

Problemas de Geología Estructural

2. Orientación y proyección de planos en el espacio

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: Los elementos planares en Geología Estructural (superficies de estratificación, discordancias, fallas, flancos de pliegues, planos axiales, etc.) son muy comunes y por tanto deben saber representarse correctamente en proyección estereográfica. Comprender y manejar correctamente conceptos como dirección, buzamiento y sentido de buzamiento de un plano es fundamental.

Palabras clave: Dirección. Buzamiento real. Buzamiento aparente. Sentido de buzamiento.

INTRODUCCIÓN

En primer lugar y de forma muy concisa, recordaremos los conceptos de dirección, buzamiento real y aparente y sentido de buzamiento de un plano, con objeto de que el alumno conozca perfectamente todos estos términos y no haya confusión a la hora de proyectar cualquiera de ellos.

DEFINICIONES

Las estructuras geológicas que observamos en los afloramientos (fallas, pliegues, discordancias, etc) pueden ser consideradas en dos dimensiones como planos o estructuras planares. La orientación de cualquiera de estos planos en el espacio se realiza con ayuda de una brújula que mide la dirección del plano en la horizontal y con respecto al norte, y el buzamiento en el plano vertical perpendicular a la dirección. Para orientar perfectamente el plano, por tanto, es necesario medir ambos ángulos, [dirección](#) y [buzamiento](#).

Otra posibilidad para definir este mismo plano en el espacio, es medir su [ángulo de buzamiento](#) y el [sentido de buzamiento](#) del mismo con respecto al norte, o sea, la

orientación de la línea perpendicular a la línea de dirección. Nuevamente es necesario conocer los dos ángulos para saber exactamente la orientación del plano.

Dirección y buzamiento real del plano

- **Dirección del plano**

Una línea horizontal inscrita en el plano recibe el nombre de **línea de dirección** y corresponde a la intersección entre el plano y un plano horizontal imaginario. El **ángulo de dirección** del plano corresponde al ángulo formado entre esta línea horizontal y el norte geográfico. En el afloramiento se mide con la brújula y generalmente se representa con la letra griega δ .

En el bloque diagrama correspondiente a la figura 1, la línea XY representa una línea de dirección del plano. Su dirección es el ángulo que forma con respecto al norte geográfico y como cualquier dirección tiene dos sentidos, que difieren entre sí 180° . Para describir esta dirección existen dos alternativas:

- ✓ Mediante una notación por cuadrantes, contando desde el norte hacia el este o hacia el oeste. En este caso debemos decir el punto del que partimos (norte), a continuación el valor del ángulo y seguidamente hacia donde estamos contando (este u oeste). Una dirección sería por ejemplo $N32^\circ E$, $N20^\circ O$, etc.
- ✓ O bien asignando a la dirección norte un valor de 000° o 360° , siempre con tres dígitos. En el caso de que no se especifique, se entiende que el ángulo de dirección está contado desde el norte hacia el este, en el sentido de las agujas del reloj. Las direcciones anteriores en este caso serían 032° y 340° .

- **Buzamiento real del plano**

Se define como el ángulo que forma este plano con la horizontal, medido según la línea de máxima pendiente del plano, por tanto, medido en el plano vertical que es perpendicular a la línea de dirección del plano (Fig. 1). Se representa con la letra β . Para que el valor de este ángulo sea correcto, es necesario especificar su sentido: $34^\circ S$, $45^\circ E$, $82^\circ N$, etc, ya que cualquier plano con una dirección dada puede buzarse en dos sentidos opuestos. Por ejemplo, un plano con dirección 000° , puede buzarse al este o al oeste, por tanto hay que especificar el sentido de buzamiento.

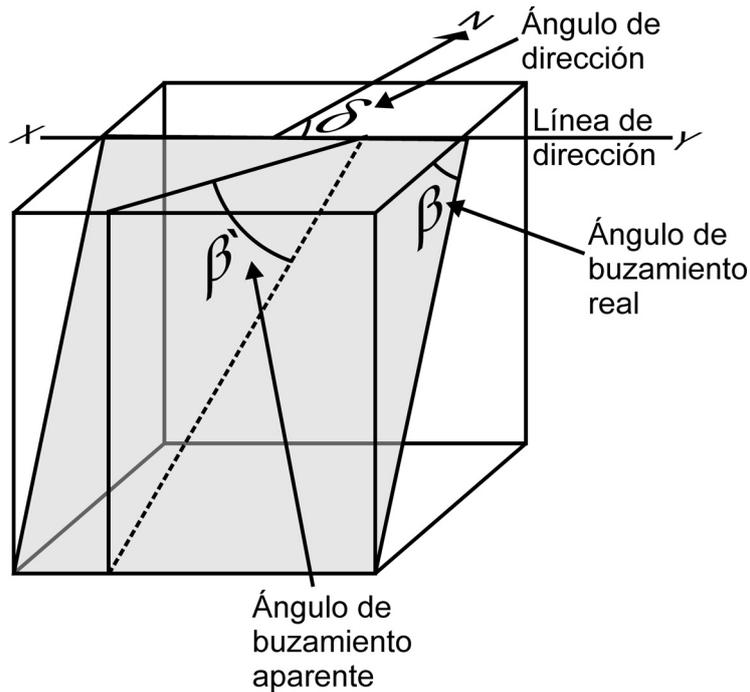


Figura 1. Representación de un plano en tres dimensiones.

Buzamiento y sentido de buzamiento de un plano. Buzamiento aparente

- **Sentido de buzamiento** (en algunos textos, dirección de buzamiento)

Es el ángulo que forma la proyección en la horizontal de la línea de máxima pendiente del plano con el norte geográfico. Por tanto, su valor angular está situado a 90° del valor angular correspondiente a la dirección del plano. Se representa con las letras $s\beta$ (Fig. 2).

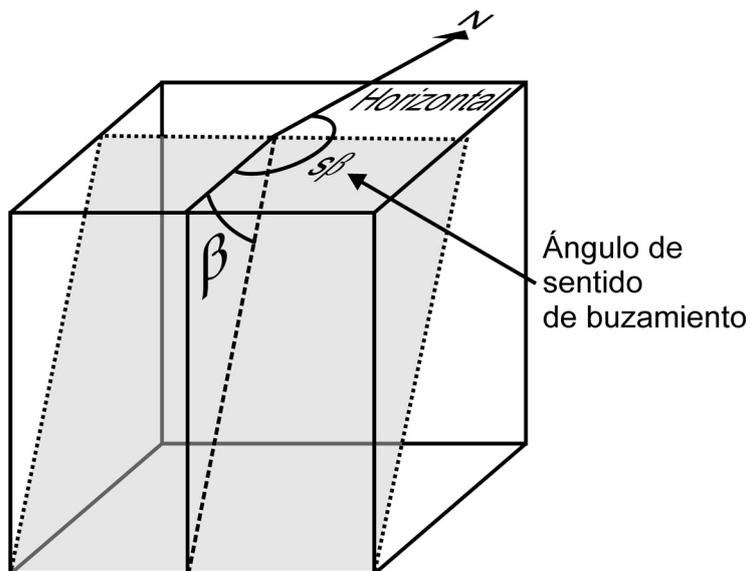


Figura.2. Plano orientado en el espacio mediante sentido de buzamiento y ángulo de buzamiento.

A partir de esta definición se deduce que cualquier plano se puede orientar en el espacio mediante su **sentido de buzamiento** y su **ángulo de buzamiento**. En este caso, no es necesario añadir al valor del ángulo de buzamiento su sentido, ya que este es conocido. Tomando como ejemplo un plano de estratificación, según la primera posibilidad (caso a) el plano sería N32°E-25°SE y tomando la segunda (caso b), el mismo plano sería 122°-25°, siendo 122° el sentido de buzamiento y 25° el ángulo de buzamiento. Su sentido es al SE, ya que es el cuadrante que contiene el ángulo de valor 122°. En el caso de que el plano buzara en sentido contrario, hacia el NO, su sentido de buzamiento sería 302°, en ambos casos a 90° de la dirección del plano, bien en un sentido o en otro según hacia donde se incline el plano.

- **Buzamiento aparente**

Es el ángulo que forma el plano con la horizontal medido en un plano vertical, según una dirección cualquiera que no sea perpendicular a la línea de dirección del plano. Su valor angular siempre es menor que el correspondiente al buzamiento real. Se representa con la letra β' (Fig. 1).

El valor del ángulo de buzamiento, sea este real o aparente, está comprendido entre 0° (horizontal) y 90° (vertical). El máximo valor del buzamiento aparente estará situado sobre la dirección que coincida con el sentido de buzamiento real, mientras que el valor mínimo del buzamiento aparente será cuando se mida este sobre una dirección que coincide con la dirección del plano.

PROYECCIÓN CICLOGRÁFICA DE UN PLANO (PROYECCIÓN β)

Tomemos un plano orientado en el espacio mediante su dirección y buzamiento, por ejemplo el plano N60°E-40°SE. Para hallar su proyección estereográfica, haremos lo siguiente:

- Colocamos la chincheta en el centro con la punta hacia nosotros, superponemos un transparente sobre la falsilla, dibujamos en él la primitiva y los cuatro puntos cardinales (Fig. 3 A).
- Señalamos sobre la primitiva el valor angular correspondiente a la dirección del plano y giramos el transparente hasta que este valor coincida con el diámetro norte-sur de la falsilla (Fig. 3 B).
- En esta posición, contamos el valor del buzamiento sobre el diámetro E-O de la falsilla, teniendo en cuenta su sentido, siempre desde la primitiva hacia el centro de la falsilla, y pintamos el círculo mayor que tiene esa dirección y ese ángulo de buzamiento (Fig. 3 C).

- Giramos el transparente sobre la falsilla hasta que coincidan otra vez los dos polos norte (de transparente y falsilla de proyección), y hemos obtenido la representación del plano en proyección estereográfica, o sea, el **estereograma del plano** o bien la **proyección ciclográfica del plano** (plano representado mediante un círculo mayor de la falsilla) (Fig. 3 D).

Como se puede observar, el procedimiento es sencillo y rápido. Las direcciones se colocan sobre la primitiva (plano horizontal) y se llevan al diámetro N-S de la falsilla y de esta forma, los buzamientos, siempre en el plano vertical perpendicular a la dirección, se cuentan en el diámetro E-O de la falsilla. Ambos diámetros representan dos planos verticales y perpendiculares entre si, por tanto cumplen las definiciones anteriores.

A continuación, vamos a resolver distintos tipos de problemas referentes a planos, explicando paso a paso el proceso seguido.

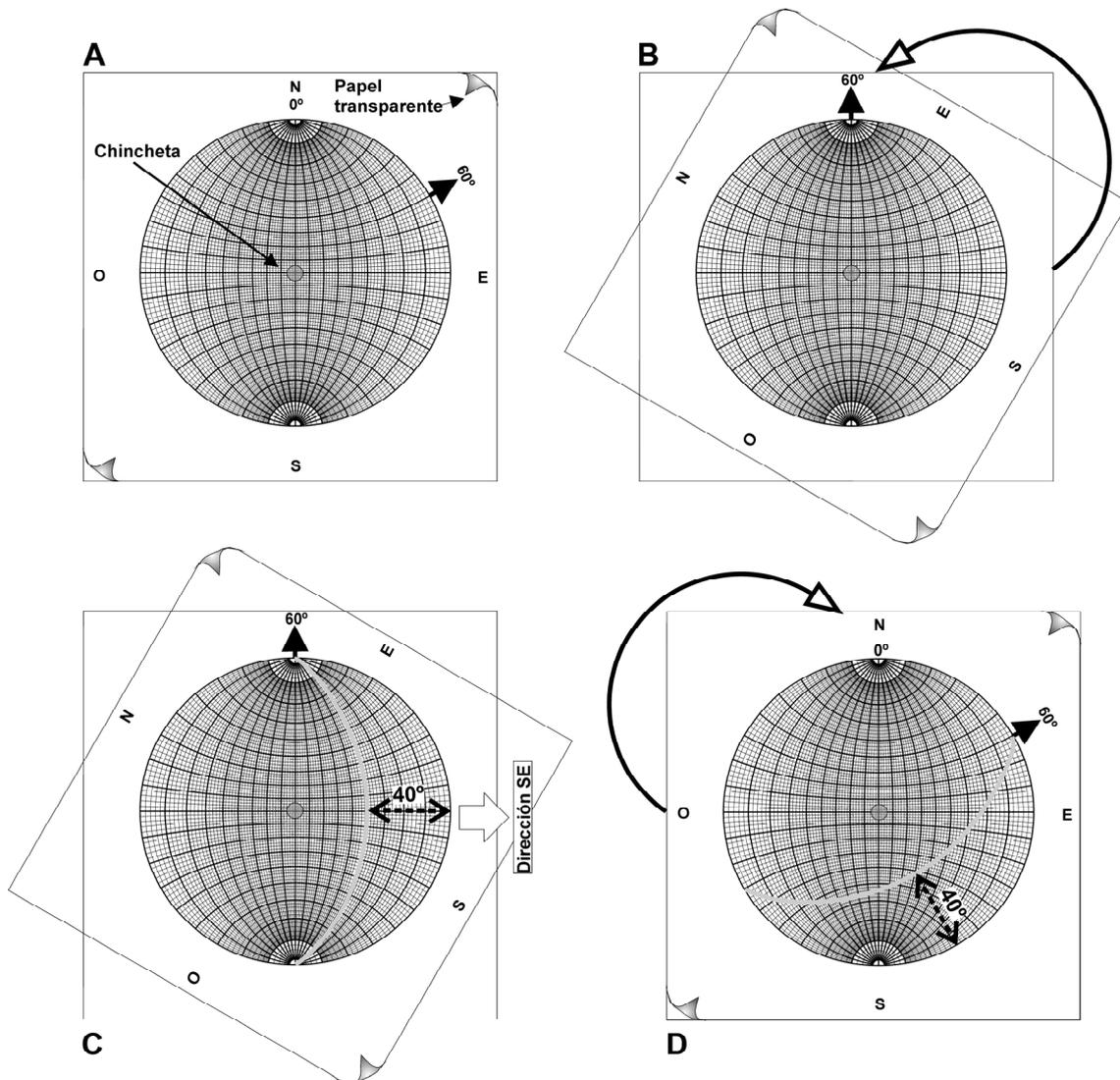


Figura 3. Representación estereográfica de un plano. Ver texto para su explicación.

CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto, se puede deducir que un plano en el espacio se orienta mediante:

- **Dirección y buzamiento real del plano**

Para proyectar este plano, colocamos la dirección sobre el diámetro (plano vertical) norte-sur de la falsilla, y leemos el valor correspondiente al ángulo de buzamiento sobre el diámetro este-oeste, desde la primitiva hacia el centro de la falsilla. Dibujamos el círculo mayor correspondiente y este representa el estereograma del plano. (Fig. 1).

- **Sentido de buzamiento y ángulo de buzamiento real del plano**

El sentido de buzamiento es siempre perpendicular a la dirección, luego en este caso colocamos el sentido de buzamiento en la primitiva, sobre el diámetro este-oeste de la falsilla. Sobre este mismo diámetro contamos, desde la primitiva hacia el centro, el valor del ángulo de buzamiento y pintamos el estereograma (Fig. 2).

- **Dos buzamientos aparentes o dos líneas contenidas en el plano**

Cada uno de estos dos buzamientos aparentes nos dará un punto en la proyección, que equivale a la proyección de una línea que está contenida en el plano que estamos buscando. Moviéndolo sobre la falsilla hasta que los dos puntos estén situados en un círculo mayor, dibujamos este círculo que corresponde al estereograma del plano buscado (Fig. 1).

PROBLEMAS

Problema 1

Dibujar los estereogramas correspondientes a los planos siguientes: a) $360^{\circ}-30^{\circ}E$, b) $270^{\circ}/60^{\circ}$, c) $090^{\circ}-24^{\circ}S$, d) $045^{\circ}-56^{\circ}SE$, e) horizontal, f) $080^{\circ}-90^{\circ}$ (Fig. 4).

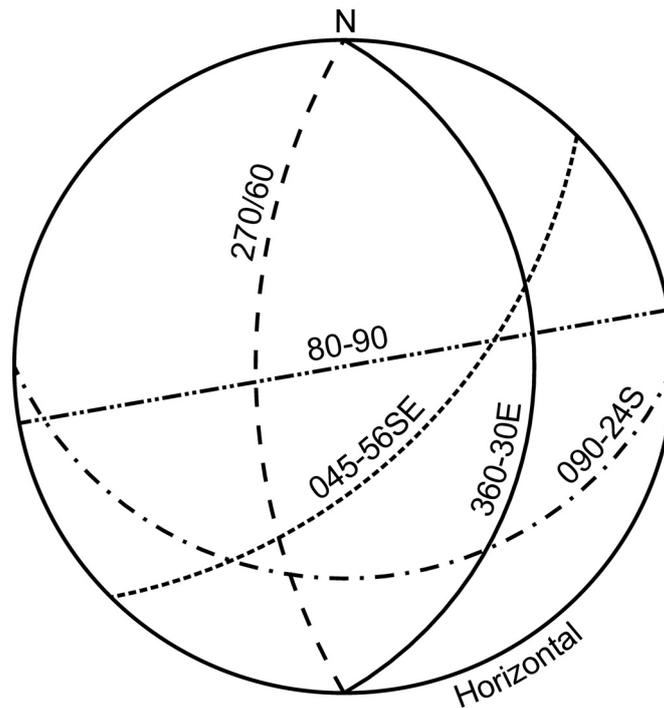


Figura 4. Proyección estereográfica (estereograma) de los planos del problema 1 del texto.

Colocar el transparente sobre la falsilla, dibujar la circunferencia primitiva y los puntos cardinales.

Para cada uno de los planos, el procedimiento es el siguiente:

- Hacer una señal en la primitiva indicando la dirección dada.
- Llevar esta dirección sobre el diámetro N-S.
- Contar el buzamiento sobre el diámetro E-O.
- Dibujar el círculo mayor correspondiente.

Observar con atención los datos que da el problema. ¿Son todos ellos de dirección y buzamiento, o alguno de los planos está orientado mediante sentido de buzamiento y buzamiento?

En el plano con orientación $270^{\circ}/60^{\circ}$, a continuación del ángulo de buzamiento no hay ninguna indicación acerca del sentido de este buzamiento. O bien el plano está mal indicado o está orientado mediante sentido de buzamiento y buzamiento. El ángulo de buzamiento del plano es de 60° y su sentido, 270° (oeste de la falsilla), luego este plano está buzando hacia el oeste y su dirección es 000° o 180° (perpendicular a 270°).

Para hallar su estereograma, colocamos la dirección 270° sobre el diámetro E-O de la falsilla y contamos directamente desde la primitiva hacia el centro, los 60° . En ese punto dibujamos el círculo mayor correspondiente a este plano.

El último plano es vertical (su buzamiento es de 90°), por tanto vendrá representado por un diámetro de la falsilla o lo que es lo mismo, el círculo mayor correspondiente es una línea recta que pasa por el centro de la falsilla y tiene una dirección de 80° .

Problema 2

Para una superficie de estratificación cuya orientación es $080^\circ-24^\circ\text{S}$, deducir las orientaciones de su máxima pendiente y de una pendiente de 0° . Calcular los valores de los buzamientos aparentes según los sentidos 100° , 120° , 190° y 260° .

- Dibujar la circunferencia primitiva en el transparente y colocar los puntos cardinales. Marcar sobre ella la dirección 80° y girar el transparente hasta que esta dirección coincida sobre el diámetro (plano vertical) N-S de la falsilla.
- Sobre el diámetro E-O de la falsilla, a partir de la primitiva hacia dentro y desde el extremo del diámetro más próximo al sur (el plano buza al sur), contamos el valor correspondiente al ángulo de buzamiento y dibujamos el estereograma del plano (círculo mayor).
- Giramos nuevamente el transparente hasta ponerlo en su posición original.

Por definición, la orientación de la línea de máxima pendiente de un plano es perpendicular a la dirección del plano, por tanto estará situada sobre la dirección $80^\circ+90^\circ=170^\circ$, luego la línea de máxima pendiente del plano (sentido de buzamiento) está orientada según los 170° . La pendiente correspondiente a 0° (buzamiento aparente de 0°) se encontrará según una dirección que coincida con al dirección del plano, bien 80° o 260° .

Para calcular cualquier valor de buzamiento aparente según un sentido determinado, marcamos sobre la primitiva el sentido deseado, lo colocamos sobre el diámetro E-O de la falsilla y contamos sobre él el ángulo entre la primitiva y el estereograma. Este valor es el buzamiento aparente medido según el sentido requerido. La misma operación se repite para cada uno de los buzamientos aparentes.

Si estos problemas los resolvemos con la falsilla de Wulff que conserva ángulos, podemos hacer medidas de buzamientos aparentes, inmersiones de líneas, etc, sobre cualquiera de los diámetros (planos verticales), tanto el N-S como el E-O.

En la figura 5 está resuelto el problema y las soluciones son las siguientes:

Según el sentido 100° , el buzamiento aparente es de 10° ; según el sentido 120° , es de 17° , según el sentido 190° es de $22,5^\circ$ y según el sentido 260° es de 0° , ya que 260° corresponde a la dirección del plano.

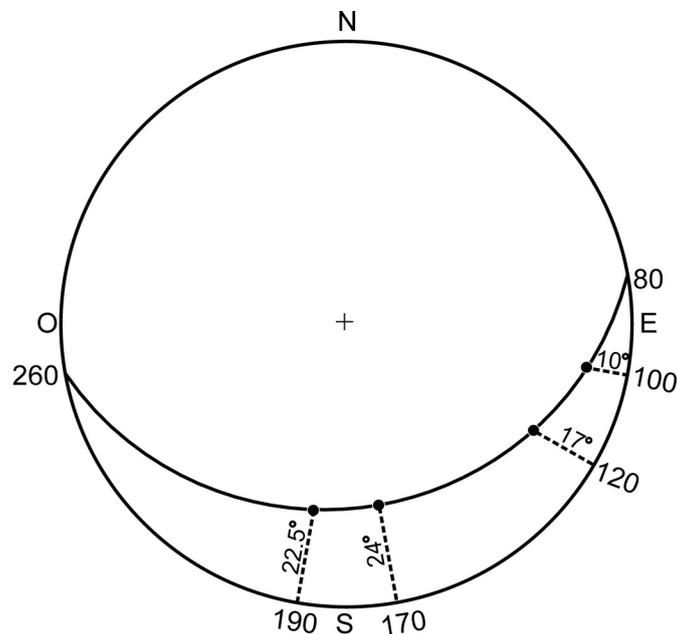


Figura 5. Resolución del problema 2. Ver texto para su explicación.

Problema 3

La orientación de un estrato es $220^\circ-70^\circ\text{S}$. Hallar los sentidos en los que se encontrarán buzamientos aparentes de 30° , 50° y 70° .

- Colocar el transparente sobre la falsilla y dibujar la circunferencia primitiva y los puntos cardinales. A continuación, representar el estereograma del plano colocando la dirección (220°) sobre el diámetro N-S de la falsilla y contando el buzamiento desde el sur sobre el diámetro E-O.
- Una vez dibujado el estereograma, vamos moviendo el transparente y buscando los valores de los ángulos de buzamiento aparente sobre el diámetro E-O. Cada vez que encontramos uno de estos valores, los sentidos los leemos directamente sobre la primitiva. Hay que tener en cuenta que siempre existirán dos sentidos en los que se cumple que el buzamiento aparente es del mismo valor.

El problema resuelto aparece en la figura 6 y las soluciones son:

- Buzamiento aparente de 30° , según los sentidos 207° y 053° .
- Buzamiento aparente de 50° , según los sentidos 194° y 067°

El buzamiento de 70° es el buzamiento real, dato que nos da el enunciado del problema. El sentido correspondiente a este buzamiento real será $220^\circ - 90^\circ = 130^\circ$, no existiendo buzamiento aparente según ese sentido.

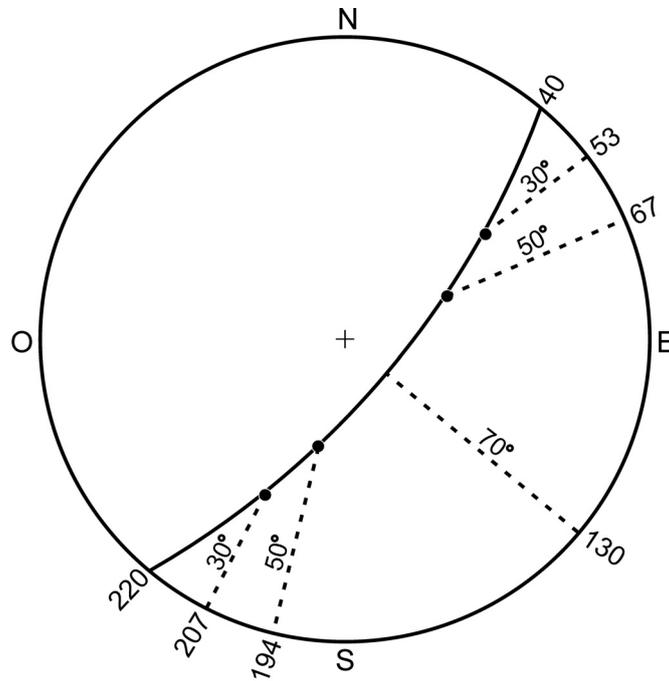


Figura 6. Resolución del problema 3. Ver texto para su explicación.

Problema 4

El plano axial de un pliegue tiene una dirección de 160° y se ha podido medir un buzamiento aparente de 18° según la dirección 030° . Calcular el valor del buzamiento real del plano axial (Fig. 7).

- Colocar sobre la primitiva una marca en la dirección del plano axial, en este caso, 160° .
- A continuación marcar la dirección 30° , llevarla a un plano vertical de la falsilla de Wulff y contar desde la periferia hacia el centro el ángulo de buzamiento aparente de 18° . Este buzamiento aparente viene representado por un punto dentro de la falsilla de proyección, como se indica en Babín y Gómez (2010), referente a las líneas.
- El plano buscado se obtendrá llevando la dirección 160° sobre el diámetro N-S de la falsilla y trazando el círculo mayor que contiene el punto que representa el buzamiento aparente dado. El buzamiento real del plano leído en el estereograma, es de 23° al E o SE, o bien $23^\circ/070^\circ$.

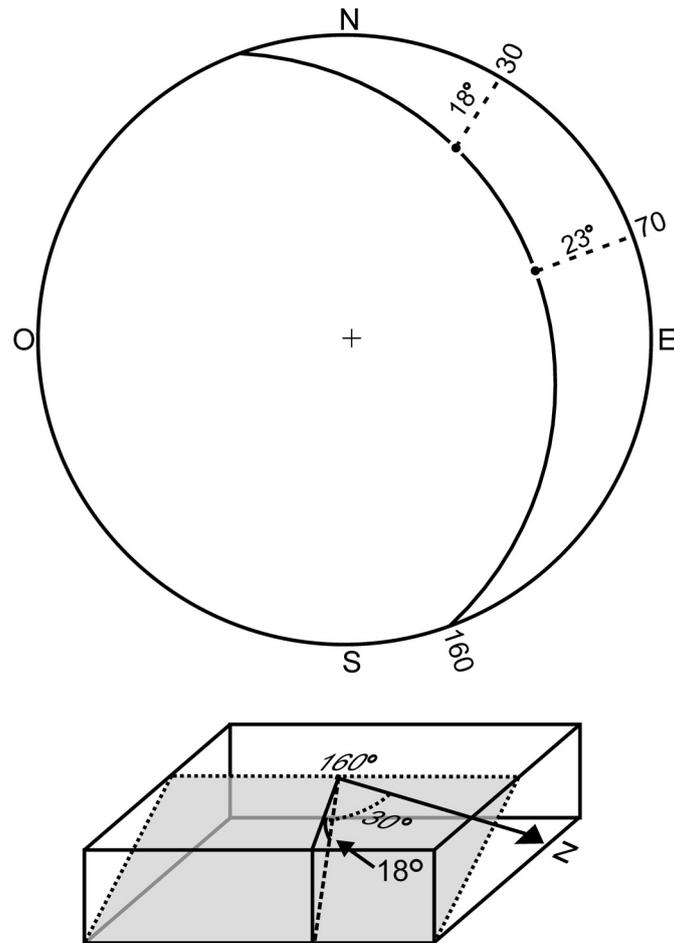


Figura 7. Resolución del problema 4. Ver texto para su explicación.

Problema 5

En un afloramiento se observa una serie terciaria discordante sobre el Cretácico. De esta discordancia se han medido dos buzamientos aparentes: $140^\circ/15^\circ$ y $078^\circ/30^\circ$. Calcular la orientación del plano.

- Como ya es costumbre, dibujar la circunferencia primitiva y los puntos cardinales.
- Representar la falsilla cada uno de los buzamientos aparentes medidos en el campo. Como se ha visto en el problema anterior, para cada uno de ellos se coloca su dirección sobre uno de los diámetros verticales de la falsilla y sobre él, directamente, se cuenta el valor correspondiente al buzamiento aparente (15° y 30° respectivamente).
- De esta forma se obtienen dos puntos (líneas) dentro de la falsilla de proyección. Se mueve el transparente hasta que los dos puntos estén situados sobre un círculo mayor y se dibuja este. Corresponde al estereograma del plano

buscado y leemos su orientación, que resulta ser 168° - 30° E. Observar que en este caso, uno de los supuestos buzamientos aparentes, en realidad corresponde con el buzamiento real del plano (Fig. 8).

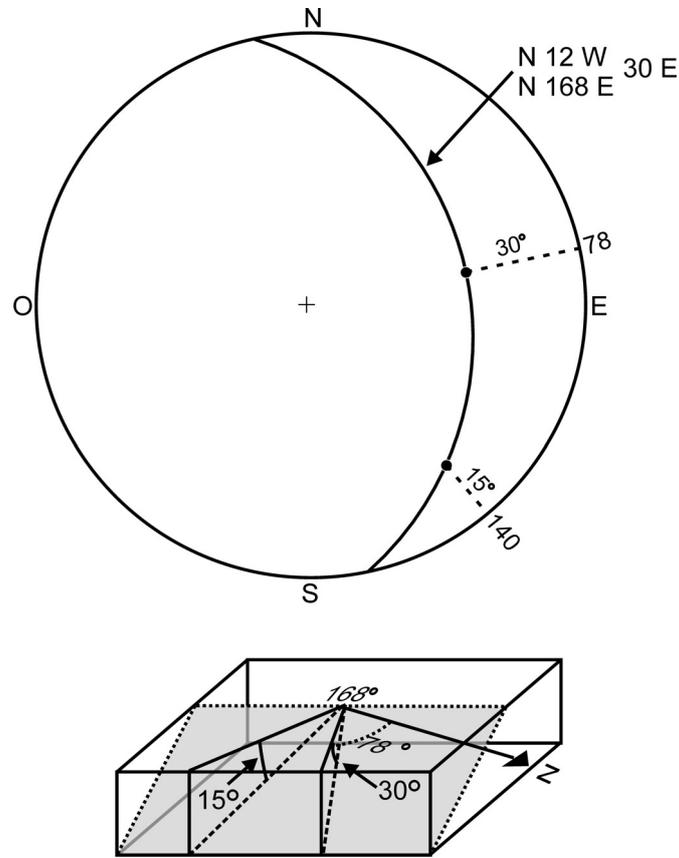


Figura 8. Resolución del problema 5. Ver texto para su explicación.

Problema 6

Un estrato tiene un buzamiento de 40° N. ¿En qué dirección el buzamiento aparente será máximo? ¿Se mantendrá la misma dirección de buzamiento si el valor del ángulo de buzamiento varía? Razonar la respuesta.

- Si un estrato tiene un valor de buzamiento, sea cual sea este, en sentido norte, es en esa dirección donde el buzamiento aparente será máximo, ya que es el sentido de buzamiento real del plano. Esto quiere decir que la dirección del estrato debe ser la perpendicular al sentido de buzamiento, por tanto esta dirección necesariamente es E-O, o 90° o 270° .
- Se dibuja el estereograma correspondiente a este plano (Fig. 9), y se observa, como es lógico, que el valor máximo de buzamiento aparente coincidirá con el buzamiento real del plano, según el sentido norte (000° o 360°). Sea cual sea el valor correspondiente al buzamiento real del plano, siempre el sentido de este buzamiento será perpendicular a la dirección, por lo tanto será hacia el norte.

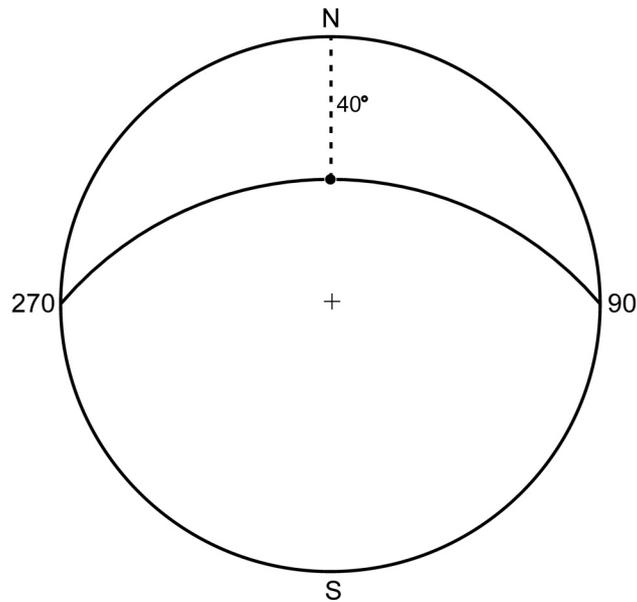


Figura 9. Resolución del problema 6. Ver texto para su explicación.

BIBLIOGRAFÍA

Babín Vich, R. B. y Gómez Ortiz, D. 2010. Problemas de Geología Estructural. 3. Orientación y proyección de líneas en el espacio. *Reduca (Geología). Serie Geología Estructural*, 2 (1): 24-40.

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.

Recibido: 18 noviembre 2009.

Aceptado: 22 diciembre 2009.