

Estudi estructural de l'enllaç entre la Serralada Ibèrica i la Serralada Costanera Catalana

Joan Guimerà Roso

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

UNIVERSITAT DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE GEOLOGIA DINAMICA, GEOFISICA I PALEONTOLOGIA

**ESTUDI ESTRUCTURAL DE
L'ENLLAÇ ENTRE LA SERRALADA
IBERICA I LA SERRALADA
COSTANERA CATALANA**

VOLUM I

JOAN GUIMERA

BARCELONA, GENER DE 1988

7.

CONSIDERACIONS
I MODEL EVOLUTIU

7.1. RECAPITULACIO DE LES MACROSTRUCTURES COMPRESSIVES

Tal com ha estat descrit al capítol 4, els trets estructurals principals de la regió estudiada són:

Serralada Costanera Catalana:

- 1) Presència de falles de sòcol orientades NE-SW --entre N 070 E i N 030 E--.
- 2) Seguint aquestes falles de sòcol es va concentrar la deformació, donant com a resultat unes bandes de deformació que afecten el sòcol hercianià i la cobertura mesozoica.
- 3) El moviment dominant de les falles de sòcol NE-SW va ser direccional sinistre.
- 4) A la banda de deformació orientada N 070 E --Vallès-Penedès-- es van produir escates de materials paleozoics que indicarien un acostament entre els dos llavis del pla de falla simultàniament amb el moviment direccional --transpressió--.
- 5) A les àrees compreses entre les bandes de deformació, la deformació té una intensitat molt menor, les capes romanen subhoritzontal o només molt lleugerament plegades; la deformació en aquestes àrees és mitjançant falles direccionals d'escala que varia des de mètrica fins a quilomètrica.

Serralada Ibèrica:**A la regió estudiada:**

- 1) Presència al sòcol hercinià d'un anticlinal NW-SE d'escala quilomètrica (anticlinal de Montalbán) que a la vora SW està afectat per una falla subvertical d'orientació idèntica (falla de Montalbán).
- 2) Presència a la cobertura mesozoica i paleògena de plecs NW-SE.

Fora de la regió estudiada:

- 3) Falles de sòcol dominants NW-SE associades a plecs de fons del sòcol hercinià (ex. falla d'Ateca-Castelló). També hi ha algunes falles d'orientacions més pròximes a E-W o N-S.
- 4) Les falles de sòcol NW-SE van tenir un joc predominantment invers, amb un component direccional dextre (falla d'Ateca als voltants de Daroca).

Zona d'Enllaç:

- 1) No aflora el sòcol hercinià. A partir de les deformacions a la cobertura es pot deduir l'existència d'una --o diverses-- falles de sòcol orientades E-W a la part meridional del feix d'encavalcaments (falla d'Aliaga-Castell de Cabres).
- 2) El seu límit nord és un cinturó d'encavalcaments orientats grosso modo E-W i vergents cap al N.
- 3) Aquest cinturó d'encavalcaments té dues virgacions, en les què els encavalcaments prenen una orientació pròxima a NE-SW.
- 4) En secció, els encavalcaments tenen la geometria d'un sistema imbricat.
- 5) La fletxa dels encavalcaments és força variable; arriba a ser superior a 6 Km.

6) Al nucli de les virgacions hi ha estructures d'interferència de plecs que indiquen un escurçament simultani en totes les direccions horitzontals.

7) A l'oest de la virgació més occidental els encavalcaments tenen, en planta, una geometria arquejada, amb la convexitat segons els sentit de desplaçament.

8) A l'interior del cinturó d'encavalcaments -- a la part central-- o tot limitant-lo pel sud --a la part occidental-- hi ha una banda de deformació aproximadament E-W que es manifesta per falles o per flexions i virgacions dels plecs. A la part occidental --on s'orienta N 080 E-- té clarament un component vertical i un component direccional dextre.

Les relacions entre aquestes tres unitats i les estructures que contenen són les següents:

1) Els encavalcaments frontals de la Zona d'Enllaç encavalquen sobre les estructures de la Serralada Costanera Catalana, sobre la Conca de l'Ebre i sobre La Serralada Ibèrica.

2) Al contacte entre el cinturó d'encavalcaments i la Serralada Costanera Catalana, la direcció dels encavalcaments sofreix una virgació i passa de E-W a NE-SW. La inflexió indica una rotació sinistra, en el mateix sentit que les falles NNE-SSW del sòcol de la part meridional de la Serralada Costanera Catalana.

3) Al contacte entre els feix d'encavalcaments E-W i les estructures NW-SE ibèriques, es produeixen superposicions i interferències de plegament. La geometria d'aquestes interferències --al nord del feix-- indica que les estructures NW-SE són anteriors a les estructures E-W.

4) El feix d'encavalcaments de Portalrubio-Vandellós s'acaba bruscamment a l'oest de Portalrubio; a l'oest d'aquest punt només hi ha plecs d'orientació ibèrica (NW-SE). No s'hi produeixen interferències entre ambdues direccions. La flexió en els materials mesozoics que limita la cubeta d'Hinojosa de Jarque per S i el SW passa d'orientar-se E-W a NW-SE sense cap solució de continuïtat. Aquests dos fets indiquen una simltaneïtat en el desenvolpament de les

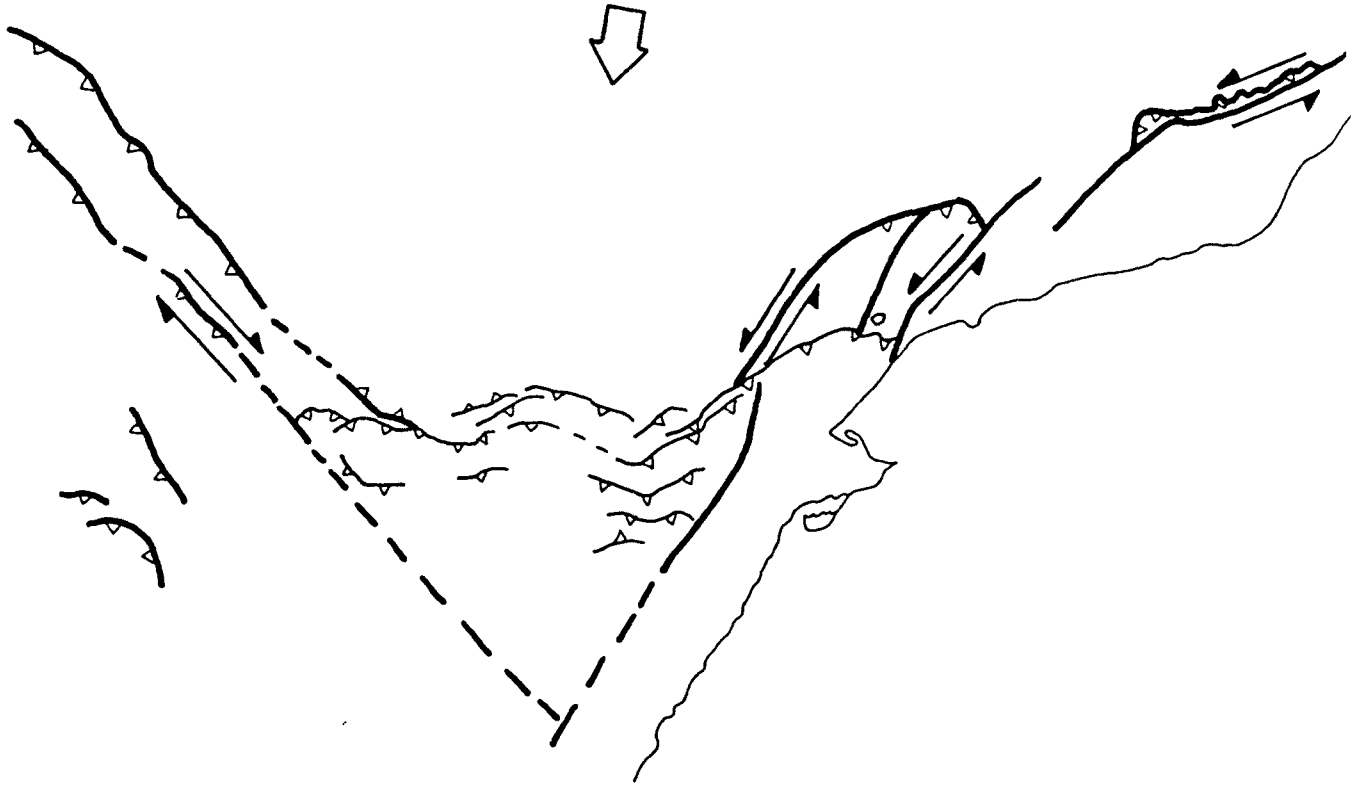


FIGURA 7.1:

Esquema que mostra com a partir de la cinemàtica de les grans falles de sòcol (amb components direccionals dextres i sinistres) i dels encavalcaments de la cobertora se'n dedueix un desplaçament cap al sud del bloc de la Conca de l'Ebre (indicat per la fletxa), desplaçament que seria la causa dels moviments observats en les estructures anteriors.

estructures E-W i NW-SE.

7.2. RECAPITULACIO SOBRE LES EDATS DE LES DEFORMACIONS

Tal com he exposat a l'apartat 4.2 i resumit al 4.2.4, les edats de les diverses estructures, deduïdes a partir de les seves relacions amb els materials terciaris amb els què entres en contacte, són les següents:

- 1) Les estructures NE-SW de la Serralada Costanera Catalana comencen a actuar cap a l'Ilerdià-Cuisià al NE i cap al Biarritzià al SW. La deformació es prolongà, com a mínim, fins a l'Oligocè mitjà (no hi ha materials més moderns en aquest sector de la Conca de l'Ebre).
- 2) Els encavalcaments del feix de Portalrubio-Vandellós van actuar durant l'Oligocè: enlloc no es veuen fossilitzats per materials eocens ni afectant materials miocens. Almenys la fi de l'actuació dels encavalcaments més frontals --els que entren en contacte amb els materials terciaris-- és més antiga a l'est (Oligocè inferior-mitjà) que al centre o a l'oest (Oligocè superior-terminal).
- 3) L'inici de l'actuació de les estructures NW-SE de la Serralada Ibèrica resta força indefinida. A la regió estudiada, la discordança progressiva de Montalbán es intrastampiana, però materials de l'Oligocè superior per damunt d'ella també estan deformats pel plec NW-SE.
- 4) A la major part de la Serralada Ibèrica el final de l'actuació de les macrostructures compressives se situa prop del límit Oligocè-Miocè o al Miocè basal (Agenià): RIBA, VILLENA i MALDONADO (1971), VIALARD (1973), DIAZ MOLINA i LOPEZ MARTINEZ (1979), ADROVER, FEIST, GINSBURG et al. (1983) i PARDO, VILLENA, PEREZ et al. (1984).

7.3. CONCLUSIONS REFERENTS A LES MACROSTRUCTURES

Tant de les relacions geomètriques entre les diverses direccions d'estructures descrites a la regió estudiada com de les seves edats deduïdes a partir de les seves relacions amb els sediments terciaris, es dedueix que, almenys durant la major part de l'Oligocè, totes aquestes estructures van actuar simultàniament. Per tant, qualsevol model que intenti explicar la seva gènesi i evolució ha de tenir en compte aquest fet i ha de basar-se en un mecanisme de deformació a l'escala del NE de la Península Ibèrica capaç de produir simultàniament els moviments observats a les tres direccions d'estructures.

7.4. MODEL EVOLUTIU A PARTIR DE LES MACROSTRUCTURES

El mecanisme de deformació que proposo a l'escala del NE de la Península Ibèrica (avançat ja en altres treballs anteriors: GUIMERA, 1983b i 1984) es basa, d'una manera prioritària, en intentar explicar 1) el moviment sinistre de les falles NE-SW de la Serralada Costanera Catalana, 2) el moviment invers-dextre de les falles NW-SE de la Serralada Ibèrica, 3) el desenvolupament d'un feix d'encavalcaments orientat E-W a l'àrea d'interferència entre ambdues directrius --a la Zona d'Enllaç-- i 4) la simultaneïtat --almenys durant un llarg període de temps-- en l'actuació d'estructures de les tres direccions amb els moviments indicats.

Tal com s'indica a la FIG. 7.1, un moviment simultani de les falles NE-SW sinistres de la Serralada Costanera Catalana --que constitueix la vora SE de la Conca de l'Ebre-- i invers-dextre de les falles NW-SE de la Serralada Ibèrica --que forma la vora SW de la Conca de l'Ebre-- implica un desplaçament relatiu cap al sud de la Conca de l'Ebre respecte a les Serralades Ibèrica i Costanera Catalana.

Tenint en compte el moviment més predominantment direccional de les falles NE-SW i invers-direccional de les falles NW-SE, la direcció de desplaçament del bloc de la Conca de l'Ebre pot haver estat tal que formés amb les falles NW-SE de la Serralada Ibèrica un angle més gran que amb les falles NE-SW de la Serralada Costanera Catalana: per exemple, desplaçant-se cap al S seguint una direcció N 010 E, que formaria un angle d'uns 60° amb les falles de sòcol NW-SE (N 130 E) i d'uns 30° amb les NE-SW (N 030-050 E). D'aquesta manera s'explicaria el moviment més invers-sinistre de les falles ibèriques i la important transpressió a la falla del Vallès-Penedès (N 070 E).

El feix d'encavalcaments de Portarubio-Vandellós podia desenvolupar-se perfectament sota aquest mecanisme, ja que és grosso modo perpendicular a la direcció de desplaçament del bloc de l'Ebre i en constitueix l'extrem més meridional.

De les dues virgacions que presenta aquest feix, l'oriental pot ser explicada com a resultat de l'acció sobre la cobertura mesozoica del joc sinistre de les falles de sòcol NE-SW del sud de la Serralada Costanera Catalana. La virgació occidental pot explicar-se amb un mecanisme semblant, suposant que al sòcol hi hagi una falla sinistra NW-SE, tal com va proposar SIMON (1979 i 1981a).

La Zona d'Enllaç es troba a l'àrea on es produeix la intersecció de les falles de sòcol NE-SW i NW-SE. En funció de l'existència de les fosses costaneres N 030 E formades durant la distensió neògena, plantejo la hipòtesi que són les falles NE-SW les que tallen les NW-SE.

El moviment direccionals de les dues direccions de falles de sòcol, conjuntament amb la seva intersecció deurién produir problemes d'espai dels quals la Zona d'Enllaç en seria, d'alguna manera, la conseqüència.

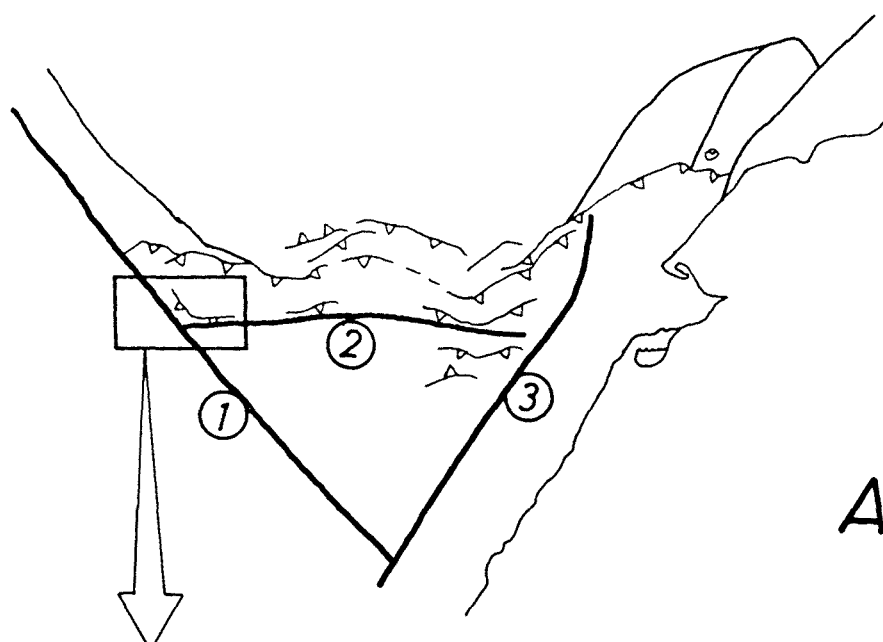
Estructures que poden ser el resultat d'aquests problemes d'espai n'hi ha diverses a la Zona d'Enllaç, sobre tot al terç occidental del feix d'encavalcaments de Portarubio-Vandellós:

1) La FIG. 7.2 mostra com el component direccional dextre observat a l'extrem occidental de la banda E-W de Castell de Cabres-Aliaga pot ser degut a que aquesta banda E-W acaba

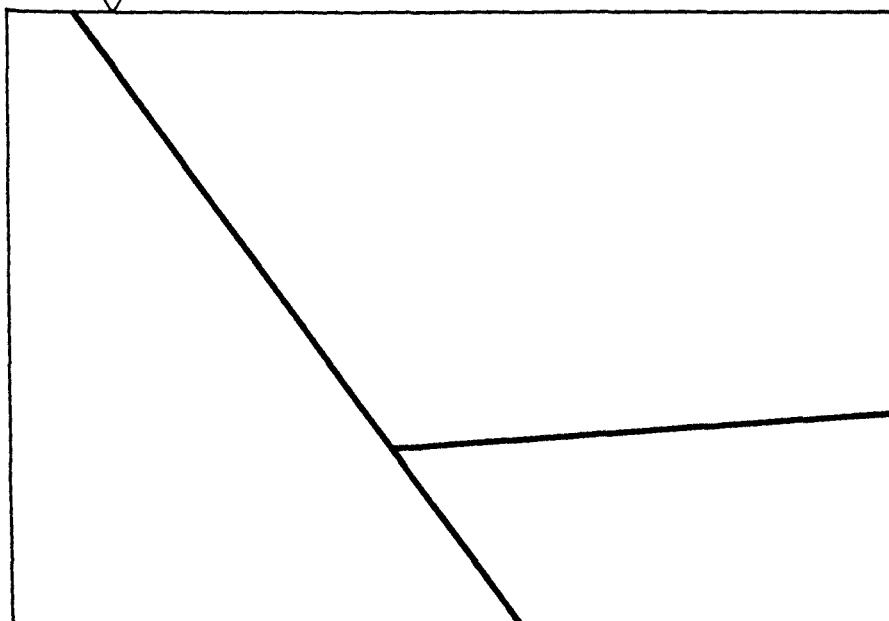
FIGURA 7.2:

Esquema que mostra una possible explicació del component direccional dextre observat a l'extrem occidental de la falla de sòcol E-W d'Aliaga-Castell de Cabres. (1): falla d'Ateca-Castelló, (2): falla d'Aliaga-Castell de Cabres, (3): falla del Baix Ebre.

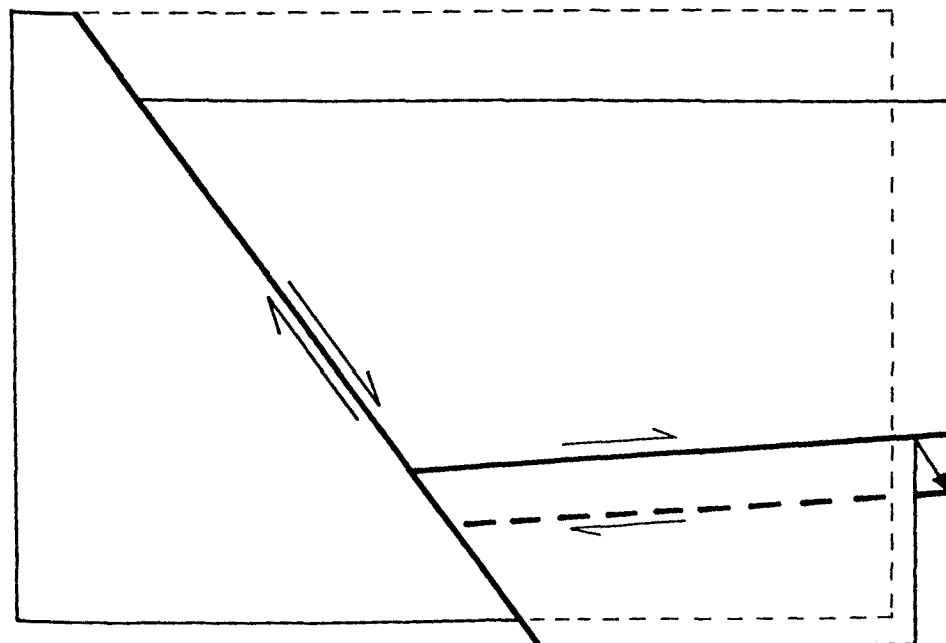
La interferència entre les falles NE-SW sinistres i les NW-SE amb component dextre (A) produeix una falta d'espai a la Zona d'Enllaç que ocasiona un desplaçament relatiu cap a l'est del bloc situat a l'est de la falla d'Ateca-Castelló i al nord de la falla d'Aliaga-Castell de Cabres (B i C); aquest desplaçament relatiu implica un component direccional dextre a l'extrem occidental de la falla d'Aliaga-Castell de Cabres.



A



B



C

contra la falla NW-SE d'Ateca-Castelló; en estar limitat el moviment d'aquesta darrera falla com a conseqüència de la seva intersecció amb les falles NE-SW litorals, els moviments del blocs definits per les falles d'Ateca-Castelló i de Castell de Cabres-Aliaga seria l'indicat a la FIG. 7.2, tot produint a l'extrem occidental de la falla de Castell de Cabres-Aliaga els components vertical i direccional dextre observats.

2) Aquest mateix esquema produeix un desplaçament de matèria de l'W cap a l'E, que podria haver estat compensat mitjançant la geometria arquejada dels encavalcaments de Portalrubio i de la Muela de Montalbán i, també, almenys per part de les estructures N-S i altres estructures que indiquen un escurçament E-W al nucli de la virgació occidental, sincrònicament amb l'emplaçament dels encavalcaments E-W.

3) L'anticlinal del Bovalar --i altres plecs associats-- d'orientació aproximadament N-S, que es troben just al centre de la Zona d'Enllaç.

4) La inflexió cap al N de l'extrem septentrional dels plecs NW-SE de l'àrea de Cantavieja-Mosqueruela, per acció del component direccional dextre de la falla d'Aliaga-Castell de Cabres.

5) Existeix també la possibilitat que la virgació occidental s'hagi format en un grau més o menys gran com a resultat del desplaçament de la matèria d'est a oest produïda pel joc dextral de les falles NW-SE --singularment de la falla s'Ateca-Castelló--. Aquest mecanisme es podria sumar --i fins i tot substituir-lo totalment-- al joc direccional sinistre de la falla de sòcol NE-SW proposada per SIMON (1979 i 1981a).

7.5. EVOLUCIO DURANT LA DISTENSIO

A l'apartat 5.1.8 ja he fet un resum de les macrostructures distensives i a l'apartat 5.1.9 de les edats

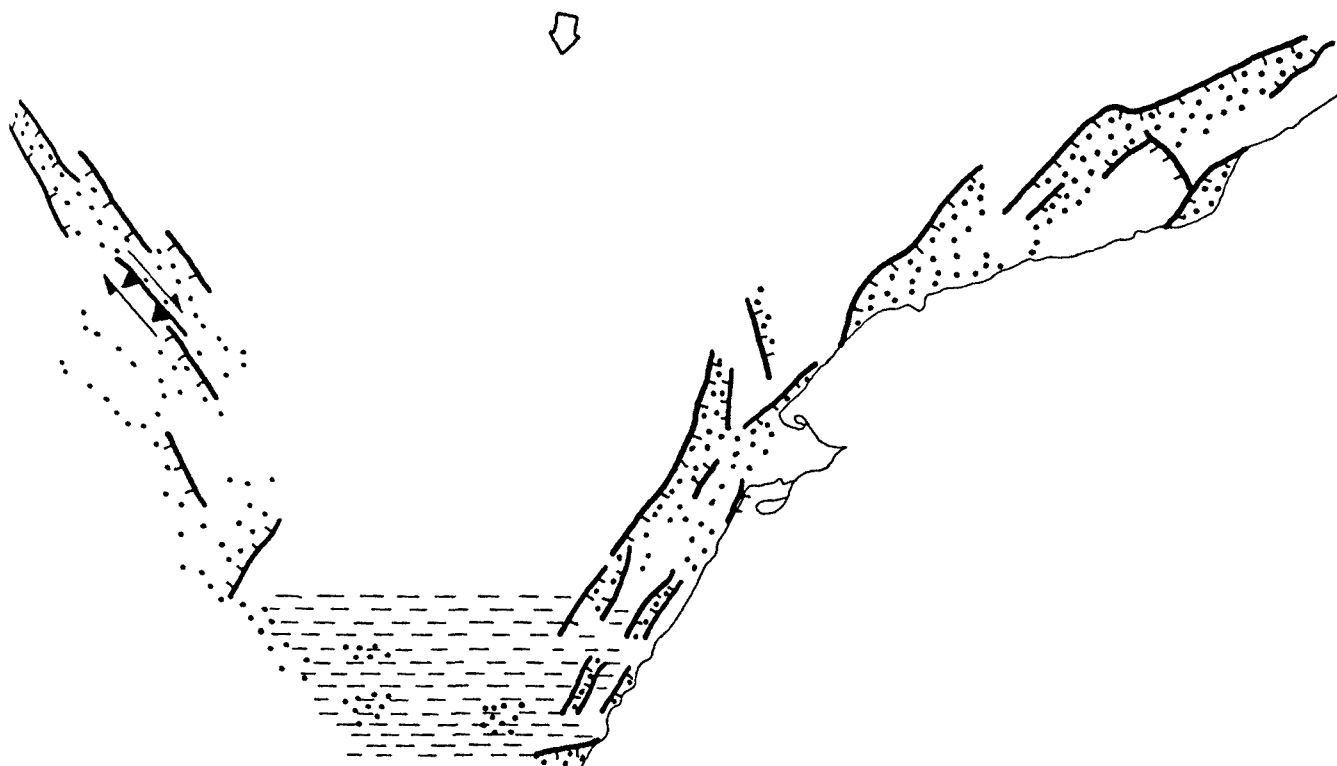


FIGURA 7.3:

Esquema que mostra les principals macrostructures formades durant el Neogen (majoritàriament distensives) a la regió estudiada i d'altres àrees adjacents. En puntejat s'indiquen les fosses i cubetes neògenes; en ratllat discontinu l'àrea meridional on la cobertora s'ha estirat sense formar fosses importants.

La fletxa indica el desplaçament cap al sud del bloc de la Conca de l'Ebre compatible amb els components direccionals secundaris sinistres de les falles NE-SW de les fosses litorals i amb el moviment dextre de la falla NW-SE de Daroca.

de la seva formació i del seu desenvolupament. Només recordar, com a trets més remarcables:

1) L'existència de fosses limitades per falles NE-SW, de longitud pluridecaquilomètrica i salt vertical sovint superior als 1000 m, desenvolupades sobre les macrostructures compressives aprofitant les grans falles de sòcol que van jugar amb moviment direccional sinistre durant la compressió.

2) L'existència d'una àrea meridional en què la fracturació extensiva es manifesta per dos sistemes de falles normals conjugades (NW-SE i NE-SW), d'escala hectomètrica a quilomètrica, que afecten la cobertura mesozoica.

Aquestes dues zones de característiques tan diferenciades han de tenir una importància i un significat estructural també clarament diferents.

La FIG. 7.3 mostra la distribució de les fosses i depressions neògenes del nord-est de la Península Ibèrica en una àrea més extensa que l'estudiada en aquest treball. Sobre la Serralada Ibèrica, al NW i W de la Zona d'Enllaç, es van desenvolupar durant el Neogen i el Quaternari un seguit de fosses i depressions limitades o relacionades amb falles d'orientació NW-SE --majoritàriament-- o N-S. Aquestes falles --almenys, clarament, les NW-SE-- són heretades i ja van actuar durant la compressió paleògena.

La intersecció entre les grans falles de sòcol NE-SW que limiten les fosses costaneres i la falla d'Ateca-Castelló (NW-SE) es produeix a l'àrea meridional, i pot pensar-se, doncs, que l'extensió radial de la cobertura mesozoica a què donen lloc els dos sistemes de falles (vegeu MAPA 5 i Apèndix I) seria la conseqüència de la intersecció al sòcol de les falles d'orientació NE-SW i NW-SE.

Les edats dels sediments més antics que rebleixen les fosses limitades per falles normals són del Miocè inferior, més precisament Burdigalià inferior a les fosses del Vallès-Penedès i del Camp i Aragonià inferior a les depressions de l'àrea meridional i a la depressió de Terol --limitada per falles normals aproximadament N-S--.

Ja hem vist als apartats 4.1.2.1.4 i 4.2.3.1 que el

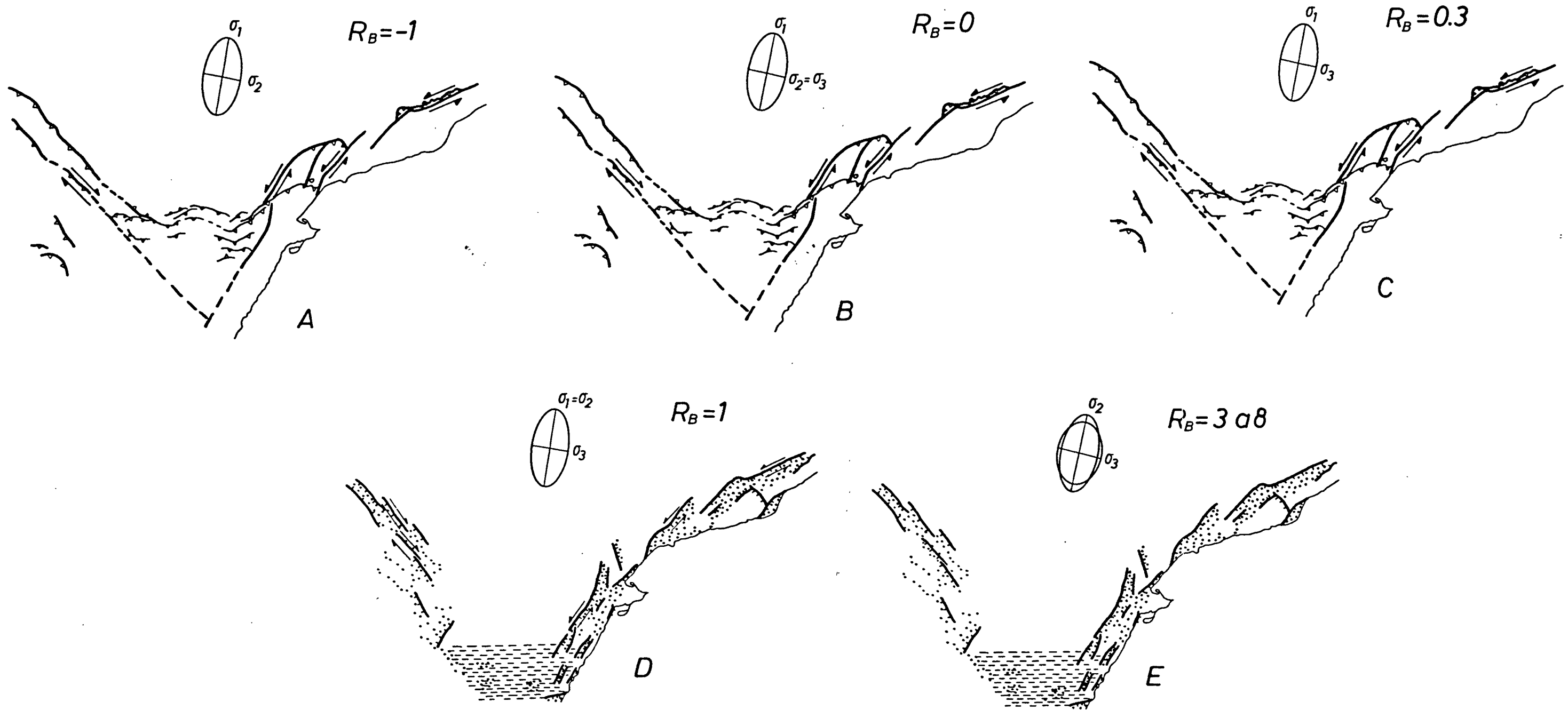


FIGURA 7.4:

Resum de la cinemàtica de les macrostructures de la regió estudiada sota camps d'esforços regionals amb Y (σ_1 o σ_2 en aquesta posició) orientat $N 010 E$ i sota diferents valors de R_B . Les macrostructures compressives i distensives i les seves relacions temporals i espacials poden ser explicades variant el valor de R_B i conservant l'orientació de Y .

moviment direccional dextre de la falla d'Ateca-Castelló, almenys als voltants de Daroca, va continuar durant l'Aragonià. Aquesta falla limita pel SW la fossa de Calatayud-Daroca i encavalcaments producte del seu moviment afecten materials aragonians. A la vora NE de la fossa només s'observen falles normals. Com a mínim a partir del Pliocè el moviment d'aquesta falla és normal, puix que produeix la fossa del Jiloca; entre l'Aragonià superior i el Pliocè resta indefinit, tal com es desprén de COLOMER (1987).

Per tant veiem que mentre a tota la regió estudiada i altres d'adjacents ja es produïen fosses i depressions limitades per falles normals, la fossa de Calatayud-Daroca estava limitada pel SW per una falla NW-SE amb un component direccional dextre important, amb encavalcaments associats. Aquestes macrostructures observades a Daroca i la seva cinemàtica coincideixen amb la situació generalitzada durant la major part del Paleogen a tota la regió estudiada. Cal, doncs, cercar un mecanisme que permeti el desenvolupament simultani en llocs diferents de les macrostructures compressives i distensives i que, tal vegada, pugui també explicar que s'hagin succeït en el temps.

7.6. PROPOSICIO D'UN MECANISME GENERAL

A partir dels moviments direccional sinistre de les falles NE-SW catalanes i invers-dextre de les falles NW-SE ibèriques he deduït el desplaçament del bloc de l'Ebre cap al sud durant el Paleogen. Durant la distensió neògena falles NE-SW que limiten la fossa del Vallès-Penedès van tenir també un cert component sinistre, a més del normal dominant. El fet de la presència de components direccional sinistres més o menys importants durant el Paleogen i el Neogen a les falles NE-SW catalanes pot indicar la persistència d'uns mecanismes amb característiques comunes durant aquests dos períodes.

A l'APENDIX II exposo els resultats obtinguts de calcular quins haurien estat els moviments de les falles de

sòcol observades a la regió estudiada sota diversos camps d'esforços compatibles amb els moviments observats. Les direccions de màxim esforç horitzontal suposades ($Y=\sigma_1$ o σ_2) varien entre N 160 E i N 040 E i he calculat el moviment que sofririen els diversos plans sota diferents valors de R_B . Aquests tensors d'esforços serien causats pel desplaçament cap al sud del bloc de la Conca de l'Ebre.

En funció dels resultats obtinguts les direccions que millor expliquen el moviment de les principals falles de sòcol durant el Terciari són les compreses entre N-S i N 020 E. A la FIG. 7.4 sintetitzo els resultats obtinguts quan $Y=N$ 010 E (APENDIX II, TAULA A2-IV i FIG. A2). A A, B i C σ_1 es troba horitzontal segons la posició de Y, mentre a E σ_1 es troba vertical i és σ_2 qui es troba seguint Y; al cas D $\sigma_1=\sigma_2$.

S'observa com conservant l'orientació de Y i variant el valor de R_B els moviments de les grans falles de sòcol NE-SW i NW-SE passen de ser inverso-direccional a direccional de A a D i progressivament més normals de D a E.

Per tant, sense variar el sentit de desplaçament de la Conca de l'Ebre cap al sud durant la major part del Paleogen i del Neogen, simplement variant-ne la intensitat es produiria un augment o una disminució de l'esforç principal horitzontal. Seguint una direcció al voltant de N 010 E és com millor es poden explicar els moviments direccional durant el Paleogen i normals durant el Neogen de les falles de sòcol NE-SW i NW-SE.

Les variacions entre els diversos estadis poden no haver-se produït simultàniament a totes les àrees. Els moviments dextres-inversos deduïts per COLOMER (1987) a la falla NW-SE de Daroca durant l'Aragonià necessiten uns valors de R_B de 0 a 0.3 (o fins i tot superiors) mentre que, per produir components normals importants simultàniament a les falles NE-SW catalanes n'hi ha prou amb valors de R_B al voltant de 3. Es amb els valors de Y al voltant de N 010 E que aquestes diferències són més petites.

7.7 MESOSTRUCTURES

Tal com he exposat a l'APENDIX-I i sintetitzat a l'apartat 6.2, els resultats obinguts a partir de l'estudi de les mesostructures fràgils de la regió estudiada poden resumir-se en els punts següents:

1) Solucions obtingudes amb σ_1 horitzontal:

- Un màxim de dues solucions per estació.
- D'aquestes dues, en la majoria dels casos, una es dedueix a partir de la major part de les dades i l'altra a partir d'una minoria.
- Quan hi ha dues solucions, una es troba dins el quadrant NW-SE i l'altra dins el quadrant NE-SW.
- A les estacions fetes a Garraf, les solucions amb σ_1 orientat NW-SE són anteriors a les que el tenen NE-SW; a les altres estacions resta indefinit.

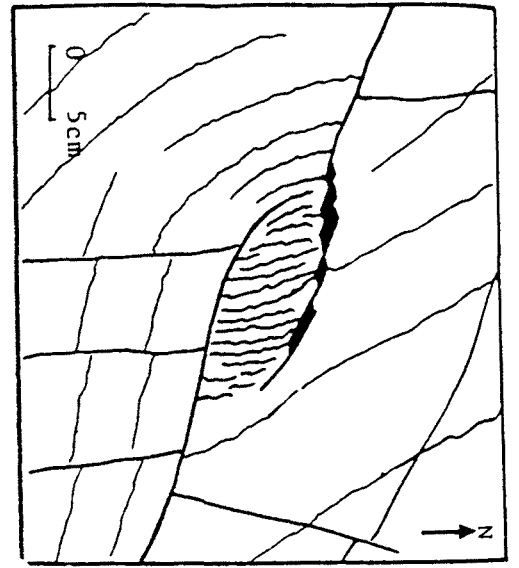
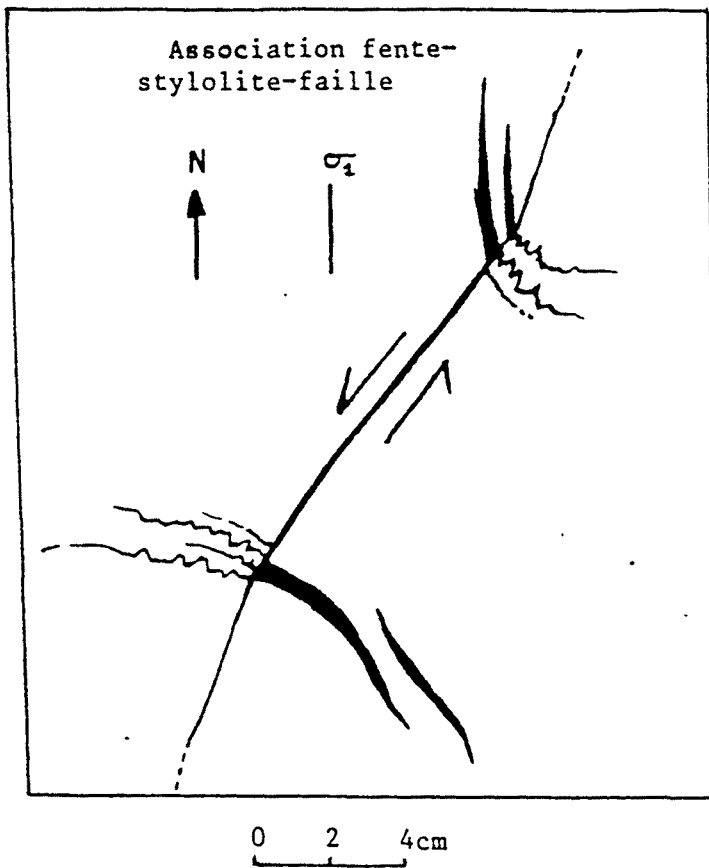
2) Les solucions que tenen σ_1 vertical presenten orientacions de σ_3 NW-SE o NE-SW, a estacions diferents i, fins i tot, a la mateixa estació.

3) A les estacions on he deduït simultàniament solucions amb σ_1 horitzontal i vertical:

- L'orientació de σ_3 d'ambdues solucions coincideix a la majoria de les estacions.
- Les relacions temporals entre aquestes dues solucions indiquen que, en la majoria dels casos, les solucions amb σ_1 vertical són anteriors a les que tenen σ_1 horitzontal; hi ha, però, diverses estacions en què la relació temporal observada és l'oposada.

7.8 RELACIO ENTRE LES MACROSTRUCTURES I LES MESOSTRUCTURES.

Teòricament podem trobar dues maneres de relacionar-se les macrostructures i les mesostructures:



B

A

FIGURA 7.5:

Exemple de camp de les perturbacions produïdes al camp d'esforços als voltants de falles. Segons XIAOHAN (1983).

A: Cas d'una sola falla; s'indiquen les variacions en les orientacions dels estlòlits i de les esquerdes de tensió.

B: Cas d'un relleu compressiu entre dues falles; s'indica l'orientació dels plans estilolítics.

1) Ambdues poden ser el resultat directe d'un mateix procés a gran escala; per tant, l'evolució que es dedueix de tots dos tipus d'estructures ha de ser la mateixa.

2) Les mesostructures estan subordinades a les macrostructures --són d'una escala subordinada-- i són el resultat de la geometria i de la cinemàtica d'aquestes. Això implica que el procés a gran escala només es pot deduir de les macrostructures.

Aquestes dues possibilitats impliquen, correlativament:

1) Les diferents solucions amb σ_1 horitzontal deduïdes a les diverses estacions poden agrupar-se en funció de la seva orientació i pot suposar-se que són el resultat d'una mateixa "fase" de deformació que va afectar la totalitat de l'àrea estudiada --com a mínim--.

2) Cal buscar els models sobre la influència de les falles en el volum rocós que les envolta.

Són diversos els treballs que tracten sobre la influència de la geometria i de la cinemàtica d'una falla sobre les trajectòries dels esforços principals als seus voltants i sobre les falles d'ordre inferior que s'hi formen. Els més clàssics són els treballs d'ANDERSON (1951), McINSTRY (1953), HAFNER (1951), MOODY i HILL (1956), CHINNERY (1966 a i b), PRICE (1969) i TCHALENKO (1970) --resumits a GUIMERA, 1978--.

Més recentment, XIAOHAN (1983) ha modelitzat amb ordinador les perturbacions d'un camp d'esforços regional produïdes pel moviment d'una o de diverses falles. La finalitat d'aquestes modelitzacions és explicar les variacions en les orientacions dels estilòlits i de les esquerdes de tensió observades al camp en relació amb falles (FIG. 7.5: A, en el cas de l'acabament d'una falla; B, en el cas d'un relleu compressiu). En aquests dos casos s'observa que es poden arribar a formar estilòlits --o esquerdes de tensió-- perpendiculars entre si en àrees molt pròximes, com a resultat de les perturbacions en l'orientació dels eixos principal produïdes per l'acció de la falla o de les falles al voltant de les quals es formen.

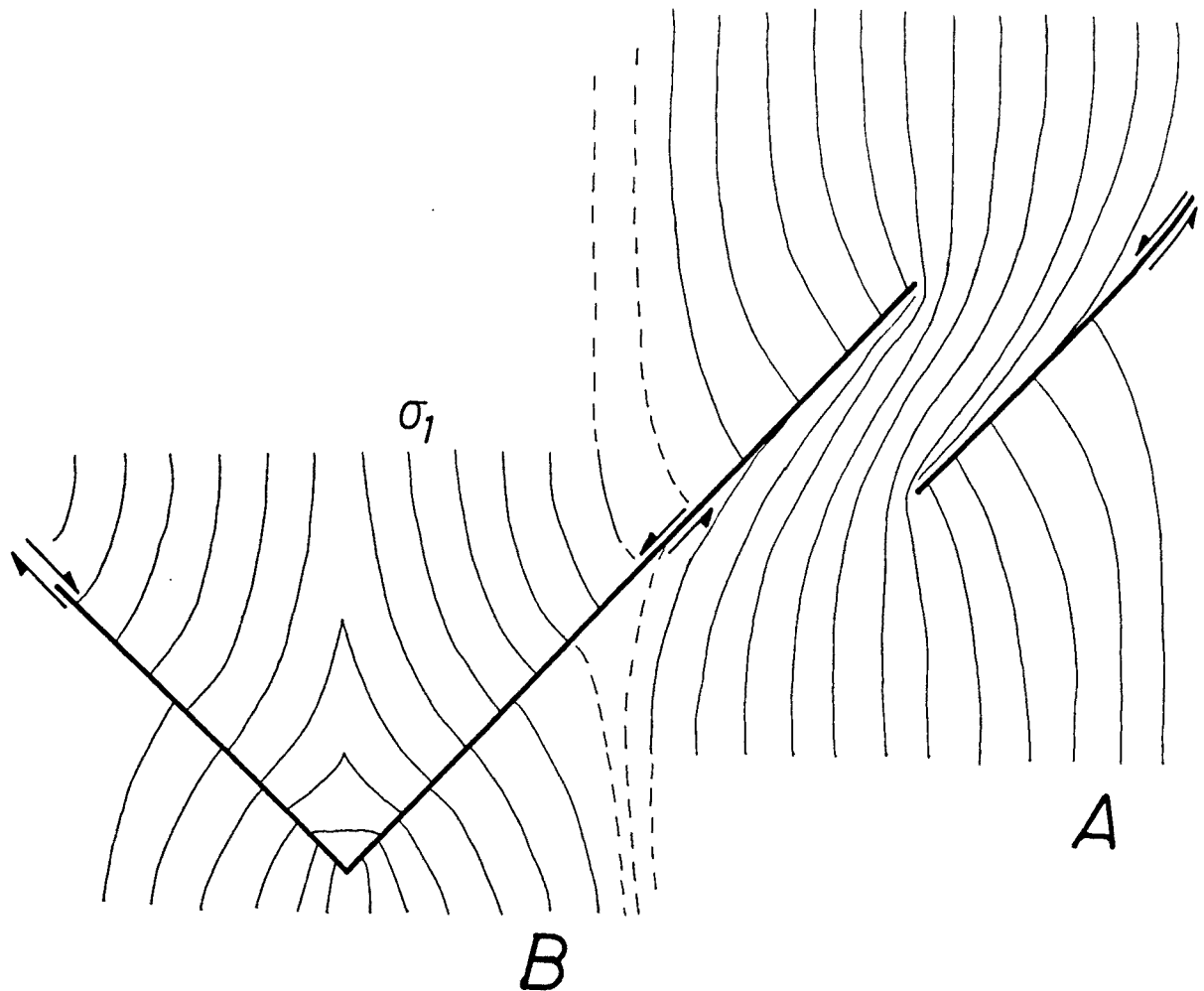


FIGURA 7.6:

Modelització de les perturbacions produïdes per falles en les trajectòries de l'eix principal d'esforços σ_1 (càlcul fet en el pla $\sigma_1 - \sigma_3$), segons XIAOHAN (1983), lleugerament modificat. A: relleu compressiu; B: dues falles que s'ajunten en tascó.

La combinació de les dues figures mostra --simplificadament-- unes falles amb la mateixa disposició que en la regió estudiada: falles direccionals sinistres NE-SW esgraonades dextralment a la Serralada Costanera Catalana que interfereixen amb falles NW-SE dextres de la Serralada Ibèrica. Sota una direcció de compressió regional aproximadament N-S (amb σ_1 horitzontal i en aqueixa orientació) la disposició i la cinemàtica de les falles produeix perturbacions en el camp d'esforços al seu voltant de manera que simultàniament --i en àrees fins i tot pròximes-- les orientacions de σ_1 poden arribar a ser perpendiculars. Variacions en el temps d'aquesta disposició --com el creixement d'una falla-- poden produir que un mateix punt estigui sotmès successivament a camps d'esforços entre els quals l'orientació de σ_1 faci angles importants.

Dels diversos casos modelitzats per aquest autor n'hi ha dos que són directament aplicables a les principals falles de sòcol de la regió estudiada (FIG. 7.6): un relleu compressiu entre falles sinistres esgraonades dextralment --com les falles NE-SW de la Serralada Costanera Catalana-- i dues falles direccionals conjugades que s'uneixen fent un tascó ("décrochement en coin") --com, aproximadament, les falles NE-SW catalanes i les NW-SE ibèriques--.

En el cas del relleu compressiu (FIGS. 7.6-A i 7.5-B) es produeixen simultàniament en àrees pròximes camps d'esforços amb σ_1 de direccions perpendiculars; un creixement de les falles (per neoformació d'un pla o per desplaçament de l'inici del moviment en un pla preexistent), amb una migració del seu extrem, implicaria una variació important en l'orientació dels eixos d'esforços principals en el temps en un mateix lloc, cosa que produiria la superposició --en el cas de la Serralada Costanera Catalana-- d'estructures que indicaren camps d'esforços amb σ_1 fent uns angles importants (NW-SE i NE-SW).

En el cas de les falles direccionals conjugades que s'uneixen fent un tascó (FIG. 7.6-B) l'eix σ_1 perturbat tendeix a orientar-se perpendicularment a les falles de direcció prop d'elles i conserva la seva orientació original a mesura que s'allunyen de les falles (N-S en el cas de la regió estudiada). Només al vèrtex del tascó --que correspon a la Zona d'Enllaç en el cas de la regió estudiada-- es localitzen orientacions de σ_1 perpendiculars a l'orientació regional (N-S la segona i E-W la primera).

En el darrer cas només es prenen en consideració dues falles, una de cada orientació. A la Serralada Ibèrica hi ha diverses falles d'orientació NW-SE i a la part oriental de la Zona d'Enllaç n'hi ha d'orientades NE-SW, continuació de les de la Serralada Costanera Catalana. En tots dos casos --tal com es representa a la FIG. 7.7-A i B-- es produirien perturbacions del camp d'esforços similars als de la FIG. 7.6-A, i es podria explicar la formació de mesoestructures fràgils que indiquessin σ_1 orientats NE-SW i NW-SE, simultàniament en àrees pròximes i successivament a la mateixa àrea.

Exemples de simultaneïtat de camps d'esforços amb σ_1 de

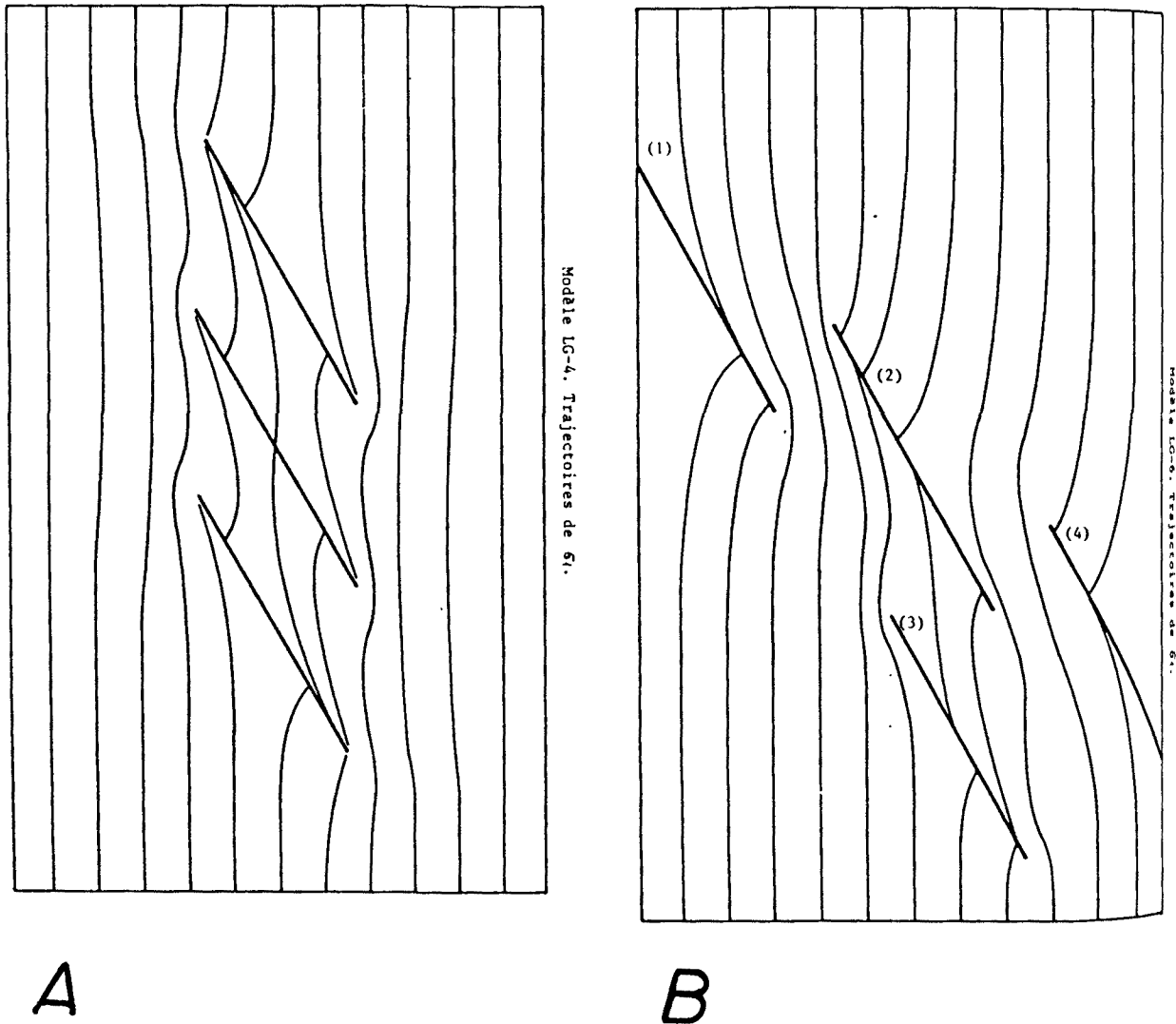


FIGURA 7.7:

Altres exemples de modelitzacions de les perturbacions de les trajectòries de σ_1 amb falles en diferents disposicions. Segons XIAOHAN (1983).

A i B mostren les perturbacions en el cas de falles paral·leles esgraonades de formes diverses. Les variacions en les trajectòries de σ_1 mostren com simultàniament poden tenir orientacions gairebé perpendiculars en punts pròxims.

direccions molt diferents --fins i tot perpendiculars-- localitzats en àrees dins una mateixa regió, n'hi ha diversos a la literatura en contextos geològics similars als de la regió estudiada.

La FIG. 7.8 mostra el resultat d'un conjunt de mesures de l'estat d'esforç actual al Massís Renà, a partir de mesures "in situ" (BAUMANN i ILLIES, 1983). S'observa com dins una orientació general de σ_1 NW-SE hi ha algunes mesures que se'n desvien força, sobre tot les mesures 19 i 25 on σ_1 es disposa perpendicularment a l'orientació general; les estacions on s'ha fet aquestes dues mesures es troben prop de les falles NNE-SSW que limiten la fossa del Rhin, mentre a d'altres estacions en situacions similars σ_1 té l'orientació general.

Un altre exemple el forneix el mapa de direccions d'escurçament determinades a partir de mesostructures fràgils de la regió del Llenguadoc (FIG. 7.9, segons ARTHAUD et al., 1981 in XIAOHAN, 1983). S'observa que la majoria de les direccions d'escurçament s'orienten al voltant de dos màxims (NNW-SSE i NNE-SSW); els primers es concentren en bona part seguint les falles de sòcol sinistres NE-SW (bandes puntejades al sudoest d'Alès i al nord de Montpeller), però a diversos llocs --per exemple entre aquestes dues bandes-- hi ha àrees molt pròximes en què σ_1 s'orienta NNW-SSE en unes i NNE-SSW en d'altres. La distribució de les direccions d'escurçament que mostra aquest mapa és similar --amb un nombre d'estacions molt més elevat-- a la representada a la FIG. 6.1 per la regió estudiada.

LANA i CORREIG (1987) donen un exemple de coexistència en una mateixa àrea de tensors d'esforç normals i inversos, deduïts a partir de les rèpliques d'un terratrèmol. La FIG. 7.10 mostra que la regió estudiada per aquests autors (al sud d'Itàlia) pot dividir-se en tres àrees en funció de la naturalesa de les rèpliques: una on les rèpliques indiquen mecanismes normals (i), una altra on indiquen mecanismes inversos (ii) i la tercera on coexisteixen mecanismes normals i inversos (iii). L'esdeveniment principal té un component direccional sinistre important i delimita les tres regions. Aquest exemple mostra, doncs, com l'acció d'una falla principal pot produir canvis en l'estat d'esforços al seu voltant en què, en punts molt pròxims, s'intercanvien

les posicions de σ_1 i de σ_3 .

Mitjançant els models de XIAOHAN (1983) pot explicar-se 1) la presència successivament en un mateix lloc de tensors d'esforços en què s'han intercanviat aproximadament les orientacions dels eixos σ_1 i σ_3 (NW-SE i NE-SW respectivament en un període i NE-SW i NW-SE en un altre moment), tal com pot suposar-se que es va produir durant la compressió paleògena; i 2) la simultaneïtat en llocs diferents. Observacions de mesures in situ de l'estat d'esforços actual i de les variacions dels mecanismes de les rèpliques d'un terratrèmol, abonen l'existència d'aquestes variacions espacials. El cas estudiat per LANA i CORREIG (1987) mostra com es poden trobar simultàniament en una mateixa regió, i barrejades d'una manera aparentment caòtica, solucions amb tensors normals i inversos, en què les posicions de σ_1 i de σ_3 estan intercanviades --similarment als dos màxims de solucions amb σ_1 i σ_3 horitzontals trobats a la regió estudiada en el present treball--. Pot concloure's que els tensors amb σ_1 horitzontal observats a la regió estudiada poden ser producte d'un aquests dos processos o de la combinació de tots dos.

Com a conseqüència, si no s'ha fet un nombre important d'observacions de camp que mostri sistemàticament que a les diverses estacions fetes a una regió els tensors deduïts s'han succeït en el temps en una seqüència determinada, hi ha un alt grau d'incertitud en la hipòtesi de correlacionar els tensors d'esforços calculats a diverses estacions en funció de l'orientació dels seus eixos principals i suposar que són sincrònics, i de suposar que es van produir en moments diferents els tensors els eixos dels quals tenen orientacions força distintes, tal com s'ha fet en alguns treballs recents (SIMON, 1982 i GUIMERA, 1983a i 1984).

Tant a partir de les dades exposades per mi en aquest treball com de la reinterpretació de les dades fornides per SIMON (1982), la poca quantitat d'observacions de camp que puguin indicar quina és la relació temporal entre les diverses solucions --dues com a màxim-- obtingudes a cada aflorament fa poc fonamentada la possibilitat que solucions amb σ_1 horitzontal d'orientació similar obtingudes en estacions diferents puguin correlacionar-se. Així, doncs, resta indefinit que les estructures a partir de les quals es

dedueixen en estacions diferents es formessin simultàniament. Caldria, si fos possible, un nombre d'estacions força més elevat per fer un assaig de correlació en aquest sentit prou fonamentat.

A més, del que ha estat resumit als apartats anteriors s'observa que no hi ha una correspondència directa entre les evolucions deduïdes a partir de les macrostructures compressives i a partir de les solucions amb σ_1 horitzontal deduïdes de les mesostructures. Això indicaria que la geometria i la distribució de les mesostructures ha estat influïda per les macrostructures --com és lògic esperar degut a la diferència d'escala--, i és en funció d'aquestes darreres que cal buscar un model genètic de les mesostructures i no pas directament a partir de processos a escala de placa.

Els raonaments tot just acabats de fer són aplicables, lògicament, a qualsevol tensor d'esforços calculat a partir de falles a escala d'aflorament. He fet una èmfasi especial sobre els tensors que tenen l'eix σ_1 horitzontal perquè han estat usats els últims anys per definir una situació compressiva a la regió estudiada i als seus voltants, tot donant-los la mateixa importància i el mateix significat que a les macrostructures compressives.

El moment de formació de les mesostructures a partir de les quals són deduïts aquests tensors hem vist que és poc precís: la majoria es troben en materials mesozoics i la simultaneïtat amb les macrostructures compressives cal suposar-la a partir del fet que no es trobin als materials neogens que rebleixen les fosses formades durant la distensió, ja que, pràcticament, no hi ha dades recollides en materials paleògens. En funció d'aquest fet es dedueix que

-1) els tensors calculats amb σ_1 horitzontal i aproximadament NW-SE són anteriors al Neogen,

-2) els tensors amb σ_1 horitzontal i orientat entre N-S i NE-SW i els tensors amb σ_1 vertical són d'edat neògena o posterior,

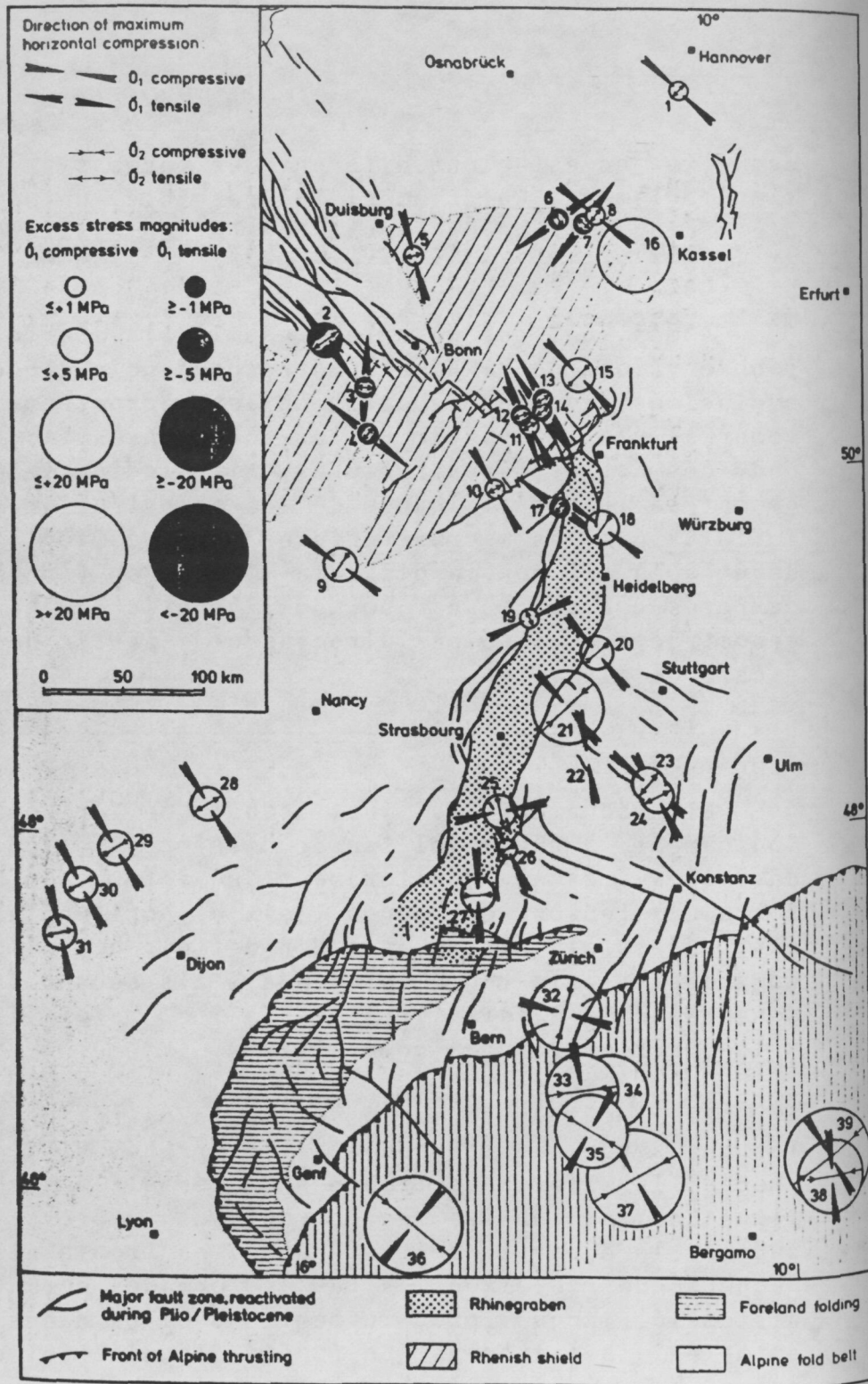


FIGURA 7.8:

Mesures "in situ" de l'estat d'esforç actual al Massís Renà, segons BAUMANN i ILLIES (1983). S'observa com en algunes estacions (concretament la 19 i la 25) l'orientació de σ_1 és perpendicular a l'orientació general.

-3) només a partir de l'observació que els tensors amb σ_1 orientat N-S a NE-SW són proporcionalment més nombrosos en materials mesozoics que en materials neògens --compareu els resultats de les estacions fetes al Massís de Garraf amb les de la fossa del Vallès-Penedès-- pot fer-se la suposició que ja van actuar durant el Paleogen i

-4) la proporció relativa dels tensors amb σ_1 vertical als materials mesozoics i als neògens és similar, cosa que indica que aquests són fonamentalment neògens.

Cal, però, recordar la coincidència, en la majoria de les estacions en què s'han calculat tensors amb σ_1 horitzontal i vertical, entre l'orientació dels eixos σ_3 , horitzontals i d'orientació igual en tots dos tensors.

Així, doncs, durant el desenvolupament de les fosses neògenes es poden deduir a l'escala de l'aflorament tensors amb σ_1 i σ_3 horitzontal en què σ_1 s'orienta entre N-S i NE-SW i tensors amb σ_1 vertical en els què σ_3 s'orienta o NW-SE o NE-SW. Tots tres tipus de tensors poden calcular-se en una mateixa estació o en estacions diferents i les relacions temporals --a la fossa del Vallès-Penedès-- no indiquen una seqüència definida, sinó, més aviat, una alternança. No he observat cap criteri de camp que indiqui que dins els tensors amb σ_1 vertical els que tenen σ_3 NW-SE siguin anteriors als que el tenen NE-SW com afirma SIMON (1982) per la part sud de la regió estudiada; en la meua opinió, a partir de les dades mesoestructurals fornides per aquest autor tampoc no es pot deduir aquesta successió, tal com he discutit al capítol 6.

Dels models proposats abans sobre les possibles relacions entre les macroestructures compressives i les mesoestructures de les que es dedueixen tensors d'esforços amb σ_1 horitzontal, el de XIAOHAN (1983), no és directament aplicable perquè només té en compte les desviacions en el pla σ_1 - σ_3 ; canvis de l'estil dels descrits per LANA i CORREIG (1987) sí que es podrien haver produït.

Però, en aquest cas dels tensors calculats a partir de les mesoestructures mesurades en materials neògens, els tres tipus de tensors obtinguts són coaxials a la majoria de les estacions: els dos eixos horitzontals tenen orientacions aproximadament NE-SW i NW-SE. Si en aquest grup s'hi

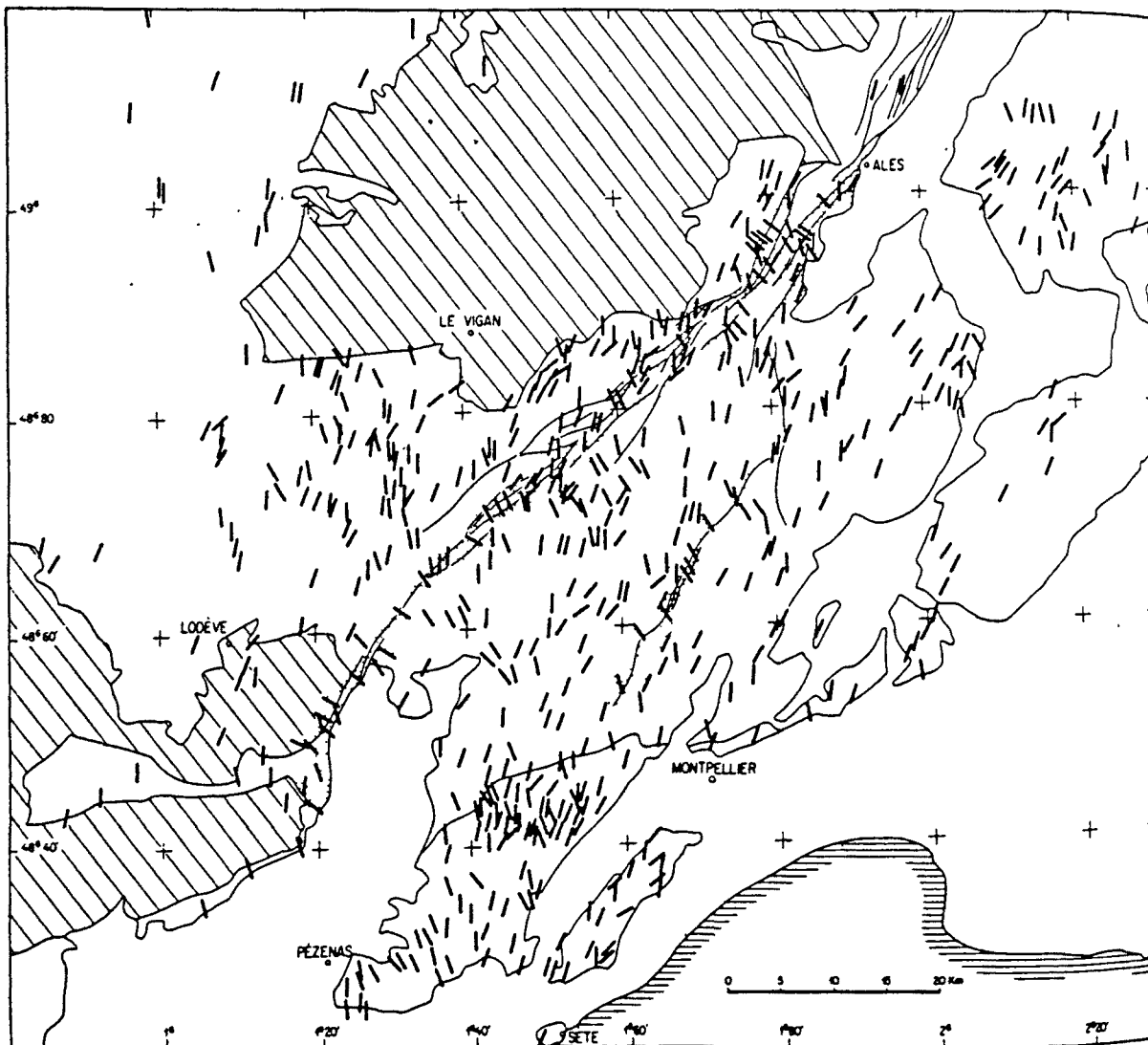


FIGURA 7.9:

Mapa sintètic de les direccions d'escurçament determinades a partir de mesostructures fràgils al Llenguadoc, segons ARTHAUD *et al.* (1981) *in* XIAOHAN (1983).

S'observa una gran variabilitat en l'orientació de la direcció d'escurçament, amb dos màxims orientats aproximadament NNE-SSW i NNW-SSE. En puntejat s'indiquen dues falles de sòcol; les variacions en l'orientació de la direcció d'escurçament també es produeixen en punts pròxims entre si però allunyats d'aquestes dues falles.

inclouen els tensors amb σ_1 vertical obtinguts en materials mesozoics, a les estacions 61, 91 i 122 (vegeu APENDIX I) s'observen canvis progressius entre tensors que tenen σ_3 horitzontal i orientat NW-SE i que intercanvien les posicions de σ_1 i de σ_2 mitjançant variacions progressives de R. La gran varietat de valors de R obtinguts als tensors amb σ_1 vertical, sovint de valors molt baixos, fa raonable suposar que s'hagin produït intercanvis --progressivament-- entre σ_2 i σ_3 .

Les macrostructures distensives formades durant el Neogen no indiquen canvis del camp d'esforços regional de la importància dels observats a petita escala: les estries observades sobre els plans de falles normals hectomètriques a quilomètriques que afecten materials neògens --pocs casos i localitzats a la vora sudest del Penedès-- tenen pitchs superiors a 60° (excepte un cas de 45°) i regionalment no semblen haver tingut components direccionals importants. Sobre aquest punt de la possible importància dels components direccionals de les falles normals, cal tenir en compte la dificultat de la seva observació, per manca d'estructures que en facin de testimoni; aquesta a estat --com hem vist al capítol 4-- una dificultat insuperable a l'hora de calibrar la magnitud dels desplaçaments direccionals de les falles durant la compressió paleògena, més gran és aquesta dificultat en el cas de components direccionals molt més petits.

Per tant, en les cas de les mesostructures fràgils formades durant la distensió neògena, tampoc no es dedueix la mateixa evolució que per les macrostructures distensives: l'evolució a partir de les macrostructures és més simple que la que es dedueix de les mesostructures. Novament em sembla més raonable pensar que els canvis i l'evolució observats a partir de les mesostructures es produeixen com a conseqüència de factors locals i de la geometria i la cinemàtica de les macrostructures distensives que, no ho oblidem, solen reaprofitar plans de falla preexistents i, per tant, tenen unes orientacions respecte al camp d'esforços regional que no és la que tindrien unes falles normals que s'haguessin format com a conseqüència d'aquest camp.

7.9. LA REGIÓ ESTUDIADA DINS EL MARC DEL NORDEST D'IBERIA I DE LA MEDITERRANIA OCCIDENTAL

De l'estudi de la geometria i de la cinemàtica de les macroestructures compressives de la regió estudiada i de l'edat dels sediments terciaris afectats per elles es dedueix la simultaneïtat global de la seva actuació i que són el resultat d'un desplaçament cap al sud del bloc de la Conca de l'Ebre --en relació a la regió estudiada-- segons una direcció pròxima a N-S.

Del càlcul de les possibles variacions del camp d'esforços regional produïts per canvis en la intensitat d'aquest desplaçament es dedueix que aquest mecanisme pot explicar tant la cinemàtica de les macroestructures compressives paleògenes com la cinemàtica de les macroestructures distensives neògenes.

L'orientació de les grans falles de sòcol de la Serralada Ibèrica --NW-SE-- i de la Serralada Costanera Catalana --NE-SW--, conjuntament amb els moviments direccionals que van tenir --dextre i sinistre respectivament--, hem vist que van provocar problemes d'espai en tallar-se a la regió estudiada; la Zona d'Enllaç en seria la conseqüència.

Per un mecanisme similar podrien ser explicades les macroestructures compressives de la major part de la Serralada Ibèrica. Encara que la direcció dominant de les macroestructures compressives és NW-SE, hi ha, també, àrees on les estructures dominants tenen orientacions més properes a N-S (Sierra de Altomira, massissos paleozoics dels voltants d'Albaracín), estructures aproximadament E-W fora de la Zona d'Enllaç (vora nord de la Sierra de los Cameros i de la Demanda i vora nord d'alguns dels massissos paleozoics dels voltants d'Albarracín) i estructures NE-SW a prop del Sistema Central. Aquestes quatre direccions d'estructures són presents a la regió estudiada i es poden explicar com a resultat de la interferència entre les falles de sòcol NE-SW i NW-SE; similarment es podria estendre al marge nordoriental d'Ibèria i suposar que la geometria i la

cinemàtica de les macrostructures compressives de la regió compresa entre els Pirineus i les Bètiques --Conca de l'Ebre, Serralada Ibèrica i Serralada Costanera Catalana-- va ser regida per les grans falles de sòcol NW-SE de la Serralada Ibèrica i les NE-SW que s'estenen des del nord de la Serralada Costanera Catalana fins al golf de València.

Un tal mecanisme seria una conseqüència de la col·lisió entre Africa i Euràsia que produí que Ibèria --i, dins d'ella, la regió estudiada-- quedés entre dues serralades alpines: el Pirineu i les Bètiques.

Tant en els models proposats per TAPPONIER (1977) durant el Terciari com per SANTANACH, SANZ DE GALDEANO i BOUSQUET (1980) i BOUSQUET i PHILIP (1981) pel Neogen i l'actualitat, aquesta col·lisió es fa seguint una directriu aproximadament N-S i dóna lloc a compressions N-S o a extensions E-W que varien entre sí en el temps i en l'espai. Les diverses orientacions i les virgacions que mostren les estructures alpines conseqüència d'aquesta col·lisió són interpretats per TAPPONNIER (1977) com a conseqüència de la incisió produïda a Euràsia per diversos promontoris d'Àfrica o per l'aixafament contra Euràsia d'aquests promontoris.

TAPPONNIER (1977) aplica a la col·lisió Àfrica-Euràsia la teoria del slip-line (comportament rígid-plàstic de la litosfera continental) de TAPPONNIER i MOLNAR (1976) que permet explicar les deformacions a l'interior de les plaques com a conseqüència de les variacions del camp d'esforços al seu interior. TAPPONNIER i MOLNAR (1976) expliquen d'aquesta manera la distribució dels estils tectònics a Àsia, des de l'Himalaia fins a la regió del llac Baikal com a conseqüència de l'atenuació dels esforços produïts per la col·lisió entre l'Índia i Euràsia: grans encavalcaments i fort engruiximent de l'escorça a l'Himalaia (σ_3 vertical), predomini de falles direccionals del Tíbet cap al nord (σ_2 vertical) i falles normals a la regió del llac Baikal (σ_1 vertical).

Aquest model és el que he aplicat --a una escala més petita-- a la regió estudiada i els seus voltants. Els esforços transmesos cap a l'interior d'Ibèria --en quedar entre Àfrica i Europa i deformar-se les dues serralades

alpines que la limiten al nord i al sud-- i la seva variació en l'espai i en el temps pot explicar, com he exposat, les macrostructures compressives i distensives presents a la regió estudiada i la seva variació temporal i espacial. A l'escala del rift terciari del centre i del sudoest d'Europa s'observa clarament una migració de l'inici del desenvolupament de les fosses des de la fossa del Rin (Eocè) a les fosses del sud de França (Oligocè) i a les fosses de l'est de la península ibèrica (Miocè), tal com han observat JULIVERT, FONTBOTE, RIBEIRO et al. (1974), ILLIES (1975) i VEGAS, FONTBOTE i BANDA (1980); aquesta variació seria una conseqüència del mecanisme proposat per TAPPONIER (1977).

Un mecanisme de deformació semblant a l'interior de la Placa Africana ha estat postulat per MATTAUER, TAPPONNIER i PROUST (1977) per l Serralada de l'Atlas marroquí; correspondria a una situació similar a la del norddest d'Ibèria i producte també de la col.lisió Africa-Euràsia.

8 .

CONCLUSIONS

8.1: MACROSTRUCTURES

8.1.1: PERIODE COMPRESSIU

Macrostructures:

1) A la regió estudiada s'hi diferencien tres unitats tectòniques, en les que dominen directrius estructurals diferents: la Serralada Costanera Catalana, la Serralada Ibèrica i la Zona d'Enllaç --al lloc d'interferència entre les dues primeres unitats--.

2) A la Serralada Costanera Catalana:

a) Predominen grans falles de sòcol, d'escala pluriquilomètrica, orientades entre N 070 E al nord i N 030 E al sud. Aquestes falles es disposen esgraonades dextralment.

b) La deformació més important es localitza en bandes estretes al llarg d'aquestes falles i afecta el sòcol hercinià i la cobertura mesozoica. Entre aquestes bandes es troben àrees més extenses i menys deformades.

c) Les falles de sòcol han sofert un moviment direccional sinistre dominant que --en les falles d'orientació més pròxima a N 070 E-- ha anat acompanyat per convergència entre els dos llavis de la falla.

3) A la Serralada Ibèrica:

a) Hi dominen grans falles de sòcol d'escala pluriquilomètrica d'orientació aproximadament NW-SE.

b) Aquesta directriu és, també, la dominant a la cobertura mesozoica, on es manifesta per plecs i encavalcaments.

c) Hi ha altres directrius minoritàries més pròximes a direccions N-S i E-W.

d) El moviment de les falles de sòcol té components vertical invers i direccional dextre.

4) La Zona d'Enllaç es caracteritza per:

a) Un feix frontal d'encavalcaments, d'orientació aproximadament E-W que s'estén des de Portalrubio (a l'oest) fins a Vandellós (al'est).

b) Aquest feix posa en contacte la Zona d'Enllaç amb la Serralada Ibèrica, la Conca de l'Ebre i la Serralada Costanera Catalana.

c) Els encavalcaments, en superfície, afecten només la cobertura mesozoica; el sòcol hercinià no hi aflora.

d) La geomeria en planta del feix d'encavalcaments mostra dues virgacions on les estructures prenen una orientació NE-SW, que es localitzen damunt falles de sòcol NE-SW. En tall formen un sistema d'encavalcaments imbricats.

e) La deformació de la cobertura minva del nord cap al sud, passant a una àrea subtabular.

f) Al sud del feix de Portalrubio-Vandellós també s'hi han format plecs d'orientació NW-SE a la cobertura.

5) Les relacions espacials entre aquestes tres unitats i les seves estructures dominants mostren que:

a) Les virgacions del feix d'encavalcaments de Portalrubio-Vandellós estan clarament relacionades amb les falles de sòcol NE-SW sinistres que dominen a la Serralada Costanera Catalana, i en són conseqüència.

b) Les interferències entre les estructures NW-SE de la Serralada Ibèrica i les E-W de la Zona d'Enllaç mostren que part dels plecs NW-SE són anteriors a les estructures E-W i, posteriorment, ambdues direccions d'estructures es van desenvolupar simultàniament.

c) Per tant, cal una simultaneïtat, almenys parcial, en l'actuació de les tres direccions d'estructures.

Edats de les deformacions

6) De les relacions de les macrostructures compressives amb els materials terciaris es dedueix que:

a) A la Serralada Costanera Catalana la deformació compressiva es va produir des de l'Ilerdià-Cuisià (Eocè inferior) fins a l'Oligocè mitjà, com a mínim. Hi hagué una migració de l'inici de la deformació des del NE cap al SW.

b) Al sector de la Serralada Ibèrica estudiat i a

la Zona d'Enllaç l'edat de l'inici de la deformació és imprecís. Les deformacions més antigues identificades són d'edat oligocena inferior i s'estenen fins a l'Oligocè terminal.

c) En alguns llocs de la Serralada Ibèrica (als voltants de Daroca), el moviment dextre-invers de les falles de sòcol NW-SE va continuar durant l'Aragonià.

d) S'observa, doncs, novament la simultaneïtat en la deformació compressiva a les tres grans unitats estructurals de la regió estudiada.

8.1.2: PERIODE DISTENSIU

Macrostructures

7) Posteriorment a les macrostructures compressives s'hi van desenvolupar les macrostructures distensives que, en bona part, reaprofitaren les falles preexistents, que van jugar amb moviments normals dominants.

8) Com a conseqüència del joc normal de les grans falles de sòcol NE-SW es van formar tot un seguit de fosses litorals que s'estenen al llarg de tota la regió estudiada i es continuen fora d'ella.

9) A l'extrem sud de la regió estudiada (a l'Àrea Meridional) es va produir una extensió de la cobertura mesozoica per falles d'escala hectomètrica a quilomètrica, sense que s'hi formessin fosses similars a les litorals.

Edats de les deformacions

10) En funció de l'edat dels materials que rebleixen les fosses i cubetes neògenes i de la seva relació amb les macrostructures distensives s'observa que, tant les fosses litorals com les cubetes de l'Àrea Meridional es formaren a partir del Miocè inferior (Burdigalià inferior o Aragonià inferior).

8.2: MESOSTRUCTURES

11) A partir de l'estudi de les mesostructures fràgils (estilòlits, esquerdes de tensió i, principalment, falles)

s'obtenen diverses solucions que es poden agrupar de la manera següent:

a) Tensors d'esforços amb σ_1 i σ_3 subhoritzontals i valors de R molt variats. Se'n dedueixen un màxim de dos a cada estació, dels quals un a partir d'una majoria de dades i l'altre només a partir d'una minoria. Els eixos σ_1 de les dues solucions solen formar un angle proper als 90° i majoritàriament s'orienten al voltant de les direccions NE-SW i NW-SE.

b) Tensors d'esforços amb σ_1 subvertical. L'eix σ_3 s'orienta o NW-SE o NE-SW; els valors de R són molt variats i, sovint pròxims a 0.

c) A les estacions on s'ha calculat simultàniament tensors amb σ_1 vertical i horitzontal, l'orientació de σ_3 horitzontal de la solució majoritària amb σ_1 horitzontal i de la solució amb σ_1 vertical coincideixen la gran majoria de les vegades.

d) Els tensors amb σ_1 horitzontal orientat NW-SE només s'han deduït a estacions fetes en materials mesozoics.

e) Els tensors amb σ_1 horitzontal orientat entre N-S i NE-SW i els tensors amb σ_1 vertical també s'han deduït a estacions fetes en materials neògens.

8.3: RELACIONS ENTRE LES MACROSTRUCTURES I LES MESOSTRUCTURES

12) Les mesostructures formades, tant durant la compressió com durant la distensió, ho fan com a conseqüència de les perturbacions produïdes en el camp d'esforços regional per les macrostructures; no són, doncs, conseqüència directa d'una successió en el temps de diferents camps d'esforços regionals homogenis.

8.4: EVOLUCIO DE LA DEFORMACIO

13) Tant les macrostructures compressives com les distensives de la regió estudiada poden ser explicades per les variacions produïdes per un mateix mecanisme a escala del nord-est d'Ibèria: una compressió aproximadament N-S (al voltant de $N 010 E$) resultat de la col·lisió entre Àfrica i Euràsia.

14) Les possibilitats de variacions en la intensitat de l'esforç màxim horitzontal creat a l'interior d'Ibèria com a

conseqüència de la col·lisió (amb σ_1 o σ_2 orientats al voltant de N 010 E) poden explicar:

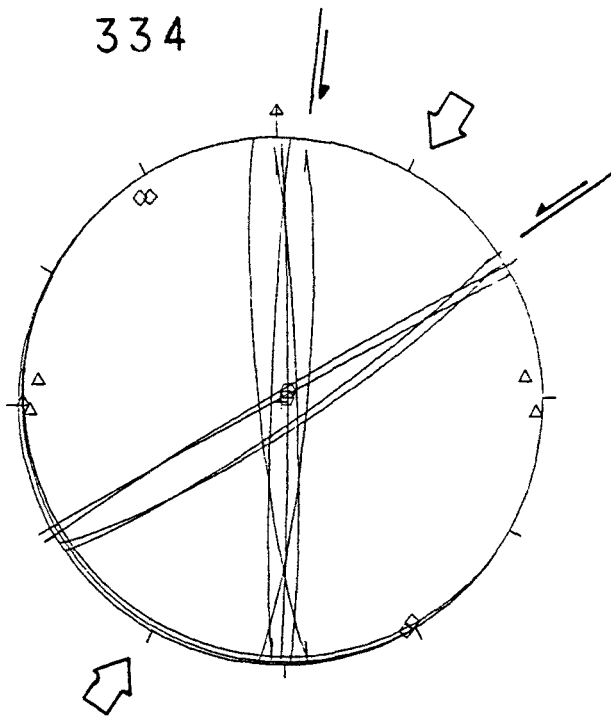
- els moviments direccionals o inversos soferts per les grans falles durant la compressió,
- els moviments predominantment normals que tingueren durant la distensió,
- el pas d'un tipus de moviment a l'altre i, per tant, el pas de la compressió a la distensió,
- les variacions espacials i temporals en els moviments de les falles principals.

APENDIX I

INTRODUCCIO

El model clàssic sobre la relació entre el camp d'esforços i l'orientació i el moviment de les falles que s'hi formen fou proposat per ANDERSON (1951). Aquest autor va suposar que les falles es troben en un mitjà homogeni i que l'eix principal intermedi de l'el.lipsoide d'esforços (σ_2) no té influència en l'orientació de la falla ni en el seu moviment; l'orientació del pla de falla ve determinada pel coeficient de fricció interna de la roca i la direcció de desplaçament resta continguda en el pla σ_1 - σ_3 . Aquest autor va suposar també que en la majoria dels casos un dels eixos era pròxim de la vertical i els altres dos aproximadament horitzontals; d'aquesta manera poden definir-se tres tipus de camps d'esforços, en funció de les orientacions dels eixos d'esforços principals, que corresponen als tres tipus de falles: normals -amb σ_1 vertical-, direccionals -amb σ_2 vertical- i inverses -amb σ_3 vertical-. Les falles que no corresponen a cap d'aquests tres casos -falles amb moviments mixtos- serien el resultat de camps d'esforços basculats.

L'existència de falles amb moviment mixt en una proporció no menyspreable fou el que portà BOTT (1959) a buscar una explicació diferent de les donades fins llavors -camps d'esforços basculats o preexistència dels plans de falla-. Va mostrar com el moviment inicial sobre un pla de falla sotmés a un camp d'esforços no és només el resultat de l'orientació relativa del pla de falla respecte al camp d'esforços, sinó que "per un camp d'esforços d'una orientació donada s'observa que el moviment inicial sobre un pla pot produir-se en qualsevol direcció, que depèn dels valors relatius dels tres eixos principals d'esforços". Va trobar una expressió que relaciona l'orientació d'un moviment sobre un pla de fractura en funció de la relació



- △ D:5
- ◇ S:4
- E:2

FIGURA A. 1:

Exemple d'aplicació del mètode del díedre mínim d'ARTHAUD i CHOUKROUNE (1972), aplicable a falles direccionals conjugades. Els símbols dels pols dels plans són els mateixos que a la FIG. A.6-2. Explicació en el text.

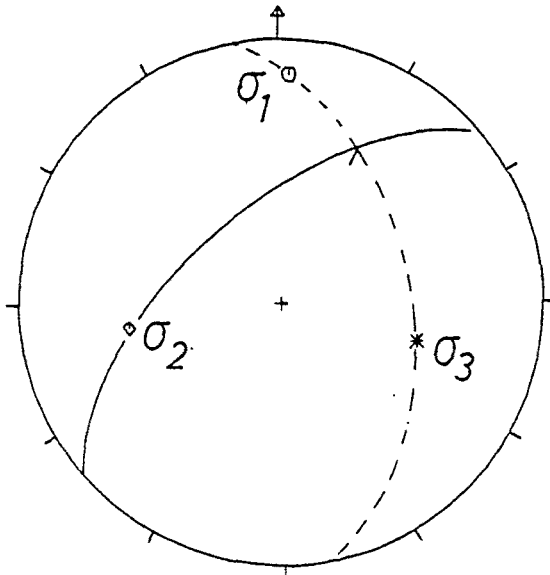


FIGURA A. 2:

Posició dels tres eixos d'esforços (aplicant-hi el model d'ANDERSON, 1951) respecte a una falla que conté una estria. Aquesta construcció és la que usa el mètode dels esforços òptims d'ETCHECOPAR (1984). La ciclogràfica contínua correspon al pla de falla. Explicació en el text.

entre els eixos d'esforços:

$$\tan \theta = \frac{n}{lm} \left\{ m^2 - (1-n^2) \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\sigma_y - \sigma_x} \right\}$$

on l , m i n són els cosinus directors del pla de fractura respecte d'uns eixos de coordenades paral·lels als eixos d'esforços.

Aquest autor va plantejar el problema d'una manera directa, és a dir, donat un camp d'esforços calcular l'orientació del moviment --l'estria-- sobre un pla donat. El problema important en geologia estructural és l'invers, o sigui, que a partir de diversos plans de falla estriats deduir-ne el camp d'esforços que els ha formats.

En aquest darrer sentit s'han proposat diversos mètodes. Alguns d'ells senzills, que es realitzen mitjançant projeccions estereogràfiques: ARTHAUD (1969), ARTHAUD i CHOUKROUNE (1972), ANGELIER i MECHLER (1977), ARMIJO ((1977) i ETCHECOPAR (1984). D'altres mètodes més sofisticats es duen a terme mitjançant càlculs numèrics, majoritàriament a partir del model proposat per BOTT (1959). El primer fou publicat per CAREY i BRUNIER (1974), seguit per CAREY (1976 i 1979), ARMIJO i CISTERNAS (1978), ANGELIER i GOGUEL (1979), ANGELIER i MANOUSSIS (1980), ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981), ARMIJO, CAREY i CISTERNAS (1982), ANGELIER et al. (1982) i ETCHECOPAR (1984).

Aquests mètodes busquen de trobar un tensor en el qual, per una població de falles donada, el sumatori de les separacions entre les **estries reals** --observades al camp sobre diferents plans-- i l'orientació de l'esforç tangencial calculat per cada pla --**estria calculada**-- sigui mínim. Això ho duen a terme de maneres diverses i fent servir diferents sistemes de minimització.

Els mètodes que he fet servir en aquest treball són: els del **diedre mínim** (ARTHAUD i CHOUKROUNE, 1972) i dels **esforços òptims** (ETCHECOPAR, 1984), entre els mètodes estereogràfics senzills i el **mètode** desenvolupat per ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981) i ETCHECOPAR (1984), entre els mètodes basats en càlculs numèrics. A més d'aquests tres mètodes, que he aplicat d'una manera gairebé

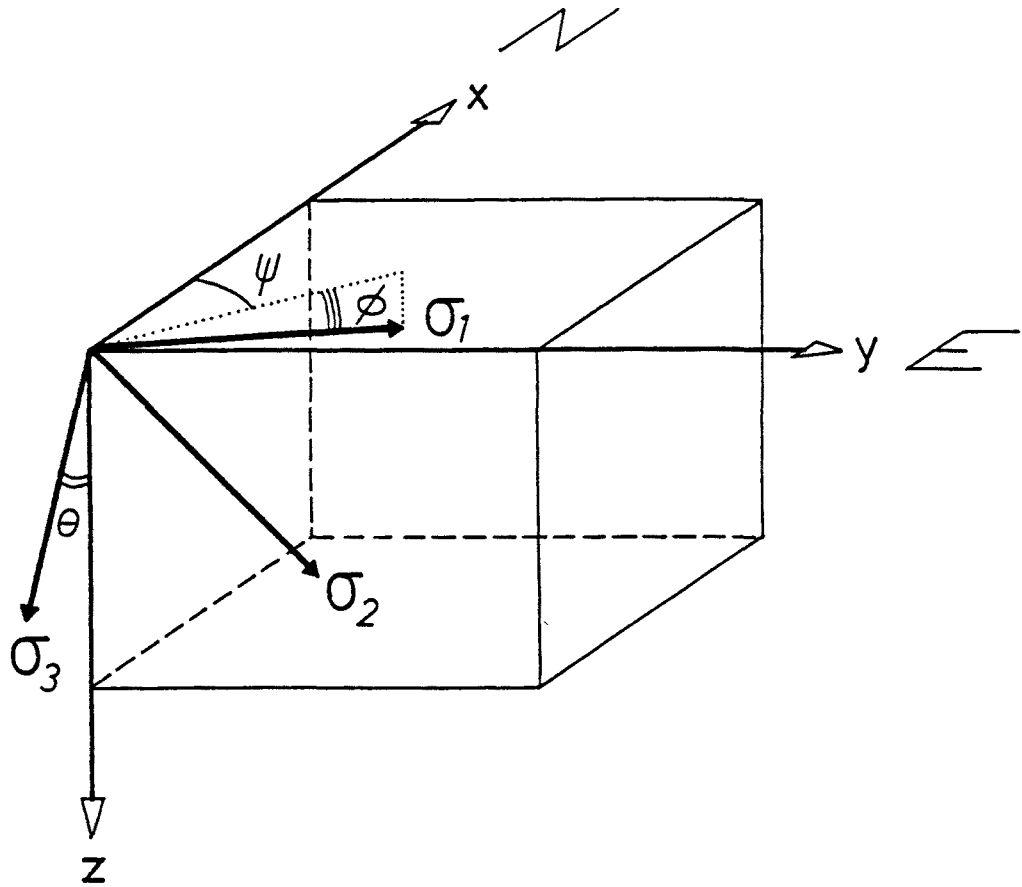


FIGURA A.3:

Utilització dels angles d'Euler per la localització en l'espai dels tres eixos principals del tensor d'esforços trobat pel mètode d'ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981). Modificat d'ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981). Explicació en el text.

general, he fet servir, en alguns casos particulars, dos altres mètodes (ARMIJO, 1977 i ETCHECOPAR, 1984) que permeten calcular --per cada falla individualment-- l'orientació de l'estria a partir d'un tensor d'esforços donat.

Mètode del díedre mínim.

Proposat per ARTHAUD i CHOUKROUNE (1972) pel cas de falles direccionals subverticals amb un moviment amb una component vertical menyspreable. Permet determinar l'angle més agut possible entre les falles dextres i sinistres, la bisectriu del qual és la direcció d'escurçament Z (FIG. A.1). No és aplicable a falles que tinguin un desplaçament amb una component vertical marcada. Exemples de la seva aplicació són les estacions 3 i 117 --en el cas d'una sola solució-- i 110 --en el cas de dues solucions--.

Mètode dels esforços òptims.

Aquest mètode, proposat per ETCHECOPAR (1984), suposa --com en el model d'Anderson-- que, per cada falla, l'orientació dels eixos del camp d'esforços òptim que l'explica és tal que (FIG. A.2) σ_2 es troba contingut en el pla de falla perpendicularment a l'estria, mentre σ_1 i σ_3 es troben continguts en el pla perpendicular al pla de falla que conté l'estria --pla de moviment (M) d'ARTHAUD (1969)--. L'angle que fan aquests dos eixos últims amb el pla de falla depén del material i de la pressió de confinament; pot establir-se a partir de l'observació dels plans conjugats: la meitat d'aquest angle díedre serà el que farà σ_1 amb el pla de falla. En la pràctica suposaré que aquest angle és de 30° i, en alguns casos de 45° o de 60° --en el cas de fractures preexistents--.

Es un mètode senzill directament aplicable al cas de poblacions "monofàsiques" (estacions 42 i 56). En el cas de superposicions de deformacions (estacions 12 i 123) o de canvis progressius entre dos camps d'esforços (estacions 91 i 122) dóna, sovint, una idea global de les distribucions de les solucions. No té en compte, en principi, la relació entre els valors relatius dels tres eixos principals d'esforç; a partir, però de les variacions de la distribució

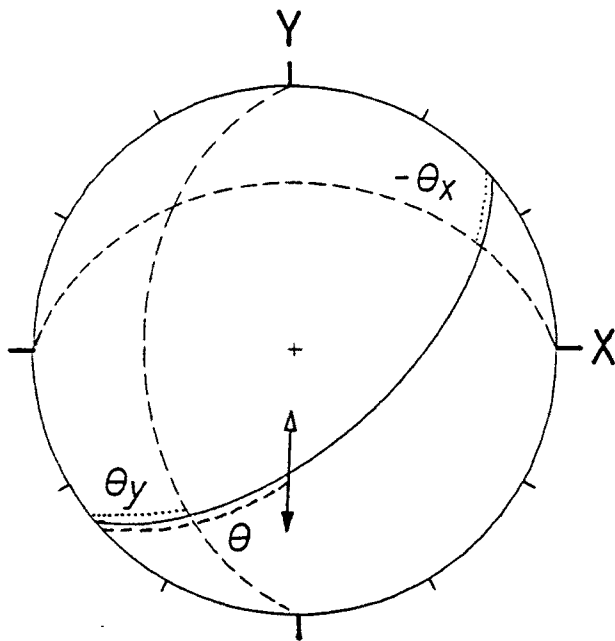
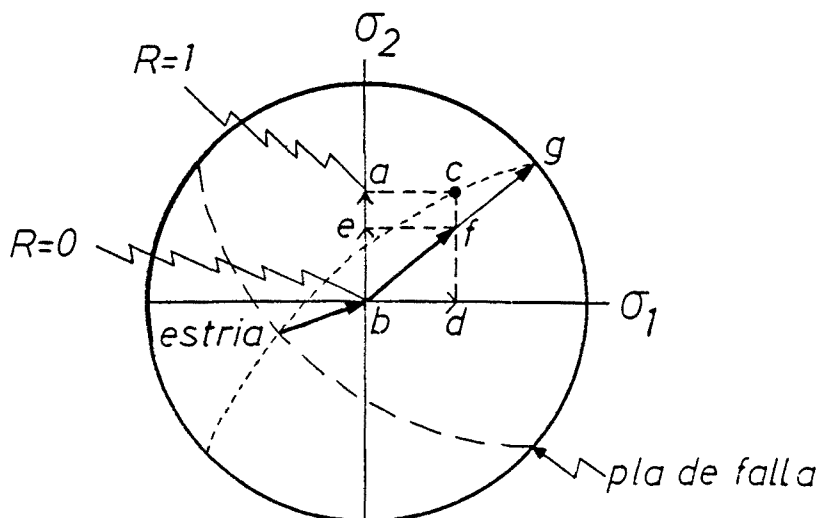


FIGURA A.4:

Construcció estereogràfica per calcular els angles θ_x i θ_y segons el mètode gràfic d'ARMIJO (1977). Modificat d'ARMIJO (1977). Explicació en el text.

FIGURA A.5:

Construcció estereogràfica (ETHECOPAR, 1984) que relaciona una falla que conté una estria, una orientació donada dels tres eixos principals d'un tensor d'esforç i la relació R que han de tenir les magnituds relatives d'aquests tres eixos per explicar la formació de l'estria sobre el pla de falla. Modificat d'ETHECOPAR (1984). Explicació en el text.



dels eixos òptims se'n pot, en alguns casos, tenir una idea (estació 125). Un bon exemple de coincidència entre les orientacions dels eixos de les diverses solucions obtingudes pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) i la distribució dels eixos d'esforç òptims de les falles incloses en cadascuna d'aquestes solucions el trobem a l'estació 123: a partir de l'observació dels estereogrames dels esforços òptims per cada solució i la seva comparació amb el mateix estereograma per totes les falles de l'estació, es veu que, a partir d'aquest últim, pot deduir-se una evolució semblant a la trobada mitjançant el mètode d'ETCHECOPAT et al. (1981), amb orientacions coincidents dels tres eixos principals, sense poder, però, calcular el valor de la relació entre els valors relatius d'aquests tres eixos.

Mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981).

Aquest mètode, desenvolupat per ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981) i perfeccionat per ETCHECOPAR (1984), es proposa trobar el millor tensor que expliqui la totalitat d'una població de falles --en el cas de **poblacions monofàsiques**-- o d'un percentatge predeterminat --en el cas de **poblacions polifàsiques**--.

El percentatge de falles sobre el total de la població d'una estació s'estableix assajant-ne diversos i escollint el que dona un resultat millor; en el cas de poblacions monofàsiques aquest percentatge és, lògicament, del 100 %. Aquesta manera de procedir es basa en l'assumpció que, en una estació de mesures de falles, si n plans estriats sobre N són cogenètics, existeix un tensor T en què el sumatori de les separacions entre les estries reals i les calculades és menor que si els n plans estriats pertanyessin a fases diferents (ETCHECOPAR, 1984).

L'orientació dels tres eixos principals es determina mitjançant els angles d'Euler (U, θ, ϕ ; FIG. A.3), que donen les tres rotacions necessàries per situar-los respecte d'un sistema de coordenades que coincideix amb el geogràfic. La "forma" de l'el.lipsoide ve donada per la relació:

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

FIGURA A. 6:

Presentació dels resultats de l'aplicació dels mètodes estereogràfics senzills a les dades recollides a les estacions de mesura de mesostructures.

1: Projecció estereogràfica (Schmidt) dels plans de les falles mesurades (ciclogràfica i pol) i de les estries contingudes. A la part externa de la circumferència de projecció hi ha representat el/s díedre/s mínim/s compressiu/s de les falles direccionals conjugades.

2: Símbols dels pols dels plans de l'estereograma 1. N: falla normal (pitch de l'estria sobre el pla de falla igual o superior a 45°); I: falla inversa (pitch igual o superior a 45°); D: falla dextra (pitch inferior a 45°); S: falla sinistra (pitch inferior a 45°); E: pla d'estratificació. La xifra que hi ha a continuació de cada símbol indica el nombre de dades de cada tipus.

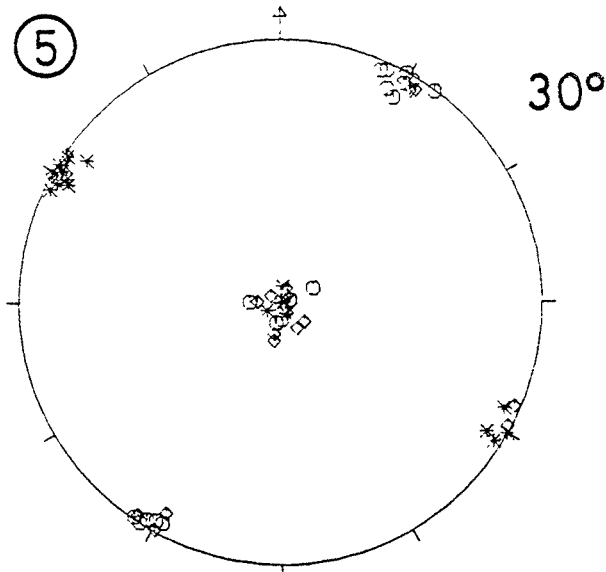
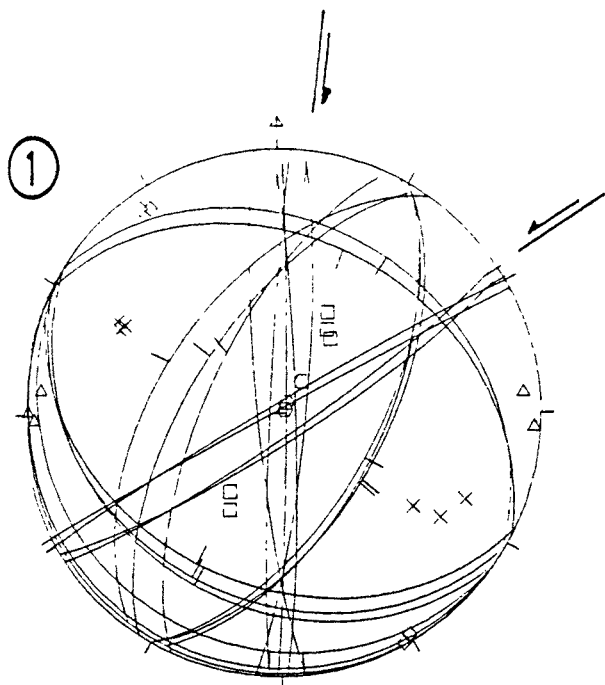
3: Projecció estereogràfica (Schmidt) dels pols dels plans d'esquerdes de tensió i pics estilolítics.

4: Símbols dels pols dels plans de l'estereograma 3. A: pols dels plans de les esquerdes de tensió que al camp no s'ha observat com es disposaven esgraonadament. B: pols dels plans d'esquerdes de tensió esgraonades indicant una direcció d'escurçament horitzontal. C: pols dels plans d'esquerdes de tensió esgraonades indicant una direcció d'escurçament vertical. F: pics estilolítics. E: pols dels plans d'estratificació. La xifra que es troba a continuació de cada símbol indica el nombre de dades de cada tipus.

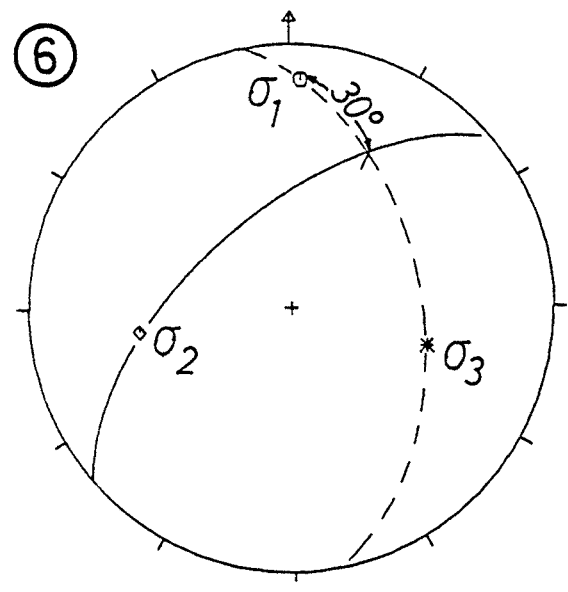
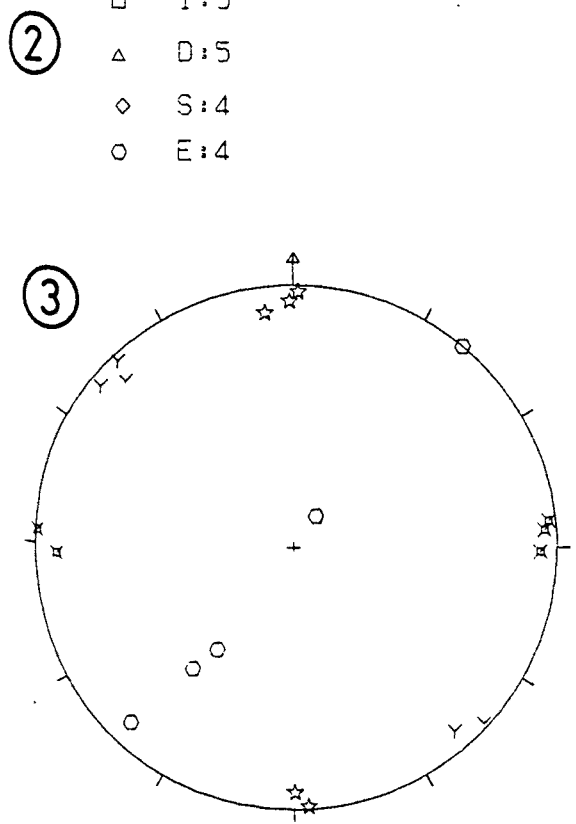
5: Estereograma (Schmidt) dels eixos d'esforç òptim de les falles de 1, calculats tal com s'indica a la FIG. A.2. La xifra que es troba al costat indica quin és l'angle usat per fer-ne el càlcul (30° , 45° o 60°); en el cas que no hi hagi cap xifra, se sobreentèn que aquest angle és de 30° .

6: Estereograma que mostra la construcció a fer per trobar els eixos d'esforços òptims de 5. La ciclogràfica contínua correspon al pla de falla.

La mida i el color de les fletxes dels estereogrames 1 i 5 només serveixen per diferenciar les diverses solucions obtingudes en cada estació; fletxes iguals en estacions diferents no tenen el mateix significat.



- × N:6
- I:5
- △ D:5
- ◇ S:4
- E:4



- E:5
- △ A:5
- ☆ B:5
- < C:5

④

en la que valors propers a 1 indiquen $\sigma_1 \approx \sigma_2$, valors propers a 0 indiquen $\sigma_2 \approx \sigma_3$, mentre que valors al voltant de 0.5 indiquen magnituds ben diferents dels tres esforços principals. Aquests quatre paràmetres (U, θ, ϕ, R) són els que serveixen per definir el tensor.

La tria del tensor inicial es fa mitjançant el tiratge a l'atzar d'un gran nombre de tensors -normalment 100-, és a dir, de grups de les quatre variables esmentades dins el camp de variació de cadascuna d'elles; d'aquests es tria el que millor explica el percentatge de falles predeterminat. En el cas que aquest percentatge sigui inferior al 100 %, es calculen --per cada tensor-- primer les separacions en tots els plans estriats, després es trien les n separacions més petites en funció del percentatge i , finalment, es procedeix al càlcul del sumatori d'aquestes separacions. Un cop arribats a aquest punt es fa la tria del tensor inicial i , a continuació, es procedeix a la seva optimització.

La manera pràctica de procedir és fer diverses proves amb diferents percentatges, bé amb tots els paràmetres ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ i R) a l'atzar o bé imposant-ne algú a partir de les observacions fetes al camp (cabussament de les capes, estilòlits, esquerdes de tensió o falles conjugades). Només pot acceptar-se una solució com a bona quan 1) s'obtenen repetidament solucions semblants, 2) no inclou falles en què la separació entre l'estria real i la calculada sigui massa gran (en general no més gran de 0.4 radians) i c) no sigui incompatible amb observacions de camp (no inclogui dades que al camp s'ha observat que són d'edats diferents). Un cop escollida la solució, de la població total de falles se'n separen les falles incloses en ella i es torna a començar el mateix procés. Poden obtenir-se --en les separacions successives-- diverses solucions semblants que es poden assimilar al mateix període de deformació o a petites variacions del camp d'esforços dins el mateix període. La cronologia entre les diverses solucions obtingudes s'ha d'establir a partir de les observacions de camp (cronologia relativa entre les falles incloses en solucions diferents o entre altres estructures com estilòlits o esquerdes de tensió).

Mètodes estereogràfics d'Armijo i d'Etchécopar.

Aquests dos mètodes permeten, a partir d'un pla de falla i de l'orientació dels tres eixos principals donats, trobar l'estria --amb un valor de R donat-- o el valor de R --amb una estria donada--.

El mètode d'ARMIJO (1977) es basa en la fórmula de BOTT (1959). Suposa que, sovint, un camp d'esforços té dos eixos horitzontals i un de vertical; anomena els dos primers X (eix de màxima tensió o de mínima compressió horitzontal) i Y (eix de màxima compressió o de mínima tensió horitzontal). A partir de la fórmula de BOTT (1959) obté la relació següent entre els eixos d'esforç:

$$R_A = \frac{\tan \theta - \tan \theta_Y}{\tan \theta_X - \tan \theta_Y}$$

on θ és el pitch de l'estria sobre el pla de falla i θ_X i θ_Y uns angles obtinguts a partir de la intersecció entre el pla de falla i els plans perpendiculars a aquest que contenen els eixos X i Y, respectivament, tal com el mostra a la FIG. A.4. R_A pot variar entre $+\infty$ i $-\infty$. Aquest mètode només és aplicable en els casos en què hi hagi un eix vertical i els altres dos horitzontals.

Aquest valor R_A indica la forma de l'el·lipsoide i quins dels eixos principals són horitzontals i quin és vertical. Per valors de $R_A > 1$ σ_2 i σ_3 són horitzontals; quan $0 < R_A < 1$, σ_1 i σ_3 són horitzontals; quan $R_A < 0$ són σ_1 i σ_2 els horitzontals. En els casos particulars en què $R_A = 1$ i $R_A = 0$ trobem $\sigma_1 = \sigma_2$ amb σ_3 horitzontal i $\sigma_2 = \sigma_3$ amb σ_1 horitzontal, respectivament; aquests dos casos són el límit entre els tres tipus de camps d'esforços anteriors.

ETCHECOPAR (1984) fa també una construcció senzilla que pot aplicar-se també en els casos en què es tinguin camps d'esforços amb eixos inclinats. Per simplificar la construcció analitza el cas en què hi ha σ_3 vertical, σ_2 en posició N-S i σ_1 en posició E-W; Demostra que (FIG. A.5) la projecció del pol del pla de falla sobre la direcció de σ_2 (segment ab) és el marge de variació de R (R=1 al punt a i R=0 al punt b); si es pren un valor de R=0.6 (punt e), la

FIGURA A. 7:

Representació dels resultats obtinguts pel mètode d'ETCHECOPAR, VASSEUR i DAIGNIERES (1981), per cada tensor.

A: Estereograma (Schmidt) dels tres eixos principals del tensor d'esforços calculat (punts gruixuts: 1: σ_1 , 2: σ_2 i 3: σ_3). Els punts més fins indiquen la variació que cal fer en l'orientació dels tres eixos del tensor per fer coincidir, per cada pla estriat tingut en compte en la solució, l'estria real amb l'estria calculada.

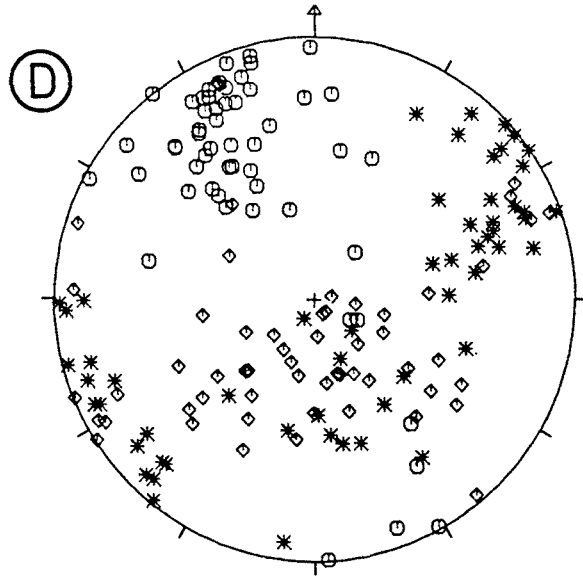
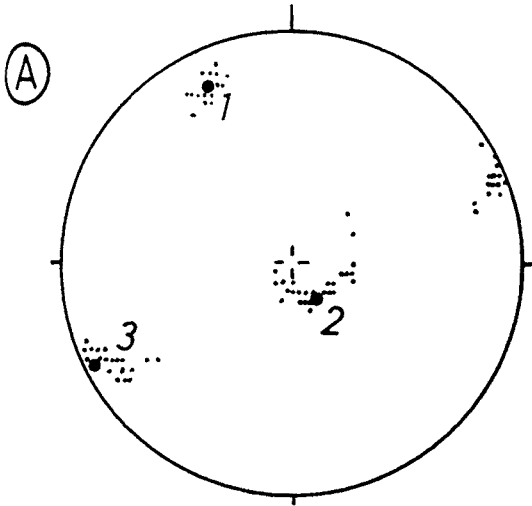
B: Cercle de Mohr del tensor trobat sobre el que s'indica la situació dels plans de falla tinguts en compte en la solució. Damunt del cercle està indicat el valor de R.

C: Histograma de les separacions angulars entre l'estria observada sobre cada pla de falla i la que hauria de tenir --estria calculada-- en funció del tensor trobat. En ordenades hi ha representat el nombre de dades i en abcisses les separacions angulars en radians. En negre es representen les dades tingudes en compte --incloses-- en la solució trobada i en blanc les no incloses. En el cas que hi hagi sobre un pla de falla estries amb sentit de moviment indefinit, si un dels dos moviments possibles és inclòs en la solució, la posició de l'altre sobre l'estereograma ve indicada per un ratllat oblic. A la part superior de l'estereograma s'indica el nombre de falles incloses en la solució i el percentatge que representen del total de falles mesurades a l'estació.

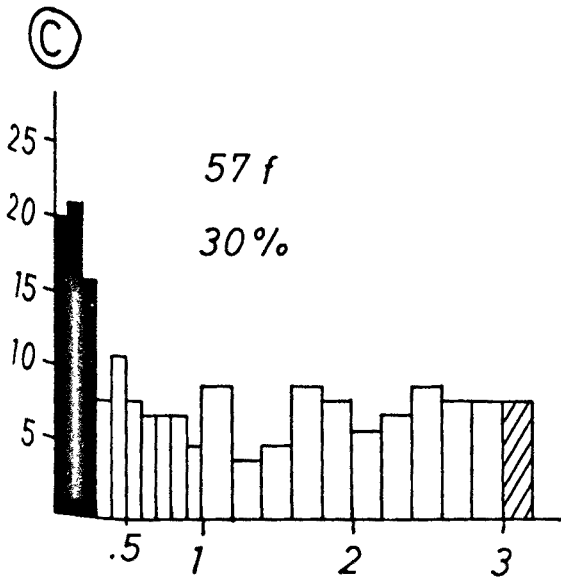
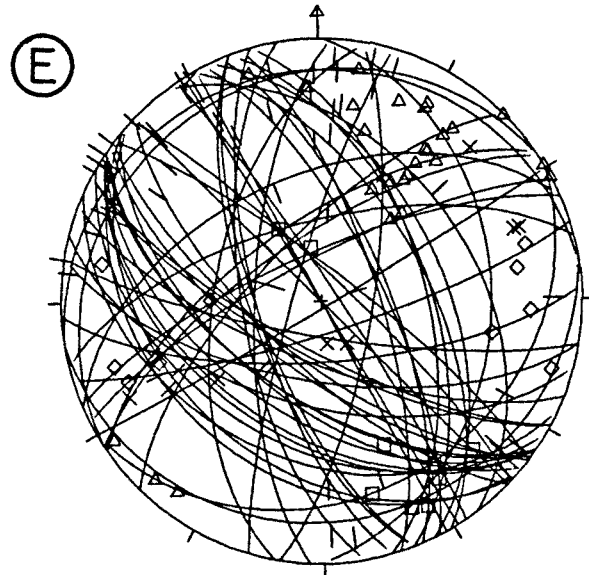
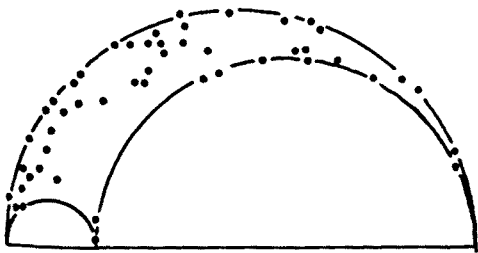
D: Aplicació del mètode dels esforços òptims (ETCHECOPAR, 1984) a les falles incloses en la solució.

E: Projecció estereogràfica (Schmidt) de les falles incloses en la solució i de les estries corresponents.

F: Símbols del pols dels plans de l'estereograma E (vegeu la FIG. A.6-2 per la seva explicació) i nombre de dades de cada tipus.



(B) $R=0.21$



(F) \times N:10
 \square I:9
 \triangle D:26
 \diamond S:11

seva projecció sobre cd --que al seu torn és la línia de projecció del pol del pla de falla sobre la direcció de σ_1 -- ens dóna el punt f , unint aquest punt amb el centre de la projecció i prolongant-lo fins que talli el pla equatorial, s'obté el punt g ; al lloc on la ciclogràfica que conté els punts g i c --pol del pla de falla-- talla la ciclogràfica del pla de falla, se situa l'estria. Per fer servir aquest mètode amb camps d'esforços amb qualsevol altra orientació, cal primer fer una rotació de totes les dades fins a la posició esmentada i, després de feta la construcció, desfer la rotació inicial.

Presentació dels resultats. (FIGS. A.6 i A.7).

De totes les estacions descrites dono la projecció estereogràfica de les estructures mesurades, falles (FIG. A.6-1 i 2) o esquerdes de tensió i estilòlits (FIG. A.6-3 i 4). La disposició de l'estratificació està representada normalment a la FIG. A.6-3 i, algunes vegades, a la FIG. A.6-1; en el cas de no estar representada en cap d'aquests dos diagrames, en dono la disposició al principi del comentari de l'estació. A totes les estacions en les quals he mesurat falles, dono el resultat de l'aplicació del mètode dels esforços òptims d'ETCHECOPAR (1984) (FIG. A.6-5); en el cas que hi hagin falles direccionals conjugades, he aplicat el mètode del díedre mínim d'ARTHAUD i CHOUKROUNE (1972) (FIG. A.6-1).

En el cas de les estacions en què he aplicat el mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981), la representació dels resultats és la següent (FIG. A.7):

Del tensor trobat es dóna l'orientació dels seus eixos principals (FIG. A.7-A) i el valor de R (FIG. A.7-B) que --com ja hem vist-- ens dóna la "forma" de l'el·lipsoide d'esforços.

A continuació l'histograma de les separacions angulars --en radians-- entre les estries reals i les calculades per cada falla en funció del tensor trobat (FIG. A.7-C).

En tercer lloc es dóna la situació dels plans de falla inclosos en la solució sobre el cercle de Mohr que correspon al tensor trobat (FIG. A.7-B). Aquesta representació dóna un idea de l'orientació dels plans de falla respecte el camp

d'esforços calculat, i permet distingir aquells plans que s'han pogut formar sota aquest camp d'esforços, dels que no s'hi han pogut formar. Quan les observacions de camp indiquin que aquests darrers són preexistents, pot acceptar-se la solució obtinguda, sinó s'ha de rebutjar.

Finalment s'obté una projecció sobre un diagrama de Schmidt de les variacions que cal fer a l'orientació dels tres eixos principals del tensor calculat per fer coincidir, per cada pla estriat, l'estria real amb l'estria calculada (FIG. A.7-A). Això ajuda a fer un control més acurat del grau de separació de les dades reals respecte al tensor mitjà obtingut.

Finalment dono el resultat de l'aplicació del mètode dels esforços òptims a les falles incloses en cada solució (FIG. A.7-D) i la projecció estereogràfica d'aquestes falles (FIG. A.7-E i F).

Aquesta representació és per cadascun dels tensors solució trobats i, en el cas que siguin més d'un, exposo a continuació la representació dels altres.

Una presentació completa de tots els resultats tal com acabo de descriure, només ho he fet en alguns casos seleccionats, bé pel nombre de dades (estació 123) o per l'interès dels resultats obtinguts (estació 122). En la majoria dels casos només presento l'estereograma de l'orientació dels tres eixos, el valor de R i l'histograma de les separacions entre les estries reals i les calculades. En alguns casos particulars dono, també, la projecció estereogràfica de les falles incloses en cada solució.

Precisions sobre la recollida de dades i els criteris sobre la seva interpretació.

A l'hora de la recollida de dades he fet servir els criteris següents:

- a) **Estilòlits:** només he mesurats aquells de pics ben desenvolupats, claraments distingibles al camp a simple vista i amb els pics perpendiculars als plans estilolítics.
- b) **Esquerdes de tensió:** he mesurades aquelles de secció

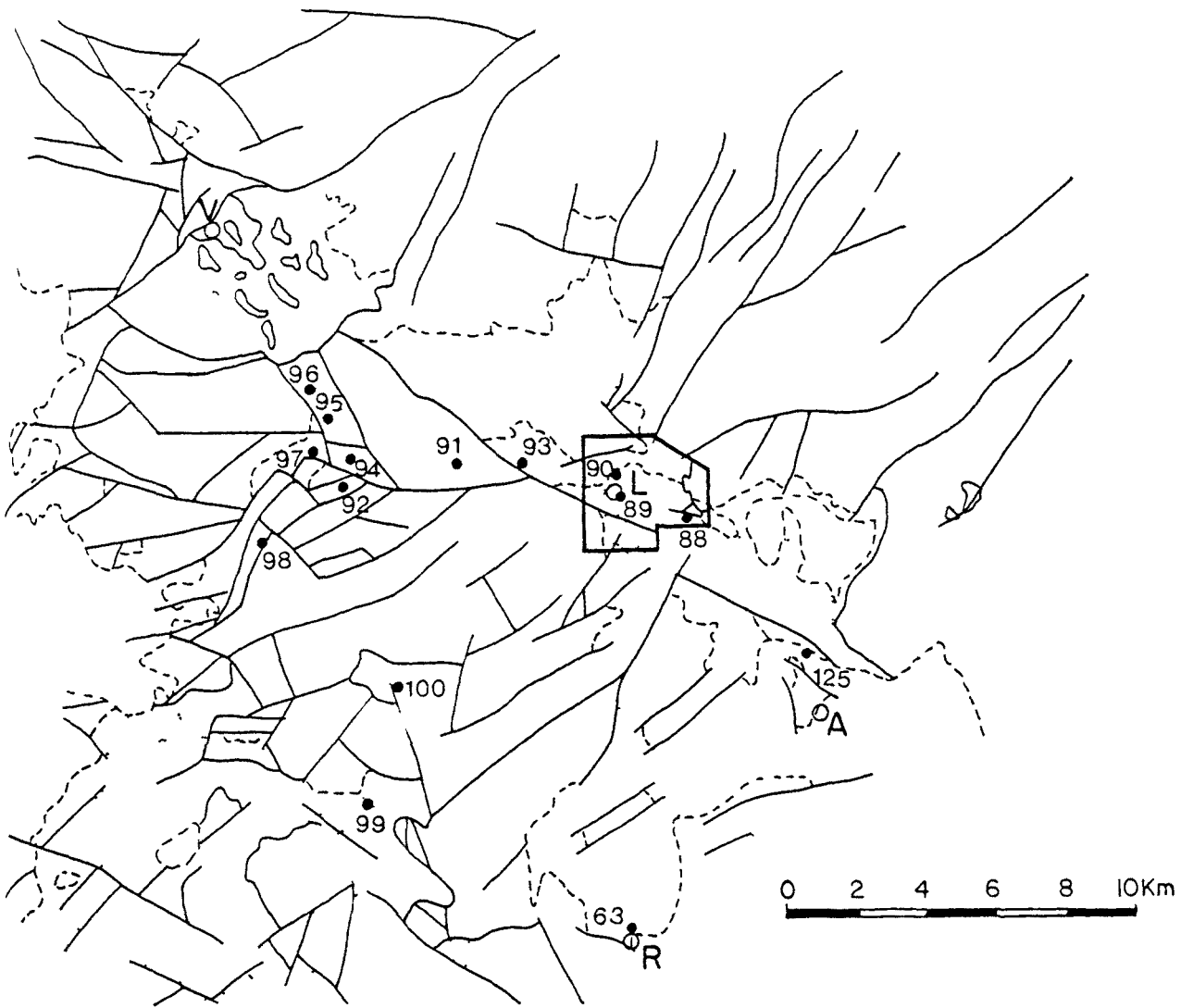
FIGURA A. 8:

Localització de les estacions de mesures de mesostructures a l'àrea estudiada; només hi ha numerades les estacions a què es fa referència i que són descrites en aquest treball. El polígon situat a la part sud indica la localització del mapa de la FIG. A.9.



FIGURA A.9:

Localització de les estacions de mesures de mesostructures de l'àrea compresa entre Zucaïna, Lluçena i Ribesalbes (Àrea Meridional). Per la seva localització vegeu el mapa de la FIG. A.8. Per la llegenda, vegeu la FIG. 4.37.



- QUATERNARI
- NEOGEN
- CRETACI
- BASE DE LA FACIES WEALD
- JURÀSSIC
- KEUPER
- MUSCHELKALK
- BUNTSANDSTEIN

- CONTÀCTE NORMAL
- CONTACTE DISCORDANT
- FALLA
- 95 Situació de les estacions de fracturació a petita escala
- A - L'ALCORA
- L - LLUCENA
- R - RIBESALBES
- V - VILLAHERMOSA

lenticular, en què he observat en com s'esgraonaven, com a mínim segons una família.

c) **Falles:** he tingut en compte en tot cas l'escala de la falla (decimètrica, mètrica, decamètrica, hectomètrica o quilomètrica). En el cas que les estries indiquessin moviments diferents, només ho he tingut en compte quan les diverses estries tenien orientacions diferents; no he tingut en compte la dada quan aparentment mostraven moviments totalment oposats però coincidint totalment les dues estries dels dos possibles moviments.

Per totes les dades he tingut en compte quina era la disposició de l'estratificació.

En el moment de la **interpretació de les dades**, només he tingut en compte les solucions que complissin les condicions següents:

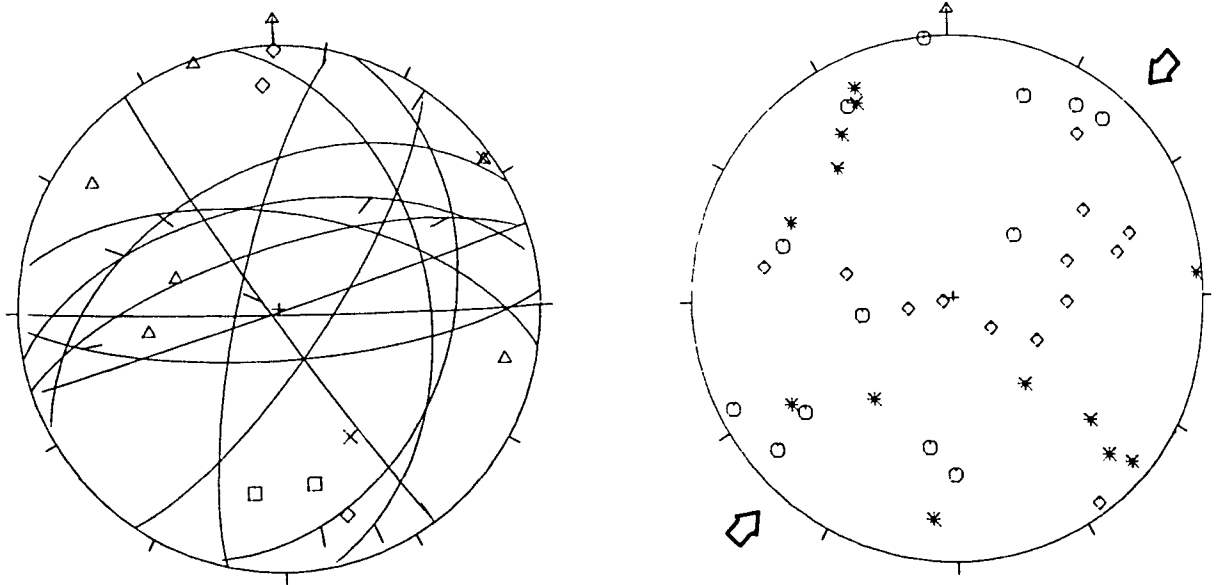
a) En el cas dels **mètodes estereogràfics** (díedre mínim, esforços òptims i estilòlits i esquerdes de tensió), quan incloïen un mínim de 6 dades.

b) Amb el mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981), el nombre mínim de dades per solució obtinguda és de 6 o 7 en alguns casos; en la majoria dels casos és més elevat.

c) A partir de les falles, no he acceptat les solucions que només incloguessin falles d'una mateixa família --totes d'orientació similar-- per considerar que són infinits els tensors d'esforços que les poden explicar. En el cas de solucions diferents en una mateixa estació, només les he acceptades quan incloïen, respectivament, estries diferents sobre els mateixos plans de falla o sobre falles d'orientació similar.

En cada cas he remarcat la presència de dades no incloses en les solucions que complien les condicions anteriors però presents en un nombre inferior a 6; he exposat la seva possible interpretació segons mètodes senzills, amb la finalitat de poder comparar els meus resultats amb els d'altres autors que sí que les han tingut en compte a l'hora de fer les seves interpretacions.

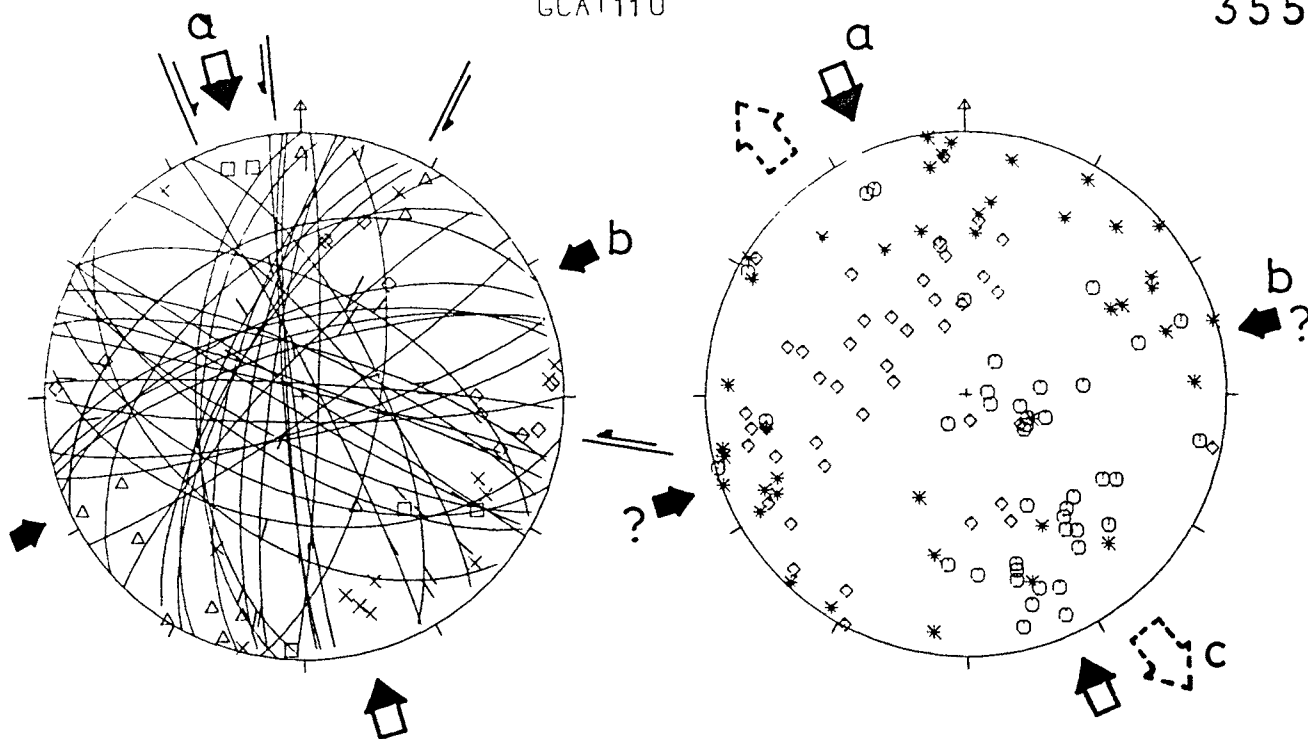
SERRALADA
COSTANERA
CATALANA



- × N:2
- I.2
- △ D.6
- ◇ S.3

GARRAF: FALLES HECTOMETRIQUES A QUILOMETRIQUES

A partir d'aquestes 13 dades de falles d'escala hectomètrica a quilomètrica recollides a les 12 estacions fetes al massís de Garraf (GUIMERA, 1978), l'única solució coherent amb diverses falles és la que indica σ_1 i σ_3 subhoritzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament.



x N:14

□ I:5

△ O:12

◇ S:11

ESTACIO GCAT110: Pedrera a Sant Pere de Ribes. Calcàries del Cretaci inferior, estratificació subhoritzontal.

Es dedueixen tres solucions a partir d'estries que indiquen moviments ben diferents o, fins i tot, oposats sobre el mateix pla de falla o en plans d'orientació similar:

a) Solució majoritària, amb σ_1 i σ_3 subhoritzontals i orientats NNW-SSE i ENE-WSW, respectivament. La fletxa del diagrama indica la mitjana de l'eix σ_1 òptim per cada falla; també hi ha marcat l'angle mínim entre les falles dextres i sinistres incloses en la solució.

b) Solució minoritària amb σ_1 i σ_3 subhoritzontals i orientats ENE-WSW i NNW-SSE, respectivament. Com en la solució anterior, he marcat la mitjana dels σ_1 òptims i el díedre mínim. Es pot deduir a partir de 5 o 6 dades.

c) Solució amb σ_1 subvertical, que inclou 11 falles normals. Els σ_3 i σ_2 corresponents es dispersen en totes direccions, això indica una extensió horitzontal en totes direccions i impossibilita, per aquest mètode, la localització d'aquests dos eixos.

Les relacions temporals entre les solucions a) i b) resten indefinides, però la c) és posterior a la b), tal com es dedueix de la superposició d'estries que indiquen un moviment normal damunt d'estries que n'indiquen un de sinistre sobre plans de falla orientats E-W.

ESTACIO GCAT112: Zona de fractura de Garraf. Calcàries i margues del Cretaci inferior; estratificació subhoritzontal (vegeu la FIG. 4.8).

Gran predomini de les falles direccionals, gairebé totes compatibles amb la mateixa solució. Hi ha, però, dos casos de falles direccionals dextres E-W, mentre tota la resta de falles d'aquesta orientació són sinistres; en un dels casos he pogut observar tots dos moviments sobre el mateix pla de falla i les mesures són:

089 , 86 S / 38 E (dextra-inversa).
093 , 85 S / 48 W (inversa-sinistra).

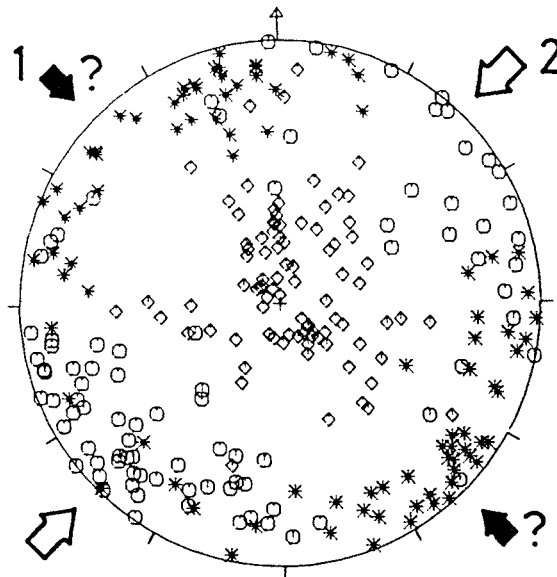
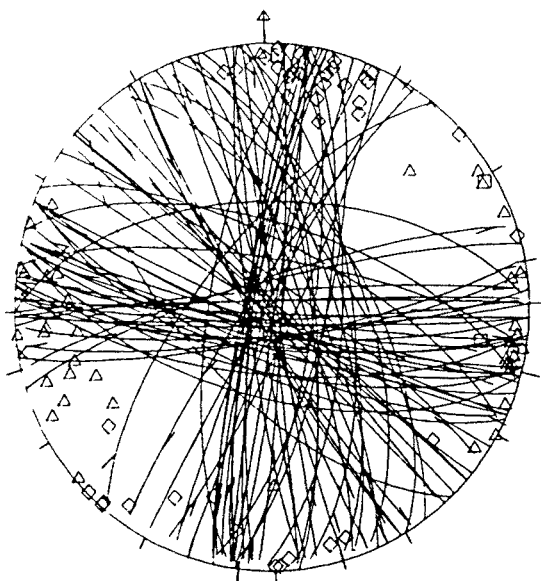
El moviment dextre-invers és anterior a l'invers sinistre.

Per tant, les solucions obtingudes són:

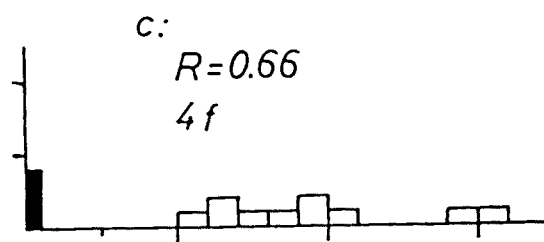
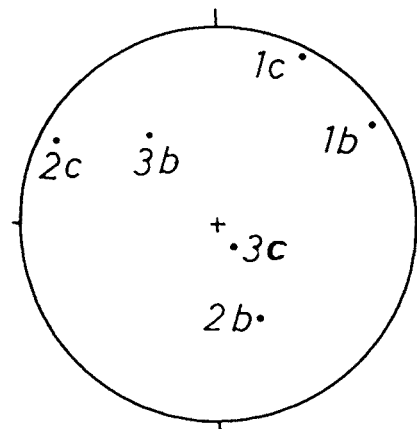
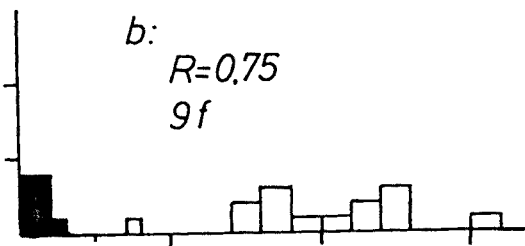
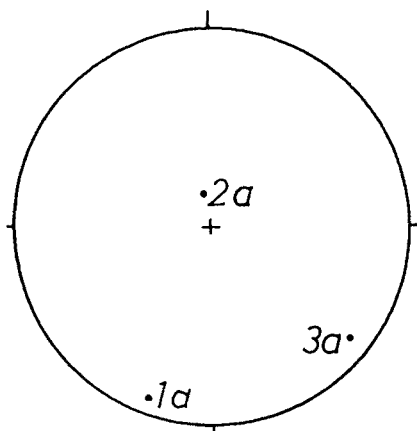
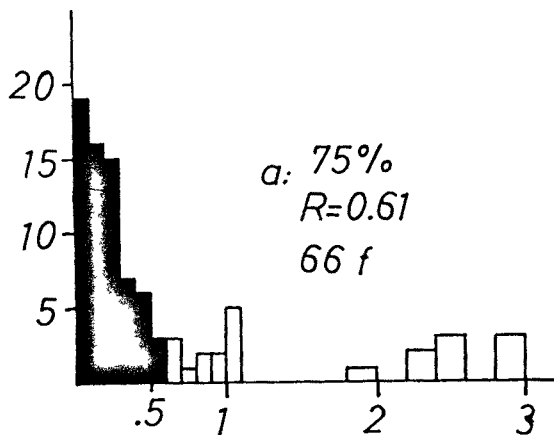
1) σ_1 horitzontal i orientat NW-SE, deduït exclusivament a partir de dues falles direccionals.

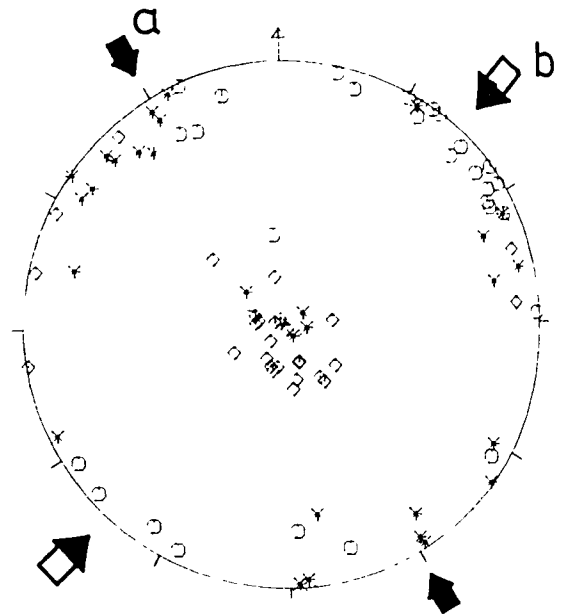
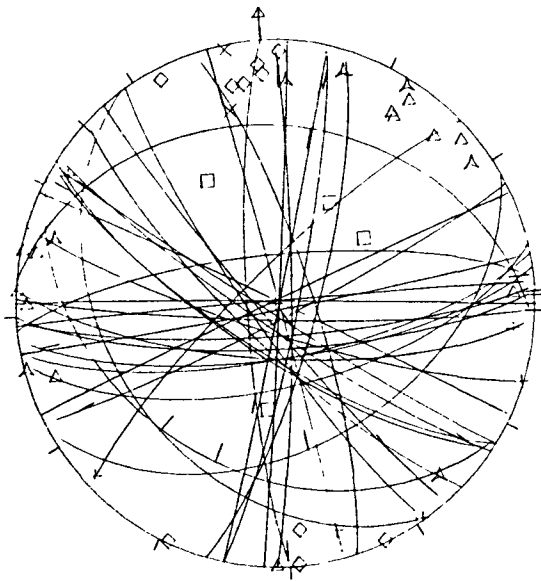
2) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. La gran dispersió que presenten els eixos òptims calculats per cada falla és deguda a la variació de l'orientació de les falles segons els llocs, tal com queda reflectit a la FIG. 4.8-B.

Amb el mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) se n'obtenen només solucions coherents amb el segon episodi. Una solució molt majoritària és la **a**, que explica del 75 % de les falles; les altres dues --**b** i **c**, obtingudes després de separacions successives--, inclouen un nombre de falles molt més petit. Entre les tres solucions hi ha una certa variació de l'orientació dels eixos, mentre que el valor de R és similar.



- × N. 6
- 1. 3
- △ D 40
- ◇ S 40





- A L:7 -
- X N:2
- I:4
- △ D:12
- ◇ S:11

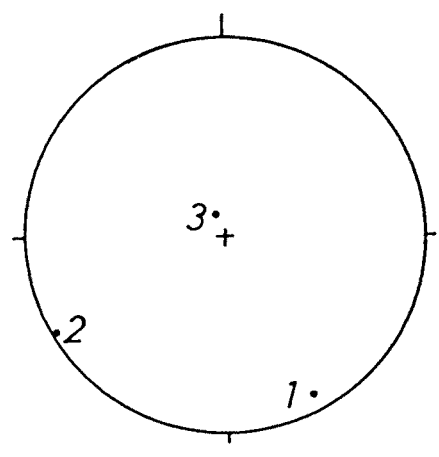
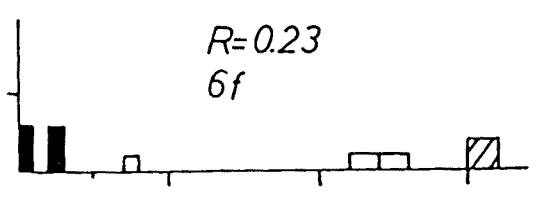
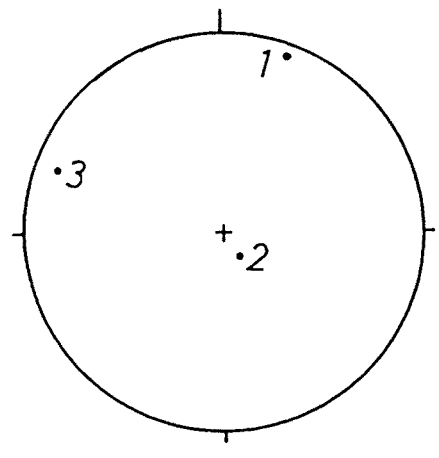
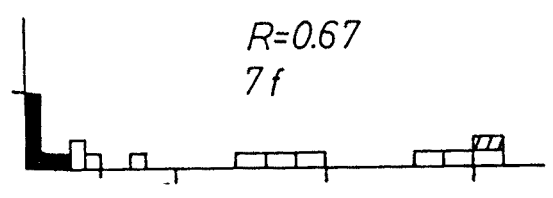
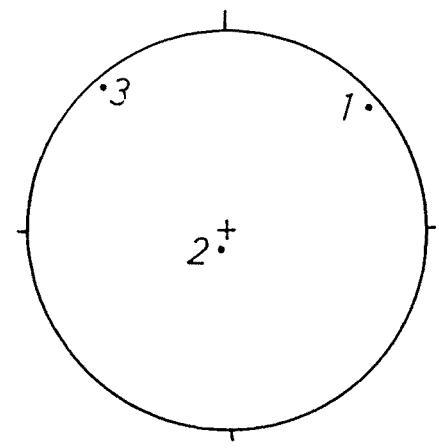
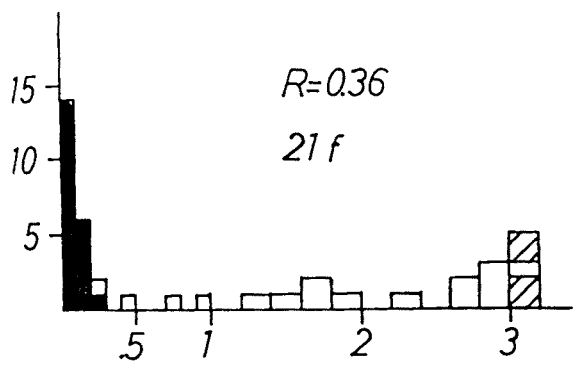
ESTACIO GCAT115: Carretera de Pontons. Calcàries del Muschelkalk; estratificació horitzontal.

Predomini de les falles direccionals, entre les que se n'observen algunes d'orientació similar (E-W) i moviment oposat. Del total de les falles se'n dedueixen dues solucions, sense que se n'observi la relació temporal:

a) σ_1 horitzontal i σ_3 majoritàriament horitzontal i orientats NNW-SSE i ENE-WSW, respectivament.

b) σ_1 horitzontal i σ_3 majoritàriament horitzontal i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. Es la solució majoritària.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) he obtingut, amb separacions successives, tres solucions en què les dues primeres --majoritàries-- indiquen un tensor d'esforços amb σ_1 horitzontal al voltant de NNE-SSW amb σ_3 subhoritzontal, i la tercera n'indica un amb σ_1 horitzontal orientat NNW-SSE, amb σ_3 subvertical.



ESTACIO GCAT116: Sant Feliu del Racó. Calcàries del Muschelkalk.

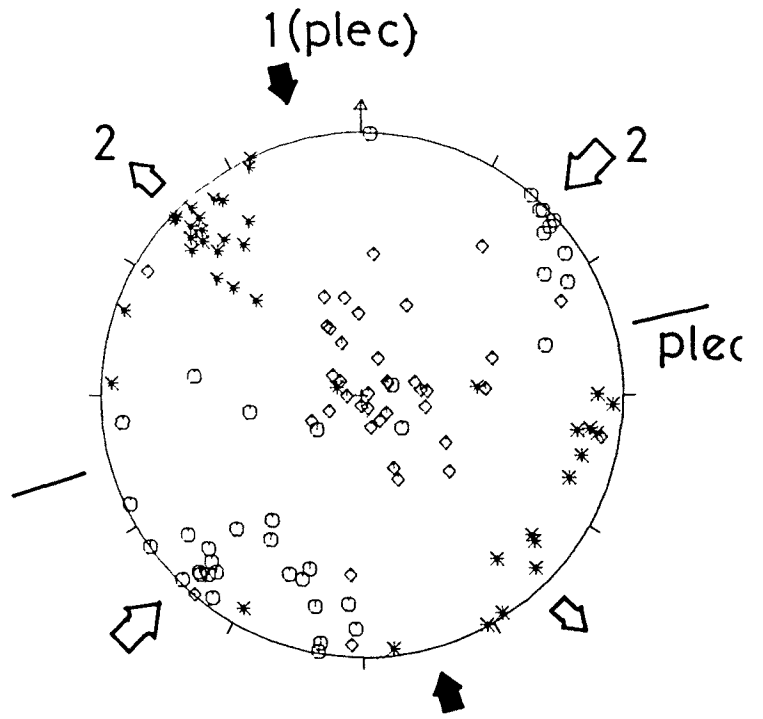
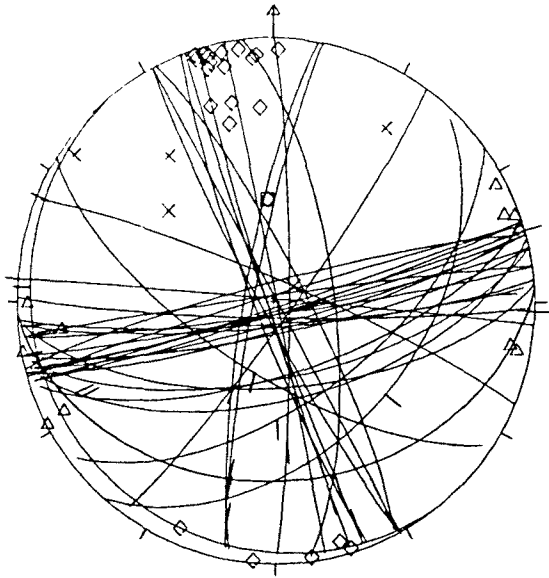
Falles principalment direccionals que afecten el flanc normal --capes subhoritzontals-- i l'invers d'un sinclinal N 075 E i, per tant, en són posteriors. Poden deduir-se, doncs, dos episodis:

- 1) Escurçament aproximadament NNW-SSE, deduït a partir del plec.
- 2) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament, solució deduïda a partir de les falles.

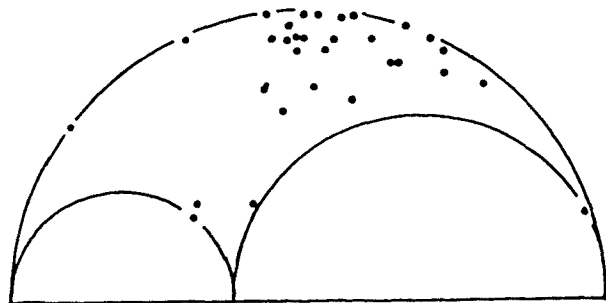
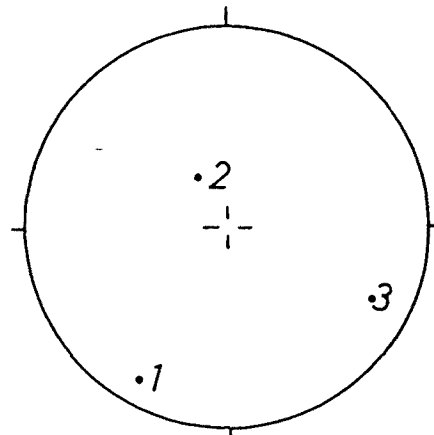
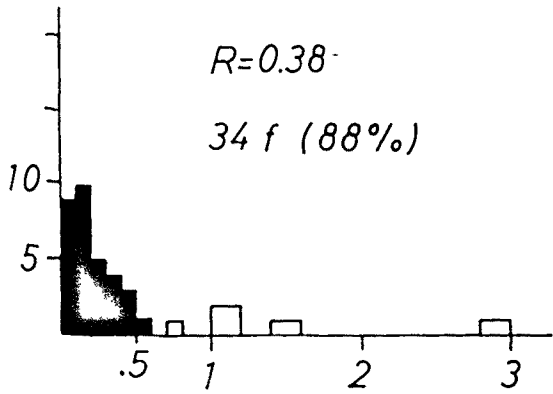
Amb el mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) queda molt ben caracteritzat el segon episodi, amb una solució que explica 34 de les 39 falles observades. Les orientacions dels eixos que se n'obtenen coincideixen força amb les deduïdes amb el mètode dels esforços òptims. La posició dels plans de falla sobre el cercle de Mohr indica que la majoria no s'han pogut formar sota aquest tensor d'esforços; haurien de ser, doncs, preexistents. La separació màxima entre les estries real i teòrica arriba a ser superior a 0.5 radians, un valor elevat. En altres solucions trobades que expliquen percentatges inferiors, les solucions obtingudes són similars en l'orientació dels eixos, el valor de R i la posició dels plans de falla sobre el cercle de Mohr; això m'ha dut a seleccionar aquesta solució que té en compte un percentatge més elevat de falles.

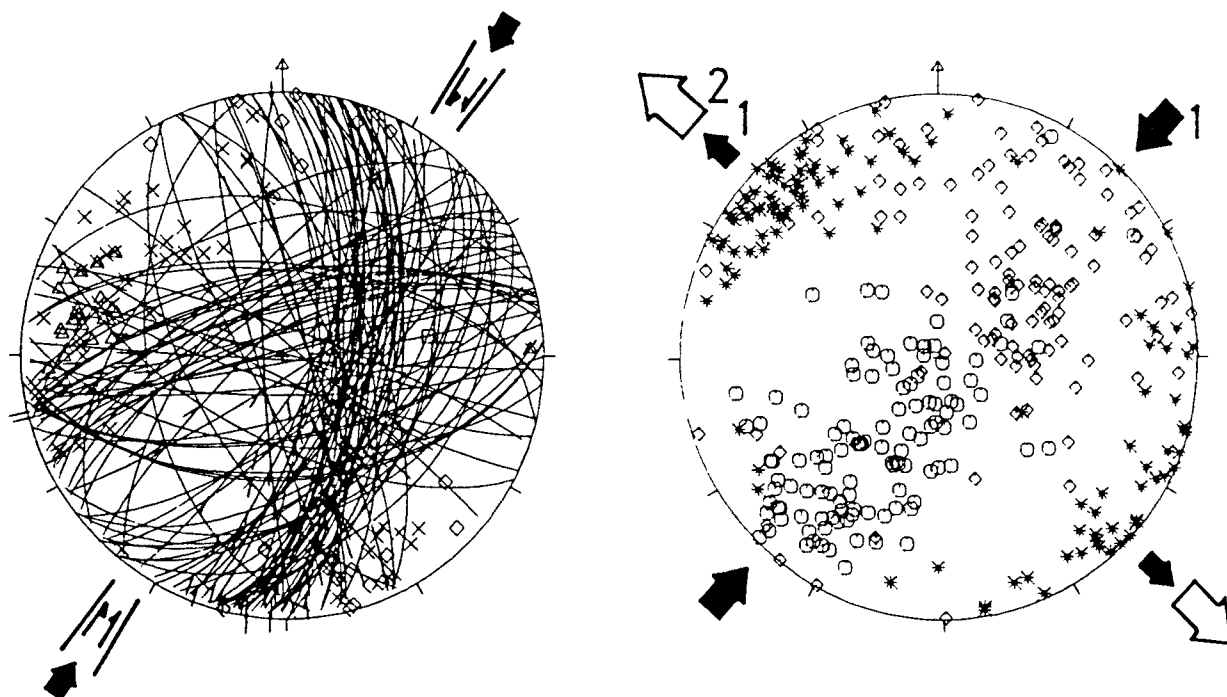
GCAT116

1(plec)



- × N.5
- I.1
- △ D.11
- ◇ S.22





- × N:62
- I:1
- △ D:27
- ◇ S:24

ESTACIO GCAT117: Pedrera nord del turó de Pacs. Calcàries del Cretaci inferior; estratificació subhoritzontal. Dades de BORDONAU i VALLES (1983).

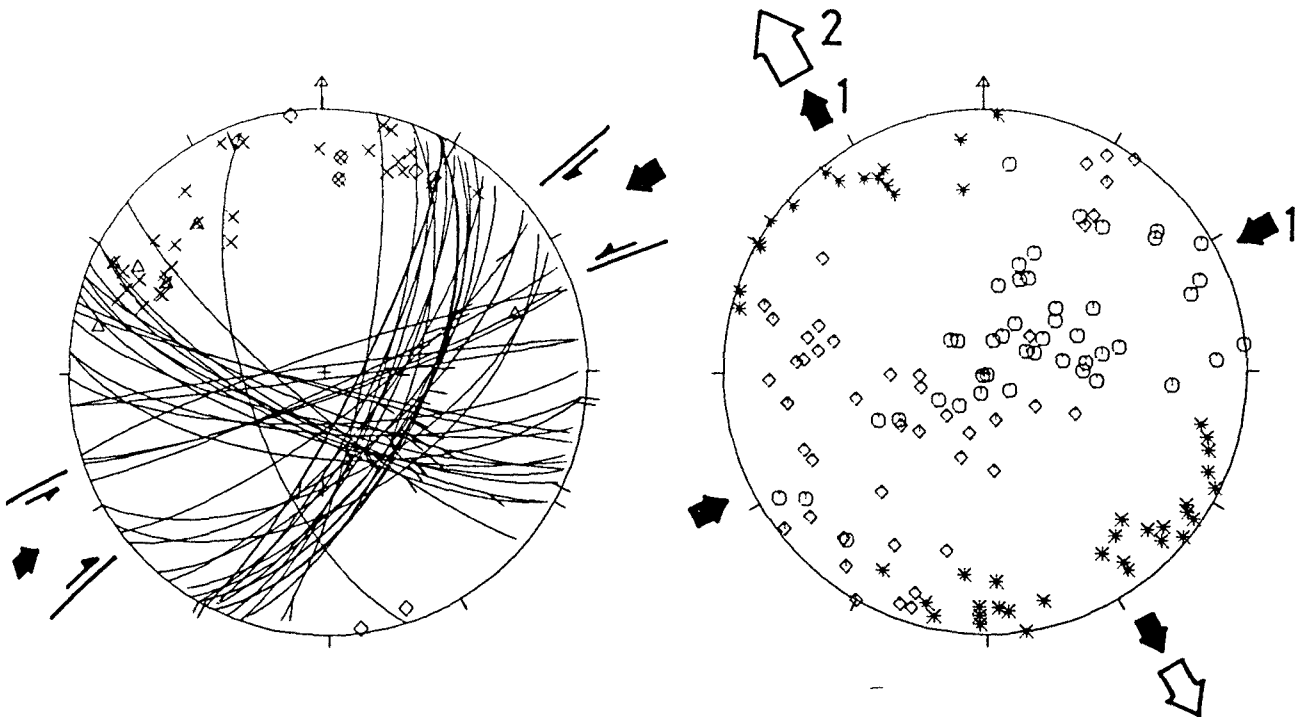
Falles direccionals i normals. Les falles direccionals es concentren en dues famílies: N-S (dextres) i ENE-WSW (sinistres); les normals, a més de les dues direccions anteriors, presenten una dispersió més gran. Dintre de cadascuna de les dues famílies majoritàries s'observen estries de component vertical normal i de pitch molt variable, però, sobretot en les falles N-S hi ha una clara solució de continuïtat entre les falles direccionals i les normals. En tots els casos en què s'ha pogut observar la relació temporal, les falles normals eren posteriors a les direccionals.

Se'n dedueixen dues solucions, que es van succeir en el temps:

- 1) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. Es dedueix a partir de les falles direccionals, tant pel mètode dels esforços òptims com pel mètode del díedre mínim.
- 2) σ_1 subvertical i els altres dos eixos subhoritzontals. L'orientació de σ_3 , que es dedueix de la majoria de les falles indica una direcció NW-SE; el fet que algunes de les falles normals donin una orientació de σ_1 òptim perpendicular a les anteriors --NE-SW, coincident amb la majoria dels σ_2 òptims-- pot indicar que aquest eix darrer també era d'extensió.

Cal remarcar la total coaxialitat entre les dues solucions.

GCAT119



x N. 31

△ D. 6

◇ S 8

ESTACIO GCAT119: Pedrera sud del turó de Pacs. Calcàries del Cretaci inferior; estratificació subhoritzontal. Dades de BORDONAU i VALLES (1983).

Se'n dedueixen dues solucions que, a partir de les relacions temporals entre les falles direccionals i les normals quan es troben sobre el mateix pla de falla, s'han produït en el següent ordre:

1) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats ENE-WSW i NNW-SSE, respectivament. Es dedueix a partir de les falles direccionals, tant pel mètode dels esforços òptims com pel mètode del díedre mínim.

2) σ_1 subvertical i σ_2 i σ_3 subhoritzontals i orientats ENE-WSW i NNW-SSE, respectivament. La dispersió d'aquests dos eixos calculats per cada falla és producte de la dispersió en les direccions dels plans de les falles normals; indica que σ_2 és, també, una direcció d'extensió.

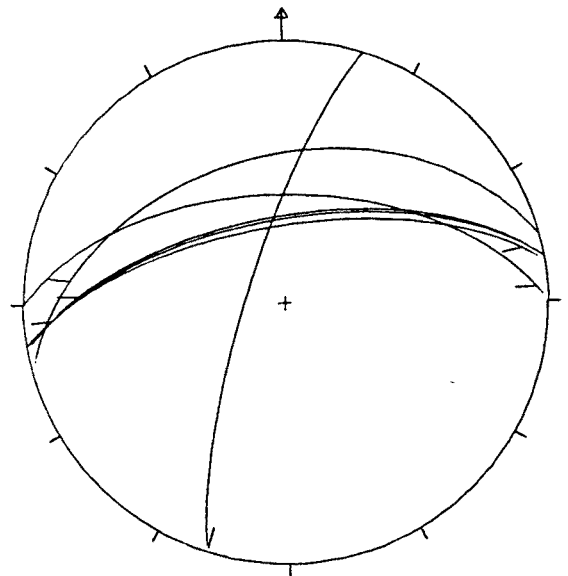
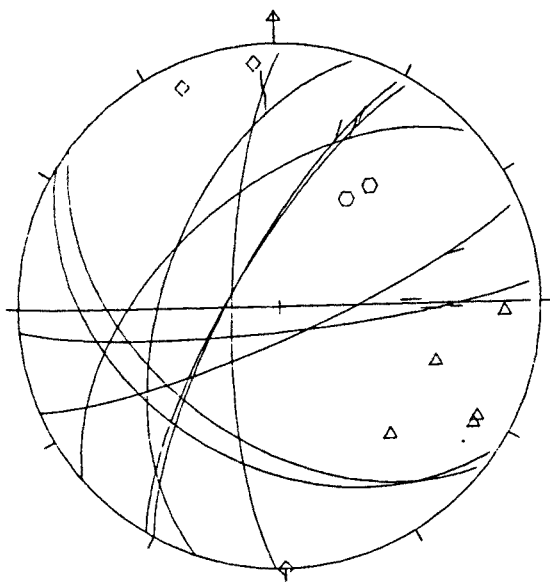
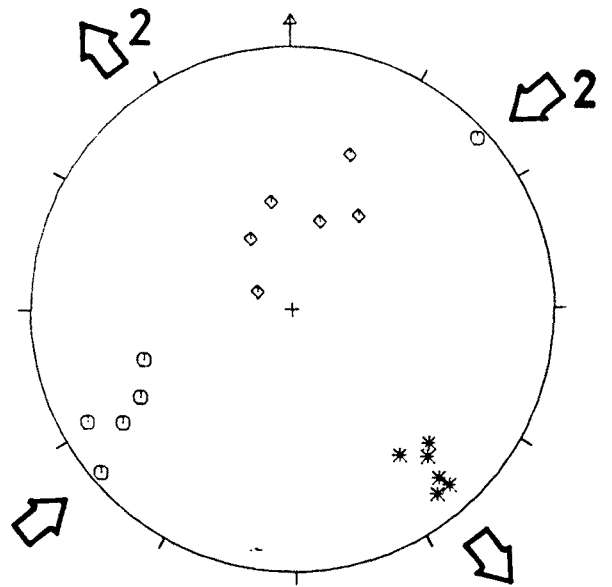
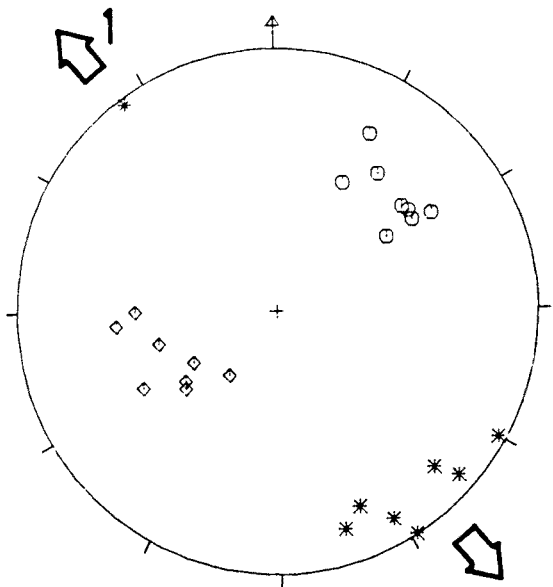
ESTACIO GCAT120: Esparreguera (Materials burdigalians), vora nordoest de la fossa del Vallès. Dades i interpretació de P. SANTANACH.

Al camp es distingeixen dos sistemes de falles:

1) Representat a l'esquerra: falles conjugades amb les estries perpendiculars a l'estratificació; si les capes s'abaten a l'horitzontal passen a ser falles normals conjugades, amb σ_1 vertical i σ_3 orientat NW-SE.

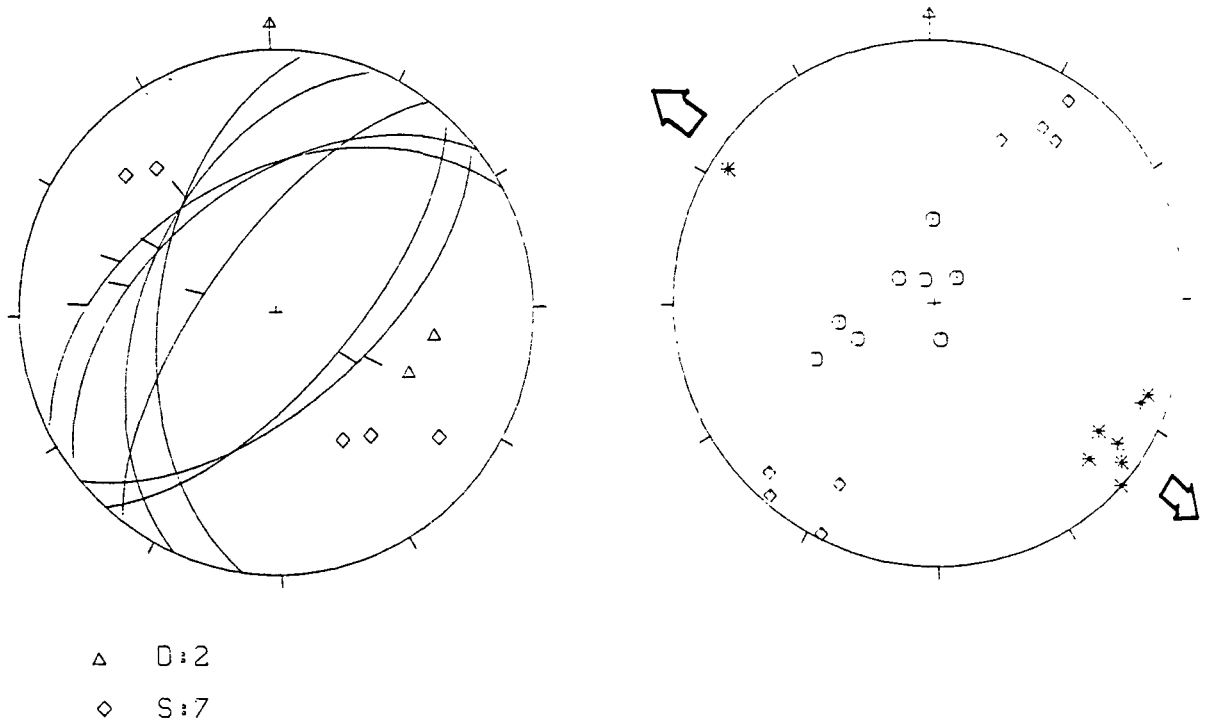
2) Representat a la dreta: falles conjugades amb les estries obliqües respecte a l'estratificació. Se'n dedueix σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW SE repectivament.

La solució 1) seria anterior al basculament de les capes i la 2) posterior. Per tant, el tensor d'esforços direccional seria posterior al normal. Cal remarcar que ambdues solucions són coaxials.



△ D:5
 ◇ S:3
 ○ E:2

△ D:1
 ◇ S:5



ESTACIO GCAT121: Els Arboçars, vora sudest de la fossa del Penedès. Calcàries i lutites del Burdigalià superior; estratificació horitzontal.

Mesures fetes sobre falles d'escala hectomètrica a quilomètrica. S'obté un tensor d'esforços normal amb σ_3 orientat NW-SE. La majoria de les estries tenen un pitch igual o superior a 60° , amb un component direccional sinistre (Fig. 5.1).

ESTACIO GCAT122: Pedrera al sud del turó de Pacs. Calcàries del Burdigalià superior; estratificació subhoritzontal.

Falles direccionals i normals, en les quals sobre plans d'orientació similar hi ha estries de pitch molt diferent: hi ha un continu des d'estries subhoritzontals a subverticals.

Cal remarcar la repartició espacial dels eixos d'esforços òptims calculats per cada falla: σ_3 es disposa subhoritzontalment i orientat WNW-ESE, els altres dos eixos varien d'horitzontals a verticals seguint un pla perpendicular a la direcció anterior.

Se'n dedueixen dues solucions extremes:

- a) σ_1 i σ_2 horitzontals i orientats NNE-SSW i WNW-ESE, respectivament. A partir de les falles direccionals de pitch més baix.
- b) σ_1 vertical i σ_2 i σ_3 horitzontals i orientats NNE-SSW i WNW-ESE, respectivament.

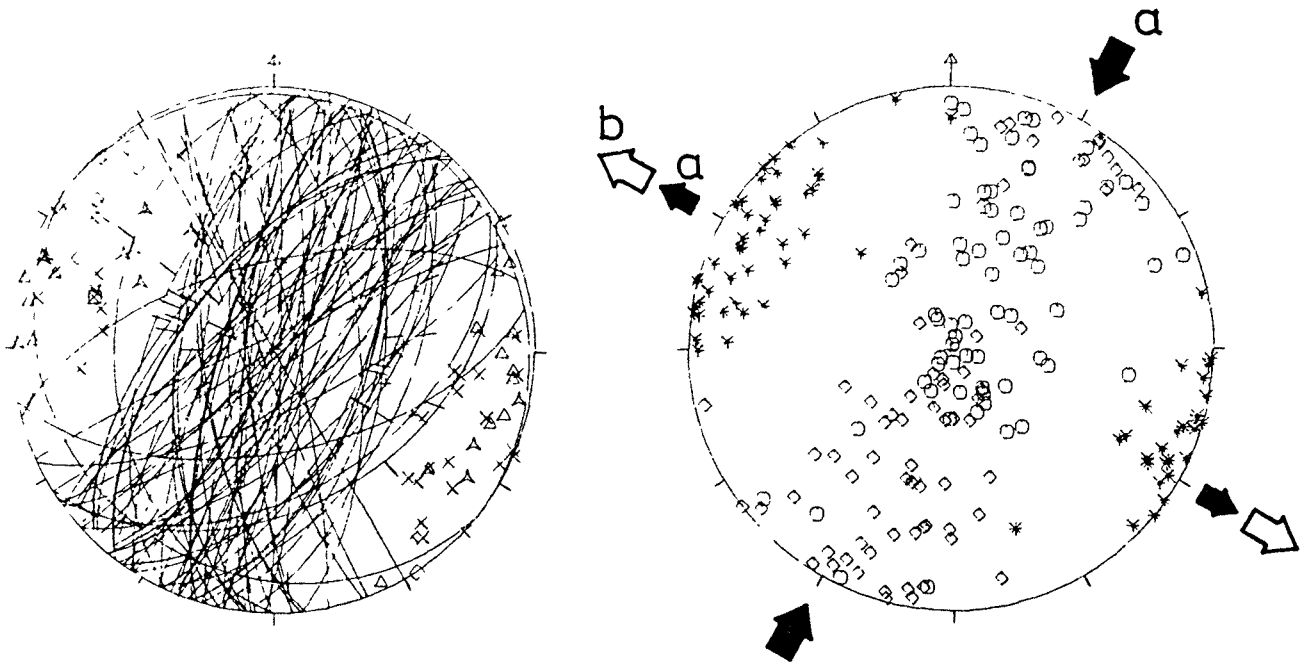
Els dos tensors d'esforços són perfectament coaxials, i les estries amb pitch intermedi poden correspondre a tensors intermedis entre els dos anteriors.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) he obtingut, per separacions successives, tres solucions, i dues més (d i e) que s'obtenen amb les mateixes dades a partir de les que resten després de separar les falles incloses en les tres solucions anteriors.

Dues de les cinc solucions (a i c) donen un tensor d'esforç amb els eixos d'orientació similar (σ_2 NNE-SSW i σ_3 WNW-ESE), però amb valors de R força diferents: 0.42 en la solució majoritària a (41 falles) i 0.02 en la minoritària c (11 falles). Com es veu en la projecció estereogràfica de les dades incloses en cada solució, aquestes es dedueixen principalment a partir de falles normals de pitch elevat.

La solució b té σ_3 subhoritzontal i orientat NW-SE; amb $R=0.96$, la posició calculada dels altres dos eixos té poca significació, ja que tenen magnituds relatives similars: es tracta d'un tensor d'esforços en la frontera entre normal i direccional. Inclou principalment falles direccionals i normals de pitch baix.

Les dues solucions més minoritàries (d i e) s'obtenen tractant les mateixes dades, i les solucions obtingudes són molt similars; hi ha 2 falles que entren en les dues solucions, per tant el nombre total de falles incloses és de 7, i el nombre de falles que resten sense incloure en cap solució és de 3. σ_1 és horitzontal i orientat NNE-SSW i els valors de R són pròxims a 0; això indica que es tracta d'un tensor d'esforços en el límit invers-direccional. Inclou principalment falles direccionals i inverses.

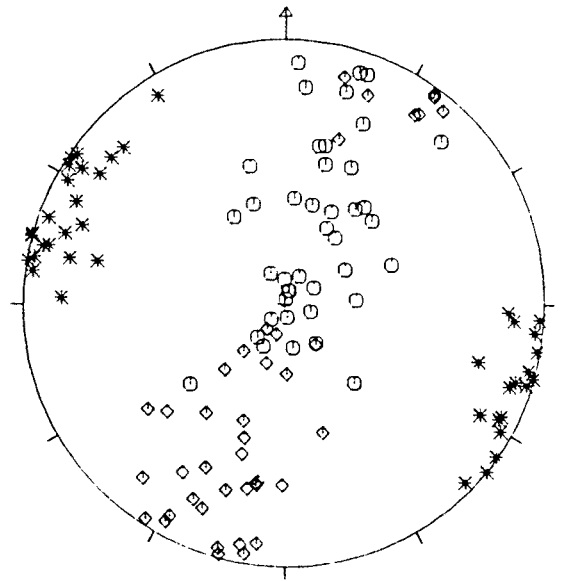
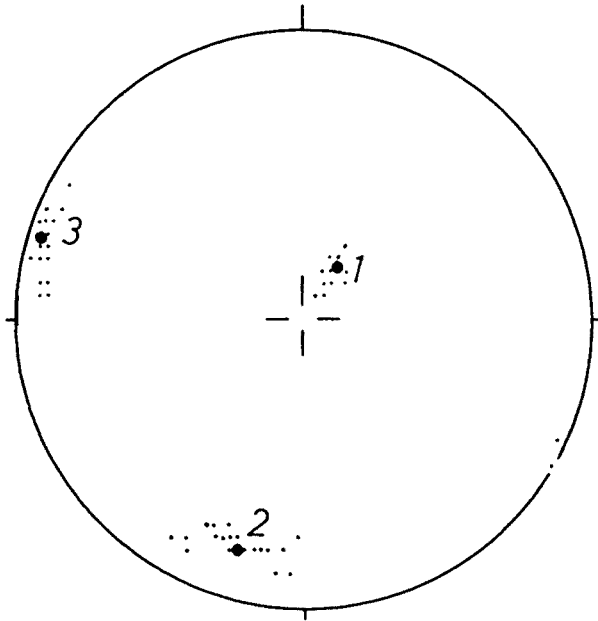


- A L:11
- X N:40
- B 1:1
- Δ 0:18
- < S:11
- O E:2

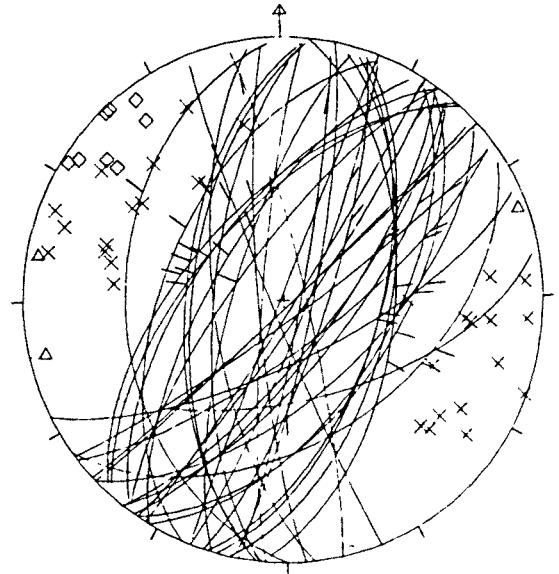
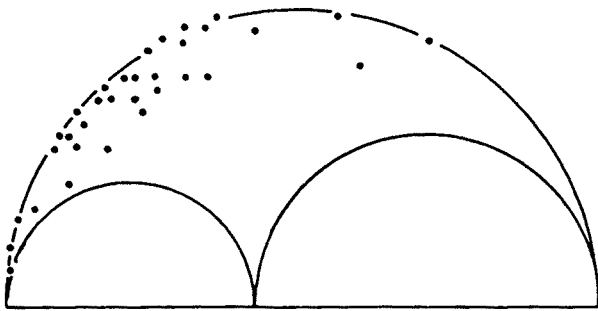
L'evolució que se'n dedueix pot assimilar-se amb la que s'intueix amb el mètode dels esforços òptims: les solucions són aproximadament coaxials i les solucions **b** (al límit entre uns tensors d'esforços direccional i normal), **a** (tensor d'esforços normal amb σ_2 i σ_3 de magnituds relatives clarament diferents) i **c** (tensor d'esforços normal amb $\sigma_2 \approx \sigma_3$: extensió similar en totes les direccions horitzontals) són pròximes entre elles com per poder suposar un canvi progressiu entre ells, de **b** a **c**. Les altres dues solucions (**d** i **e**) indiquen un tensor d'esforços més distanciat dels anteriors. Cal tenir en compte que el mètode pretén trobar solucions individuals clarament definides, cosa que dificulta la identificació de processos de canvi gradual.

370

122-a



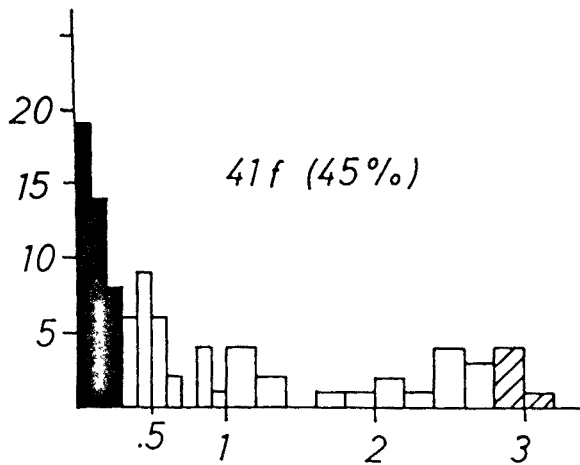
$R=0.42$

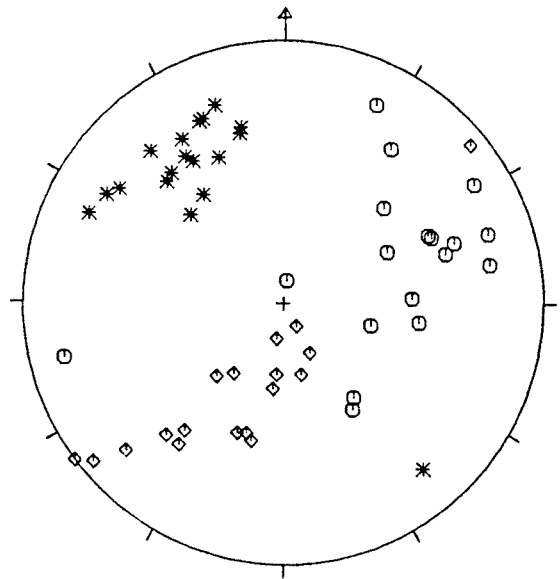
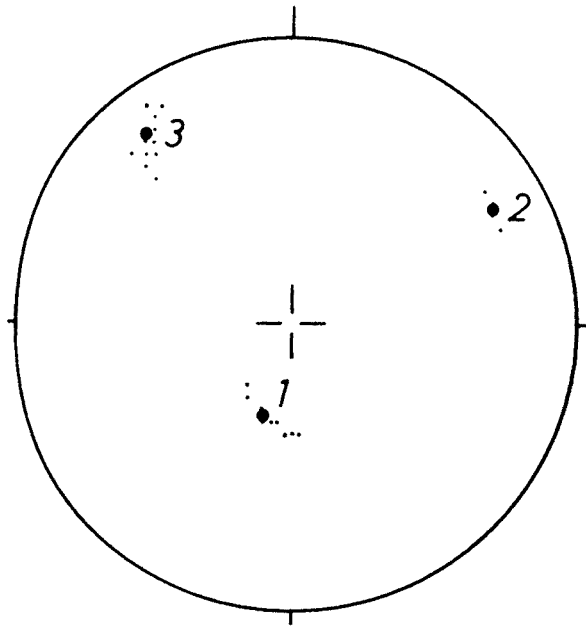


× N:30

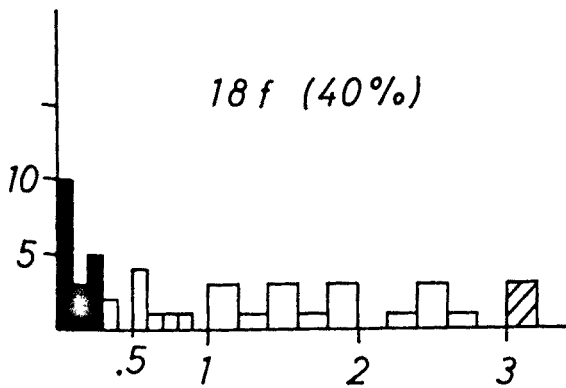
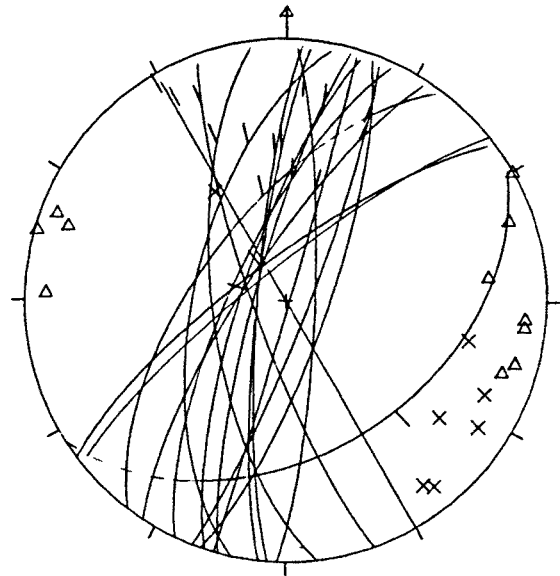
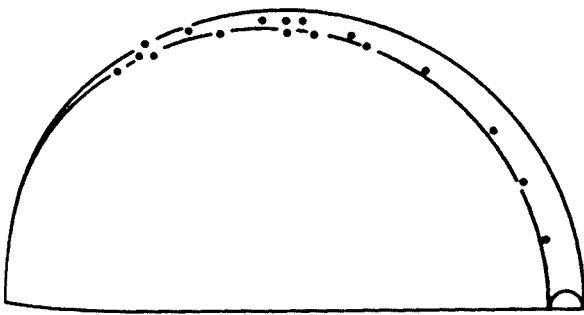
△ D:3

◇ S:8





$R=0.96$

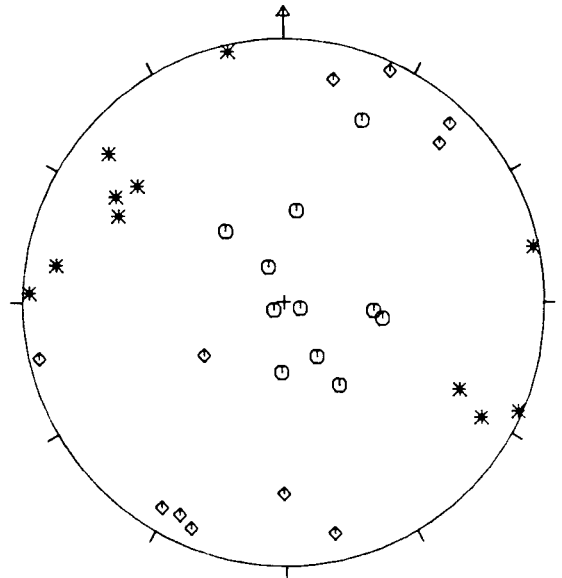
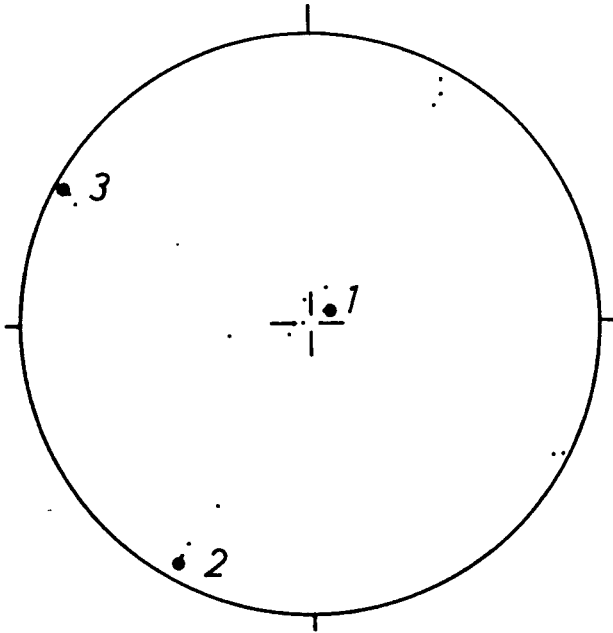


x N:7

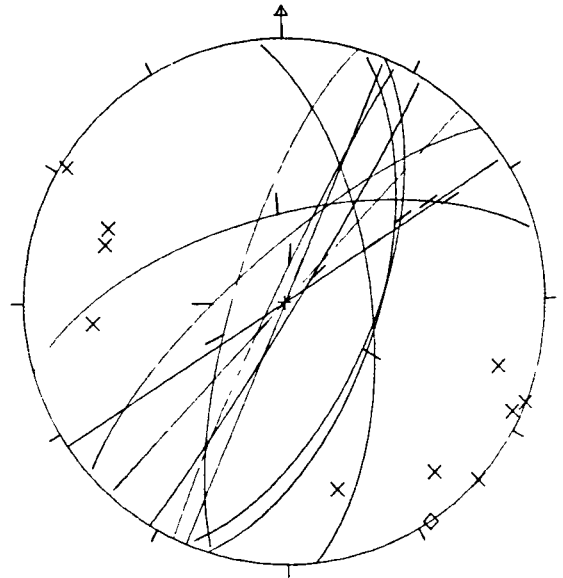
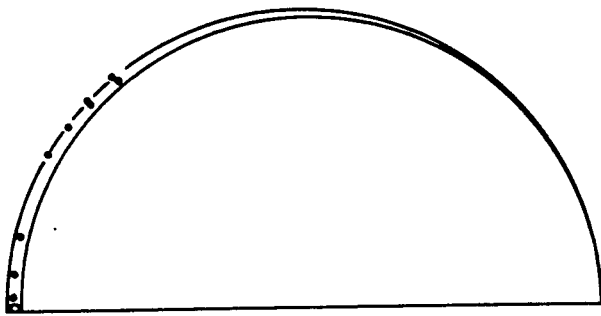
Δ D:11

372

122-c

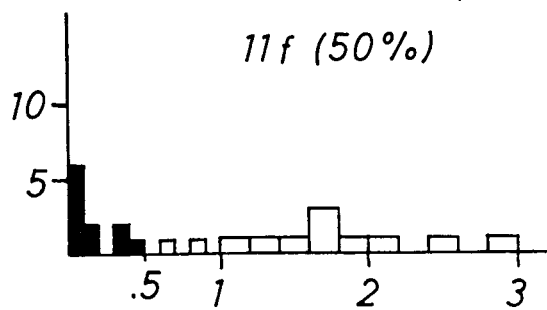


$R=0.02$

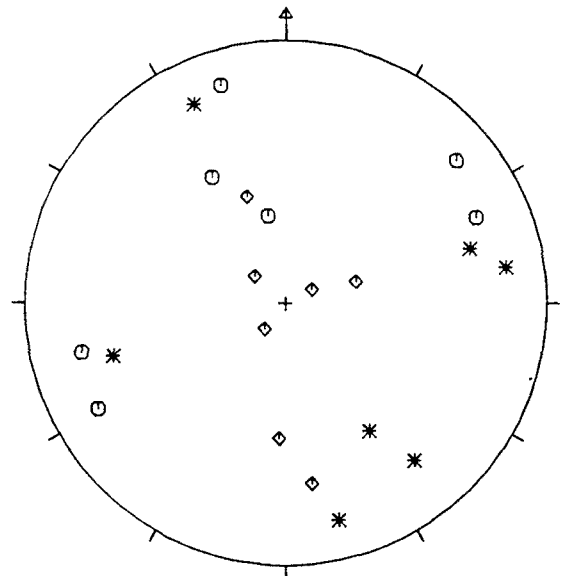
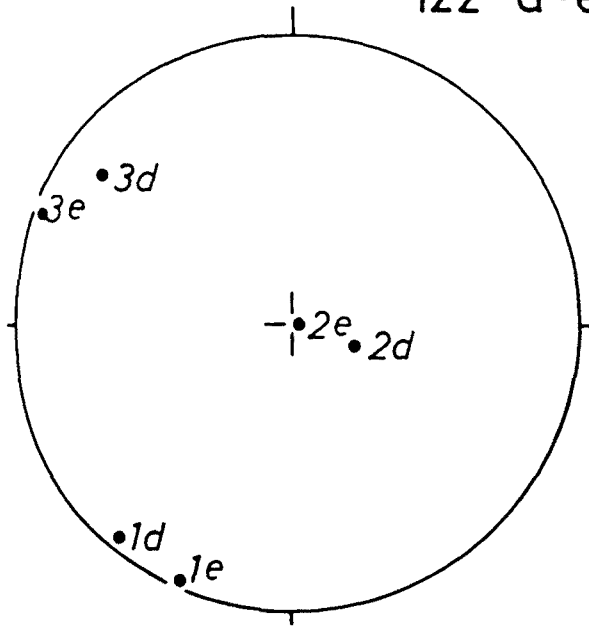


x N:10

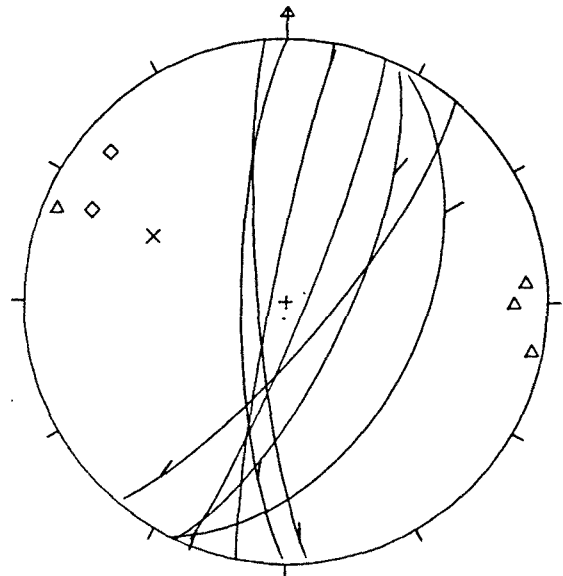
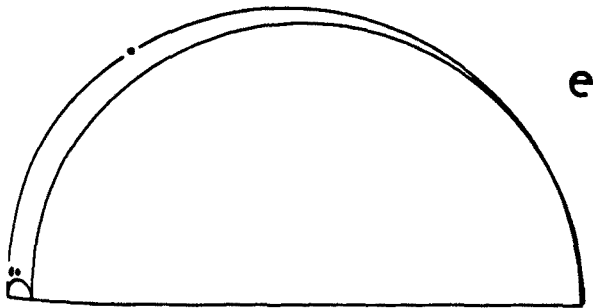
◊ S:1



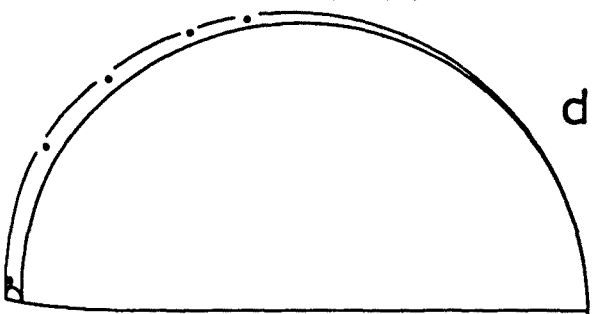
122-d-e



$R=0.05$



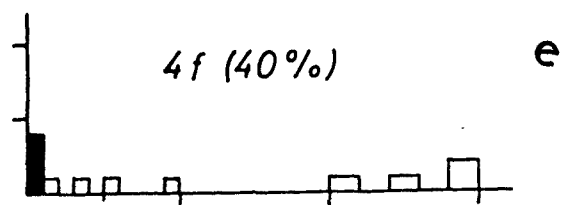
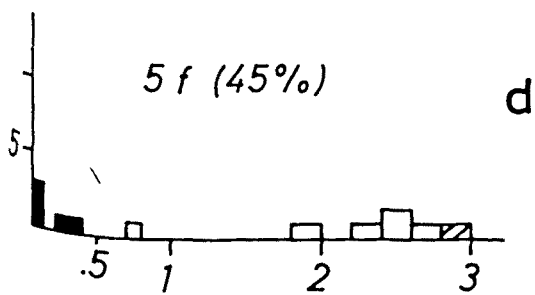
$R=0.04$



x N:1

△ D:4

◇ S:2



374 **ESTACIO GCAT123:** Pedrera de l'Ordal (dades de SANTANACH, 1973). Calcàries del Cretaci inferior; estratificació subhoritzontal.

Es l'estació amb un nombre de falles més elevat de totes les estudiades: 179 falles amb sentit de moviment determinat i 6 amb sentit de moviment indeterminat.

Pel mètode d'ETCHECOPAR *et al.* (1981) he obtingut 6 tensors en separacions successives, que poden agrupar-se en tres solucions:

a) σ_1 i σ_2 subhoritzontals i orientats NNW-SSE i NNE-SSW, respectivament (tensors **a** i **d**), que expliquen 80 falles (43 % del total).

b) σ_1 i σ_2 horitzontals i orientats NNE-SSW i WNW-ESE, respectivament (tensor **c**). Explica 25 falles (13.5 % del total).

c) σ_1 subvertical (tensors **b** i **e**). En la majoritària (**b**: 46 falles) σ_2 s'orienta NE-SW i el valor de R és força baix (0.14); en la minoritària (**e**: 14 falles), σ_2 s'orienta NW-SE. Expliquen 60 falles (32.5 % del total).

La solució **f** inclou un nombre de dades més baix que les anteriors (9 falles) i té els eixos σ_1 i σ_2 inclinats. El tensor obtingut té uns eixos amb unes orientacions intermèdies als obtinguts en b) i en c). Queden un total de 12 falles sense incloure en cap solució (6.5 % del total).

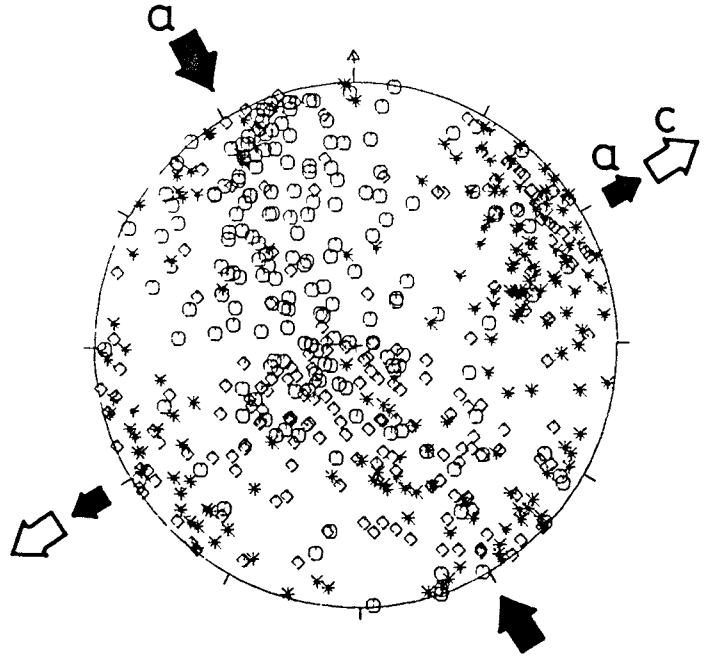
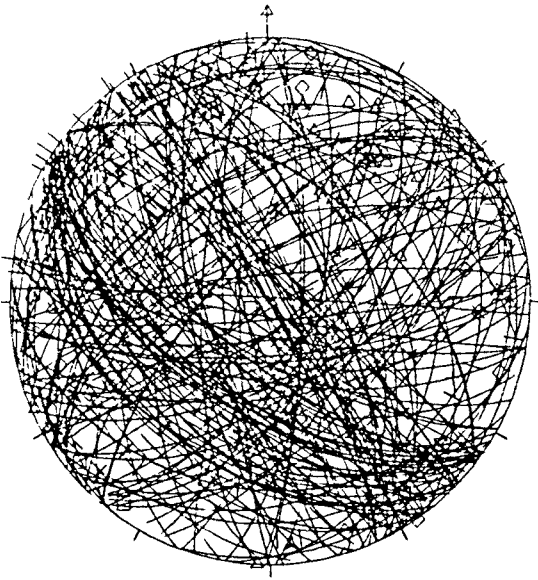
Del total de les solucions obtingudes cal remarcar:

1) Per la situació dels plans de falla sobre el cercle de Mohr, es dedueix que tots els tensors obtinguts expliquen prou bé la formació de la majoria de les falles incloses en cada solució. L'única excepció és el tensor **c** --solució b)--; per acceptar com a bona aquesta solució cal suposar que els plans de falla eren preexistents.

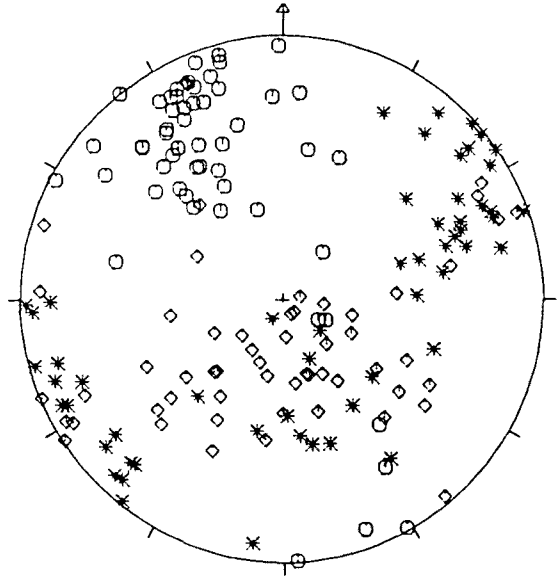
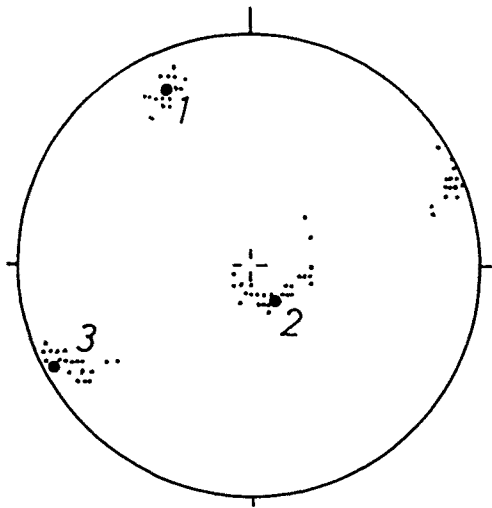
2) La projecció dels eixos d'esforços òptims de les falles incloses en cada tensor obtingut indica una gran coincidència entre la distribució dels primers i l'orientació dels eixos del segon. En els casos en què els eixos d'esforços òptims σ_2 i σ_3 arriben a barrejar-se (**a**, **b** i **f**), el valor de R és baix, cosa que accentua la coincidència entre les solucions obtingudes pels dos mètodes. Novament l'excepció és el tensor **c**, on hi ha una gran dispersió dels eixos d'esforços òptims σ_1 i σ_2 , que arriben a sobreposar-se; utilitzant un angle de 60° per al seu càlcul, aquesta dispersió es redueix clarament; aquest fet està d'acord amb la suposició (GUIMERA, 1978) que les falles es van formar sota un camp d'esforços que correspondria a les solucions **a** i **d**, i que la solució **c** es produiria posteriorment amb un σ_1 horitzontal bisecant aproximadament l'angle obtús de les falles conjugades ja formades.

A partir de la distribució dels màxims dels eixos d'esforços òptims, es dedueixen les tres solucions vistes fins ara a les altres estacions. En aquesta estació la solució amb σ_1 horitzontal i orientat NE-SW és francament minoritària, ja que només la indiquen 16 de les 179 falles observades a l'estació. Les altres dues solucions -- σ_1 horitzontal i orientat NW-SE i σ_1 vertical-- es troben ben representades i amb un màxim individualitzat.

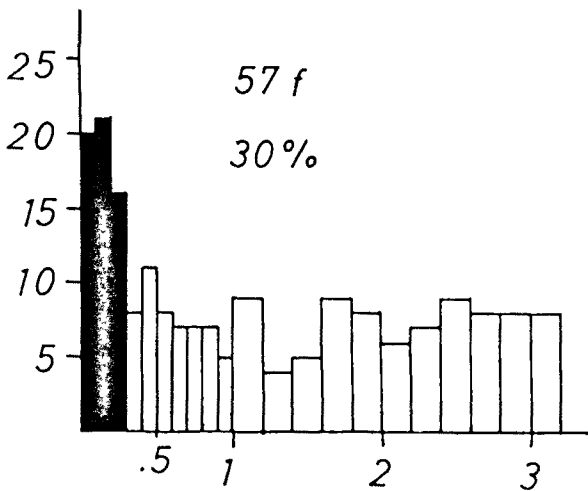
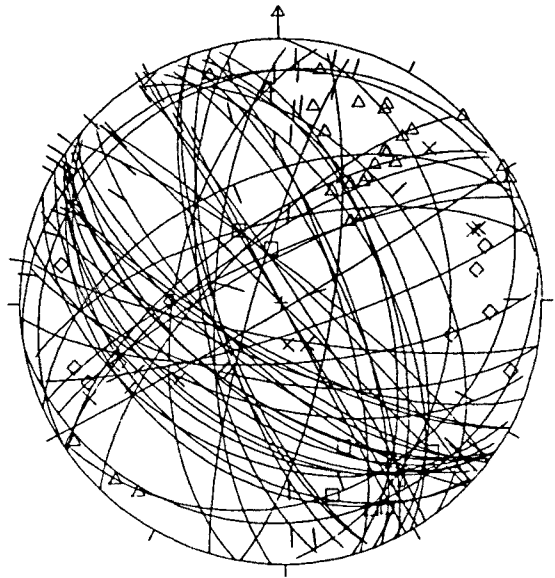
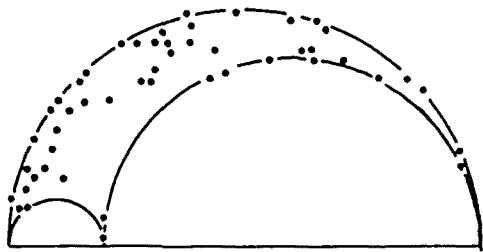
GCA^r123



- A L.6
- × N.75
- I.24
- △ O.52
- ◇ S.28

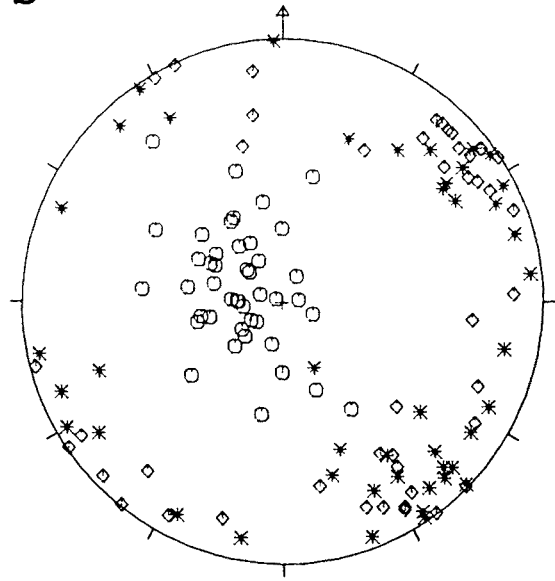
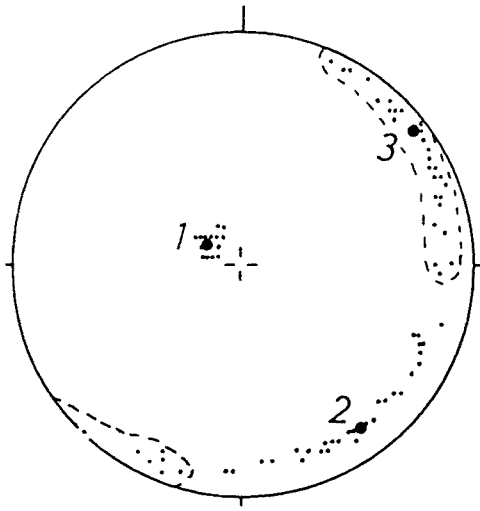


$R=0.21$

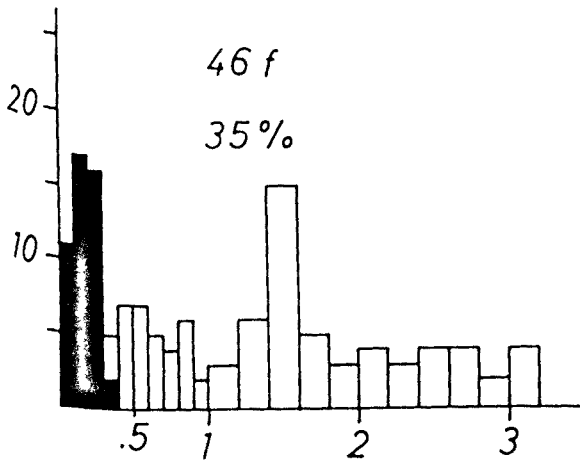
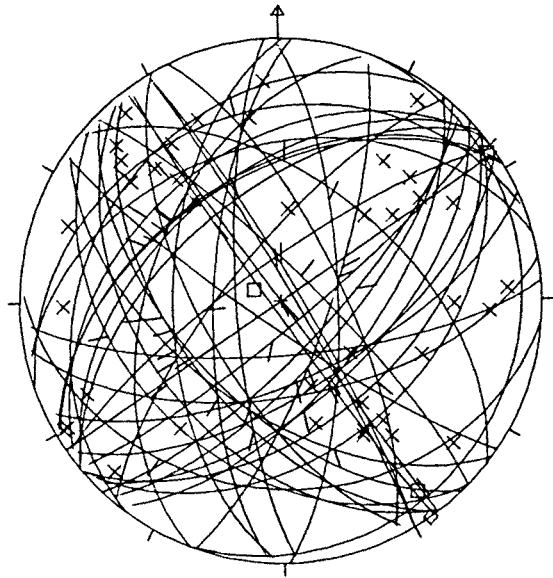
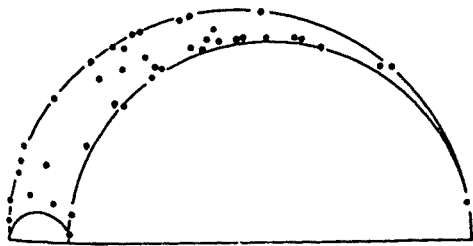


- × N. 10
- I 9
- △ D. 26
- ◇ S. 11

123-b

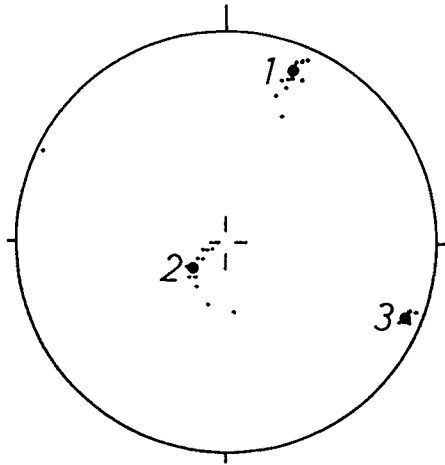


$R=0.14$

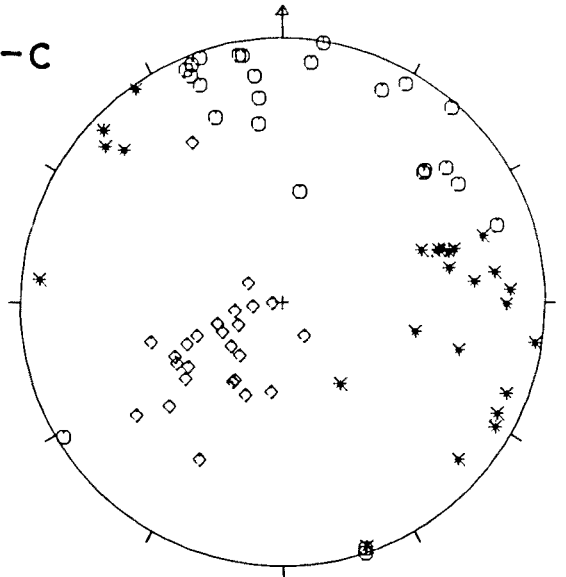


- × N:40
- I:3
- ◇ S:1

378

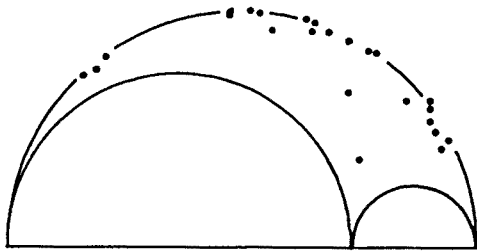


123-c

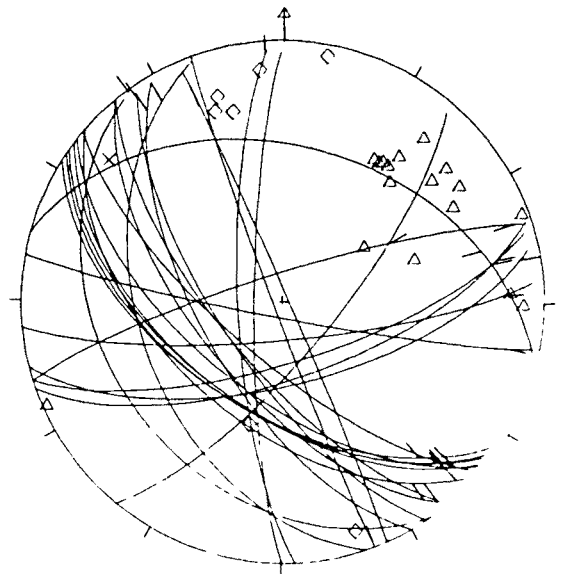
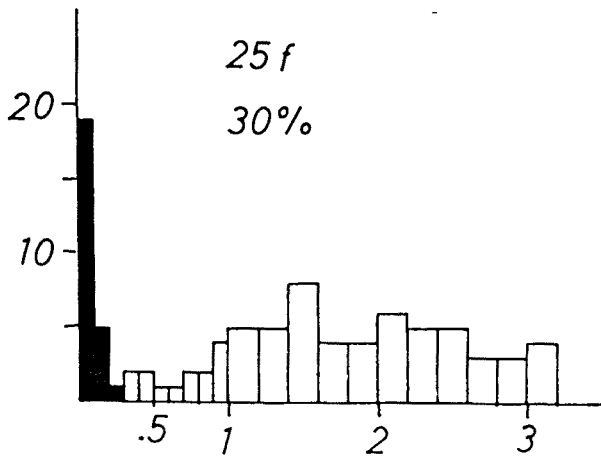
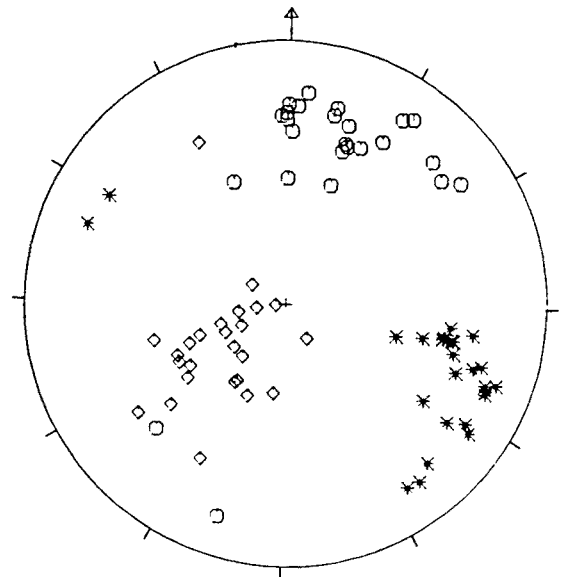


30°

$R=0.74$



60°

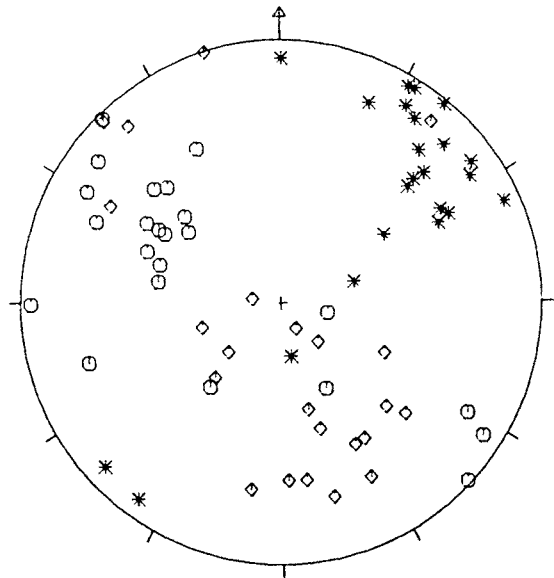
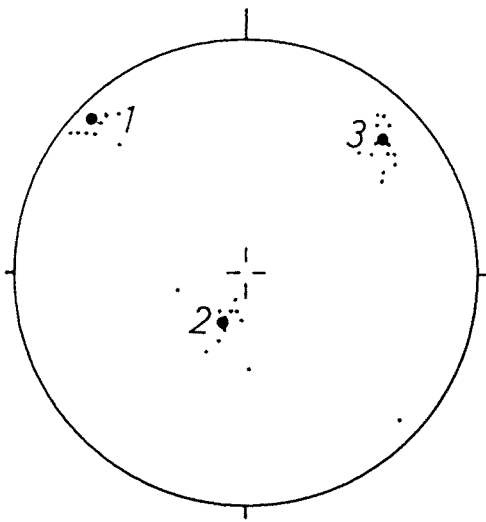


x N. 1

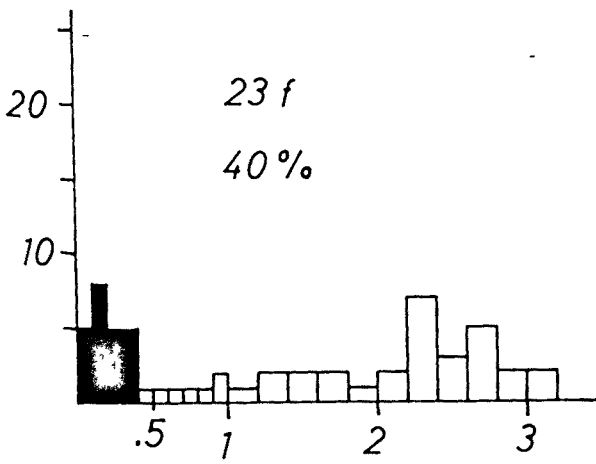
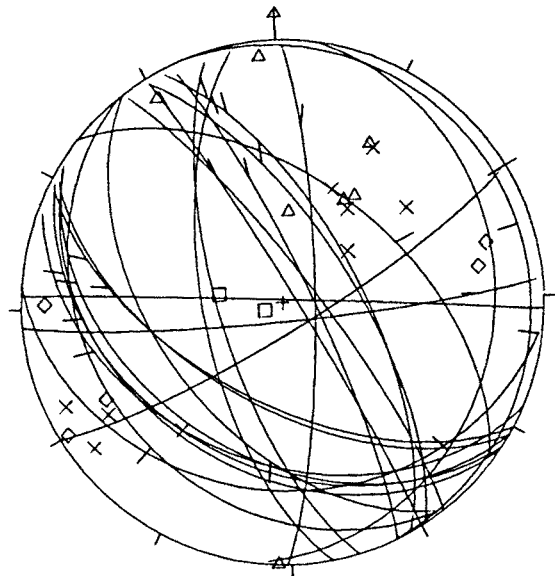
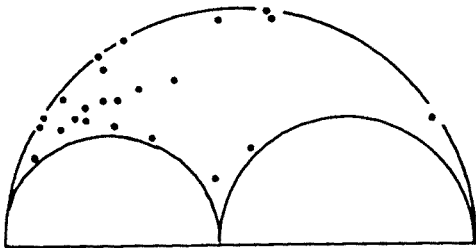
△ D: 17

◇ S. 7

123-d

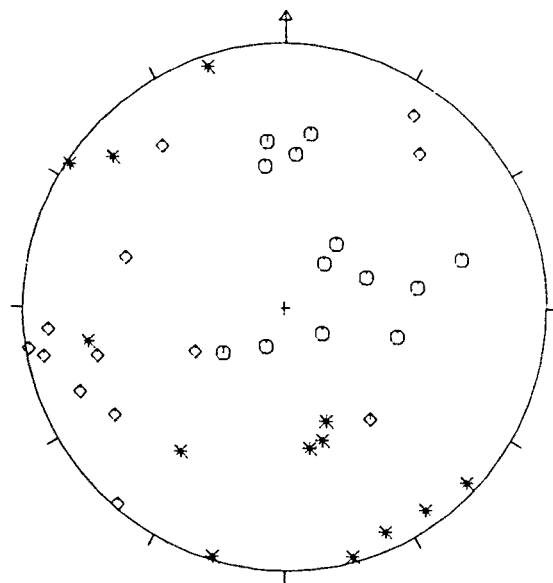
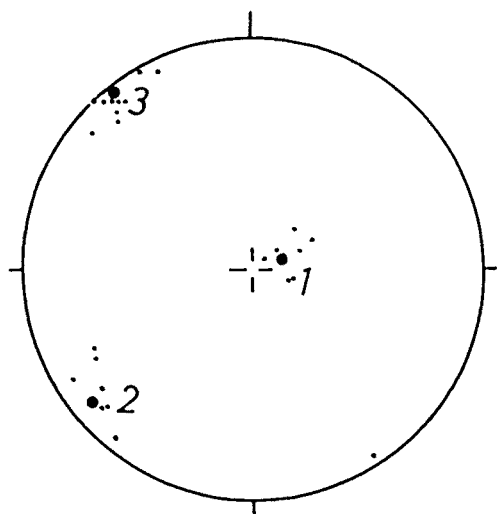


$R=0.46$

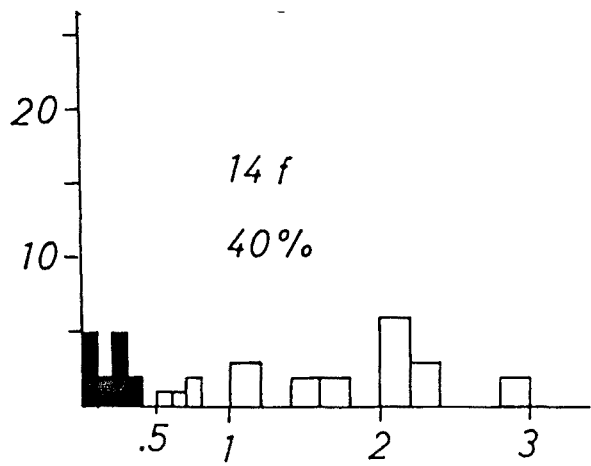
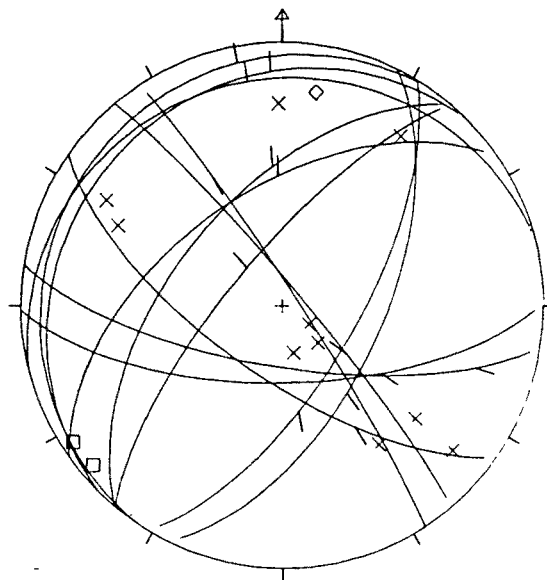
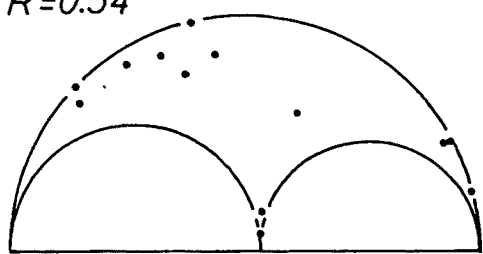


- × N:9
- I:2
- △ D:7
- ◇ S:5

123-e

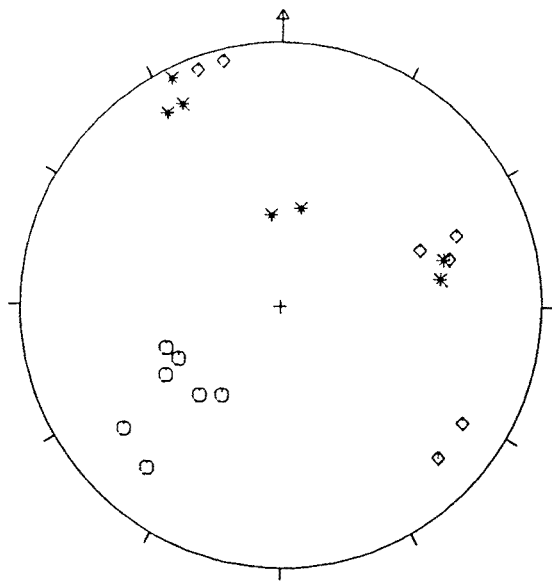
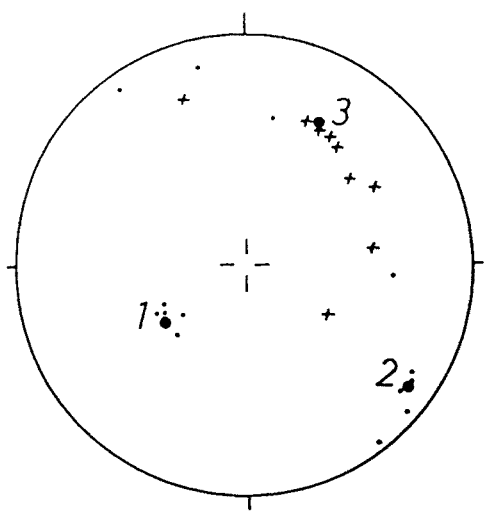


$R=0.54$

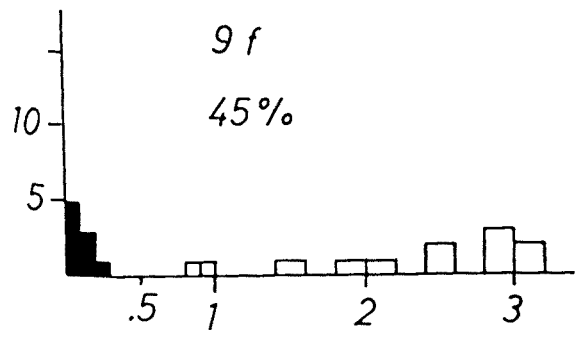
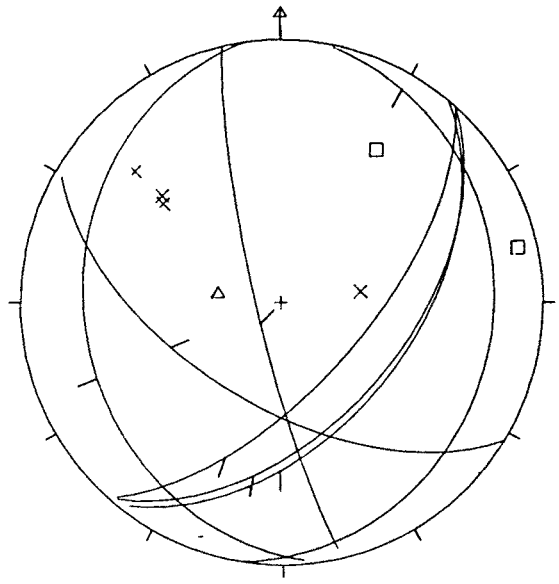
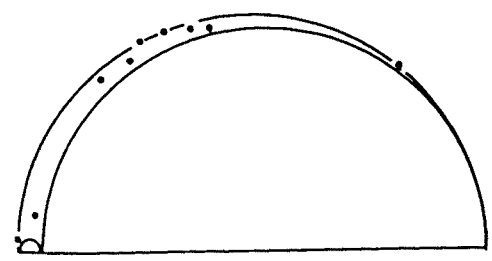


x 10
 ◻ 2
 ◊ 1

123-f



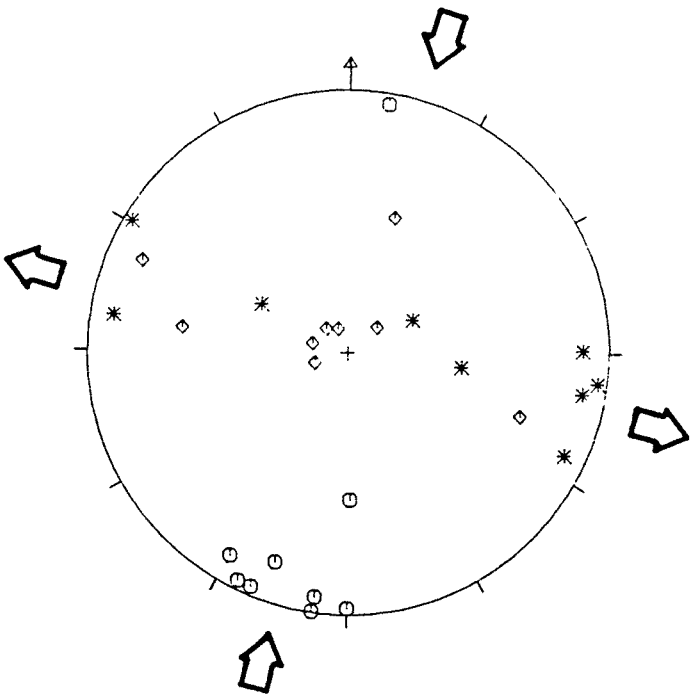
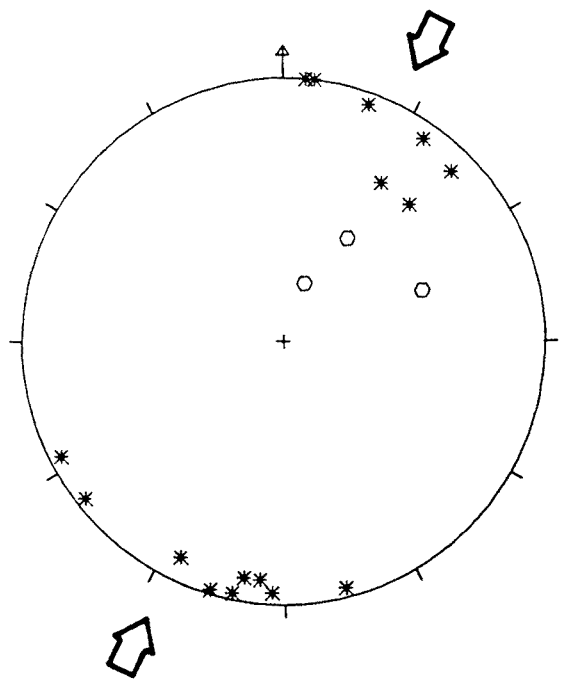
$R=0.05$



- × N:4
- I:2
- △ D:1

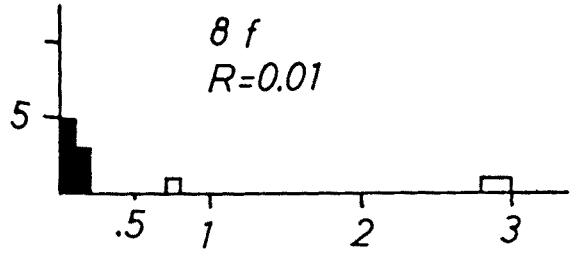
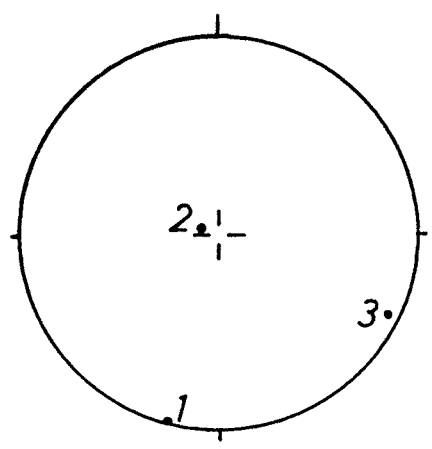
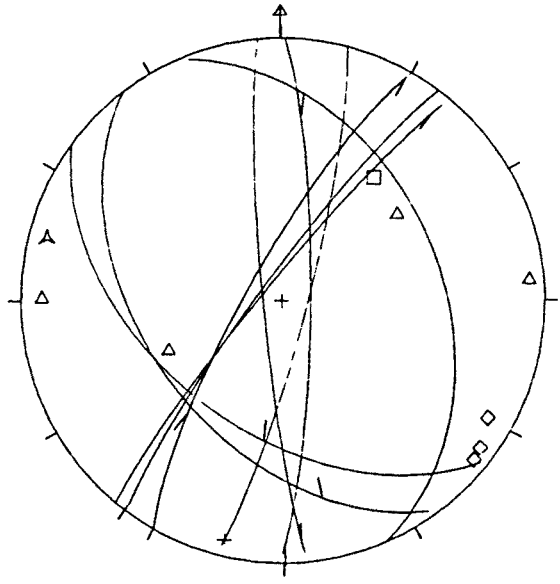
ESTACIO GCAT124: L'Ordal. Bretxes basals del Miocè del Penedès.

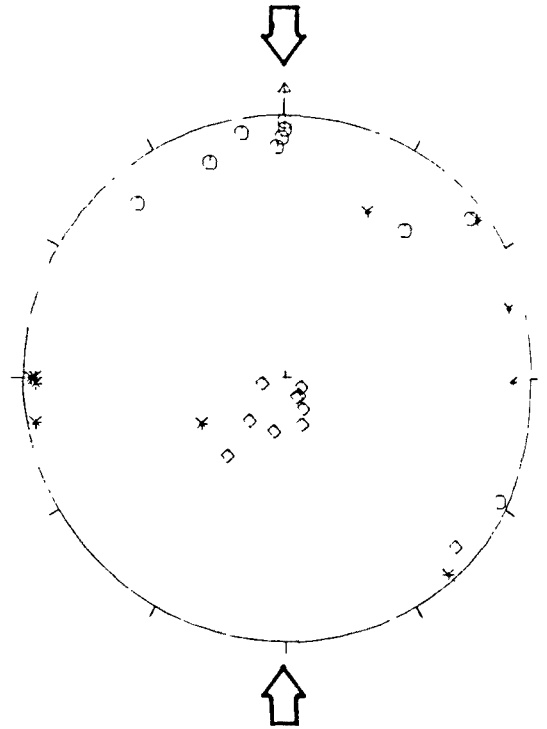
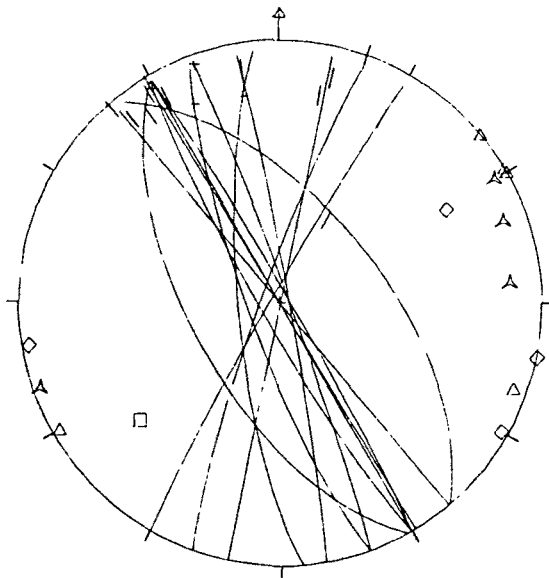
Tant a partir del estilòlits com de les falles es dedueix una solució amb σ_1 horitzontal i orientat NNE-SSW; a partir de les falles es dedueix que l'altre eix horitzontal és σ_2 .



o E:3 * F:16

- △ L:1
- I:1
- △ D:4
- ◇ S:4





△ L:4

□ I:1

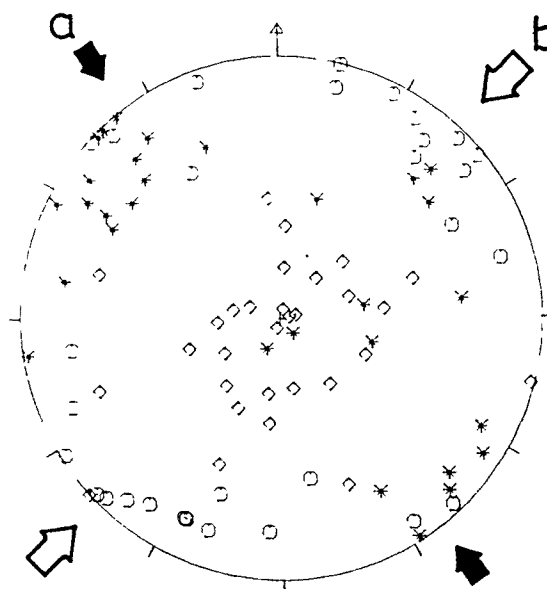
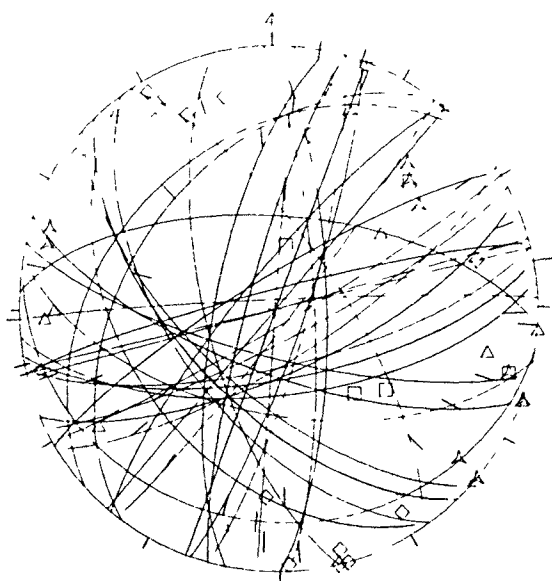
△ D:5

◇ S:4

ESTACIO GCAT132: Rubí, Burdigalià inferior del sud de la fossa del Vallès (Dades de JULIA i SANTANACH, 1980).

S'obté una gran dispersió de σ_1 , disposat horitzontalment amb un màxim orientat N-S.

GCAT139



A L 9

□ 1.5

△ 0 9

◇ 5 10

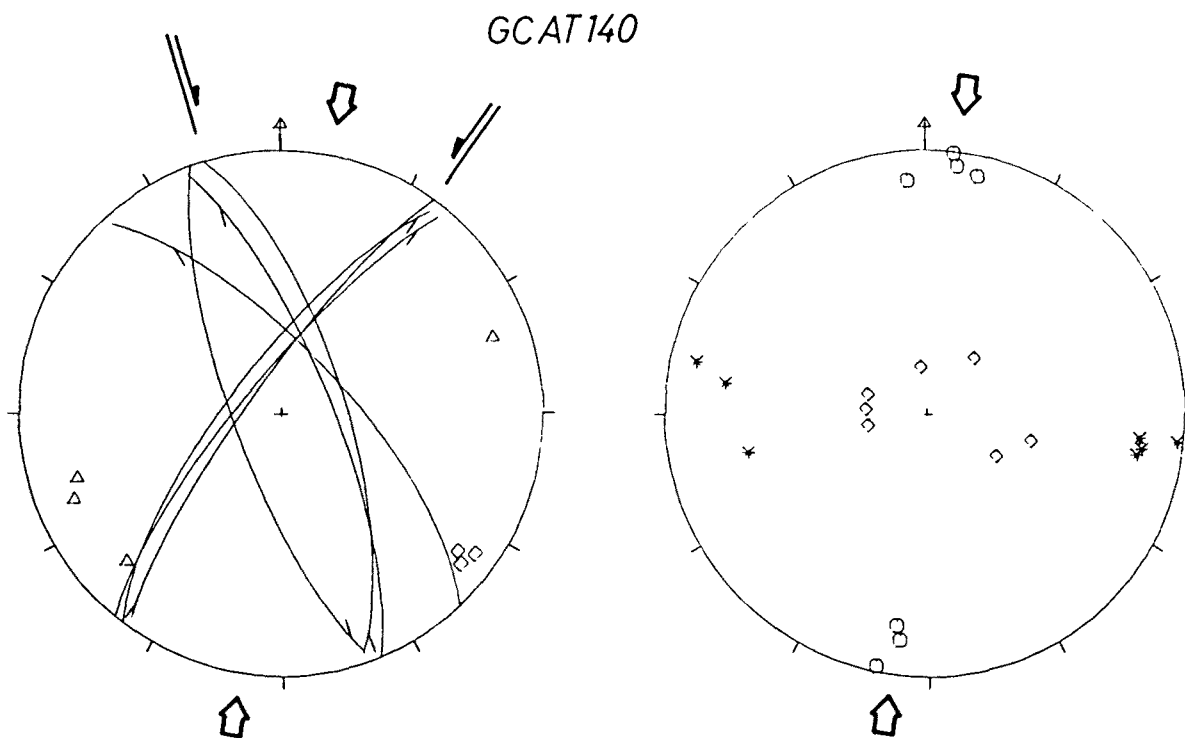
ESTACIO GCAT139: Pas de l'Ase, al nordoest de Garcia, als materials juràssics de l'anticlinori de Cavalls-Pàndols; cabussament de les capes variable. Segons TEIXELL (1986).

Se n'obtenen dues solucions:

a) σ_1 horitzontal orientat NW-SE, amb l'eix σ_3 òptim que varia d'horitzontal a vertical.

b) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE respectivament.

La solució b) és clarament majoritària i no hi ha observacions sobre les relacions temporals entre ambdues.



ESTACIO GCAT140: Carretera de Torrelles de Foix a Pontons. Conglomerats pliocens; estratificació subhoritzontal. Dades i interpretació, segons AMIGO (1986).

Les 7 falles direccionals són d'escala centimètrica (4 dextres i 3 sinistres). Pel mètode dels esforços òptims forneixen totes una solució coherent, amb σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats N-S i E-W, respectivament.

AREES
PLEGADES

ESTACIO GENLO11: Anticlinal entre Vall-de-roures i Beseit. Calcàries del Juràssic.

El plec --i l'encavalcament al qual està associat-- té una orientació N 070 E.

A partir de les esquerdes de tensió se'n dedueixen dues direccions d'escurçament horitzontals:

- 1) Z i X paral·lels a l'estratificació i aproximadament N-S i E-W, respectivament.
- 2) Z i X paral·lels a l'estratificació i NW-SE i NE-SW, respectivament.

Les esquerdes de tensió del segon episodi tallen les del primer.

A partir de les falles --pel mètode dels esforços òptims-- es dedueix σ_1 i σ_2 paral·lels a l'estratificació i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. Tenint en compte les relacions geomètriques entre les falles i l'estratificació --estries paral·leles a les capes i basculades amb elles--, aquestes falles semblen haver-se format abans que el plec.

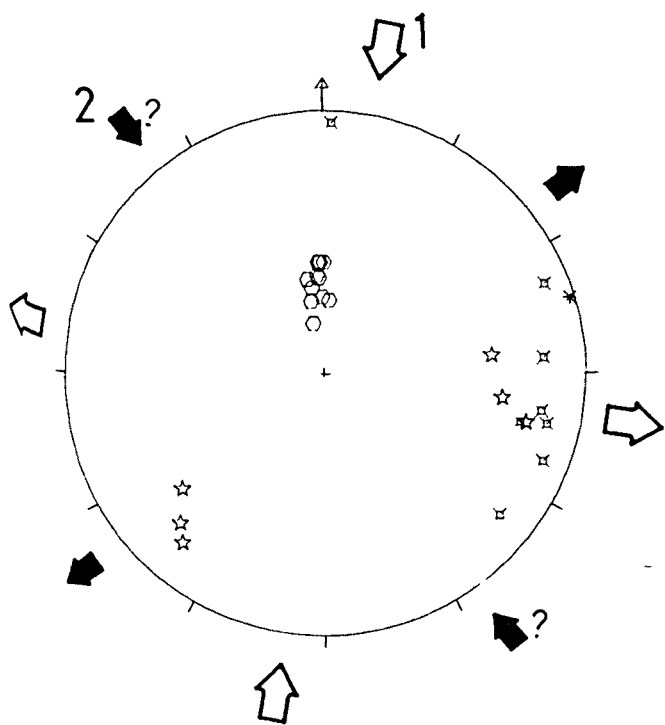
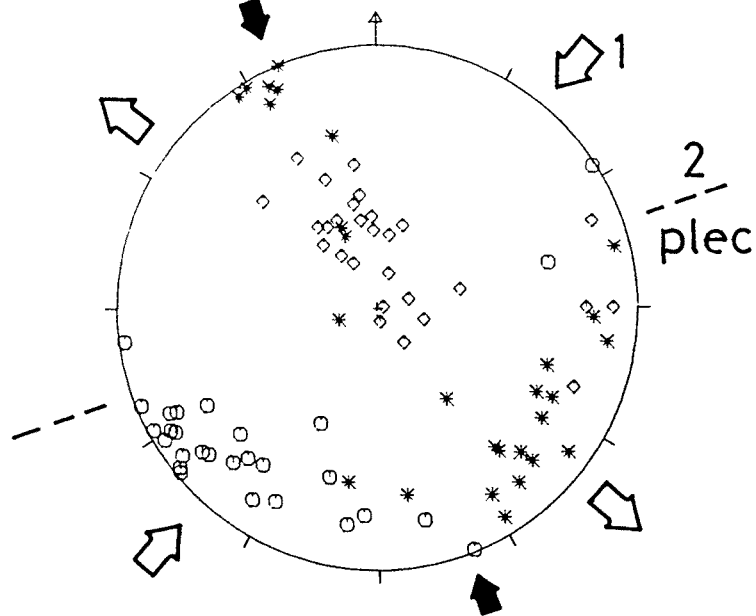
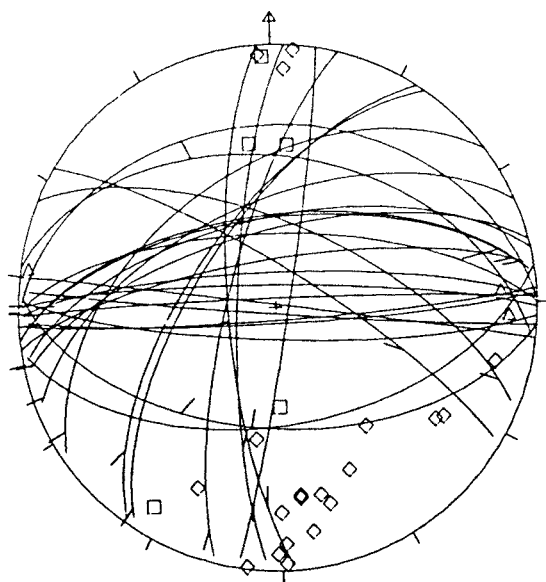
Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) s'obtenen dues solucions semblants, però la majoritària té σ_1 en una orientació coincident amb la primera direcció d'escurçament deduïda a partir de les esquerdes de tensió.

Així, doncs, tant a partir de les esquerdes de tensió com de les relacions entre les falles i el plec, se'n dedueixen dues solucions amb Z o amb σ_1 dins els quadrants NE-SW i NW-SE, de les quals la primera solució és anterior a la segona en els dos casos. Aquestes dues solucions són:

- 1) σ_1 i σ_2 orientats NNE-SSW i WNW-ESE, respectivament.
- 2) Z i X orientats NW-SE i NE-SW. Aquesta direcció d'escurçament és aproximadament perpendicular a l'eix del plec.

GENLO11

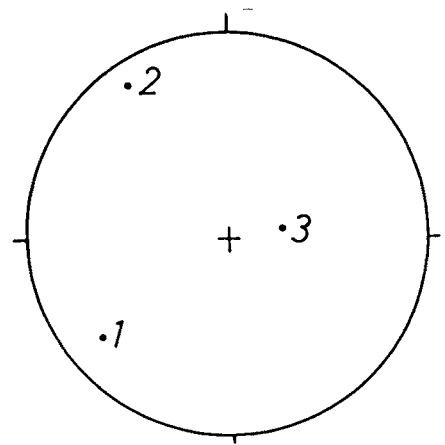
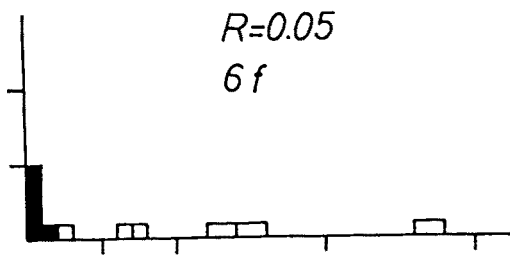
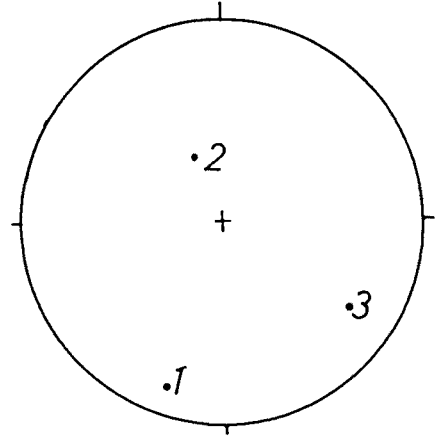
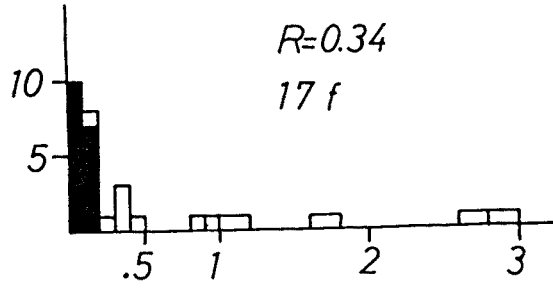
2(plec)



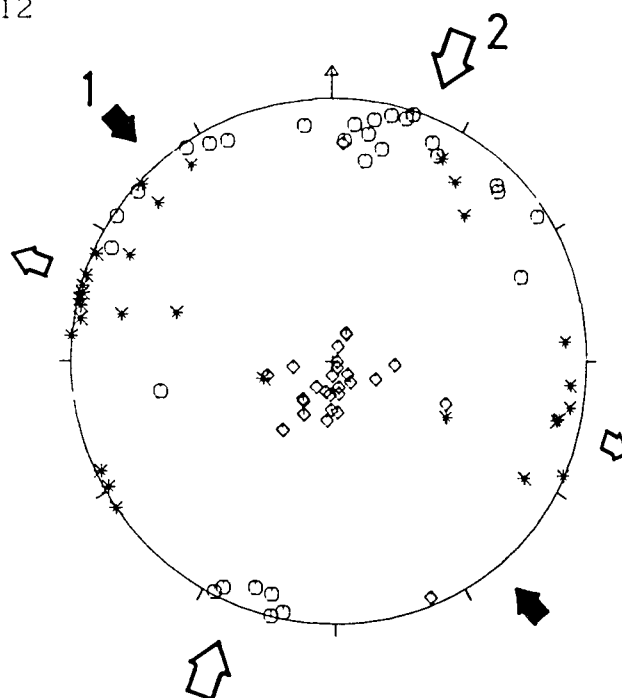
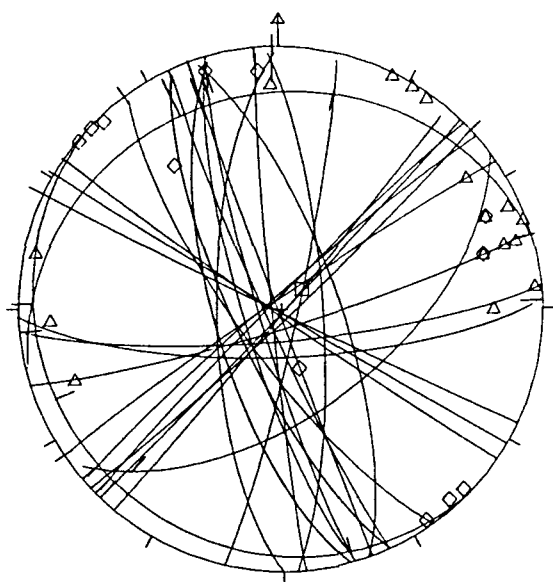
- I:5
- △ D:3
- ◇ S:20

- E:11 * F.1
- ⊠ A.8
- ☆ B.6

011



GENLO12

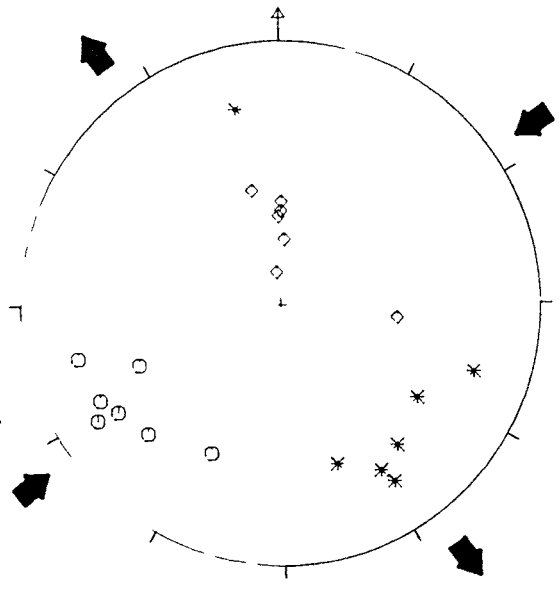
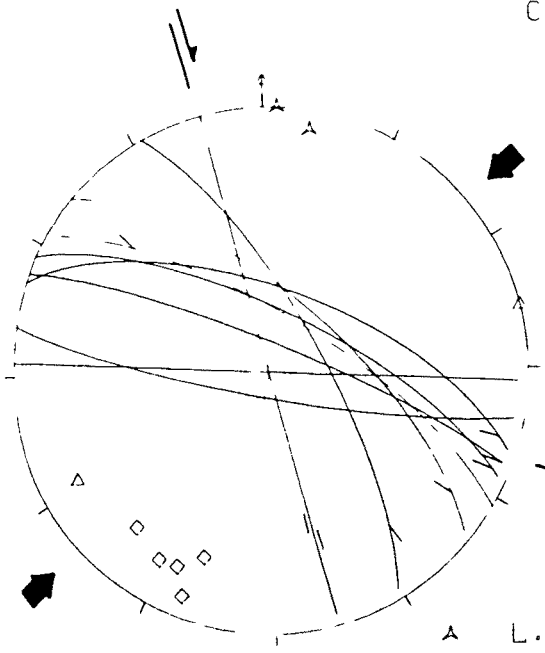


- I:1
- △ D:16
- ◇ S:12

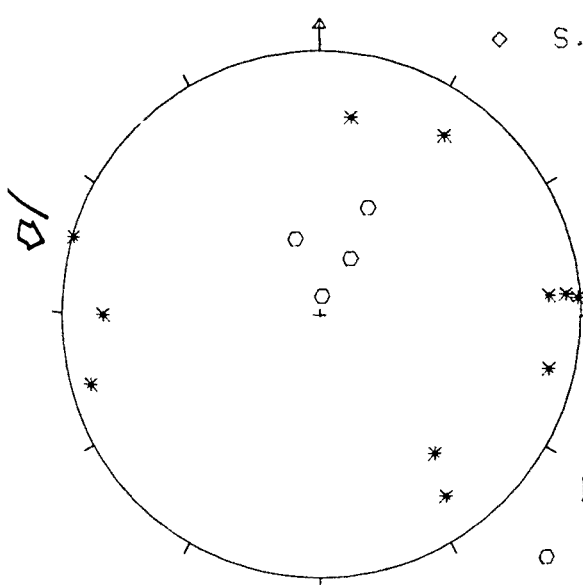
ESTACIO GENLO12: Embassament de la Sénia. Calcàries del Portlandià; estratificació horitzontal.

Se'n dedueixen dues solucions clarament distintes per la presència de moviments direccionals oposats sobre els mateixos plans de falla; l'ordre temporal en què s'han produït és el següent:

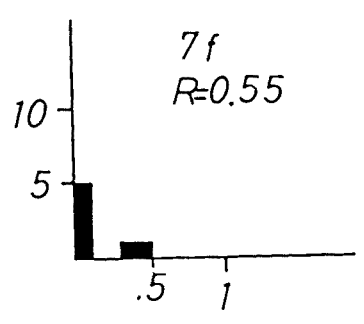
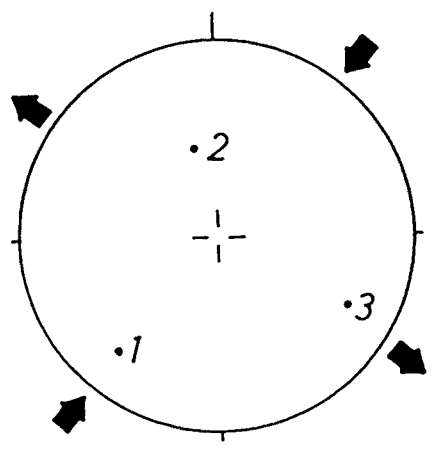
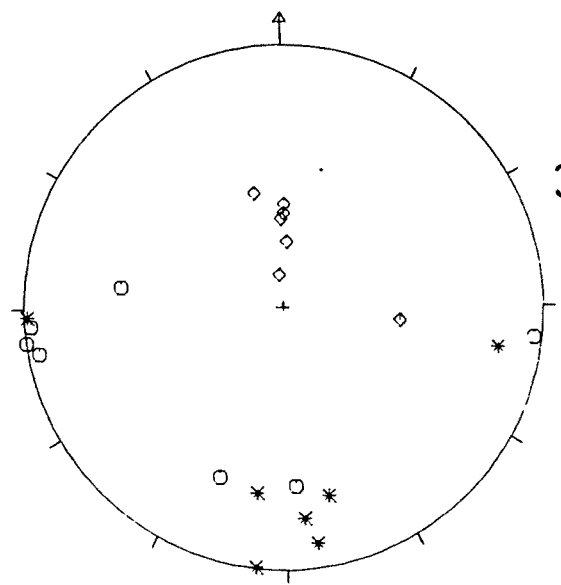
- 1) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NW-SE i NE-SW, respectivament.
- 2) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NNE-SSW i ESE-WNW, respectivament. Es la solució majoritària.



▲ L.2
 △ D.2
 ◇ S.5



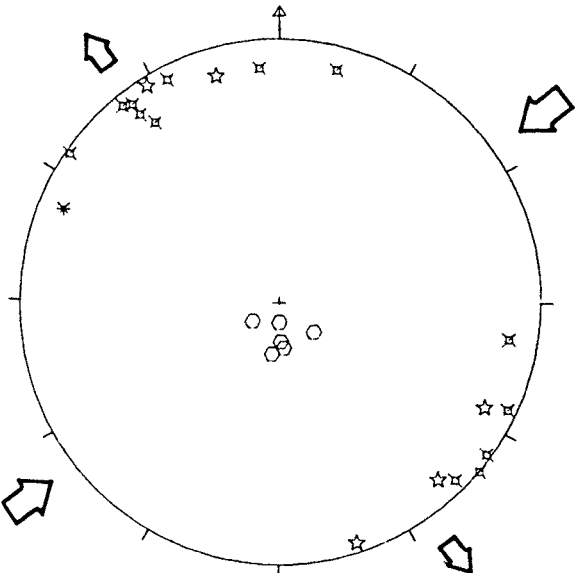
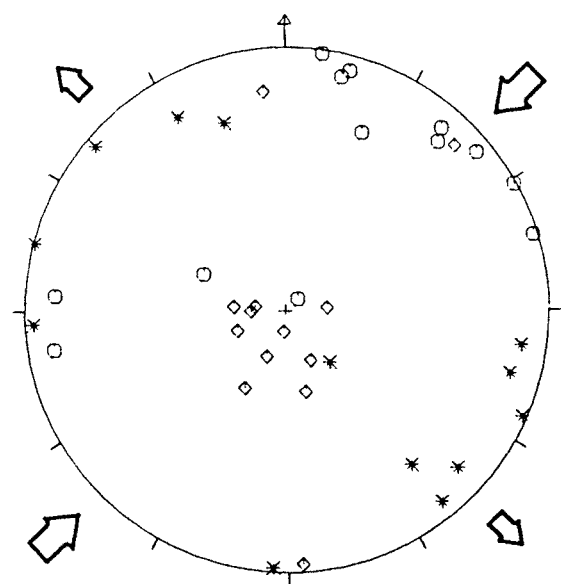
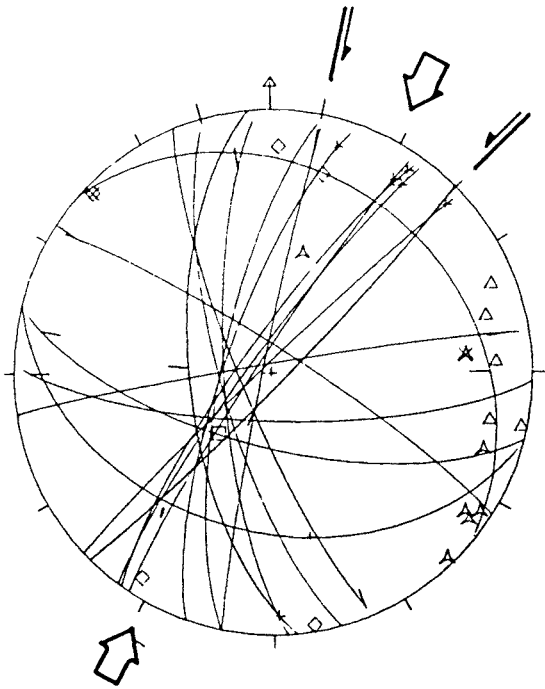
○ E.4
 * F.11



ESTACIO GENLO18: Les voltes de Vallivana, calcàries del Cretaci inferior.

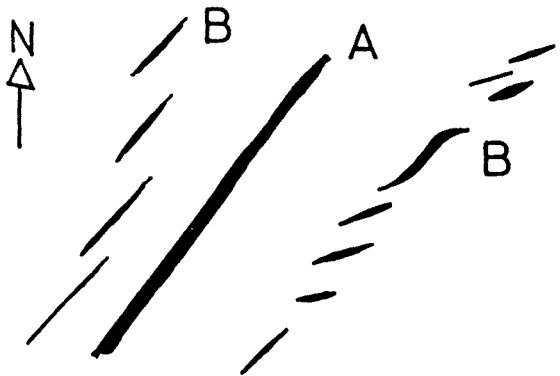
A partir de les falles s'obté una dispersió de l'eix σ_1 òptim pels quadrants NE-SW, cosa que dóna una mitjana al voltant d'aquesta direcció. Les estries de les falles direccionals són paral·leles a l'estratificació. Hi ha dues estries que indiquen moviments normals que es troben sobre plans que també en tenen de direccionals; no se'n veu la relació.

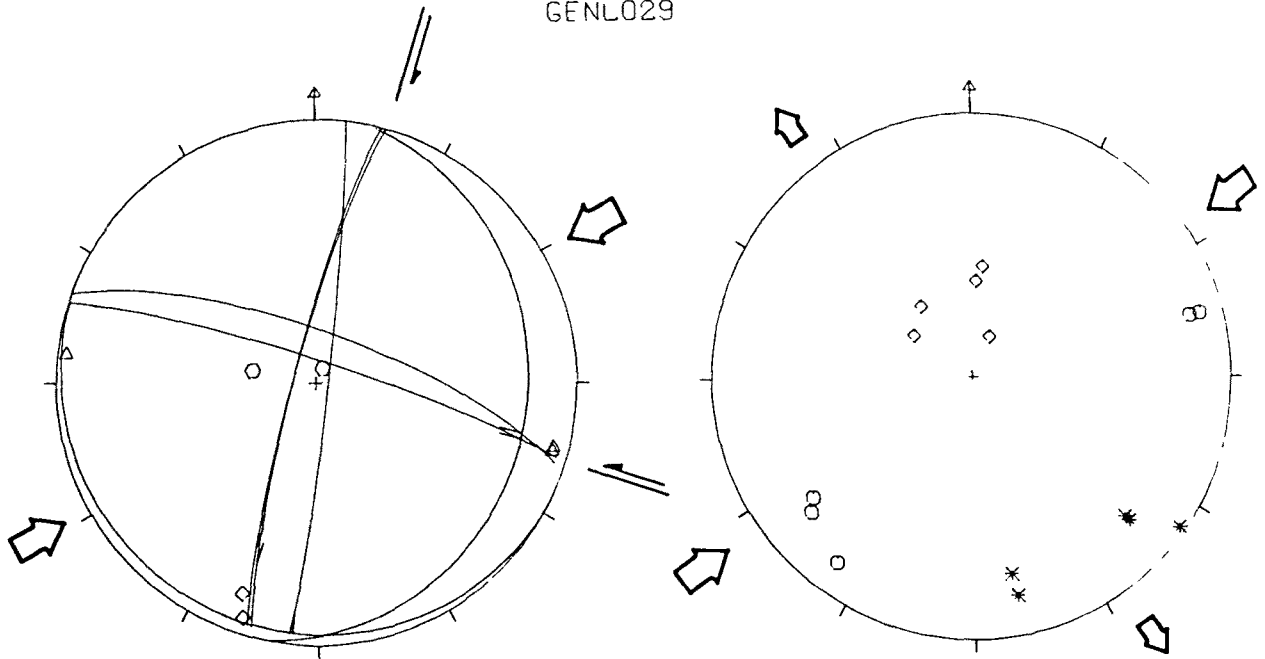
A partir de les esquerdes de tensió es dedueix un camp de deformacions amb Z i X horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. La gran dispersió dels pols dels plans de les esquerdes és produïda per l'esgraonament d'esquerdes d'ordre inferior, tal com es representa a l'esquema inferior.



- △ L:7
- × N:2
- I:1
- △ D:5
- ◇ S:5

- E.6
- × F.1
- ✕ A.13
- ☆ B 5



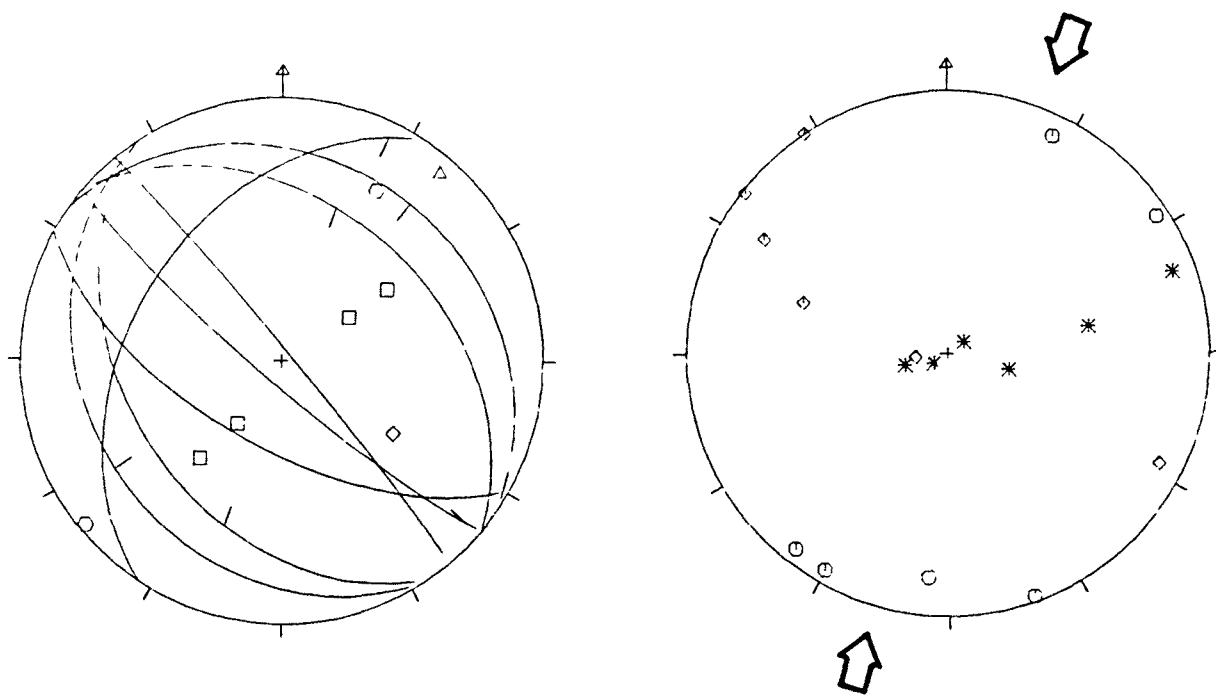


- △ D.3
- ◇ S:2
- E:2

ESTACIO GENLO29: Herbeset. Calcàries aptianes.

A partir de cinc falles direccionals conjugades s'obté una solució amb σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament.

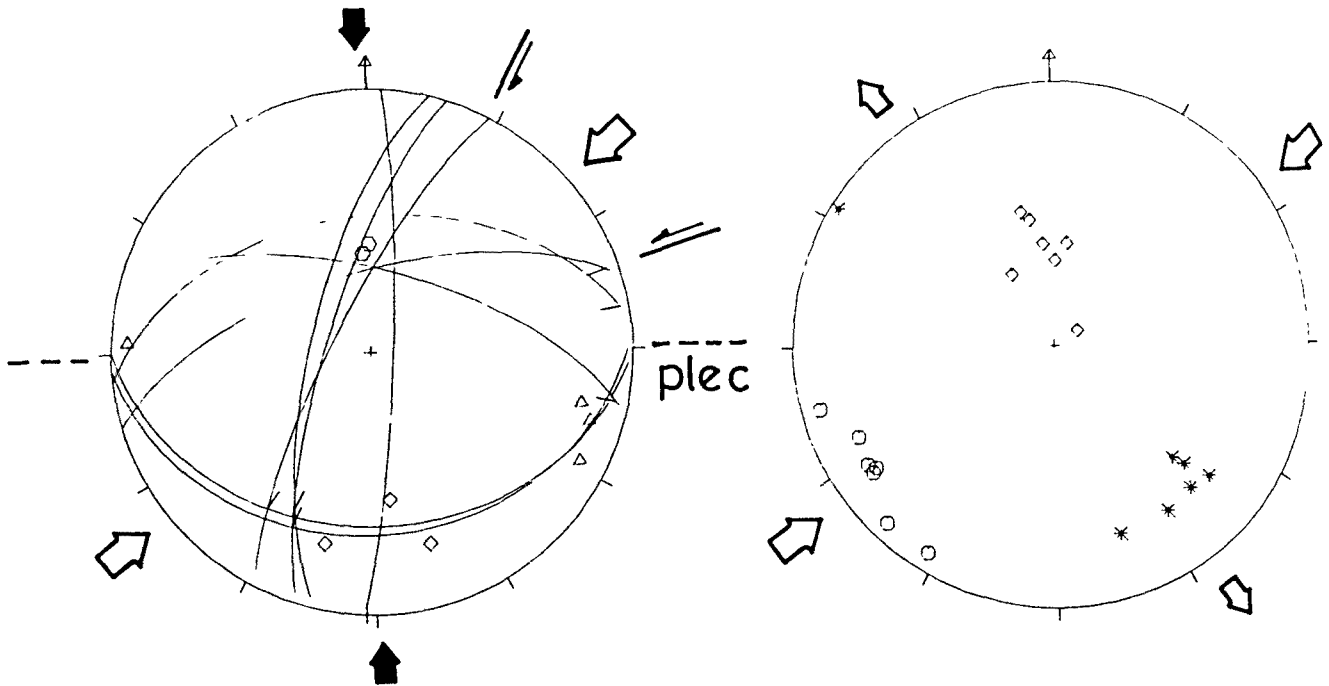
GENLO31



- I:4
- △ D:1
- ◇ S:1
- E:2

ESTACIO GENLO31: A l'est de Torre-Miró. Calcàries de l'Aptià; capes subverticals.

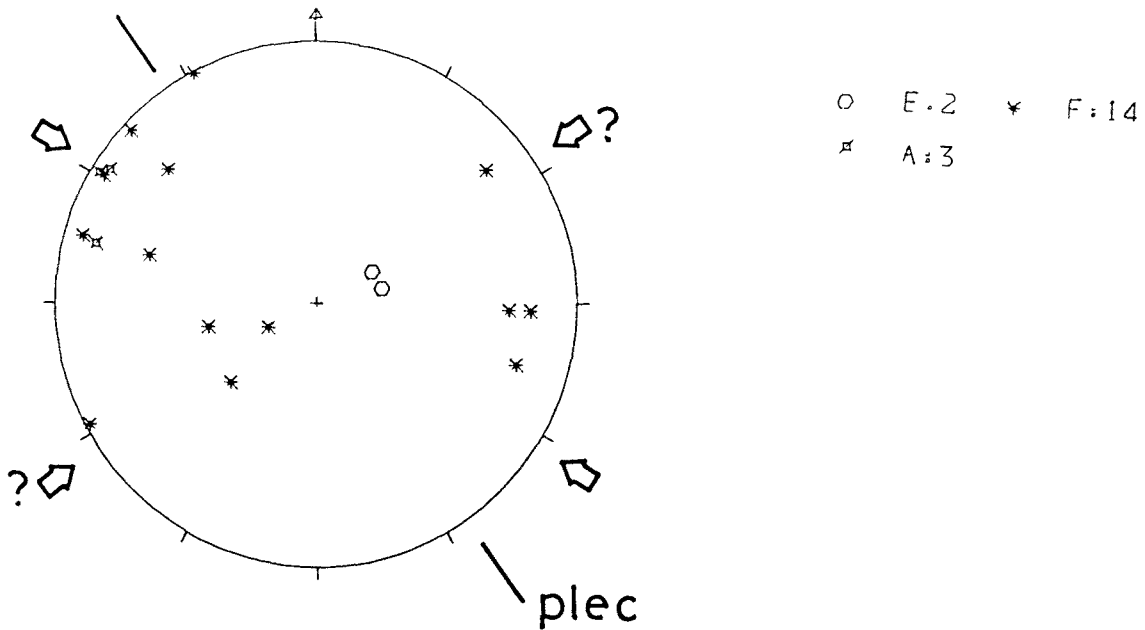
Amb una certa dispersió, s'obté una solució amb σ_1 horitzontal i orientat NNE-SSE.



- △ D:4
- ◇ S:3
- E:2

ESTACIO GENLO42: Anticlinal de Villores. Calcàries del trànsit Juràssic-Cretaci.

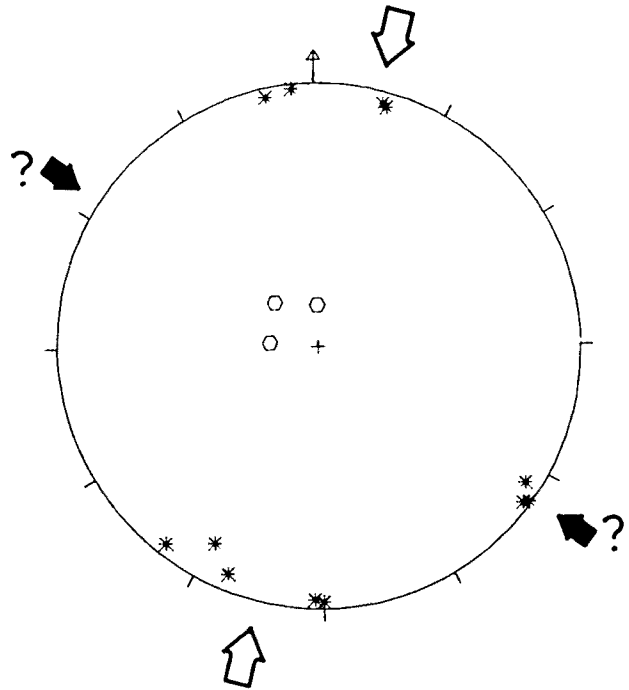
A partir de les 7 falles direccionals es dedueix una única solució amb σ_1 i σ_2 subhoritzontals i orientats NNE-SW i NW-SE, respectivament. L'orientació d'aquests eixos és clarament diferent a la direcció d'escurçament (N-S) que s'obté a partir del plec (E-W). Cal remarcar que els plans de les falles són perpendiculars a l'estratificació i les estries en són paral.leles; això pot indicar que les fractures són anteriors al desenvolupament del plec.



ESTACIO GENL052: Carretera entre Cantavieja i Fortanete.
 Calcàries de Cretaci inferior. Mesures fetes a la volta
 subhoritzontal del plec en cofre de Cantavieja.

La major part dels pics estilolítics es concentren al
 voltant de la direcció NW-SE, lleugerament oblíqua a la
 direcció de l'eix del plec; una minoria es reparteix en
 direccions aproximadament perpendiculars a la direcció de
 l'eix del plec.

o E:3 * F:12



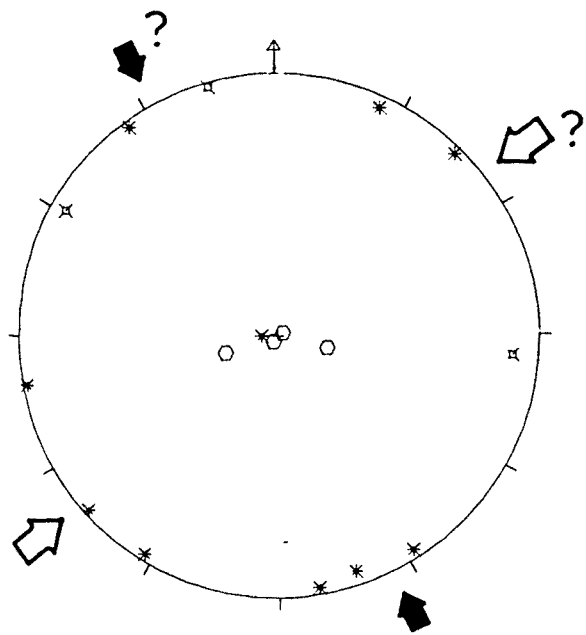
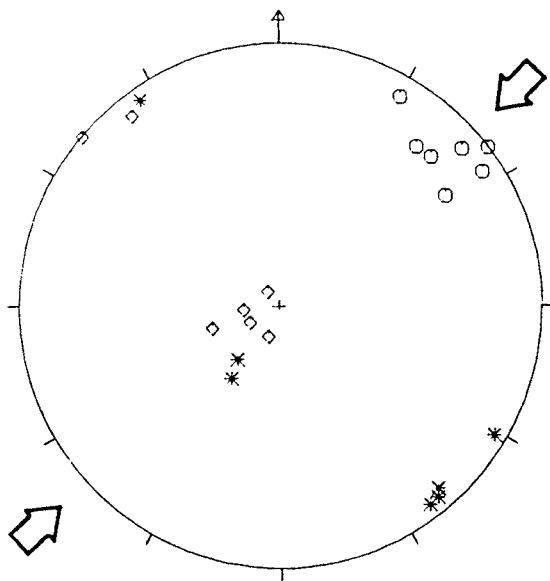
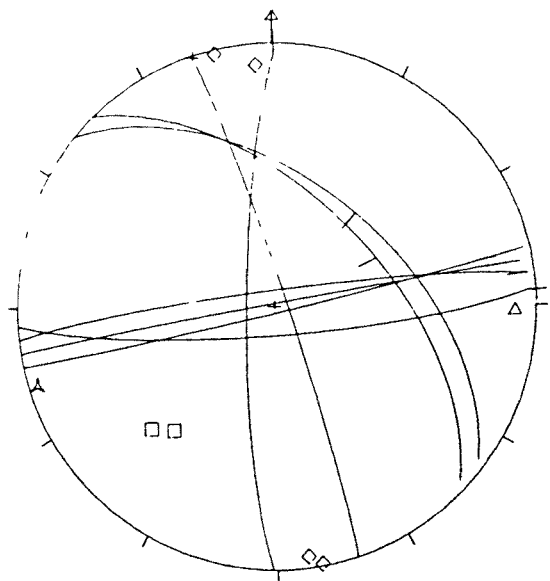
ESTACIO GENL054: Carretera entre Fortanete i Villarroya de los Pinares. Calcàries del Cretaci superior.

La majoria (9) dels estilòlits s'orienta aproximadament NNE-SSW. Un altre grup minoritari (3) ho fa al voltant de la direcció NW-SE.

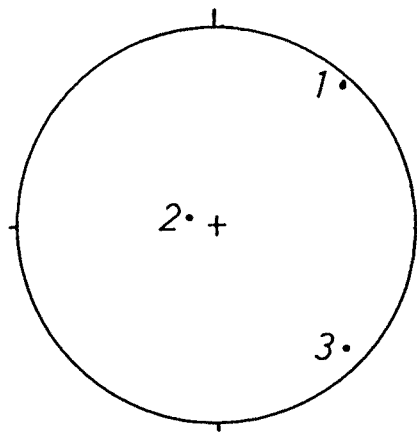
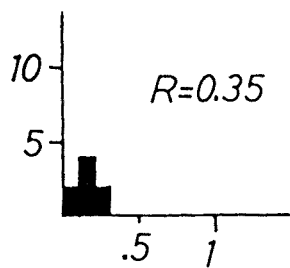
ESTACIO GENLO56: Puerto de San Just. Calcàries del Cretaci superior.

A partir de les falles direccionals i inverses es dedueix --tant pel mètode d'ETHECOPAR et al. (1981) com pel mètode dels esforços òptims-- un tensor d'esforços amb σ_1 i σ_2 subhoritzontals i orientats NE-SW i NW-SE, respectivament. La coexistència de falles direccionals i inverses pot explicar-se pel valor de R baix.

Els pics estilolítics s'agrupen en dos màxims (NNE-SSW i NNW-SSE), el primer dels quals és coherent amb la solució obtinguda a partir de les falles.



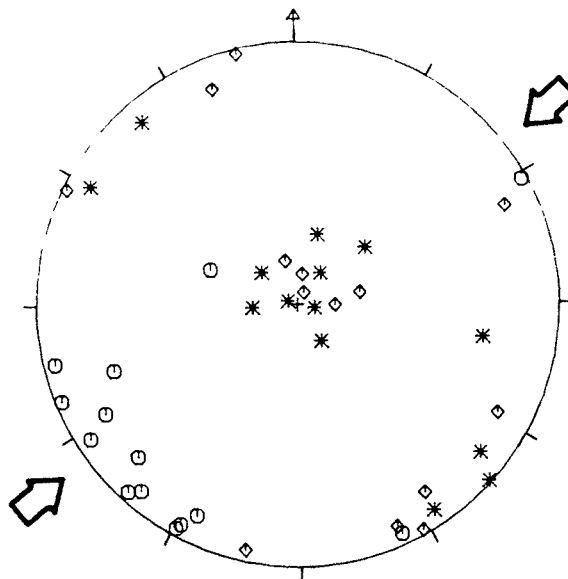
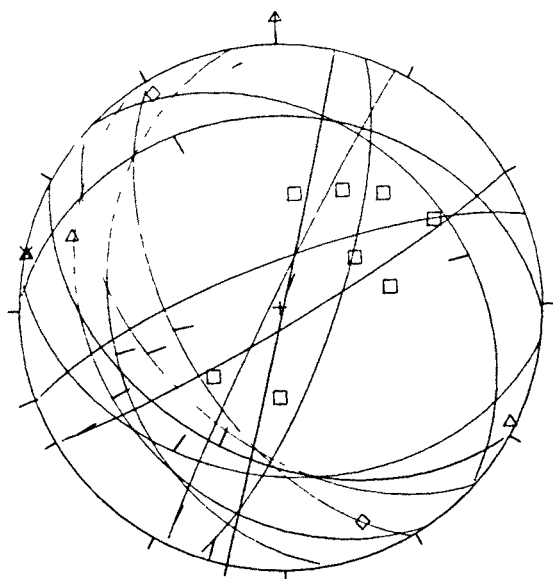
- | | | | |
|---|-----|---|------|
| △ | L:1 | | |
| □ | I:2 | | |
| △ | D:1 | | |
| ◇ | S:4 | | |
| ○ | E:4 | * | F:10 |
| ⊠ | A:3 | | |



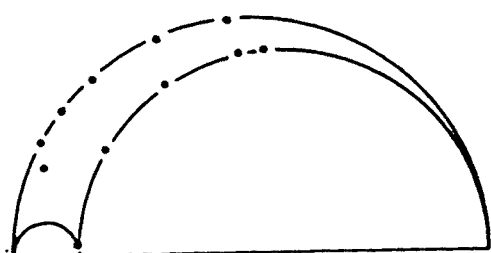
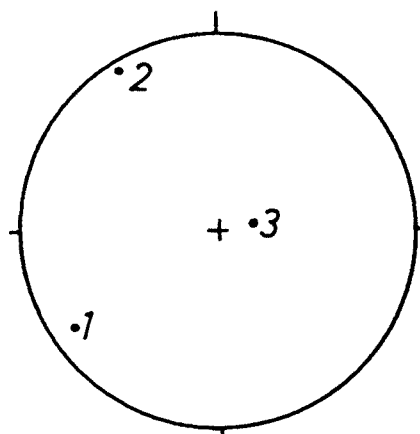
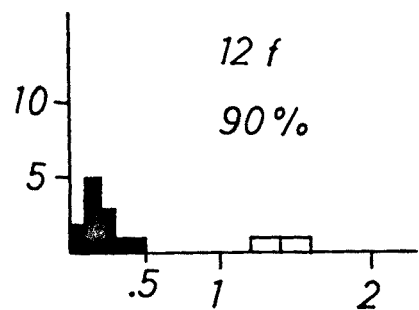
ESTACIO GENLO57: Pantà de Santolea. Calcàries del Cretaci superior.

A partir de falles inverses i direccionals es dedueix, pel mètode dels esforços òptims, un eix σ_1 subhoritzontal i orientat NE-SW. No hi ha cap observació que faci pensar que les falles inverses i direccionals haguessin jugat en moments diferents; a partir d'això pot suposar-se que σ_2 i σ_3 tenien uns valors relatius semblants.

La solució obtinguda pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) amb el 90 % de les falles, coincideix força bé amb l'anterior. El valor de R obtingut és bastant baix, com es pot esperar de la presència de falles direccionals i d'inverses.



- × N:1
- I:8
- △ D:3
- ◇ S:2



R=0.14

ESTACIO GENL066: Embassament de Calanda. Calcàries del Juràssic. Flanc sud del plec d'escala quilomètrica de Calanda; estratificació: 104,60 S.

Pel mètode dels esforços òptims, els eixos σ_1 i σ_3 es disposen paral·lelament a l'estratificació (gairebé totes les falles en són perpendiculars). S'obté un màxim principal amb σ_1 horitzontal orientat N 100 E, amb σ_2 i σ_3 inclinats.

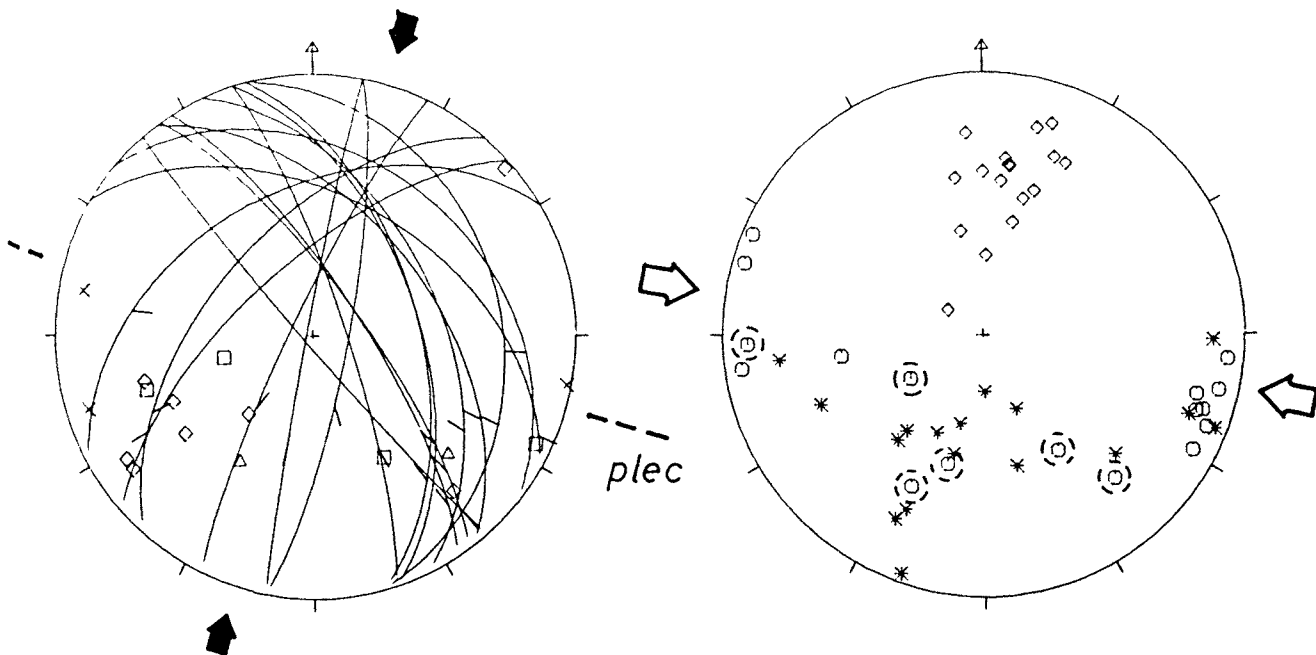
Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) la solució majoritària (70%) es correspon bastant exactament amb la solució majoritària obtinguda pel mètode anterior; els σ_1 òptims encerclats són els que no estan inclosos en la solució, el menys inclinat de tots --orientat E-W-- correspon a la dada marcada amb una aspa a l'histograma, queda, doncs, bastant a prop de la solució majoritària.

Abatent l'estratificació a l'horitzontal, les dades que queden fora d'aquesta solució --excepte la darrera de què n'acabo de parlar-- indiquen un σ_1 òptim subhoritzontal orientat al voltant de N-S, que coincideix, grosso modo, amb la direcció d'escurçament que indica el plec d'ordre quilomètric; correspondrien als estadis previs al plegament, amb la mateixa direcció de compressió horitzontal.

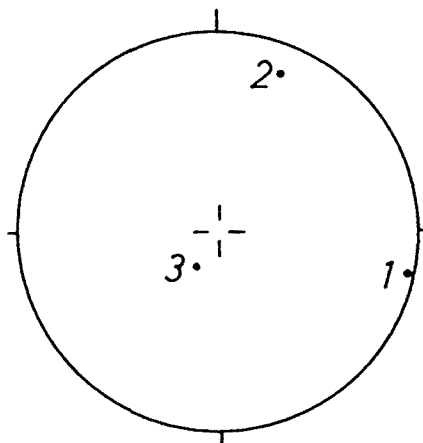
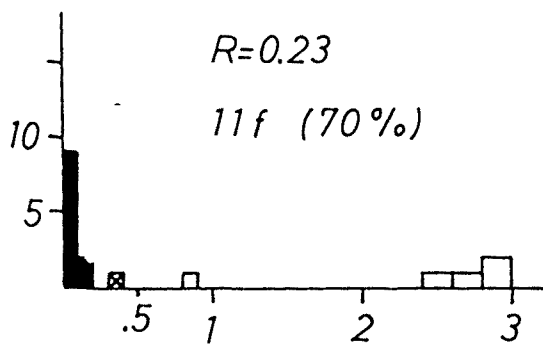
En abatre l'estratificació a l'horitzontal els eixos σ_2 i σ_3 obtinguts pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) canvien la seva inclinació, el primer passa a ser subvertical i el segon subhoritzontal, σ_1 no varia la seva orientació ja que és paral·lela l'eix del plec i, per tant, coincideix amb l'eix de rotació.

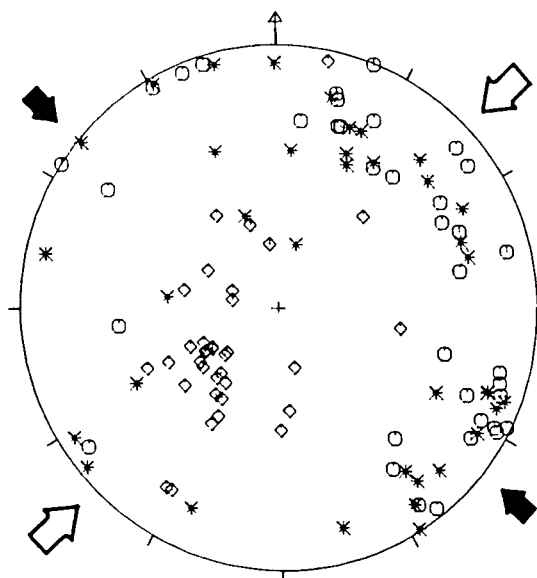
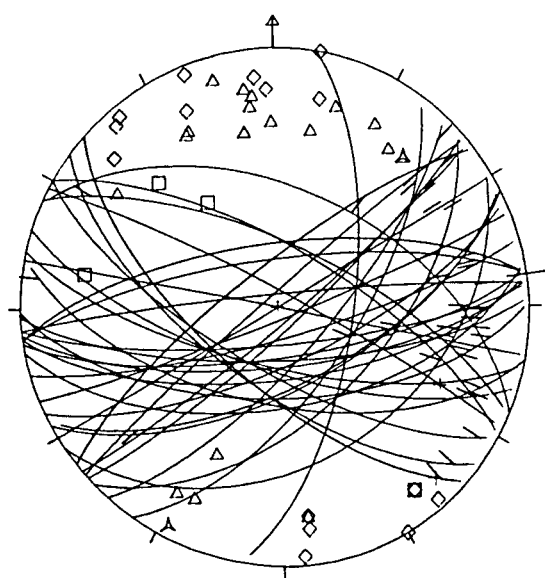
Els plans de falla i les estries contingudes són perpendiculars i paral·leles, respectivament, als plans d'estratificació. Aquest fet pot indicar que les falles són anteriors al basculament de les capes produït pel plegament. Per tant, la cronologia dels esdeveniments tectònics reconeguts en aquesta estació és:

- 1) Tensor d'esforços amb σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats N 100 E i N 010 E, respectivament.
- 2) Tensor d'esforços amb σ_1 i σ_3 subhoritzontals i orientats aproximadament N 010 E i N 100 E, respectivament. Posteriorment es produiria el plec, amb una direcció d'escurçament principal coincident amb el σ_1 anterior.



- x N:3
- I:4
- △ D:2
- ◇ S:8





A L:2

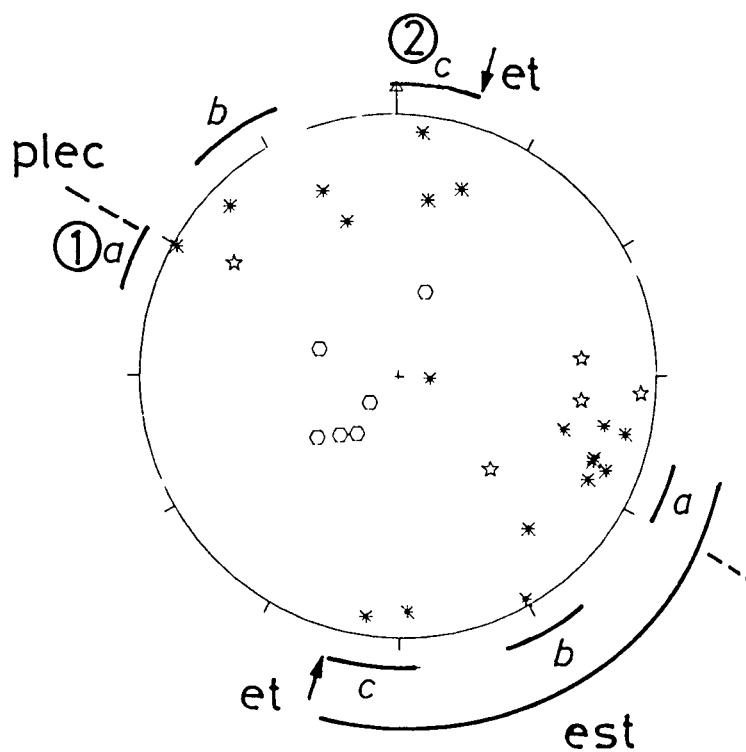
□ I:4

△ D:18

◇ S.15

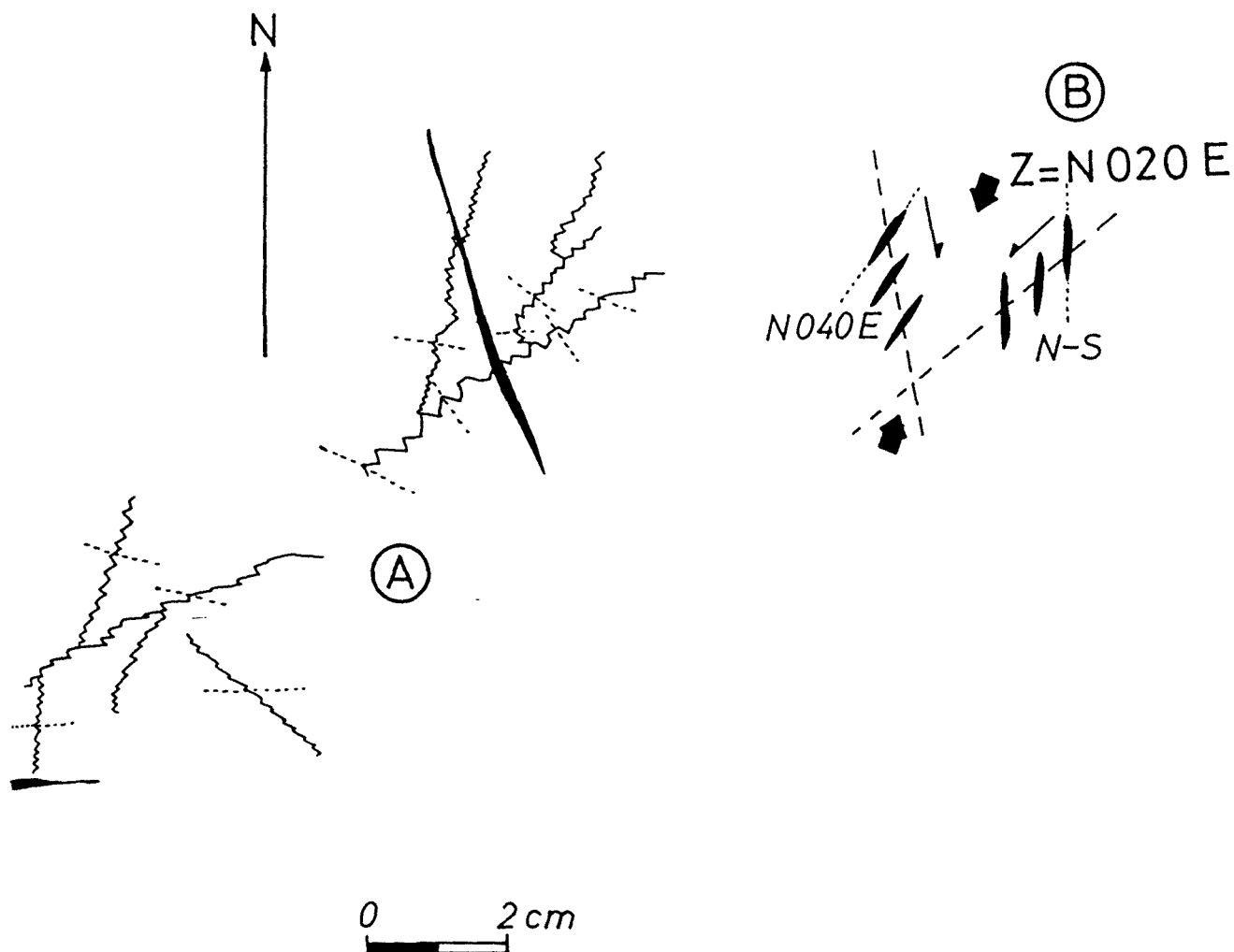
○ E 6 * F.19

☆ 25



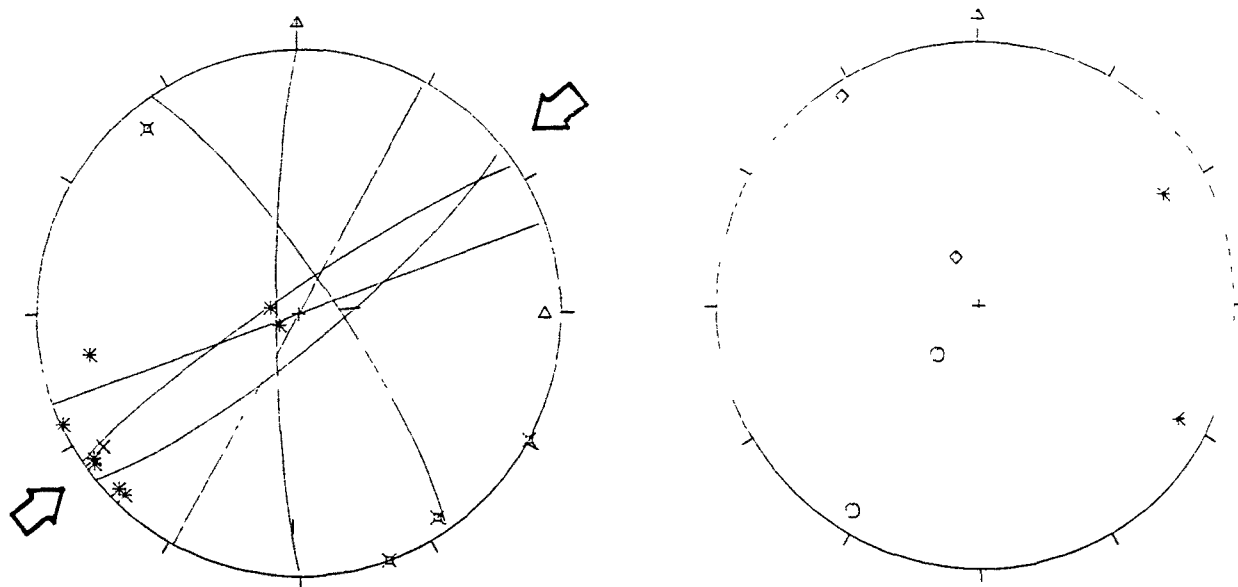
ESTACIO GENL126: Al nord de Rillo. Calcàries juràssiques al flanc sudoest d'un anticlinal orientat NW-SE.

A partir de les falles es dedueixen dues solucions amb σ_1 orientat NW-SE i NE-SW y contingut en el pla d'estratificació; totes dues tenen σ_2 perpendicular a l'estratificació. Una solució té l'eix σ_1 aproximadament paral·lel a l'eix del plec y l'altra aproximadament perpendicularment.



A partir dels estilòlits s'obtenen dos màxims principals (a i c) i un de secundari (b); en aquest darrer he observat que els pics estilolítics són oblics al pla estilolític que els conté. A l'esquema A es troben representades les relacions entre els estilòlits del màxim a i els del màxim c: els plans estilolítics del màxim c i les esquerdes de tensió associades tallen els estilòlits del màxim a; cal remarcar, però, la gran variació de l'angle que fan els pics (indicats amb línies discontinües) amb els plans estilolítics --sobretot al màxim c--, l'existència de plans estilolítics de direccions intermèdies, que l'orientació dels pics en plans del màxim c pot arribar a ser paral·lela als pics del màxim a, i les inflexions que sofreixen alguns plans i pics del màxim a que pot arribar als 90°.

Les esquerdes de tensió s'esgraonen tot indicant una direcció d'escurçament paral·lela a l'estratificació. Com es representa a l'esquema B, s'esgraonen en unes zones de cisalla conjugades --dextra i sinistra-- a les quals les esquerdes en són obliqües. La direcció d'escurçament que se'n dedueix és aproximadament NNE-SSW.



X N:1

Δ D:1

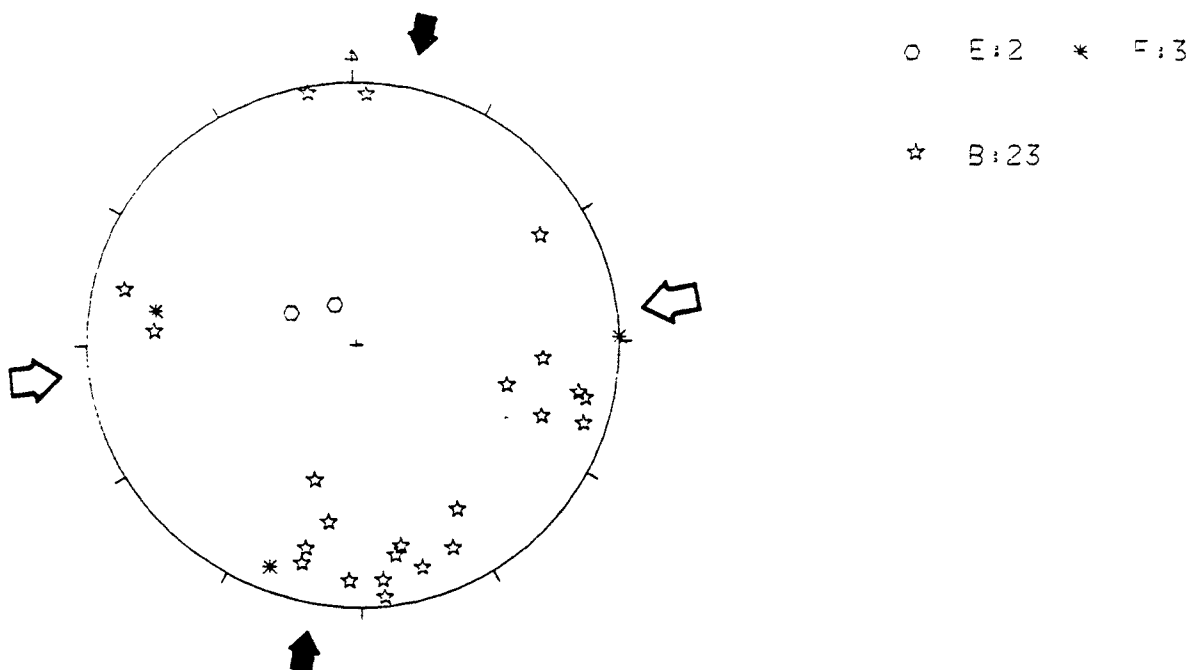
* F:8

✕ A:4

ESTACIO GENL131: Al nord d'Alcalà de la Selva. Calcàries del Cretaci inferior del flanc oest de l'anticlinal d'Alcalà de la Selva. Capes subhoritzontals.

El màxim d'estilòlits horitzontals indica una direcció d'escurçament Z aproximadament NE-SW, coherent amb la falla direccional. La falla normal és clarament incompatible amb aquesta solució i podria estar relacionada amb els estilòlits verticals; són, de fet, poques dades i no he pogut observar la relació temporal amb la solució anterior.

**FOSSES
COSTANERES**



ESTACIO GENLOO2: Calcàries juràssiques a l'est de Santa Magdalena de Polpís.

Estilòlits i esquerdes de tensió que indiquen escurçament --i en el segon cas, també allargament-- paral·lel a l'estratificació. N'hi ha dos màxims que indiquen uns escurçaments orientats NNE-SSW i ENE-WSW aproximadament; fan entre ells un angle de l'ordre de 70° .

He observat en tres casos les relacions entre aquests dos sistemes d'estructures: en dos casos les estructures que indiquen una direcció d'escurçament NNE-SSW són anteriors a les que n'indiquen una ENE-WSW; en l'altre cas és al contrari. Això pot explicar-se de dues maneres:

- a) S'han alternat en el temps. Cal llavors suposar tres períodes deformatonals.
- b) Totes les estructures s'han produït simultàniament sota un camp de deformació tridimensional. Això implica que es produiria escurçament i allargament en totes direccions, paral·lelament a l'estratificació; per fer això possible cal que aquestes deformacions es produïssin en un volum de roca suficientment petit, mentre que en un volum immediatament adjacent l'orientació de Z i X es trobarien intercanviades. Les orientacions de Z i de X globals queden indefinides, ja que no he fet cap quantificació de la deformació.

ESTACIO GENL03: Calcàries juràssiques al sudest de Santa Magdalena de Polpís.

S'observen dues famílies de falles direccionals: dextres NNW-SSE i sinistres ENE-WSW; en cadascuna d'aquestes dues famílies hi ha un cas de falles de moviment oposat. No he observat la relació temporal entre els dos moviments però, a partir dels angles diedres aguts i obtusos entre les dues famílies, es veu que la solució majoritària té σ_1 biseca l'angle obtús, cosa que fa pensar que les falles eren preexistents, mentre que en la solució minoritària σ_1 biseca l'angle agut, i podria explicar la formació de les falles. Les estries normals es troben sobre plans de les dues famílies.

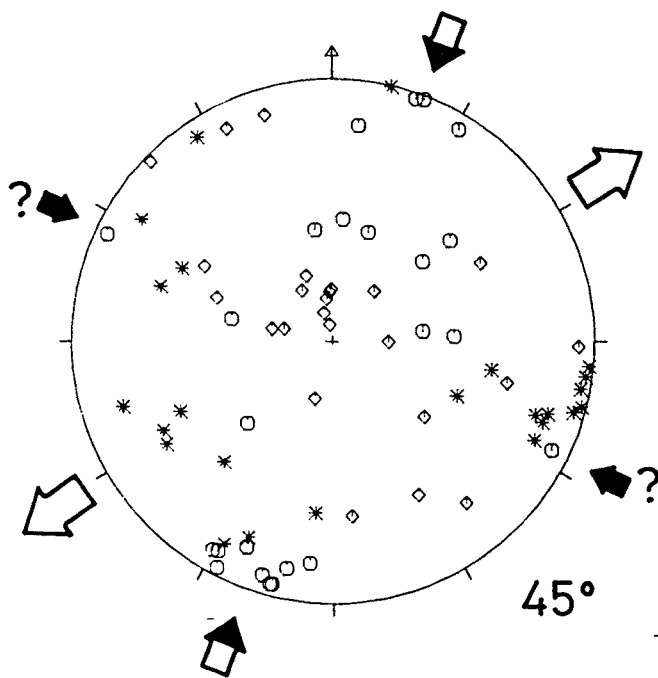
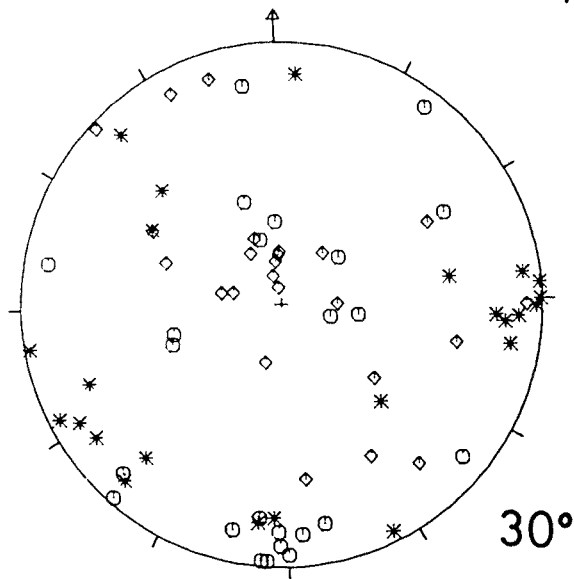
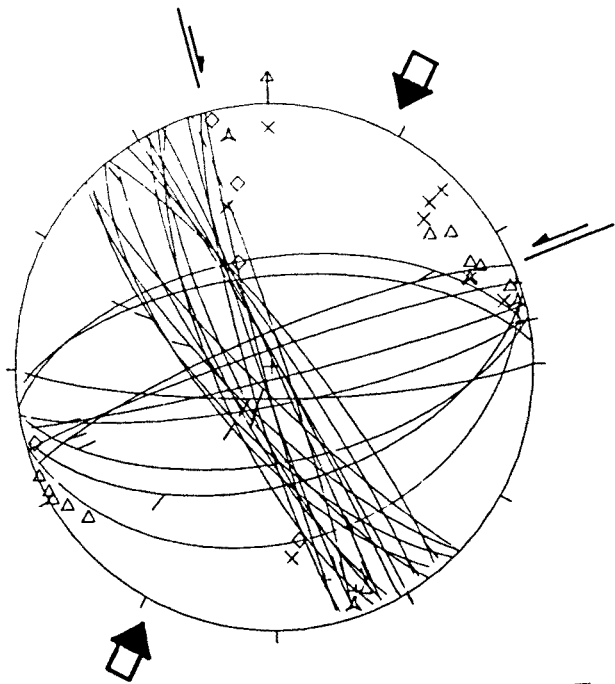
Els estilòlits es disposen en un màxim al voltant de la direcció ENE-WSW, s'han desenvolupat sobre els plans de falla de la família NNW-SSE i, almenys en un cas, semblen posteriors al moviment dextre. Hi ha, també, una mesura d'un pic estilolític aproximadament N-S.

La successió d'esdeveniments que es pot deduir a partir de les estructures descrites és:

- 1) Camp d'esforços amb σ_1 horitzontal i orientat WNW-ESE, que formaria els plans de falla.
- 2) Camp d'esforços amb σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats NNE-SSW i WNW-ESE, respectivament. Es dedueix a partir de la major part de les falles direccionals, tant pel mètode del diedre mínim com pel mètode dels d'esforços òptims; en aquest darrer mètode, amb 45° , s'obté una concentració més gran dels eixos òptims σ_1 , mentre que amb 30° hi ha una certa dispersió.
- 3) Escurçament ENE-WSW, que formaria els estilòlits d'aquesta orientació sobre els plans de falla NNW-SSE.
- 4) Camp d'esforços amb σ_1 subvertical i σ_3 d'orientació indeterminada, ja que a partir de les falles normals i de les esquerdes de tensió s'obtenen direccions gairebé perpendiculars. Aquest fet indica que es deuria produir una extensió horitzontal en totes direccions.

La relació temporal entre les episodis 3) i 4) no l'he observada.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) s'obtenen dues solucions coherents amb 2) i 4).

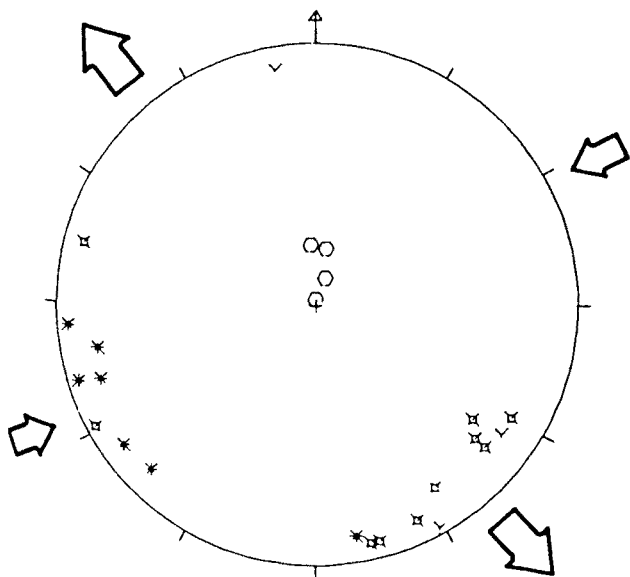


A L:4

X N:9

△ D:11

◇ S:5



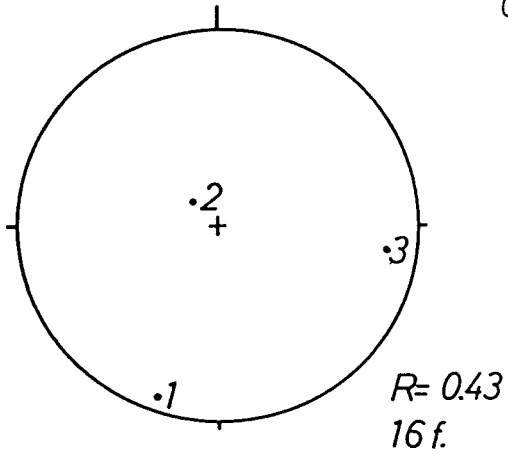
○ E:4 * F:7

□ A:10

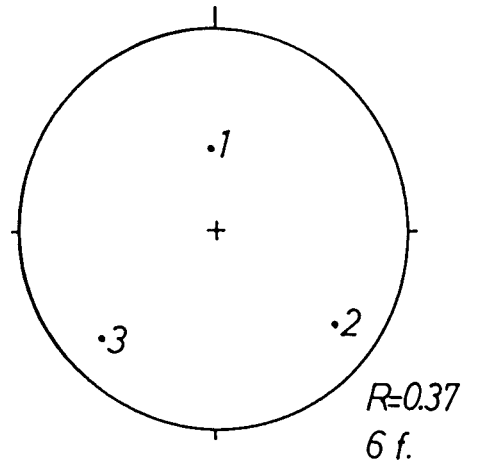
∨ C:3

11 2, 2, 0, 2

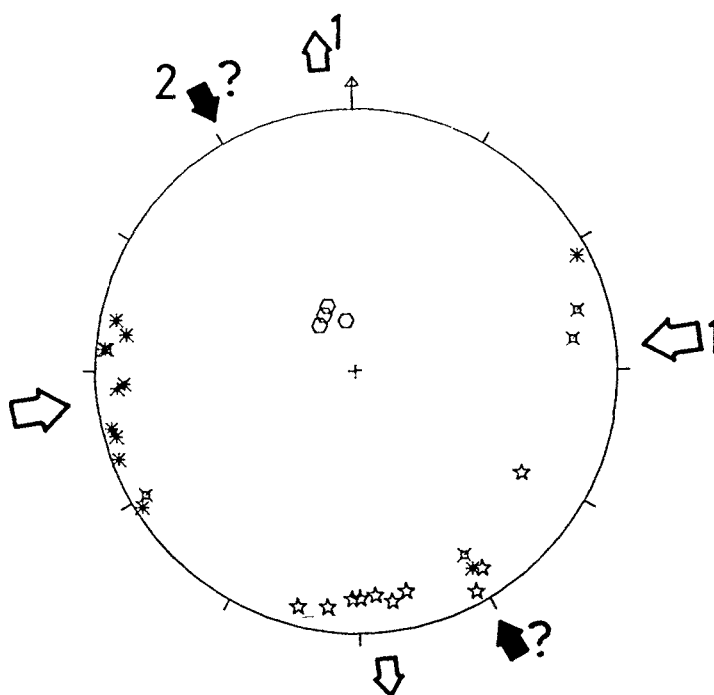
416



003

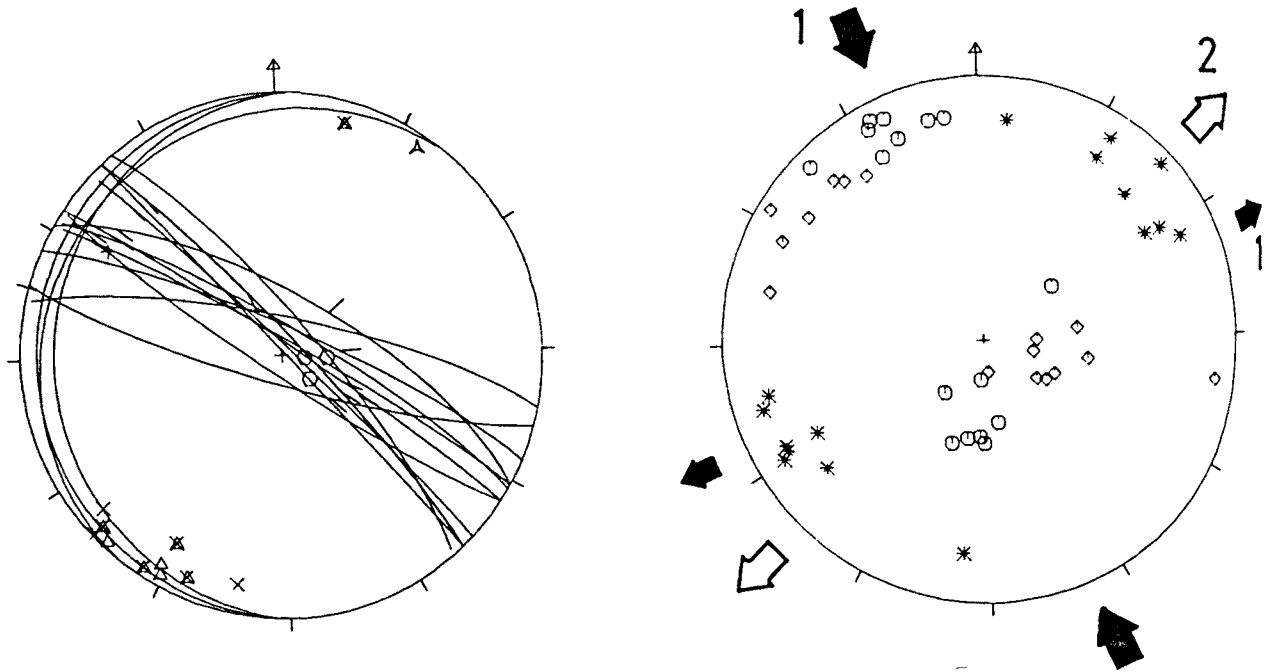


○ E:4 * F 11
 ✕ A:5
 ☆ B:10



ESTACIO GENL004: Al sudest de Santa Magdalena de Polpis.
 Calcàries del Juràssic.

Hi ha dos màxims d'esquerdes de tensió i d'estilòlits que indiquen unes direccions d'escurçament aproximadament E-W i NNW-SSE. En un cas he pogut observar com una esquerda de tensió i un pla estilolític que indiquen la primera direcció d'escurçament eren tallats per un pla estilolític que indica la segona.



A L:1

X N:8

Δ D:8

O E:3

ESTACIO GENL005: Prop de Freginals. Calcàries del Cretaci inferior.

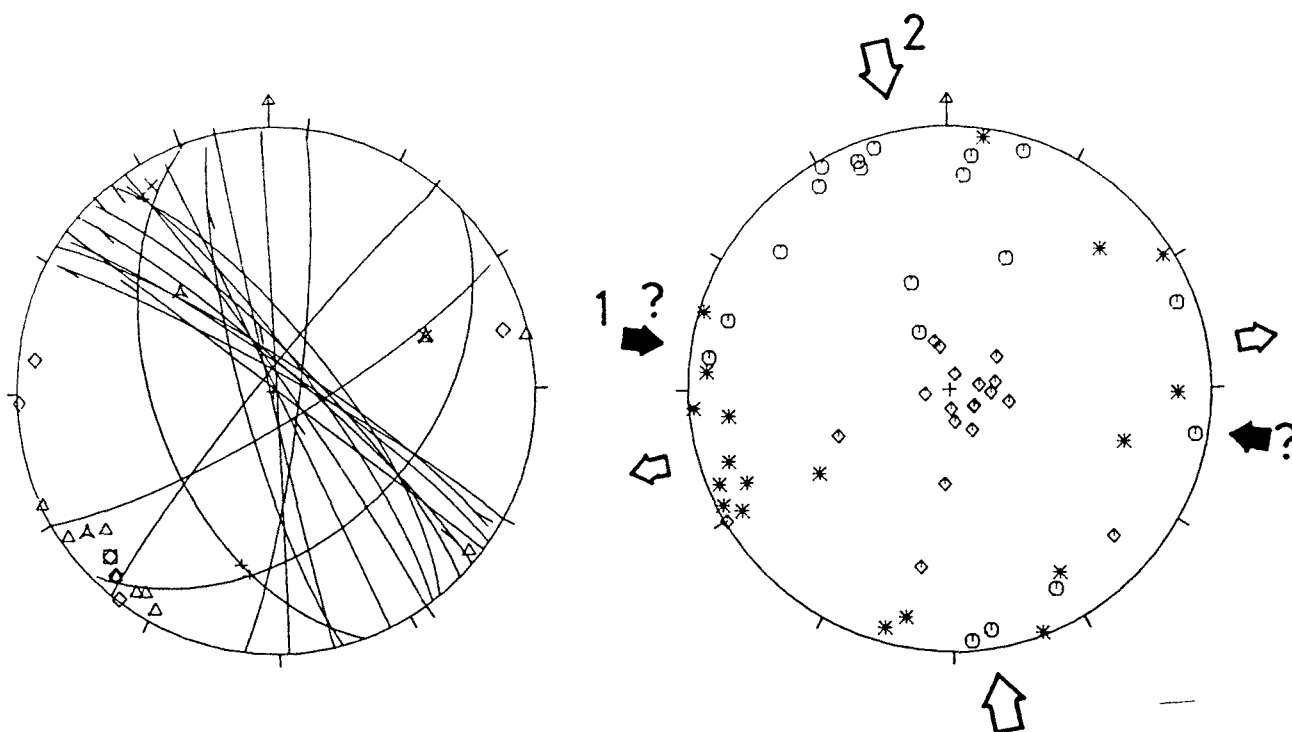
Falles direccionals dextres i falles normals. En cinc casos s'observen els dos moviments sobre el mateix pla de falla; en tots ells el moviment normal és posterior al direccional.

Se'n dedueixen dos camps d'esforços que han actuat successivament:

- 1) σ_1 subhoritzontal i orientat NNW-SSE i σ_3 subhoritzontal.
- 2) σ_3 subhoritzontal i orientat NE-SW i σ_2 subhoritzontal.

La certesa d'aquestes dues solucions queda limitada pel fet que es dedueixen a partir d'una sola família de falles d'orientació similar.

GENL006



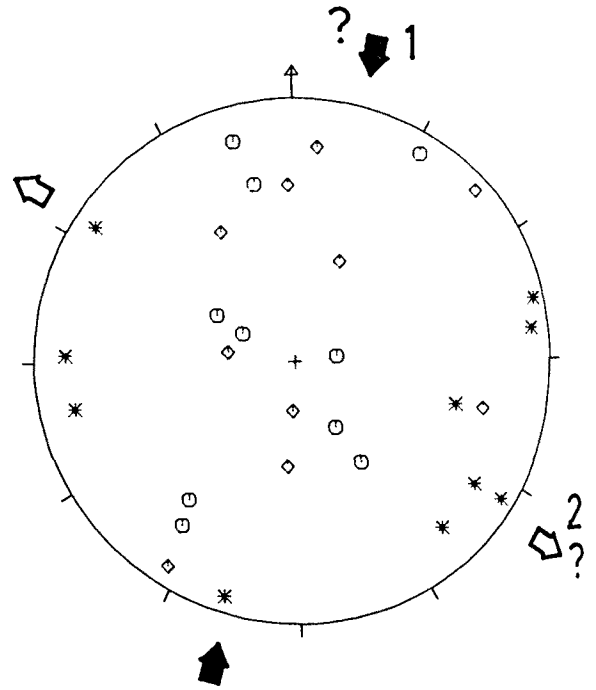
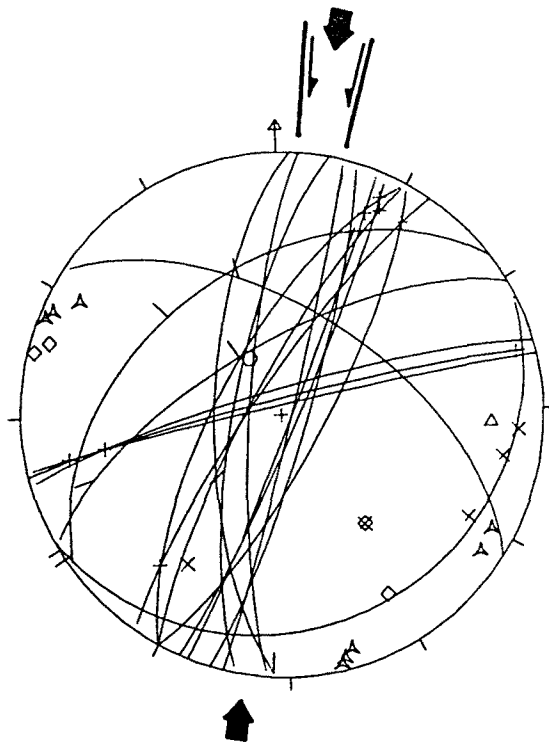
- △ L:3
- × N:2
- I:1
- △ D:10
- ◇ S:6

ESTACIO GENL006: Pedrera de Vinaròs. Calcàries amb rudistes de l'Aptià superior; capes horitzontals.

Principalment falles direccionals. En falles d'orientació similar s'observen moviments dextres i sinistres; en la família dominant --NW-SE-- en un cas s'observen els dos moviments sobre el mateix pla de falla: el moviment sinistre és anterior al dextre.

Se'n dedueixen dos camps d'esforços que han actuat successivament:

- 1) σ_1 subhoritzontal i orientat aproximadament N 100 E, a partir de 3 falles direccionals.
- 2) σ_1 subhoritzontal i orientat aproximadament N-S --amb imprecisió--, σ_2 subhoritzontal. Hi ha una gran dispersió dels eixos de σ_1 calculats, degut a la dispersió dels plans de falla.



△ L:8

× N:5

△ D:1

◇ S:4

○ E:1

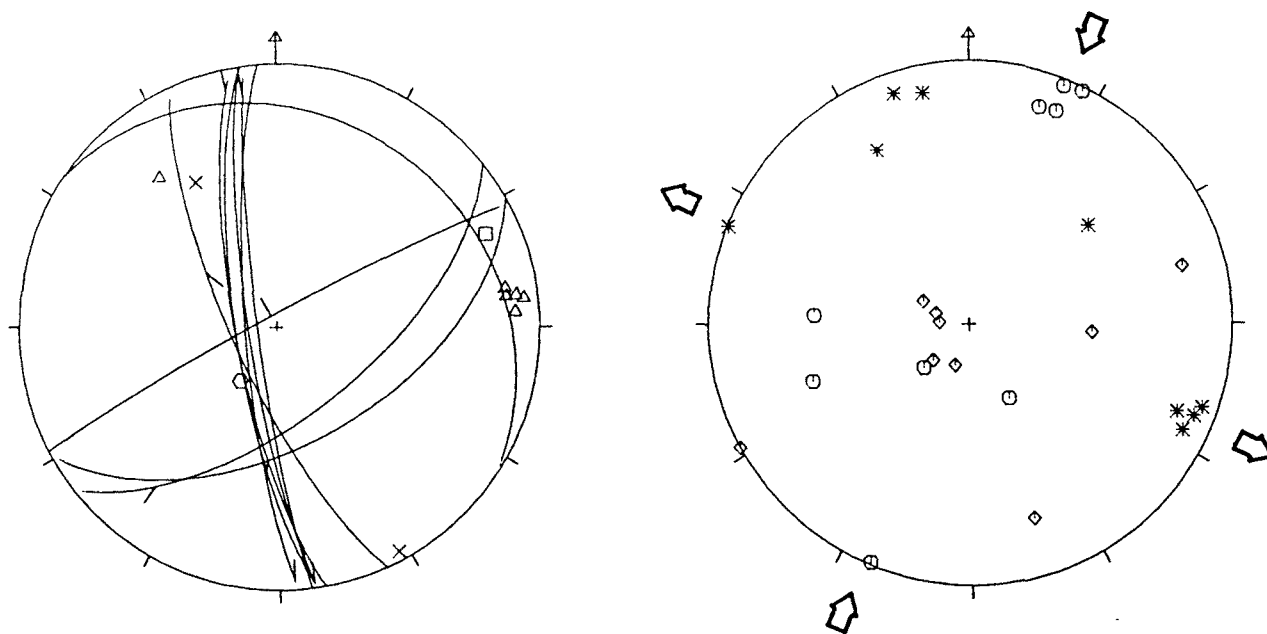
ESTACIO GENL007: A l'oest d'Alcalà de Xivert. Calcàries del Cretaci inferior; capes subhoritzontals.

Falles direccionals i normals. En un cas s'observen els dos moviments sobre el mateix pla de falla: el moviment normal és posterior al direccional.

Se'n dedueixen dos camps d'esforços que han actuat successivament:

- 1) σ_1 subhoritzontal i orientat aproximadament N-S --amb imprecisió--, σ_2 subhoritzontal.
- 2) σ_2 horitzontal i orientat NW-SE.

GFCS028



- x N:2
- I:1
- △ D:6

- E:1

ESTACIO GFCS028: La Mola de Xert. Calcàries amb rudistes de l'Aptià superior; capes horitzontals.

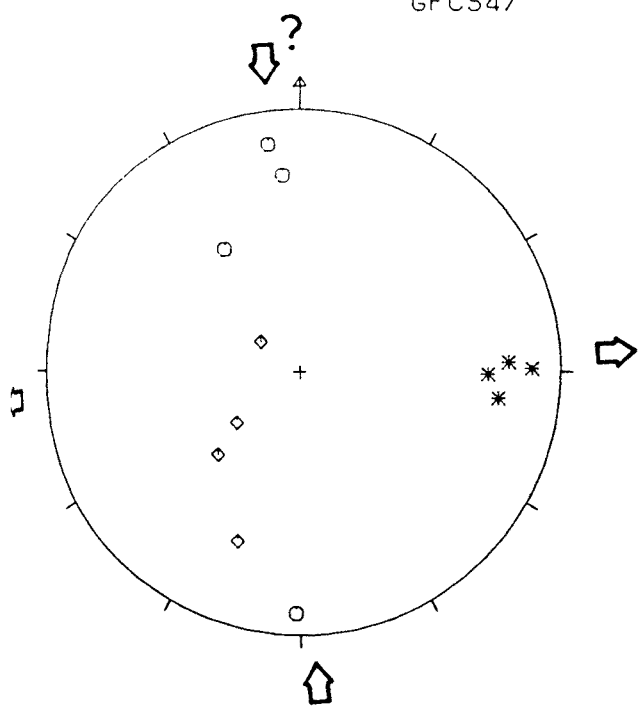
Principalment falles direccionals. 5 tenen gairebé la mateixa orientació del pla i de l'estria, i indicarien σ_1 horitzontal i orientat NNE-SSW i σ_2 horitzontal. El fet de la coincidència en l'orientació d'aquestes falles i la dispersió del resultat de les altres, deixa, de fet, molt indefinida l'orientació dels eixos del camp o camps d'esforços que produí les falles.

ESTACIONS GFCS047 I GFCS048: Voltants de La Salzedella.
Calcàries en capes centimètriques del Juràssic;
estratificació horitzontal.

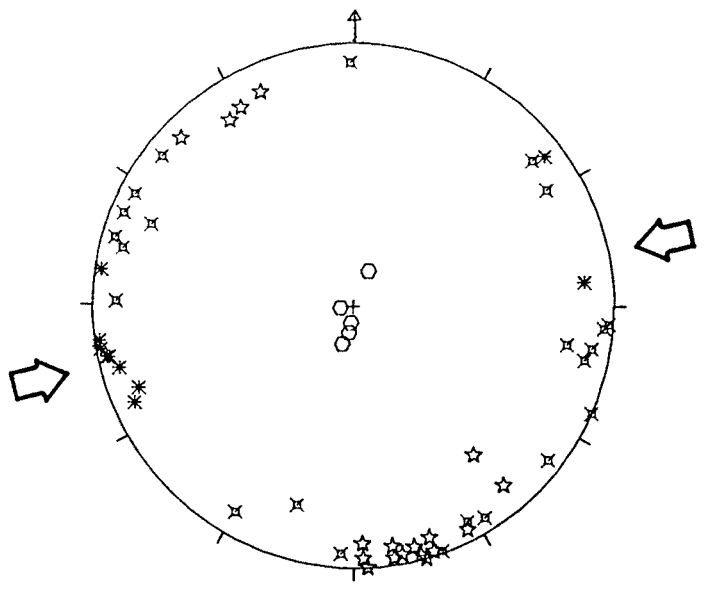
A l'estació 47, a partir de 4 falles direccionals pot deduir-se un camp d'esforços amb σ_1 subhoritzontal i orientat aproximadament N-S i amb σ_3 subhoritzontal i orientat E-W.

A l'estació 48, 10 estilòlits i 18 esquerdes de tensió --esgraonades de manera que indiquen un escurçament horitzontal coincident amb el dels estilòlits-- indiquen una direcció d'escurçament horitzontal orientada N 80 E i una direcció d'allargament, també horitzontal, orientada perpendicularment. Hi ha, a més, un nombre important d'esquerdes de tensió d'orientació diferent a les anteriors, en què no he pogut observar el sentit en què s'esgraonaven; resta, per tant, indefinida la seva relació respecte a cap camp de deformació.

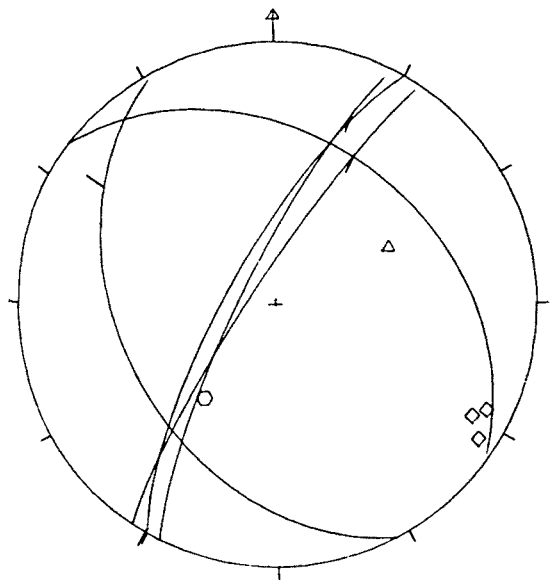
GFCS47



GFCS048



- E:5 * F:10
- ✕ A:23
- ☆ B:18



- △ D:1
- ◇ S:3
- E:1

ESTACIO GENLO61: Al sudest d'Alcalà de Xivert (carretera). Calcàries del Cretaci inferior; capes basculades de 20° a 40° cap al SE.

Falles direccionals i normals, gairebé totes compatibles amb σ_3 horitzontal i orientat NW-SE. Hi ha diversos casos d'estries de pitch diferent sobre el mateix pla de falla, amb dos casos de 3 i 4 estries (vegeu els quatre diagrames inferiors), totes amb el mateix sentit de moviment horitzontal. En dos casos he observat que estries de pitch elevat tallaven estries de pitch més baix.

Se'n dedueixen dues solucions extremes, totes dues amb σ_3 horitzontal i orientat NW-SE, entre les quals sembla haver-se produït un canvi progressiu:

- 1) σ_1 horitzontal i orientat NE-SW. Es dedueix tant pel mètode dels esforços òptims com pel mètode del diedre mínim.
- 2) σ_1 subvertical i σ_3 subhoritzontal i orientat NW-SE.

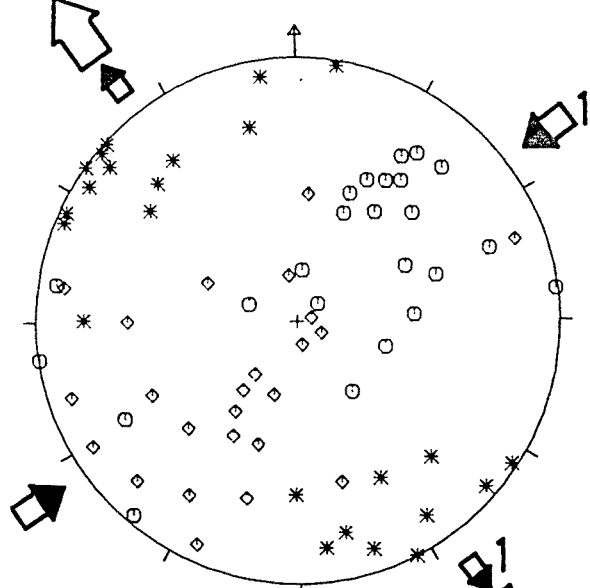
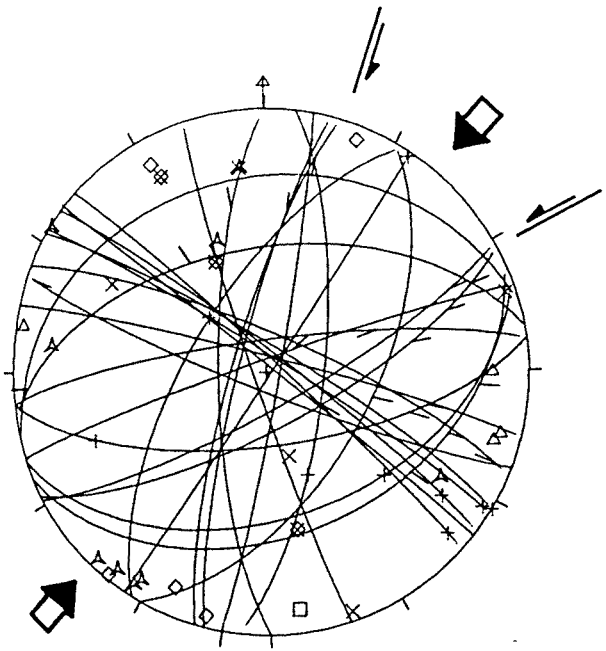
Dins les falles normals, cal remarcar el fet que algunes tenen un sentit de desplaçament horitzontal oposat a la majoria de les d'orientació similar. En un cas he pogut observar com una estria que indica un moviment predominantment normal s'inflexiona i arriba a tenir un sentit de desplaçament horitzontal oposat.

Les tres solucions obtingudes pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) coincideixen amb l'evolució tot just deduïda i permeten matisar-la. σ_3 es troba horitzontal i orientada NW-SE en les tres solucions, mentre canvia la posició dels altres dos eixos que; en la solució majoritària σ_1 es troba horitzontal, però el valor de R obtingut (pràcticament 1) ens indica que es tracta d'un tensor d'esforços de revolució on σ_1 i σ_2 són pràcticament iguals en magnitud relativa. Les altres dues solucions --amb σ_1 vertical-- es diferencien principalment en el valor de R.

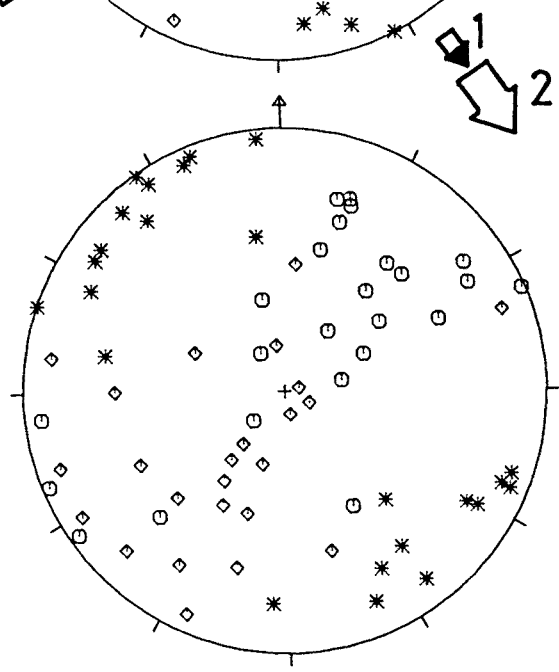
Als dos estereogrames que representen les dues falles amb 4 i 3 estries diferents, he indicat a quina de les tres solucions correspon cadascuna de les estries. Les estries de pitch més baix corresponen a la solució a, les de pitch intermedi a la b i la de pitch més elevat a la c.

La coaxialitat dels camps d'esforç deduïts pels dos mètodes, les tres solucions obtingudes pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) i la cronologia relativa observada entre les diverses estries sobre un mateix pla de falla, poden explicar-se suposant un canvi progressiu de la magnitud relativa entre els eixos σ_1 i σ_2 ; el primer estaria inicialment horitzontal però pròxim en magnitud relativa al segon, σ_1 aniria disminuint mentre σ_2 aniria augmentant relativament fins que intercanviarien les seves posicions i arribarien a ser tots tres eixos força diferents (solució b); posteriorment es produiria una disminució de la diferència de magnitud magnitud relativa entre els dos eixos horitzontals, σ_2 i σ_3 .

GFC5061

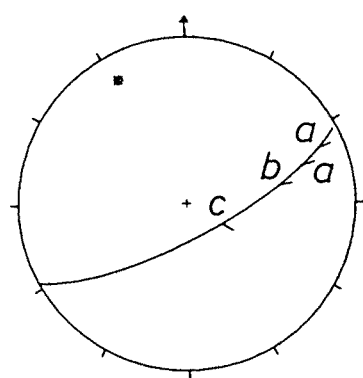


30°

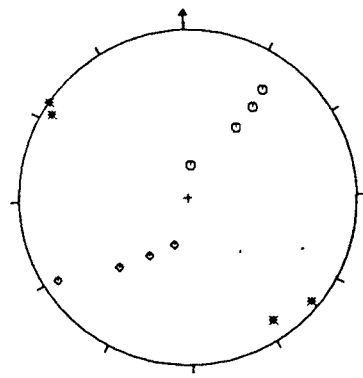


45°

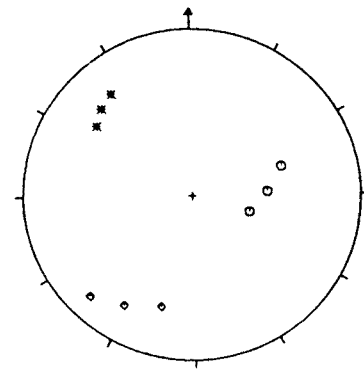
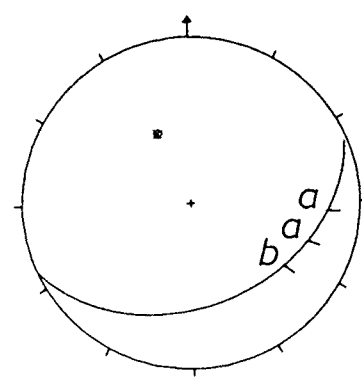
- A L:9
- X N:10
- I:1
- △ D:4
- ◇ S:9



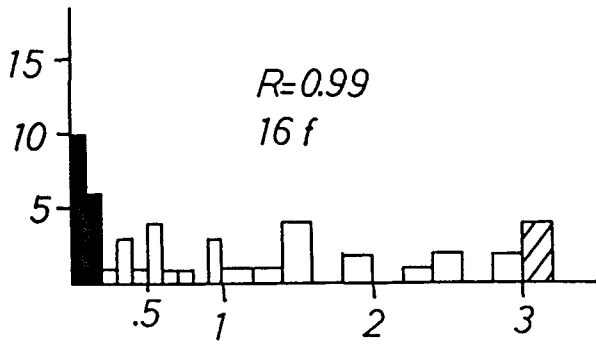
X N:4



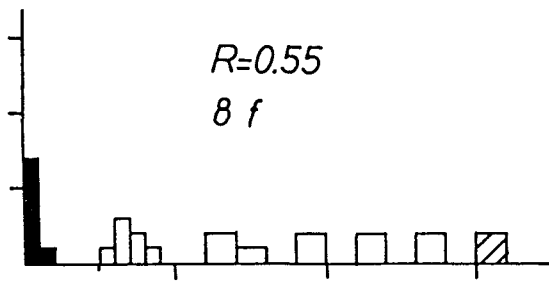
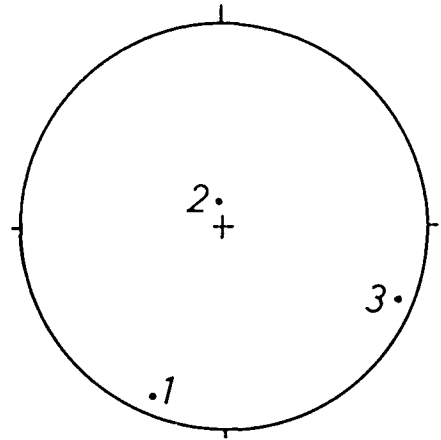
◇ S:3



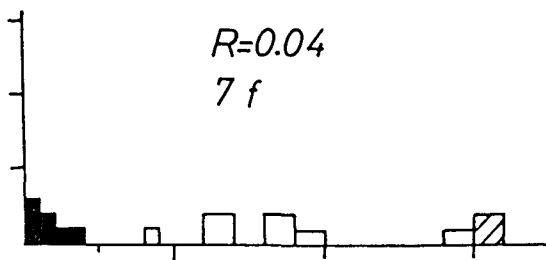
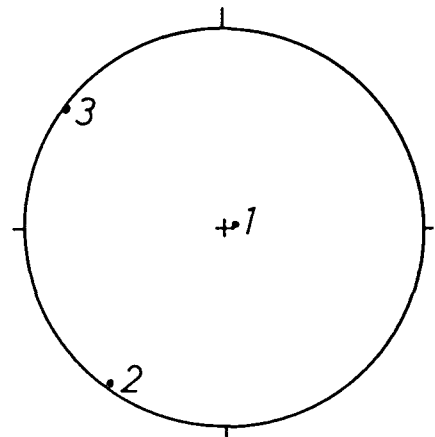
061



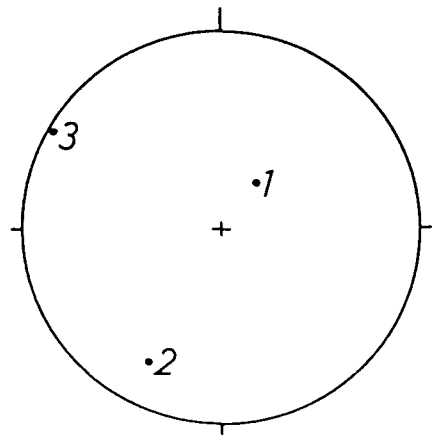
(a)

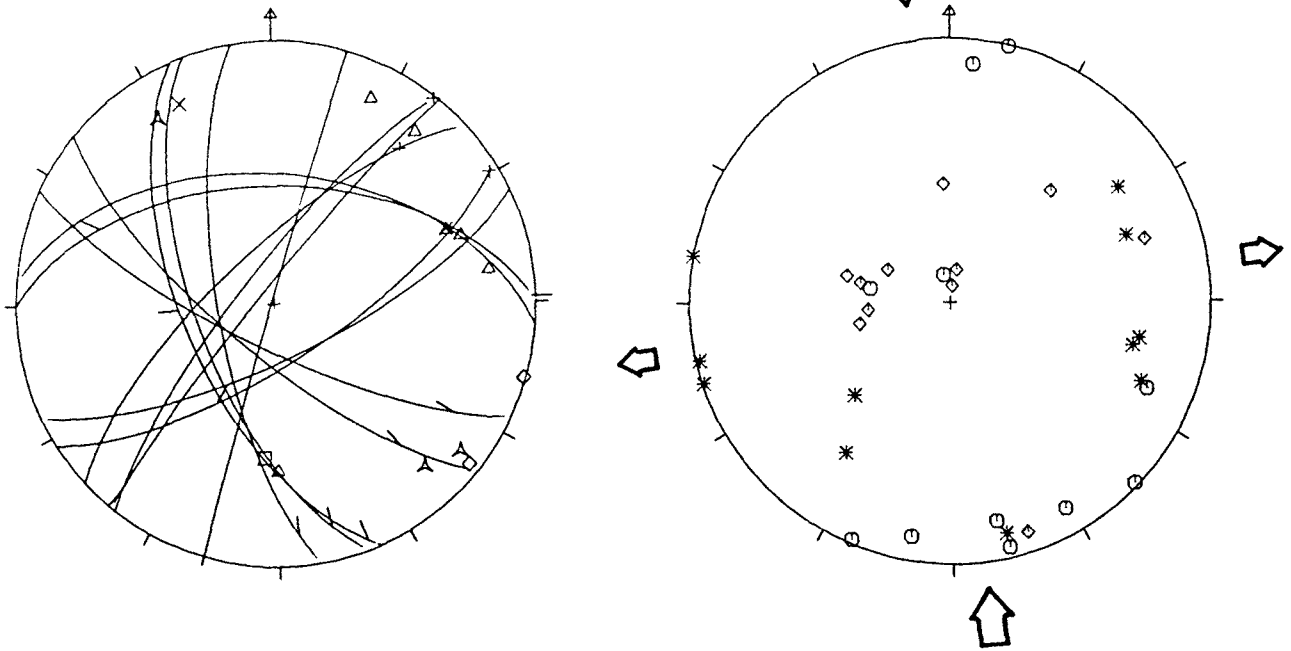


(b)



(c)



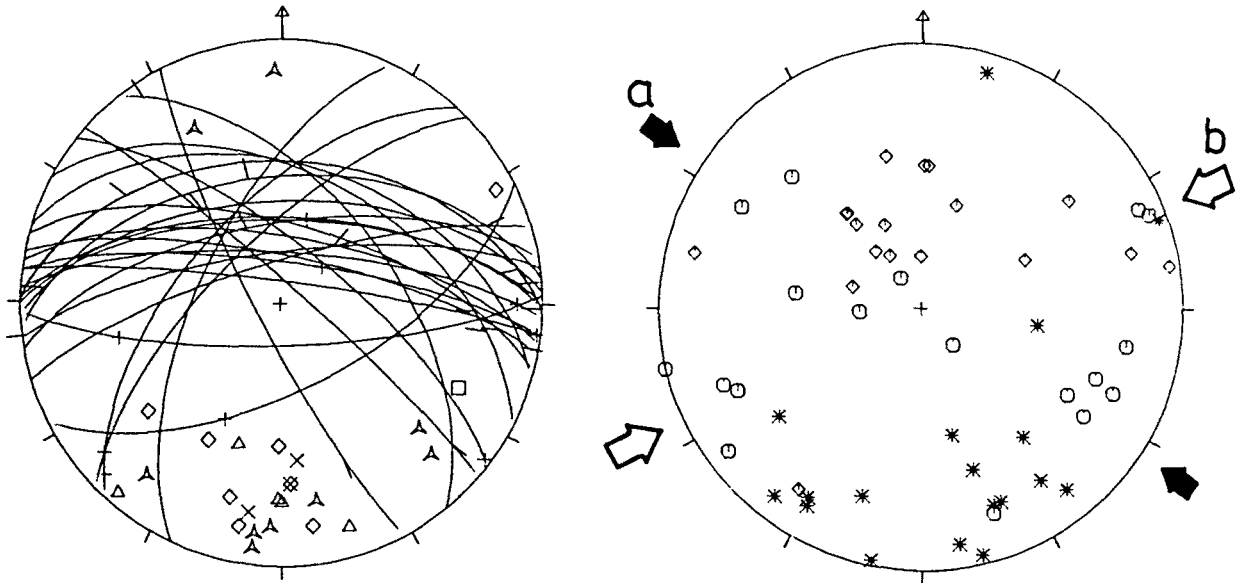


- A L:3
- × N:2
- I:1
- △ D:6
- ◇ S:2

ESTACIO GENL064: Pedrera a Les Cases d'Alcanar.
 Calcàries del Cretaci inferior; estratificació horitzontal.

Se n'obtenen dues solucions que, a partir de la superposició d'estries sobre el mateix pla de falla, es van succeir en l'ordre següent:

- 1) σ_1 i σ_3 subhoritzontals i orientats aproximadament N-S i E-W, respectivament; hi ha una gran dispersió en l'orientació dels eixos obtinguts per cada falla.
- 2) σ_1 vertical. Es basa exclusivament en dues dades que indiquen moviments normals posteriors als direccionals; és, per tant, poc segura.



- A L:9
- X N:3
- I:1
- △ D:5
- ◇ S:9

ESTACIO GFCS077: Benicàssim (autopista). Calcàries del Cretaci inferior; cabussament cap al NW inferior a 30°.

Falles direccionals i normals. Les falles direccionals tenen majoritàriament una direcció aproximadament E-W; dins aquest màxim hi ha falles dextres i sinistres.

Poden deduir-se'n tres solucions, sense saber-ne la relació temporal:

a) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats WNW-ESE i NNE-SSW, respectivament.

b) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats ENE-WSW i NNW-SSE, respectivament.

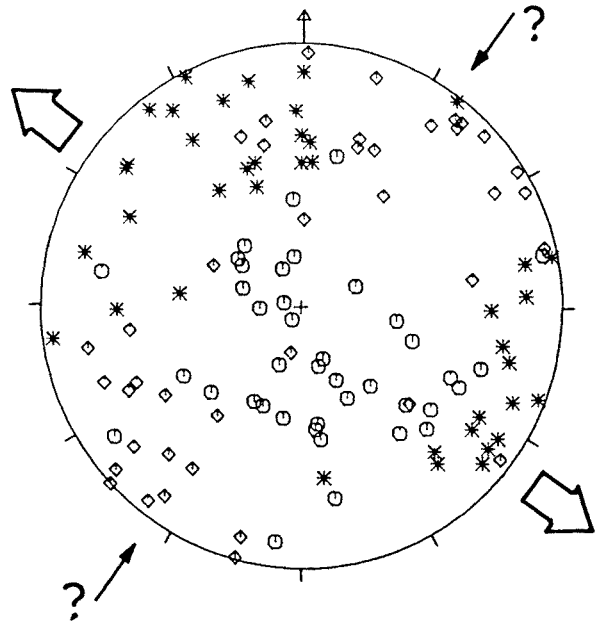
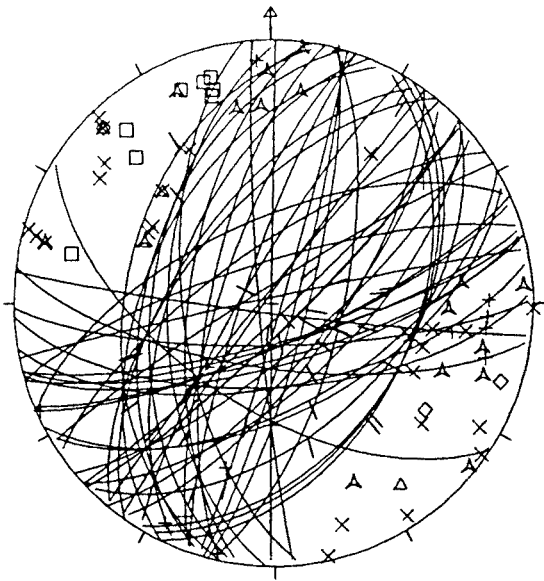
c) σ_1 subvertical, deduïda exclusivament a partir de les tres falles normals.

ESTACIO GFCS079: Autopista entre Benicàssim i Orpesa. Calcàries del Cretaci inferior. Capes amb un cabussament cap a l'est inferior a 30°.

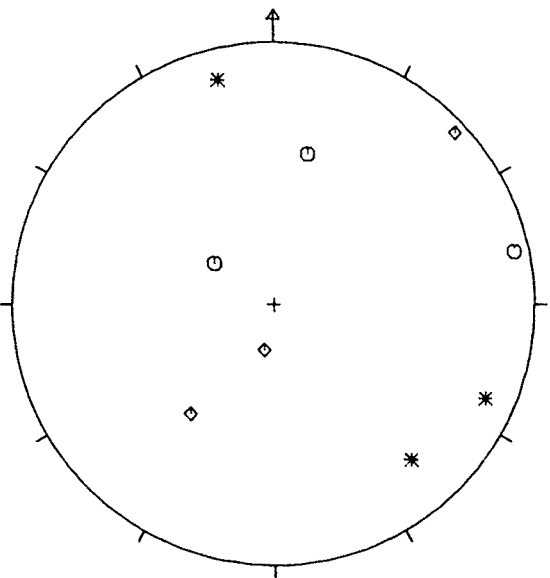
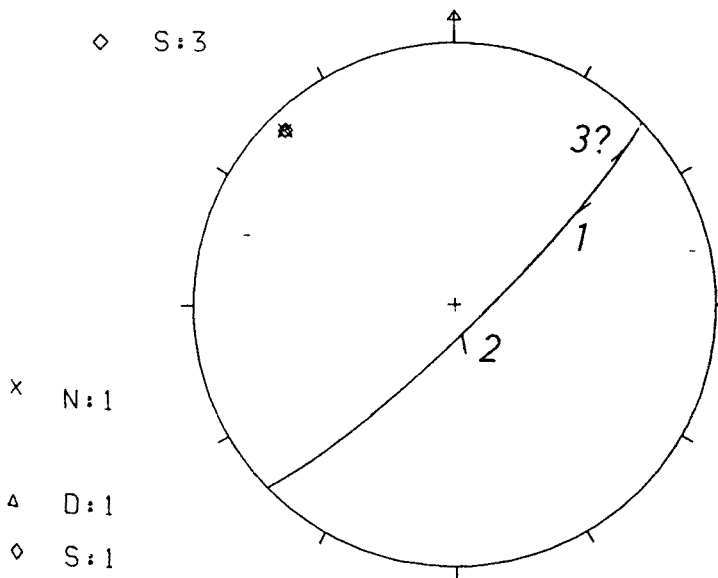
La major part de les falles de sentit de moviment indeterminat són direccionals; de les que n'he pogut observar el sentit, només tres tenen estries amb un pitch pròxim a 0°.

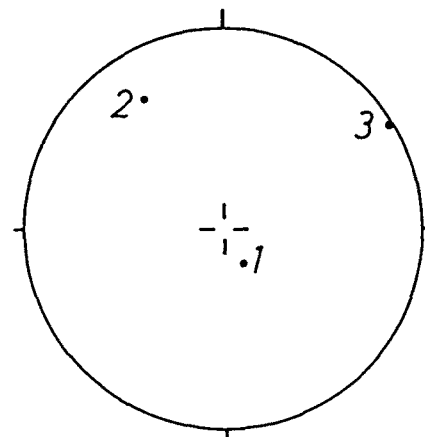
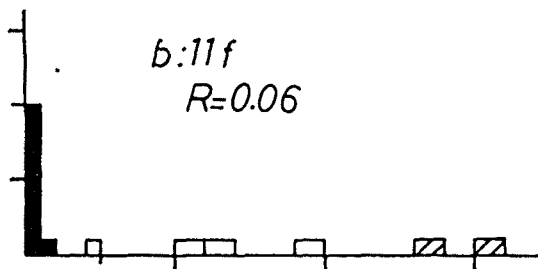
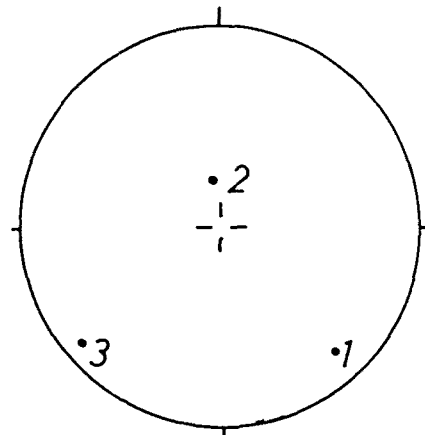
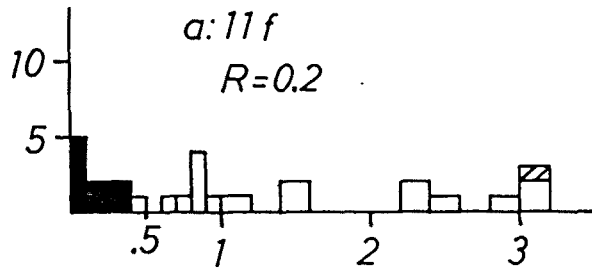
La gran majoria de les falles són compatibles amb una solució amb σ_1 subvertical i amb σ_3 orientat NW-SE. En uns pocs casos s'obtenen σ_1 subhoritzontals orientats al voltant de NE-SW. En tres casos he observat com les estries de pitch més alt tallaven estries de pitch més baix.

En els dos diagrames inferiors, hi ha representat un pla de falla sobre el què he observat tres estries que indiquen moviments diferents.



- A L:17
- X N:25
- I:8
- △ D:4
- ◇ S:3



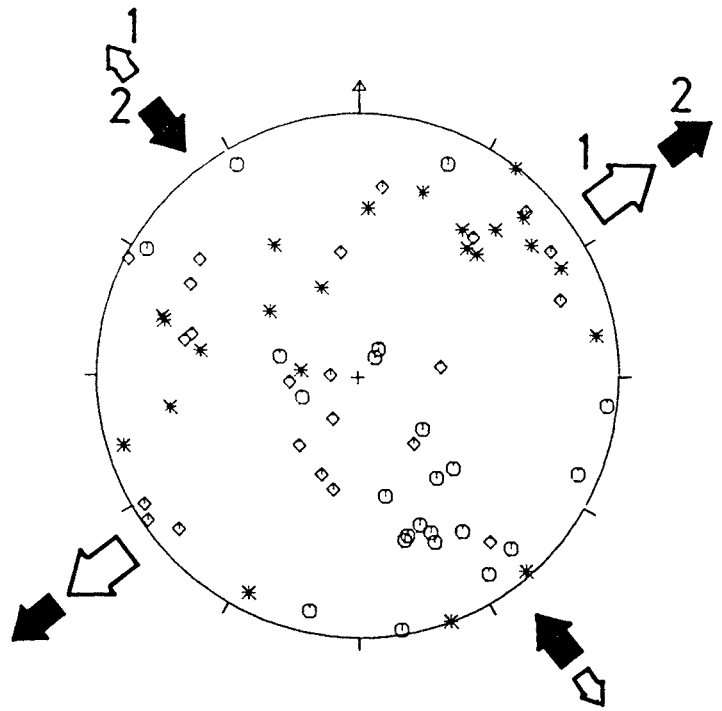
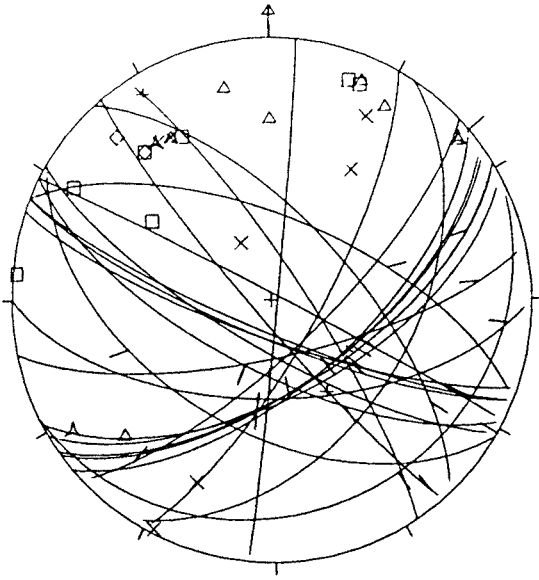


ESTACIO GFC8080: Autopista entre Benicàssim i Orpesa.
Calcàries del Cretaci inferior; cabussament de les capes
entre 20° i 40° cap al NW.

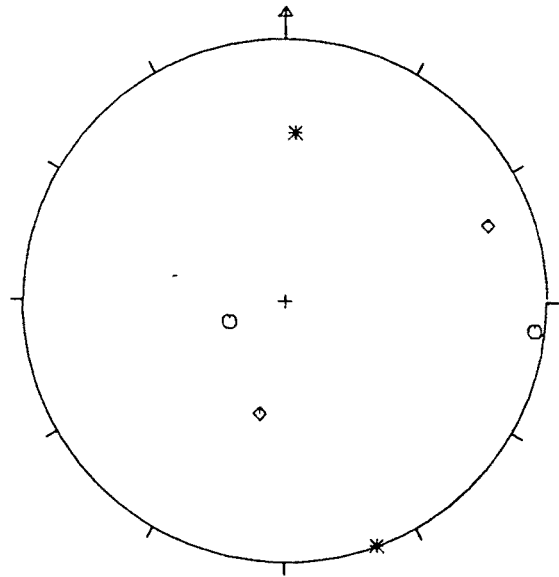
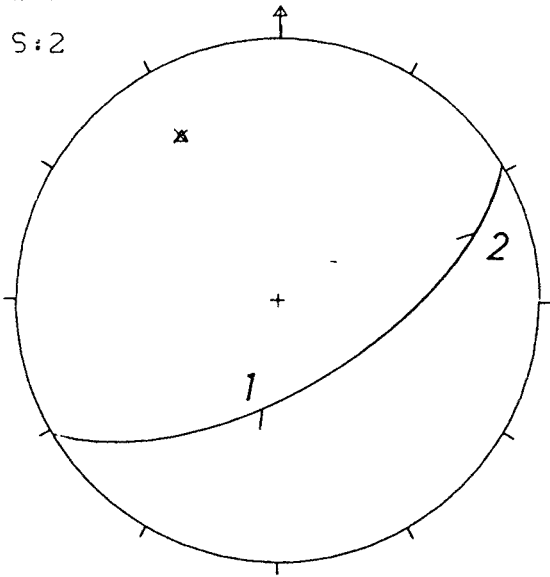
Els dos estereogrames inferiors representen un pla de falla en què he observat que el moviment direccional és posterior al normal. Del total de les falles se'n dedueixen dues solucions:

- σ_1 subhoritzontal i orientat NW-SE; Es dedueix a partir de les falles inverses i de la majoria de les direccionals.
- σ_1 subvertical i σ_3 subhoritzontal i orientat NE-SW. Es dedueix a partir de les falles normals.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) es dedueixen dues solucions que corresponen a tensors d'esforços amb els eixos que coincideixen amb els de les solucions deduïdes anteriorment. La solució b --amb σ_1 vertical, té un valor de R pròxim a 0 i, per tant, l'orientació obtinguda dels eixos σ_2 i σ_3 és poc significativa. Cap de les dues estries sobre el pla de falla representat en els dos diagrames inferiors queda inclosa en les dues solucions obtingudes per aquest mètode; per tant, no pot saber-se'n la successió temporal.



- △ L:3
- × N:7
- I:7
- △ D:7
- ◇ S:2



- × N:1

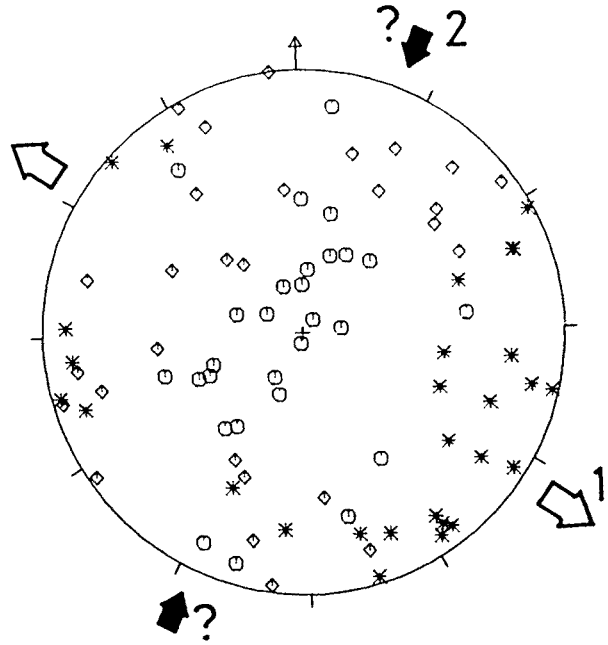
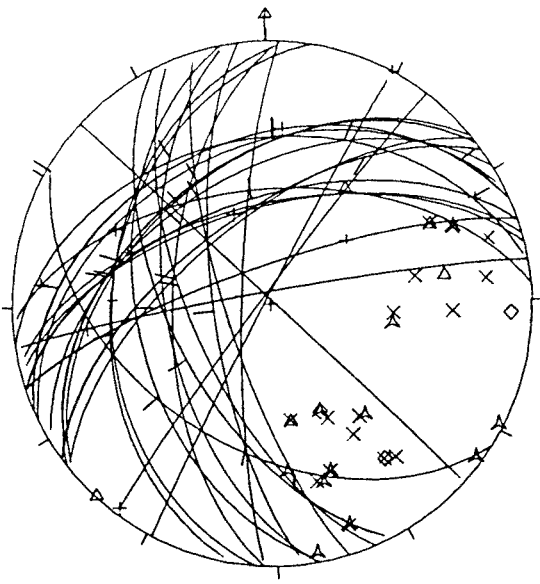
- △ D:1

ESTACIO GFCS081: Autopista, al sudest d'Alcalà de Xivert. Calcàries del Cretaci inferior; capes basculades al voltant de 45° cap al SE.

Hi ha dos màxims clarament diferenciats, en què es troben estries que indiquen moviments força diferents: normals-dextres i dextres-normals i normal-sinistres a sinistres-normals en cadascuna de les famílies.

La major part de les dades són compatibles amb un σ_1 subvertical, amb una gran dispersió en l'orientació de l'eix σ_3 òptim, degut a la presència d'estries normals amb component direccional dextre i sinistre sobre el mateix pla de falla.

Algunes estries indiquen σ_1 subhoritzontal, la majoria de les quals amb una direcció al voltant de NNE-SSW. En un cas --indicat en els dos estereogrames del mig-- l'estria direccional (sinistra inversa) talla la normal (normal-sinistra); en un altre cas --indicat en els dos estereogrames inferiors-- s'observa la inflexió progressiva d'una estria que passa de tenir un pitch de 62° (normal-dextra) a 23° (dextra-normal); aquests dos casos pertanyen al màxim E-W.

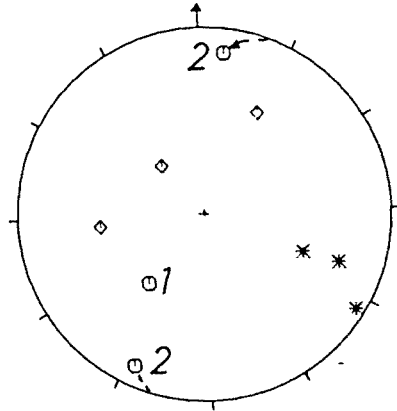
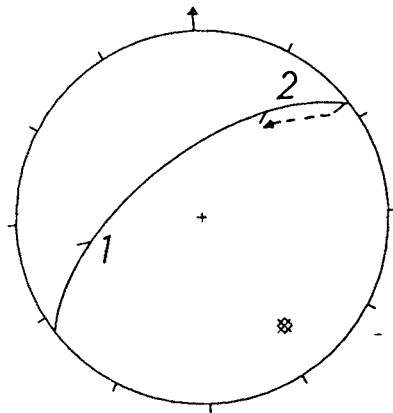


△ L:13

× N:19

△ D:5

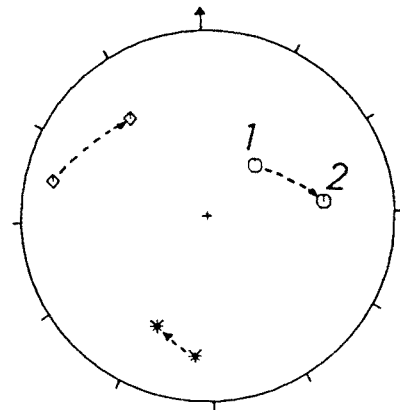
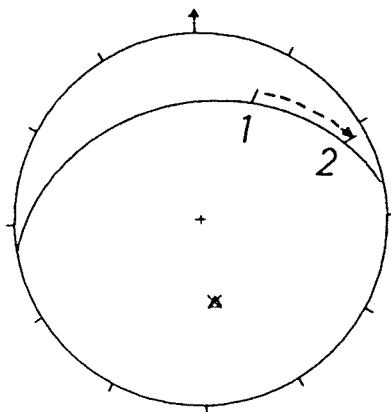
◇ S:4



× N:2

△ D:1

◇ S:2



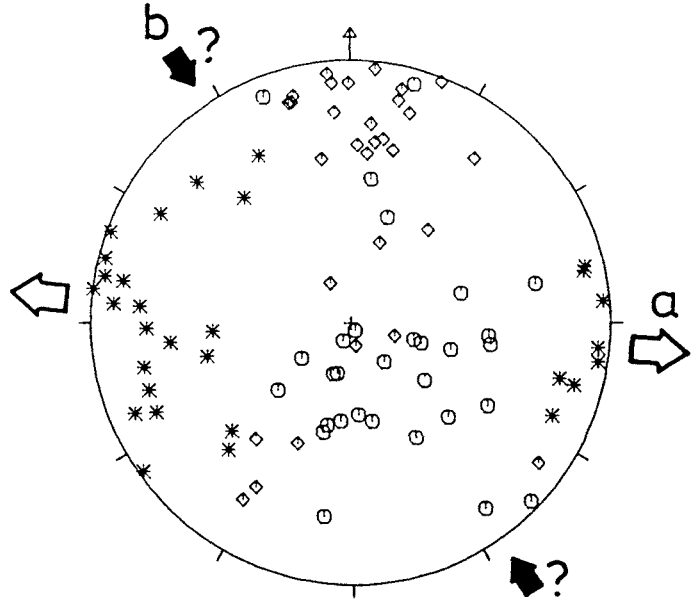
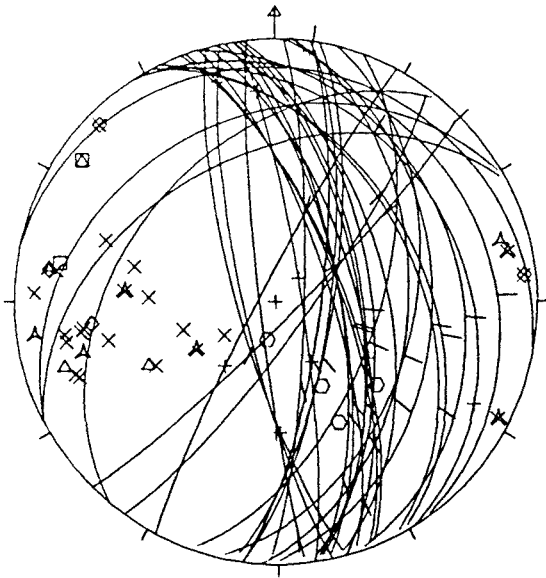
ESTACIO GFCS083: Autopista entre Benicàssim i Orpesa.
Calcàries del Cretaci inferior; capes subhoritzontals.

La major part de les falles es concentren en un màxim al voltant de la direcció N-S. Dins aquest màxim predominen les estries que indiquen moviments normals i n'hi ha algunes de direccionals.

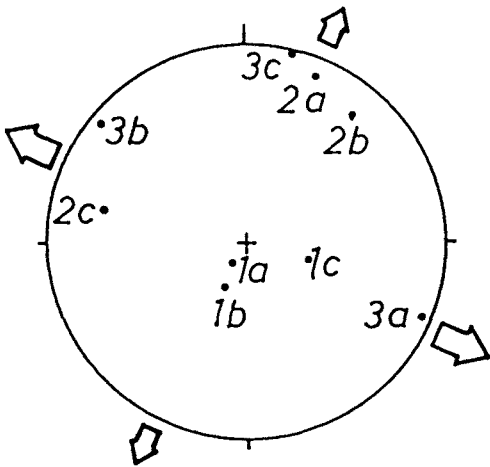
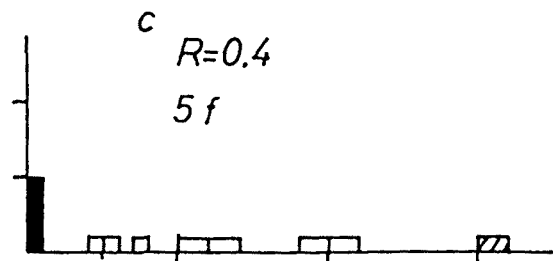
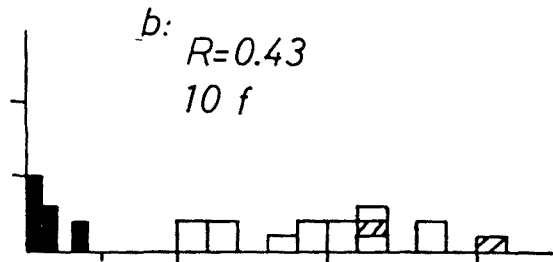
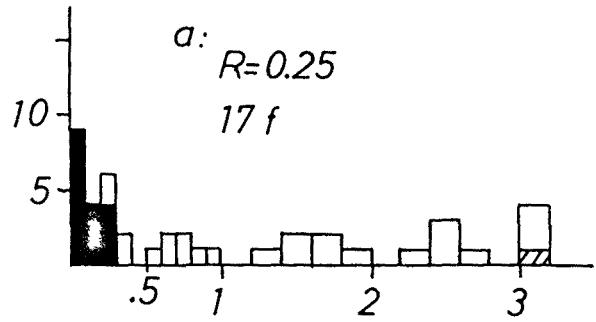
A partir de les falles normals s'obté --pel mètode dels esforços òptims-- una solució amb σ_1 subvertical i σ_3 subhoritzontal i orientat E-W (a).

A partir de les poques estries que indiquen un moviment direccional, se n'obtenen uns σ_1 òptims per cada falla força dispersos al voltant de NNW-SSE (b). No he trobat criteris per esbrinar-ne la relació temporal entre ambdues solucions.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) s'obtenen 3 solucions, totes amb σ_1 subvertical. En les dues majoritàries, σ_3 s'orienta NNW-SSE, mentre que en la minoritària és σ_2 la que es troba en aquesta direcció; tot plegat indica que els dos eixos horitzontals són d'extensió. No s'obté cap solució que indiqui σ_1 horitzontal, ja que el nombre de falles direccionals és molt petit i presenten una marcada dispersió. Dins les 7 falles no incloses en cap de les tres solucions, hi ha les 3 falles direccionals que, pel mètode dels esforços òptims, indiquen un σ_1 orientat NNW-SSE.



- A L:9
- x N:21
- I:2
- △ D:3
- ◇ S:4
- E:4

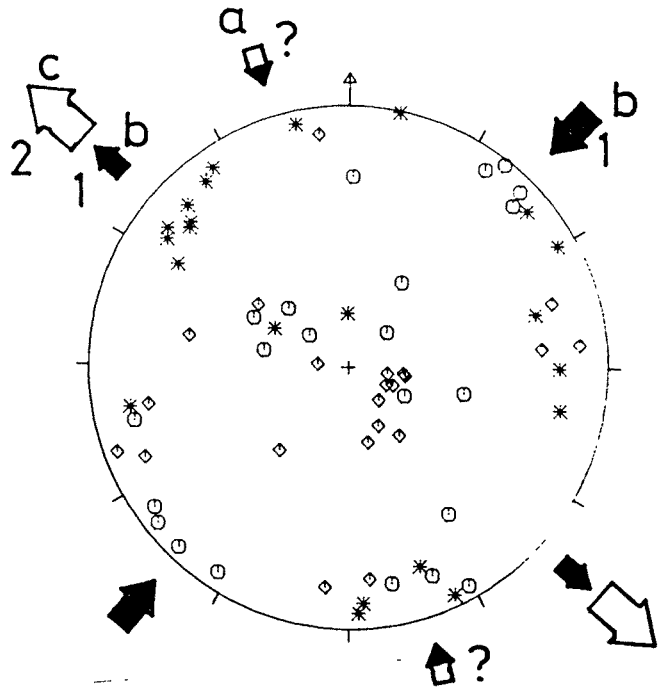
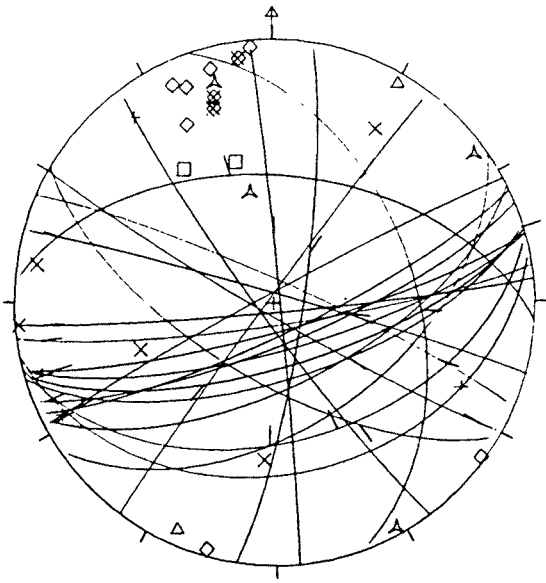


ESTACIO GENLO86: El Perelló (Autopista). Calcàries del Cretaci inferior.

Els estilòlits indiquen una direcció d'escurçament aproximadament N-S. A partir de les falles es dedueixen tres camps solucions diferents:

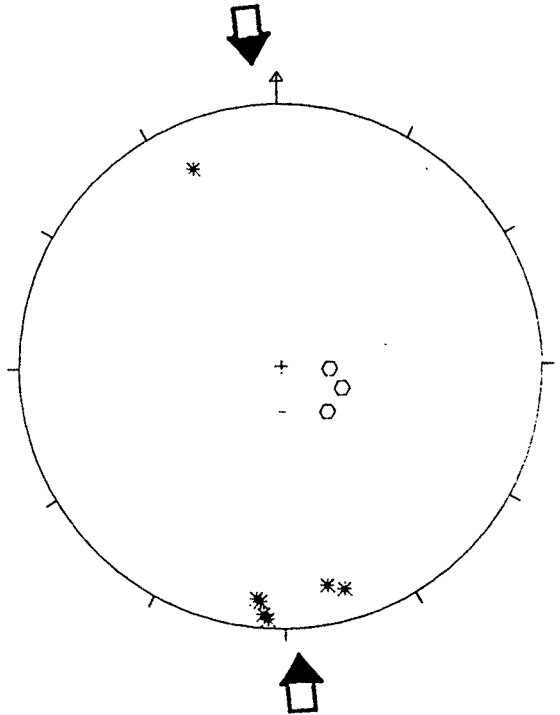
- a) σ_1 horitzontal i aproximadament N-S (5 dades, entre elles les 2 falles inverses).
- b) σ_1 horitzontal i orientat NE-SW amb σ_3 horitzontal i orientat NW-SE.
- c) σ_1 subvertical amb σ_3 orientat majoritàriament NW-SE.

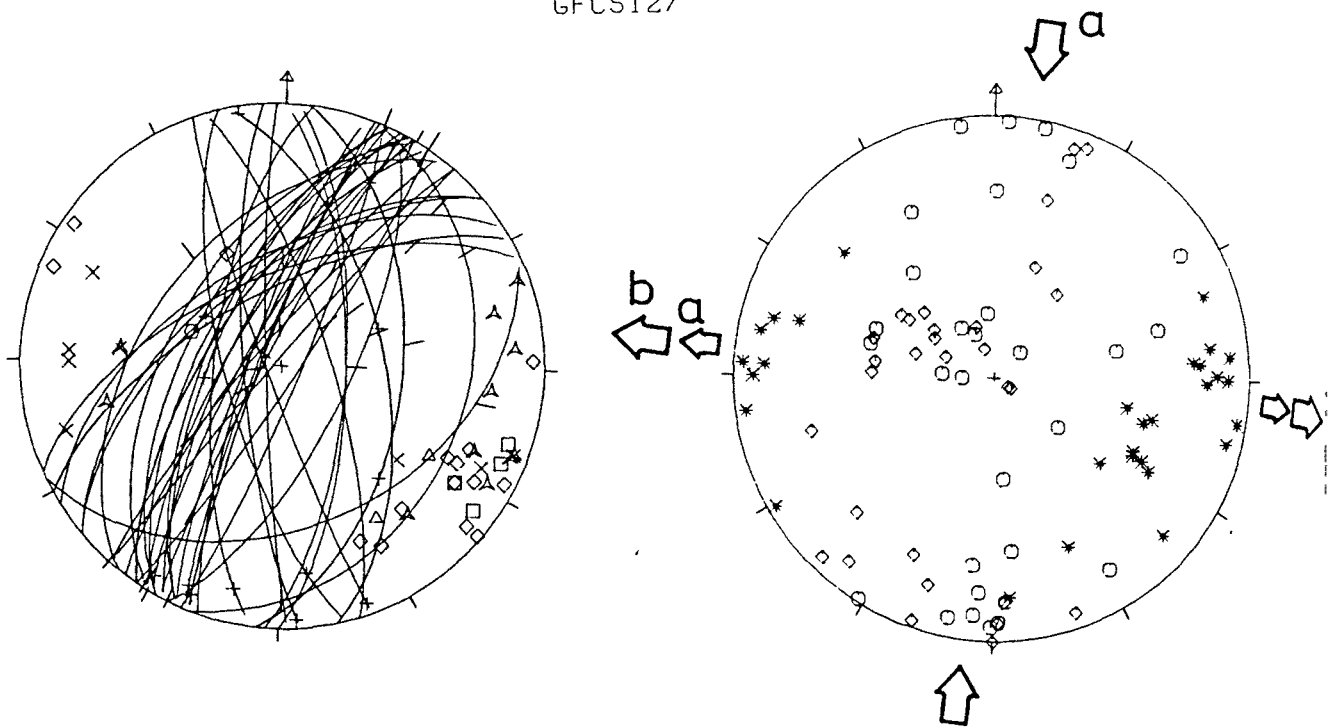
A partir de 2 casos de superposició d'estries normals i direccionals sobre el mateix pla de falla es dedueix que b) és anterior a c). La relació temporal de a) amb les altres dues solucions resta indefinida.



- △ L:4
- × N:8
- I:2
- △ D:2
- ◇ S:10

○ E:3 * F:8





- A L:14
- X N:9
- I:4
- △ D:2
- ◇ S:16
- E:1

ESTACIO GFCS127: Al sudest d'Alfara de Carles. Bretxes dolomítiques del Lias, prop de la falla del Baix Ebre; no he pogut observar la disposició de l'estratificació.

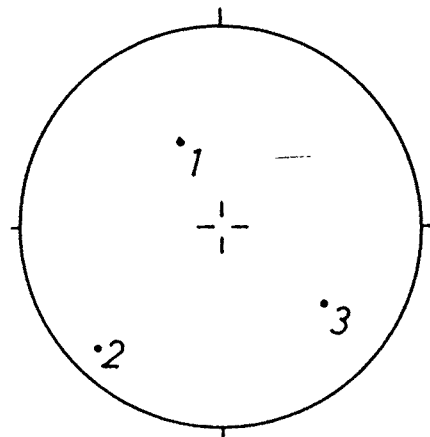
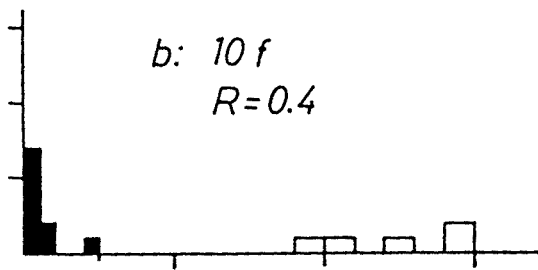
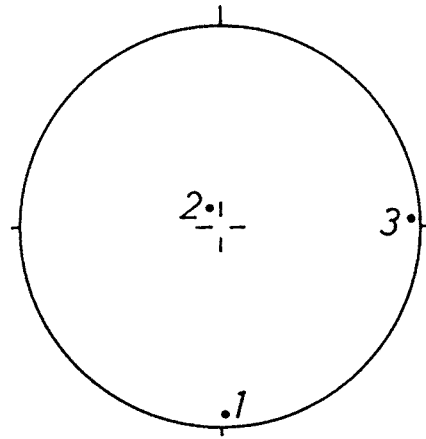
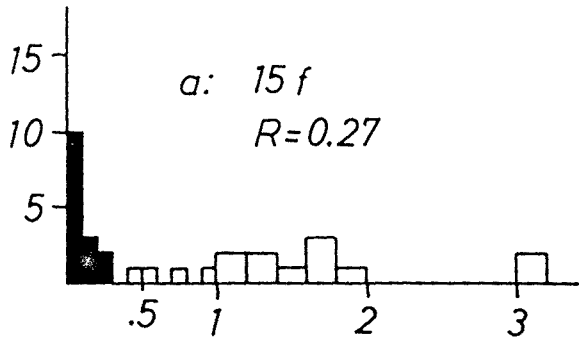
En funció de la presència d'estries subhoritzontals i subverticals sobre el mateix pla de falla poden deduir-se dues solucions aproximadament coaxials:

- a) σ_1 i σ_3 horitzontals i orientats respectivament N-S i E-W aproximadament.
- b) σ_1 subvertical i σ_3 subhoritzontal i orientat aproximadament E-W.

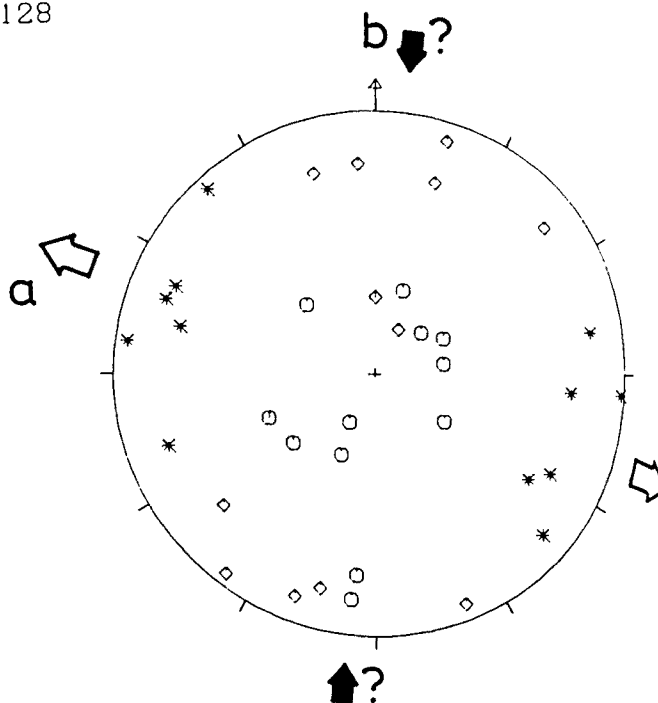
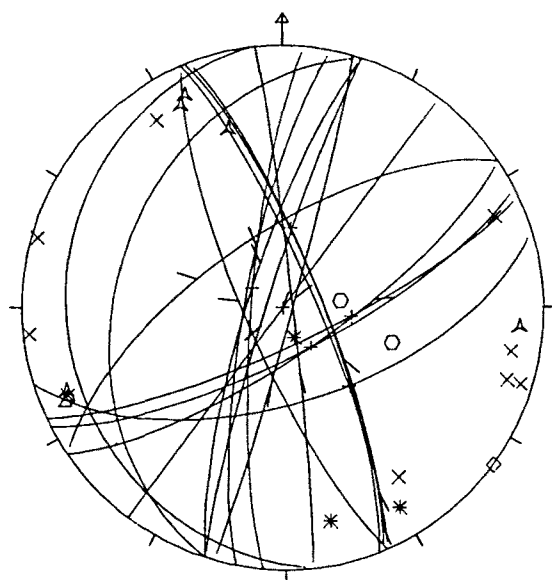
No hi ha cap observació que indiqui la relació temporal entre les dues solucions.

Entre les falles direccionals n'hi ha dues de sinistres d'orientació similar a les dextres que defineixen la solució a); podrien indicar un camp d'esforços amb σ_1 subhoritzontal i orientat NE-SW aproximadament; és, però, un nombre de dades insuficient per definir-lo.

Pel mètode d'ETCHECOPAR et al. (1981) queda molt ben definida la solució amb σ_1 horitzontal orientat N-S. La segona solució --la b-- té σ_1 i σ_3 inclinats, i no és coaxial amb la primera.



GFCS128



△ L:5

× N:9

△ D:2

◇ S:1

○ E:2 * F:3

ESTACIO GFCS128: Al sudest d'Ares del Maestrat, en calcàries de Cretaci inferior.

A partir de les falles normals, se'n dedueix una solució amb σ_2 horitzontal i orientat WNW-ESE i σ_1 vertical (a). 2 falles contenen, a més, estries subhoritzontals que, en un cas, s'inflexionen progressivament i passen de tenir un pitch de 10° a 68° . Això podria indicar que, en certs moments, σ_1 s'hauria disposat horitzontalment (b).

ESTACIO GFCS133: Carretera de Catí a L'Avellà. Calcàries del Cretaci inferior.

A partir de les esquerdes de tensió, es dedueixen dues solucions:

- 1) Z i X horitzontals i orientats NNW-SSE i ENE-WSW, respectivament.
- 2) X i Y horitzontals i orientats ESE-WNW i NNE-SSW, respectivament. La gran dispersió de les esquerdes que indiquen Z vertical pot indicar que ambdues direccions són d'extensió.

Les esquerdes incloses en la segona solució tallen clarament les de la primera.

A partir de les falles es dedueixen dues solucions majoritàries:

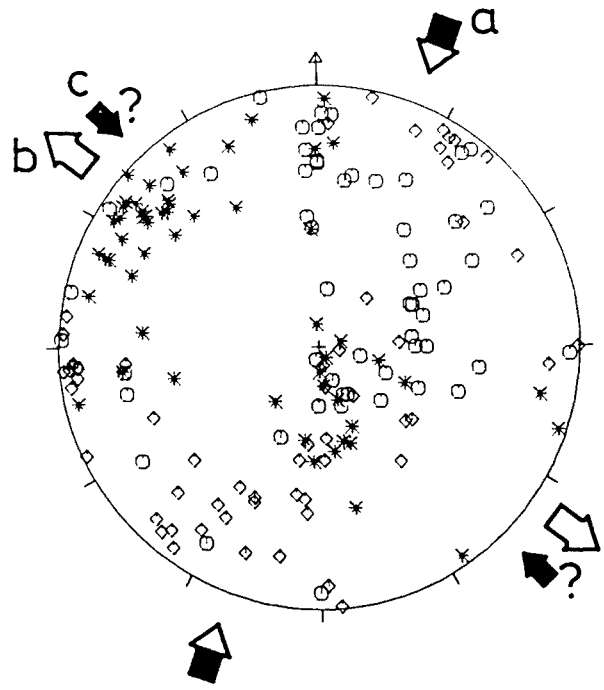
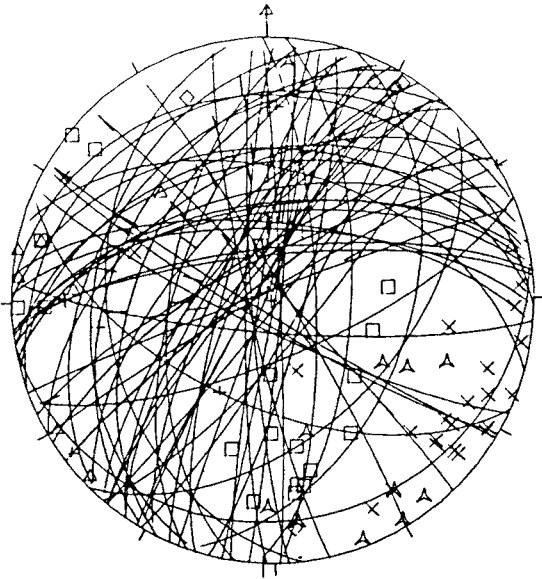
- a) σ_1 horitzontal orientat de N-S a NE-SW, amb σ_3 majoritàriament subvertical.
- b) σ_3 subhoritzontal i orientat NW-SE, amb σ_1 subvertical. Aquesta direcció d'extensió és perpendicular a l'orientació de la falla d'escala quilomètrica que limita pel nordoest la fossa de Catí; l'estació s'ha fet a prop d'aquesta falla.

Aquestes dues solucions obtingudes són aproximadament coaxials i es dedueixen a partir de plans de falla d'orientacions diferents; no hi ha, doncs, casos de superposició sobre un mateix pla de falla d'estries que pertanyin a cadascuna de les dues solucions. El fet, però, que la disposició dels tres eixos és diferent en les dues solucions m'ha dut a diferenciar-les. No he recollit cap criteri que em permeti saber-ne la successió temporal.

El camp d'esforços normal es correlaciona fàcilment amb la segona solució obtinguda de les esquerdes de tensió.

La primera solució obtinguda a partir de les esquerdes de tensió indica una direcció d'escurçament d'orientació força diferent a l'eix σ_1 subhoritzontal obtingut a partir de les falles; hi ha, però, una quantitat minoritària de σ_1 orientats al voltant de la direcció NW-SE, amb una gran dispersió. Aquests darrers, conjuntament amb la primera solució deduïda de les esquerdes de tensió, pot indicar la possibilitat de diferenciar una nova solució amb σ_1 horitzontal i orientat NW-SE (c); no hi ha, però, cap cas de superposició sobre un mateix pla de falla d'estries de les dues solucions. Tenint en compte que en la solució amb σ_1 orientat al voltant de NNE-SSW l'eix σ_3 és majoritàriament subvertical, és possible que hi hagi compressió en qualsevol direcció horitzontal, de tal manera que totes les falles que indiquen σ_1 subhoritzontal poden ser sincròniques; la gran dispersió d'aquest eix --a partir del mètode usat-- en seria la conseqüència.

GFCS133



- A L.14
- × N.23
- I.20
- △ D.8
- ◇ S.5

- E.7
- ⊠ A.5
- ☆ B.4
- < C.10

