

Problemas de Geología Estructural

1. Conceptos generales

Rosa Blanca Babín Vich¹. David Gómez Ortiz².

¹Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas.
Universidad Complutense de Madrid. José Antonio Novais, s/n. 28040-Madrid.

rosbabin@geo.ucm.es

²Área de Geología-ESCET. Universidad Rey Juan Carlos. Tulipán, s/n. 28933-Móstoles.

david.gomez@urjc.es

Resumen: La proyección estereográfica es una de las mejores técnicas para resolver problemas geométricos en Geología Estructural. Trabaja con líneas y planos sin tener en cuenta sus relaciones espaciales, por tanto, solo se pueden representar valores angulares.

Palabras clave: Proyección estereográfica. Circunferencia primitiva. Falsillas de proyección.

PRÓLOGO

El tratamiento cuantitativo de la geometría en tres dimensiones puede ser a veces muy arduo, mediante fórmulas trigonométricas que en ocasiones provocan que el problema no pueda ser resuelto rápidamente por los alumnos. El resultado, a menudo, es que la manipulación de los datos puede llevar a errores y a un desconocimiento de cuáles son las ecuaciones que se deben utilizar en cada caso.

Afortunadamente y como ayuda para simplificar las técnicas gráficas, se utiliza en Geología Estructural la proyección estereográfica, que requiere en principio que el alumno tenga una buena visión de los procesos de proyección. El crear una imagen proyectada en la mente puede parecer difícil al comienzo, pero con una cierta práctica, el alumno puede llegar a ser casi un experto. Se recomienda hacer dibujos en tres dimensiones para plasmar la imagen pensada y pasar a continuación la misma imagen a dos dimensiones. De esta forma se relaciona la estructura en tres dimensiones con la que vamos a ver proyectada, ya sea mediante proyección ortográfica o estereográfica.

Este tipo de proyección es ideal para analizar relaciones angulares y trabajar con datos de orientaciones. Las aplicaciones más generales incluyen la determinación de ángulos entre líneas, entre planos y entre ambos. También se utiliza para el análisis y clasificación de superficies curvadas (pliegues), orientación de planos a partir de testigos de sondeos y obtención de orientaciones poco visibles en el campo a partir de

distintos conjuntos de datos. En combinación con la proyección ortográfica, se pueden resolver muchos problemas típicos de la Geología Estructural y de la Ingeniería Geológica.

Este manual está estructurado en varios artículos Babín y Gómez (2010 a, b, c, d, e, f, g y h). Cada uno de ellos comienza con una definición somera de los conceptos más básicos, como pueden ser las orientaciones de planos en el espacio y su representación, para terminar analizando cada una de las principales estructuras geológicas. Al principio de cada artículo se ofrece una introducción referente a los conceptos fundamentales necesarios para la comprensión y resolución de los problemas que se desarrollan a continuación. Nuestro deseo es que este trabajo sirva como orientación a futuras generaciones de estudiantes, que, dentro de las Ciencias Geológicas, han elegido esta especialidad para desarrollar su futura vida laboral.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este manual es introducir al alumno en el conocimiento de las técnicas básicas de proyección estereográfica, indispensables para cualquier geólogo que vaya a desarrollar su trabajo en relación con Geología Estructural (orientaciones de planos y líneas en el espacio), Cartografía (relaciones angulares entre estratos, discordancias, etc), Geotecnia (cálculo del factor de seguridad de un talud), etc. En cada uno de los artículos se van resolviendo ejercicios sencillos a partir de una serie de definiciones consideradas de conocimiento imprescindible para los problemas que se van a desarrollar a continuación.

Aunque este método de proyección está explicado en muchos libros con mayor o menor extensión, nuestra experiencia como profesores de Geología Estructural es que muchos estudiantes son capaces de representar los datos estructurales sin entender el principio del método que están empleando. Este manual pretende, mediante ilustraciones y ejercicios resueltos, visualizar el problema que concierne a las tres dimensiones y a su representación bidimensional.

Es bien sabido, que la representación de datos estructurales mediante métodos geométricos se dificulta en gran manera cuando es necesario analizar un gran número de medidas. En este sentido se introduce el concepto de [proyección estereográfica](#), herramienta utilizada ampliamente por los geólogos desde la mitad del siglo XIX, como una alternativa sencilla y simple para representar datos tridimensionales en dos dimensiones.

Aunque en un principio este tipo de proyección pueda parecer abstracta, con su uso el alumno se dará cuenta de la facilidad y rapidez de resolución de distintos tipos de problemas en Geología Estructural. Actualmente, los ordenadores son capaces de proyectar datos estructurales en proyección estereográfica, pero no sabremos interpretar el resultado si no aprendemos a proyectar datos manualmente. La falsilla

de proyección se puede llevar al campo fácilmente y los datos pueden ser proyectados, interpretados y en su caso, corregidos, directamente en el afloramiento.

El material necesario para llevar a cabo este tipo de proyección, es muy simple. Únicamente se necesita una falsilla de proyección (Anexo I) que aparece en la mayor parte de los libros de Geología Estructural, una chincheta, lápiz y goma de borrar, así como grandes cantidades de papel transparente o de calco. Se recomienda resolver cada problema en un papel transparente distinto, para poder repararlo después y corregir si fuera necesario.

LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA. CONCEPTOS GENERALES

Imaginemos un observador situado en el centro de una esfera de cristal transparente. Cualquier dirección supuesta, estará representada por un punto determinado, situado en la superficie de la esfera. Por ejemplo, la dirección “oeste” estará indicada por un punto en el ecuador de la esfera, situado al oeste del observador.

Los primeros astrónomos definieron las posiciones relativas de las estrellas proyectándolas como puntos blancos en la superficie de una esfera de color negro. A esta representación se le dio el nombre de “**esfera celestial**”, en la que las distancias relativas de la tierra a las estrellas no podían ser representadas en su magnitud real.

Una superficie esférica en la cual las posiciones de los elementos característicos están indicadas, se denomina **proyección esférica**, siempre teniendo en cuenta que se representan orientaciones, no distancias entre los elementos proyectados.

Las **proyecciones esféricas** se utilizan para representar orientaciones de líneas y/o planos, siempre que la línea o el plano pase a través del centro de la esfera. En ese caso, una línea intersecta a la superficie de la esfera en dos puntos diametralmente opuestos, mientras que la intersección de un plano con la esfera será un círculo mayor (Fig. 1). La intersección de la línea o el plano con la esfera es su proyección esférica.

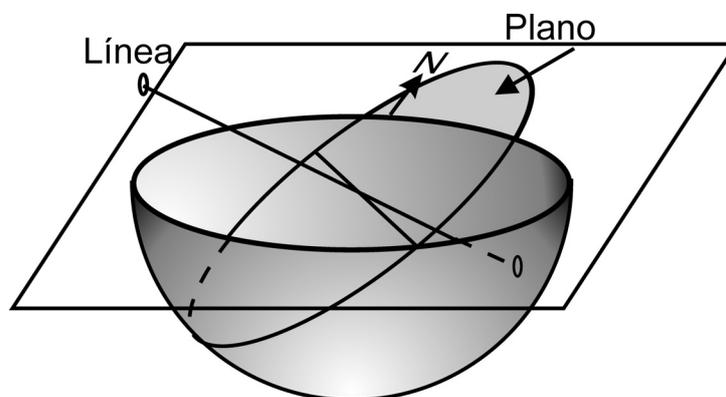
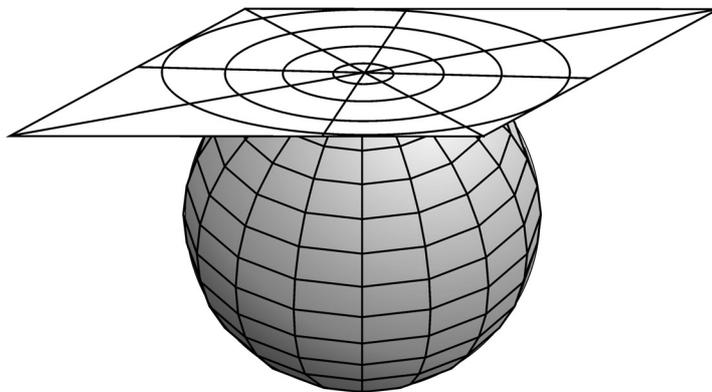


Figura 1. Proyección de una línea y un plano en el hemisferio inferior de la esfera.

Una proyección de este tipo, representa el elemento proyectado en tres dimensiones. Afortunadamente, una esfera puede ser proyectada en un plano bidimensional. Las proyecciones planares más comunes de una esfera se denominan **proyecciones azimutales**, que se construyen haciendo pasar las líneas de proyección desde un punto común hasta la esfera, intersectando el plano de proyección. Este puede ser tangente a la superficie de la esfera, estar a una determinada distancia de ella o pasar a través del centro de la esfera. Un cambio en la posición del plano de proyección, da lugar a un cambio de escala en la proyección. El plano de proyección puede tener cualquier orientación, y esto determina que la **proyección** sea **ecuatorial**, **polar** u **oblicua** (Fig. 2).

Polar



Oblicua

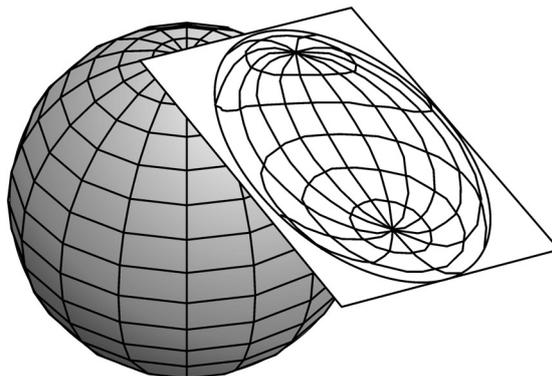


Figura 2. Proyecciones polar y oblicua, como ejemplos de posibles orientaciones del plano de proyección.

La **proyección estereográfica** es un caso especial de **proyección azimutal**, que en su principio fue desarrollada por los cristalógrafos. Su característica principal es que el punto fuente usado en su construcción está situado en la superficie de la esfera. En geología, el plano de proyección usado para construir la proyección estereográfica pasa por el centro de la esfera, y se corresponde con su plano ecuatorial.

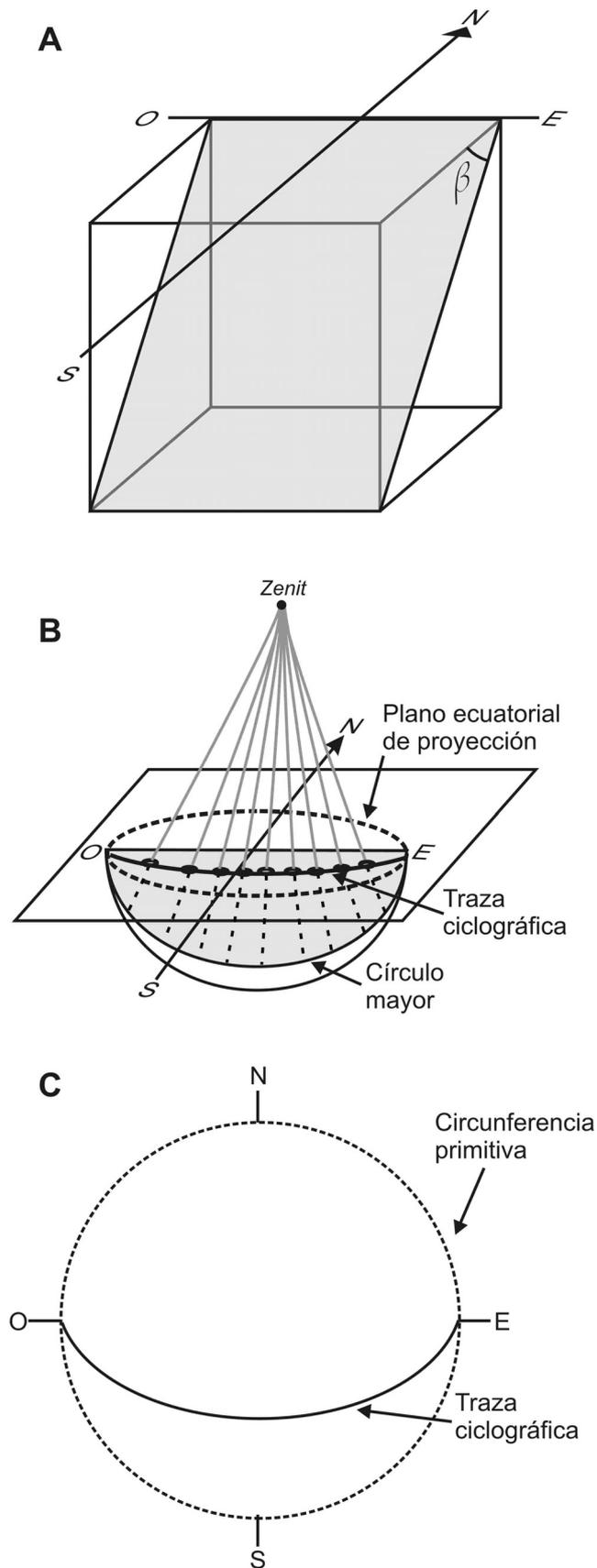


Figura 3. A. Plano en tres dimensiones, orientado mediante dirección y buzamiento. B. Proyección esférica del plano, en el hemisferio inferior de la esfera. C. Estereograma del plano.

Vamos a visualizar la construcción de una proyección estereográfica (Fig. 3). Imaginemos un punto marcado en el hemisferio inferior de nuestra esfera de cristal, que representa la proyección esférica de un punto en el espacio. La proyección estereográfica de este punto se construye dibujando una línea de proyección que conecte el punto situado en el hemisferio inferior, con el zenit de la esfera colocado en la parte superior de la misma. La intersección de la línea de proyección con el plano ecuatorial (plano de proyección) de la esfera, es la proyección estereográfica de ese punto. En Geología Estructural siempre proyectamos desde el hemisferio inferior de la esfera y el elemento representado (línea o plano) pasa por el centro de la esfera de referencia, mientras que en Cristalografía se utiliza el hemisferio superior. Los planos intersectan el hemisferio inferior como círculos mayores, y las líneas, como puntos. Cada punto de un círculo mayor en el hemisferio inferior, unido con el zenit, da a su vez un punto en el círculo ecuatorial de proyección. La unión de todos estos puntos muestra la proyección estereográfica ([estereograma](#)) del plano que pasa por el centro de la esfera y que corresponde a un círculo mayor. Hemos reducido una geometría tridimensional a dos dimensiones.

La intersección del plano ecuatorial ([plano de proyección](#)) con la esfera, se denomina "[circunferencia primitiva](#)", mas abreviado, [la primitiva](#). Tiene el mismo radio que la esfera de proyección original y todos los puntos en la superficie del hemisferio inferior quedan proyectados como puntos en o dentro de la primitiva.

La proyección estereográfica es una de las mejores técnicas para resolver problemas geométricos en Geología Estructural. Se diferencia de la proyección ortográfica en un punto fundamental: ésta preserva las relaciones espaciales entre las estructuras, mientras que la estereográfica trabaja con planos y líneas sin tener en cuenta sus relaciones espaciales, únicamente las angulares.

El uso de la proyección estereográfica es, en muchos casos, preferible al de la proyección ortográfica, ya que es capaz de resolver gran cantidad de problemas geométricos con mayor facilidad y rapidez, siempre que en ellos solo intervengan valores angulares. Ambos tipos de proyecciones son complementarios, de forma que los datos angulares se tratan con proyección estereográfica y los escalares, mediante proyección ortográfica o de planos acotados.

En la práctica, la proyección estereográfica de líneas y planos se lleva a cabo con ayuda de una falsilla de proyección ([stereographic net](#)). Esta falsilla o [estereoneta](#) está formada por un conjunto de proyecciones de círculos mayores y menores que ocupan el plano ecuatorial de proyección de la esfera de referencia. Ambos conjuntos de círculos están espaciados con intervalos de 2°, apareciendo marcados con un trazo más grueso los que corresponden a valores múltiplos de 10 (Fig. 4).

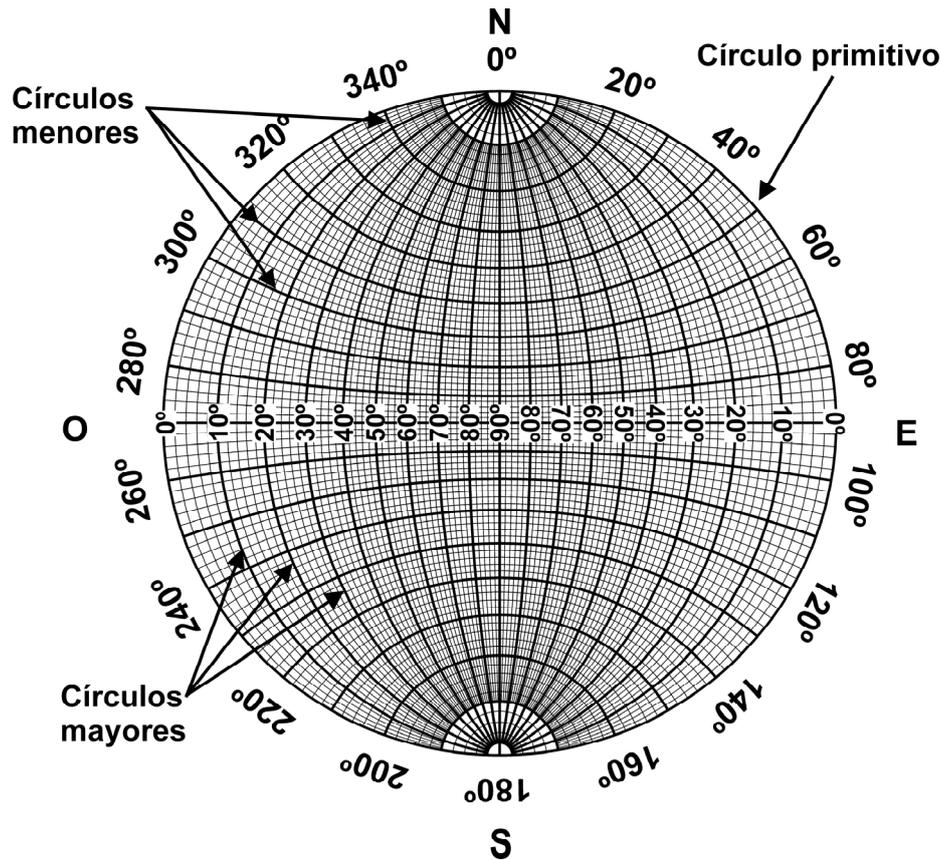


Figura 4. Falsilla de proyección estereográfica (Falsilla de Wulff) o estereoneta. Conserva los ángulos.

Los círculos mayores representan una familia de planos con dirección norte-sur, cuyos buzamientos varían desde 0° a 90° en ambos sentidos. Estos planos se cortan según una línea horizontal representada por el norte o el sur de la falsilla.

Los círculos menores son aquellos a través de los cuales medimos las direcciones de los distintos planos y líneas en la proyección. También se utilizan para hacer rotaciones de distintos elementos estructurales alrededor de ejes horizontales, verticales o inclinados. Representan la proyección sobre el plano ecuatorial de un conjunto de planos que no pasan por el centro de la esfera, espaciados de 2° en 2°. Cada círculo menor corresponde al corte de una superficie cónica con la esfera, cuyo ápice está situado en el centro de la esfera y su altura coincide con el radio de la falsilla. La combinación de círculos mayores y menores constituye un ábaco perfectamente apto para la proyección estereográfica de líneas y planos.

Existen dos tipos distintos de estereoneta: la [falsilla de Wulff](#) y la de [Schmidt](#) (Fig. 5). La primera conserva ángulos, como se explicará a continuación, mientras que la segunda conserva áreas y por tanto, se utiliza para realizar contajes estadísticos de elementos (planos de falla, ejes de cuarzo, lineaciones, etc). La forma de proyectar planos y líneas en cualquiera de estas falsillas, es exactamente la misma, y se irá aprendiendo una vez que se vayan desarrollando los distintos artículos del manual.

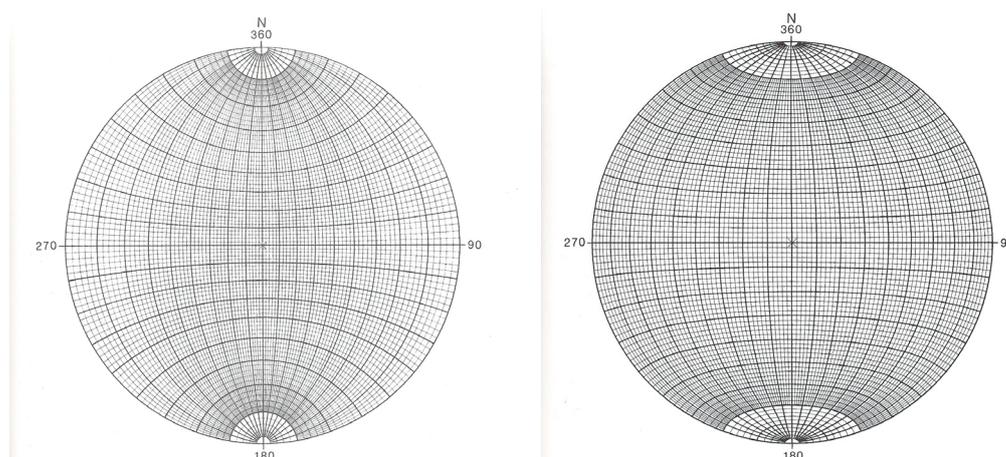


Figura 5. Falsillas utilizadas en la proyección estereográfica. Falsilla de Wulff (izquierda) y falsilla de Schmidt (derecha).

BIBLIOGRAFÍA

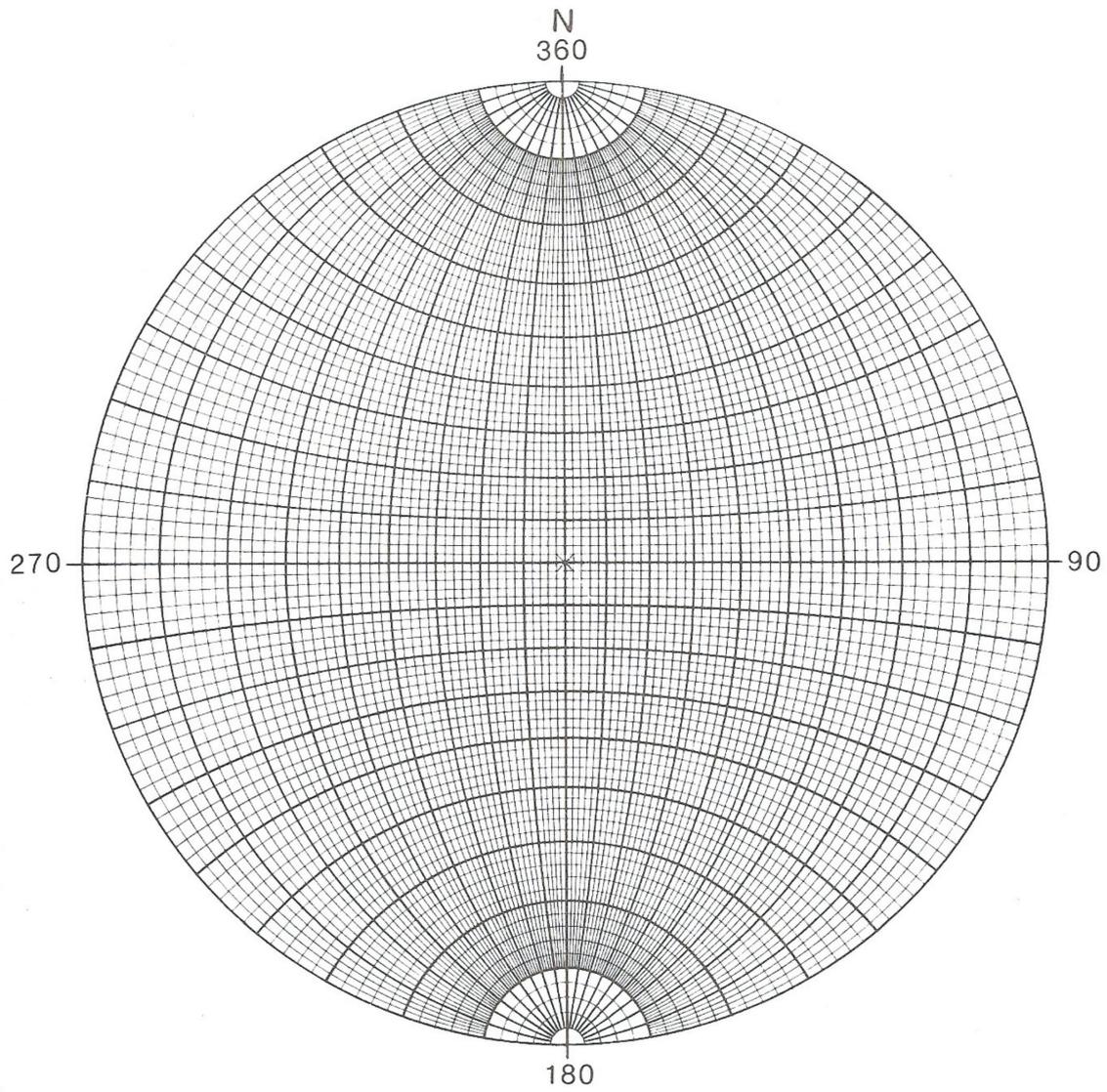
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 a. Problemas de Geología Estructural. 2. Orientación y proyección de planos en el espacio. *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 11-23.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 b. Problemas de Geología Estructural. 3. Orientación y proyección de líneas en el espacio. *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 2 (1): 24-40.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 c. Problemas de Geología Estructural. 4. Proyección polar de un plano. Proyección π *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 2 (1): 41-56.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 d. Problemas de Geología Estructural. 5. Rotaciones *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 57-73.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 e. Problemas de Geología Estructural. 6. Cálculo de la orientación de la estratificación a partir de testigos de sondeos. *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 74-94.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 f. Problemas de Geología Estructural. 7. Pliegues. *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 95-123.
- Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 g. Problemas de Geología Estructural. 8. Fallas *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 124-147.

Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010 h. Problemas de Geología Estructural. 9. Análisis estructural mediante diagramas de contornos *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 2 (1): 148-192.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Davis, G. H. 1984. Structural Geology of rocks and Regions. Wiley & Sons. 492 pp.
- Lheyson, P. R.; Lisle, R. J. 1996. Stereographic projection techniques in Structural Geology. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford. 104 pp.
- Marshak, S & Mitra, G. 1982. Basic methods of structural geology. Prentice & Hall. 446 pp.
- Phillips, F. C. 1971. The use of stereographic projection in Structural Geology. Edward Arnol. London. 90 pp.
- Ragan, D. M. 1987. Geología Estructural. Ed. Omega. Barcelona. 210 pp.
- Turner, F. & Weiss, L.R. 1963. Structural analysis of metamorphic tectonites. McGraw Hill. New York. 545 pp.

ANEXO I
FALSILLA DE WULFF



Recibido: 18 noviembre 2009.
Aceptado: 22 diciembre 2009.