

universidad de chile
facultad de ciencias
físicas y matemáticas
escuela de geología
comunicación Nº 10



HUBERT MILLER

1965

introducción al uso de la red de
schmidt para la representación y
solución de problemas tectónicos
con ejemplos de chile.

512472

HUBERT MILLER



INTRODUCCION AL USO DE LA RED DE SCHMIDT PARA LA
REPRESENTACION Y SOLUCION DE PROBLEMAS TECTONICOS
CON EJEMPLOS DE CHILE

Comunicaciones de la Escuela de Geología
Nº 10



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
SANTIAGO DE CHILE, 1965

INTRODUCCION AL USO DE LA RED DE SCHMIDT PARA LA
REPRESENTACION Y SOLUCION DE PROBLEMAS TECTONICOS
CON EJEMPLOS DE CHILE

*Dedicado al Prof. Dr. Hans-Jochen
Schneider, quien como profesor guía
me introdujo al trabajo con la red
de Schmidt.*

I. Fundamentos teóricos.

1. Introducción.

Los métodos clásicos de representación de datos tectónicos son el mapa geológico, el mapa estructural y el perfil geológico. Estos métodos de representación nos indican claramente las estructuras mayores, es decir, las que se pueden representar en cartas de escala corriente. Por otra parte, es imposible poner todos los datos tectónicos medidos en un mapa, ya que muy a menudo son abundantes los rumbos y manteos de la estratificación y del clivaje, los rumbos y buzamientos de ejes de pliegues, o las posiciones de la gran cantidad de fracturas, grietas y fallas que afloran en una determinada región.

El método aquí tratado, nos permite la representación gráfica de todas las mediciones hechas en un área, siendo posible así, hacer consideraciones estadísticas. Pero esto es solamente el comienzo de nuestro trabajo con la red de Schmidt. La gran ventaja que nos ofrece, es el poder mover los elementos tectónicos, como si éstos estuvieran en nuestra mano. Mediante construcciones sencillas se pueden dejar capas en posición horizontal, desplegar pliegues, enderezar ejes torcidos, etc. Como resultado, podemos p. ej. averiguar

cuántos sistemas diferentes de esfuerzos hubo durante la deformación de una determinada secuencia estratigráfica, y la dirección de ellos.

Igualmente mediante la red de Schmidt, se pueden hacer estudios de microfábrica de rocas ígneas y metamórficas, estudiando cortes delgados. Esta aplicación merece ser tratada particularmente y por ahora no nos ocuparemos de ella.

El uso de la red de Schmidt, propagado ya desde hace más de 30 años por *Walter Schmidt* y, sobre todo, *Bruno Sander* y sus alumnos comenzó a introducirse al conocimiento común hace sólo unos 10 o 15 años. Sin embargo, todavía hay muy pocos libros que lo tratan y pocas universidades donde se enseña.

El mejor tratado sobre los métodos a que nos queremos dedicar, es sin duda la obra clásica de *Bruno Sander* (1948). Es una lástima que su texto sea tan complicado, que incluso personas cuya lengua materna es la alemana, tienen dificultades para entenderlo. La introducción más fácil para captarlos es el fascículo 4 de los "Claus-thaler Tektonische Hefte" (1961). Muy útil es la lectura del excelente y detallado libro de *Turner y Weiss* (1963). Hasta el momento no sé de ningún trabajo publicado en castellano, donde se traten en extenso los usos de la red de Schmidt.

Para la comprensión del presente trabajo, es indispensable conocer los rasgos fundamentales de la geología estructural, que aquí no se expondrán, salvo algunos detalles sobre la geometría de cuerpos geológicos. Para un estudio correspondiente recomiendo especialmente el libro de *De Sitter* (1962; en castellano) y el de *Cloos* (1963; en alemán).

Todas las figuras a que me refiero en el texto, se encuentran en las láminas I, II y III.

2. La Geometría de cuerpos geológicos.

La geología estructural moderna usa ventajosamente una clasificación geométrica (sin pensar en primer lugar en el origen) de sus objetos.

Las rectas y planos geológicos se refieren, por eso, a un sistema de coordenadas a , b y c . Este sistema, en el mejor de los casos, tiene simetría ortorrómbica o por lo menos pseudorrómbica. En la naturaleza, a menudo la simetría es monoclínica y hasta triclínica.

En esta introducción vamos a considerar generalmente la simetría como rómbica. Los ángulos entre a, b y c tienen, pues, el valor de 90° .

La pregunta es ahora: ¿Cómo colocar los ejes coordenados en el cuerpo considerado? Para esto no hay ley, sino solamente la regla que dice: "a" siempre es la dirección de transporte, sea éste un transporte sedimentario (en fábricas sedimentarias) o tectónico. "c" es perpendicular a "a" y a la superficie de la tierra u otro plano significativo. El eje "b" queda definido como perpendicular al plano formado por los ejes "a" y "c". En el caso más corriente (simetría monoclinica), el plano formado por "a" y "c" es el único plano de simetría y se caracteriza por ese hecho.

Como se ve en la figura I/1, los planos que incluyen dos de los tres ejes se llaman planos ac, bc y ab; en un sistema de ejes ortorrómbico estos planos son perpendiculares al tercer eje.

Los planos oblicuos, se indican con los correspondientes símbolos cristalográficos (índices de Miller). hOl es un plano que corta los ejes a y c, y es paralelo al eje b; Okl es un plano que corta los ejes b y c, y es paralelo al eje a; y hkO es paralelo al eje c, y corta los ejes a y b (fig. I/2 a, b, c).

Todos los planos y lineaciones geológicos se pueden expresar mediante ese sistema de coordenadas. Por ejemplo, un graben tectónico, como se ve en fig. I/3, presenta muy bien su plano de simetría que por definición es el plano ac. Perpendicular a ese plano, se ubica el eje b. Las fallas que limitan el graben, son planos hOl. El pliegue dibujado en Fig. I/4, también permite ver fácilmente su plano de simetría ac. Los flancos del anticlinal son planos hOl, igualmente la falla inversa en el flanco derecho.

Con estos pocos ejemplos vemos la diferencia fundamental entre la clasificación geométrica y la genética. Mientras la descripción geométrica nos indica la posición del plano en el sistema de coordenadas elegido, la descripción genética nos enseña su origen. En otras palabras: cada operación geométrica realizada en nuestro trabajo, tiene que ser completada por una definición genética que permita distinguir los planos (o rectas respectivamente) de diferente origen.

3. La proyección azimutal equiareal según Lambert, y su aplicación para la representación de datos tectónicos.

Los elementos tectónicos más simples son los planos y las rectas. Cada pliegue, por ejemplo, se puede representar: 1º) por su eje y 2º) por una cantidad de planos tangentes a sus flancos. Para representar gráficamente elementos tectónicos, basta por eso, indicar la posición de planos y rectas en un diagrama, de tal modo, que las características de su posición, el rumbo y manteo, queden fijadas inequívocamente. Esto lo hacemos de la siguiente manera:

Colocamos el plano o la recta en el centro de una esfera: la "esfera de posiciones". El plano corta la esfera en un círculo máximo, y la recta penetra la esfera en dos puntos. Planos o rectas de diferente posición determinan diferentes círculos y puntos respectivamente. Se entiende que para representar correctamente una recta, basta considerar una sola de sus intersecciones con la esfera; igualmente medio círculo basta para definir un plano. Por eso para trabajar, se utiliza sólo media esfera, y precisamente la semi-esfera inferior.

Los círculos y puntos en la esfera se representan mediante la proyección azimutal equiareal en el plano del dibujo. En varios libros la proyección se encuentra dibujada como ortográfica, lo que es falso.

Para efectuar la proyección correcta se coloca la semiesfera encima del plano de dibujo. Se traza entonces la cuerda x entre el punto R a representar y el punto P de tangencia entre la esfera y el plano de dibujo. En el plano de dibujo, el punto R está representado por R_1 en la dirección del rumbo de R y a una distancia del punto P igual a la cuerda x (Fig. 1/5).

El buzamiento ϵ de la recta que une el centro C de la esfera y el punto R , se puede usar para calcular x con un radio dado de la esfera (r). Consideremos un corte por la esfera, trazado por el plano de rumbo de la recta CR (Fig. I/6). Como se ve en el triángulo PRP' :

$$\text{sen } \eta = \frac{x}{2r}, \text{ o bien}$$

$$x = 2r \text{ sen } \eta$$

se puede deducir fácilmente que:

$$\eta = 45^\circ - \frac{\epsilon}{2}, \text{ por eso}$$

$$x = 2r \operatorname{sen} \left(45^\circ - \frac{\epsilon}{2} \right)$$

Para efectuar la representación de un plano o bien del círculo máximo que forma su intersección con la semiesfera de posiciones, habría que representarlo punto por punto. Este método de cálculo y construcción es, como puede apreciarse, demasiado complicado y poco práctico para un trabajo de geología estructural.

Por eso se traza en nuestra esfera una red de meridianos y paralelos al igual como se hace en el globo terrestre. El eje del "globo" se supone, para este procedimiento, como paralelo al plano de dibujo. Los meridianos y círculos paralelos de la semiesfera inferior se proyectan luego de 2 en 2 grados mediante la proyección equiareal en el plano de dibujo. La red de curvas que se origina así, es la "red de Schmidt". Los paralelos aparecen entonces como curvas complicadas, los meridianos se asemejan a círculos, aunque tampoco son círculos exactos.

Para dibujar la proyección de un plano (= círculo máximo en la esfera), basta ahora copiar el meridiano (también un círculo máximo en la esfera) en el rumbo correspondiente y con el manteo correspondiente. Para hacer esto (véase fig. I/7), ponemos una hoja de papel transparente encima de la red de Schmidt y marcamos primero en el papel el centro de la red y las direcciones N, S, E y W. Buscamos luego en la periferia de la red el rumbo del plano (p. ej. 70° en Fig. I/7a), indicando con la cifra "7" impresa en la circunferencia de la red, y marcamos en este lugar la hoja sobrepuesta.

Entonces hacemos girar la hoja encima de la red (se puede facilitar esto mediante un alfiler puesto en el centro de las dos y un cartón grueso que sirva de base) hasta que el rumbo marcado coincida con el eje común de los meridianos (Fig. I/7b). Todos los meridianos de la red corresponden ahora a planos con el rumbo indicado. Para

encontrar el meridiano que corresponde al manto de nuestro plano (p. ej. 40° N), tenemos que imaginarnos que un plano poco inclinado evidentemente tendrá su proyección cerca de la circunferencia de la red y uno fuertemente inclinado, cerca del centro. Un plano vertical tendrá que representarse como una recta que pasa por el centro, un plano horizontal coincide con la periferia. Es indispensable para un trabajo correcto, tener siempre bien presente la representación en el espacio de la esfera de posiciones, y representar con la palma de la mano, la ubicación aproximada del plano en cuestión. Vemos así que para representar nuestro plano con su manto de 40° al Norte, hay que buscar el meridiano 40° , contando los grados desde el lado Norte de la periferia. Una vez trazado este meridiano en nuestra hoja de dibujo, hemos representado el plano $70/40$ N en la proyección azimutal equiareal de Lambert.

No siempre es ventajoso dibujar la curva que corresponde al plano. Sobre todo vale ésto, cuando hay que representar una cantidad grande de planos en un solo diagrama, ya que de tal manera se perdería la claridad. Por eso es aconsejable representar siempre además o en vez de los planos mismos, las rectas normales a ellos, es decir, sus "polos". En la red, su intersección con la esfera de posiciones tiene que encontrarse en una línea perpendicular al rumbo del plano y a 90° del plano. Mediante un lápiz sujeto entre dos dedos con la mano abierta, uno puede imaginarse esto. Se ve que el polo de un plano horizontal tiene que aparecer en el centro de la red, y el de un plano vertical en la circunferencia. Se puede, pues, encontrar el manto del polo de dos maneras: contando 90° desde el punto donde el plano corta el círculo paralelo, que en la red aparece como ecuador, o contando el manto del plano desde el centro hacia la periferia de la red.

La Fig. I/7^c muestra la hoja de papel transparente después de haber vuelto a su posición original.

Falta saber cómo se ubica una determinada recta en la red. Tomamos una recta que tenga un rumbo de 20° y un buzamiento de 30° al NNE (Fig. I/8 *a, b, c*). Como en el caso de la representación del plano, marcamos primero en la hoja de papel transparente, cuidando de hacer coincidir el N de la hoja con el N de la red, la dirección 20° que se indica con cifra "2" impresa en la circunferencia de la red. Hacemos girar entonces la hoja hasta que la marca caiga en el

"ecuador" o el "eje" de la red, (en Fig. I/8b hicimos girar la marca al eje de la red, ya que éste estaba más cerca). Luego contamos con el buzamiento desde la periferia hacia el centro, y ubicándolo en 30° , el punto con el cual se presenta la recta.

Esto es todo. Hay que añadir sólo unas advertencias:

Primero: Se necesita la visión espacial para poder imaginarse bien la esfera de posiciones y las intersecciones de los elementos: planos y rectas, en ella. Al comenzar el trabajo, es indispensable para los principiantes, imaginarse la posición del elemento con la mano o un lápiz. Sólo de esta manera se eliminan los errores, que son inevitables al hacer un trabajo mecánico memorizando ¿qué es lo que se mide desde el centro y qué desde la periferia?

Segundo: La red con sus meridianos y paralelos no es el fundamento para nuestro trabajo, sino solamente una ayuda muy útil. Cada elemento se puede representar en forma aproximada sin esta ayuda, pensando en el rumbo y manto e imaginándose la intersección con la semiesfera de posiciones.

Tercero: Una recta horizontal penetra la semiesfera no en un solo punto, sino teóricamente en dos "medios puntos". Esto hay que expresarlo dibujando su proyección en dos puntos opuestos, en la circunferencia de la red.

Cuarto: En la red, por convención, los grados se cuentan comenzando desde Sur en la dirección de los punteros del reloj. Para el trabajo da exactamente lo mismo, si se marcan los rumbos en esa forma, o bien comenzando por el Norte. En la práctica es conveniente, si se tienen que dibujar diferentes tipos de elementos, p. ej. planos de estratificación y ejes de pliegues pequeños, en la misma red, marcar los planos comenzando por el S, y los ejes comenzando por el N, para evitar confusiones.

4. Nomenclatura y símbolos.

En este capítulo diremos algo sobre la nomenclatura en geología estructural, y sobre los símbolos de elementos tectónicos que usaremos en nuestro trabajo (Véase tabla 1).

La confusión que existe en todo el mundo, en el uso de los términos "estructura" y "textura" ha conducido desde hace años, a la tendencia de eliminar las dos palabras de la nomenclatura geológica

Al respecto, la traducción española del libro de Metz, última-

mente aparecida (1963), ha aumentado aún más el cúmulo de expresiones que lejos de aclarar, confunden. Es conveniente no distinguir más entre lo que significan todas estas palabras, y usar únicamente la palabra "fábrica" (alemán: Gefüge), como lo hacen p. eje Turner y Weiss (1963: "fabric"). Por fábrica, en este sentido, se entiende en la geología "la suma de todas las relaciones mutuas de los elementos diferenciales en un cuerpo geológico".

Si describimos planos geológicos, siempre es indispensable, aunque a menudo difícil, distinguir entre planos de estratificación, planos de clivaje y planos de fracturas o fallas. Igualmente es importante, fijarse en el hecho que "clivaje" y "metamorfismo" son dos cosas diferentes aunque a menudo ocurren juntas. Clivaje es una forma mecánica-tectónica, y metamorfismo (salvo excepciones) un proceso físico-químico. Por "esquistosidad" se entiende, en la literatura americana, el clivaje por arreglo de minerales, y se presenta solamente en rocas metamórficas. Los traductores del libro de Metz llaman a la forma tectónica: "apizarramiento".

Llamamos fractura, a un plano secundario de divisibilidad en una roca, siempre que no sea verdadero clivaje. Grieta es un intersticio vacío o relleno entre dos planos más o menos paralelos. Falla es un plano según el cual ha habido movimiento. Los planos de estratificación, por otra parte, son "planos primarios".

Todos estos elementos bidimensionales pueden aparecer en varias direcciones y designarse, según lo dicho anteriormente, por coordenadas. Genéticamente importantes en estas relaciones, son sobre todo, las fracturas (o grietas) "ac" que se originan por las fuerzas de tensión relativa, en la dirección "b" de una fábrica tectónica, y las fracturas y fallas inversas en "hOl".

Como lineaciones aparecen además de los ejes de pliegues en fábricas tectónicas, los cortes entre planos de diferente origen. Hay que darse cuenta que también en este caso es necesario distinguir entre los diferentes orígenes. Una estría p. ej. producida por deslizamiento en una falla o entre dos capas, difiere de la lineación producida por el corte de un sistema de planos de cizalle con un plano de estratificación.

Si consideramos la intersección de dos o más planos de igual origen, entonces denominamos esta intersección como " β ". La intersección de uno o varios planos de estratificación con uno o varios

planos de clivaje se llama " δ ". Con "b" (minúscula) designamos los ejes de pliegues que ya en terreno se pueden reconocer como tales.

Si se habla de una deformación más bien general en una zona, hablamos del eje "B" (mayúscula) de la deformación. B se encuentra normalmente como promedio de muchos ejes b y uno o varios β , contruídos, estos últimos, a partir de planos de estratificación o clivaje.

El círculo π , es el círculo máximo que se puede trazar por los polos de una serie de planos que forman un β . El β es perpendicular al círculo π (véase también ejemplo II/2 y 3). Esto se entiende, si uno se imagina que los polos de los planos, p. ej. de un pliegue, se disponen en éste como una serie de rectas que en su conjunto, forman el plano ac del pliegue. El plano ac es perpendicular al eje b del pliegue (Fig. I/9).

En un diagrama todos estos elementos de fábrica hay que dibujarlos con símbolos diferentes. Como símbolos propongo los de la tabla 1, pero quiero dejar en claro, que estos símbolos, en casos de necesidad, pueden y deben ser cambiados. Como regla fundamental debe tenerse en cuenta que los símbolos más frecuentes en un determinado diagrama, o trabajo, tienen que ser los más fáciles de dibujar, Además, es importante elegir los símbolos de tal manera que se eviten confusiones. Si p. ej., hay que representar en un solo diagrama ejes de pliegues y polos de planos ac (que como es evidente, tienen que encontrarse en la misma área de la red), entonces no es conveniente usar círculos vacíos para los ejes b y cuadraditos vacíos para los planos ac., ya que los dos símbolos se confunden.

Habrá que usar uno de los dos símbolos rellenos.

A menudo durante el trabajo conviene usar varios colores para representar mediciones de diferentes lugares en un solo diagrama. Es recomendable usar colores sólo para distinguir lugares, y nunca para distinguir elementos tectónicos. En una publicación, pues, en general no pueden usarse colores y, distinguir los elementos, es más importante que distinguir lugares.

El rumbo de un elemento tectónico se indicará en el presente trabajo de la manera como se cuentan los grados: del Norte hacia el Este hasta llegar al Sur, es decir de 0° hasta 180° . La medición desde el Norte, 90° hacia el Este y 90° hacia el Oeste es más complicada y puede producir equivocaciones. Desde luego se necesita para

nuestro método una brújula con gradación de 0° hasta 360° . La Figura I/10 muestra la relación entre la escala de 4 veces 90° y la de 360° . El rumbo N 30° E p. ej., se presenta en este trabajo simplemente como "30°", el rumbo N 30° W como "150°". Para las mediciones con la brújula de 0° - 360° no es necesario orientarla bien hacia el Norte, ni hay que fijarse, si el rumbo se cuenta hacia el E o hacia el W. La lectura es correcta, cualquiera que sea la punta de la aguja que se lea, aunque conviene leer la cifra más pequeña (menor de 180°).

5. Representación de una gran cantidad de puntos en la red por medio de áreas con igual densidad de ocupación.

Si en un diagrama aparece un gran número de mediciones de igual tipo, y que se representan como puntos (p. ej., ejes b, polos de planos), es conveniente a veces no representarlos como tales, sino de otra manera.

Se considera el área de la red (por tener 5 cm de radio, tiene un área de $78,54 \text{ cm}^2$) como 100%. Por lo tanto, un área circular de 0,5 cm de radio (o bien $0,785 \text{ cm}^2$ de área) representa el 1% del área de la red. En un diagrama habrá por supuesto, áreas de este tamaño, en que no se encuentra ninguna medición (la parte SE del ejemplo I/11). En otras partes la misma área contendrá 1, 2, 3 o más elementos medidos.

Cortamos de una franja de papel transparente de 2 por 10 cm aproximadamente, cerca de uno de sus bordes, un círculo de 0,5 cm de radio (Fig. I/12) y movemos este círculo encima de nuestro diagrama.

Es conveniente hacer esto a lo largo de rectas paralelas. Mientras lo movemos, irán apareciendo puntos de medición dentro del área del círculo mientras otros irán quedando afuera. Cada vez que haya un cambio en el número de mediciones incluídas en el círculo, anotamos con lápiz en el centro del círculo el número total de los puntos incluídos. Esta necesidad de escribir por el interior del círculo en el diagrama mismo, nos obliga a cortar con tijeras el círculo de la franja de papel. Si hacemos este procedimiento con la exactitud necesaria, resulta un plano con cifras que indican la "densidad de ocupación" de elementos en las áreas de la red (Fig. I/11). Es fácil ahora, previa elección de algunas cifras, como p. ej.; 1, 3 y 6, trazar líneas de "equidensidad", de manera análoga como se trazan curvas de nivel en una carta topográfica. ¿Cuáles cifras se usarán para di-

bujar las líneas de equidensidad? esto depende de cada diagrama, y uno tiene que decidirlo estudiando y probando con cuales cifras se representarán mejor las verdaderas acumulaciones de puntos de medición.

Después se colocan símbolos (achurados por ejemplo) en las diferentes áreas de equidensidad que convenientemente aumenten su razón de oscuridad (densidad del achurado) hacia el área más ocupada (Fig. I/13).

Lo que al final se indica, no es la cantidad absoluta de puntos que figuran en las áreas de 1%, sino el porcentaje de puntos medidos.

Por ejemplo, si se midieron 100 ejes b, 3 ejes en el área de "más de 1%" representan un contenido de 3% de todos los ejes medidos.

La densidad será de 3%. Si se han medido solamente 50 ejes, 3 ejes en el área de "más de 1%" representan el 6% de la cantidad. En general:

$$\text{Porcentaje de puntos} = 100 \times \frac{\text{cantidad de puntos en el área de 1\%}}{\text{cantidad de puntos en el área de 100\%}}$$

Esta transformación es necesaria para poder comparar varios diagramas en los cuales, naturalmente, la cantidad de mediciones es distinta. En nuestro ejemplo (Fig. I/11 y 13) aparecen 36 puntos, y se han distinguido las áreas de más de 1, más de 3 y más de 6 puntos por 1% de área. Resultan las áreas de más de 3%, más de 9% y más de 17% aproximadamente, de densidad de ocupación.

Para encontrar la línea que limita el área sin puntos, del área de 1 punto por 1% del área, es conveniente en vez de recurrir a la franja de papel, trazar mediante un compás un círculo de medio centímetro de radio, alrededor de cada punto que se vea claramente que cae en la periferia de las zonas de acumulación. Finalmente se suavizan las curvas angulosas obtenidas (Fig. I/11 y 13).

Queda por mencionar dos cosas:

a) Si un lugar en la red está ocupado por dos o más puntos, teóricamente varias líneas de equidensidad coinciden. En la práctica no se hacen coincidir, sino se traza la de menor densidad algo más amplia, y la de mayor densidad algo más pequeña, de tal manera que re-



sulten dos líneas.

b) Las líneas de equidensidad que cortan la circunferencia de la red, tienen que reaparecer en el lugar opuesto de la circunferencia ya que cada punto de la periferia representa una recta horizontal que toca la semiesfera de posiciones en dos puntos opuestos. Además de la Fig. I/13, la Fig. III/3 puede servir como ejemplo para la representación de mediciones por medio de áreas de equidensidad.

II. Ejemplos sencillos.

A continuación trataremos algunos ejemplos de mediciones que no corresponden a un caso real, pero que nos permiten estudiar fácilmente las operaciones más sencillas con la red de Schmidt. Las figuras correspondientes se encuentran en la lámina II bajo los mismos números de los subcapítulos.

1. Construcción del rumbo y manto de la intersección de dos planos.

Esto es un problema que aparece frecuentemente en todos los ramos de la geología.

Colocamos una hoja de papel transparente sobre la red de Schmidt, y marcamos el centro y las 4 direcciones N, S, E y W en la hoja. En la circunferencia marcamos con una rayita los rumbos de los planos indicando al lado los manteos correspondientes. Entonces dibujamos los dos planos (20/60 E y 130/30 SW en Fig. II/1) con sus polos, como lo hemos aprendido en el capítulo I/3. Donde se cortan las proyecciones de los planos, se ubica evidentemente la recta de intersección. En el diagrama, esta recta queda representada por un punto. Este punto lo hacemos girar con la hoja transparente, hasta que coincida con el ecuador de la red. Ahí leemos el buzamiento y marcamos el rumbo (la dirección de la recta que une el centro con el punto. Hacemos volver la hoja a su posición original y leemos en la periferia el rumbo de la recta. En nuestro ejemplo, resulta para la intersección de los dos planos, la dirección 5/25 S.

El mismo punto de intersección lo podemos encontrar sin trazar los planos, considerando solamente sus polos. Ellos forman, como sabemos, un plano cuya proyección es el círculo π . Perpendicular a él tiene que estar la intersección de los planos. Hay que buscar

por eso en la red el círculo máximo en que caigan los dos polos (siempre el centro de la hoja encima del centro de la red, por supuesto). A una distancia angular de 90° del círculo encontrado se ubicará el punto de intersección.

2. Representación de 6 planos tangentes a los flancos de un pliegue y construcción del eje $\beta = b$.

Marcamos como en la Fig. II/1, los rumbos en la circunferencia de la red, indicando los manteos correspondientes. Hacemos girar la hoja hasta que la primera raya (25° en nuestro ejemplo) coincida con la dirección N - S de la red. Ahora los meridianos de la red representan todos los planos del rumbo 25° . Trazamos los meridianos 50 E, 20 W y 60 W (imaginémonos la posición de estos planos en la esfera de posiciones mediante la mano) siguiendo los meridianos correspondientes. Después de cada uno de los planos ubicamos su polo, que se encuentra en el ecuador de la red a 90° de los planos. Terminada la operación con los planos de rumbo 25° , hacemos girar la hoja para hacer coincidir el rumbo de 30° con la dirección axial de la red y hacemos el procedimiento recién descrito para el plano de 30° . Lo mismo vale para los planos de 35° de rumbo.

Vemos ahora que los planos dibujados se cortan más o menos en un punto que representa el β de la fábrica. Tiene rumbo $30/0$. Sabiendo que las mediciones se sacaron de un solo pliegue, podemos añadir que es el eje "b" del pliegue. Además se evidencia que los polos están situados más o menos en un plano vertical (representado en el diagrama como recta por el centro). Esta recta es el círculo π , perpendicular al cual tiene que encontrarse b. Podemos comprobar fácilmente que éste es el caso.

3. Representación de 5 planos de un pliegue con eje no horizontal, y construcción del eje $\beta = b$.

El procedimiento de construcción es el mismo que en la Fig. II/2.

El círculo π no se presenta ahora como recta, sino como un meridiano con manteo 55° SSW y rumbo 120° . La intersección de los planos nos indica el rumbo y manteo de β : $30/35$ NNE, perpendicular al círculo

π. El eje b buzante, difícil de medir con métodos clásicos, sobre todo si no se trata de un solo pliegue, sino de mediciones dispersas en un área extensa, resulta así exactamente determinado según rumbo y manto.

4. Representación de una lineación situada en un plano, por medio del ángulo que hace la lineación con el rumbo del plano, medido en este último.

En vez de medir directamente el rumbo y manto de un linear, a menudo es más exacto y ventajoso aplicar el método siguiente: Se mide además del rumbo y manto del plano, el ángulo en ese mismo plano, entre el rumbo de éste y la lineación, mediante un transportador, anotando la dirección aproximada en que buza la lineación (50° W en la Fig. II/4). Se representa en la hoja de dibujo el plano en que está situada la lineación ($30/55$ W en el ejemplo). La lineación se ubica en el meridiano dibujado (por formar parte del plano en que yace) a 50° desde la periferia, contados en paralelos. El rumbo verdadero de la lineación se encuentra luego trazando la línea que une el centro con la lineación, hasta la periferia. El manto verdadero se calcula haciendo girar la hoja hasta que el linear caiga en el ecuador, y contando en él los grados desde la periferia hasta la lineación. El rumbo y el manto de la lineación en el ejemplo (fig. II/4) resultan ser $68/36$ WSW.

5. Rotación de una lineación en torno a un eje horizontal.

Con este ejemplo aprenderemos una ley muy importante. Dice: "Si hacemos girar una lineación en torno a un eje de rotación, con el que hace un ángulo diferente de 90° , la lineación describirá un círculo pequeño en la red". La deducción teórica, es que una recta que gira de esta manera, describe un cono en el espacio. Un cono sin embargo corta una esfera (nuestra esfera de posiciones) en un círculo que no es meridiano. Para demostrar un ejemplo más práctico, supongamos un plano de estratificación horizontal que trae una lineación (p. ej. el eje b de ripple marks) con rumbo 20° . Ahora hacemos girar este plano en torno a un eje de rumbo 60° y horizontal. Para efec-

tuar esto, colocamos el rumbo 60° ya marcado en la hoja transparente, en la dirección N - S de la red. Ahora los meridianos de la red representan todos los planos que resultan, si el plano de estratificación gira en torno al eje 60° , aumentando su manteo, pasando por la posición vertical y después invertida. El ángulo que forma la lineación (el eje b de los ripple marks) con el rumbo del plano, medido en ese plano, es evidentemente el mismo para todos los manteos del plano, ya que la posición relativa de la lineación y del plano no varía. La distancia angular entre el eje de rotación y la lineación permanece por eso constante, es decir, tiene que ser de 40° en cada plano. Como vemos al instante, en las seis posiciones dibujadas, las lineaciones forman un círculo paralelo de la red, o bien un círculo pequeño.

De este ejemplo aprendemos dos cosas:

Primero: si un elemento tectónico se encuentra repetido en forma de un círculo pequeño, esta repetición se ha producido por una rotación del elemento. La posición del eje de rotación se puede averiguar mediante la red, buscando el círculo pequeño con que coinciden las diferentes lineaciones.

Segundo: si una lineación se formó originalmente en un plano horizontal (nuestros ripple marks p. ej.) y el plano después de su formación giró debido a un plegamiento, entonces el rumbo original de la lineación puede reconstruirse siguiendo con ella un círculo pequeño hasta llegar a la circunferencia de la red. La Fig. II/5 demuestra claramente que esta reconstrucción es sumamente necesaria, ya que el rumbo del linear cambia con la rotación del plano, y lo que nos interesa es el rumbo original. En nuestro ejemplo, el rumbo original es de 20° , en el plano vertical tiene 60° , y en el plano totalmente invertido 100° (casi perpendicular al rumbo original de los ripple marks).

6. Rotación en torno a un eje inclinado.

En muchos casos una deformación secundaria se desarrolla según un eje horizontal. Pero puede darse el caso también, que el eje de rotación esté inclinado. Los círculos pequeños seguidos por las lineaciones deformadas y que están perpendiculares al eje de giro, no figuran entonces en la red de Schmidt. Un ejemplo de este caso lo da la Fig. II/6. El eje de rotación que existe aquí tiene rumbo 20° y buza con 60° al SSW. La curva cerrada que lo rodea, es la proyec-

ción de la intersección de la semiesfera inferior de posiciones con el cono formado por una recta que giró en torno al eje. La red no contiene esta curva. En consecuencia podemos reconocer, con alguna experiencia, si un cierto número de puntos se encuentra en una curva que parece ser un círculo pequeño, pero es sin embargo imposible hacer reconstrucciones de una manera sencilla. Turner y Weiss (1963, págs. 68 y sig.) indican varios métodos para reconstrucciones con ejes inclinados. El más sencillo lo usaremos nosotros en los ejemplos II/9, II/10 y III/1.

La figura II/6 indica como se puede construir un círculo paralelo, cuyo eje no es horizontal. Para efectuar esto, se hace girar el círculo pequeño de la red que tiene el mismo radio, en torno a un eje de rumbo perpendicular al eje del círculo cuya posición se busca.

Los ejemplos siguientes nos enseñarán más sobre estas rotaciones.

7. Rotación de diferentes lineaciones en torno a un eje horizontal.

Suponemos un plano 20/60 E (plano ss) con su polo, y que trae una lineación (l_1) con un ángulo 60° y buzamiento al S. Además dibujamos otra lineación (l_2) que no caiga en el plano ss, con una dirección 70/30 E, y una (l_3) con 70/40 W.

Problema: Llevar a la posición horizontal el plano 20/60 E, utilizando un eje de giro con 20° /horizontal, y ver qué sucede con las tres lineaciones.

Procedimiento: Representados todos los elementos indicados, colocamos el eje 20° (que coincide con el rumbo de ss) en la dirección N-S de la red y movemos primero el polo de ss hasta que se encuentre en el centro. Ahora el plano se ubica en la periferia. Con el movimiento del polo podemos contar fácilmente un giro efectuado de 60° . Con el mismo ángulo y en la misma dirección, tenemos que mover todos los otros elementos tectónicos, siguiendo siempre los círculos pequeños de la red en que caen. l_1 llega así, con el plano que lo contiene, a la circunferencia. Con l_3 no tenemos dificultades tampoco. Con l_2 sin embargo, llegamos a la periferia, sin haber completado los 60° . Nuestra imaginación nos dice que cuando una recta gira en torno al centro, penetra en cierto momento el "borde" de la semiesfera inferior. En el mismo momento, la recta penetra 'este borde también en un punto opuesto. Desde este último punto, pues, seguimos contando hasta completar los 60° .

Todas las lineaciones cambian así su rumbo y manteo.

8. Llevar a la posición horizontal un plano invertido con una lineación sobrepuesta.

En el capítulo II/7, la posición original de l_1 se determinó como 140/horizontal. Supusimos que el plano se tenía una posición no invertida. Ahora suponemos que el plano 20/60 E está invertido. En este caso tenemos que hacer girar el plano con su polo, y l_1 , hacia el otro lado, hasta que el polo llegue al centro, es decir, un giro en 120° . La lineación se ubica después de haber seguido esta rotación, en el rumbo 80° . Vemos de este ejemplo, que es sumamente importante saber si un plano está en posición normal o invertida, antes de dejarlo horizontal.

9. Rotación de una lineación en torno a un eje inclinado.

En II/6 vimos que no podemos hacer girar inmediatamente un elemento en torno a un eje inclinado, ya que las curvas necesarias no figuran en la red de Schmidt. El camino más sencillo para superar esta dificultad es, dejar primeramente horizontal el eje de rotación, utilizando un eje perpendicular a él (1). En seguida se puede hacer la operación necesaria mediante los círculos pequeños, referidos al eje en su nueva posición horizontal (2). Si en la práctica se desea tener los elementos en posición horizontal, el problema está terminado. Si el propósito es sólo hacer un giro en torno al eje inclinado, habrá que retransformar la operación (1). Esto se tratará en capítulo II/10.

En el diagrama II/9 vemos la misma lineación (l_1) que en II/7. El eje de transformación no tiene ahora dirección 20/horizontal, sino 20/40 S. Llevamos el eje a la posición horizontal, haciéndolo girar sobre un eje horizontal de rumbo 110° (perpendicular al eje inclinado). Junto con el eje hay que transformar todos los otros elementos, con el mismo ángulo y en el mismo sentido. Dejamos horizontal después la lineación l_1 utilizando el eje 20°/horizontal. El resultado, como es fácil ver, es diferente del que se obtiene en el ejemplo II/7.

10. Rotación de un plano en torno a un eje inclinado.

Suponemos un plano ss 20/40 E y un eje de rotación 60/30 SW.

Sobre este eje, se pide hacer un giro de 60° en el sentido contrario de los punteros del reloj.

Sabemos ya que ésta transformación hay que desarrollarla en etapas, porque en nuestra red no podemos hacer girar directamente en torno a un eje inclinado. Se podría transformar el plano por medio de varios de sus puntos, pero es mucho más conveniente hacer las operaciones con el polo, y dibujar al final el plano transformado como plano perpendicular al polo resultante. Transformamos, pues, primero el polo, mientras dejamos horizontal el eje 60/30 SW (1); luego lo hacemos girar en 60° , en torno al eje horizontal, y en el sentido contrario de los punteros del reloj (2). Al final retransformamos el eje a su posición original 60/30 SW junto con el polo girado (3). El plano toma así la posición 125/20 NE.

En Fig. II/10 se han dibujado los planos para las diferentes etapas de transformación, solamente a fin de imaginarse mejor el problema. En la práctica no se haría ésto, sino se trabajaría sólo con los polos.

III. Ejemplos de terreno.

En la última parte de nuestro trabajo trataremos de representar e interpretar algunos ejemplos de terreno. Mientras algunos ejemplos son sencillos y fáciles de interpretar, otros necesitan ciertos conocimientos de la tectónica y estratigrafía del área considerada. Tenemos que darnos cuenta siempre de dos hechos:

Primero: El trabajo con la red muy a menudo no habla por sí solo, sino que es solamente un método, entre otros, para esclarecer el tectonismo de una región. Hay que acompañarlo con conocimientos adquiridos a través de otras fuentes.

Segundo: No se puede establecer una "regla" para la elaboración de datos en la red, sino que cada caso pide su propia reflexión e interpretación.

1. Construcción del eje b de un pliegue sinsedimentario usando el rumbo y manteo de varios planos medidos. Construcción del eje B tectónico de los alrededores. Reconstrucción de la posición del pliegue sinsedimentario antes de la deformación tectónica.
Lugar: Capas de Los Molles (Prov. de Aconcagua).

En un pliegue sinsedimentario de las conocidas Capas de Los Molles, se han medido 9 rumbos y manteos a fin de construir con exactitud el rumbo y manteo de su eje fuertemente buzante.

En el diagrama (Fig. III/1a) representamos, como se indica en I/3, los planos con sus polos. Se origina una figura análoga al ejemplo sencillo II/3. Por la intersección de los 9 planos, determinamos el rumbo y el manteo del eje del pliegue (65/55 NE), y lo controlamos por medio del círculo π , al cual el eje tiene que ser perpendicular.

En la figura III/1^b se ha determinado el eje tectónico general (eje B) de las Capas de Los Molles. Se han dibujado sólo los polos de 12 planos de estratificación con su círculo π . B resulta tener la posición 28/20 N.

Pregunta: ¿Cuál fué la posición del pliegue sinsedimentario antes de que el tectonismo distorsionara las capas?

Solución (Fig. III/1^c): Primero tenemos que dejar horizontal el eje tectónico haciéndolo girar en torno a un eje perpendicular a él, hasta que llegue a la periferia (1). A esta transformación la sigue, por supuesto, también el eje del pliegue sinsedimentario. Después, se lleva a la posición horizontal el eje del pliegue sinsedimentario (2), utilizando el eje 28/0. El eje del pliegue llega a tener un rumbo de 70°, que es el original. Perpendicular a esta dirección tenemos, pues, el eje a, es decir, la dirección de transporte.

Claro que un solo pliegue no permite sacar ninguna conclusión respecto a la dirección de una posible corriente marina que lo hubiera producido. Puede haberse formado de igual manera a causa de una corriente principal, así como haber sido originado por un deslizamiento de los flancos de un cañón submarino (es decir, perpendicular a la corriente). Los meandros también hay que considerarlos. Por eso, sólo con una cantidad de mediciones, que permitiera un estudio estadístico, se podrían obtener conclusiones respecto a la dirección de paleocorrientes. Pero esto ahora no es problema nuestro. En todo

caso, vimos en el ejemplo, como fácilmente y de una manera segura, podemos reconstruir la posición pretectónica de un elemento sedimentario.

Es sólo una casualidad, que en este ejemplo el rumbo del pliegue sinsedimentario cambie tan poco con la transformación. En otros casos, la diferencia de rumbo antes, y después de la transformación, podría ser mucho mayor.

2. Construcción completa de las coordenadas a, b y c de una fábrica tectónica. Lugar: Paleozoico de Bahía Blanca, al SW de Taltal.

En un afloramiento se han medido la dirección de 7 ejes de pliegues pequeños, el rumbo y manteo de la estratificación y del clivaje, y 27 fracturas de las cuales 11, ya en terreno, pudieron ser reconocidas como fracturas ac de la fábrica, y 4 como fracturas bc.

Todos estos elementos se representaron en la red (Fig. III/2). Se ve que las fracturas ac tienen sus polos casi exactamente en coincidencia con los ejes b. De las fracturas ac y bc, en vez de trazar todos los círculos correspondientes a los planos, se dibujaron sólo los "planos del máximo". Para este fin se consideró el centro de la acumulación de polos, como polo de un solo plano que opera como representante de todos los planos de igual posición geométrica.

Ahora bien: El eje b queda definido, con una posición de 103/38 W, por los ejes de pliegues y los polos de las fracturas ac. El eje c se encuentra en donde se cortan los planos ac y bc, es decir, en 107/52 E. El eje a se encuentra perpendicular a los planos bc, es decir en coincidencia con sus polos. Está entonces situado en 16/2 N. La distancia angular entre los tres ejes es exactamente de 90°. La simetría de la fábrica puede, por eso, ser clasificada como perfectamente ortorrómbica.

Las 12 fracturas que no caen en ac ni en bc, son fracturas hkl. Sin embargo la mayoría de ellas se asemeja mucho a h0l (encontrándose sus polos cerca de los planos ac y formando así un eje β con rumbo y manteo semejante al eje b de la fábrica). En cuanto al significado de ésto para la tectónica del área, no se puede decir nada con un solo afloramiento a nuestra disposición.

Lo que nos interesa, además de haber reconocido la posición del sistema de coordenadas de la fábrica, es que ni el rumbo de la estratificación ni el del clivaje, considerados por sí solos, repre-

sentan la simetría de la fábrica. La posición de sus polos en el plano ac significa que son planos hOl. Pero sólo b cae en los planos de estratificación y clivaje, de modo que conocer rumbo y manteo de la estratificación y del clivaje no basta para determinar totalmente la posición del sistema de coordenadas. Sobre todo si tenemos una sola medición de la estratificación, ésta no nos permite ubicar ni el eje b de la fábrica. Esto se debe a que el eje b no es horizontal. Si un eje b está inclinado, sólo planos de estratificación verticales tienen el mismo rumbo del eje (véase también II/3).

En fábricas con eje buzante, el rumbo y manteo de un solo plano de estratificación medido, no es, por lo tanto, representativo de la fábrica completa; solamente la construcción del eje b según II/2 o II/3 da una visión del rumbo general de la fábrica.

Como vemos, la estratificación y el clivaje se cortan en b. Esta intersección, llamada δ , muy a menudo da el valor aproximado del eje B. Como lo expuso *D. Richter* (1963), puede haber excepciones.

3. Una fábrica con deformación múltiple. Lugar: Estratos de Arrayán y Huentelauquén, desembocadura del Río Choapa, Prov. de Coquimbo.

Los Estratos de Arrayán están formados por una serie de sedimentos clásticos de edad probablemente devónica o silúrica superior. Se midió ahí rumbo y manteo de planos ss y de ejes de pliegues pequeños. Se obtuvo varias mediciones de ss, también en pliegues de 1 a 5 m de longitud, con el fin de construir para cada uno el eje b. Se demostró que ésto no era posible en todos los casos, ya que por una sobreposición de varios plegamientos resultaron pliegues no cilíndricos, es decir, que no daban ejes β unívocos. En estos casos se representaron los planos de estos pliegues al igual que los planos ss no correlacionables con pliegues pequeños. Resultaron así 48 ss y 17 b, los cuales están representados en la Fig. III/3^a. Los polos de los ss se llevaron a un diagrama de áreas de igual densidad de ocupación, según se ha explicado en I/5, a fin de dejar más en claro la situación.

Se ve que se puede trazar un círculo π muy aproximado con rumbo 120° , es decir con β 30/horizontal. En vez de este círculo π aproximado, es posible trazar varios, de manteo diferente, pero igual rumbo. Además figuran los polos cerca de varios círculos máximos cuyo rumbo es de 30° . Se evidencia que hubo dos deformaciones principales de

las capas, una con b probablemente en 30° , y otro con b en 120° .

Falta decidir cuál fue la deformación más antigua, y cuál la más joven. Probablemente la dirección de b más joven es la de 30° porque en esta dirección hay una acumulación densa de ejes de pliegues pequeños (en 32/25 SW), mientras que en la dirección 120° , aunque hay ejes, éstos presentan toda la gama de manteos. Es decir, un plegamiento según el eje de 30° ha afectado ejes de 120° de rumbo,

El plegamiento general, según el eje 30° /horizontal, no fue exactamente el mismo que el que formó los pliegues pequeños de 32/25 SW, ya que éstos últimos buzcan con 25° al SW, en tanto que el β promedio de las capas es horizontal. Sin embargo la simetría de las dos deformaciones es por lo menos pareja. Un ejemplo análogo ya lo hemos conocido en III/2, donde el b principal y el β de algunas fracturas, "casi h01", también difieren en cierta medida.

En caso de la existencia de varios ejes B en una determinada área, llamamos B_1 al más antiguo, y B_2 , B_3 etc. a los más jóvenes, según su edad relativa.

En el ejemplo, B_1 tendría por lo tanto rumbo 120° , B_2 rumbo 30° . La presencia de dos ejes B, perpendiculares entre sí ($B' \perp B$), es muy frecuente. A menudo este fenómeno no significa un cambio total de las fuerzas deformantes, sino que caracteriza solamente cierto tipo de modificación de la deformación, con fuerzas que permanecen constantes durante mucho tiempo.

Hace falta mencionar los ejes de pliegues con rumbo aproximado N - S, que no caben en el esquema ya desarrollado y que parecen no haber sido afectados por los demás elementos tectónicos, ni haber afectado tampoco a estos últimos.

Si miramos el diagrama III/3^b, obtenido de los Estratos de Huentelauquén, en las cercanías inmediatas del área recién descrita, vemos un eje δ formado por planos de estratificación y de clivaje y que tiene posición 168/25 N. Esta deformación ha sido postcarbonífera, de acuerdo a la edad conocida, Carbonífero superior o Pérmico inferior, que tienen los Estratos de Huentelauquén. Con esta deformación quizás podemos identificar los ejes de rumbo aproximado N en los Estratos de Arrayán. Estos ejes serían por eso más jóvenes que B_1 y B_2 , y su dirección la podríamos señalar como B_3 .

4. Análisis de una tectónica complicada en un área reducida, Lugar: Alrededores de la Base "General Bernardo O'Higgins", Antártida Chilena.

Los sedimentos cretácicos de los alrededores de la Base O'Higgins han sufrido una deformación muy complicada que sólo se puede entender con la representación en la red de Schmidt. Para la descripción, hay que distinguir tres partes: La Península Schmidt donde se encuentran las construcciones de la Base, el Morro Rancagua, área pequeña despejada de nieve en verano, y situada al E de la Península Schmidt, y, finalmente, un área intermedia a las otras dos, cerca del muelle.

a) Las fábricas en la Península Schmidt (Fig. III/4^a).

Se han medido sobre todo los planos de estratificación y los ejes de pliegues pequeños. Resulta que los planos tienen rumbo aproximado ENE - WSW y manteo entre los 30° y 90° hacia el NNW. En el diagrama figuran sólo los polos. Los ejes tienen el mismo rumbo de los planos, y son más o menos horizontales. Se ve que ni los ejes ni los planos mantienen un orden muy estricto. Buscando la razón de esto, se encontró que en la parte NW de la Península todos los rumbos se agrupan en 55°, y en la parte SE en 70°. Se advierte que para una distinción tal, los lugares de cada medición tienen que ser bien fijados en una carta, o por lo menos en una descripción de ruta.

Los polos de los planos se permiten fácilmente la construcción de un círculo π para cada una de las áreas así definidas por medio de su fábrica.

b) Las fábricas en el Morro Rancagua (Fig. III/4^b)

En el Morro Rancagua las fábricas se presentan mucho más complicadas, y además a primera vista, no parecen tener relación alguna con las de la Península Schmidt. El rumbo de las capas varía entre los 100° y 150°, el manteo entre 30° y 70° NE. Los polos se ubican en un círculo máximo con polo β en 164/35 N. Nos damos cuenta que la acumulación mayor de polos de ss en la Península Schmidt cae también en este círculo. Se evidencia así que las capas ya plegadas según un "B₁" con rumbo 55° a 70°, en el Morro se han plegado otra vez según un "B₂" con rumbo 164°.

Se puede comprobar por una reconstrucción de este mismo plega-

miento, que los ejes de pliegues pequeños en el Morro, no alcanzan una posición que coincida con la de los ejes de la Península Schmidt. Esto demuestra que no son ejes "B₁" plegados de nuevo según "B₂" sino que se han formado posteriormente a B₁.

El rumbo de los ejes es en realidad, en parte, parejo al rumbo del β de las capas (puntos de medición 10 y 13; véase la leyenda del diagrama III/4^b). Esto significa que el plegamiento B₂, además de haber deformado capas, ha formado pliegues pequeños nuevos.

En el punto 11 de medición, se encuentran dos grupos de ejes de pliegues pequeños sobrepuestos a los mismos planos de estratificación. Tienen posición 32/40 NE y 134/26 NW respectivamente. Sus rumbos incluyen un ángulo de 90° aproximadamente. Por eso podemos admitir que se trata de un par de ejes B' \perp B, que como hemos dicho ya en ejemplo III/3, es muy común y puede formarse hasta en el mismo período de deformación. Fracturas ac perpendiculares al B con rumbo 32°, demuestran que esta dirección es la más importante y que la otra hay que designarla como B'. Hay razones que indican una edad más joven de estos últimos pliegues que los B₂, así es que podemos denominarlos B₃ y B₃' respectivamente.

La posición dispersa de los ejes del punto 12, probablemente se origina por una deformación torcional de ejes B₂ según B₃. Mayor información sobre el caso poco común de deformaciones torcionales, véase en el libro de Sander (1948, pág. 167).

c) Las fábricas al lado del muelle (Fig. III/4^c).

En este lugar los planos de estratificación permiten la construcción de un β en 24/24 NNE. Como en III/4^b, la acumulación máxima de los polos de ss en la Península Schmidt, se ubica en el círculo π de las capas nuevamente plegadas. El mismo rumbo de β lo muestran también los pliegues pequeños allí medidos, pero contrariamente al caso III/4^a y b, no están situados en planos bien pronunciados de estratificación. Los "niveles de pliegues", por otra parte, como es natural, contienen los ejes de pliegues. Es evidente que la deformación de las capas y la formación de los pliegues pequeños, no pueden pertenecer a un solo procedimiento de deformación. El rumbo del β y de los ejes es el mismo que el B₃ en el Morro Rancagua. Esto nos permite identificar las fábricas de III/4^c como pertenecientes al sistema de deformación B₃.

Veamos los resultados completos del análisis. Una primera deformación dió origen a las estructuras principales con rumbo ENE, dirección que corresponde al rumbo general de la Península Antártica en su extremo Norte. Después se produjo una deformación según un B_2 de rumbo 168° (como promedio de β en III/4^b y los pliegues pequeños correspondientes). Como última deformación figura un plegamiento según B_3 , con rumbo 30° como promedio, y ejes adicionales perpendiculares a esta dirección.

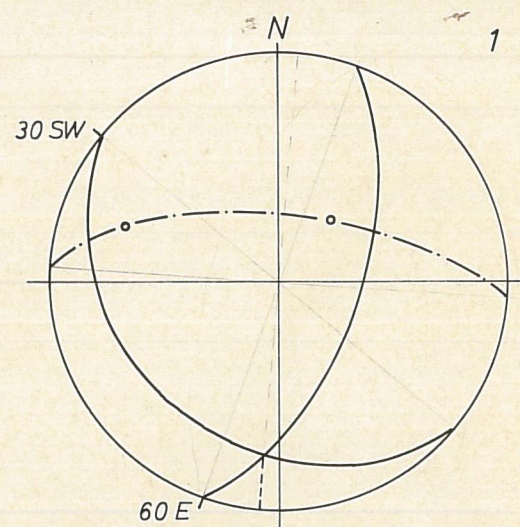
No se esperaba un resultado tan complejo en una formación cretácica cerca de la punta Norte de la Península Antártica.

A G R A D E C I M I E N T O S

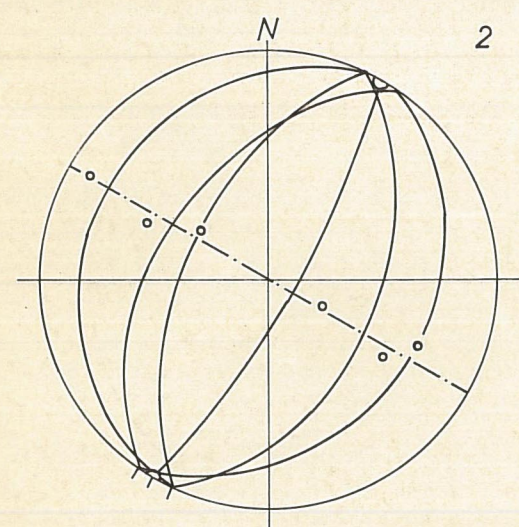
Quiero agradecer sincera y cordialmente a Don Humberto Fuenzalida Villegas, Director de la Escuela de Geología de la Universidad de Chile, quien facilitó la publicación del presente trabajo en las "Comunicaciones de la Escuela de Geología". Mi alumno y amigo Don Roberto Araya Araya revisó amablemente el texto respecto a gramática y dicción castellana. Con Claudio Gallardo Loyola me ayudó en el Dibujo de varias figuras.

V. BIBLIOGRAFIA

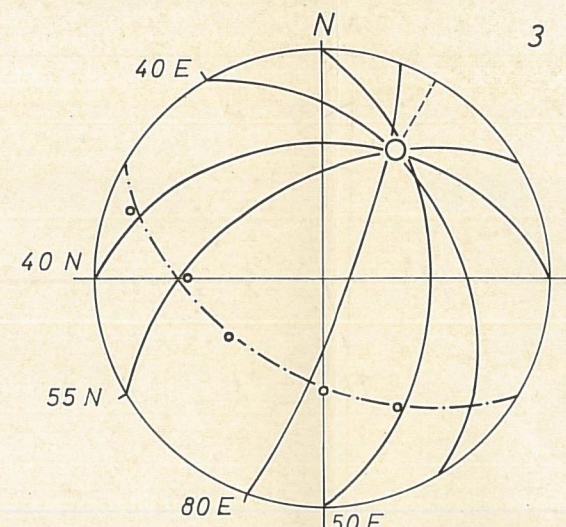
- ADLER, R., W. FENCHEL y A. PILGER: Statistische Methoden in der Tektonik. II. Das Schmidtsche Netz und seine Anwendung im Bereich des makroskopischen Gefüges. Clausthaler Tektonische Hefte, 4, 111 págs. Clausthal-Zellerfeld 1961.
- CLOOS, H.: Einführung in die Geologie. 503 págs., 3 láms., Berlin (Borntraeger) 1963.
- METZ, K.: Manual de Geología Tectónica. 328 págs., 2 láms., Barcelona (Omega) 1963.
- RICHTER, D.: Die- δ -Achsen und ihre räumlich-geometrischen Beziehungen zu Faltenbau und Schieferigkeit. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen 1198, 52 págs., Köln 1963.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. 1 Teil. 215 págs., Wien e Innsbruck (Springer) 1948.
- DE SITTER, L.U.: Geología Estructural. 521 págs., Barcelona (Omega) 1962.
- TURNER, F.J. y L.E. WEISS: Structural Analysis of Metamorphic Tectonites. 545 págs., New York (McGraw-Hill) 1963.



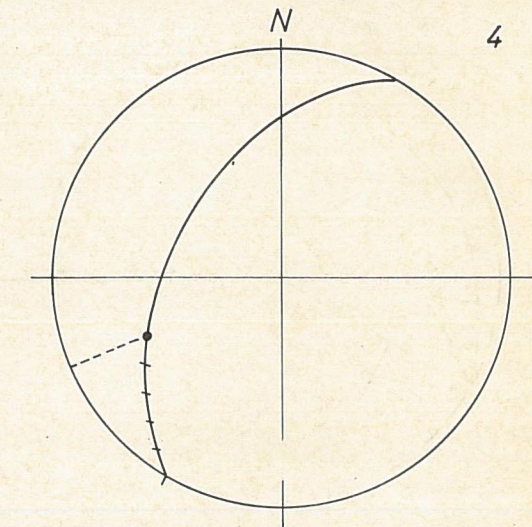
1
 dado: ss 20/60 E
 130/30 SW
 resultado: l 5/25 S



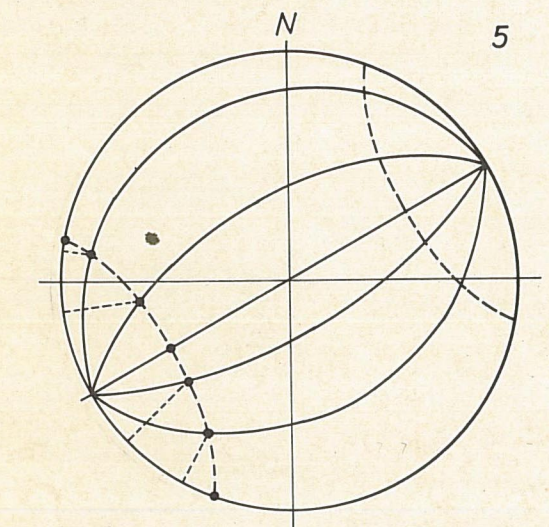
2
 dado: ss 25/50 E
 25/20 W
 25/60 W
 30/80 E
 35/30 E
 35/50 W
 resultado: β 30/0



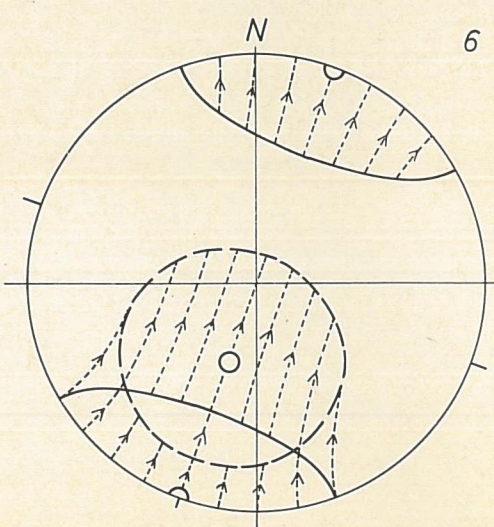
3
 dado: ss 0/50 E
 20/80 E
 150/40 E
 90/40 N
 60/55 N
 resultado: β 30/35 NE



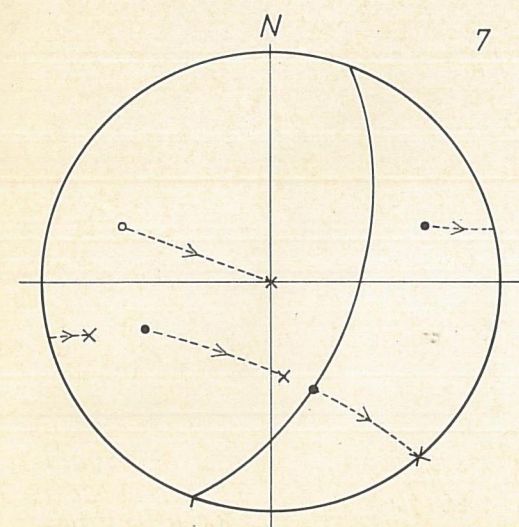
4
 dado: ss 30/50 W
 con l en 50 W
 resultado: l 68/36 WSW



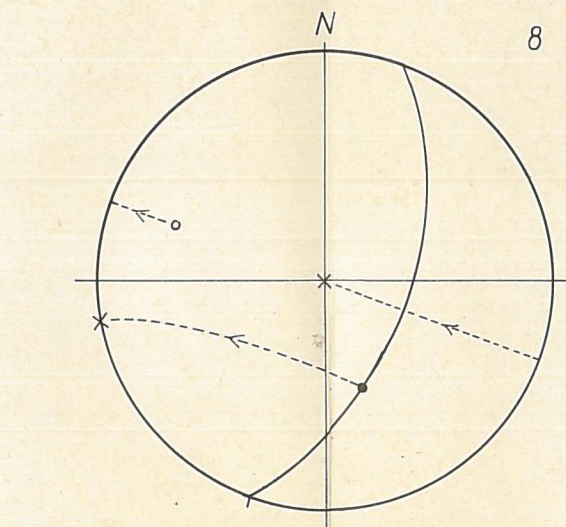
5
 dado: l 20/0
 eje de rotación 60/0
 resultado: cono de rotación



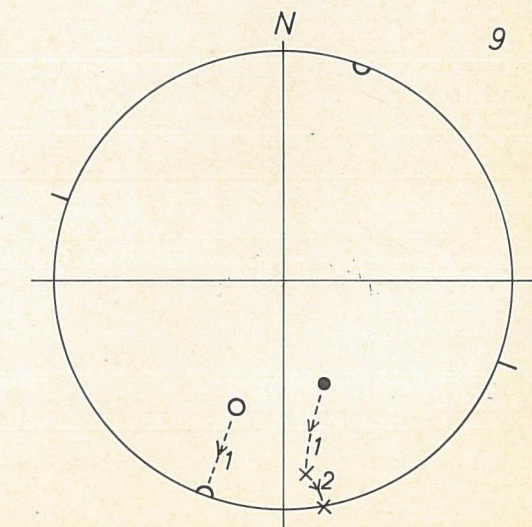
6
 Construcción de un círculo pequeño con eje 20/60 S



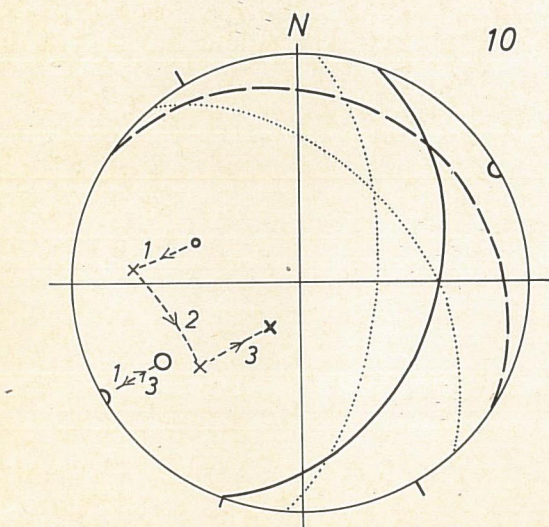
7
 dado: ss 20/60 E
 con l en 60 S
 l₂ 70/30 E
 l₃ 70/40 W
 resultado: l₁ 140/0
 l₂ 74/20 W
 l₃ 174/56 S



8
 dado: ss 20/60 E
 con l en 60 S
 resultado: l 80/0



9
 dado: l 160/50 S
 eje de rotación 20/40 S
 resultado: l 170/0



10
 dado: ss 20/40 E
 eje de rotación 60/30 SW
 resultado: ss 125/20 NE

TABLA 1

Elemento	Abreviatura	Símbolo	
		Polo	Plano
Planos en general	s	o	_____
" de estratificación	ss	o	_____
" de clivaje	cl	x	-----
" de fractura	fr	□
" de falla	f	■	-----
Fracturas ac	ac	□	
" bc	bc	■	
" ab	ab	o	
" hOl	hOl	v	
" hkO	hkO	△	
" OkI	OkI	▲	
Círculo π	π	○	-----

Lineaciones en general	l	Símbolo •	
Ejes de pliegues	b	•, o	
Intersecciones de planos de igual especie	$\beta_{(ss, cl, hOl...)}$	•	Acumulación ○
Intersecciones de planos de diferente especie	$\delta_{(ss/cl...)}$	•	*

