

Problemas de Geología Estructural

6. Cálculo de la orientación de la estratificación a partir de testigos de sondeos

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: las muestras de roca obtenidas en los sondeos proporcionan información fundamental acerca de los materiales geológicos que no llegan a aflorar en superficie. Además, mediante la aplicación de la proyección estereográfica se puede conocer la orientación de las estructuras planares atravesadas por el sondeo. Este proceso no es sencillo e implica realizar rotaciones alrededor de ejes, y combinar la proyección estereográfica con la ortográfica. Cuanto mayor sea el número de sondeos que cortan una misma estructura planar, mayor será el grado de fiabilidad de la solución obtenida.

Palabras clave: sondeo. Eje de rotación. Proyección ortográfica.

INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas, los sondeos en rocas sólidas se han utilizado para el conocimiento y la explotación de reservorios de petróleo, minería, etc. y para obtener datos acerca de la geología del subsuelo, como puede ser determinar el tamaño y extensión de un yacimiento mediante la ubicación de sondeos a intervalos regulares en una malla de terreno determinada. Estos datos ayudan a la construcción de mapas a todas las escalas e incluso al conocimiento de la composición de la corteza en suelos oceánicos.

En muchos casos, la roca se pulveriza y retorna a la superficie transformada en forma de lodo. Sin embargo, en aquellas ocasiones en las que se obtienen testigos de sondeo intactos, se pueden utilizar para conocer datos de orientaciones de planos estructurales de la región y orientación de capas no aflorantes, siempre teniendo en cuenta las limitaciones geométricas de estos datos. El propósito de este capítulo es mostrar de qué manera se pueden utilizar los datos obtenidos de los testigos de sondeo para conocer la orientación de capas que no afloran, o al menos, poder llegar a definir un posible rango de orientaciones. Naturalmente, será más fácil alcanzar este

fin cuanto mayor sea el número de testigos de sondeo en los que se aprecien datos estructurales y siempre que se conozca la orientación del eje del sondeo.

DATOS A PARTIR DE UN TESTIGO DE SONDEO

Un testigo de sondeo, teóricamente, puede dar información acerca de la orientación de un plano, equivalente a la obtenida midiendo un afloramiento en superficie con una brújula. Desafortunadamente, la rotación sufrida durante la recuperación del testigo hace que esto no sea posible de forma directa. La única información que se puede usar es la profundidad (distancia medida a lo largo del sondeo) hasta un horizonte particular y la inclinación de las estructuras planares (estratificación, foliación, etc.) con respecto al eje del sondeo. Únicamente podremos determinar en parte la orientación de una estructura planar si ésta es perpendicular al eje del sondeo, ya que en este caso, la inclinación de los planos en el testigo corresponde al buzamiento real, pero debido a la rotación, la dirección de la capa no se conoce. Otros planos con orientaciones distintas respecto al citado eje, no se pueden orientar en el espacio a partir de un único testigo de sondeo.

Para comprender el concepto, vamos a imaginar un testigo de sondeo que contiene un plano de fractura inclinado con respecto al eje del testigo. Si giramos el testigo 360° alrededor de su eje, el rango de orientaciones posibles de la fractura describe un cono circular cuyo eje es el eje del testigo y su ángulo de apertura corresponde al ángulo de buzamiento (Fig. 1). Dependiendo de la inclinación del eje del sondeo, el cono que define las posibles orientaciones de la fractura interseca a la superficie de la tierra según un círculo, una elipse, una parábola o una hipérbola. Existen dos casos especiales: **plano vertical** en el que el cono pasa a ser una línea y **plano horizontal**, cuyo cono pasa a ser un plano. Este caso es el único en el que se puede conocer la orientación de una superficie con un solo sondeo.

En sondeos poco profundos, es posible dibujar una marca de orientación en el testigo, de manera que la orientación del testigo respecto al sondeo siempre es conocida, incluso si el testigo se rompe o gira un ángulo desconocido durante el proceso. Se indica con una marca orientada en la parte superior del testigo, si el sondeo es vertical o mediante una línea en el lateral del testigo, si es inclinado.

Es fácil determinar la orientación de una estructura planar a partir de un sondeo vertical. El ángulo entre una línea de dirección del plano y la marca de orientación, indica la dirección del plano y el ángulo entre el plano y el eje del testigo es el buzamiento real del plano.

Si el sondeo es inclinado, los planos que se observan en el testigo no representan el buzamiento real del plano estructural. La orientación real será tangente a la superficie del cono generado por la rotación del testigo y queda perfectamente

determinada si el plano es perpendicular al eje del sondeo. En el resto de los casos, se puede calcular usando la proyección. Este cálculo requiere dos estadios:

- Hallar la orientación del plano respecto al eje del testigo, como si este eje fuera vertical.
- Girar el eje del sondeo a su posición real.

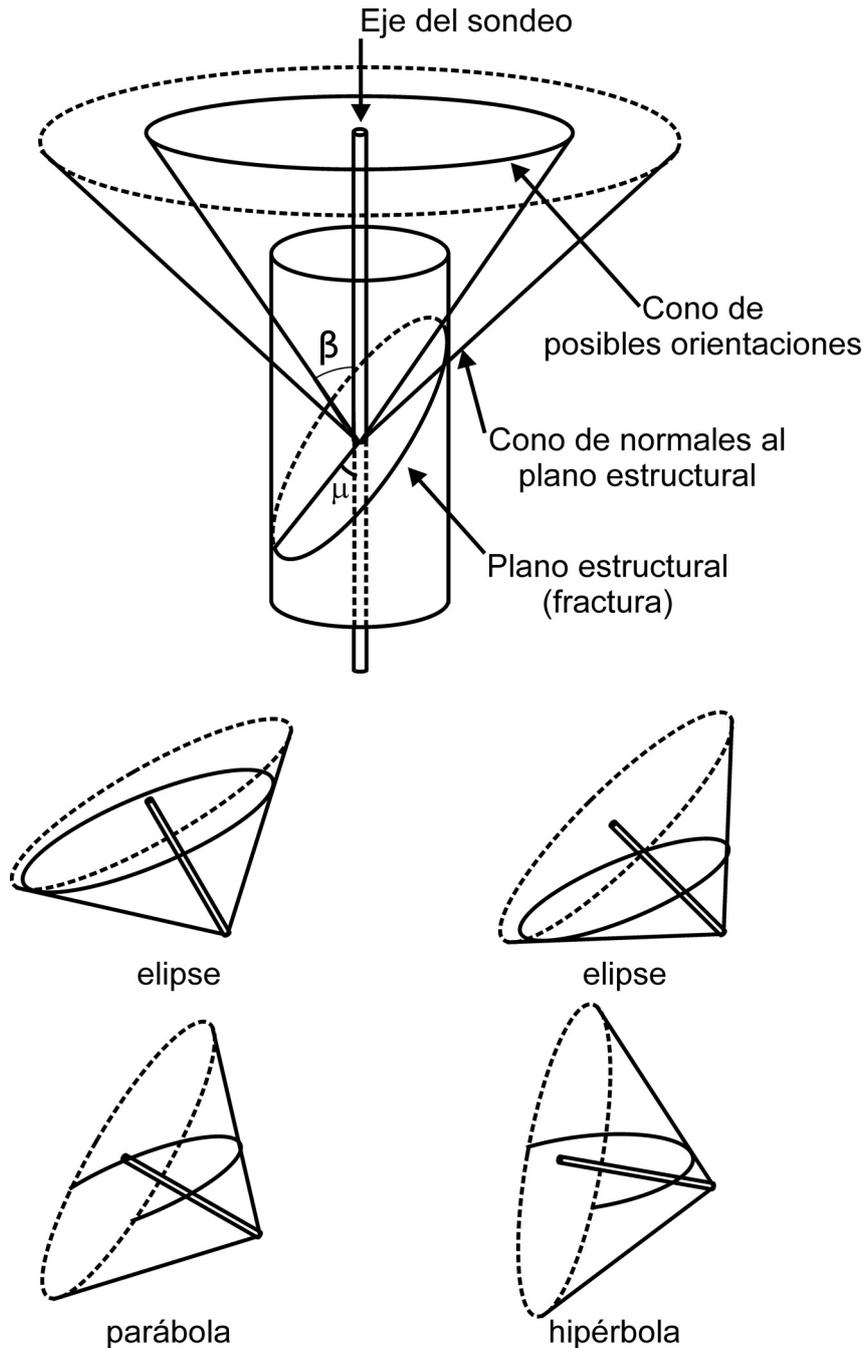


Figura 1. Rango de posibles orientaciones de un plano estructural, definidas mediante un cono cuyo eje tiene la misma orientación que el eje del sondeo.

En la figura 2, la línea de dirección aparente se define como una línea que pertenece al plano estructural y es perpendicular al eje del sondeo. El ángulo Φ es el ángulo que forma la línea de dirección aparente y una línea de referencia inscrita en un plano perpendicular al eje del sondeo. El ángulo μ es el ángulo entre el plano estructural y el eje del sondeo medido en un plano que contiene al eje del sondeo y que es perpendicular a la línea de dirección aparente.

Ejemplo 1. Un testigo de sondeo inclinado corta a una vena pegmatítica. La marca de orientación en un lateral del testigo es $40^\circ/220^\circ$. ¿Cuál será la orientación real de la vena?

El problema no tiene suficientes datos para que pueda ser resuelto. Podemos marcar la orientación de la vena en el testigo y cortar este por encima y por debajo de la vena, perpendicularmente al eje del sondeo.

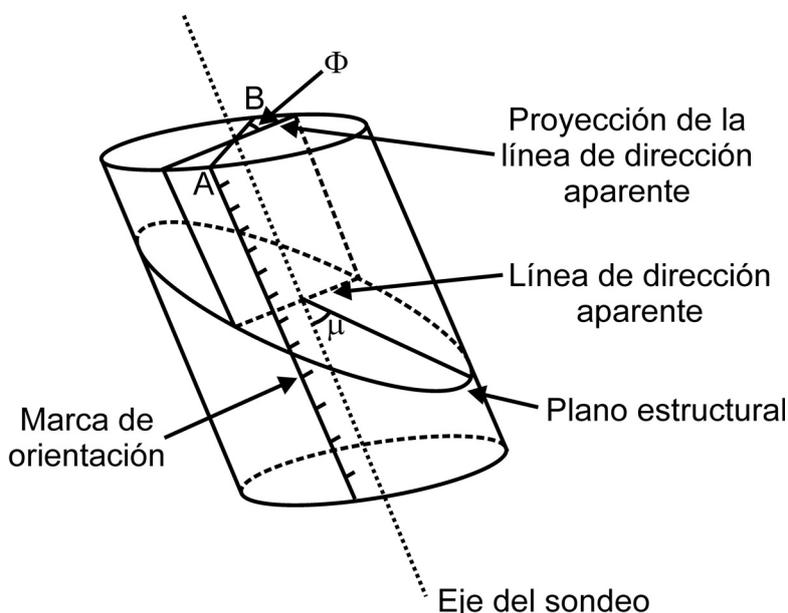


Figura 2. Marcas de orientación, líneas de referencia y ángulos utilizados en un sondeo inclinado. Ver texto para su explicación.

Marcamos la línea AB de referencia en la parte superior del testigo, perpendicular a AC que es la marca de orientación lateral. Ambas líneas definen un plano que contiene el eje del sondeo (Fig. 3 A).

La línea de dirección aparente de la vena se determina tomando dos puntos diametralmente opuestos (D y E) en la vena, que están a la misma distancia de la parte superior del testigo. Proyectamos en la parte superior del testigo la línea que une los dos puntos D'E' y se cumple que DD' y EE' son paralelas al eje del sondeo. El ángulo entre la dirección aparente y la línea AB es el mismo que entre D'E' y AB. Se mide este ángulo Φ y es de 20° en sentido de las agujas del reloj, luego la dirección aparente de la vena es de $N20^\circ E$.

A continuación buscamos el ángulo μ entre el eje del sondeo y la vena. Giramos el testigo de forma que estamos mirando a lo largo de la dirección aparente y medimos su valor que es de 30° .

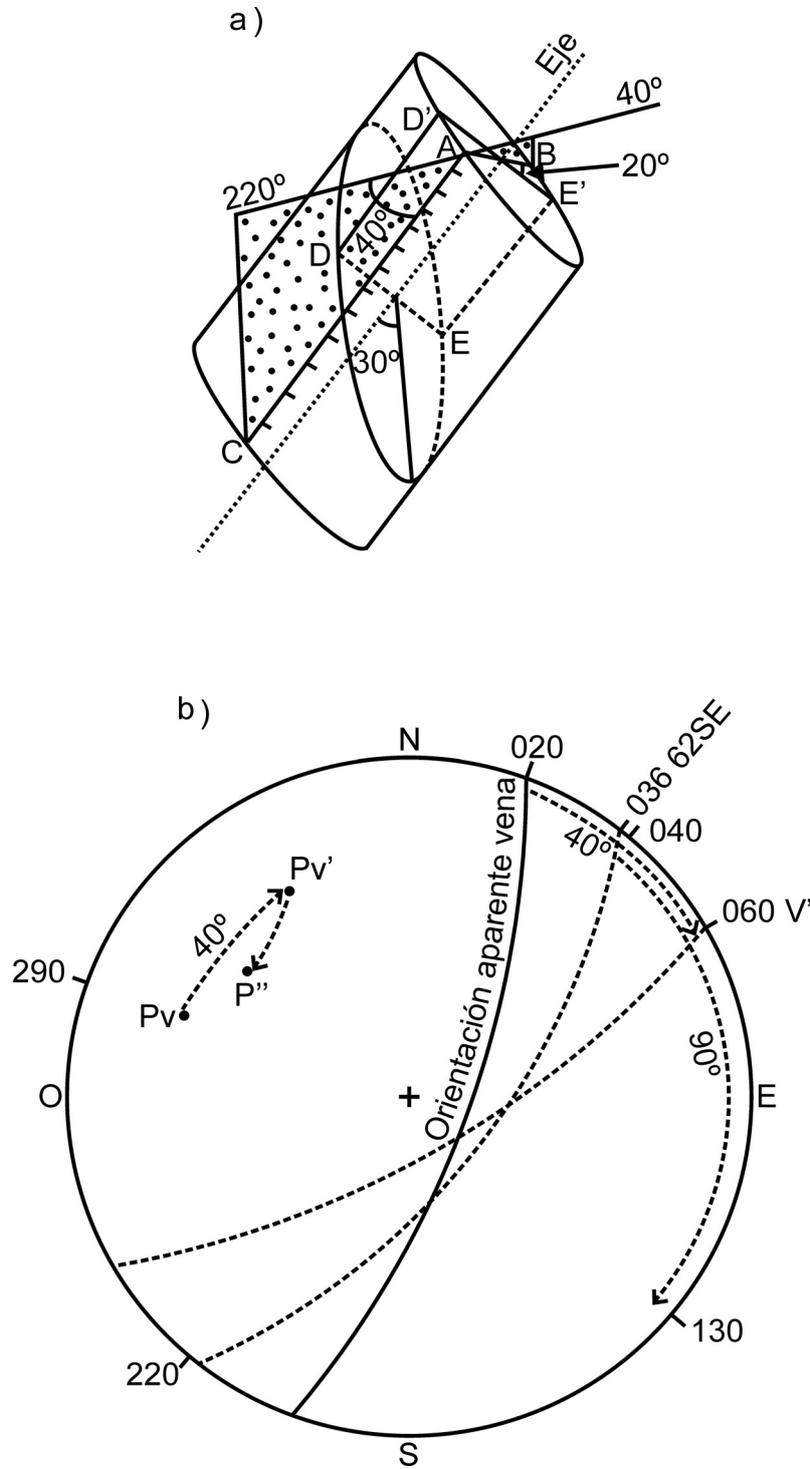


Figura 3. a). Disposición en tres dimensiones, de los datos del sondeo. b). Resolución estereográfica del problema. Ver texto para su explicación.

Ahora conocemos la orientación de la vena con respecto al eje del sondeo. A partir de aquí es fácil visualizar el problema imaginando que el eje del sondeo es vertical y que la línea AB representa el norte, por tanto se ha obtenido una "orientación aparente" de la vena que será $N20^{\circ}E-70^{\circ}SE$ ($30^{\circ}+40^{\circ}$). Con estos datos, pasamos a la proyección estereográfica y resolvemos el problema mediante dos rotaciones para llevar el testigo y la vena a su posición original.

Proyectamos la orientación relativa de la vena y su polo (Pv). Giramos 40° en el sentido de las agujas del reloj alrededor de un eje vertical. Durante esta operación, la dirección aparente cambiará y el buzamiento permanecerá constante. Proyectamos el polo (Pv') y el plano resultantes de la rotación (Fig. 3 B).

A continuación giramos 50° ($90^{\circ}-40^{\circ}$) en sentido de las agujas del reloj, mirando hacia el norte, alrededor de un eje horizontal que es perpendicular al plano AB y corresponde a una dirección $220^{\circ}-90^{\circ}=130^{\circ}$. Con este giro conseguimos que el testigo del sondeo recupere su verdadera inclinación. Colocamos el eje de giro sobre el norte o sur de la falsilla y giramos el polo y el plano 50° según los círculos menores. El plano y su polo (P''), obtenidos después del giro, nos dan la orientación real de la vena que resulta ser $N36^{\circ}E-62^{\circ}SE$.

Como podemos ver, en general y con un solo sondeo los resultados obtenidos suponiendo una serie de condiciones, pueden ser poco fiables. La seguridad se amplía cuando tenemos dos sondeos disponibles, o mejor tres.

DATOS A PARTIR DE DOS TESTIGOS DE SONDEO

Si el mismo plano del problema anterior se pudiera observar en dos testigos de sondeo, se puede reducir considerablemente el rango de posibles orientaciones para este plano. Dependiendo de la inclinación de los sondeos y de la presencia o ausencia de un marcador en el testigo, los caminos a seguir son distintos.

Si existe un marcador en ambos testigos, es posible usar una combinación de proyecciones ortográfica y estereográfica. En el caso de que no exista tal marcador, la proyección estereográfica nos ofrece más de una posible orientación para este plano.

El eje de un sondeo es una línea, por tanto se proyecta en la falsilla como un punto. El cono que define las posibles orientaciones de la estratificación alrededor del eje del sondeo, intersecta el hemisferio inferior de la proyección esférica según un círculo, que se representa en el plano ecuatorial por un círculo menor de la falsilla.

Caso de dos sondeos verticales

Ejemplo 2 (Fig. 4). En dos sondeos verticales, situados a lo largo de una línea horizontal de dirección $N70^{\circ}E$ y separados entre sí 400 m, se ha podido recuperar el

testigo. En el sondeo más occidental se aprecia una capa guía a 200 m de profundidad, y la misma capa a 300 m de profundidad en el oriental. La estratificación forma un ángulo de 40° con el eje del sondeo en ambos casos. Hallar las posibles orientaciones de la estratificación.

- Dibujar un mapa con la localización de ambos sondeos (A y B) a una escala conveniente. Sobre la línea horizontal que los une, realizar un corte vertical y situar los sondeos con sus profundidades correspondientes (A' y B'). La línea A'B' representa el buzamiento aparente de la capa según la dirección 070° . Su valor es de $13^\circ/070^\circ$ (Fig. 4 A).
- Dibujar las secciones verticales de los conos que definen las orientaciones posibles de la capa en cada sondeo. Las intersecciones de estos conos con la superficie, definen los extremos de los diámetros de círculos que representan posibles orientaciones de la estratificación. El buzamiento real es el complementario del ángulo formado por la estratificación con el eje del testigo, en este caso 50° ($90^\circ-40^\circ$).
- Completar las secciones circulares de los conos usando los diámetros obtenidos. Las tangentes comunes a estos círculos definen las posibles direcciones de la capa. La medida de la dirección de cada una de las tangentes, nos da dos posibles soluciones: $N60^\circ E$ y $N80^\circ E$ (Fig. 4 B).
- Proyectar el buzamiento aparente (β') en un estereograma. Usando las direcciones obtenidas, dibujar los círculos mayores que pasen por este punto. Cada uno de estos círculos mayores representa una posible orientación del plano (Fig. 4 C).
- Las soluciones posibles son: $N80^\circ E-50^\circ N$ y $N60^\circ E-50^\circ S$.

Caso de dos sondeos no paralelos

Un segundo sondeo hasta el mismo plano estructural, reduce las posibles orientaciones a un máximo de cuatro, y en algunos casos, se puede llegar a la solución real. Se plantean casos muy distintos en función de la existencia de un nivel guía identificable y de la inclinación de ambos sondeos.

Como ya se ha explicado, para un sondeo inclinado los conos que representan las posibles orientaciones de la estratificación, cortan a la esfera de proyección según un círculo. Las posibles orientaciones de las normales a la estratificación también generan un cono alrededor del eje del sondeo y el ángulo apical de este cono es el complementario del ángulo apical del cono formado por las posibles orientaciones de la estratificación (Fig. 1).

En la práctica, se utiliza el cono generado por las posibles orientaciones de polos de estratificación. Este cono intersecta la esfera de proyección según un círculo y se

proyecta en el estereograma como un círculo de posibles polos. Dos círculos de posibles polos para dos sondeos inclinados, se cortan en puntos que dan las posibles orientaciones de polos de estratificación.

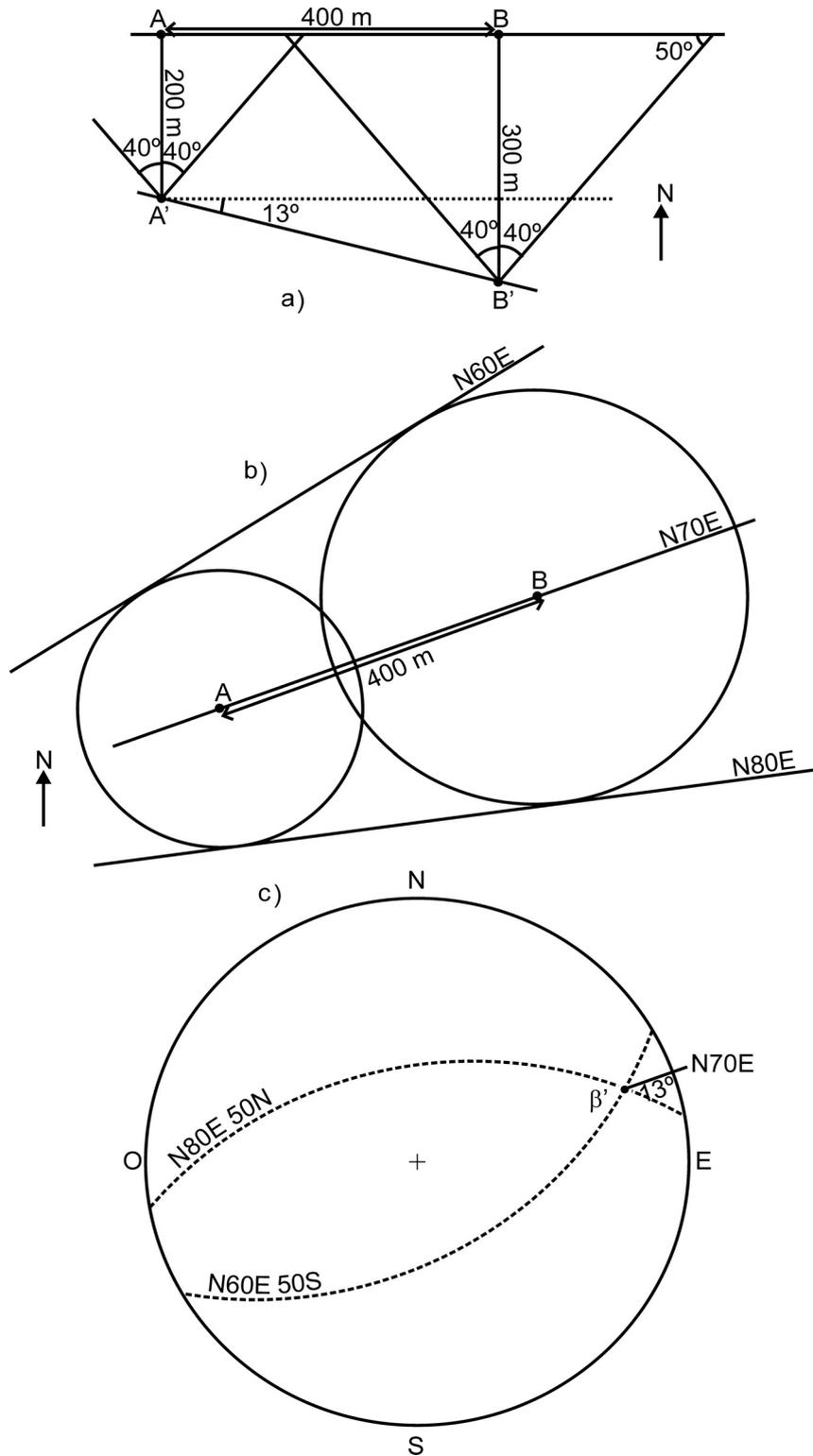


Figura 4. a) Mapa de localización de los sondeos. b) Secciones circulares de los conos y posibles direcciones de la capa. c) Estereograma con las dos posibles soluciones. Ver texto para su explicación.

Ejemplo 3. Sobre una línea horizontal de orientación 160° , se han recuperado los testigos de dos sondeos inclinados, separados entre sí 100 m. El eje del primer sondeo, orientado $030^\circ/50^\circ$, encuentra una capa guía a 25 m de profundidad y el ángulo eje de sondeo–estratificación es de 48° . El eje del segundo, orientado $220^\circ/55^\circ$, encuentra la misma capa guía a 45 m de profundidad, y el ángulo eje-estratificación es de 54° . Hallar la orientación de la estratificación.

- Proyectar los ejes del primer y segundo sondeo, puntos 1 y 2 en el estereograma (Fig. 5 A).
- El ángulo entre el polo de la estratificación y el eje del sondeo será $90^\circ - 48^\circ = 42^\circ$ y $90^\circ - 54 = 36^\circ$ para el primer y segundo sondeos, respectivamente.
- Colocar cada sondeo sobre el diámetro E-O de la falsilla, y contar el ángulo correspondiente en ambas direcciones. Así obtenemos el diámetro del círculo de posibles polos para cada sondeo. Calculamos su punto medio y dibujamos con el compás los círculos correspondientes a cada sondeo.
- Ambos círculos se cortan en dos puntos (A y B), que corresponden a las orientaciones de los polos de estratificación. Por tanto, hay dos posibles soluciones: $N30^\circ E-18^\circ SE$ y $N40^\circ E-14^\circ NO$, sin que esta proyección nos pueda decir cuál de las dos corresponde al plano buscado.

El mismo problema y todos los problemas de sondeos, se pueden resolver en proyección estereográfica, mediante el siguiente método (Fig. 5 B).

Una vez proyectados los dos ejes de los sondeos en el estereograma, si llevamos estos ejes a la horizontal, podemos dibujar directamente los círculos menores correspondientes a los conos, y no es necesario utilizar el compás. La forma de proceder es la siguiente:

- Proyectamos los ejes de los sondeos (1 y 2) y los llevamos a la horizontal (1' y 2' sobre la primitiva). Para colocarlos en la horizontal, en el caso de dos ejes, se hacen coincidir en un círculo mayor y este se pone horizontal. En el caso de más de dos ejes, se van poniendo horizontales por parejas.
- Llevamos el primer eje, ya horizontal, al diámetro N-S de la falsilla, contamos el valor del ángulo apical (ángulo formado entre el eje del sondeo y el polo de la estratificación) correspondiente y dibujamos el círculo menor tanto desde el norte como desde el sur.
- La misma operación para el segundo eje.
- Los círculos menores obtenidos se cortan en dos, tres o cuatro puntos que corresponden a la posición de los polos del plano buscado, pero girados un ángulo igual al que hemos rotado para poner los ejes en la horizontal.

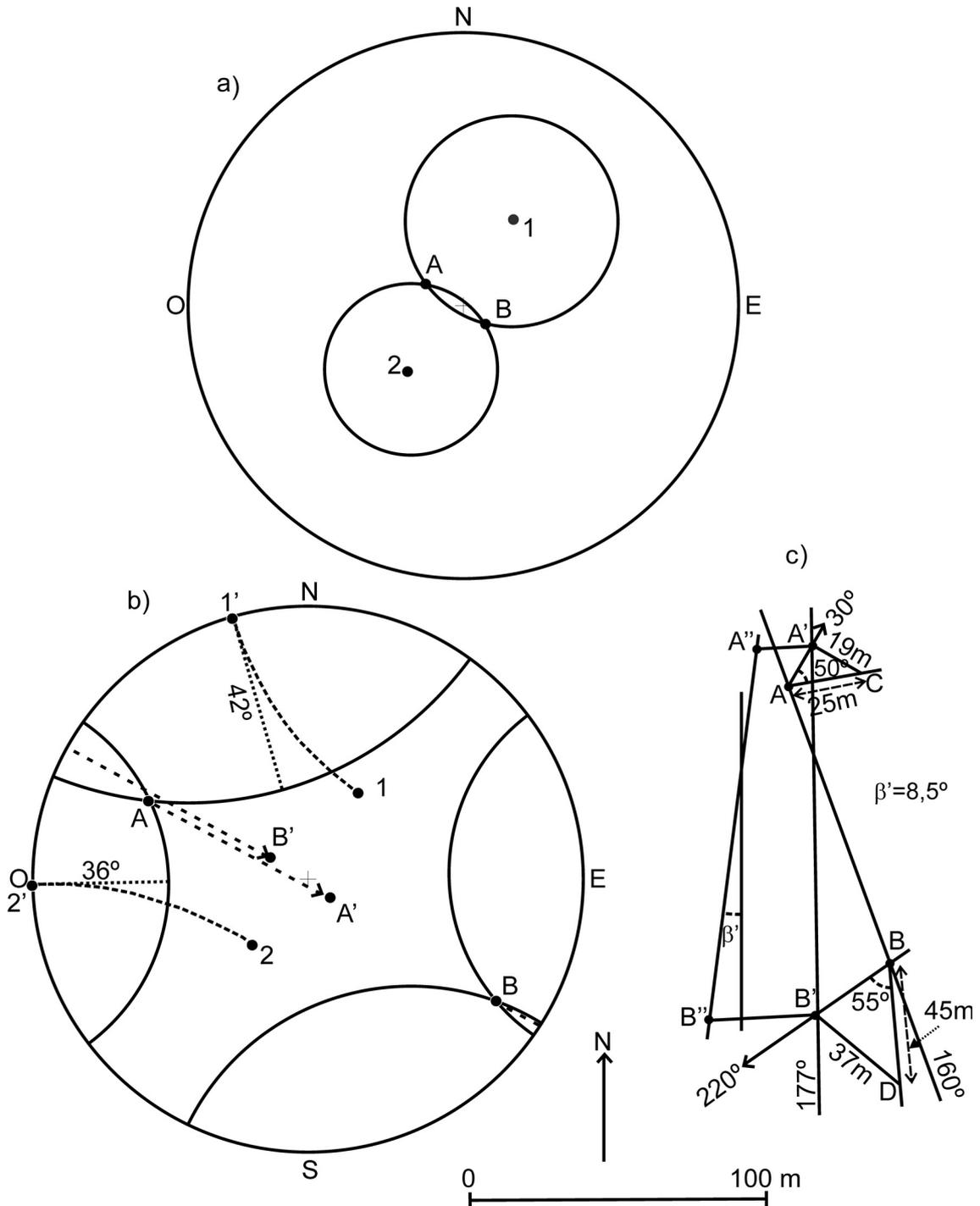


Figura 5. a) Cálculo de las dos posibles orientaciones de los polos de estratificación (A y B). b) El mismo cálculo anterior, mediante rotación alrededor de ejes inclinados. c) Comprobación mediante proyección ortográfica, y búsqueda del resultado válido entre los dos obtenidos.

- Llevamos los ejes nuevamente a sus posiciones originales 1 y 2. Los polos obtenidos A y B, se mueven los mismos grados y en el mismo sentido hasta A' y B' respectivamente, que corresponden a las posibles orientaciones de los polos del plano estructural. Hemos efectuado una rotación alrededor de un eje inclinado, que es el eje del sondeo.

- Este mismo método se repite en los problemas de tres o más testigos de sondeos.

El problema anterior, resuelto por este método, se observa en la figura 5 B.

Para decidir cuál de las dos orientaciones es la válida, podemos resolver un sencillo problema en proyección ortográfica, utilizando los datos del terreno y los obtenidos en la proyección estereográfica (Fig. 5C).

- Dibujar en un papel un mapa a escala conveniente, definir un norte y colocar las localizaciones de los sondeos y sus orientaciones.
- Para cada sondeo, abatir la sección vertical a la horizontal y dibujar el ángulo de inmersión del sondeo y la distancia de este al plano estructural:

$$AC = 25 \text{ m}; BD = 45 \text{ m}.$$

- Completar los triángulos rectángulos para obtener las proyecciones (A' y B') de las intersecciones sondeo-capa y las profundidades a las que se encuentran: $A'C = 19\text{m}$; $B'D = 37 \text{ m}$.
- Usando $A'B'$ como línea de abatimiento, construimos una sección vertical llevando las profundidades anteriores. Obtenemos los puntos A'' y B'' . La pendiente de la línea que une estos dos puntos, nos indica un buzamiento aparente (β'): 8° según la línea $A'B'$ de dirección 177° .
- Este buzamiento aparente solo es compatible con el plano de orientación $N30^\circ E-18^\circ SE$, luego este será el resultado buscado.

DATOS A PARTIR DE TRES TESTIGOS DE SONDEOS

Tres sondeos no paralelos nos pueden llevar a determinar la orientación de un plano estructural, independientemente de que haya o no un nivel guía presente. Como se ha visto, si existe un nivel guía, solo necesitamos dos sondeos para conocer su orientación. Cuando un nivel guía está presente, el tercer sondeo da poca información, pero se puede usar para comprobar la solución obtenida. El punto de intersección de los círculos de polos de los tres sondeos en un estereograma, da un único polo del plano estructural cuya orientación se busca.

Ejemplo 4. Tres sondeos no paralelos tienen las siguientes orientaciones y ángulos eje-estratificación: A: $N45^\circ O/29^\circ$; 39° . B: $193^\circ/51^\circ$; 41° y C: $N55^\circ E/46^\circ$; 51° . Hallar la orientación de la estratificación.

- Proyectar los ejes de sondeo en un estereograma. Observar que los tres corresponden a ejes inclinados (Fig. 6 A).

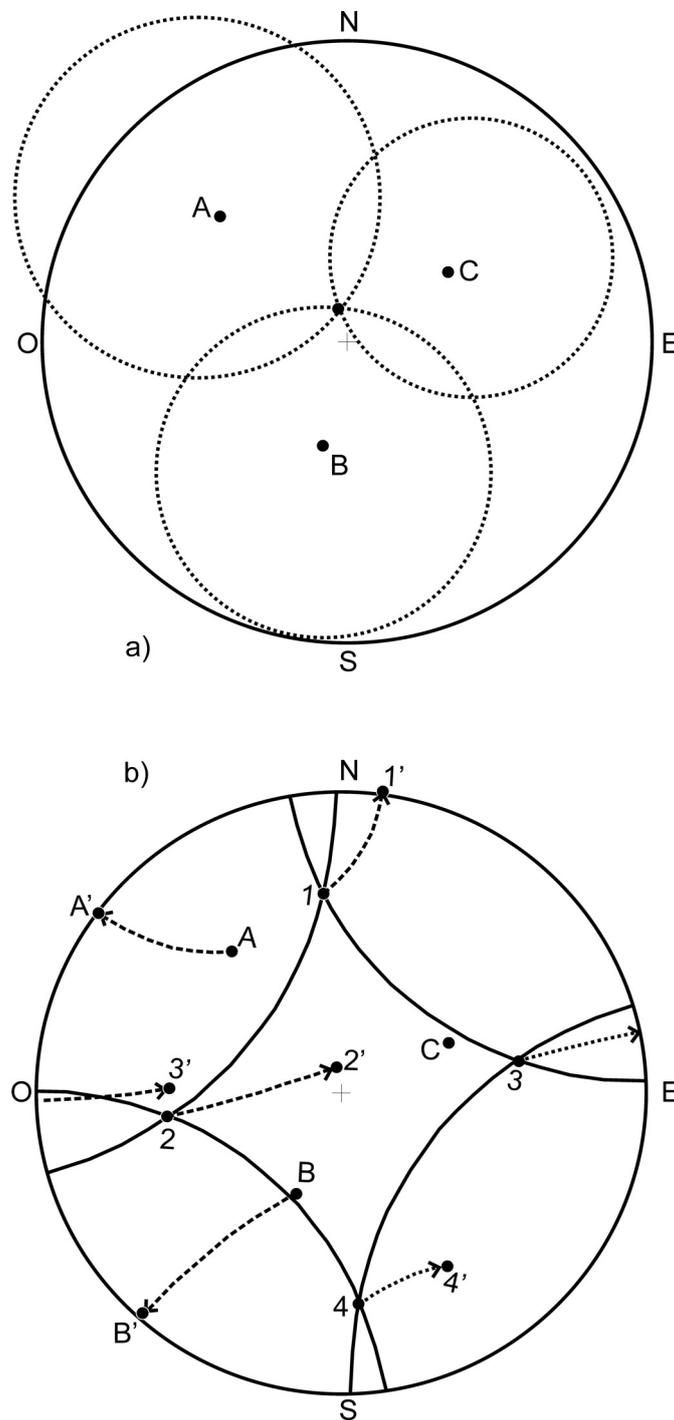


Figura 6. Cálculo de la orientación de un plano a partir de tres sondeos inclinados. a) El punto de intersección de los tres círculos correspondientes a los tres sondeos, es el polo del plano buscado. b) Resolución mediante rotación alrededor de ejes inclinados, para los sondeos A y B.

- Para cada uno de ellos, el ángulo entre el polo de la estratificación y el eje del sondeo, será el ángulo complementario al medido entre eje del sondeo y estratificación. Para A, $90^\circ - 39^\circ = 51^\circ$. Para B, 49° y para C, 39° .

- Colocar sucesivamente cada uno de los sondeos sobre el diámetro E-O de la falsilla y contar a ambos lados el ángulo correspondiente. Con el diámetro del círculo obtenido, pintamos el círculo para cada uno de los tres sondeos.
- Los tres círculos de polos se cortan en un punto, que representa el polo de la estratificación. La orientación del plano es N75°E-13°S.

Podemos resolver el mismo problema mediante rotaciones alrededor de ejes inclinados, sin necesidad de compás, como se ha explicado antes (Fig. 6 B).

- Una vez proyectados los ejes de los sondeos, colocamos en un círculo mayor los correspondientes a A y B. Rotamos este círculo a la horizontal y obtenemos los puntos A' y B'.
- Colocamos A' sobre el diámetro N-S y dibujamos el círculo menor de 51°. Colocamos B' sobre el mismo diámetro y pintamos el círculo menor de 49°. Estos dos círculos se cortan en cuatro puntos (1, 2, 3 y 4).
- Rotamos el plano que contiene a A' y B' a su posición original. A' pasa nuevamente a su posición A y B' a B. Los polos 1, 2, 3 y 4 se mueven a lo largo de sus círculos menores los mismos grados y en el mismo sentido.
- La misma operación para B y C y para A y C. Vamos obteniendo sucesivos puntos de corte. (Fig. 6 C y D).
- Al final, superponiendo los transparentes de los tres diagramas (haciendo coincidir el norte), se observa que hay puntos coincidentes situados prácticamente en el centro del estereograma, que dan la posición del punto de intersección de los círculos de polos para los tres sondeos (Fig. 6 E). Este punto (P), tomado como orientación media de los polos obtenidos, es el polo de la estratificación y su orientación, la misma que hemos obtenido por el método anterior.

CONCLUSIONES

De lo anteriormente explicado se deduce, que con un solo sondeo, es casi imposible llegar a conocer la orientación de una capa, a no ser que tengamos datos adicionales. Sin embargo, la existencia de dos sondeos hasta el mismo plano estructural, reduce las posibles orientaciones a un máximo de cuatro, y en muchos casos se puede establecer la real. La existencia de tres sondeos, permite conocer con una mayor fiabilidad la orientación del plano estructural buscado.

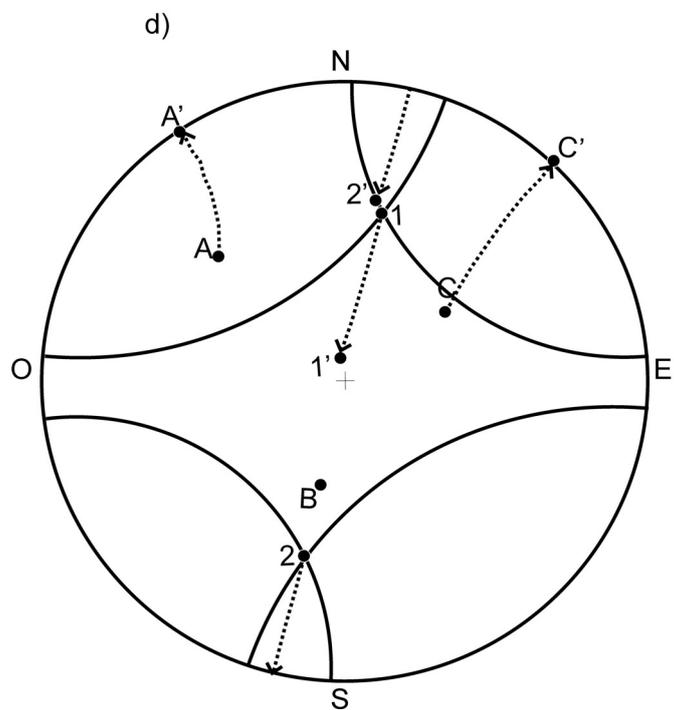
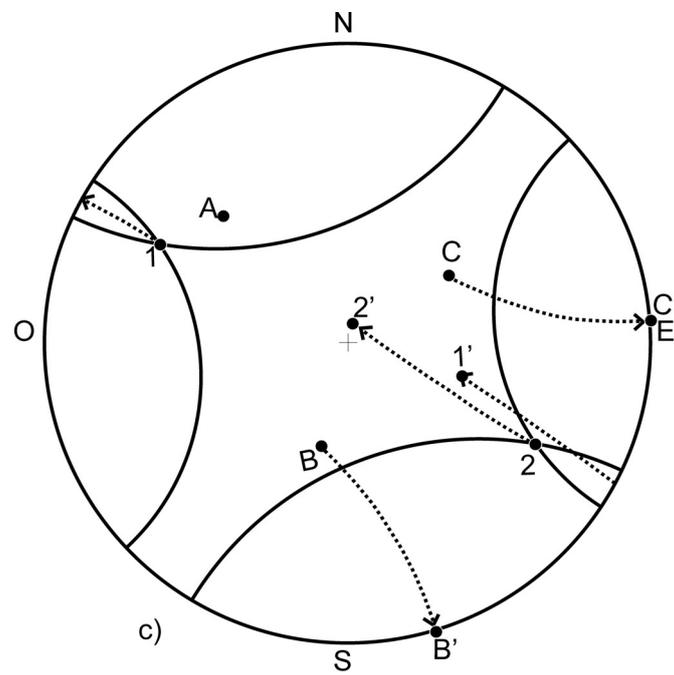


Figura 6 (cont.). c) Rotación alrededor de ejes inclinados, para los sondeos B y C. d) Rotación alrededor de ejes inclinados, para los sondeos A y C.

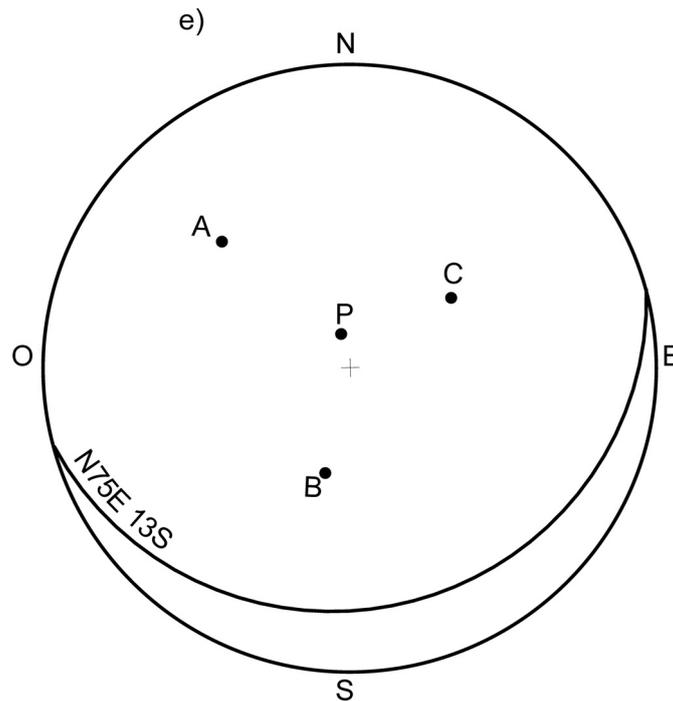


Figura 6 (cont.). e) Estereograma con la posición del polo del plano buscado. Ver texto para su explicación.

En ocasiones, la resolución de estos problemas pasa por un primer estudio de los datos mediante proyección ortográfica. Los ángulos obtenidos mediante esta proyección, se utilizan posteriormente en la proyección estereográfica para resolver el problema o bien para decidir cuál es la solución válida.

PROBLEMAS

Problema 1

Sobre un terreno horizontal de dirección E-O, se realizan dos sondeos verticales con una distancia de 350m entre ambos. En el sondeo occidental se encuentra una capa guía a 100 m de profundidad y la misma capa, en el oriental, a 250 m. En ambos sondeos, la estratificación forma un ángulo de 30° con el eje del sondeo. Hallar las posibles orientaciones de la capa guía.

La resolución del problema mediante proyección ortográfica, sería la siguiente:

- En una hoja de papel, situar los sondeos (A y B) con una escala adecuada.
- Abatir el plano vertical a la horizontal, utilizando como eje de abatimiento la línea que los une. Dibujar la sección vertical para cada sondeo con las

profundidades a las que aparece la capa guía (Fig. 7 A). Obtenemos los puntos A' y B'.

- Dibujar la línea que conecta los dos puntos de la capa guía y medir el buzamiento aparente según esa dirección. Su valor es de 25° .
- Dibujar el corte transversal del cono formado al rotar la estratificación alrededor del eje del testigo. El buzamiento real es el complementario del ángulo formado por la estratificación con el eje del testigo.
- Dibujar los círculos correspondientes a estos conos. Las tangentes a estos círculos definen las dos orientaciones posibles de la capa guía, que en este caso son: $N75^\circ E-60^\circ S$ y $105^\circ-60^\circ N$.

Para resolver el mismo problema mediante proyección estereográfica, partimos del valor del buzamiento aparente obtenido mediante proyección ortográfica (Fig. 7 B).

- Proyectamos en el estereograma este buzamiento aparente, $090^\circ/25^\circ$.
- Sabiendo que el buzamiento real es de 60° , movemos el transparente sobre la falsilla hasta obtener un plano que tenga este buzamiento y contenga al buzamiento aparente anterior.
- Se repite el mismo proceso para el otro posible plano.
- Obtenemos las mismas orientaciones que ya se han indicado.

Problema 2

La distancia entre dos sondeos, medida en la horizontal según una dirección E-O, es de 350 m. El sondeo occidental es vertical y el ángulo formado entre la estratificación y el eje del sondeo es de 25° . El sondeo oriental está inclinado $45^\circ O$ y el ángulo entre el eje del sondeo y la estratificación es de 15° . En el afloramiento no aparece ninguna capa guía. Hallar las posibles orientaciones de la estratificación.

- En una hoja de papel construimos el corte vertical donde se observe el sondeo inclinado.
- No existe capa guía, por tanto cualquier sondeo vertical nos da la misma información. Elegimos una posición arbitraria que corte al sondeo inclinado a una profundidad determinada (D). (Fig. 8 A).

en la sección circular que se dibuja utilizando como centro el eje del cono (R) y como diámetro la longitud EF, que pasa por B y es perpendicular a R (Fig. 8 B).

- Conocida la longitud de ambos ejes, se dibuja la elipse.

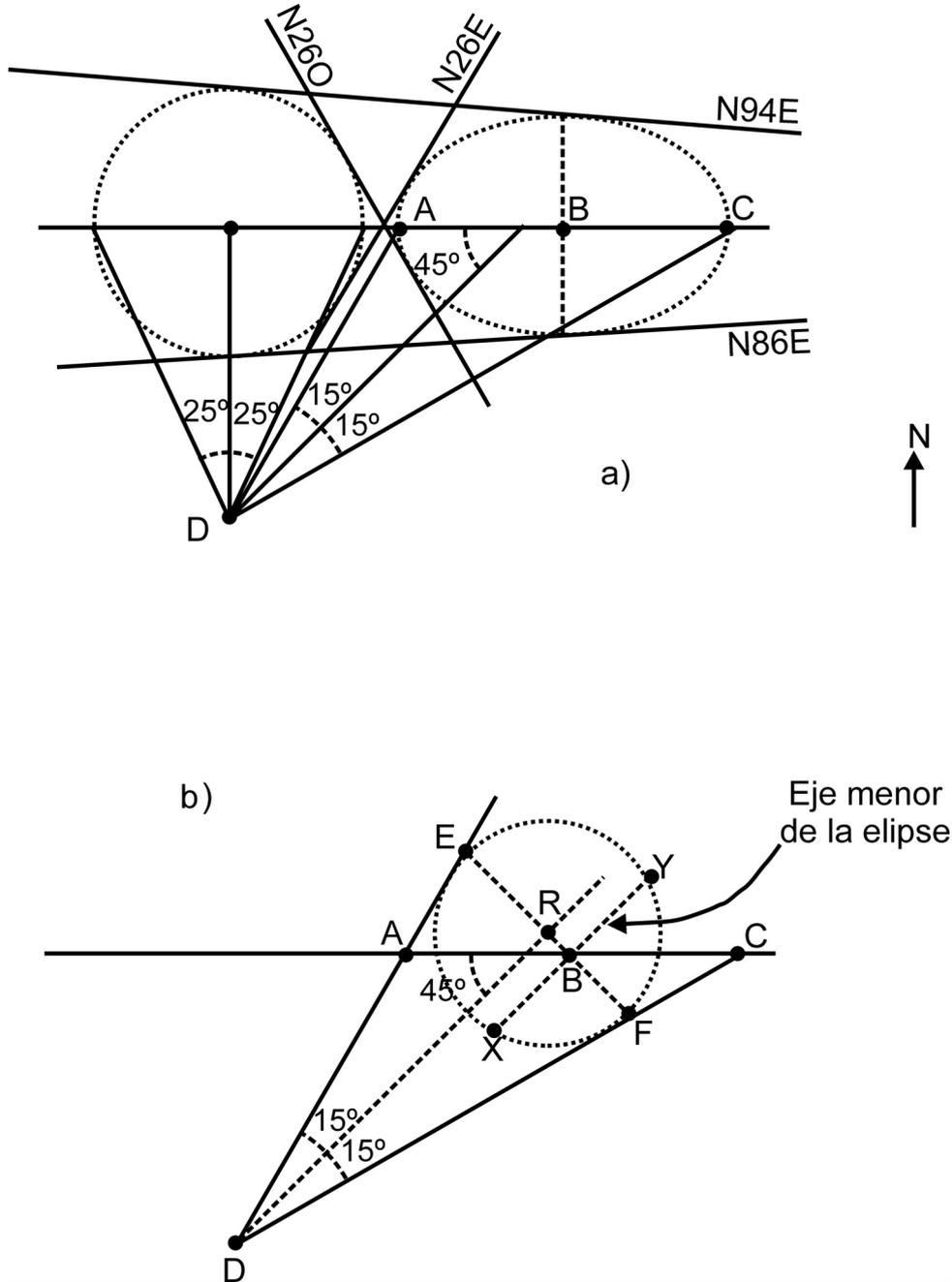


Figura 8. Resolución del problema 2. Ver texto para su explicación.

Como se observa en el dibujo final, hay cuatro posibles soluciones. El valor del ángulo de buzamiento será el complementario de 25°, o sea, 65°. Trazamos las tangentes tanto al círculo como a la elipse y obtenemos las cuatro posibles orientaciones de la capa, que son: N86°O-65°S; N86°E-65°N; N26°O-65°O y N26°E-65°O (Fig. 8 A).

Esta técnica de construir las trazas superficiales de los conos resultantes de la rotación de la estratificación, se puede utilizar para todos los casos posibles de sondeos. Siempre que tengamos dos sondeos, las tangentes comunes a las dos secciones cónicas, definen las orientaciones posibles del plano buscado.

Hay cuatro posibilidades (Fig. 9):

- Una sola orientación: las dos elipses y/o círculos (uno está inscrito en el otro), tienen un punto de tangencia.
- Dos orientaciones: las dos elipses y/o círculos se cortan y se obtienen dos tangentes a ellas.
- Tres orientaciones: las dos elipses y/o círculos tienen un punto de tangencia. Existe una tangente en ese punto y dos tangentes externas.
- Cuatro orientaciones: dos tangentes externas y dos internas a las dos elipses y/o círculos.

Problema 3

En el afloramiento se observa una superficie de estratificación orientada $N50^{\circ}E-50^{\circ}NO$. Al efectuar un sondeo inclinado $45^{\circ}E$, ¿cuál será el ángulo entre la estratificación y el eje del sondeo?

- Situar en el estereograma el sondeo y el polo de la estratificación.
- Trazar el círculo mayor que contiene a estos dos puntos y medir el ángulo que forman entre ellos. Su valor es de 36° , por tanto el ángulo que forma el eje del sondeo con la estratificación, será el complementario de 36° , o sea, 54° .

Con este dato y si fuera necesario para posteriores cálculos, podemos dibujar en el estereograma el cono que representa el polo de la estratificación en el testigo. A partir del punto que define el sondeo, contamos 36° a ambos lados, sobre el diámetro vertical E-O de la falsilla. Hallamos el punto medio de la distancia entre estos puntos y trazamos el círculo correspondiente, que debe pasar por el polo de la estratificación (Fig. 10).

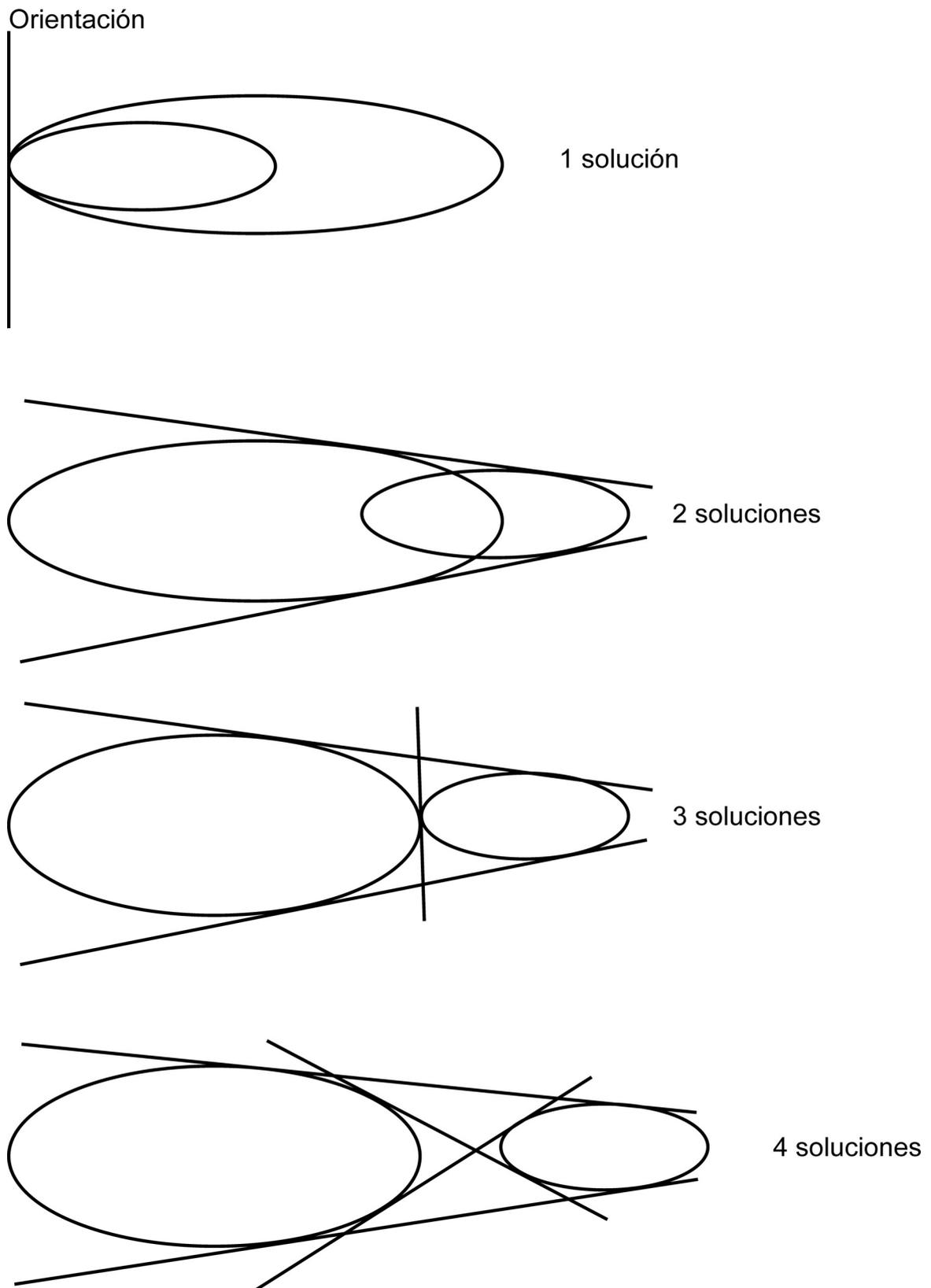


Figura 9. Posibles orientaciones del plano estructural buscado, a partir de los datos obtenidos en dos sondeos. Ver texto para su explicación.

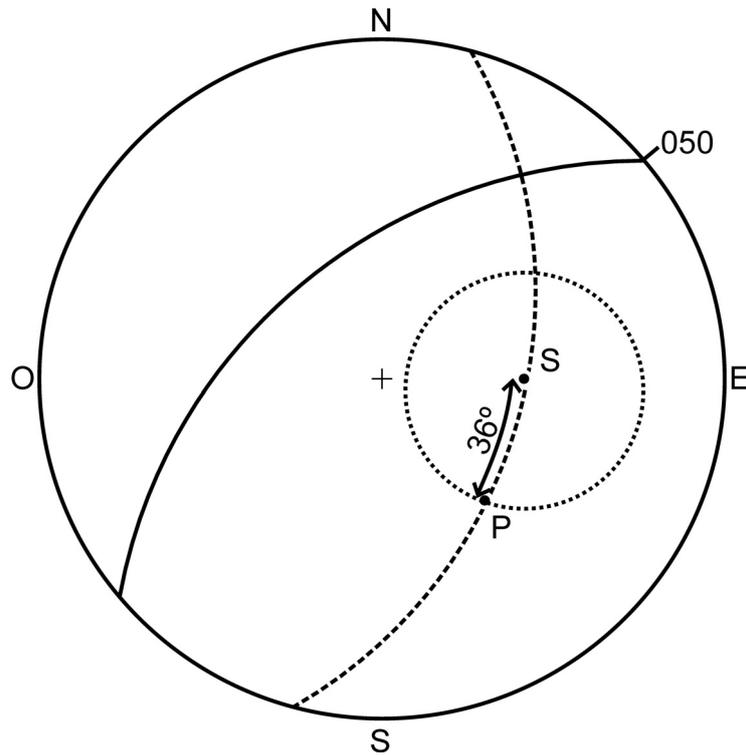


Figura 10. Resolución del problema 3. Ver texto para su explicación.

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.