

PRÓLOGO

Para muchos de los estudiantes de geología, debido a su poca preparación en matemáticas y geometría, la resolución de problemas en que se aplica algún tipo de proyección ha supuesto, tradicionalmente, un duro obstáculo en sus estudios, de tal modo que las prácticas de algunas asignaturas, como la Geología Estructural y Cartografía, se transformaban en un muro difícil de salvar. A esta dificultad habría que añadir la escasez de textos que aborden estas materias desde el punto de vista del geólogo. Por otra parte, una vez superada la asignatura en que tradicionalmente se vienen impartiendo estos problemas, los conceptos básicos llegaban a olvidarse por su falta de uso. Sin embargo, en cursos superiores, en los que es necesario dominar la geometría espacial, volvían a aparecer dificultades de comprensión, debidas a la poca familiaridad con la proyección y a la falta de textos a los que acudir para refrescar los conocimientos adquiridos con anterioridad.

Los autores han impartido durante años, diversas asignaturas en las cuales se emplea abundantemente la proyección de planos acotados. A partir de esta experiencia han elaborado el presente libro que pretende ser una valiosa ayuda para el estudiante de geología.

El presente volumen se ha configurado como un libro de prácticas por lo que la teoría se ha reducido lo más posible y se ha dado gran importancia a la parte gráfica. Los problemas básicos se explican por medio de una serie de figuras consecutivas, lo que da gran claridad a la resolución de los problemas. Además de los problemas-tipo, resueltos paso a paso, se proponen otros problemas con su enunciado y el resultado final.

Los autores esperan confiados que este libro tenga una buena acogida entre los alumnos y que les sirva de ayuda para resolver los problemas sobre planos acotados que se les presenten a lo largo de toda su carrera. De cualquier forma animamos a los alumnos a que acudan a sus profesores, que les atenderán con sumo gusto, para resolver cualquier duda.

Los Autores

ÍNDICE

1. Introducción	11
2. Orientación en el espacio de elementos geológicos	13
2.1. Orientación de una línea	15
2.1.1. Representación gráfica de la orientación de una línea	16
2.1.2. Notación de una línea	16
2.2. Orientación de un plano	17
2.2.1. Representación gráfica de la orientación de un plano	18
2.2.2. Notación de un plano	18
3. Escala	21
4. Sistema de proyección en planos acotados	23
4.1. Proyección de un punto	23
4.2. Proyección de una recta	24
4.3. Proyección de un plano	25
5. El abatimiento	27
6. El problema de los tres puntos	41
7. Buzamiento aparente	47
8. Conocidos dos buzamientos aparentes determinar el plano	51
9. Sondeos	61
10. Trazar un plano de buzamiento dado por una recta dada	81
11. Distancias y potencias	83
12. Abatimiento de un plano cualquiera	101
13. Rake	105
14. Intersección de planos	111
15. Ángulo diedro (pliegues)	117
16. Fallas	133
Apéndices: técnicas auxiliares	153
Soluciones	161
Bibliografía consultada	171

1. INTRODUCCIÓN

Este libro tiene por objeto facilitar material de trabajo a aquellos que se inician en el estudio de la interpretación de mapas geológicos y en todas aquellas disciplinas que requieran de soluciones geométricas.

Los problemas y técnicas desarrollados a lo largo de este libro se basan en técnicas gráficas. Por esta razón, el libro está estructurado sobre una amplia base gráfica acompañada de un texto explicativo. En otros términos, puede considerarse el presente libro como un conjunto de figuras con sus respectivos pies explicativos. Sin embargo, su lectura requiere una actitud activa en la que el lector participe del desarrollo y razonamiento de los problemas propuestos. Es decir, su simple lectura no ayudará a dominar las técnicas aquí expuestas. En este sentido, es aconsejable el empleo de material de dibujo tal como regla, escuadra, cartabón, compás y círculo o semicírculo graduado, para desarrollar los problemas propuestos a la par que su explicación. Y, en cualquier caso, siempre será necesario el concurso del lector para recrear en su mente y «en tres dimensiones», las imágenes impresas en el libro.

La proyectiva en el sistema de planos acotados es francamente simple. Esto quiere decir que la resolución de problemas geológicos, que utilizan ese sistema de proyección, es igualmente simple. Sin embargo, **muchos estudiantes encuentran notables dificultades en estos ejercicios**. En general, **estas dificultades nacen de una inadecuada comprensión de los enunciados**. Por ello es de gran importancia analizar detenidamente los enunciados, para poder plantearlos correctamente en términos de problemas elementales, y nunca olvidar que deben traducirse los enunciados en puntos, líneas y planos. En cualquier caso, nunca se insistirá suficientemente en la importancia de comprender adecuadamente los enunciados de los diversos problemas.

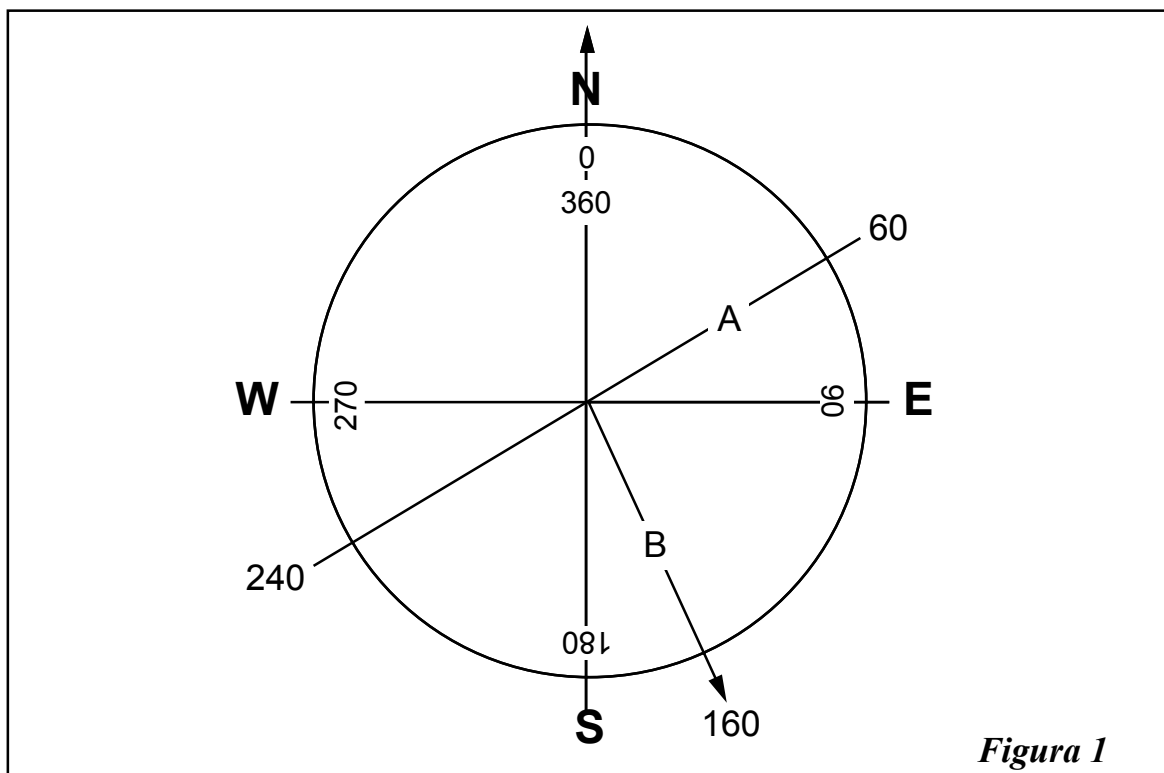
Además de los problemas ampliamente desarrollados a lo largo del libro, al final de cada apartado se sugieren algunos enunciados que los autores confían sean resueltos satisfactoriamente por sus lectores. Estén o no desarrollados, las soluciones a todos los problemas del libro se encontrarán al final de la obra.

2. ORIENTACIÓN EN EL ESPACIO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS

La Geología estudia elementos situados en un espacio tridimensional y, por ello, es imprescindible disponer de un sistema de coordenadas para poder fijar las posiciones espaciales de dichos elementos.

El sistema de referencia utilizado consiste en tres ejes ortogonales, dos horizontales y uno vertical, de tal modo que los horizontales se hacen coincidir con la dirección geográfica norte-sur (N-S) y con la este-oeste (E-W).

Los ángulos de orientación en el plano horizontal, se dan siempre en ángulos sexagesimales y, comúnmente, se miden a partir de la dirección norte (valor 0°) y en el sentido de las agujas del reloj; de tal modo que al este le corresponde una orientación de 90° , 180° al sur y 270° al oeste (*figura 1*).



Antes de seguir adelante, hay que establecer con claridad el concepto de dirección y sentido. **Dirección** es el ángulo que forma con el norte una línea horizontal. Una línea horizontal cualquiera, por ejemplo la línea A de la *figura 1*, tiene una única dirección pero dos sentidos. Así, de la línea A se puede decir que tiene dirección 60° o también dirección 240° . Esto quiere decir que no hay nada que indique preferencia sobre uno de los dos valores o sentidos de esa dirección.

Sentido es el modo de apreciar una dirección desde un punto dado hacia otro. Por esto, toda dirección tiene dos sentidos que se diferencian en 180° . El sentido implica una falta de equivalencia entre los dos valores de una misma dirección. Así por ejemplo el vector B de la *figura 1* indica que algo se desplaza en el sentido 160° y no en el sentido contrario.

Como ya se ha indicado, los ángulos de las direcciones se suelen contar a partir del norte y en el sentido de las agujas del reloj. Por ejemplo, en el caso de la línea B de la *figura 1*, la notación más común suele ser N160E. La N quiere decir que se toma el norte como cero y la E que las medidas se realizan hacia el este.

No obstante, pueden encontrarse notaciones de uso común en otros países. Así, puede leerse el ángulo hacia el oeste y, en este caso, la notación sería N200W. En otros casos, se dan orientaciones con respecto a los cuadrantes, con el fin de que el valor del ángulo no sobrepase nunca los 90° . Por ejemplo la línea B podría tener la notación S20E, lo que indica que es una línea desplazada 20° hacia el este a contar desde el sur. Con esta misma técnica se podría decir que la línea A de la *figura 1* tiene la dirección S60W o bien N60E.

En esta obra se darán las medidas siempre a partir del norte y hacia el este, de tal modo que si no se indica nada en contra, se entenderán de ese modo los datos de dirección y sentido.

Problema n.º 1. Representar en un eje de coordenadas N-S y E-W, las siguientes direcciones:

a) N30E; b) N30W; c) N120E; d) N300E; e) S20W; f) S50E.

Problema n.º 2. A partir de un punto P dibujar los siguientes sentidos:

a) N30E; b) N30W; c) N120E; d) N300E; e) S20W; f) S50E.

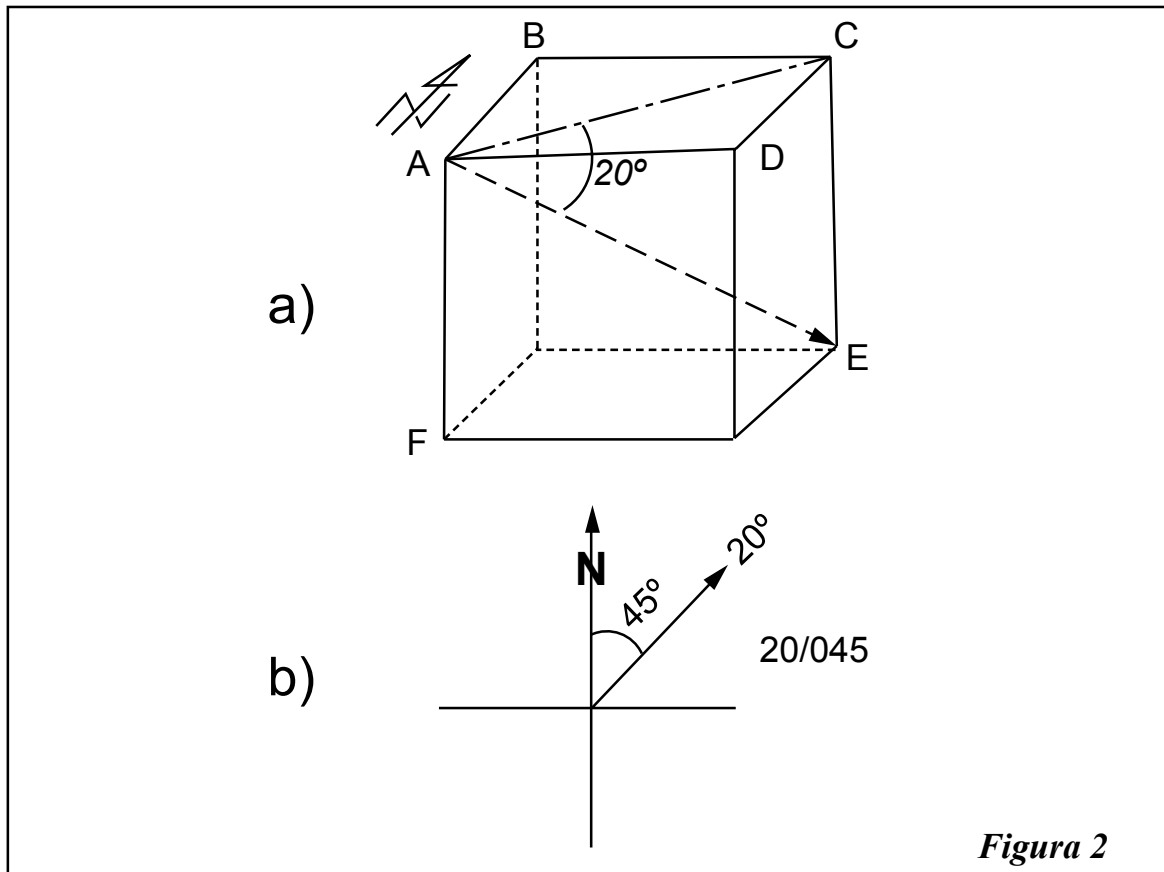
¿Qué diferencias se observan respecto al ejercicio anterior?

Problema n.º 3. Comprobar que las siguientes direcciones corresponden a una misma línea:

N60E; N240E; N120W y S60W.

2.1. Orientación de una línea

Para definir una línea, basta con situar dos puntos de la misma. Sin embargo, la definición de una línea suele venir dada por los valores de dos ángulos llamados inclinación y sentido. La **inclinación** de la línea es el ángulo entre la línea y un plano horizontal. El **sentido** es el ángulo que forma con el N la dirección en que se inclina la línea.



En la *figura 2a* se muestra la orientación de una línea AE respecto a los tres ejes de coordenadas, AB (coincidente con la dirección N-S), AD (con la dirección E-W) y AF (vertical).

La inclinación de la línea AE es el ángulo CAE, mientras que la orientación viene dada por el ángulo BAC.

2.1.1. Representación gráfica de la orientación de una línea

En Geología se suele representar una línea mediante una flecha y un número en su punta. Dicho número representa el valor de la inclinación de la línea en grados, la posición de la flecha indica la dirección de la línea y la punta de la misma indica el sentido hacia el cual se hunde la línea en cuestión (hay que tener en cuenta que cualquier dirección tiene dos sentidos). En la *figura 2b* queda representada la línea AE de la *figura 2a*.

2.1.2. Notación de una línea

La orientación de la línea AE de la *figura 2* puede quedar perfectamente determinada diciendo lo siguiente: es una línea que se inclina 20° en el sentido N45E. Para simplificar la notación podemos escribir $20^\circ/45^\circ$, partiendo del supuesto que todas las medidas de dirección se hacen a partir del norte (valor 0°) y medidas hacia el este.

Esta notación puede presentar algún inconveniente ya que se pueden confundir los dos valores y no saber cuál de ellos representa el sentido y cuál la inclinación. Una buena manera de evitar este inconveniente es escribir siempre tres cifras en el lugar correspondiente al sentido, aún cuando no alcance el valor 100; como el buzamiento nunca sobrepasa los 90° (dos cifras), se sabe siempre qué valor corresponde a la inclinación y cuál al sentido. Así, en el ejemplo precedente, la línea AE tendría una notación 30/045.

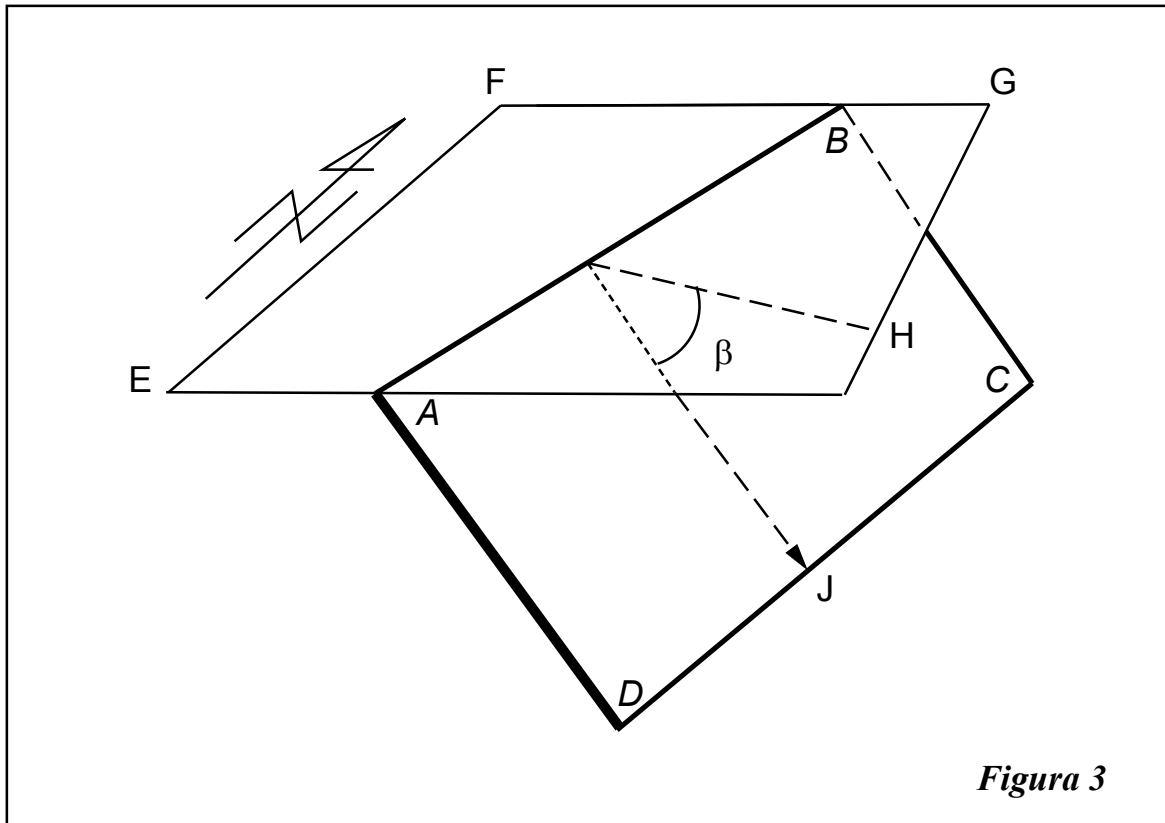
Problema n.º 4. Representar las líneas siguientes:

a) 30/060; b) 50/175; c) 40/240; d) 30/330; e) 30/270

2.2. Orientación de un plano

En Geología para la orientación de un plano en el espacio se utilizan dos parámetros: **Dirección** y **Buzamiento**.

La **dirección** es la orientación de una línea horizontal cualquiera contenida en el plano. Es decir, el ángulo que forma con el N una línea horizontal del plano.



En la *figura 3* se muestra el plano ABCD que en este caso representa una superficie de estratificación de una capa de areniscas. Si se corta idealmente dicho plano de estratificación con un plano horizontal cualquiera (EFGH), se obtiene por intersección una línea AB, contenida en el plano EFGH, y que además es horizontal. El ángulo formado por la línea AC, con la dirección N-S es a lo que se llama dirección del plano ABCD.

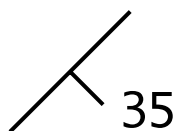
Solo con la dirección del plano no queda determinado este, ya que hay infinitos planos con idéntica dirección; son aquellos generados por rotación del plano en torno del eje horizontal AB. Por ello se necesita otro parámetro: el **buzamiento**.

Un plano queda determinado por dos rectas contenidas en él; una de ellas ya la hemos definido al considerar la dirección. La otra línea del plano que vamos a elegir es una línea perpendicular a la dirección, llamada línea de máxima pendiente (línea **IJ** de *la figura 3*), llamada así porque es la línea con la mayor inclinación de cuantas están contenidas en el plano considerado. En otros términos, si dejamos caer un pelota desde el punto **I** del plano considerado, esta rodaría hasta el punto **J**.

Al ángulo que forma la línea de máxima pendiente con la horizontal es a lo que se llama buzamiento del plano, representado en *la figura 3* por el ángulo $B = HIJ$.

2.2.1. Representación gráfica de la orientación de un plano

La orientación de un plano puede representarse de un modo gráfico mediante el signo siguiente



El trazo largo representa la dirección del plano y se dibuja con su orientación correcta, respecto del norte geográfico. El trazo corto indica el sentido de inclinación o buzamiento de la línea de máxima pendiente, mientras que el número indica, en grados, el valor de dicho buzamiento.

2.2.2. Notación de un plano

Ya se ha visto que un plano queda determinado por dos líneas, una horizontal llamada dirección y otra perpendicular a la primera y que posee un cierto grado de inclinación llamada buzamiento. Entonces, para definir un plano habrá que hacer referencia a estas dos líneas, citando en primer lugar su dirección y luego su buzamiento. Así, por ejemplo, el plano de *la figura 3* quedaría definido como: plano de dirección N30E y un buzamiento de 45° hacia el SE, o bien, $D = N30E$ y $\beta = 45SE$.

Puesto que, por definición, la dirección es perpendicular a la línea de máxima pendiente, definida esta última queda automáticamente definida la primera, y recordando la notación usada para la línea, se puede definir un plano dando simplemente la orientación de su línea de máxima pendiente. Por ejemplo, en el caso anterior, representado en *la figura 3*, diríamos que el plano buza 45° en el sentido 120° , o mejor, que es un plano 45/120.

Debe indicarse que existen dos planos con valores idénticos de dirección y buzamiento, pero con distinto sentido de buzamiento. Es decir, existen dos planos simétricos, el plano $D = N30E$

y $\beta = 45\text{SE}$ y el plano $D = \text{N}30\text{E}$ y $\beta = 45\text{NW}$. La primera notación correspondería al plano representado en *la figura 3* y el segundo a un plano simétrico con sentido de buzamiento opuesto. Por ello es necesario prestar especial atención al sentido de buzamiento, ya que es causa común de error. Esta notación, a parte del posible olvido antes mencionado, tiene el inconveniente de ser más larga, por lo que es conveniente (sobre todo cuando hay que trabajar con numerosas medidas), familiarizarse con otro tipo de notación mucho más corta y práctica, especialmente a la hora de informatizar los datos.

El empleo de uno u otro tipo de notación depende de las preferencias personales o bien del tipo de brújula que se emplee. En este libro, se utilizarán indistintamente los diversos tipos de notación con el fin de familiarizarse con todas ellas y al final utilizar la que se considere más cómoda.

Problema n.º 5. Comprobar que las siguientes notaciones corresponden a un mismo plano:

a) $D = \text{N}150\text{E}$ y $\beta = 50\text{NE}$; b) $D = \text{N}30\text{W}$ y $\beta = 50\text{NE}$; c) $D = \text{S}30\text{E}$ y $\beta = 50\text{NE}$; d) 50/060.

Problema n.º 6. Pasar a notación de sentido de buzamiento los siguientes planos:

a) $D = \text{N}150\text{E}$ y $\beta = 50\text{NE}$; b) $D = \text{N}0\text{E}$ y $\beta = 30\text{E}$; c) $D = \text{N}180\text{E}$ y $\beta = 60\text{W}$; d) $D = \text{N}330\text{E}$ y $\beta = 40\text{NE}$.