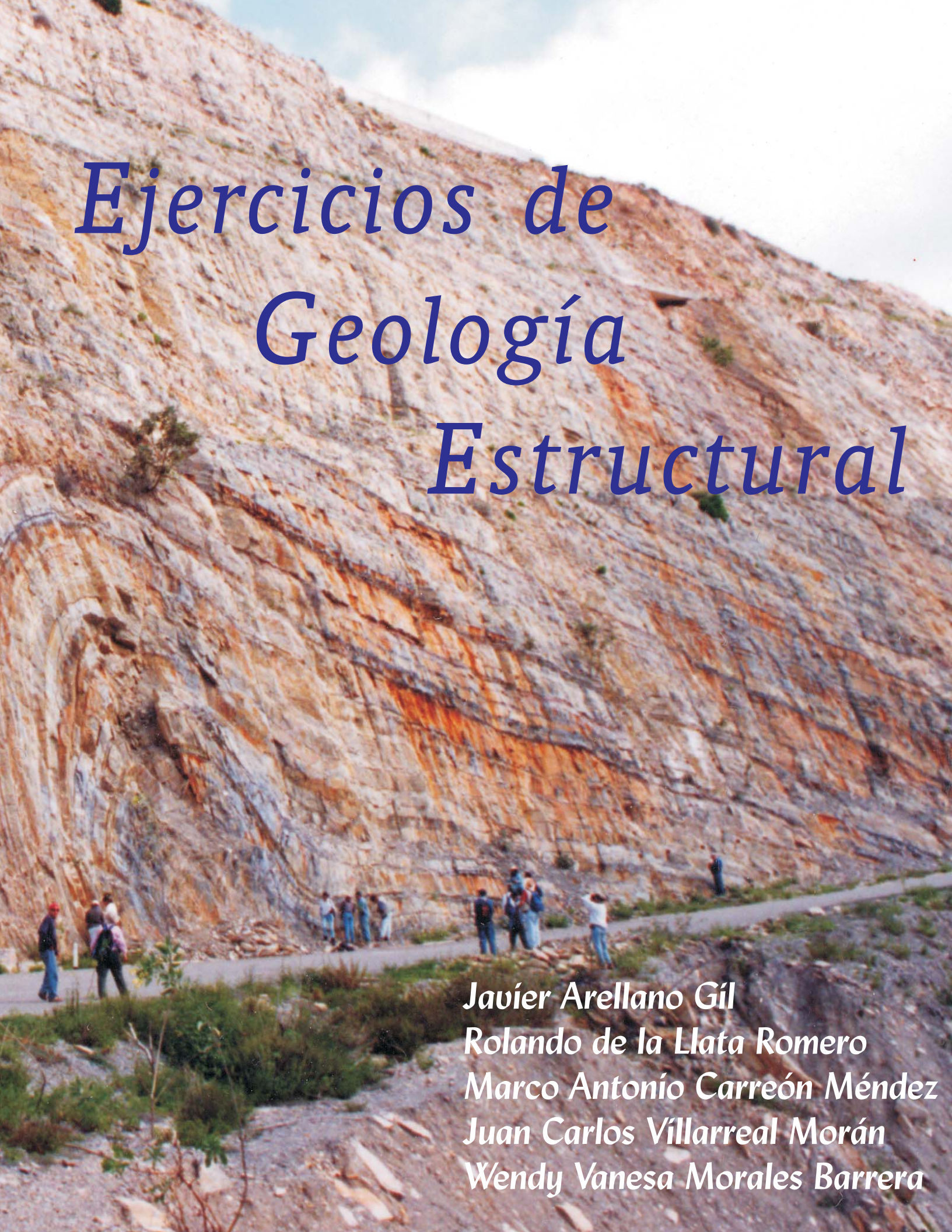




Ejercicios de Geología Estructural

*Javier Arellano Gíl
Rolando de la Lata Romero
Marco Antonio Carreón Méndez
Juan Carlos Villarreal Morán
Wendy Vanesa Morales Barrera*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

EJERCICIOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Javier Arellano Gil

Rolando de la Lata Romero

Marco Antonio Carreón Méndez

Wendy Vanesa Morales Barrera

Juan Carlos Villarreal Morán

ARELLANO GIL, Javier, Rolando de la
Llata Romero, Marco Antonio Carreón
Méndez, Wendy Vanesa Morales
Barrera y Juan Carlos Villarreal Morán.
Ejercicios de Geología Estructural.
México, UNAM, Facultad de Ingeniería,
2002, 166 p.

Ejercicios de Geología Estructural

Prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta obra por cualquier medio o sistema electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información) sin consentimiento por escrito del editor.

Derechos reservados.

© 2002, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

ISBN

Primera edición, 2002.

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO.....	vii
PRESENTACIÓN.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	4
Conceptos básicos.....	5
Geología Estructural.....	5
Tectónica.....	5
Estructura geológica	6
Estructura primaria.....	6
Estructura secundaria.....	6
Cuestionario 1.1.....	8
Cuestionario 1.2.....	9
2. ESFUERZOS.....	10
Esfuerzo.....	11
Ejercicio 2.1.....	13
Ejercicio 2.2.....	13
Ejercicio 2.3.....	13
Ejercicio 2.4.....	13
Ejercicio 2.5.....	13
Ejercicio 2.6.....	13
Ejercicio 2.7.....	13
Ejercicio 2.8.....	14
Ejercicio 2.9.....	15
Ejercicio 2.10.....	15
Ejercicio 2.11.....	15
Ejercicio 2.12.....	15
Ejercicio 2.13.....	16
Ejercicio 2.14.....	16
Ejercicio 2.15.....	17
Ejercicio 2.16.....	17
Ejercicio 2.17.....	17
Ejercicio 2.18.....	17
Ejercicio 2.19.....	17
Ejercicio 2.20.....	17
Ejercicio 2.21.....	17
Ejercicio 2.22.....	17
Cuestionario 2.1.....	18
Cuestionario 2.2.....	19
3. DEFORMACIÓN.....	20

Deformación.....	21
Translación.....	21
Rotación.....	21
Distorsión.....	21
Dilatación.....	21
Deformación de cuerpos rígidos.....	21
Deformación de cuerpos plásticos.....	21
Deformación unitaria longitudinal.....	22
Estiramiento.....	23
Extensión cuadrática.....	23
Extensión cuadrática inversa.....	23
Deformación tangencial.....	23
Deformación homogénea.....	24
Deformación heterogénea.....	24
Deformación irrotacional.....	24
Deformación rotacional.....	24
Ejercicio 3.1.....	25
Ejercicio 3.2.....	25
Ejercicio 3.3.....	25
Ejercicio 3.4.....	26
Ejercicio 3.5.....	26
Ejercicio 3.6.....	26
Ejercicio 3.7.....	27
Ejercicio 3.8.....	27
Ejercicio 3.9.....	27
Ejercicio 3.10.....	27
Ejercicio 3.11.....	28
Ejercicio 3.12.....	28
Ejercicio 3.13.....	29
Ejercicio 3.14.....	30
Ejercicio 3.15.....	30
Ejercicio 3.16.....	31
Ejercicio 3.17.....	33
Ejercicio 3.18.....	33
Cuestionario 3.1.....	34
Cuestionario 3.2.....	36
4. RUMBO Y ECHADO.....	37
Rumbo y echado.....	38
Rumbo.....	38
Echado.....	39
Echado aparente.....	40
Buzamiento.....	40
Cabeceo.....	41
Ejercicio 4.1.....	42
Ejercicio 4.2.....	42
Ejercicio 4.3.....	42
Ejercicio 4.4.....	43
Ejercicio 4.5.....	44
Ejercicio 4.6.....	45

Ejercicio 4.7.....	46
Ejercicio 4.8.....	47
Ejercicio 4.9.....	48
Ejercicio 4.10.....	48
Ejercicio 4.11.....	48
Ejercicio 4.12.....	48
Ejercicio 4.13.....	48
Ejercicio 4.14.....	48
Ejercicio 4.15.....	48
Ejercicio 4.16.....	48
Ejercicio 4.17.....	49
Ejercicio 4.18.....	49
Ejercicio 4.19.....	49
Ejercicio 4.20.....	49
Cuestionario 4.1.....	50
Cuestionario 4.2.....	51
5. PROBLEMA DE LOS TRES PUNTOS.....	52
Problema de los tres puntos.....	53
Ejercicio 5.1.....	56
Ejercicio 5.2.....	57
Ejercicio 5.3.....	58
Ejercicio 5.4.....	59
Ejercicio 5.5.....	60
Ejercicio 5.6.....	61
Ejercicio 5.7.....	62
Ejercicio 5.8.....	63
Cuestionario 5.1.....	64
6. PATRÓN DE INTERFERENCIA.....	65
Patrón de interferencia de los afloramientos.....	66
Construcción de patrones de interferencia.....	70
Ejercicio 6.1.....	72
Ejercicio 6.2.....	73
Ejercicio 6.3.....	74
Ejercicio 6.4.....	75
Ejercicio 6.5.....	76
Ejercicio 6.6.....	77
Ejercicio 6.7.....	78
Ejercicio 6.8.....	79
Ejercicio 6.9.....	80
Ejercicio 6.10.....	81
Ejercicio 6.11.....	82
Ejercicio 6.12.....	83
Ejercicio 6.13.....	84
Ejercicio 6.14.....	85
Ejercicio 6.15.....	86
Cuestionario 6.1.....	87
7. PLIEGUES.....	88

Pliegues.....	89
Partes de un pliegue.....	90
Conceptos asociados a estructuras plegadas.....	90
Clasificación de pliegues.....	91
Ejercicio 7.1.....	95
Ejercicio 7.2.....	96
Ejercicio 7.3.....	97
Ejercicio 7.4.....	98
Ejercicio 7.5.....	99
Cuestionario 7.1.....	100
Cuestionario 7.2.....	102
8. FRACTURAS Y FALLAS.....	103
Fracturas y fallas.....	104
Fracturas.....	104
Fallas.....	104
Tipo de fallas.....	105
Materiales e indicadores cinemáticos asociados al plano de falla.....	106
Conceptos asociados a fallas.....	106
Ejercicio 8.1.....	108
Ejercicio 8.2.....	109
Ejercicio 8.3.....	110
Ejercicio 8.4.....	111
Ejercicio 8.5.....	112
Ejercicio 8.6.....	113
Ejercicio 8.7.....	114
Ejercicio 8.8.....	115
Ejercicio 8.9.....	116
Ejercicio 8.10.....	116
Ejercicio 8.11.....	117
Ejercicio 8.12.....	117
Ejercicio 8.13.....	118
Cuestionario 8.1.....	119
Cuestionario 8.2.....	121
9. SECCIONES GEOLÓGICAS.....	123
Secciones Geológicas.....	124
Dibujo de perfil topográfico.....	124
Interpretación de la sección.....	125
Ejercicio 9.1.....	126
Ejercicio 9.2.....	127
Ejercicio 9.3.....	128
Ejercicio 9.4.....	129
Ejercicio 9.5.....	130
Ejercicio 9.6.....	131
Ejercicio 9.7.....	132
Ejercicio 9.8.....	133
Ejercicio 9.9.....	134
Ejercicio 9.10.....	135
Ejercicio 9.11.....	136

Ejercicio 9.12.....	137
Ejercicio 9.13.....	138
Ejercicio 9.14.....	139
Ejercicio 9.15.....	140
Ejercicio 9.16.....	141
Ejercicio 9.17.....	142
Ejercicio 9.18.....	143
Cuestionario 9.1.....	144
10. RED ESTEREOGRÁFICA.....	145
Red estereográfica.....	146
Ejercicio 10.1.....	152
Ejercicio 10.2.....	152
Ejercicio 10.3.....	152
Ejercicio 10.4.....	152
Ejercicio 10.5.....	152
Ejercicio 10.6.....	152
Ejercicio 10.7.....	152
Ejercicio 10.8.....	152
Ejercicio 10.9.....	152
Ejercicio 10.10.....	153
Ejercicio 10.11.....	153
Ejercicio 10.12.....	153
Ejercicio 10.13.....	153
Ejercicio 10.14.....	153
Ejercicio 10.15.....	153
Ejercicio 10.16.....	153
Ejercicio 10.17.....	153
Ejercicio 10.18.....	153
Ejercicio 10.19.....	153
Ejercicio 10.20.....	154
Ejercicio 10.21.....	154
Ejercicio 10.22.....	154
Ejercicio 10.23.....	154
Ejercicio 10.24.....	154
Ejercicio 10.25.....	154
Ejercicio 10.26.....	155
Ejercicio 10.27.....	156
Ejercicio 10.28.....	157
Ejercicio 10.29.....	158
Ejercicio 10.30.....	159
Ejercicio 10.31.....	160
Ejercicio 10.32.....	161
Ejercicio 10.33.....	162
Ejercicio 10.34.....	162
Cuestionario 10.1.....	163
BIBLIOGRAFÍA.....	164

PRÓLOGO

La geología estructural juega un papel significativo en todas las ramas de la Geología. Desde la prospección de agua, hidrocarburos o minerales hasta la ubicación y correcta edificación de obras civiles, la comprensión de la geología estructural de un área de interés es fundamental para el éxito de un proyecto. La geología estructural involucra aspectos estrictamente geológicos, como los conceptos del tiempo geológico y la discordancia, así como aspectos de ciencias aplicadas, como la mecánica del medio continuo y la geometría de proyecciones. También exige de sus aspirantes una buena percepción tridimensional, la cual puede lograrse mediante la práctica y el uso de ejemplos ilustrativos claros.

Si bien desde sus inicios sus fundamentos geométricos le daban ya un carácter menos cualitativo, la geología estructural ha experimentado una transición para ser todavía más cuantitativa a partir de los años 1960, como lo han hecho todas las ramas de la Geología. De manera paralela, la geología estructural ha estado a la vanguardia de la implementación de las computadoras digitales desde que se empezaron a utilizar con fines de cómputo científico, y hoy en día el acervo disponible de paquetería especializada es importante.

Dadas estas consideraciones, es de vital importancia que el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geología estructural a nivel licenciatura sea estimulante y eficiente en las carreras de Ingeniería asociadas con las Ciencias de la Tierra.

La presente obra constituye una herramienta poderosa para alumnos y profesores de la geología estructural, ya que provee una amplia gama de ejercicios sobre el tema. Para poder resolver los ejercicios, el alumno se podrá apoyar en los resúmenes de los conceptos que se presentan al principio de cada uno de los capítulos. Tanto los textos como los ejercicios están profusa y claramente ilustrados, lo cual facilita la visualización de las estructuras representadas.

En conclusión, esta es una contribución didáctica que aparece en un momento oportuno para facilitar la enseñanza y el aprendizaje de la geología estructural de manera sustancial.

Gustavo Tolson Jones

PRESENTACIÓN

Este libro fue elaborado en el marco del Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME), con clave 191053, en los departamentos de Geología del Petróleo y Geohidrología y Geología y Geotecnia de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Representa una contribución didáctica y actualizada en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de acuerdo con los lineamientos del programa antes citado. La obra está dirigida a los estudiantes de ingeniería en ciencias de la Tierra, con la finalidad de mejorar su nivel de estudios, ya que la obra contiene teoría y series de ejercicios en muchos casos con ejemplos de México.

Se compone de diez capítulos, donde se abordan los principales temas de Geología Estructural: esfuerzo, deformación, rumbo, echado, patrón de interferencia, fracturas, fallas, pliegues, secciones geológicas y las aplicaciones de la red estereográfica. Al inicio de cada capítulo se tiene una síntesis de los aspectos teóricos más relevantes del tema, después se compone de series de ejercicios y cuestionarios donde se tienen que aplicar los elementos teóricos. En gran parte del texto y en los ejercicios se cuenta con diagramas, tablas, dibujos y mapas que ayudan a la comprensión rápida de la teoría y sus aplicaciones.

El libro está enfocado para que sea utilizado por los estudiantes de ingeniería en ciencias de la Tierra y áreas afines, tales como ingeniería geológica, geofísica, petrolera, de minas e ingeniería civil; dispondrán con esta obra de conceptos básicos y de un cuaderno de ejercicios que podrán utilizar como libro de texto de Geología Estructural. También para estudiantes de posgrado en Ciencias de la Tierra será de gran utilidad, sobre todo para aquellos cuya formación de licenciatura es en otra disciplina. Es una obra de consulta para profesionales de la misma área que se encuentren laborando en diferentes instituciones en problemas de Geología Estructural.

Las fotografías que se muestran en el inicio de cada capítulo fueron tomadas en diferentes sitios de la República Mexicana. Son una muestra de la gran variedad de estructuras geológicas secundarias que es posible reconocer, describir, interpretar su génesis y su importancia económica. Es en las estructuras geológicas formadas tanto en el campo dúctil como en el campo frágil en donde se encuentran y explotan los volúmenes más importantes de recursos naturales útiles a la sociedad, como minerales, agua e hidrocarburos. Las estructuras geológicas también se estudian para caracterizar los sitios donde existen riesgos geológicos y sitios donde se van a construir las más importantes obras civiles como carreteras, puentes, presas, excavaciones a cielo abierto y subterráneas. La geología estructural se ha mantenido desde el desarrollo inicial de Ciencias de la Tierra como una de las herramientas más importantes en la investigación y en la exploración geológicas.

Los ejercicios de este libro se dividen en dos grupos, los del inicio de cada capítulo, aproximadamente la cuarta parte, tienen que ver con planteamientos teóricos y matemáticos, relacionados con el tema tratado. La tercera parte son ejercicios de aplicación, muchos de los cuales corresponden a problemas reales, que fueron estudiados en diferentes secuencias de rocas que afloran en la República Mexicana. Otro grupo de ejercicios tiene que ver con la interpretación del subsuelo a partir de información geológica superficial y con datos de pozos perforados para diferentes fines.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifestamos nuestro agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.**

Al **Ing. Sergio Yussim Guarneros**, por el diseño de la portada del libro y porque proporcionó el 50% de las fotografías de campo incluidas en las portadas de cada capítulo.

Al **Prof. Perfecto Arellano Gil**, por la revisión y correcciones realizadas al manuscrito original; realizó también la corrección de estilo.

A la **Ing. Aline Concha Dimas**, por su contribución con el diseño de algunos ejercicios de los temas esfuerzo y deformación, como ayudante de profesor de la asignatura Geología Estructural.

A la **Mtra. María Cuairán Ruidíaz**, como jefa de la Unidad de Apoyo Editorial de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

A la **Lic. Patricia Eugenia García Naranjo** y **Andrea Celina Ayala Hernández**, por realizar la corrección de estilo en la Unidad de Apoyo Editorial de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo en la elaboración de este texto, en especial al **M. en C. Gerardo Ferrando Bravo**, director de la Facultad; al **Ing. Gonzalo López de Haro**, secretario general y al **Lic. Miguel Figueroa Bustos**, jefe del departamento de información y estadística.

A los siguientes estudiantes de las carreras de Ingeniería geológica e Ingeniería petrolera por la captura de textos, como parte de su servicio social: **Mireya Osorio Rosales, Lucía Beatriz Jácome Hernández, Elvis Edward Fragoso Rivera y Raúl Medina Angeles.**

A **Luis Solís García**, jefe de los talleres de impresión de la Facultad de Ingeniería, UNAM, por su gran entusiasmo y dedicación en la impresión de libros.



Estratos inclinados de calizas de plataforma de la Formación Coyotepec, al sur de Tehuixtla, Puebla.



Panorámica del “Tronco de Peñón Blanco”, nótese el intenso fracturamiento; este intrusivo se ubica al suroeste de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí.

Introducción

INTRODUCCIÓN

La Tierra es un planeta activo con múltiples procesos que la modelan y transforman. En algunos procesos, mucho tiene que ver con el calor interno y el movimiento de las placas litosféricas. Se puede decir, que la mayor parte de la actividad sísmica y la deformación de las rocas tiene lugar en los límites de placa divergentes, convergentes y transformantes. Muchas rocas de la Corteza Terrestre, muestran cambios con respecto a su estado inicial; es decir, muestran deformación, la cual es resultado de la acción de esfuerzos de diferente magnitud y dirección que han ocasionando cambios irreversibles.

Las cadenas montañosas se pueden formar de diferente manera, algunas de las cuales implican gran deformación, otras menos y algunas ninguna. Sin embargo, en la mayoría de las montañas, las rocas han sido modeladas de forma compleja por fuerzas compresivas o extensivas en los límites de placas. La Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur, la Región de Sierras y Cuencas y muchas otras elevaciones de México deben su existencia a la convergencia de placas. La deformación y la creación de las cadenas montañosas son fenómenos estrechamente relacionados. Los resultados de la actividad tectónica son impresionantes en los principales cinturones montañosos de la Tierra, donde pueden encontrarse rocas marinas con abundantes fósiles a más de dos mil metros por arriba del nivel medio del mar, en formaciones rocosas intensamente plegadas y dislocadas.

El estudio de las rocas deformadas tiene muchas aplicaciones. Por ejemplo, estructuras geológicas como los pliegues, las fallas y las fracturas proporcionan un registro de los tipos e intensidades de las fuerzas que actuaron en el pasado. Interpretando esas estructuras, se pueden hacer inferencias acerca de la historia y evolución de la Tierra que nos permiten conocer los eventos que ocurrieron en el pasado o buscar con mayor certeza diversos recursos naturales. Comprender la naturaleza de las estructuras geológicas es importante en la exploración y explotación de recursos como los hidrocarburos, los minerales y el agua de los acuíferos. Las estructuras geológicas se estudian también cuando se eligen sitios para construir presas, puentes de grandes dimensiones y plantas de energía nuclear, en especial si esos lugares se encuentran en áreas tectónicamente activas.

El conocimiento de las estructuras geológicas en las distintas áreas de Ciencias de la Tierra contribuye a encontrar los recursos naturales que el hombre necesita y que forman el verdadero cimiento de la sociedad moderna. El rápido crecimiento de la población mundial y su aspiración a obtener un mejor nivel de vida significa una demanda creciente de recursos, los cuales se buscan y explotan en distintos sitios de la corteza terrestre, casi siempre asociados a estructuras geológicas.

Con el aumento de la población, un mayor número de personas se ven en la necesidad de residir en ambientes con alto riesgo geológico, lo que obliga a realizar estudios geológicos de detalle buscando eliminar o reducir estos problemas; en dichos estudios el análisis de las estructuras geológicas es imprescindible ya que en la mayoría de los casos se tienen pliegues, fallas y/o fracturas que se pueden asociar a riesgos de inestabilidad.

Las estructuras geológicas básicas asociadas con la deformación son los pliegues, las fracturas, las fallas, la esquistosidad, la foliación y la lineación. Este libro plantea al lector, una serie de ejercicios donde se involucran diversos tipos de estructuras geológicas, su terminología descriptiva, las fuerzas responsables de ellas, la

génesis y evolución de las mismas; se examinan las fuerzas que deforman a las rocas así como las estructuras que se producen.

1



Cuerpo hipabisal, “Peña de Bernal “, muy fracturado que se ubica a 1.5 km al poniente de Bernal, Querétaro.



Secuencia de calizas con intercalaciones de bentonita de la Formación San Felipe, en un arroyo al poniente de Ciudad Mante, San Luis Potosí.

Conceptos Básicos

CONCEPTOS BÁSICOS

La superficie terrestre y el subsuelo están compuestos, desde el punto de vista geológico, de materiales rocosos muy variados; se tienen rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas en distintos volúmenes, arreglos, límites y relaciones.

En cualquier volumen de roca, los materiales que las componen se pueden observar, a escalas diferentes, y se encuentra, en la mayoría de los casos que no son homogéneos ya que pueden presentar discontinuidades, estructuras geológicas, diferente composición, y otros rasgos que las distinguen; estos elementos permiten conocer su naturaleza, sus relaciones estratigráficas y estructurales.

Las discontinuidades en las rocas pueden ser estratigráficas o estructurales. La discontinuidad estratigráfica más común, a pequeña escala, es la que ocurre entre los estratos, la cual nos ayuda a interpretar los cambios a que fueron sujetas estas rocas cuando se encuentran en una posición muy diferente a como se originaron. Otra discontinuidad estratigráfica importante es la discordancia, la cual se manifiesta generalmente como una superficie de erosión o no depósito entre dos cuerpos rocosos de diferente edad, esto es, que entre la acumulación de ambos, transcurrió cierto tiempo durante el cual no hubo acumulación de sedimentos. Por lo general, no existe paralelismo entre los cuerpos tabulares separados por una discordancia. Las discontinuidades estructurales, por otro lado, son más comunes y las podemos encontrar como fracturas o fallas en cualquier tipo de roca. Estas últimas, son estructuras geológicas que, junto con los pliegues, son motivo de estudio de la Geología Estructural.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Es la rama de la Geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y de las causas que las originaron; también es importante su identificación, descripción y representación gráfica en mapas y secciones geológicas. Las estructuras geológicas, las podemos estudiar a nivel microscópico (microscopio petrográfico y estereoscópico), en láminas delgadas, en una muestra de mano, en un afloramiento o como un rasgo mayor en una fotografía aérea o en una imagen de satélite; por lo que se describen también como microestructuras, mesoestructuras y macroestructuras.

Las estructuras geológicas se encuentran en cualquier tipo de roca y se forman en todos los ambientes geológicos. Presentan características distintivas relacionadas con su origen, tiempo de formación y tipo de material, por lo que se dividen en estructuras primarias y secundarias, sin embargo la Geología Estructural se encarga de estudiar únicamente a las estructuras geológicas producto de la deformación.

TECTÓNICA

Es la rama de la Geología que se encarga del estudio de los rasgos estructurales mayores de la Tierra, de su distribución geográfica y de las causas que los originaron. Los rasgos estructurales mayores de la Tierra pueden ser estudiados utilizando imágenes de satélite, cadenas montañosas deformadas, analizando zonas sísmicas y volcánicas, etc.

La Tectónica actual se caracteriza por dividir a la litósfera en una serie de placas tectónicas con diversos tipos de límites, geometrías, velocidades y direcciones de desplazamiento; en esos límites o en sus proximidades ocurren distintos procesos geológicos como sismicidad, vulcanismo y deformación a distintas escalas. La tectónica, en tiempo geológico pasado, se puede interpretar a partir del estudio de distintas secuencias ígneas de la corteza terrestre y del análisis de los estilos y fases de deformación que presentan las rocas expuestas y del subsuelo.

ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Es el arreglo espacial y temporal particular que guardan los componentes rocosos o un conjunto rocoso. Las estructuras geológicas presentan características geométricas distintivas y otros rasgos característicos de los que sobresalen la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación, el tipo de material, su distribución geográfica, etc. Las estructuras geológicas de acuerdo con su origen, y características se dividen en primarias y secundarias. Todas tienen importancia para entender distintos procesos geológicos y algunas, son de interés económico por las sustancias que contienen.

ESTRUCTURA PRIMARIA

Estructuras primarias son aquéllas que se originan simultáneamente a la formación de las rocas como resultado de su depósito o su emplazamiento. Son características singenéticas de las rocas por lo que las características que las distinguen están presentes antes de la deformación. Las estructuras primarias pueden ocurrir en rocas sedimentarias y en rocas ígneas; su existencia es clave para interpretar los procesos de acumulación o depósito y el medio ambiente en que se formaron.

ESTRUCTURA SECUNDARIA

Son aquellas estructuras geológicas que adquieren las rocas, posteriormente a su litificación como respuesta a un estado de esfuerzo y por cambios en la temperatura. Los cambios que experimentan las rocas son irreversibles y se expresan como deformación o metamorfismo. Las estructuras secundarias se pueden desarrollar tanto en rocas ígneas, como sedimentarias o metamórficas; sus características finales dependen de diversos factores, entre otros, la propia naturaleza de las rocas sujetas al proceso de deformación.

En la tabla 1.1 se enlistan las principales estructuras geológicas primarias y secundarias que podemos encontrar en las rocas de la corteza terrestre. Las estructuras primarias, debido a su forma, arreglo, geometría y tipo de roca son de gran importancia para la interpretación de facies, ambiente de depósito, procesos de sedimentación o emplazamiento y son muy útiles para identificar polaridad (base y cima de las capas) de secuencias ígneas y/o sedimentarias. Algunas características distintivas (forma y geometría) de las estructuras primarias se conservan cuando las rocas son sometidas a esfuerzos y se deforman; los elementos geométricos que se reconocen en las secuencias deformadas se utilizan como referencia para la interpretación de los estilos, magnitud y fases de deformación, también son importantes para interpretar la magnitud, el sentido y

los tipos de esfuerzos que las originaron; la estratificación por ejemplo, es la referencia principal para describir e interpretar los distintos tipos de pliegues.

ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS				
PRIMARIAS			SECUNDARIAS	
ROCAS ÍGNEAS		ROCAS SEDIMENTARIAS	CUALQUIER TIPO DE ROCA	
INTRUSIVAS	EXTRUSIVAS	ESTRATIFICACIÓN: ▪ Cruzada ▪ Tabular ▪ Convoluta ▪ Gradada ▪ Lenticular ▪ Flaser	Pliegues: ▪ Anticlinal ▪ Sinclinal ▪ Anticlinorio ▪ Sinclinorio ▪ Monoclinal ▪ Homoclinal	
▪ Dique ▪ Manto ▪ Lacolito ▪ Batolito ▪ Facolito ▪ Lopolito ▪ Tronco ▪ Diaclasa	DERRAMES COLADAS: ▪ Acordeada ▪ AA ▪ Pahoehoe en bloque ▪ Pillow lava		IMBRICACIÓN	FALLAS: ▪ Normal horst graben ▪ Inversa cabalgadura sobrecorrimiento napa klippe ▪ Lateral izquierda derecha
			LAMINACIÓN	
			MARCAS DE CARGA	
		VOLCANES ▪ Escudo ▪ Estratovolcán ▪ Cinerítico ▪ Maar	HUELLAS DE LLUVIA	
		MARCAS DE BASE		
		GRIETAS DE DESECACIÓN		
	DOMO	RIZADURAS:	FRACTURAS	
	CALDERA	▪ Oscilación ▪ Corriente	FOLIACIÓN	
	DIACLASA	ESTRUCTURAS ORGÁNICAS: ▪ Estromatolitos ▪ Galerías ▪ Arrecifes		
	VESÍCULA			
	PISOLITO			

Tabla 1.1. Principales estructuras primarias y secundarias

El contenido de este libro está enfocado al estudio, descripción, análisis e interpretación de la génesis de las estructuras geológicas secundarias, las estructuras primarias sólo se toman como referencia, para identificar los estilos y fases de deformación.

Cuestionario 1.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

=====

1. Son características estructuras tanto de rocas sedimentarias como de rocas ígneas, resultado de depósito o emplazamiento.
a) Metamorfismo b) Estructuras secundarias
c) Estructuras primarias d) Erosión
2. Son los arreglos espaciales y temporales de cuerpos rocosos y características geométricas específicas que se caracterizan por su forma, tamaño, orientación, tipo de roca, distribución, etc.
a) Textura geológica b) Estructura geológica
c) Fábrica geológica d) Foliación geológica
3. No es una estructura geológica secundaria:
a) Cabalgadura b) Rizadura
c) Horst d) Anticlinal
4. De las siguientes estructuras, sólo una es primaria.
a) Estilolitos b) Grietas de tensión
c) Vetillas d) Marcas de carga
5. Son los cambios permanentes que experimentan las rocas después de la litificación como respuesta a un estado de esfuerzos.
a) Erosión b) Estructuras secundarias
c) Estructuras primarias d) Diagénesis
6. Son superficies de erosión o no depósito que separan a las rocas más antiguas de las más jóvenes.
a) Fallas b) Fracturas
c) Discordancias d) Estructuras primarias
7. El origen, distribución y características de las estructuras mayores de la Tierra, son estudiados por la:
a) Sedimentología b) Estratigrafía
c) Tectónica d) Geodinámica
8. De las siguientes estructuras primarias en los estratos, una no se puede utilizar inequívocamente como criterio de superposición (cima-base):
a) Marcas de base b) Estratificación cruzada
c) Pistas d) Estratificación gradada
9. Son estructuras primarias con las cuales se puede determinar la base y la cima de un estrato cualquiera de roca.
a) Estilolitos y fracturas b) Estratificación gradada y huellas de base
c) Diques y mantos d) Nódulos y concreciones
10. Una etapa de intensa deformación, resultante de la compresión por esfuerzos tectónicos que origina cadenas montañosas se llama:
a) Orogenia b) Isostasia
c) Separación de placas d) Anomalía de gravedad

Cuestionario 1.2. Lea atentamente los siguientes planteamientos y conteste en forma clara y concisa.

- =====
1. Explique qué es una estructura geológica.
 2. Explique la diferencia entre Geología Estructural y Tectónica.
 3. Explique la diferencia entre estructura geológica primaria y secundaria.
 4. Diga con qué otras disciplinas de Ciencias de la Tierra se relaciona estrechamente la Geología Estructural y explique la importancia de esa relación.
 5. Explique por qué son importantes las estructuras geológicas primarias y mencione a las más comunes.
 6. Diga cuál es la principal diferencia entre las estructuras ígneas intrusivas y extrusivas.
 7. Explique por qué son importantes las estructuras geológicas secundarias y mencione a las más comunes.
 8. Explique la importancia que tiene la Geología Estructural en Ciencias de la Tierra.
 9. Explique la importancia que tiene la Tectónica en Ciencias de la Tierra.
 10. Explique qué es una placa tectónica.
 11. Diga cuáles son las principales características de la Corteza Terrestre.
 12. Diga cuáles son las principales características de la Litósfera.
 13. Explique qué es un límite de placas y cuántos tipos de límites se tienen.
 14. Explique por qué se crean los cinturones orogénicos aproximadamente paralelos donde la litósfera oceánica se subduce por debajo de una litosfera continental.
 15. Explique cuál es la relación que guarda la Geología Estructural con la Tectónica.
 16. Describa las diferencias entre estructura geológica, textura y fábrica.



Pliegue anticlinal recostado con pliegues de arrastre, dislocado por fallas inversas y fracturado, de la Formación Tamaulipas Superior en las proximidades de Cuetzalan, Puebla.



Estructuras de “Libros rotados” en un horizonte de calizas, dentro de limolitas de la Formación Tamaulipas Inferior, localidad ubicada al oriente de Ayotoxco, Veracruz.

Esfuerzos

ESFUERZO

Las **fuerzas** son fenómenos de atracción y repulsión entre los cuerpos que se pueden representar cuantitativamente por medio de vectores. Son el producto de una aceleración por una masa ($F = m a$). Existen dos tipos de fuerzas: de cuerpo y de superficie.

Las **fuerzas de cuerpo** son fuerzas que pueden trabajar sobre un objeto a distancia donde la magnitud de la fuerza depende de la cantidad de materia afectada. Son ejemplos de este tipo de fuerzas la gravedad y el magnetismo. Las **fuerzas de superficie** se denominan así, porque operan a través de una superficie de contacto, situación gobernada por la Tercera Ley de Newton (para un cuerpo en reposo o en movimiento uniforme, a toda acción existe una reacción igual y opuesta). La magnitud de una fuerza de superficie depende del área sobre la que actúa.

Una fuerza que actúa a través de un plano puede tener cualquier dirección relativa al plano; si la fuerza tiene una dirección paralela a la normal del plano se denomina **fuerza normal** y si tiene una dirección perpendicular a la normal del plano, es decir, es paralela al plano, se llama **fuerza de cizalla, cortante o tangencial**.

El **esfuerzo** es un par igual y opuesto de fuerzas que actúan en un cuerpo, por unidad de área ($\sigma = \text{Fuerza} / \text{Área}$). La magnitud del esfuerzo depende de la magnitud de la fuerza y el tamaño de la superficie sobre la que actúa. El esfuerzo a través de un plano se representa por el vector de esfuerzo, el cual tiene una magnitud igual a la razón de fuerza por área y una dirección paralela a la dirección de la fuerza a través del plano en que actúa; este vector puede ser descompuesto en componentes paralelas a cualquier marco de referencia conveniente. Los esfuerzos son de varios tipos; cuando se aplican esfuerzos en direcciones diferentes se denominan **esfuerzos diferenciales**. Si éstos acortan un cuerpo se conocen como **esfuerzos compresivos** pero si tienden a alargar un cuerpo se conocen como **esfuerzos tensionales**. En Ciencias de la Tierra los esfuerzos compresivos son positivos y los tensionales negativos. En otras disciplinas de ingeniería, el sentido es inverso. Cuando un esfuerzo no tiene un eje de aplicación, es decir, las fuerzas no son coaxiales, se denomina **esfuerzo de cizalla**.

Los vectores de esfuerzo alrededor de un punto en tres dimensiones definen un elipsoide llamado **elipsoide de esfuerzo**, los cuales se designan por σ_1 , σ_2 y σ_3 , cuyas magnitudes siempre son $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, siendo también normales entre sí. Cuando los tres esfuerzos principales son diferentes que cero se denomina esfuerzo triaxial; si sólo dos de los esfuerzos principales son diferentes que cero se denomina esfuerzo biaxial; si sólo uno de los esfuerzos principales es diferente de cero se denomina **esfuerzo uniaxial** y cuando los tres esfuerzos principales son de igual magnitud se llama **esfuerzo hidrostático**. En la figura 2.1, se ilustra el caso de compresión triaxial, caso muy común en la Tierra en el que los tres esfuerzos principales son compresivos. En la figura 2.2 se ilustra el caso de extensión axial donde dos de los esfuerzos son compresivos y uno es de tensión; este caso también ocurre en la Corteza Terrestre. En la figura 2.3, se ilustra el caso de tensión uniaxial, donde uno de los esfuerzos principales es diferente de cero y es de tensión.

En esta parte del libro trataremos, mediante ejercicios, los procesos que dan lugar a la formación de las estructuras geológicas. Iniciaremos con ejercicios sobre el tratamiento teórico de las **fuerzas** que actúan sobre un cuerpo de roca y terminaremos con ejercicios sobre **esfuerzos**.

Figura 2.1

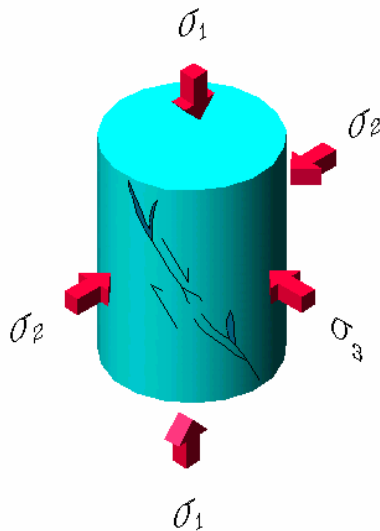


Figura 2.2

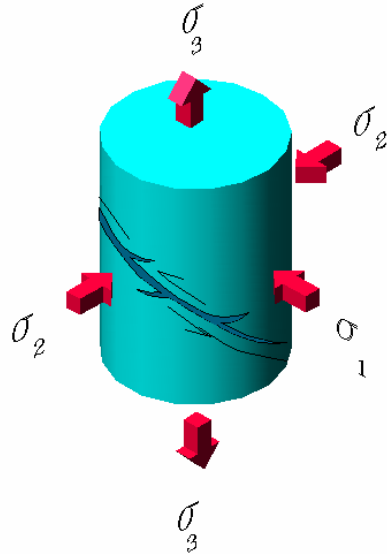
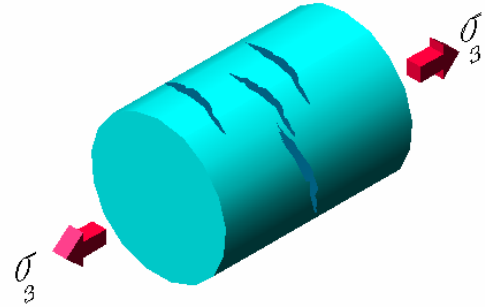


Figura 2.3



Las unidades de medida que se utilizan para el cálculo matemático de fuerzas y esfuerzos son muy variados, para los ejercicios de este libro, utilizaremos las siguientes unidades y sus respectivas equivalencias.

- ◆ Unidades de fuerza: [masa] [longitud] [tiempo⁻²]; Newton (N) = 1 Kg m / s²
Dinas (D) = 0.00001 N = 1.0197 x 10⁻³ gr_f
- ◆ Unidades de esfuerzo: [masa] [longitud⁻¹] [tiempo⁻²]; Pascal (Pa) = 1 N / m²
Kilopascales (KPa)
Gigapascales (GPa)
Megapascales (MPa)
Bares (Ba)
Kilobares (KBa)
Dinas/cm²
lb/in²
kg/cm²
1MP = 10⁶ Pascales
1 bar = 10⁶ Pascales

Desde el punto de vista matemático, para el cálculo de esfuerzo, podemos realizar la siguiente consideración:

$\sigma = \text{Fuerza} / \text{Área}$; como $F = m g$, sustituyendo:

$\sigma = m g / A$ como $\rho = m / V$, sustituyendo y simplificando:

$\sigma = \rho V g / A = \rho A h g / A = \rho h g$

Ejercicio 2.1. Realice las siguientes conversiones de unidades.

a) 3.7(km)	a	(in)
b) 52.5(in)	a	(cm)
c) 10.2(m)	a	(in)
d) 49.0(cm ²)	a	(ft ²)
e) 58.4(m ²)	a	(in ²)
f) 139.7(m ³)	a	(in ³)
g) 129 (lb _f /in ²)	a	(kg _f /cm ²)
h) 139.2(D)	a	(N)
i) 14.7(Kg _f)	a	(lb _f)
j) 11.9 (lb _f /in ²)	a	(GPa)
k) 3.27(N)	a	(Kg _f)
l) 183.2(Kg _f)	a	(N)
m) 321.2(Ba)	a	(Pa)
n) 4795.0(Pa)	a	(Ba)
o) 12.4(N)	a	(Kg _f)
p) 2.0(GPa)	a	(Ba)
q) 17.6(MPa)	a	(KBa)
r) 48.5(Pa)	a	(D/cm ²)
s) 40.3(Ba)	a	(Pa)

Considere:

km	Kilómetro
in	Pulgada
cm	Centímetro
m	Metro
lb	Libra
kg _f	Kilogramo fuerza
D	Dina
N	Newton
lb _f	Libra fuerza
Ba	Bar
Pa	Pascal
GPa	Gigapascal
KBa	Kilobar

Ejercicio 2.2. Sobre un punto de un plano horizontal P, actúa un vector ($\vec{F}$) de 50.0 Kg_f, el cual forma un ángulo de 45° con el mencionado plano. Descomponga este vector en sus componentes normal ($\vec{F}_n$) y de cizalla ($\vec{F}_c$) y calcule sus magnitudes en Kg_f, Dinas (D) y Newtons (N).

Ejercicio 2.3. Sobre un punto de un plano vertical P, actúa un vector ($\vec{F}$) de 150.0 D, el cual forma un ángulo de 20° con el mencionado plano. Descomponga este vector en sus componentes normal ($\vec{F}_n$) y de cizalla ($\vec{F}_c$) y calcule sus magnitudes en Dinas (D), Newtons (N) y Kg_f.

Ejercicio 2.4. Se tiene un vector de 200N actuando sobre un punto de un plano horizontal P; el vector está orientado hacia el N30°E, con una inclinación de 25° desde el plano horizontal. Descomponga este vector en sus componentes normal ($\vec{F}_n$) y de cizalla ($\vec{F}_c$) y calcule sus magnitudes en Newtons (N), Kg_f y Dinas (D).

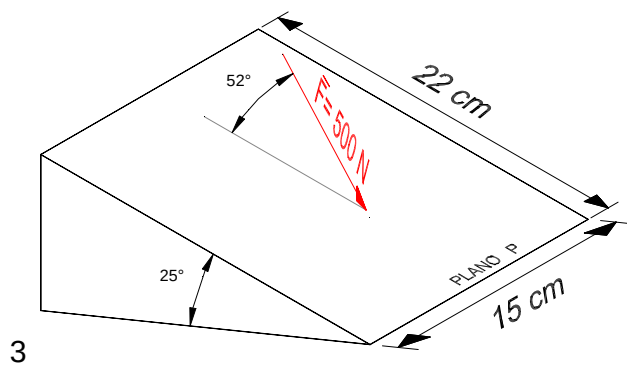
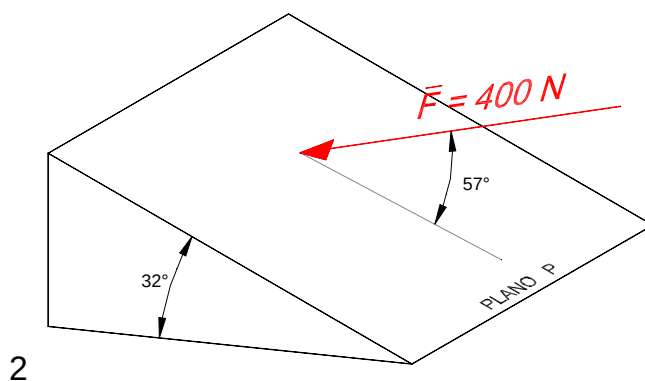
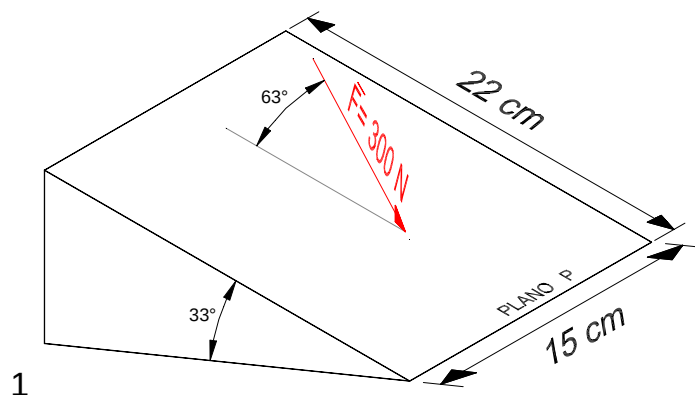
Ejercicio 2.5. Calcule la magnitud de la fuerza vertical que se ejerce sobre la base de una secuencia de carbonatos (considerándola como un prisma rectangular), que tiene un espesor promedio de 2.2 km, un área de 3.0 Km² y una densidad media de 2.65 g/cm³. Proporcione el resultado en Newtons (N), Dinas (D) y Kg_f.

Ejercicio 2.6. Calcule la magnitud de la fuerza vertical que se ejerce en la base de una placa oceánica que tiene un espesor de 20.5 km, un área de 2.258 X 10⁹ Km² y una densidad media de 2.75 g/cm³. Proporcione el resultado en Newton (N), Dinas (D) y Kg_f.

Ejercicio 2.7. Calcule la magnitud de la fuerza vertical que se ejerce en la base de un continente que tiene un espesor de 33.5 km un área de 3.120 X 10⁹ Km² y una densidad media de 2.52 g/cm³. Proporcione el resultado en Newtons (N), Dinas (D) y Kg_f.

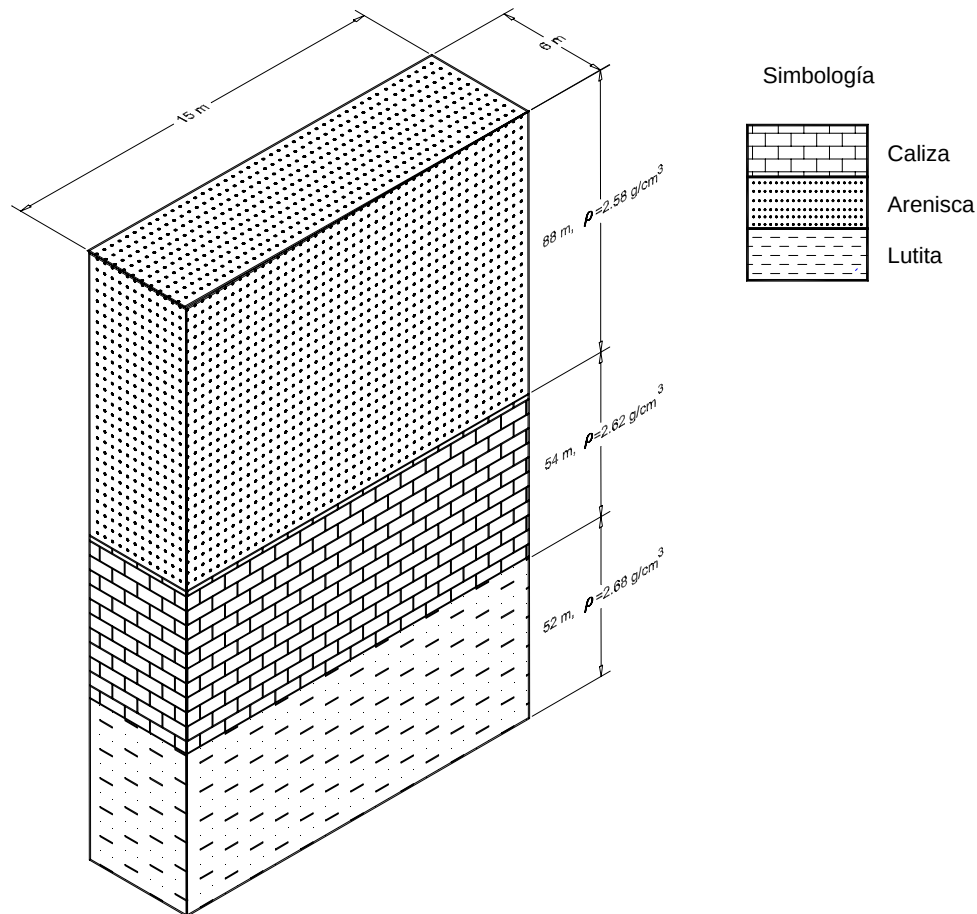
Ejercicio 2.8. Tomando como base la figura en la que se muestra un vector ($\vec{F}$), que actúa sobre el plano inclinado (P), calcule en cada caso:

- La magnitud de la componente normal ($\vec{F}_n$)
- La magnitud de la componente de cizalla ($\vec{F}_c$)



Ejercicio 2.9. Tomando como base la información de la figura, realizar las siguientes actividades:

- Calcule los valores de esfuerzo (presión litostática) en Kilobares, Megapascuales y Gigapascuales, que se ejerce sobre los planos horizontales de los contactos entre arenisca-caliza, caliza-lutita y en la base de las lutitas.
- Realice una gráfica con esos valores, considerando en el eje de las (x) la profundidad y en el de las (y) los valores de esfuerzo.

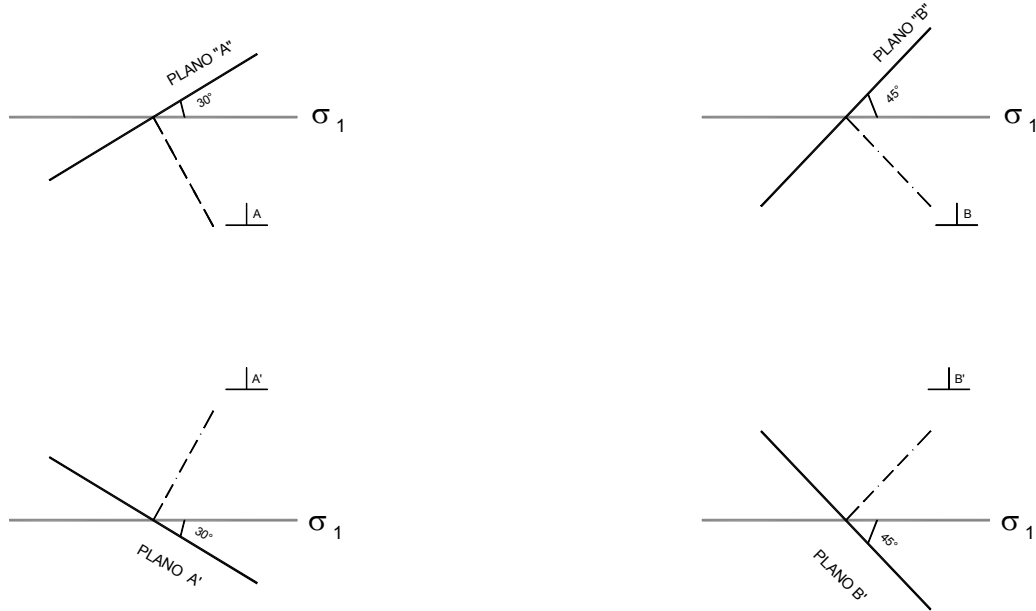


Ejercicio 2.10. Calcule la magnitud del esfuerzo que se ejerce sobre la base de una placa tectónica que tiene un espesor de 110 km, un área de $4.2 \times 10^8 \text{ km}^2$ y una densidad de 2.735 g/cm^3 . Proporcione el resultado en kilobares y megapascuales.

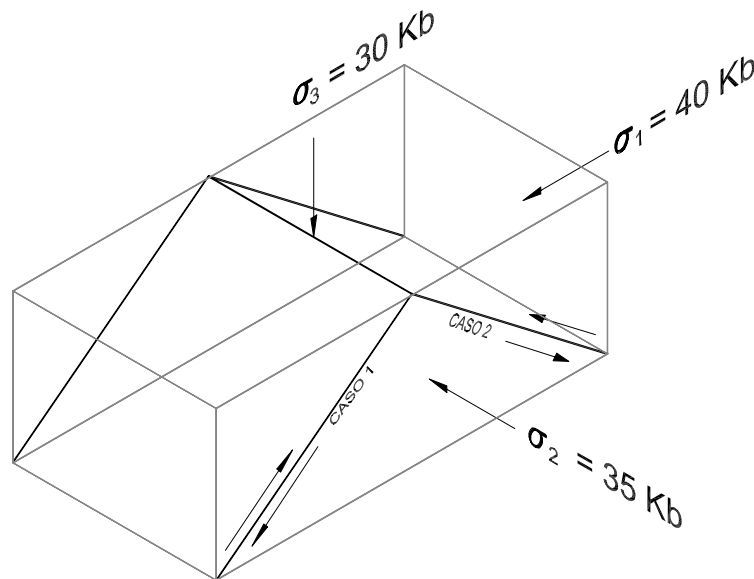
Ejercicio 2.11. Calcule la presión litostática (esfuerzo) ejercida por una columna de calizas arcillosas, sobre un plano horizontal de 100 m^2 de área, a una profundidad de 1000 m. La secuencia tiene una densidad promedio de 2.61 g/cm^3 . Proporcione el resultado en kilobares, megapascuales y gigapascuales.

Ejercicio 2.12. Grafique la magnitud de la presión litostática (esfuerzo) ejercida sobre planos horizontales separados cada 200 m por una columna de areniscas de densidad media igual a 2.63 g/cm^3 , desde la superficie terrestre hasta una profundidad de 2.0 km. En el eje vertical indique la profundidad en metros y en el eje horizontal indique los valores en kilobares y megapascuales. Comente los resultados.

Ejercicio 2.13. Encuentre el esfuerzo normal (σ_n) y el esfuerzo de cizalla (σ_c) que actúan en planos a 30° y 45° de la dirección de σ_1 (ver figuras), cuando $\sigma_1 = 20$ MPa y $\sigma_2 = 10$ MPa. Obtenga los resultados utilizando el círculo de Mohr y las ecuaciones correspondientes.



Ejercicio 2.14. Con base en los datos de la siguiente figura, encuentre los valores, para los dos casos, de los esfuerzos normal (σ_n) y de cizalla (σ_c). Obtenga los resultados utilizando el círculo de Mohr y las ecuaciones correspondientes.



Ejercicio 2.15. Utilizando el círculo de Mohr, demuestre lo siguiente:

- Que el esfuerzo de cizalla en cualquier par de planos perpendiculares es siempre igual en magnitud, pero opuesto en dirección.
- Que la suma de los esfuerzos normales en cualquier par de planos perpendiculares es una constante para determinado estado de esfuerzo.

Ejercicio 2.16. Encuentre la magnitud del esfuerzo normal y el esfuerzo de cizalla en un plano de falla con rumbo de E-W con echado de 60° al N. Considere que $\sigma_1 = 4.4$ Kb, está orientado N-S y es horizontal y $\sigma_2 = 2.2$ Kb, es vertical. Utilice el círculo de Mohr y las ecuaciones del esfuerzo normal y de cizalla para realizar los cálculos; compare los resultados y diga si es falla normal o inversa.

Ejercicio 2.17. Encuentre el esfuerzo total, el esfuerzo normal y el esfuerzo de cizalla en un plano de falla con rumbo N-S y echado de 50° al W. El esfuerzo mayor $\sigma_1 = 3.0$ Kb, es horizontal y está orientado W-E, mientras que el esfuerzo menor $\sigma_2 = 1.1$ Kb, es vertical.

Ejercicio 2.18. Por medio del círculo de Mohr encuentre las magnitudes y orientaciones de σ_1 y σ_2 a partir de los datos conocidos σ_n y σ_c que actúan en los planos no perpendiculares P y Q. Los esfuerzos σ_n y σ_c que se tienen en P y Q son:

σ_n	σ_c	PLANO
3.28 Kbar	2.10 Kbar	P
2.22 Kbar	-2.10 Kbar	Q

Ejercicio 2.19. Utilizando el círculo de Mohr y las ecuaciones del esfuerzo normal y de cizalla, encontrar el esfuerzo total, el esfuerzo normal y el esfuerzo de cizalla en un plano de falla con rumbo $N45^\circ W$ y echado de 70° al NE. El esfuerzo principal mayor σ_1 tiene una magnitud de 6.0 kb, es horizontal y está orientado al NE 45° , mientras que el esfuerzo menor σ_2 tiene una magnitud de 3.2 kb, es vertical y compresivo. Diga de qué tipo sería la falla resultante.

Ejercicio 2.20. Utilizando el círculo de Mohr y las ecuaciones del esfuerzo normal y de cizalla, encontrar el esfuerzo total, el esfuerzo normal y el esfuerzo de cizalla en un plano de falla con rumbo $S45^\circ E$ y echado de 24° al SW. El esfuerzo principal mayor σ_1 tiene una magnitud de 5.2 kb, es horizontal y está orientado al 45° SW, mientras que el esfuerzo menor σ_2 tiene una magnitud de 2.4 kb y es vertical compresivo. Diga de qué tipo sería la falla resultante.

Ejercicio 2.21. Dadas dos fallas, $N24^\circ W$, $50^\circ W$ y $N48^\circ W$, $76^\circ NE$, y suponiendo que son conjugadas, hallar la orientación de los esfuerzos principales, la dirección y el sentido del salto y el ángulo de rozamiento interno.

Ejercicio 2.22. Dada la falla $N30^\circ E$, $70^\circ W$ de salto predominantemente sinistrogiro y una dirección de salto que con un pitch de 15° al N, hallar las direcciones de los esfuerzos principales con la máxima precisión posible.

Cuestionario 2.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

=====

1. Son fenómenos de atracción y repulsión entre los cuerpos; son producto de una aceleración por una masa:

- | | |
|-------------|--------------------|
| a) Esfuerzo | b) Deformación |
| c) Fuerza | d) Peso específico |

2. Si la fuerza principal que actúa sobre un plano de un sistema rocoso es paralela a la normal del plano, se denomina:

- | | |
|----------------------|--------------------|
| a) Fuerza de cizalla | b) Fuerza cortante |
| c) Fuerza tangencial | d) Fuerza normal |

3. Cuando en un cuerpo rocoso actúan tres esfuerzos principales, siendo mayores a cero, el sistema de esfuerzos es:

- | | |
|-------------|--------------|
| a) Triaxial | b) Biaxial |
| c) Uniaxial | d) Tensional |

4. Son fuerzas que actúan sobre un objeto a distancia y su magnitud depende de la cantidad de materia afectada:

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| a) Fuerza de superficie | b) Fuerza de cuerpo |
| c) Fuerza Natural | d) Fuerza inducida |

5. Cuando los esfuerzos diferenciales acortan un cuerpo, éstos se conocen como esfuerzos:

- | | |
|----------------|-----------------|
| a) De cizalla | b) Compresivos |
| c) Tensionales | d) De extensión |

6. Es la razón de la fuerza total que actúa en un área determinada de un plano:

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| a) Fuerza gravitacional | b) Fuerza de cizalla |
| c) Esfuerzo | d) Dilación |

7. Son esfuerzos que no tienen un eje de aplicación, ya que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo rocoso no son coaxiales:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| a) Esfuerzo compresivo | b) Esfuerzo tensional |
| c) Esfuerzo de cizalla | d) Esfuerzo no cortante |

8. Son las unidades de esfuerzo:

- | | |
|---|---|
| a) [masa] [longitud ⁻¹] [tiempo ⁻²] | b) [masa] [longitud ⁻²] [tiempo ⁻²] |
| c) [masa] [longitud ⁻¹] [tiempo ⁻¹] | d) [masa] [longitud ⁻¹] [tiempo ⁻³] |

9. Un Bar equivale a:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| a) 10 ⁶ Pascales | b) 10 ⁵ Pascales |
| b) 10 ³ Pascales | d) 10 ⁷ Pascales |

10. La magnitud del esfuerzo que actúa sobre la base de una columna de granito que tiene un área de afloramiento de 5 km², un espesor de 3 Km y una densidad media de 2.75 g/cm³, es:

- | | |
|---------------|---------------|
| a) 0.809 Kbar | b) 80.90 Kbar |
| b) 809 Dinás | d) 809 Kbar |

Cuestionario 2.2. Conteste en forma clara y concisa los siguientes conceptos.

=====

1.- Defina los siguientes términos:

- a) Fuerza
- b) Fuerza de cuerpo
- c) Fuerza de superficie
- d) Fuerza normal
- e) Fuerza cortante

2.- Defina los siguientes términos:

- a) Esfuerzo
- b) Esfuerzo diferencial
- c) Esfuerzo compresivo
- d) Esfuerzo tensional
- e) Esfuerzo de cizalla

3. Cite las distintas unidades con las que se pueden expresar:

- a) Fuerza
- b) Esfuerzo
- c) Presión

4.- Describa las principales características del círculo de Mohr para esfuerzos y explique sus ecuaciones.

5. Dibuje de manera esquemática una figura que ilustre cada uno de los siguientes conceptos:

- a) Fuerza normal
- b) Fuerza de cizalla
- c) Fuerza de cuerpo
- d) Fuerza superficial

6. Dibuje de manera esquemática elipsoides de esfuerzo que indiquen:

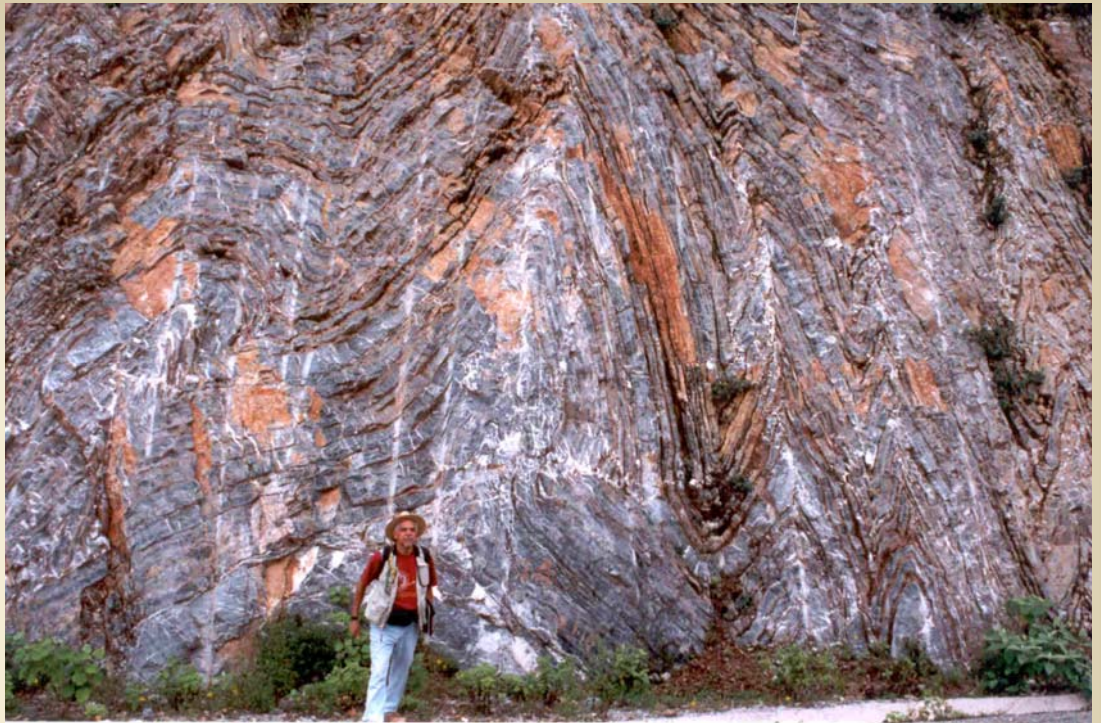
- a) Esfuerzo uniaxial
- b) Esfuerzo biaxial
- c) Esfuerzo triaxial
- d) Esfuerzo hidrostático

7. Explique cuál es el origen de los esfuerzos que dan como resultado estructuras geológicas secundarias.

8. Explique la importancia que tiene la fuerza de gravedad en el sistema Tierra.

9. Explique la importancia que tiene la fuerza magnética en el sistema Tierra.

10. Explique la importancia que tienen las fuerzas de superficie en el sistema Tierra.



Pliegues chevron y kink así como un pliegue conjugado o en caja de la Formación Tamaulipas Superior en el kilómetro 10 de la carretera de la casa de máquinas de la presa hidroeléctrica de Zimapán.



Falla inversa que disloca a la Formación Trancas en la localidad de Arroyo los Martínez en el límite entre Hidalgo y Querétaro.

Deformación

DEFORMACIÓN

El objetivo de este capítulo es investigar los detalles de las características geométricas de los materiales deformados y poder apreciar el por qué en la corteza terrestre existen tan variadas estructuras geológicas.

El estudio de los cambios geométricos de un cuerpo durante la deformación es, probablemente, una de las particularidades más importantes para entender lo que ocurre durante el proceso de deformación de las rocas para poder interpretar las estructuras geológicas que se han producido por fenómenos tectónicos.

La aplicación de una fuerza sobre un cuerpo causa que su masa cambie de posición y/o forma; es decir, las partículas que constituyen su masa cambian de lugar con respecto a un sistema de referencia o cambia de posición internamente y por ende su forma también se modifica. El cambio de posición de las partículas que forman un cuerpo se conoce como desplazamiento.

Las rocas son cuerpos sólidos constituidos por un conjunto de partículas unidas entre sí y que cuando a éstos se les aplica una carga o un esfuerzo se ocasiona un cambio permanente, este cambio se puede expresar como:

- a) **Translación:** Transporte relativo de un cuerpo con respecto a un sistema de ejes coordenados.
- b) **Rotación:** Un giro relativo de un cuerpo con respecto a un sistema de ejes coordenados.
- c) **Distorsión:** Cambio de la forma del cuerpo.
- d) **Dilatación:** Cambio del volumen del cuerpo.

Estas manifestaciones que ocasionan cambios en los cuerpos rocosos, pueden ser agrupadas en dos clases:

Deformación de Cuerpos Rígidos: Ocurre en materiales muy competentes mecánicamente, caracterizándose porque los esfuerzos que actúan sobre ellos ejercen una acción externa, donde se produce una modificación en su estado de reposo o de movimiento con el consecuente cambio de posición de todas las partículas de la masa sin presentar cambio interno alguno con relación a un sistema de ejes coordenados.

Deformación de Cuerpos Plásticos: Ocurre cuando se aplican esfuerzos a cuerpos rocosos causando un cambio de posición de unas partículas con relación a otras dentro del cuerpo.

La deformación se puede definir como la expresión geométrica de la cantidad de cambios causada por la acción de un sistema de esfuerzo sobre un cuerpo. Cuando la deformación es por compresión, en el campo frágil se forman fracturas de cizalla y tensionales, así como fallas inversas o de transcurrancia; en el campo dúctil ocurre un reacomodo de las partículas sin ruptura, formándose pliegues anticlinales y sinclinales. Si consideramos un cuerpo sin deformar (figura 3.1a) al que le aplicamos un sistema de esfuerzos, siendo el esfuerzo principal compresivo, se pueden formar pliegues en el campo dúctil (figura 3.1b) o una falla inversa en el campo frágil (figura 3.1c).

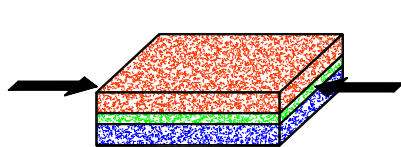


Figura 3.1a

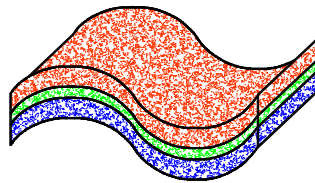


Figura 3.1b

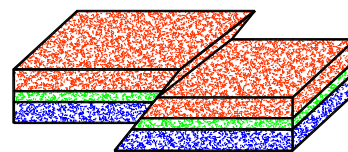


Figura 3.1c

Cuando la deformación se debe a procesos de extensión puede ocurrir adelgazamiento, fracturamiento o fallamiento normal. En la figura 3.2a, se muestra un cuerpo sin deformar al que se le aplica un sistema de esfuerzos, siendo el esfuerzo principal de extensión, el cual puede causar adelgazamiento en el campo dúctil y como consecuencia la formación de una depresión (figura 3.2b). En el campo frágil puede ocurrir fracturamiento o ruptura con desplazamiento originando una falla normal (figura 3.2c).

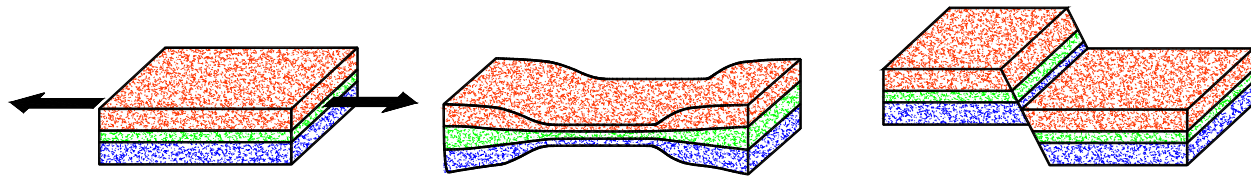


Figura 3.2a

Figura 3.2b

Figura 3.2c

Cuando la deformación es causada por esfuerzos de cizalla se pueden generar pliegues, fracturas, fallas laterales o zonas de cizalla. En la figura 3.3a se muestra una secuencia sin deformar, la cual es afectada por un sistema de esfuerzos, con el esfuerzo principal de cizalla, este puede originar flexiones en el campo dúctil (figura 3.3b) o fracturas y fallas laterales en el campo frágil (figura 3.3c).

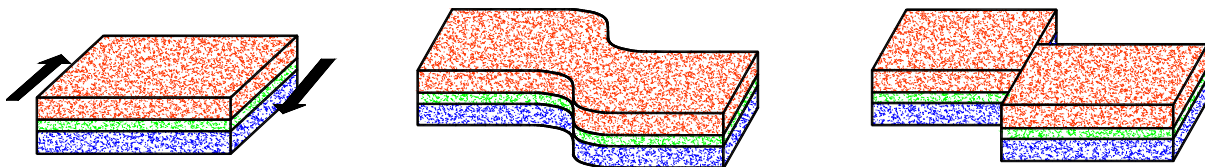


Figura 3.3a

Figura 3.3b

Figura 3.3c

Una distorsión pequeña sobre un cuerpo puede ser reversible, es decir; que el material puede recobrar su forma original cuando se retiren los esfuerzos aplicados; tal deformación es característica de los cuerpos sólidos deformados en el rango elástico. Cuando se rebasa el límite elástico, la roca pierde su cohesión interna y presenta una deformación frágil. Las rocas, sin embargo, presentan deformaciones muy grandes aún mayores que las que presentan los cuerpos elásticos. Las rocas que presentan estas deformaciones muy grandes, son permanentes y sin que presenten superficies de ruptura; es decir que han experimentado una deformación dúctil.

Usualmente la corteza terrestre superior se comporta de forma elástica, mientras que la inferior, de manera plástica; esta última fluye y su forma no se recobra, por lo tanto, la deformación es permanente siendo posible que ésta sea medible.

Para medir la deformación que presentan los cuerpos rocosos deformados se estudian los cambios de longitud de líneas de referencia y los cambios en las relaciones angulares entre dos líneas usadas como referencia; para realizar los cálculos de estos cambios generalmente se emplean los siguientes parámetros:

a) Deformación Unitaria Longitudinal o elongación (e): Para una línea de referencia, es la razón de su cambio de longitud después de la deformación con respecto a su longitud original ($\Delta l/l_0$). Se expresa de la siguiente manera:

$$e = (l_f - l_0) / l_0$$

donde: l_f = Longitud final y l_0 = Longitud original

La **elongación** también llamada **extensión** nos indica, mediante un valor numérico o un porcentaje, el cambio de longitud de una línea en cualquier dirección con relación a una longitud inicial; este cambio puede ser a una longitud mayor o a una longitud más pequeña.

b) Estiramiento (s): Para una línea de referencia, es la razón de su longitud después de la deformación con respecto a su longitud inicial; matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$s = l_f / l_o = (1 + e)$$

Para realizar el cálculo del **estiramiento** se toma como referencia a la unidad y a la fracción que representa la elongación, tal como se indica en la fórmula; por esta razón, el estiramiento de una línea deformada siempre tendrá valores positivos, no importando que las líneas se alarguen o se acorten.

c) Extensión Cuadrática o Elongación Cuadrática Longitudinal (λ): Para una línea de referencia, es el cuadrado del estiramiento. En geología es más práctico hacer los cálculos con este parámetro, el cual se representa matemáticamente de la siguiente forma:

$$\lambda = (l_f / l_o)^2 = (1 + e)^2 = s^2$$

La elongación cuadrática es un concepto alternativo para expresar el cambio de longitud de una línea en donde se involucra a la elongación y al estiramiento, sin embargo, lo más importante es que se puede demostrar que la ecuación de la elipse de deformación toma como referencia estos parámetros, ya que se puede expresar en términos de elongaciones cuadráticas ($x^2 / \lambda_1 + y^2 / \lambda_2 = 1$).

d) Extensión Cuadrática Inversa o Elongación Cuadrática inversa (λ'): Es una forma práctica de expresar el cambio de longitud de una línea y relacionar este valor con la ecuación de la elipse o el elipsoide de deformación; se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda' = (1/\lambda)$$

e) Deformación Tangencial, Cortante o de Cizalla (γ): Es la distancia con que han sido cizalleadas las líneas de una familia dada que se encuentran dentro de un cuerpo rocoso que ha sido deformado. Para fines prácticos se describe como la orientación final de una línea que fue originalmente perpendicular a la familia de líneas deformadas, expresa el cambio de ángulo entre líneas que se intersectan durante el proceso de deformación. Si el ángulo entre dos líneas eran originalmente de 90°, cualquier deflexión del ángulo recto tendrá una **deformación angular** o **ángulo de cizalla** (ω): La deformación tangencial se expresa matemáticamente con la siguiente relación:

$$\gamma = \tan \omega$$

Con la finalidad de simplificar las ecuaciones con las que se expresa la deformación y obtener valores que pueden ser tomados como referencia para un estado deformado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma' = \gamma / \lambda$$

La característica más importante de la ecuación es que al ser utilizada se obtienen los mismos valores pero con signo contrario a lo largo de cualquier dirección perpendicular medida en el material deformado. El valor de (γ') se conoce como parámetro de deformación tangencial, cortante o de cizalla inverso, aunque matemáticamente no lo sea.

Otros conceptos que se utilizan para expresar el tipo de deformación que muestran las rocas, es la **Deformación Homogénea** y **Deformación Heterogénea**; así como

Deformación por Cizalla Pura y Deformación por Cizalla Simple. Para describir y diferenciar estos casos, se toman como referencia criterios geométricos donde se analizan líneas y/o ángulos. Los criterios que se utilizan para diferenciar cada caso son:

a) Deformación Homogénea.

1. Las líneas rectas permanecen rectas después de la deformación.
2. Las líneas paralelas permanecen paralelas después la deformación.
3. Todas las líneas en la misma dirección de un cuerpo deformado tienen valores constantes (e , λ , γ , ω , etc.)

b) Deformación Heterogénea.

1. Las líneas rectas se vuelven curvas después de la deformación.
2. Las líneas paralelas no permanecen paralelas después de la deformación.
3. Para una dirección determinada del cuerpo deformado, los valores (e , λ , γ , ω , etc.) serán variables.

c) Deformación Irrotacional o Cizalla Pura.

Se tiene cuando las orientaciones de los ejes principales de referencia que se reconocen en un cuerpo rocoso no deformado, no cambian cuando el cuerpo ha experimentado deformación, por lo que se describe como deformación irrotacional. El cuerpo se desplaza en una dirección paralela a los ejes coordenados.

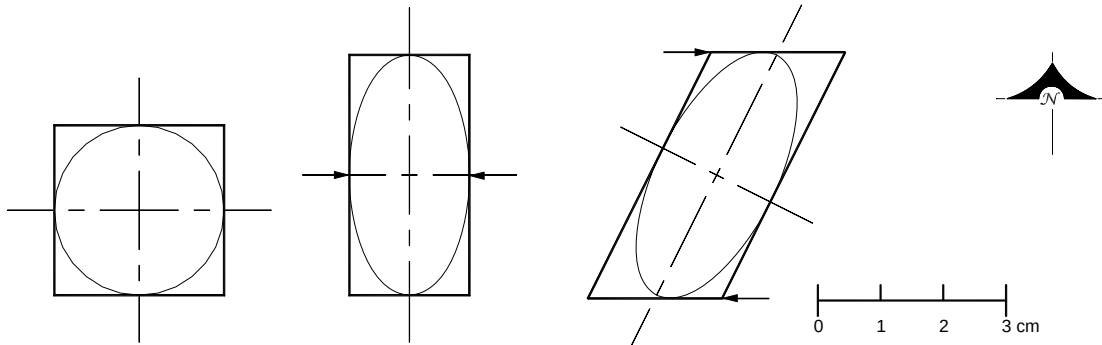
d) Deformación Rotacional o Cizalla Simple.

Se tiene cuando las orientaciones de los ejes principales de referencia que se reconocen en un cuerpo rocoso no deformado sí cambian, cuando el cuerpo ha experimentado deformación, por lo que se describe como deformación rotacional.

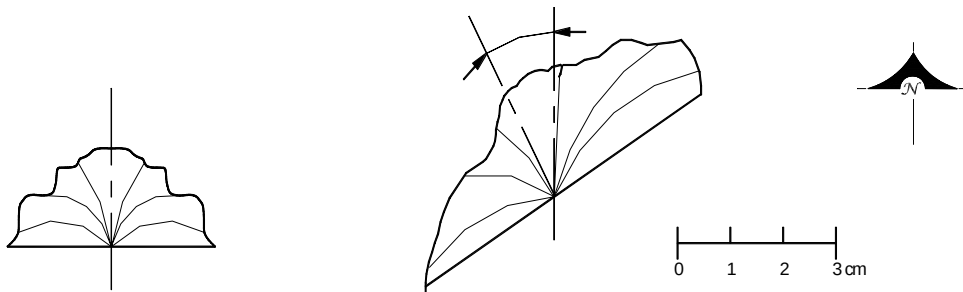
En el momento en que se realiza la medición de algún parámetro de deformación, el cuerpo deformado representa la deformación total producida hasta ese momento, la cual se desarrolló por la suma de una serie de pequeños incrementos a medida que el cuerpo rocoso adquiría diferentes formas y posiciones como respuesta a la magnitud de los esfuerzos aplicados y al tiempo involucrado. Al proceso que involucra pequeños incrementos se le conoce como **Deformación Progresiva** y al producto final como **Deformación Finita**.

Si estudiamos únicamente a la deformación que se reconoce en las rocas, tendremos información valiosa para hacer consideraciones técnicas, científicas y económicas que se asocian con las estructuras geológicas secundarias; sin embargo, para tener una mayor certeza en las interpretaciones, se deben realizar consideraciones cuantitativas y de orientación de los esfuerzos que originaron dichas estructuras. No se puede separar totalmente el estudio de los esfuerzos del estudio de las deformaciones.

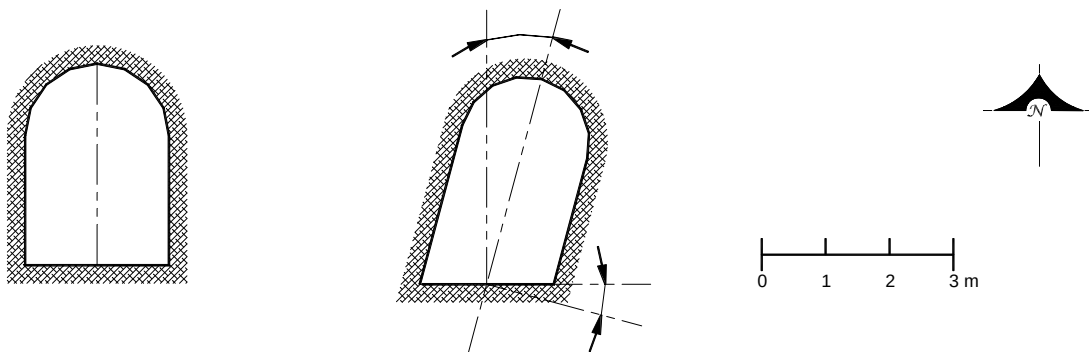
Ejercicio 3.1. Considerando que la figura de abajo (izquierda), representa un estado sin deformar y las otras dos figuras un estado deformado, indique qué tipo de deformación se reconoce y calcule la elongación (ϵ) y estiramiento (s) para los dos casos en la dirección de los ejes de simetría.



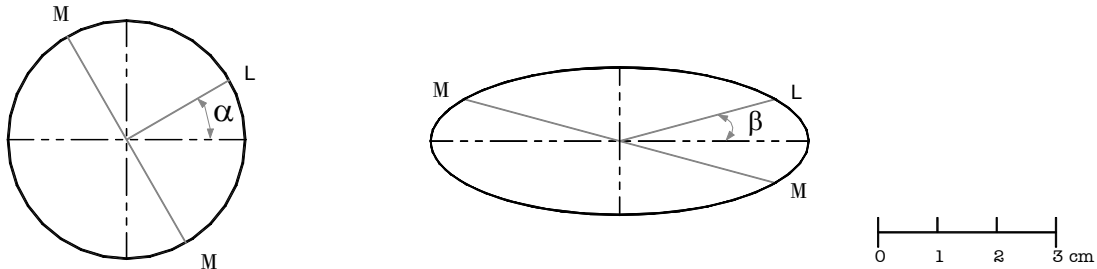
Ejercicio 3.2. En la figura de abajo (izquierda), se tiene un dibujo esquemático de un braquiópodo el cual se deformó como se ilustra en la figura de la derecha; considerando el estado sin deformar y el deformado obtenga los valores de elongación (ϵ), estiramiento (s), elongación cuadrática (λ), el ángulo de cizalla (ω) y la deformación de cizalla (γ).



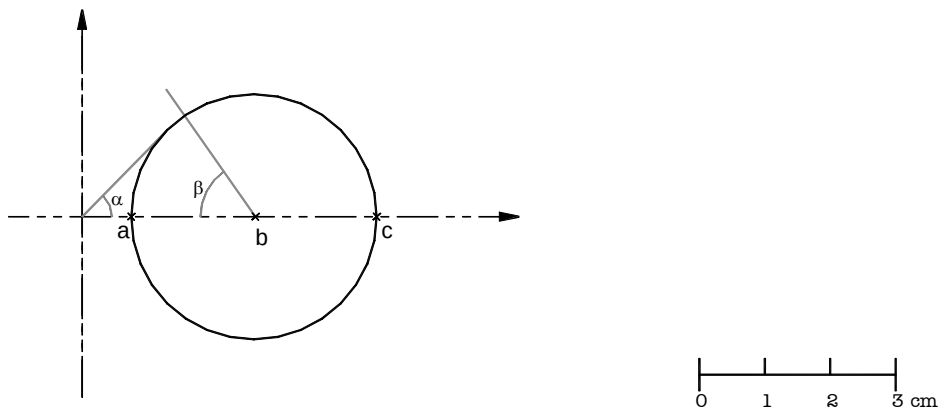
Ejercicio 3.3. La figura de abajo (izquierda) muestra la sección de un túnel antes de la deformación, la figura de la derecha muestra el mismo túnel deformado 20 años después de su construcción. Calcule el valor de elongación (ϵ), estiramiento (s), elongación cuadrática (λ), el ángulo de cizalla (ω) y la deformación de cizalla (γ).



Ejercicio 3.4. En la figura de la izquierda se tiene un círculo en estado no deformado, contiene a la línea L perpendicular a la línea M; en la figura de la derecha se tiene una elipse (estado deformado), producto de la deformación del círculo. Considerando las dos figuras encuentre los valores de elongación (e), estiramiento (s), elongación cuadrática (λ) y el ángulo de cizalla (ψ).

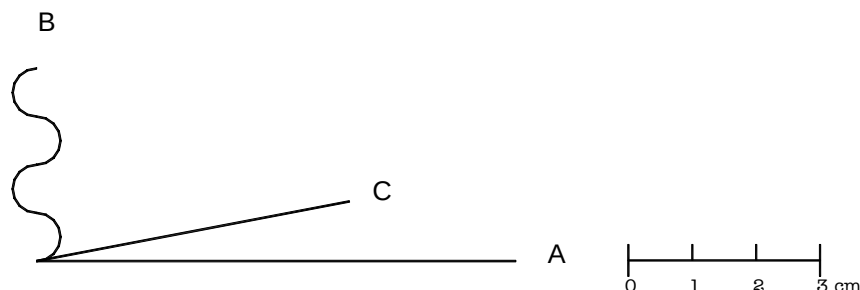


Ejercicio 3.5. Tomando como base la figura que esquematiza al círculo de Mohr, indique todos los parámetros que representan ángulos y magnitudes, elongación (e), estiramiento (s), elongación cuadrática (λ) y el ángulo de cizalla (ψ).



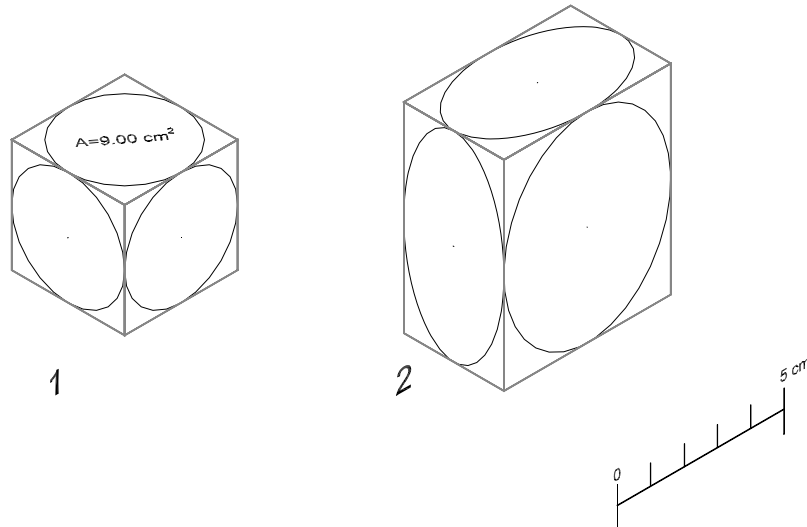
Ejercicio 3.6. Considere que las líneas A y B de la figura representan las elongaciones máxima y mínima respectivamente, y que la elipse que se forma con esos dos ejes de simetría tiene un área igual a la de un círculo antes de la deformación; el ángulo entre A y C antes de la deformación era de 12° .

- Obtenga los valores de elongación (e) para la línea C.
- Obtenga el ángulo de cizalla (ψ) para la línea C.
- Obtenga las direcciones para las cuales no existe elongación.



Ejercicio 3.7. Considere que el cuerpo sin deformar es un cubo (figura 1), en cuyas caras se tienen círculos de 9 cm^2 de área y que el cuerpo deformado (figura 2), es un prisma rectangular en cuyas caras se tienen elipses y las longitudes de sus ejes de simetría se pueden medir en la figura; tomando como base las figuras realice las siguientes actividades:

- Diga si el cuerpo experimentó deformación por cizalla pura o cizalla simple.
- Calcule la elongación (e), el estiramiento (s) y la elongación cuadrática (λ) que tiene el cuerpo deformado en la dirección de los ejes de simetría.
- Calcule el área de cada cubo y el área de cada cara del prisma rectangular, compárelos escribiendo un comentario respecto a la deformación.



Ejercicio 3.8. Considere que el eje mayor de una elipse producto de la deformación de un círculo es de 200 cm y que el eje menor es de 120 cm. Si las áreas del círculo y la elipse son iguales, calcule para el eje mayor y menor:

- La elongación (e)
- El estiramiento (s)
- La elongación cuadrática (λ)

Ejercicio 3.9. Considere que una línea contenida en un estrato de calizas (plano horizontal), en un estado no deformado medía 1.20 cm, al deformarse la línea cambió de longitud a 60 cm. Calcule para la línea deformada:

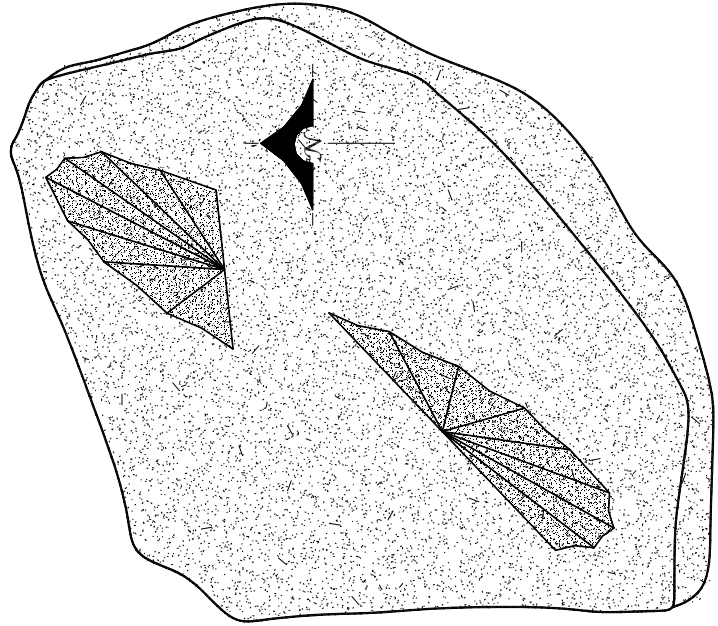
- La elongación (e)
- El estiramiento (s)
- La elongación cuadrática (λ)

Ejercicio 3.10. Considere que una línea contenida en un estrato de areniscas (plano horizontal), en un estado no deformado medía 110 cm; al deformarse la línea cambió de longitud a 180 cm. Calcule para la línea deformada:

- La elongación (e)
- El estiramiento (s)
- La elongación cuadrática (λ)

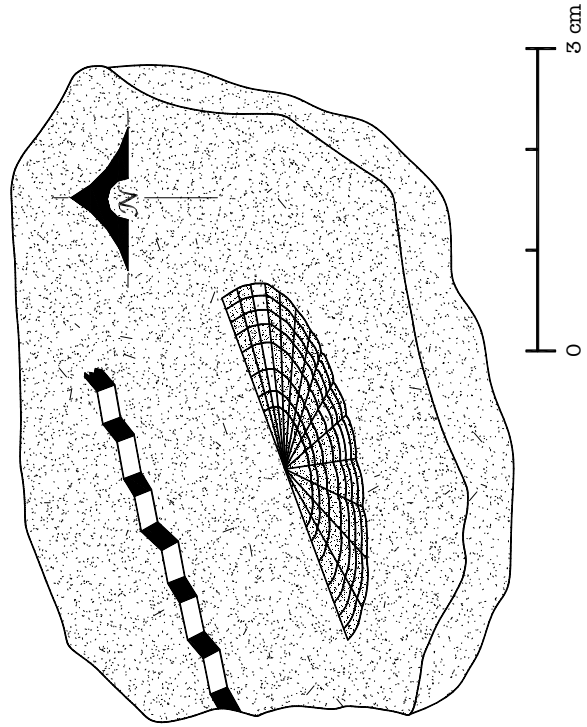
Ejercicio 3.11. En la superficie de estratificación de una secuencia de areniscas deformadas se encontraron dos braquiópodos; suponiendo que sus líneas de charnela eran originalmente iguales (l_0),

- Determine cuál es el ángulo de cizalla (ψ) para cada charnela y su deformación de cizalla (γ).
- ¿Cuál sería la relación entre las elongaciones cuadráticas (λ_1/λ_2), y la orientación de las elongaciones cuadráticas principales?
- Calcule asimismo, la deformación de cizalla en términos de una constante multiplicadora (l_0^2), utilizando el círculo de Mohr, o si prefiere usando el método algebraico (considere que $\lambda' = 1/\lambda$ por lo tanto $\gamma' = \lambda' \tan \psi$).



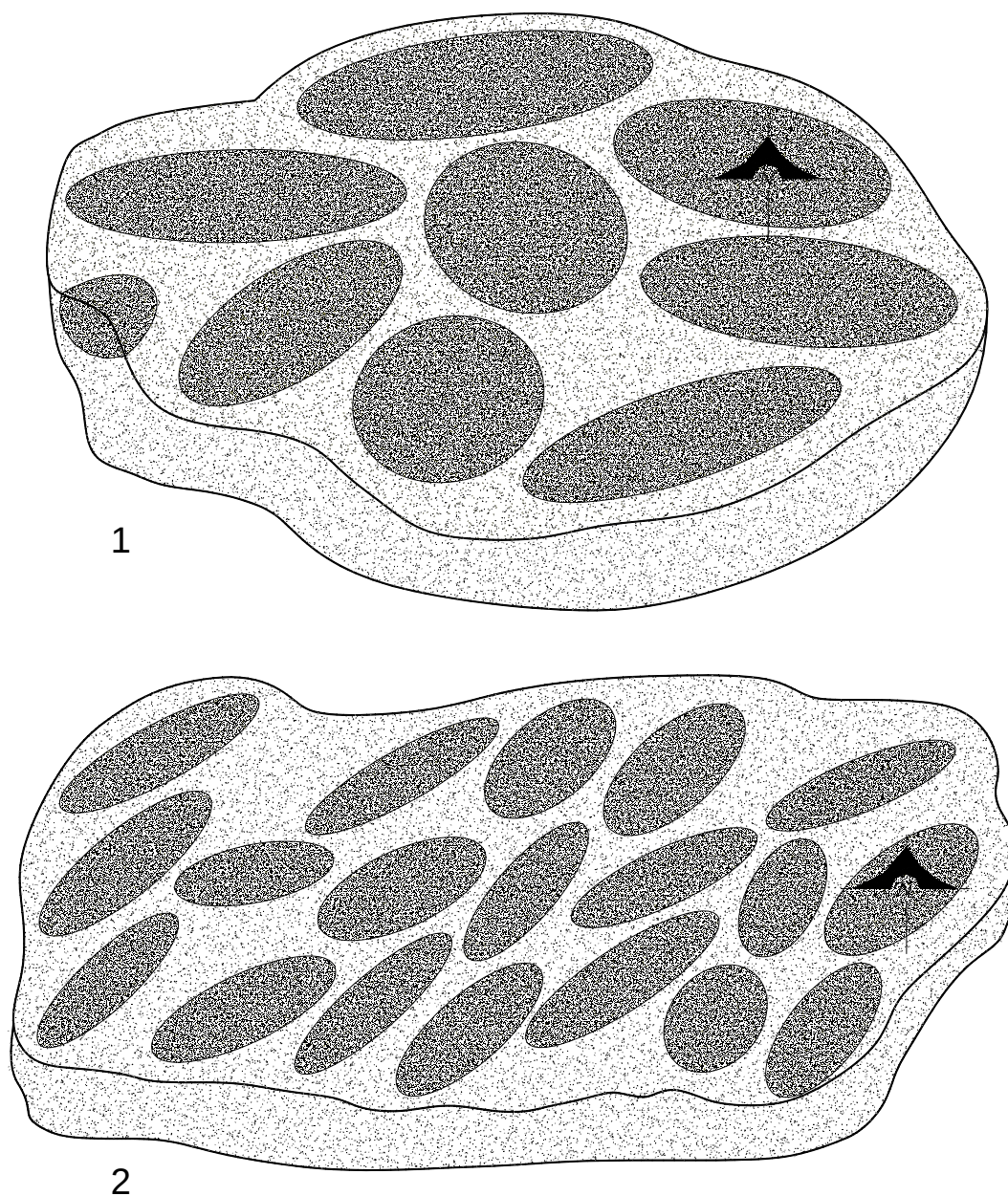
Ejercicio 3.12. En una superficie de estratificación de una secuencia sedimentaria se encontraron dos fósiles deformados (un crinóideo y un braquiópodo), el primero se encuentra desarticulado, presenta extensión y los espacios que se crearon fueron rellenados por calcita. En la dirección de la línea de charnela del braquiópodo determine:

- La elongación o extensión longitudinal (e).
- La deformación logarítmica (ε).
- El estiramiento (s).
- La elongación cuadrática (λ).
- El ángulo de cizalla (ω).
- La deformación de cizalla (γ).



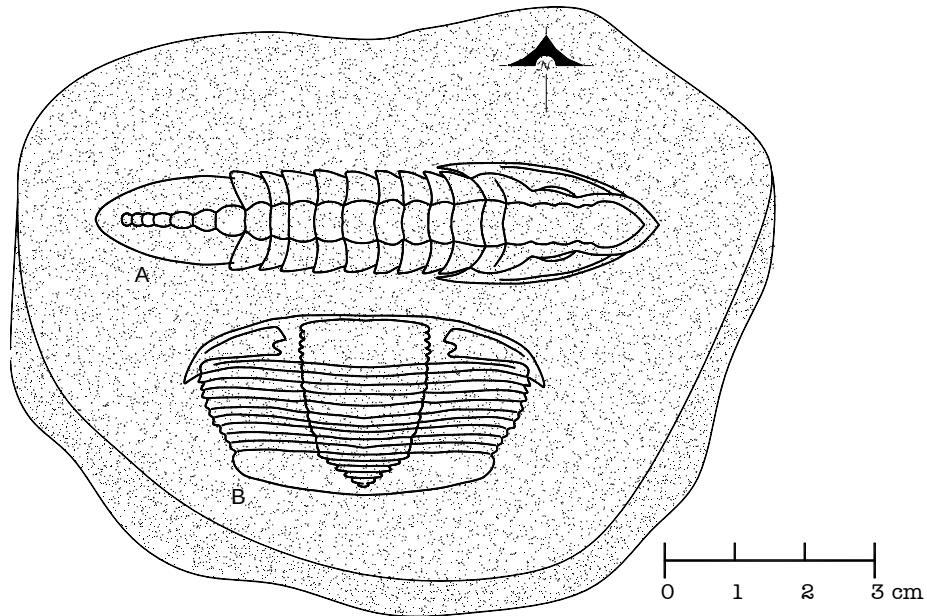
Ejercicio 3.13. En afloramientos distintos se observan dos muestras de roca sedimentaria (figuras 1 y 2) con concreciones de fosforitas que presentan formas elípticas deformadas.

- a) Determine la orientación de $\sqrt{\lambda_1} = (1+e_1)$, $\sqrt{\lambda_2} = (1+e_2)$ y los valores de la relación de los ejes principales de la elipse inicial (R_i), de la elipse final (R_f) y de la elipse superpuesta o tectónica (R_s).
- b) Determine la fluctuación máxima ($\phi_{\max}$). Discuta los resultados.



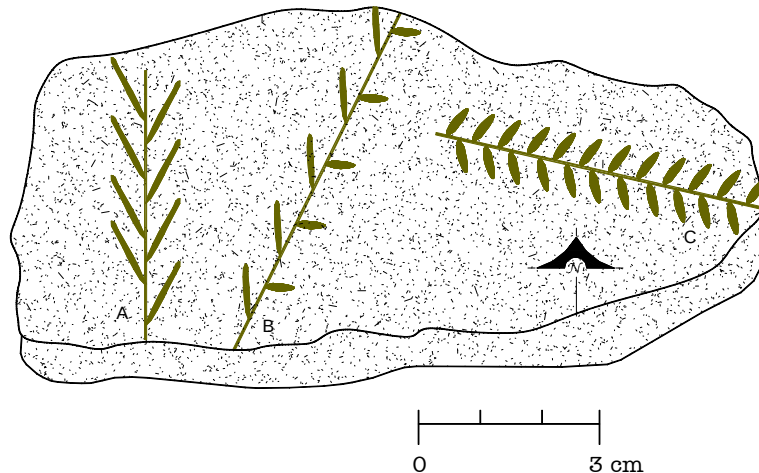
Ejercicio 3.14. En un estrato de una secuencia siliciclástica plegada, se encontraron los trilobites A y B. Suponiendo que son del mismo género y que la diferencia de forma se debe al resultado de una deformación, realice las siguientes actividades:

- Determine la magnitud de la deformación en la dirección de los ejes de simetría de los fósiles y compárelos.
- Con métodos gráficos reconstruya las formas de los fósiles antes de la deformación.



Ejercicio 3.15. En una superficie estratificada de areniscas de grano fino del Jurásico, se encontraron tres helechos fosilizados, deformados e identificados como A, B y C, para los cuales:

- Calcule el ángulo de cizalla (ω) para los tres helechos.
- Deduzca las direcciones de las deformaciones principales en la superficie de estratificación.
- Determine el ángulo más probable en el que se encontraban las hojas con respecto al tallo antes de la deformación.



Ejercicio 3.16. El mapa (figura A) muestra un conjunto de afloramientos tanto de rocas volcánicas cizalladas por una falla, como de areniscas suprayaciendo a las anteriores en forma discordante.

Las rocas volcánicas contienen pequeñas vesículas esféricas y subesféricas y se encuentran cortadas por un dique mineralizado que también ha sido afectado por la falla. En una zona de aproximadamente 450 m las rocas volcánicas se han deformado, quedando las vesículas en forma elipsoidal donde los ejes mayores y menores se encuentran sobre un plano horizontal como se observa en la figura B de la siguiente página.

Se colectaron los ejemplares A, B, C, D, E y F (figura B), en diferentes localidades de la zona deformada y posteriormente se mandaron a pulir para mostrar una sección elíptica (todas las secciones pulidas son horizontales y fueron cuidadosamente orientadas). Determine cuál es la dirección y sentido de movimiento en la zona de cizalla (figura A). Midiendo la forma y orientación de las secciones de las elipses (figura B), determine la cantidad de cizalla a través de la zona deformada y estime la posición del dique mineralizado en el otro lado de la zona de falla.

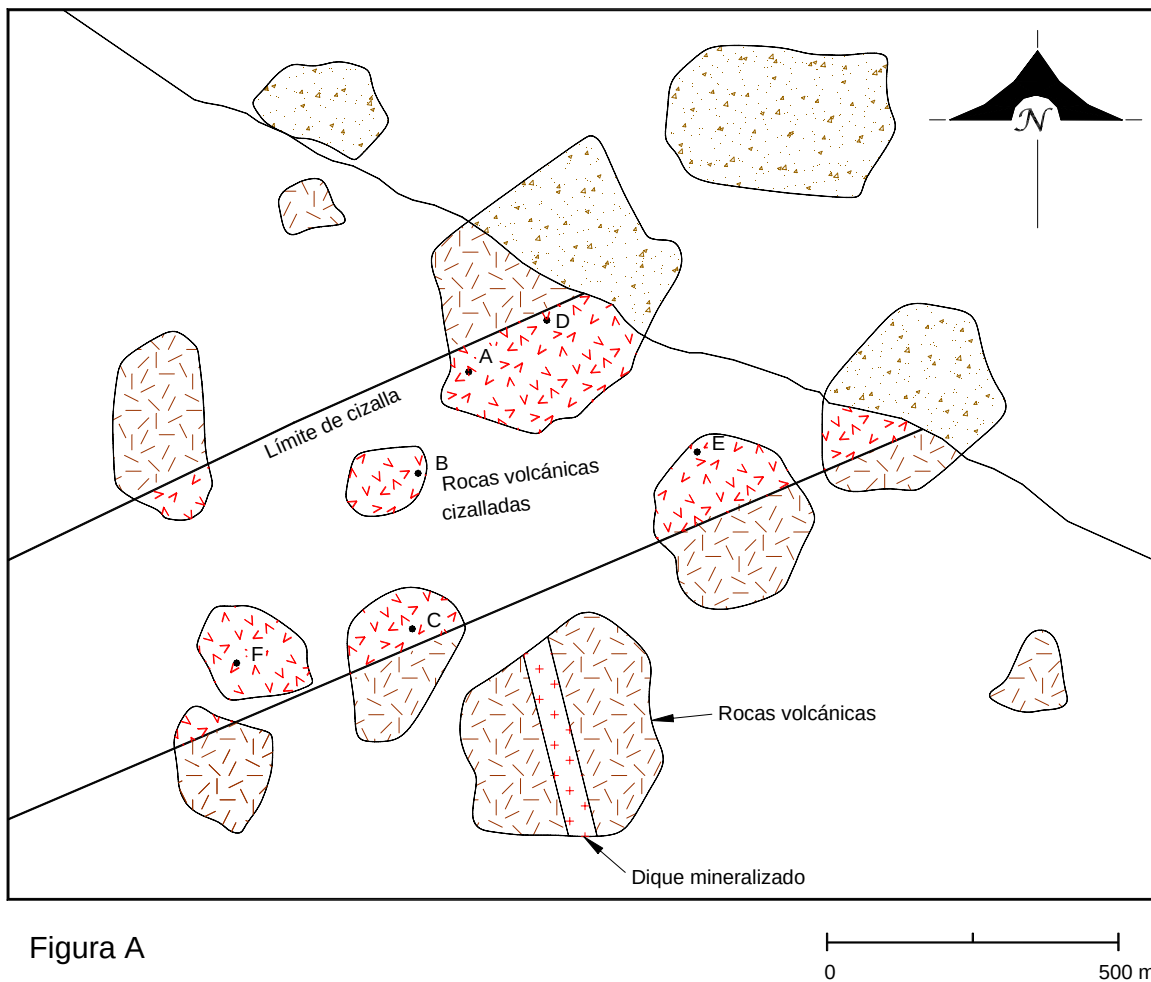


Figura A

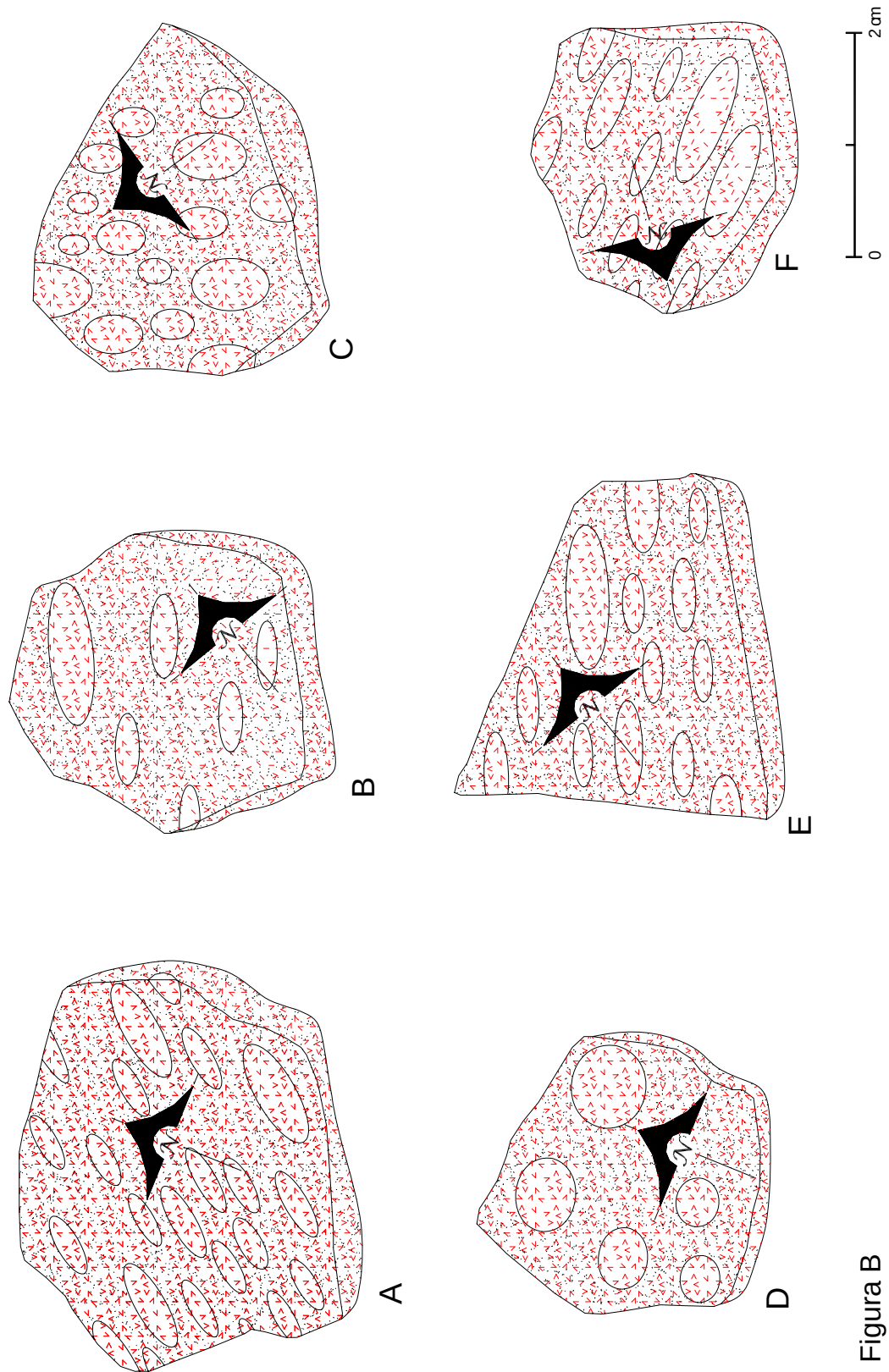
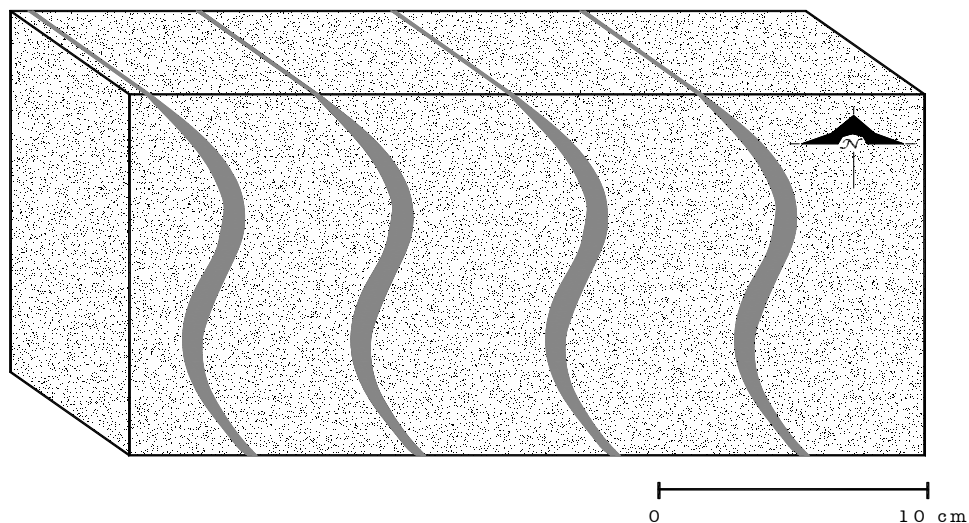
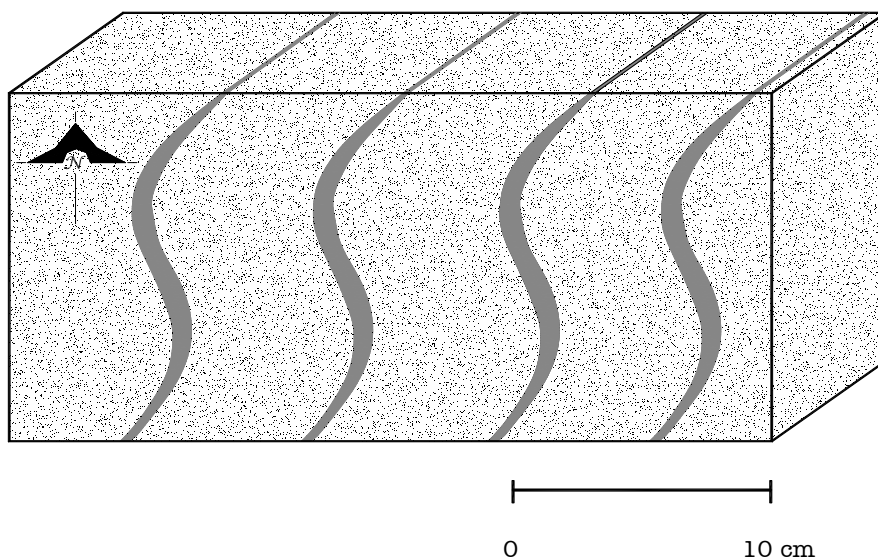


Figura B

Ejercicio 3.17. La figura muestra una sección de fracturas de tensión escalonada, plegadas en forma sigmoidal dentro de una zona de cuarcitas. Se desarrollaron por un mecanismo de cizalla simple, que además se formaron con un ángulo de 135° con la dirección de cizalla. Considerando que la muestra se ha rotado para que la cara frontal muestre su dimensión real, calcule y registre en una gráfica la deformación de cizalla dentro del área de la cara frontal.



Ejercicio 3.18. La figura muestra una sección de fracturas de tensión escalonada, plegadas en forma sigmoidal dentro de una zona de cuarcitas. Se desarrollaron por un mecanismo de cizalla simple, que además se formaron con un ángulo de 120° con la dirección de cizalla. Considerando que la muestra se ha rotado para que la cara frontal muestre su dimensión real, calcule y registre en una gráfica la deformación de cizalla dentro del área de la cara frontal.



Cuestionario 3.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

=====

1. Cuando ocurre deformación frágil o dúctil en las rocas, ésta no se puede expresar como:
a) Cambio de longitud b) Cambio de volumen
c) Cambio de forma d) Cambio de composición
2. Cuando las orientaciones de los ejes principales de deformación no cambian durante la deformación, se tiene:
a) Cizalla pura b) Elongación cuadrática
c) Cizalla simple d) Rotación cuadrática
3. Si una roca cambia de forma como producto de deformación, se dice que experimentó:
a) Traslación b) Rotación
c) Distorsión c) Dilatación
4. Para una línea de referencia, se define como la razón de su longitud después de la deformación con respecto a su longitud inicial [$s = l_f / l_o = (1 + e)$]:
a) Deformación unitaria b) Elongación
c) Estiramiento d) Extensión cuadrática
5. Cuando un cuerpo de roca que contiene líneas rectas y paralelas sufre alguna deformación, puede ocurrir que las líneas rectas permanezcan rectas y las líneas paralelas permanezcan paralelas después de la deformación, a esto se la conoce como:
a) Deformación cuadrática b) Deformación heterogénea
c) Deformación homogénea d) Deformación elástica
6. Es el cambio de alguna o algunas de las siguientes características que experimentan los cuerpos rocosos: forma, volumen, orientación y posición.
a) Esfuerzo b) Deformación
c) Compresión d) Extensión
7. Al proceso que involucra pequeños incrementos en la deformación se le conoce como deformación progresiva y al producto final se le denomina:
a) Deformación mínima b) Deformación finita
c) Deformación infinita d) Deformación total
8. Cuando se deforma un sistema rocoso, originando un cambio de posición definitivo de las partículas dentro del cuerpo, sin ruptura, se dice que ocurrió deformación de cuerpos:
a) Elásticos b) Rígidos
c) Frággiles d) Plásticos
9. Algunos factores que controlan el comportamiento de la deformación de las rocas son:
a) El agua, el viento y el clima b) El plegamiento, la erosión y el intemperismo
c) El rumbo y el echado d) Temperatura, tipo de roca, presión confinante, presión intersticial y velocidad de deformación
10. Cuando la orientación de los ejes principales de deformación sí cambia de dirección durante la deformación, se tiene:

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| a) Cizalla pura | b) Elongación cuadrática |
| c) Cizalla simple | d) Rotación cuadrática |

Cuestionario 3.2. Lea y conteste lo que se formule, de forma clara y concisa.

=====

1. ¿Qué es deformación?
2. ¿Cuántos tipos de deformación se reconocen en las secuencias deformadas? ¿Cuáles son los criterios geométricos para definir las y describirlas?
3. ¿Cuáles son las expresiones matemáticas, con sus respectivas unidades, de los siguientes conceptos?
 - a) Deformación unitaria o elongación (ϵ)
 - b) Estiramiento (s)
 - c) Extensión o elongación cuadrática (λ)
 - d) Deformación tangencial o de cizalla (γ)
 - e) Cizalla angular (ψ)
4. ¿Qué tipos de evidencias indican que los esfuerzos que causan deformación continúan activos dentro de la Tierra?
5. ¿Cuáles son las principales diferencias entre deformación homogénea y deformación heterogénea?
6. ¿Cómo se conceptualizan los siguientes términos?
 - a) Distorsión
 - b) Deformación finita
 - c) Deformación angular
 - d) Dilatación
 - e) Rotación
7. ¿Cuáles son las principales características de la elipse de deformación?
8. ¿Qué es "boudinage", cómo se forma y qué indica?
9. ¿Cuáles son las principales características del círculo de Mohr para deformación?
10. ¿Cómo se representa esquemáticamente los siguientes casos?
 - a) Cizalla pura o deformación irrotacional
 - b) Cizalla simple o deformación rotacional
11. ¿Cuáles son las principales diferencias entre deformación de cuerpos rígidos y deformación de cuerpos plásticos?
12. ¿Cuáles son las principales diferencias entre deformación progresiva y deformación finita?

4



Estratos inclinados de Calizas Wackstone de la Formación Coyotepec, en el Arroyo Grande, al norte de Otlaltepec, Puebla, en los que alumnos miden con el báculo, el espesor de la formación.



Estratos inclinados de Caliza Wackstone con bandas de pedernal de la Formación Tamaulipas Superior, en las proximidades de Oyotoxco, Veracruz.

Rumbo y echado

RUMBO Y ECHADO

Las rocas cuando son sometidas a esfuerzos traen como consecuencia, cuando se rebasa su límite elástico, procesos de deformación que generan estructuras a escalas diferentes, con diversas formas, geometría y orientación. Casi siempre, estas estructuras se pueden asociar a elementos geométricos como planos, líneas y puntos. Para describir, cartografiar y caracterizar algunos atributos de estas estructuras se emplean elementos de orientación que permiten conocer su posición en el espacio.

La actitud de un plano estructural (capa, estrato, falla, fractura, foliación, etc.), puede ser expresada por conceptos que nos indican hacia dónde se inclina ese plano y con qué intensidad lo hace.

Orientación es el término que nombra la disposición de un plano o línea estructural en el espacio, está relacionada con coordenadas geográficas y con un plano horizontal. Son componentes de la orientación para planos estructurales tanto el rumbo como el echado.

El **rumbo (γ)**, es el ángulo que se forma entre una línea horizontal contenida en un plano estructural y una dirección de coordenadas específicas, por lo general el norte o sur geográficos (figura 4.1).

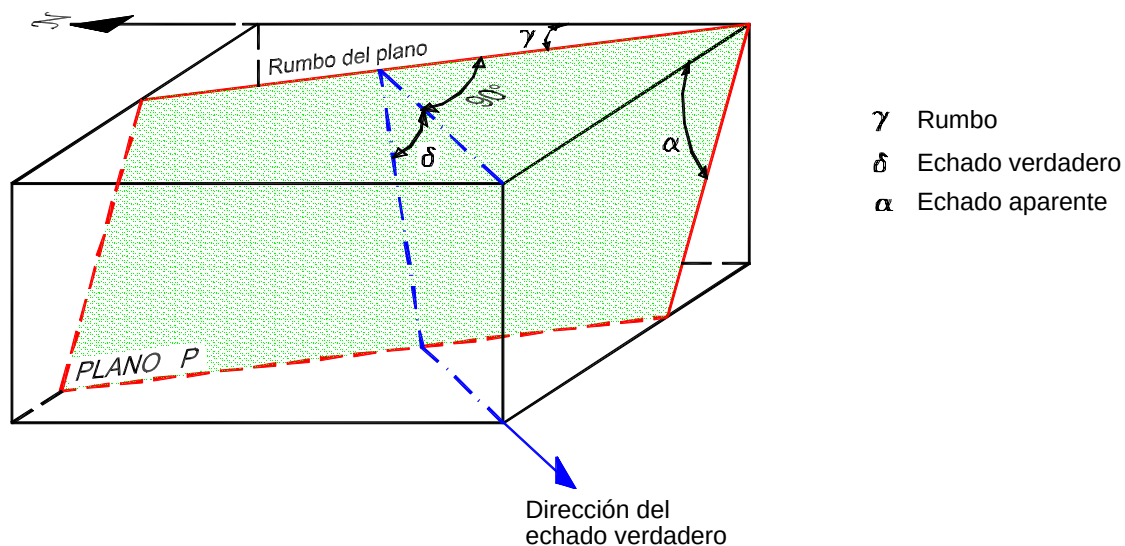


Figura 4.1

El rumbo se mide con una brújula utilizando cuadrantes (NE, SE, SW y NW) o de forma azimutal (0° a 360°). En ambos casos se puede utilizar la notación de pínula a la derecha cuando se emplea una brújula tipo Brunton. El rumbo del plano se mide colocando la pínula mayor hacia la derecha del observador viendo al plano de frente (el plano se inclina hacia el observador). Otra manera de reconocer el rumbo, del plano inclinado con la pínula a la derecha, es realizando la medida a partir de la dirección del rumbo, donde con un giro de 90° en sentido de las manecillas del reloj, se localiza la pínula mayor. En la figura 4.2 se ilustra el caso de un plano con rumbo de $S35^\circ E$ y echado de 60° al SW, en el que se indican con flechas el giro correcto ($S35^\circ E \rightarrow 60^\circ$) y los giros incorrectos cuando se utiliza la notación de pínula a la derecha. Nótese que se sigue el sentido en que giran las manecillas del reloj.

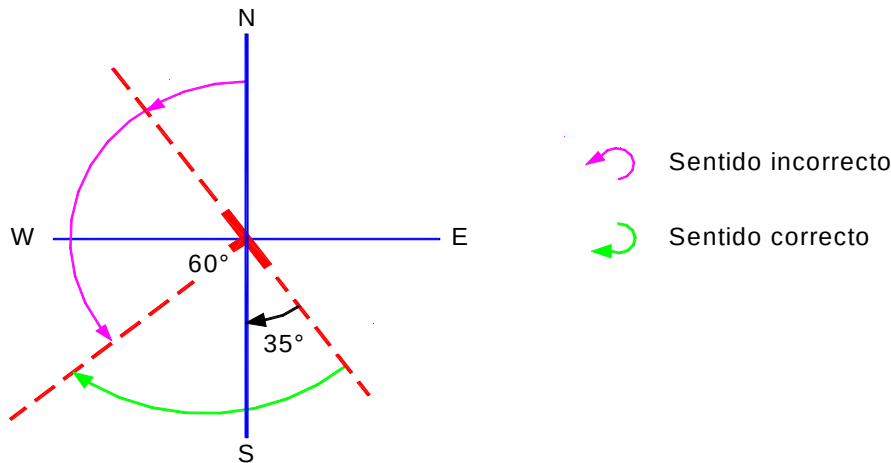


Figura 4.2

Otra forma de conocer la orientación del plano es midiendo su ángulo de máxima pendiente y la dirección de la proyección a la horizontal de línea de máxima pendiente con referencia al norte o sur geográficos.

El **echado verdadero (δ)** corresponde al ángulo de máxima pendiente formado entre el plano horizontal y el plano estructural; la dirección del echado verdadero siempre es perpendicular al rumbo (figura 4.1). El valor de echado en el mismo plano estructural es constante y varía entre 0° y 90° .

En la siguiente tabla se muestran los datos de rumbo y echado de dos planos estructurales con sus distintas notaciones. En la primera columna se expresa como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC); en la segunda como Pínula Mayor a la Derecha (PD); en la tercera en forma Azimutal (Az); la cuarta como inclinación y dirección de la línea de Máxima Pendiente y la quinta en forma Azimutal con echado y dirección de Echado Verdadero (ISRM). En el último caso es tomada como referencia la Descripción Cuantitativa de las Discontinuidades (ISRM, 1982), la que sugiere representar de manera azimutal la dirección del echado verdadero con tres dígitos (000° a 360°) y el echado con dos dígitos (00° a 90°).

En la tabla 4.1 se ejemplifican los casos de rumbos y echados de dos planos estructurales inclinados con sus distintas notaciones. Estos mismos casos se ilustran mediante su representación gráfica en las figuras 4.3a y 4.3b.

RIC	PD	Az	IDMP	ISRM
NW35°SE 60°SW	S35°E 60°	145° 60°SW	60° 55°SW	60° 235°
NE40°SW 55°SE	N40°E 55°	40° 55°SE	55° 50°SE	55° 130°

Tabla 4.1. Ejemplos de rumbos y echados con sus distintas notaciones

La notación que se utiliza para representar los rumbos y echados de planos estructurales inclinados es muy variada y está en función de los objetivos del usuario, sin embargo se puede utilizar cualquiera de las antes mencionadas, siempre y cuando se tenga claro el concepto y se indique qué notación se está empleando.

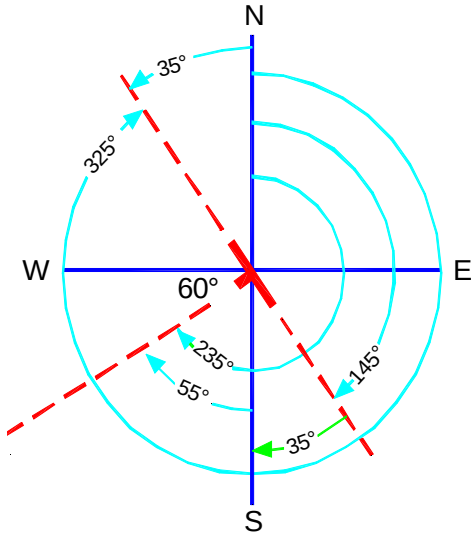


Figura 4.3a

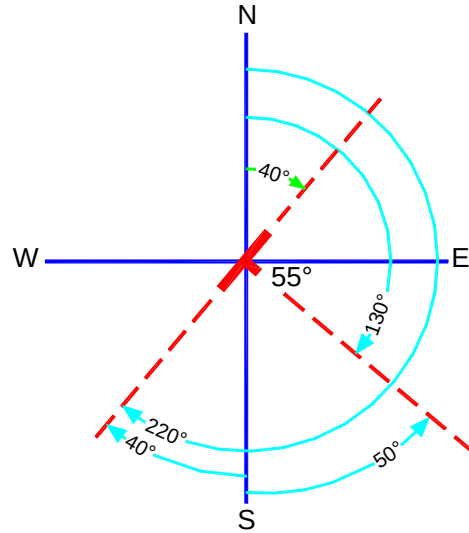


Figura 4.3b

El **echado aparente (α)** es un ángulo cualquiera que no sea el de máxima pendiente. Se forma entre el plano estructural analizado y un plano horizontal en una dirección diferente a 90° con relación al rumbo del plano (figura 4.1). Un plano estructural inclinado tiene “n” echados aparentes en diferentes “n” direcciones.

La actitud de las líneas estructurales (estrías, líneas de charnela, lineaciones minerales, etc.), puede ser caracterizada y orientada por su dirección de inclinación, su **buzamiento**, así como por el cabeceo.

El **buzamiento o plunge (θ)** de una línea estructural cualquiera es el ángulo que se forma entre esa línea y el plano horizontal (figura 4.4). La dirección de buzamiento de esa línea es el ángulo horizontal que se forma entre la proyección a un plano horizontal de esa línea y el norte o sur geográficos.

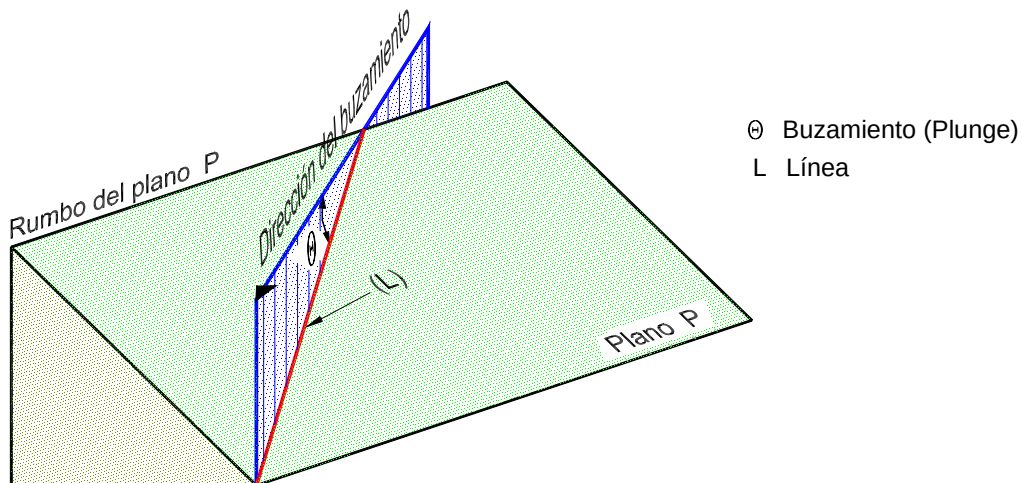


Figura 4.4

El **cabeceo o pitch** (φ) es el ángulo que se forma entre una línea estructural contenida en un plano inclinado y el rumbo del plano o una línea horizontal de las muchas que se pueden definir en el mismo plano (figura 4.5).

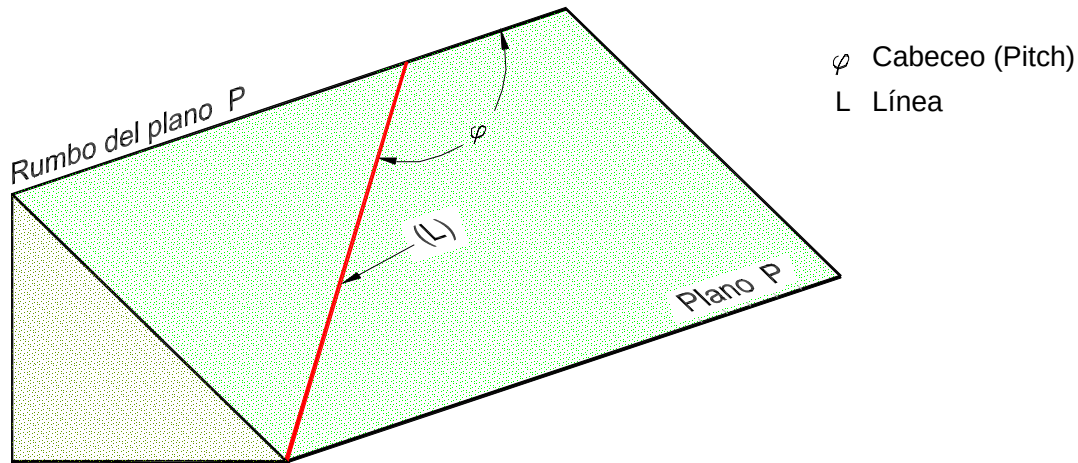


Figura 4.5

En los mapas geológicos se indica el rumbo y echado de estratos inclinados, trazando una línea larga orientada en la dirección del rumbo y una línea corta perpendicular a la primera, partiendo del centro y en la dirección de inclinación del plano (λ).

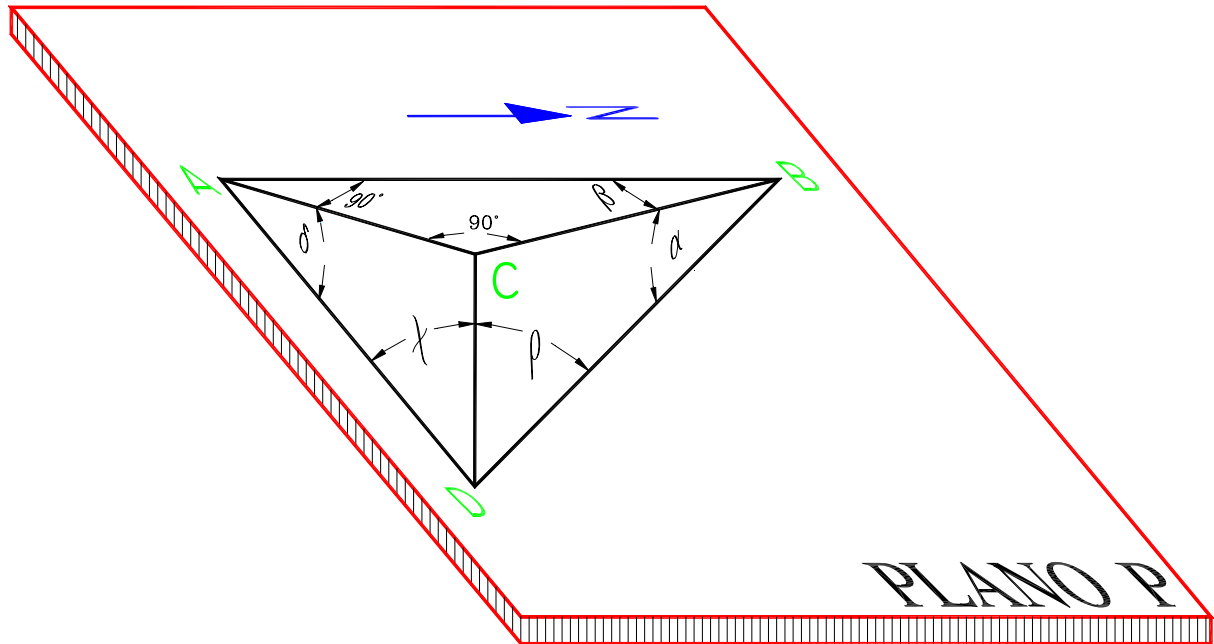
Los ejercicios de este capítulo tienen la finalidad de favorecer el manejo de líneas y planos estructurales desde varios puntos de vista.

Por otro lado, en relación con cuerpos geológicos tabulares, conociendo la topografía en donde afloran, la pendiente del terreno, el rumbo, el echado y los contactos inferior y superior, se pueden calcular los espesores (potencia) a partir de distintas relaciones geométricas.

En este capítulo se plantean, en la primera parte, diversos ejercicios sobre orientaciones de planos y líneas estructurales y en la parte final ejercicios sobre el cálculo de espesores a partir de diversas consideraciones topográficas y geológicas.

Ejercicio 4.1. Tomando como base la figura siguiente, en la que se tiene un plano inclinado P, un plano horizontal A, B, C; dos planos verticales A, C, D y B, C, D; Indique:

- Rumbo.
- Echado.
- Echado aparente.
- Cabeceo (Pitch) para las líneas A-D y B-D.
- Ángulo entre las líneas A-C y B-D.

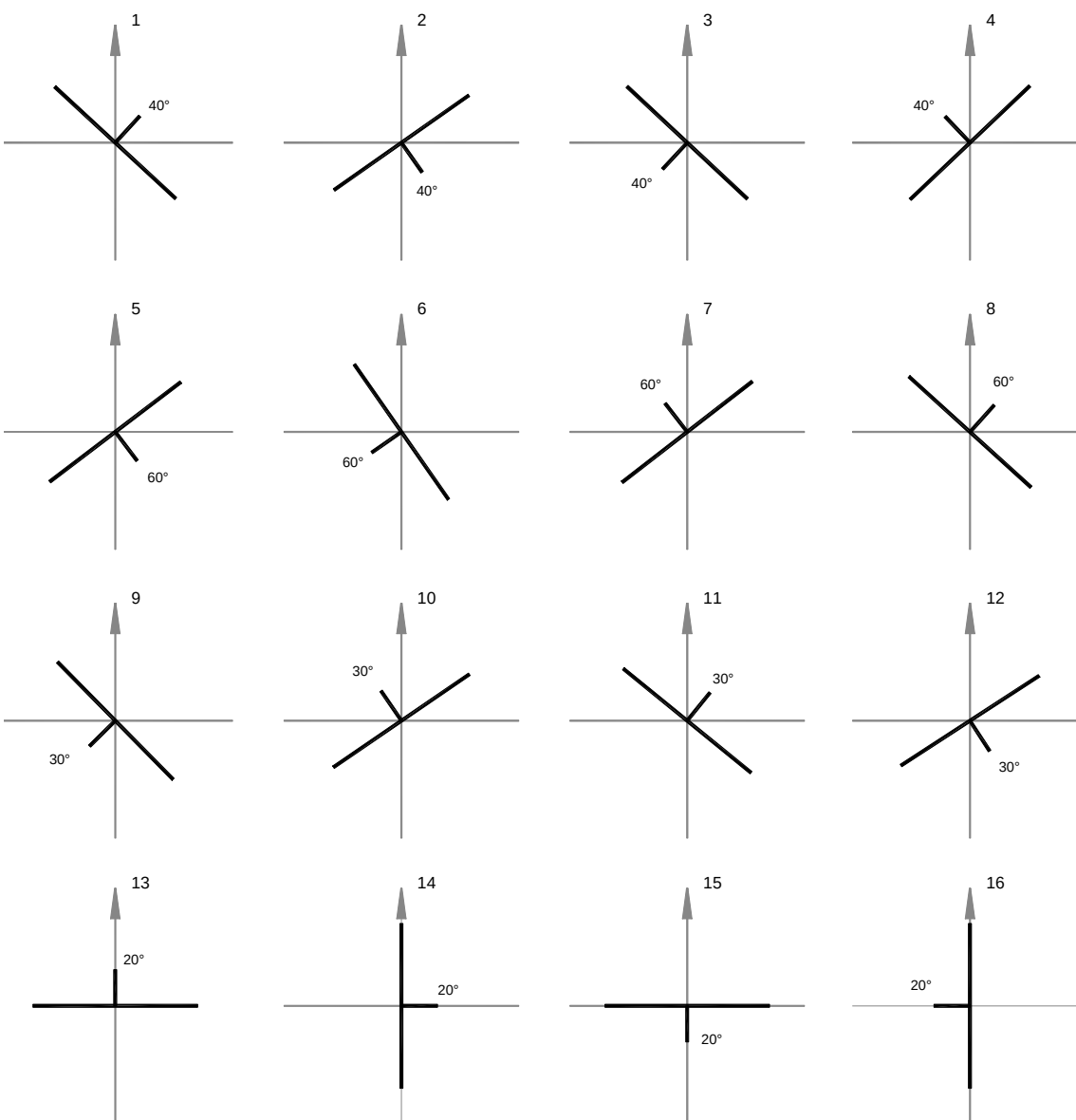


Ejercicio 4.2. Deduzca la fórmula para calcular el echado aparente en una dirección cualquiera de un plano inclinado. ¿Qué parámetros intervienen?

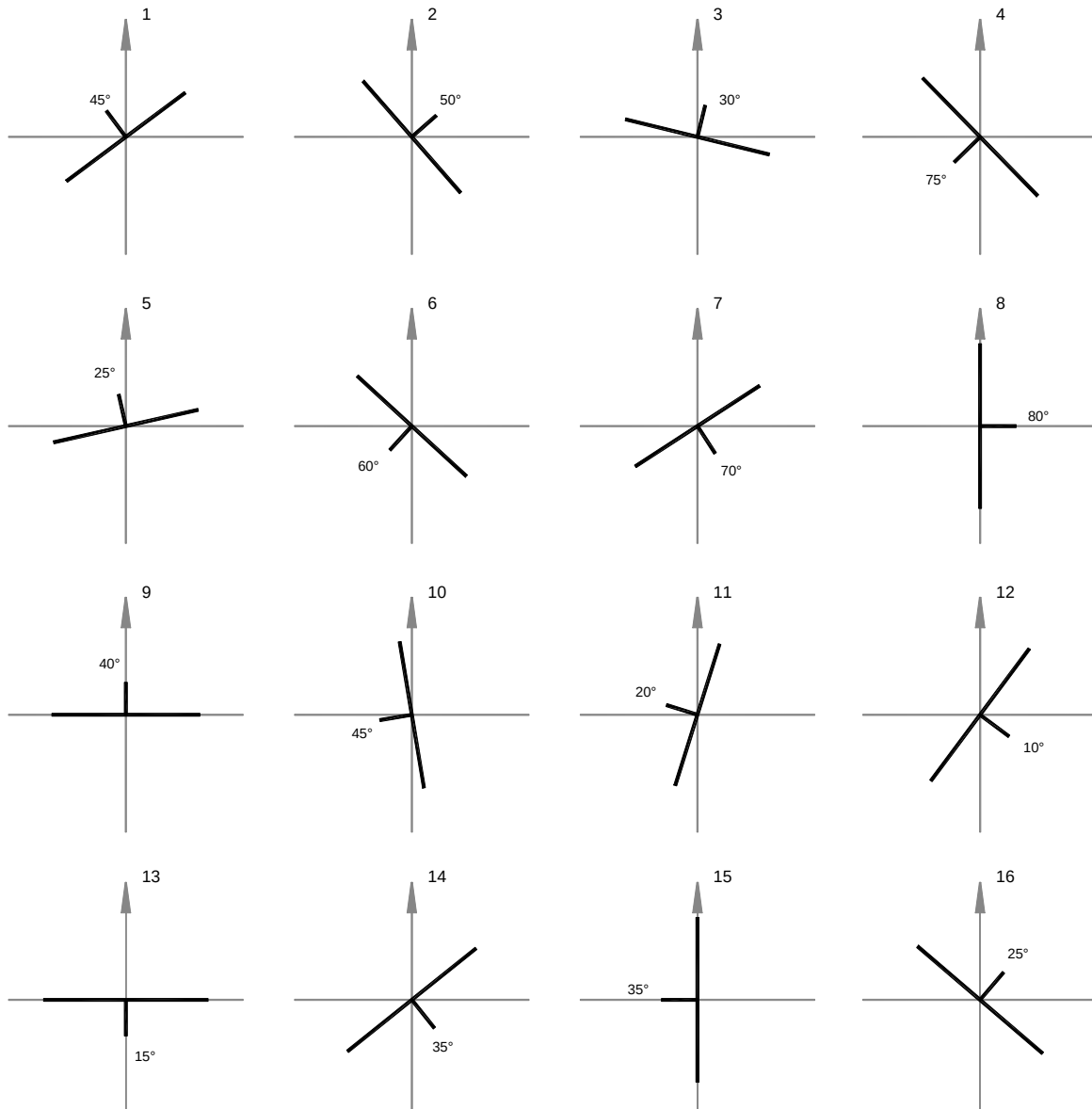
Ejercicio 4.3. Para los siguientes datos de rumbo y echado, medidos según la regla de pínula a la derecha, determine la dirección del echado.

- N20°E 30°
- S38°W 12°
- N15°W 21°
- S35°E 40°
- S28°W 23°
- S49°E 52°
- S15°W 02°
- N39°E 17°
- N17°W 89°
- S03°E 15°
- N06°E 70°
- S05°E 87°
- N88°W 06°
- S79°E 39°

Ejercicio 4.4. Tomando como base los datos de rumbo y echado de las siguientes figuras, elabore una tabla con cinco columnas y 16 renglones, de tal forma que en un mismo renglón aparezca la misma información de orientación estructural. En la primer columna aparecerá como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC), en la segunda como Pínula Mayor a la Derecha (PD), en la tercera en forma Azimutal (Az), en la cuarta como Inclinación y Dirección de la Línea de Máxima Pendiente (IDMP) y finalmente la quinta con Echado y Dirección del Echado de manera Azimutal (ISRM).



Ejercicio 4.5. Tomando como base los datos de rumbo y echado de las siguientes figuras, elabore una tabla con cinco columnas y 16 renglones, de tal forma que en un mismo renglón aparezca la misma información de orientación estructural. En la primer columna aparecerá como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC), en la segunda como Pínula Mayor a la Derecha (PD), en la tercera en forma Azimutal (Az), en la cuarta como Inclinación y Dirección de la Línea de Máxima Pendiente (IDMP) y finalmente la quinta con Echado y Dirección del Echado de manera Azimutal (ISRM).



Ejercicio 4.6. Considerando que la información que aparece en la tabla corresponde con planos estructurales, complete las columnas de tal forma que en un mismo renglón, aparezca la misma información estructural de una superficie expresada en la primera columna como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC); en la segunda como Pínula Mayor a la derecha (PD); en la tercera en forma Azimutal (Az), en la cuarta como Inclinación y Dirección de la Línea de máxima pendiente (IDPM) y en la quinta con Echado y Dirección del Echado de forma Azimutal (ISRM).

RIC	PD	Az	IDPM	ISRM
S55°E 34°SW				
S86°W 48°NW				
S02°W 76°NW				
S89°E 25°SW				
S17°W 54°SE				
N33°E 64°SE				
N12°W 10°SW				
S02°E 04°NE				
	N75°W 35°			
	N73°W 12°			
	N28°E 39°			
	N09°E 25°			
	S40°E 88°			
	S23°W 81°			
	S62°E 20°			
	S55°W 44°			
		24° 19°		
		165° 64°		
		65° 32°		
		79° 52°		
		01° 43°		
		315° 67°		
		97° 12°		
		172° 71°		
			75° NW08°	
			21° SE71°	
			68° NE49°	
			14° SW62°	
			78° SE10°	
			06° SW48°	
			49° NW49°	
				65° 355°
				66° 008°
				20° 060°
				35° 110°
				12° 129°
				77° 297°
				60° 235°

Ejercicio 4.7. Considerando que la información que aparece en la tabla corresponde con planos estructurales, complete las columnas de tal forma que en un mismo renglón, aparezca la misma información estructural de una superficie expresada en la primera columna como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC), en la segunda como Pínula Mayor a la derecha (PD), en la tercera en forma Azimutal (Az), en la cuarta como Inclinación y Dirección de la Línea de Máxima Pendiente (IDMP) y en la quinta con Echado y Dirección del echado de forma azimutal (ISRM).

RIC	PD	Az	IDMP	ISRM
SE35°NW 46°NE				
SW66°NE 38°SE				
SW06°NE 86°NW				
SE90° NW 30°NE				
SW15°NE 64°SE				
NW20°SE 60° NE				
NW70°SE 05°SW				
NE37°SW 62°SE				
	SW 43° 89°			
	NW65° 35°			
	NW73° 10°			
	SE 28° 39°			
	NE 09° 25°			
	NE 70° 69°			
	SE 26° 56°			
	SW24° 63°			
		28° 19°		
		65° 64°		
		155° 32°		
		75° 32°		
		46° 09°		
		112° 76°		
		198° 37°		
		252° 44°		
			14° SW62°	
			75° NW08°	
			21° SE71°	
			68° NE 49°	
			17° NE 46°	
			28° SE 60°	
			47° NW27°	
				56° 089°
				37° 226°
				89° 136°
				75° 078°
				58° 266°
				81° 012°

Ejercicio 4.8. Considerando que la información que aparece en la tabla corresponde con planos estructurales, complete las columnas de tal forma que en un mismo renglón, aparezca la misma información estructural de una superficie expresada en la primera columna como Rumbo, Inclinación y Cuadrante (RIC), en la segunda como Pínula Mayor a la Derecha (PD), en la tercera en forma Azimutal (Az), en la cuarta como Inclinación y Dirección de la Línea de Máxima Pendiente (IDMP) y en la quinta con Echado y Dirección de Echado de forma Azimutal (ISRM).

RIC	PD	Az	IDMP	ISRM
S15°W 54°SE				
N30° E 26°NW				
N40°W 18°NE				
S35°W 13°SE				
N20° E 26°SE				
S63° E 8°NE				
S27° E 38°SW				
S17°W 2°NW				
	N09°E 25°			
	N62°W 3°			
	S23°W 17°			
	S16°E 25°			
	S42°W 13°			
	S74°W 26°			
	N38°E 68°			
	N57°W 7°			
		265° 32°		
		35° 07°		
		286° 13°		
		121° 48°		
		313° 52°		
		105° 03°		
		193° 88°		
		197° 32°		
			60° 75°NE	
			60° 75°NW	
			21° 26°SW	
			21° 26°NE	
			45° 72°NW	
			45° 18°SE	
			69° 27°NW	
			63° 63°NE	
			08° 73°NW	
			83° 15°SE	
				56° 099°
				61° 255°
				25° 135°
				68° 012°
				34° 059°
				89° 258°

Ejercicio 4.9. El rumbo y echado de un cuerpo tabular de areniscas es de $N75^{\circ}E$, $25^{\circ}SE$. Si se realiza un caminamiento transversal y horizontal en la dirección $S15^{\circ}E$, desde su base a su cima y se miden 150 m de espesor aparente. ¿Cuál es el espesor real del cuerpo tabular de areniscas?

Ejercicio 4.10. En un cantil vertical se exponen las trazas de estratos inclinados uniformemente. No hay evidencia de la tercera dimensión. ¿Cuál es la apariencia de la inclinación de las trazas, vistas desde dos diferentes posiciones desde el piso donde nos encontramos? ¿Qué puede decir del echado verdadero de estos estratos si no tiene mayor información?

Ejercicio 4.11. En un estrato inclinado de calizas de un flanco de un pliegue, se localizan los puntos A, B, y C con elevaciones de 160 m, 80 m y 110 m respectivamente. De A a B se tiene una distancia de 1200 m en la dirección $N12^{\circ}W$, y de A a C se tiene una distancia de 1600 m en la dirección $N36^{\circ}E$. ¿Cuál es el rumbo y el echado del estrato?

Ejercicio 4.12. Una formación mesozoica de dolomías aflora en la pendiente de una sierra en el flanco de un anticlinal. Su rumbo y echado promedio es de $N24^{\circ}W$, $32^{\circ}SW$. Si se realiza un caminamiento y se miden 933 m de longitud con una pendiente uniforme de 16° hacia arriba, de la base a la cima de la formación, en una dirección $N84^{\circ}W$. ¿Cuál es el espesor de la formación de dolomías? ¿Cuál es la profundidad del contacto inferior a partir del contacto superior sobre el trayecto?

Ejercicio 4.13. Sobre una línea con una dirección $S78^{\circ}W$, perpendicular al rumbo de un dique con rumbo y echado de $N14^{\circ}W$, $42^{\circ}W$, se localizan dos puntos. El que se localiza al este y en la porción inferior del contacto tiene una elevación de 1100 m, el otro que se localiza en la cima tiene una elevación de 1225 m. ¿Cuál es el espesor del dique?

Ejercicio 4.14. Determine el espesor de los intervalos estratigráficos de cuerpos de roca tabulares, que se reconocieron en un levantamiento geológico; la información recabada (rumbos, echados y distancias), se muestra en la siguiente tabla, desde el contacto inferior (estación 1), al superior (estación 5).

Estación	Rumbo y Echado	Dirección	Distancia de la pendiente (m)	Inclinación
1-2	$N06^{\circ}E$ $38^{\circ}SE$	$N85^{\circ}E$	22.5	$+12^{\circ}$ hacia arriba
2-3	$N12^{\circ}E$ $44^{\circ}SE$	$N60^{\circ}E$	47.4	$+07^{\circ}$ hacia arriba
3-4	$N18^{\circ}E$ $48^{\circ}SE$	$N80^{\circ}E$	37.8	-11° hacia abajo
4-5	$N15^{\circ}E$ $45^{\circ}SE$	$S65^{\circ}E$	14.0	$+20^{\circ}$ hacia arriba

Ejercicio 4.15. Conociendo el rumbo y echado de una superficie geológica ($N43^{\circ}E$, $65^{\circ}SE$), determine el echado aparente en la dirección $77^{\circ}SE$. Para realizar el cálculo utilice los métodos gráfico, trigonométrico y de nomogramas.

Ejercicio 4.16. Conociendo el rumbo y echado de una superficie geológica ($S39^{\circ}W$, $32^{\circ}NW$), determine el echado aparente en la dirección $81^{\circ}SW$. Para realizar el cálculo utilice los métodos gráfico, trigonométrico y de nomogramas.

Ejercicio 4.17. Conociendo el rumbo y echado de una superficie geológica ($N82^{\circ}E$ $55^{\circ}SE$), determine el echado aparente en la dirección $16^{\circ} SE$. Para realizar el cálculo utilice los métodos gráfico, trigonométrico y de nomogramas.

Ejercicio 4.18. Si se conocen dos echados aparentes de un estrato de calizas del Paleoceno (58° , $35^{\circ}NE$ y 26° , $22^{\circ}NW$), determinar el rumbo y echado verdadero de dicho estrato utilizando el método gráfico.

Ejercicio 4.19. En dos laderas verticales contiguas se observaba un mismo estrato de una arenisca; las direcciones y echados aparentes que se observan en estos afloramientos son: cantil(A) 55° , $79^{\circ} SW$ y cantil (B) 37° , $23^{\circ} SE$. Determinar el rumbo y echado verdadero utilizando el método gráfico.

Ejercicio 4.20. Suponiendo que una misma capa de calizas aflora en dos cantiles verticales contiguos y en la base se puede medir su inclinación, determine el rumbo y echado de la capa por método gráfico. Considere que la dirección del cantil A es de $63^{\circ} NW$ y la inclinación de la capa es de 28° y la dirección del cantil B es $33^{\circ} NE$ y la inclinación de la capa es de 52° .

Cuestionario 4.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

- =====
1. Al ángulo horizontal que forma la línea horizontal contenida en un plano estructural inclinado y una dirección de coordenadas específica, por lo general el Norte o Sur geográfica, se conoce como:

a) Declinación	b) Rumbo
c) Buzamiento	d) Variación

 2. El ángulo de máxima pendiente que se forma entre el plano horizontal y un plano estructural cualquiera, se llama:

a) Rumbo	b) Echado
c) Buzamiento	d) Orientación

 3. La dirección de inclinación de un plano estructural es:

a) Paralelo al rumbo	b) Paralelo al buzamiento (plunge)
c) Paralelo al pitch	d) Paralelo a la dirección de máxima pendiente

 4. La brújula tipo Brunton, comparada con la "Rosa de los vientos", tiene los puntos cardinales:

a) Igual	b) Invertidos
c) Invertidos del Norte y del Sur	d) Invertidos del Este y Oeste

 5. Un ángulo diferente al de máxima pendiente que se forma entre el plano horizontal y un plano estructural inclinado, corresponde con el:

a) Rumbo	b) Echado verdadero
c) Buzamiento	d) Echado aparente

 6. La brújula tipo Brunton no nos permite:

a) Orientar superficies	b) Orientar rasgos lineales
c) Posicionar astros	d) Medir ángulos verticales

 7. De las siguientes superficies que se pueden definir con una brújula tipo Brunton ¿Cuál es virtual (imaginaria)?

a) De estratificación	b) De falla
c) De fractura	d) De plano axial (charnela)

 8. Para calcular echados aparentes (EA), la formula apropiada es:

a) $EA = \text{ang tan} [\text{tan (máxima pendiente) sen (ang de deflexión)}]$
b) $EA = \text{tan} [\text{tan (máxima pendiente) sen (ang de deflexión)}]$
c) $EA = \text{ang cos} [\text{tan (máxima pendiente) sen (ang de deflexión)}]$
d) $EA = \text{cos} [\text{tan (máxima pendiente) sen (ang de deflexión)}]$

 9. La dirección de inclinación de un plano estructural es:

a) Paralelo al rumbo	b) Paralelo al buzamiento (plunge)
c) Paralelo al cabeceo (pitch)	d) Paralelo a la dirección de máxima pendiente

 10. El ángulo que forma una línea estructural cualquiera con un plano horizontal que la intersecta se llama:

a) Echado	b) Buzamiento (plunge)
c) Cabeceo (pitch)	d) Rumbo

Cuestionario 4.2. Lea cuidadosamente los siguientes planteamientos y conteste en forma clara y concisa.

=====

1. Defina los siguientes conceptos:
 - a) Rumbo
 - b) Echado verdadero
 - c) Echado aparente
 - d) Buzamiento (plunge)
 - e) Cabeceo (pitch)
2. Explique la diferencia que existe entre echado y echado aparente.
3. Describa las principales características de la brújula tipo Brunton.
4. Explique cómo se puede medir la orientación de superficies virtuales (imaginarias) utilizando una brújula tipo Brunton.
5. Explique a partir de dónde se mide el cabeceo (pitch) y cuál es su utilidad práctica.
6. Explique las principales características de la regla de la mano derecha para medir el rumbo de un plano inclinado.
7. Explique qué ventajas o qué desventajas tiene medir echados aparentes de planos inclinados en lugar de medir echados verdaderos.
8. Explique cómo se mide el espesor de una secuencia de rocas tabulares horizontales en un eskarpe vertical.
9. Explique cómo se mide el espesor de una secuencia de rocas tabulares verticales en un terreno horizontal.
10. Explique cómo se mide el espesor de una secuencia de rocas tabulares inclinadas en un terreno inclinado de pendiente uniforme.



Estratos inclinados de calizas arcillosas con intercalaciones de bentonita de la base de la Formación San Felipe.



Estratos inclinados de margas de la Formación Méndez. Ambas fotografías fueron tomadas en las proximidades a Metztitlán, Hidalgo.

Problema de los 3 puntos

PROBLEMA DE LOS TRES PUNTOS

Con el patrón de interferencia de los afloramientos, es posible obtener cuantitativamente el rumbo y el echado de las superficies geológicas, llámense contactos, estratos, esquistosidad, fracturas, fallas, discordancias, etc. Se requiere de tres puntos para definir la posición de un plano. El caso más sencillo consiste en localizar dos puntos que presenten la misma elevación y que estén contenidos en el plano, de esta manera será posible definir el rumbo del plano; el tercer punto, ubicado a una elevación diferente, nos permitirá determinar el echado, que podrá calcularse midiendo la distancia horizontal normal a la línea del rumbo y la diferencia de elevación entre la línea del rumbo y el tercer punto (figura 5.1a y 5.1b).

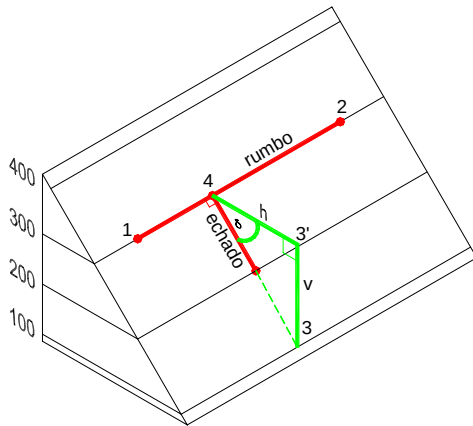


Figura 5.1a

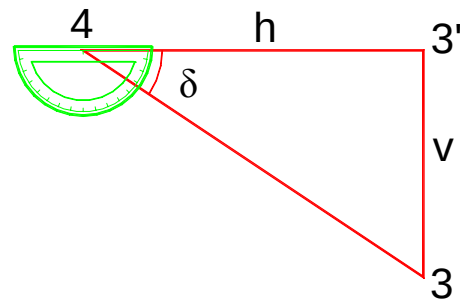


Figura 5.1b

Utilizando la ecuación:

$$\tan \delta = v / h$$

donde:

δ = echado del plano

h = distancia horizontal

v = distancia vertical o desnivel

El problema general de los tres puntos consiste en determinar el rumbo y echado de un plano por medio de tres puntos conocidos, con elevaciones diferentes (figura 5.2).

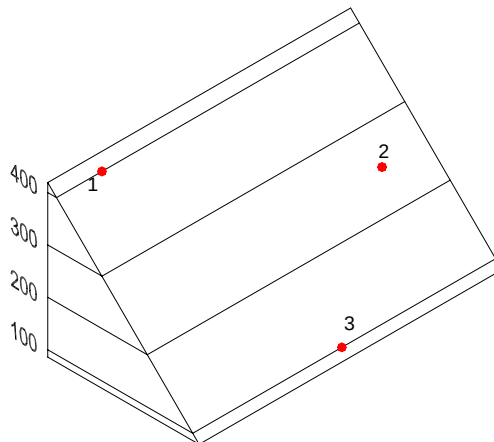


Figura 5.2

El rumbo se puede obtener buscando un cuarto punto que se localice en el plano en cuestión y tenga la misma elevación del punto intermedio (punto 2). Esto se logra localizando dicho punto en la línea entre los puntos 1 y 3 que tenga la misma elevación que el punto 2 (figura 5.3a). Una vez localizado el punto 4, unimos estos dos puntos (2 y 4) por una línea que define el rumbo (figura 5.3b). Posteriormente se traza una línea normal al punto más bajo y se define la distancia horizontal (h) y el desnivel o distancia vertical (v).

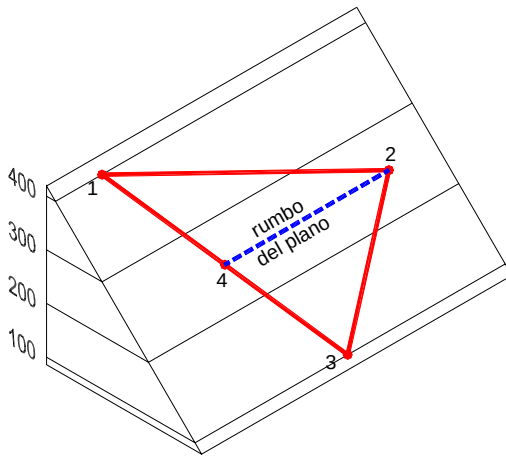


Figura 5.3a

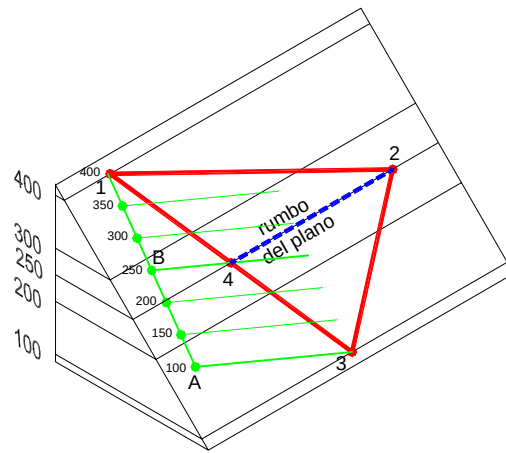


Figura 5.3b

Los pasos para calcular el rumbo y echado de un plano inclinado por el método de los tres puntos son los siguientes:

- Se requiere, primero, unir los tres puntos por líneas y formar un triángulo. Se procederá a medir la distancia entre cada uno de estos puntos utilizando la escala del mapa (figura 5.3a).
- En la figura 5.3a el punto 1 corresponde al de mayor altitud, el punto 2 tiene altitud intermedia y el punto 3 es el más bajo topográficamente. Por lo tanto, a lo largo de la línea, entre el punto 1 y 3 deberá existir un punto de igual altura que el punto 2. Esto se logra trazando una línea auxiliar que va del punto 1 al punto A (este punto tiene la misma elevación que el punto 3); esta línea se divide proporcionalmente, identificando la elevación del punto 2, la cual corresponde con el punto B. A partir del punto B, que tiene la misma elevación que el punto 2, se traza una recta de B a 4, paralela a la línea A-3. Una vez localizado el punto 4 sobre la línea 1-3, que tiene la misma elevación que el punto 2, se unen y se define el rumbo del plano.
- El echado del plano se obtendrá trazando una línea normal al punto más bajo (punto 3, figura 5.3b) y midiendo la distancia horizontal (h) así como el desnivel (v) con el que se podrá calcular el echado verdadero (δ) a partir de la ecuación antes señalada. También es posible obtener el echado por medio gráfico dibujando un triángulo rectángulo con las distancias horizontal y vertical y midiendo el ángulo (δ) con un transportador.

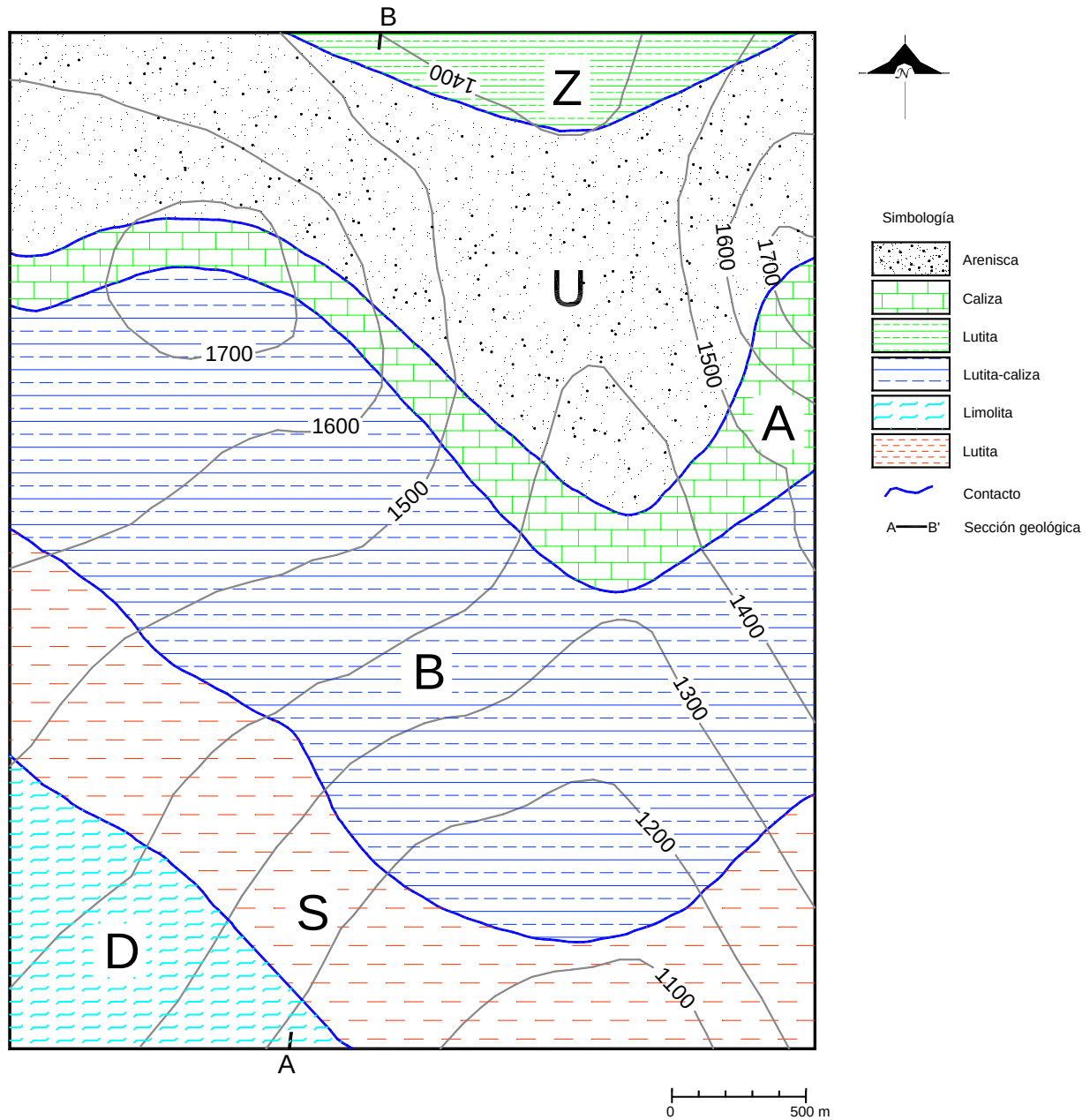
Si un mapa geológico tiene base topográfica con curvas de nivel y no tiene indicados los rumbos y echados de los distintos planos estructurales o estratigráficos que afloran, con la regla de las **V's** es posible determinar el patrón de interferencia de los afloramientos y con

el método de los tres puntos se puede calcular, analizar y conocer las relaciones entre planos, entre planos y líneas, y los rumbos y echados de diferentes capas y marcarlos sobre el mapa geológico. Se pueden conocer y describir las características geométricas y de orientación de las distintas estructuras geológicas como pliegues, fallas, fracturas y discordancias.

En este capítulo, realizaremos cálculos de rumbos y echados de distintos planos estructurales y superficies geológicas, tomando como base los contactos estructurales o estratigráficos representados en mapas geológicos y las curvas de nivel. Una vez conocidos los rumbos y echados se tendrá una clara idea de cómo estas rocas se profundizan en el subsuelo; así mismo se podrán describir distintas características de las estructuras geológicas secundarias (geometría, orientación, forma, etc.), se interpretará la posición estratigráfica de las distintas unidades (columna geológica), se conocerán las relaciones entre distintos planos, se tendrán elementos para calcular espesores de unidades tabulares y se podrán construir secciones geológicas de mejor calidad al contar con más y mejor información.

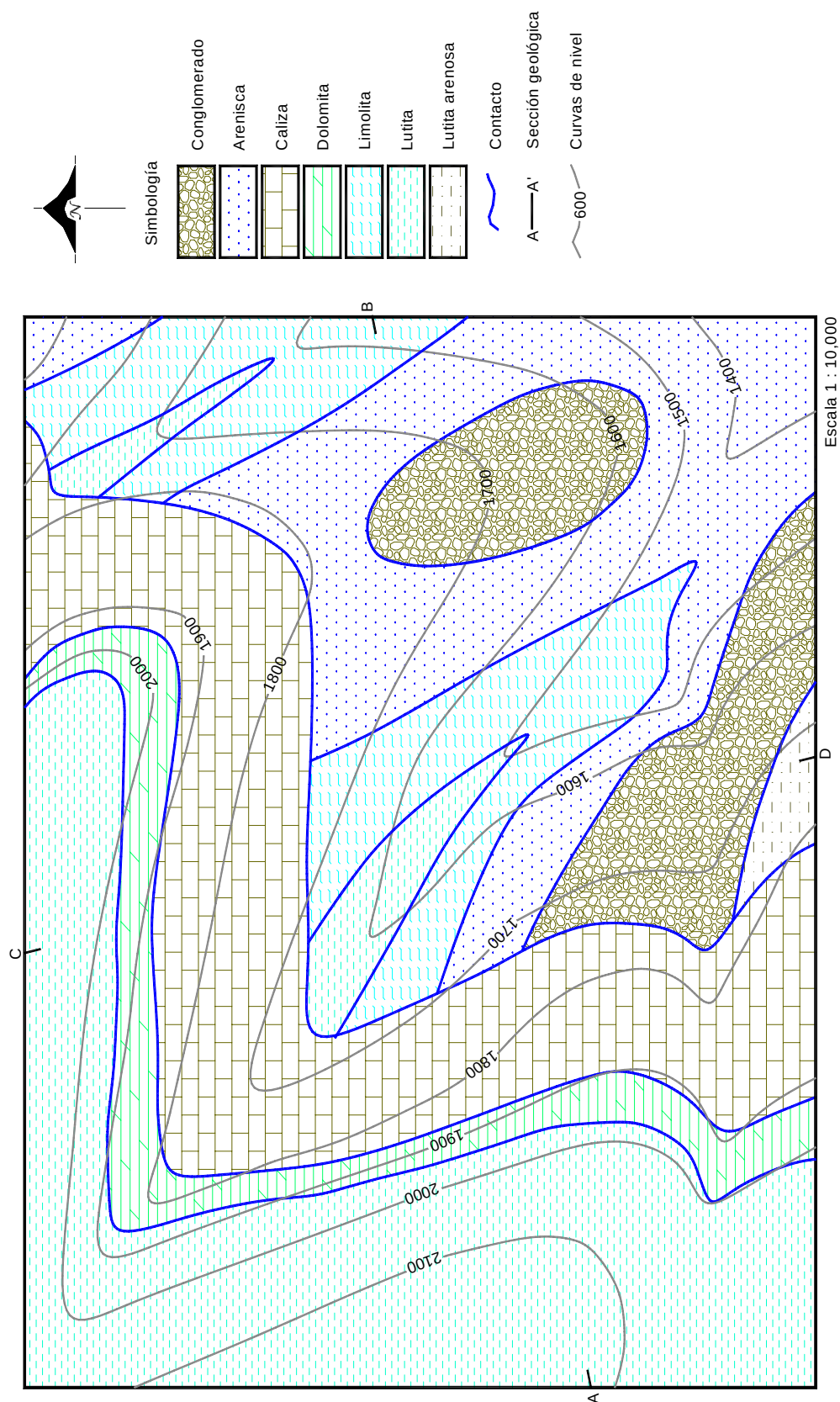
Ejercicio 5.1. Tomando como base el mapa geológico en el que afloran seis unidades geológicas, realizar las siguientes actividades:

- Calcule el rumbo y echado de cada uno de los contactos geológicos.
- Calcule el espesor de cada una de las unidades.
- Construya la sección geológica A-B.
- Construya la columna geológica.



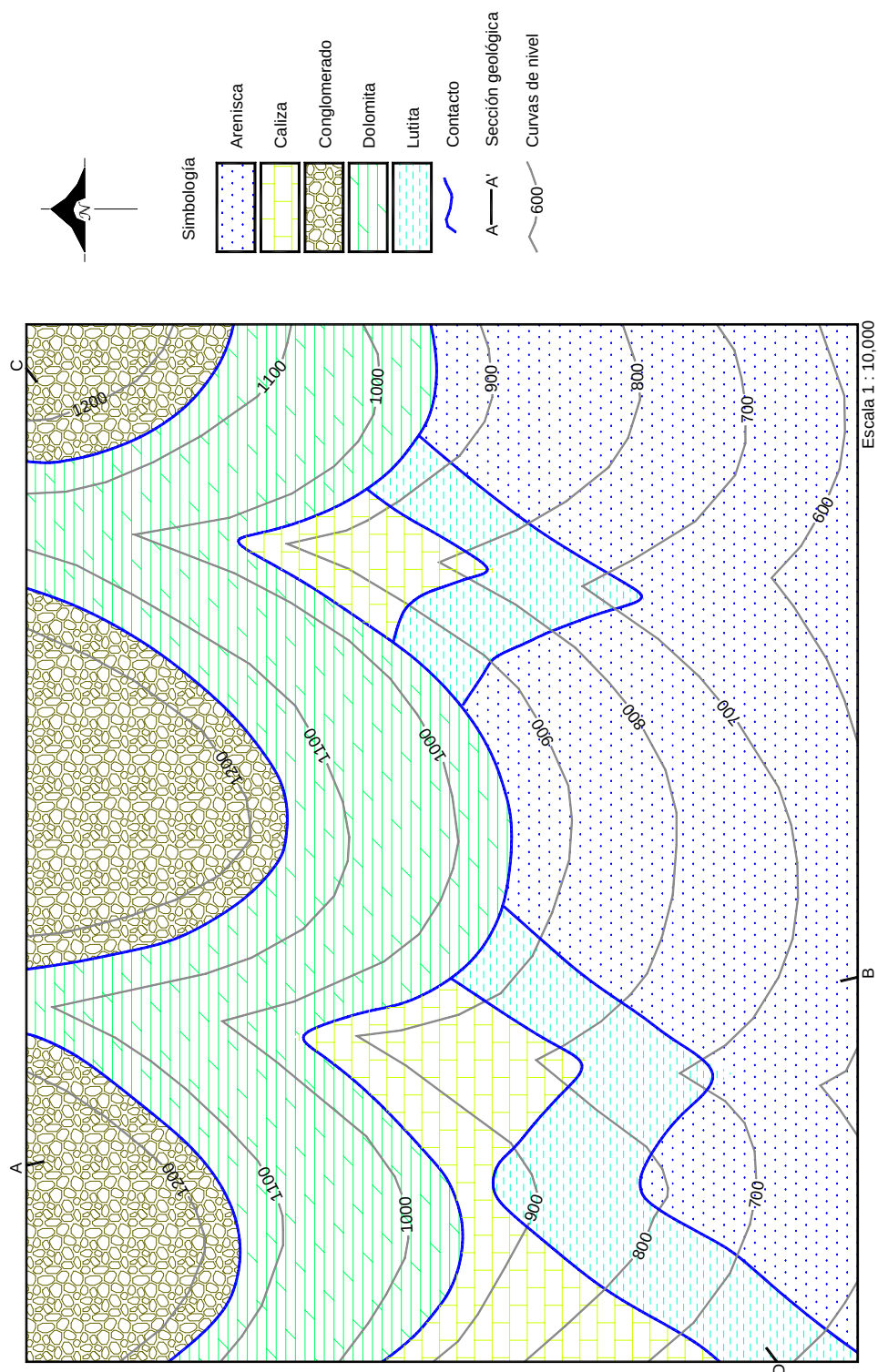
Ejercicio 5.2. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Cuantifique las unidades que afloran.
- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Identifique por tipo de contacto las unidades y describa brevemente sus características.
- Construya las secciones A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



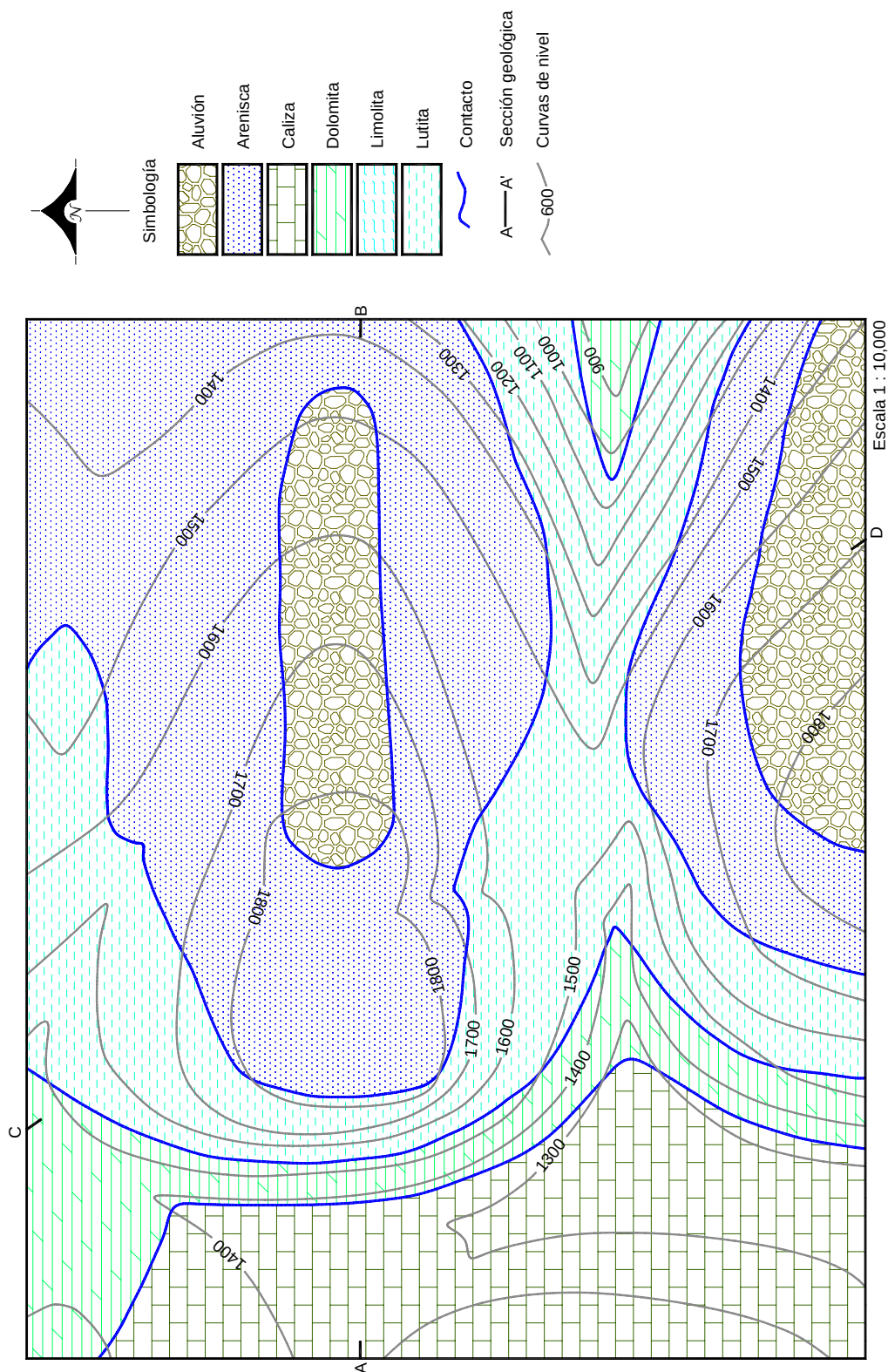
Ejercicio 5.3. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Cuantifique las unidades que afloran.
- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Identifique por tipo de contacto las unidades y describa brevemente sus características.
- Construya las secciones A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



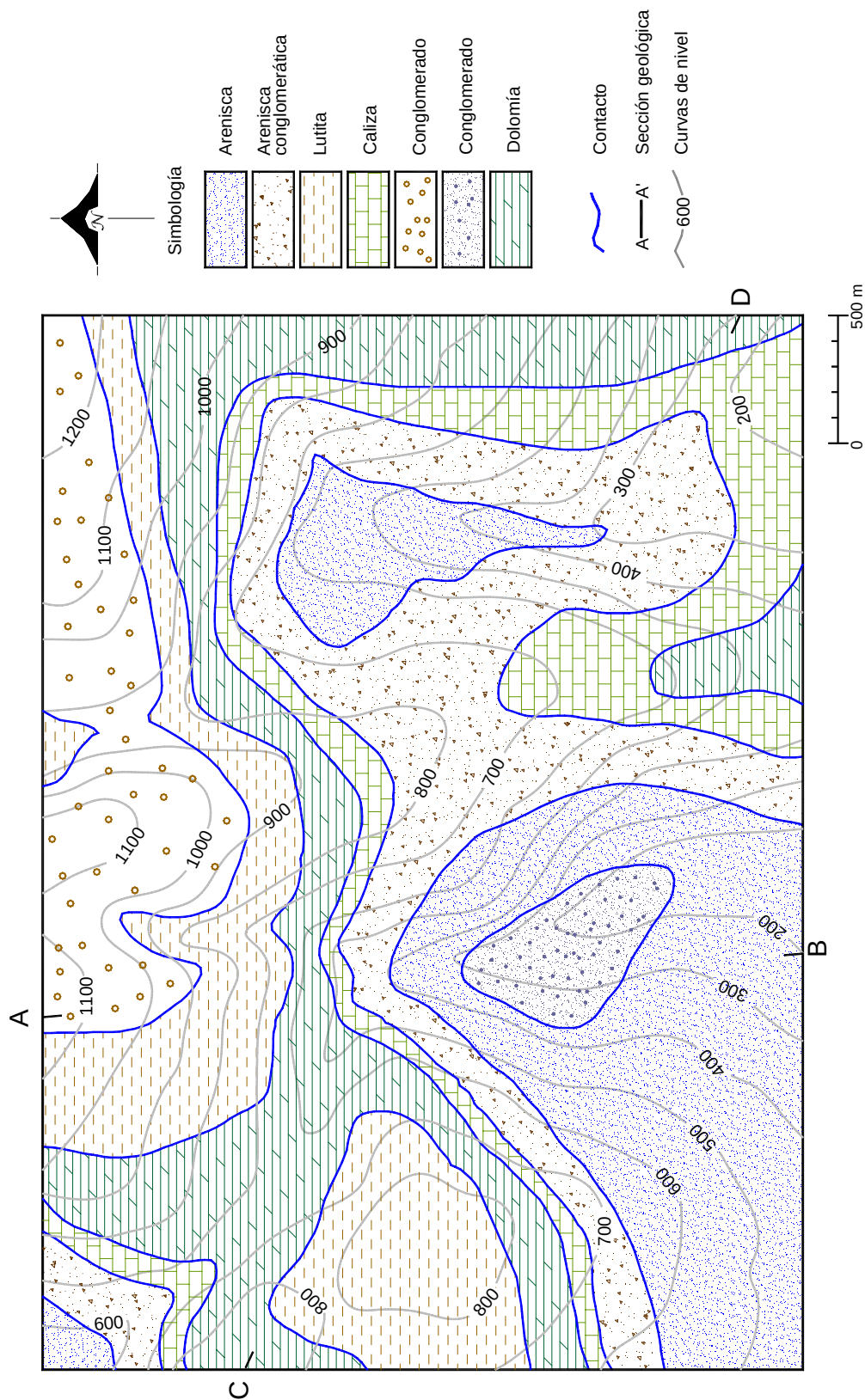
Ejercicio 5.4. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Cuantifique las unidades que afloran.
- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Identifique por tipo de contacto las unidades y describa brevemente sus características.
- Construya las secciones A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



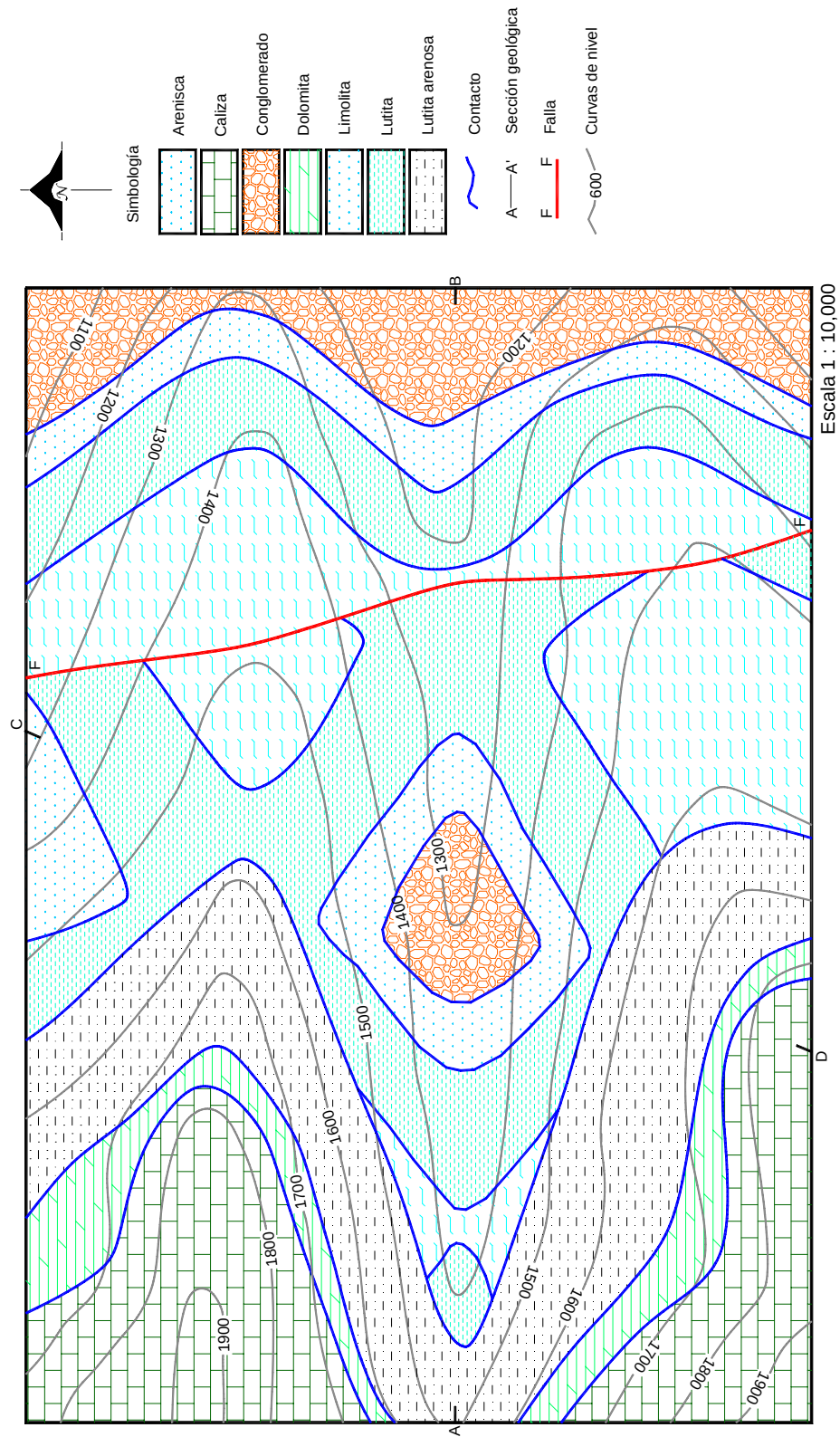
Ejercicio 5.5. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Identifique cuántas unidades afloran.
- Identifique y describa cada una de las estructuras que hay.
- Construya las secciones geológicas A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



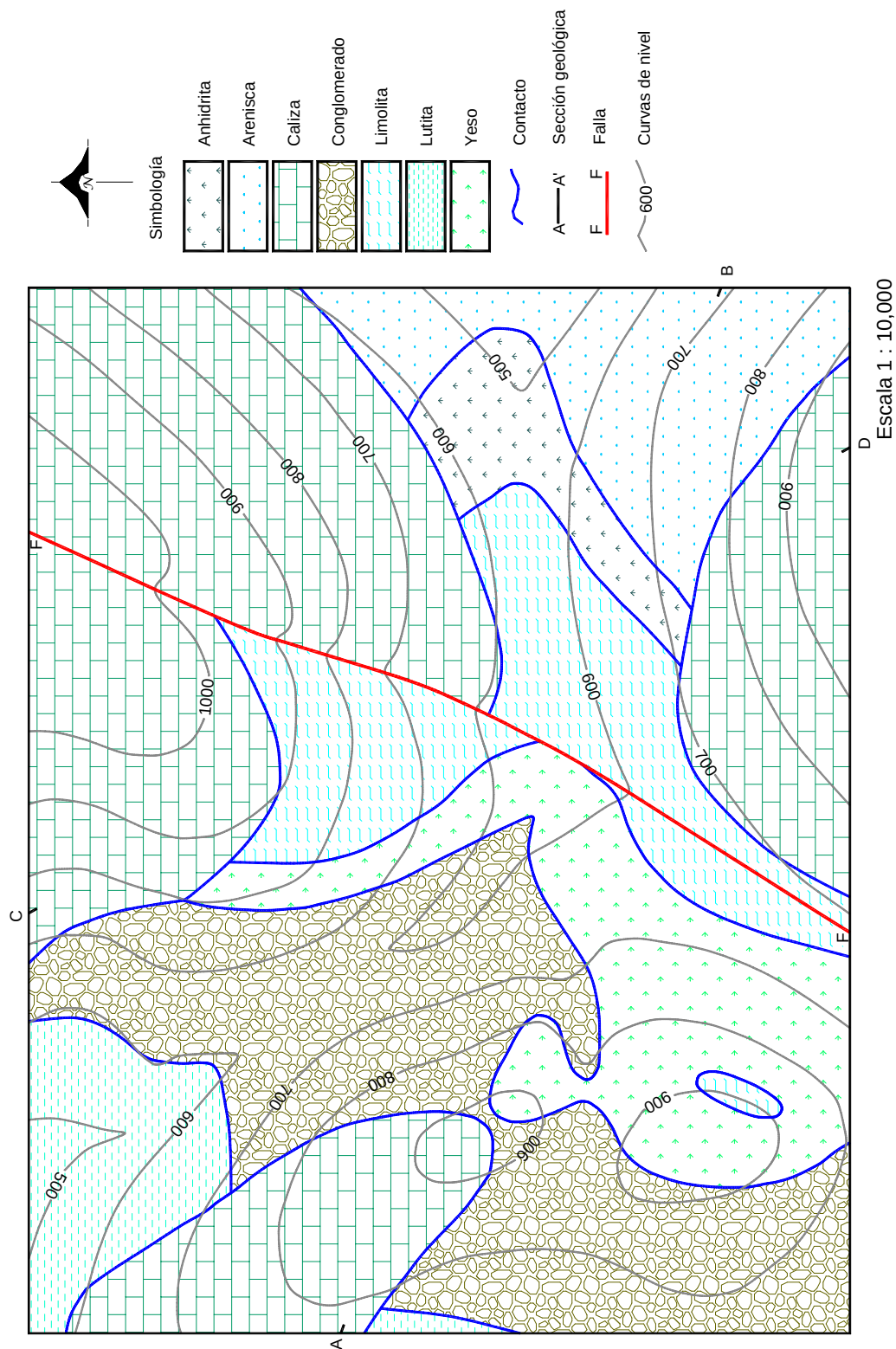
Ejercicio 5.6. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Cuantifique las unidades que afloran.
- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Identifique por tipo de contacto las unidades y describa brevemente sus características.
- Construya las secciones A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



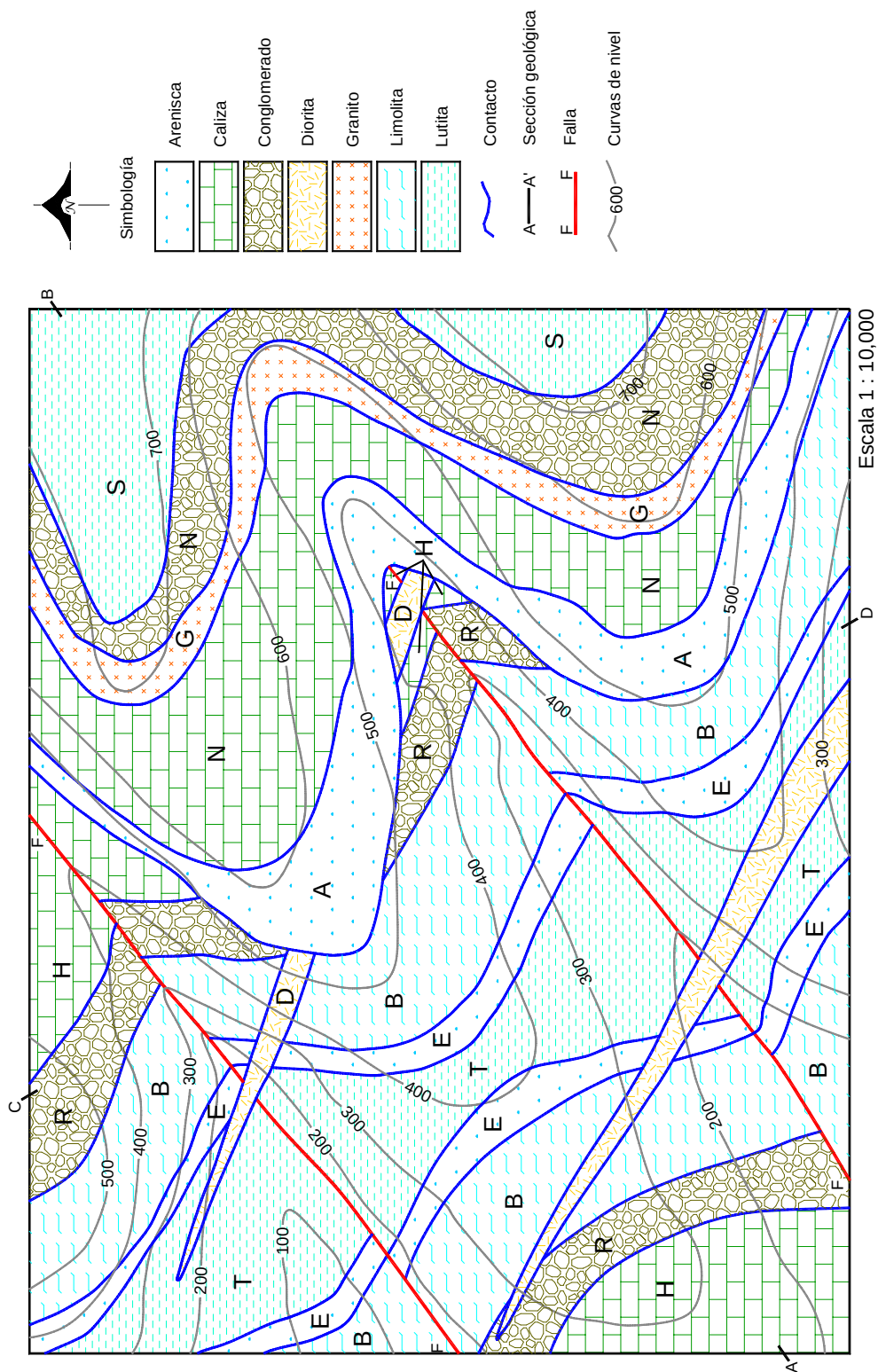
Ejercicio 5.7. Tomando como base la información del mapa, realice las siguientes actividades:

- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Determine cuántas unidades afloran.
- Identifique y describa cada una de las estructuras que hay.
- Construya las secciones geológicas A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



Ejercicio 5.8. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Calcule el rumbo y echado de cada una de las unidades.
- Determine cuántas unidades afloran.
- Identifique y describa cada una de las estructuras que se tienen.
- Construya las secciones geológicas A-B y C-D.
- Construya la columna geológica a escala.



Cuestionario 5.1. Lea atentamente los siguientes planteamientos y conteste en forma clara y concisa.

1. Describa la manera como se calcula el rumbo y echado de un plano estructural cualquiera, a partir de la ubicación y altura de tres puntos no colineales de ese plano.
2. Describa la manera como se calcula el rumbo y echado de un plano estructural cualquiera a partir de la ubicación y altura de una línea recta a la misma altura y un punto no colineal de ese plano.
3. Describa la manera como se calcula el rumbo y echado de un plano estructural cualquiera a partir de conocer la ubicación y altura de dos líneas rectas paralelas contenidas en ese plano.
4. Describa la manera como se calcula el rumbo y echado de un plano estructural cualquiera a partir de la ubicación y altura de dos líneas rectas que se intersectan y que están contenidas en ese plano.
5. Describa las principales características del método de los tres puntos.
6. Explique la utilidad práctica que tiene el método de los tres puntos para resolver problemas de manejo de planos en Geología.
7. Si se tiene un mapa geológico construido sobre una base topográfica con curvas de nivel en el que afloran dos planos estructurales inclinados sin que tengan indicados sus rumbos y echados. ¿Podrían calcularse el rumbo y echado de esos planos? En caso de que así sea, describa la forma de hacerlo.



Secuencia de carbonatos de plataforma de la formación El Abra, plegados y fracturados, en el Cañón del Río Moctezuma, aguas debajo de la Presa Zimapán, Hidalgo.



Contacto entre la Formación Tamaulipas Superior (al fondo) y la Formación Soyatal (en primer plano), que ilustra la regla de las V's. Tomada en la Sierra Madre Oriental, carretera Cadereyta-Jacala, km 50, en el Estado de Querétaro.

Patrón de Interferencia

PATRÓN DE INTERFERENCIA DE LOS AFLORAMIENTOS

El patrón de interferencia es la forma como se observan los contactos geológicos y la distribución que tienen las unidades de rocas en la superficie del terreno. Los contactos estratigráficos y estructurales, estratos u otras superficies geológicas que afloran sobre la superficie presentan formas características con rasgos especiales de acuerdo con la inclinación del plano y las formas del relieve. Con base en las relaciones que presentan los planos estructurales y la topografía, es posible interpretar hacia dónde se inclinan esos planos y con qué intensidad lo hacen. Esta interpretación se puede llevar a cabo a través del método conocido como Regla de las **V's** y de los tres puntos, por medio del cual es posible determinar de manera cualitativa o cuantitativa respectivamente, el rumbo y echado de cualquier plano estructural que esté representado en un mapa geológico construido sobre una base topográfica con curvas de nivel.

El método de la Regla de las **V's** se basa en conocer cuál es la forma de intersección de la superficie geológica con la superficie del terreno. En caso de tener dos superficies planas, la intersección es una recta; si una de las superficies es curva, o ambas son curvas, la intersección será una línea curva. La línea de intersección se extiende por el terreno o mapa formando el patrón de interferencia de los afloramientos. De esta manera, los contactos o límites geológicos se definen a través de la traza que se forma sobre la superficie del terreno que, en general, es curva debido a los cambios de la topografía. Si el relieve está disectado y se tienen valles formados por arroyos y ríos bordeados de lomas y cuevas, el patrón de interferencia de cualquier plano estructural tendrá formas sinuosas dando la impresión de **V's**, en posición normal, invertidas o de lado; abiertas o cerradas. La forma de la V depende de la disposición topográfica y de la inclinación de la superficie estructural; está relacionada, en consecuencia con el rumbo y echado de las superficies geológicas así como con la posición, pendiente y formas del relieve. La separación o anchura superficial entre dos trazas adyacentes de un cuerpo geológico tabular no necesariamente será uniforme y puede variar con relación al espesor real y/o del echado de la unidad analizada.

Los planos estructurales que se estudian en Ciencias de la Tierra, pueden presentar múltiples orientaciones y posiciones en el terreno, sin embargo, si las observaciones se realizan en los drenajes naturales o valles, se pueden presentar los cuatro casos generales siguientes; con tres casos particulares para los planos inclinados aguas abajo, menos de 90°.

1. Cuando las capas o cualquier superficie estructural estén en posición horizontal y considerando en todos los casos que la superficie del terreno esté inclinada, la traza de intersección formará un patrón de interferencia sinuoso pero siempre paralelo a las curvas de nivel; jamás cruzándolas debido a que tienen la misma elevación. En la figura 6.1a se muestra la distribución, en planta, de un cuerpo tabular con dos planos estructurales horizontales y en la figura 6.1b se presenta un bloque diagramático del mismo cuerpo geológico tabular.
2. Cuando el plano o superficie geológica es vertical, el patrón de interferencia se define como una línea recta o casi recta que cruza todas las curvas de nivel, puesto que la superficie es vertical. El patrón de interferencia no forma, en este caso, configuraciones

sinuosas o de **V's**. La dirección de esta línea define el rumbo de la superficie analizada y el echado es de 90° . En la figura 6.2a, se ilustra en planta un cuerpo geológico tabular con dos planos verticales paralelos y en la figura 6.2b se muestra en un bloque diagramático el mismo cuerpo tabular.

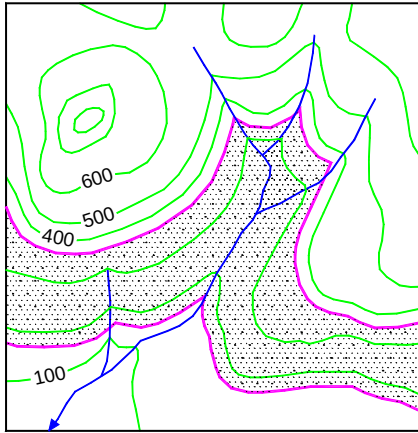


Figura 6.1a

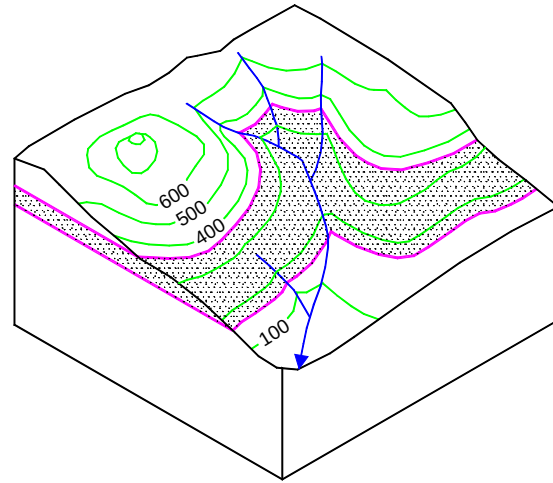


Figura 6.1b

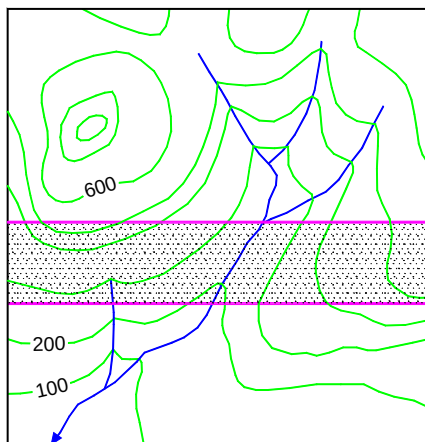


Figura 6.2a

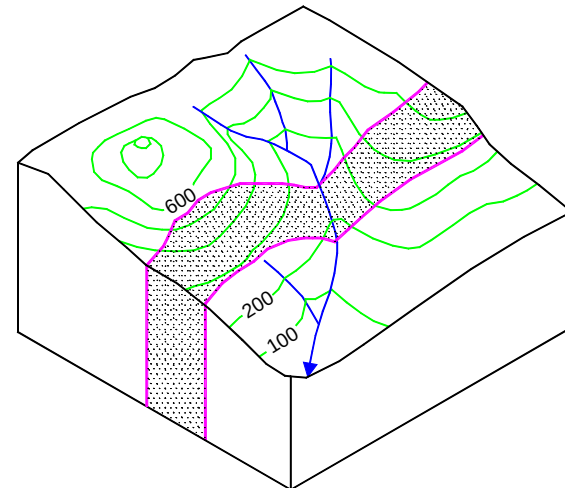


Figura 6.2b

3. Cuando las superficies geológicas estén inclinada menos de 90° , la traza de intersección se presenta en formas de **V's** abiertas o cerradas que cruzan forzosamente las curvas de nivel. Cuando el echado del plano estructural es bajo, se forman trazas de interferencia sinuosa con **V's** cerradas y extendidas (figuras 6.3a y 6.3b). En el caso de que el echado sea intenso, las **V's** se hacen menos extendidas y más abiertas (figuras 6.4a y 6.4b). El caso extremo se tiene cuando el echado es tan fuerte, cercano a los 90° , que la sinuosidad de las **V's** se pierde y se convierte en una línea recta (figura 6.2a y 6.2b). Cuando el plano estructural está inclinado aguas arriba, el vértice de la "**V**" apunta hacia aguas arriba como se ilustra en el dibujo en planta de la figura 6.5a de un cuerpo geológico tabular con dos planos estructurales inclinados paralelamente; en la figura 6.5b se muestra un bloque isométrico diagramático del mismo cuerpo tabular.

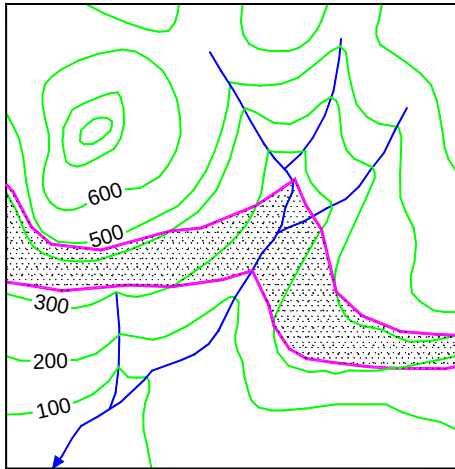


Figura 6.3a

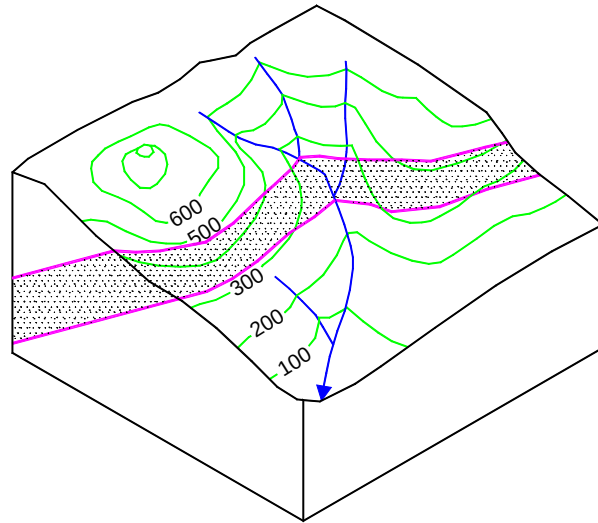


Figura 6.3b

4. En el caso de que la unidad geológica se incline hacia aguas abajo existen tres variantes:

a) Cuando el echado del plano estructural tiene mayor inclinación que la pendiente topográfica, se forma una traza de interferencia sinuosa, con el vértice de la “V” apuntando hacia aguas abajo en la zona del valle; tal como se ilustra en el dibujo en planta de un cuerpo tabular con planos estructurales paralelos de la figura 6.4a; mientras que en la figura 6.4b, se muestra en un bloque isométrico diagramático el mismo cuerpo geológico tabular.

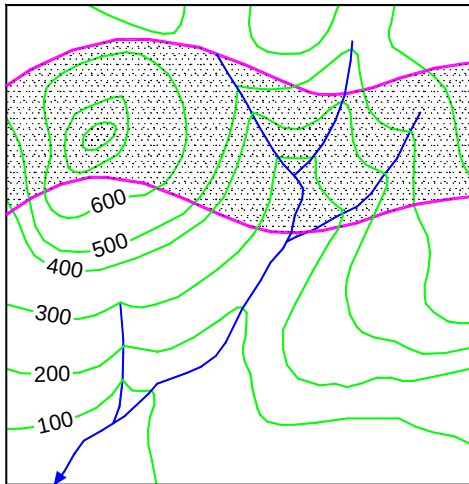


Figura 6.4a

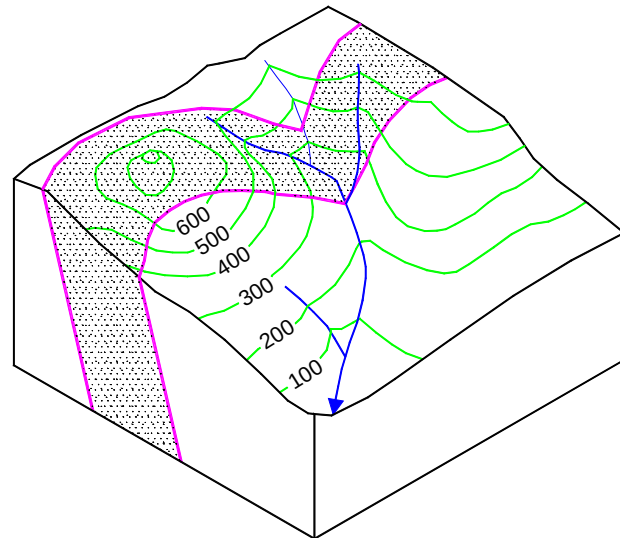


Figura 6.4b

Cuando el valor del echado es pequeño y se aproxima al ángulo horizontal, la “V” se va cerrando y se va aproximando a la forma de las curvas de nivel, lo cual se logra cuando los planos estructurales son horizontales. En la figura 6.5a se muestra un dibujo en planta de un cuerpo tabular con dos planos paralelos con echado suave y en la figura 6.5b se muestra el mismo cuerpo tabular en un bloque isométrico diagramático.

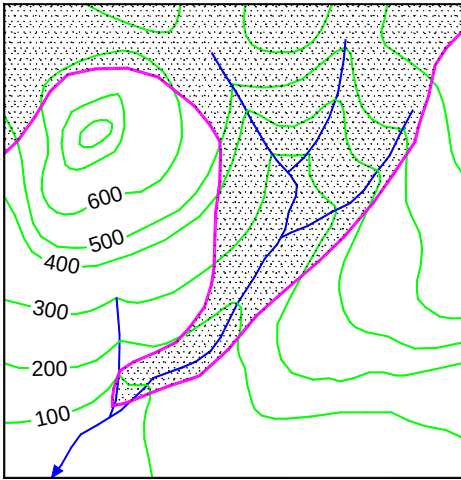


Figura 6.5a

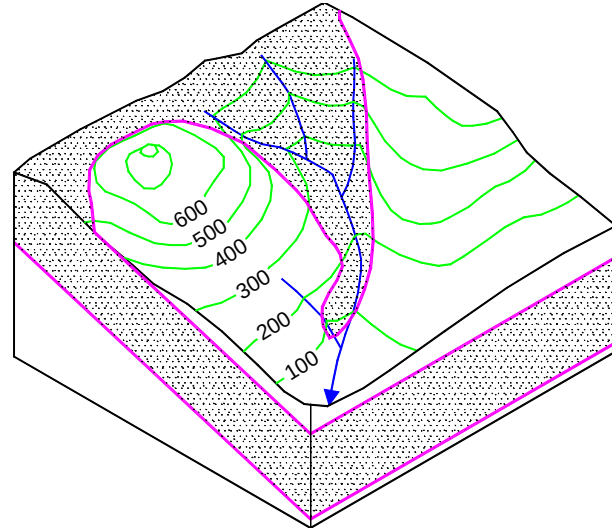


Figura 6.5b

b) Cuando el echado tiene igual inclinación que la topografía, entonces el patrón de interferencia no se une ni en aguas arriba ni hacia aguas abajo y no se forman las **V's** ya que los contactos quedan abiertos, como se muestra en la planta de la figura 6.6a y en el bloque isométrico diagramático de la figura 6.6b. Este caso es poco frecuente ya que es muy difícil que la pendiente del terreno se extienda con un valor idéntico al echado del plano estructural por grandes distancias. En este caso no se cumple la regla de la **V's**.

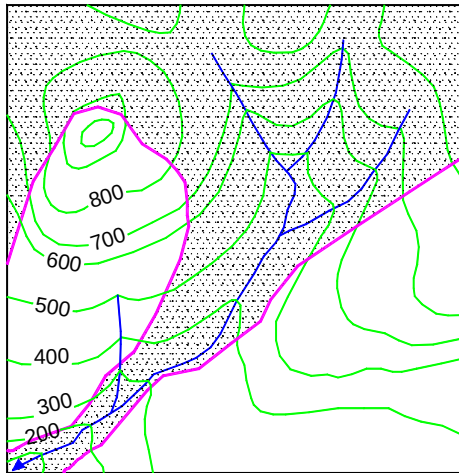


Figura 6.6a

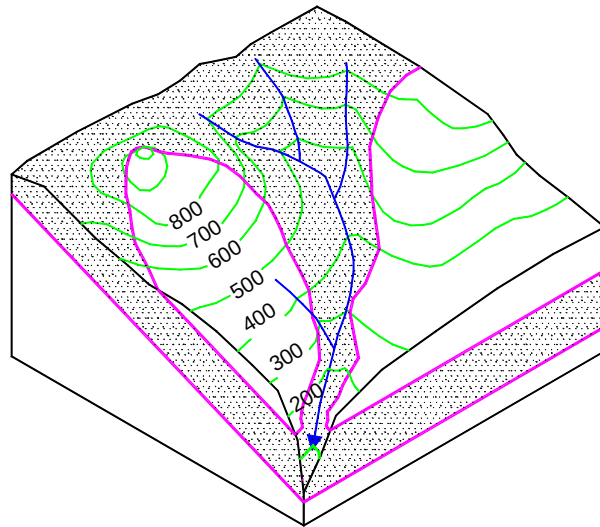


Figura 6.6b

c) En el caso de que el echado sea menor que la inclinación de la topografía se forma un patrón sinuoso con una "**V**" abierta apuntando aguas arriba parecida más a una "**U**", como se muestra en la planta de la figura 6.7a y en el bloque isométrico diagramático de la figura 6.7b.

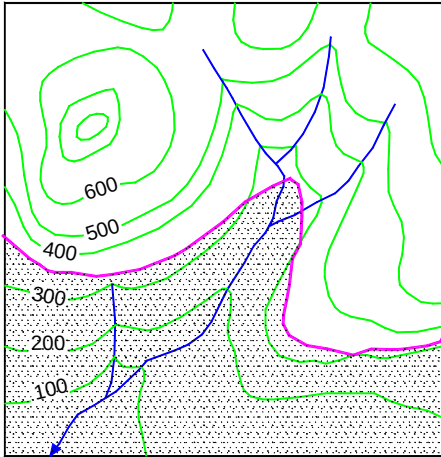


Figura 6.7a

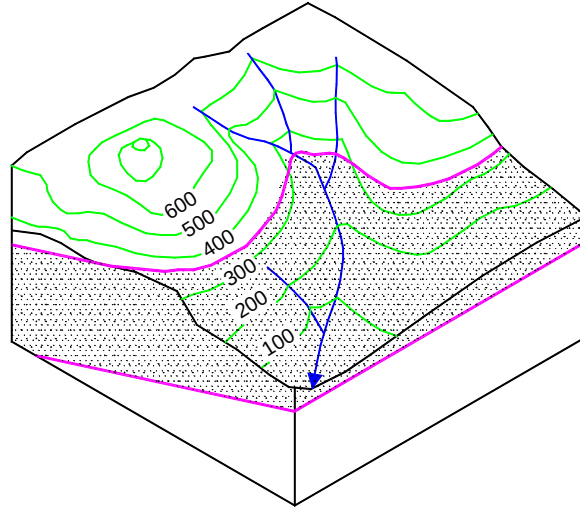


Figura 6.7b

CONSTRUCCIÓN DE PATRONES DE INTERFERENCIA

Para la construcción de los patrones de interferencia, en todos los casos se aplica el concepto de rumbo y echado. Se debe considerar que si el rumbo se define por dos puntos con la misma elevación contenidos en el plano inclinado, es posible calcularlo buscando estos dos puntos sobre la traza del patrón de interferencia. Esto es muy sencillo si se observa en el mapa donde la traza de la superficie geológica considerada es cortada en dos puntos por la misma curva de nivel (que tienen la misma elevación). El echado de la superficie es normal al rumbo y se inclina en la dirección de menor elevación.

Si se tiene un mapa topográfico con curvas de nivel y no se conoce el patrón de afloramiento de un plano estructural o estratigráfico que nos interese, este se puede trazar sobre la base topográfica con mucha precisión, si se dispone de información suficiente en alguna de las siguientes variantes:

- ◆ Se conoce la posición de cuando menos tres puntos de dicho plano, cada punto ubicado en distinta elevación.
- ◆ Se conoce la posición de dos puntos a la misma elevación del plano, los cuales se pueden unir mediante una línea recta y se conoce la posición de un tercer punto del mismo plano a distinta elevación (mayor o menor).
- ◆ Se conoce la posición de un punto con su respectiva elevación y se tiene información del rumbo y echado del plano estructural en ese punto.
- ◆ Se conoce la posición y la altitud de cuando menos dos líneas paralelas contenidas en el plano estructural.
- ◆ Se tiene la construcción de dos secciones geológicas, una paralela y otra perpendicular a la estructura, con su ubicación correspondiente.

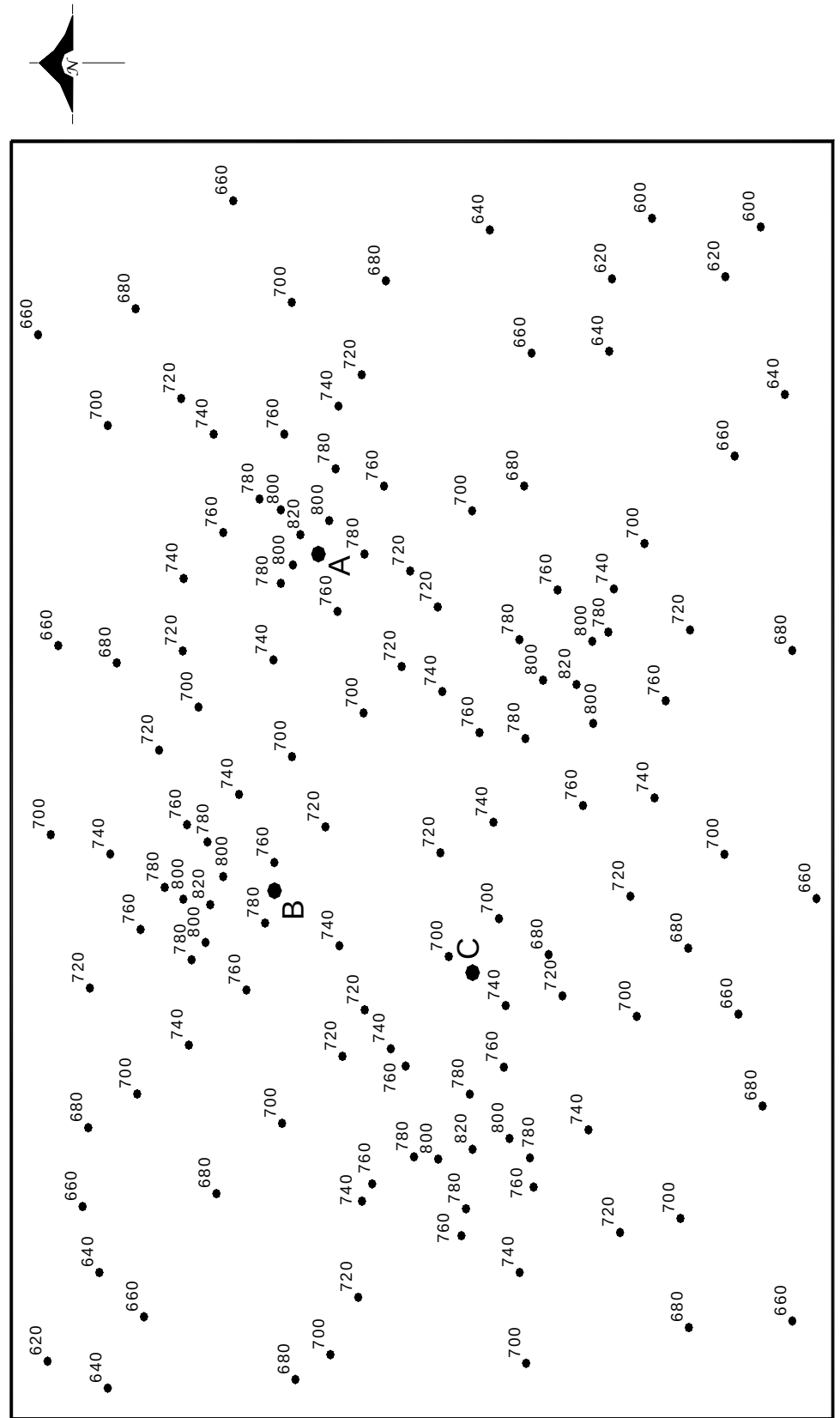
Con la información de cualquiera de las cinco posibilidades, aplicando el método de los tres puntos o métodos de geometría descriptiva, se puede conocer en primera instancia el rumbo y echado del plano o los planos (flancos de pliegues, planos axiales, discordancias, fallas, fracturas, estratos, vetas, etc.). Una vez conocido el rumbo y echado del plano, se procede a trazar líneas paralelas al rumbo en el área del mapa, con altitudes e intervalos

similares a los de las curvas de nivel. Donde una línea de rumbo de cierta altitud corte a una curva de nivel del mismo valor, se tiene un punto de intersección por el que pasa y aflora el plano, que queremos caracterizar; uniendo esos puntos de manera sucesiva con una línea, se logra el patrón de interferencia del afloramiento.

En este capítulo construiremos mapas geológicos con distintos planos estructurales y estratigráficos, interpretaremos las relaciones entre planos, realizaremos descripciones detalladas de las distintas estructuras secundarias, determinaremos espesores de cuerpos geológicos tabulares, calcularemos profundidades a las que se pueden encontrar ciertos planos estructurales de interés y realizaremos interpretaciones integrales de los mapas geológicos contruidos.

Ejercicio 6.1. Con base en la ubicación de los puntos situados en planta, que indican altitud sobre el nivel del mar, realice las siguientes actividades:

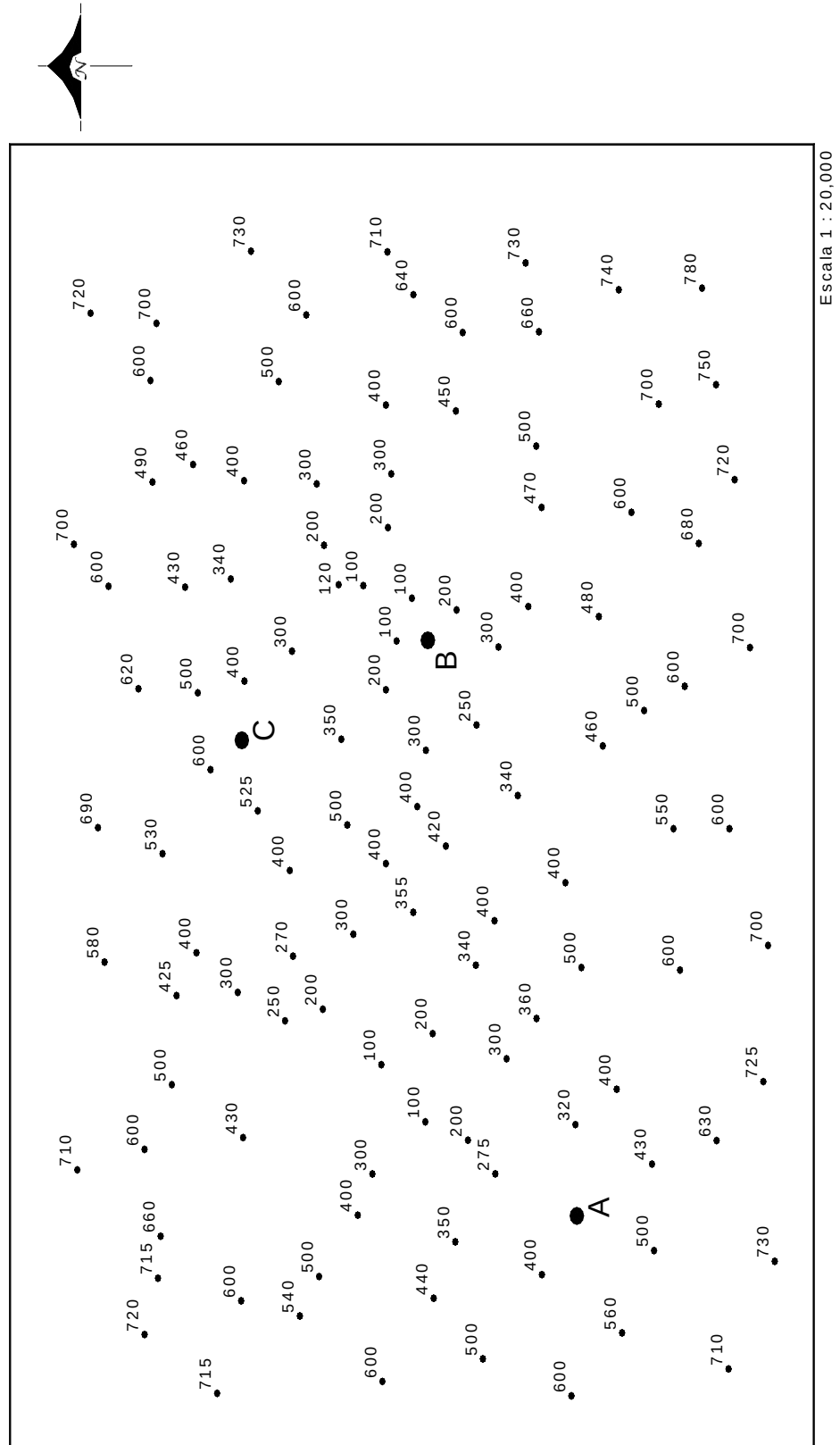
- Configure las curvas de nivel.
- Describa el relieve e hidrografía.
- Trace un plano vertical con rumbo $N80^{\circ}E$ que pase por el punto A.
- Trace un plano horizontal que pase por el punto B.
- Trace un plano inclinado con rumbo $N20^{\circ}E$ y echado de $35^{\circ}SE$ que pase por el punto C.



Escala 1 : 10,000

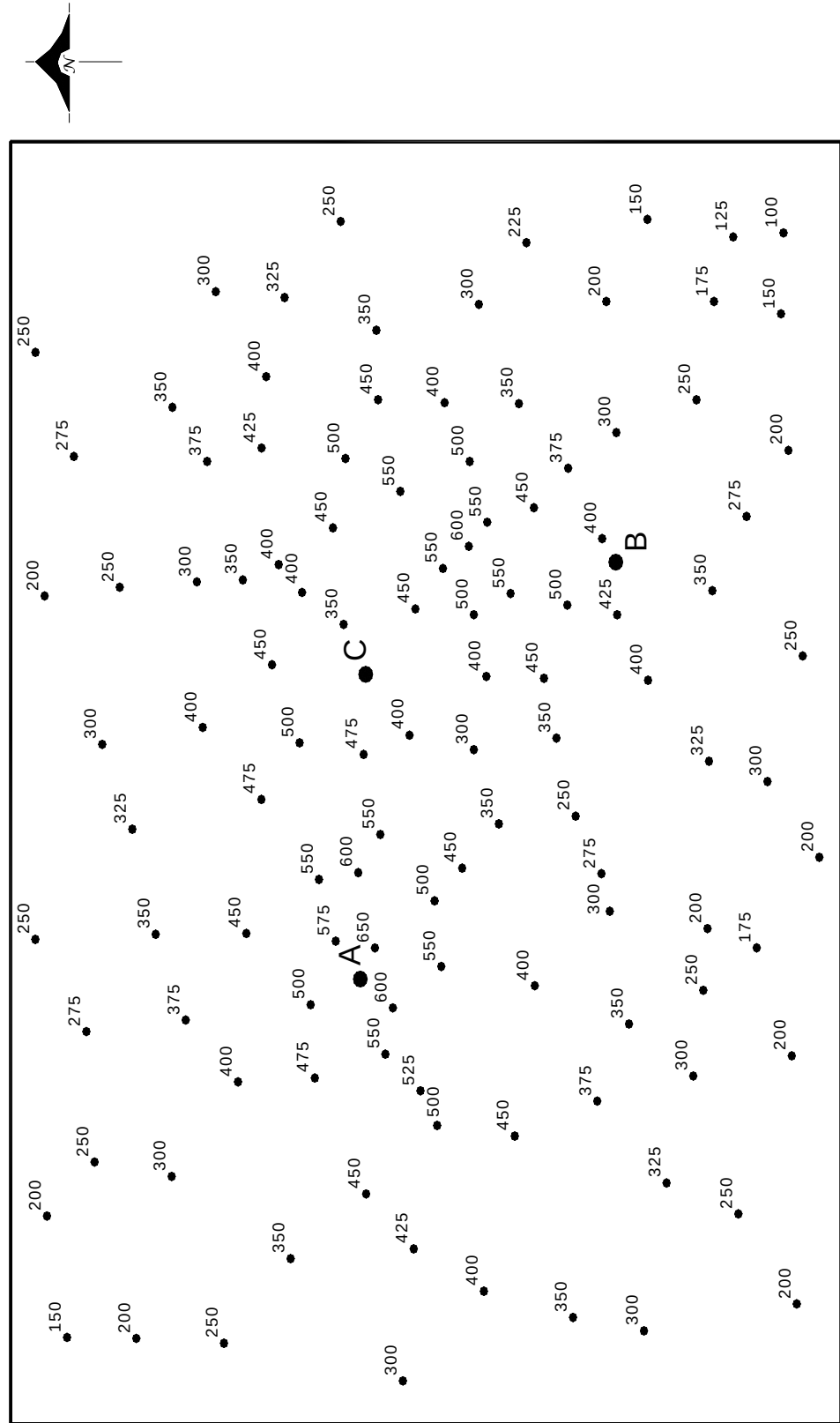
Ejercicio 6.2. Con base en la ubicación de los puntos situados en planta, que indican altitud sobre el nivel del mar, realice las siguientes actividades:

- Configure las curvas de nivel.
- Describa el relieve e hidrografía.
- Trace un plano vertical con rumbo N04°E que pase por el punto A.
- Trace un plano horizontal que pase por el punto B.
- Trace un plano inclinado con rumbo S46°E y echado de 40°SW que pase por el punto C.



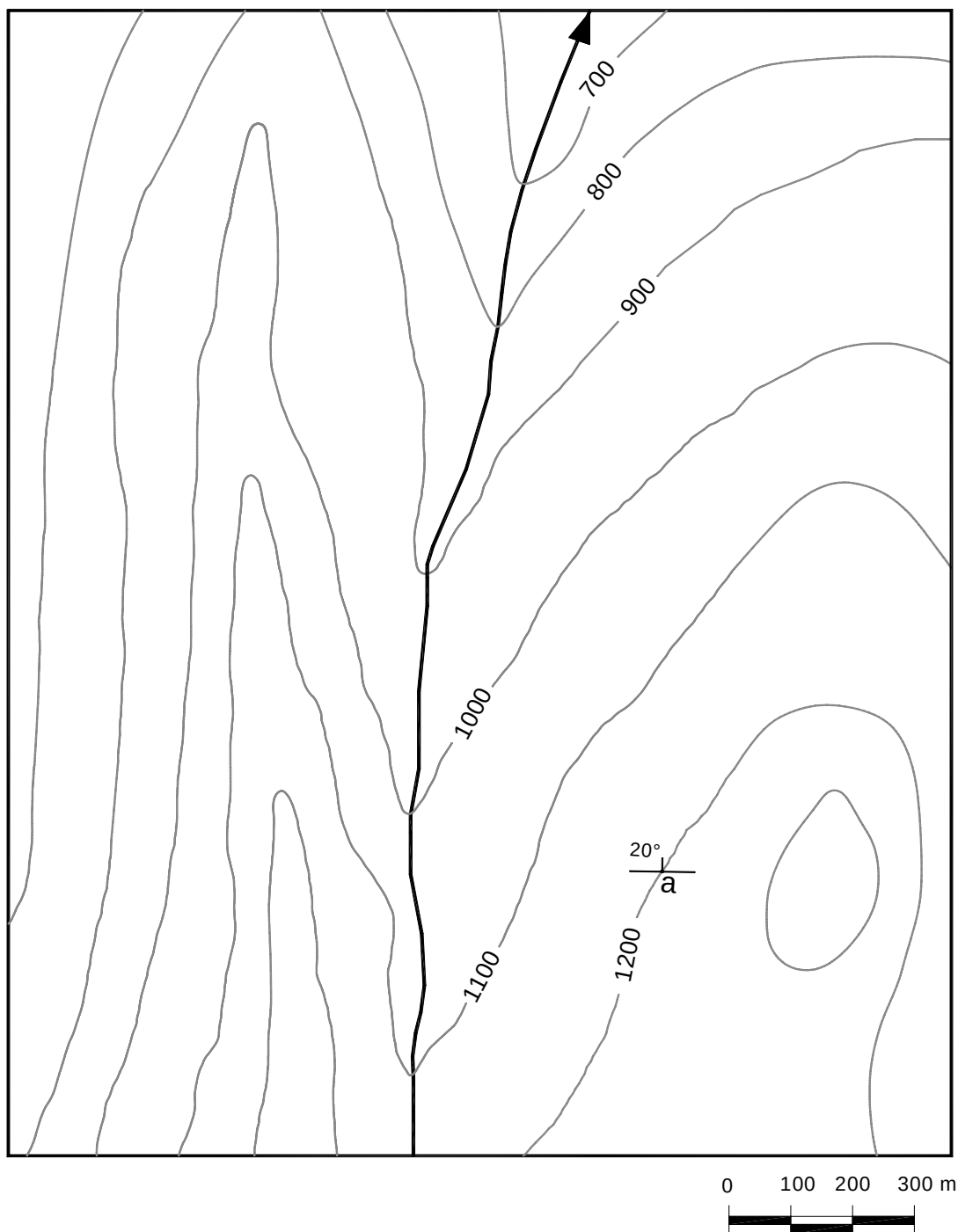
Ejercicio 6.3. Con base en la ubicación de los puntos ubicados en planta, que indican altitud sobre el nivel del mar, realice las siguientes actividades:

- Configure las curvas de nivel.
- Describa el relieve e hidrografía.
- Trace un plano vertical con rumbo S60°W que pase por el punto A.
- Trace un plano horizontal que pase por el punto B.
- Trace un plano inclinado con rumbo S30°W y echado de 50°NW que pase por el punto C.



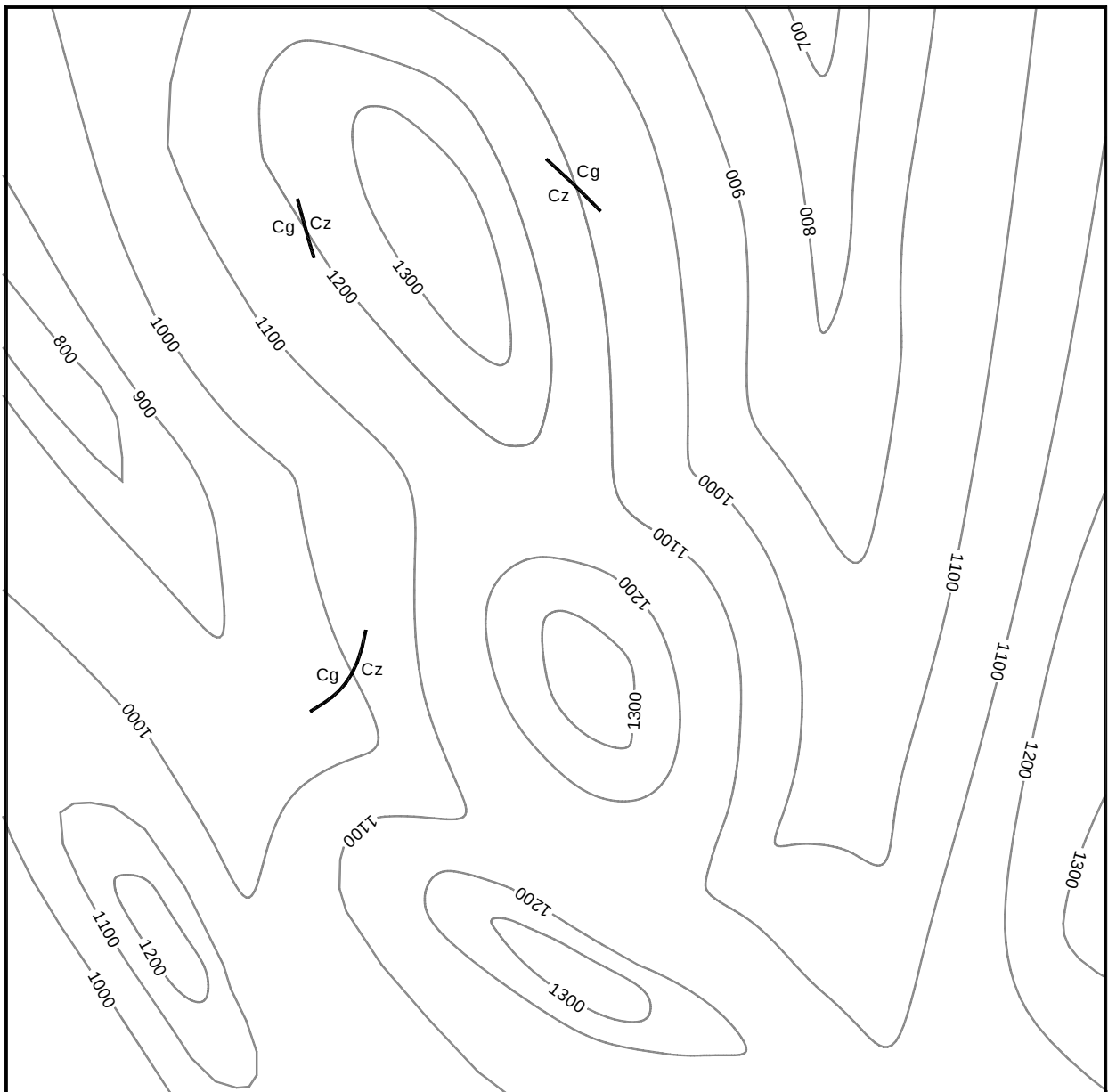
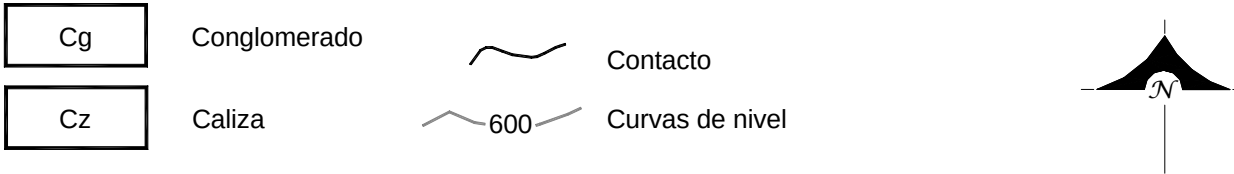
Ejercicio 6.4. Tomando como base el mapa topográfico en el que se ubica al punto **a**, sitio en el que se midió el rumbo y echado de un plano que limita a dos formaciones geológicas concordantes donde la unidad suprayacente es de lutitas y la infrayacente de areniscas; realice las siguientes actividades:

- Trace el patrón de afloramiento del plano de contacto.
- Indique cuál es la formación inferior y cuál la superior.
- Explique si se cumple la regla de las **V's**.



Ejercicio 6.5. Tomando como base el mapa topográfico, en el que se identificaron 3 puntos de un plano de falla inversa la cual, pone en contacto un paquete de conglomerados con otro de calizas, realizar las siguientes actividades:

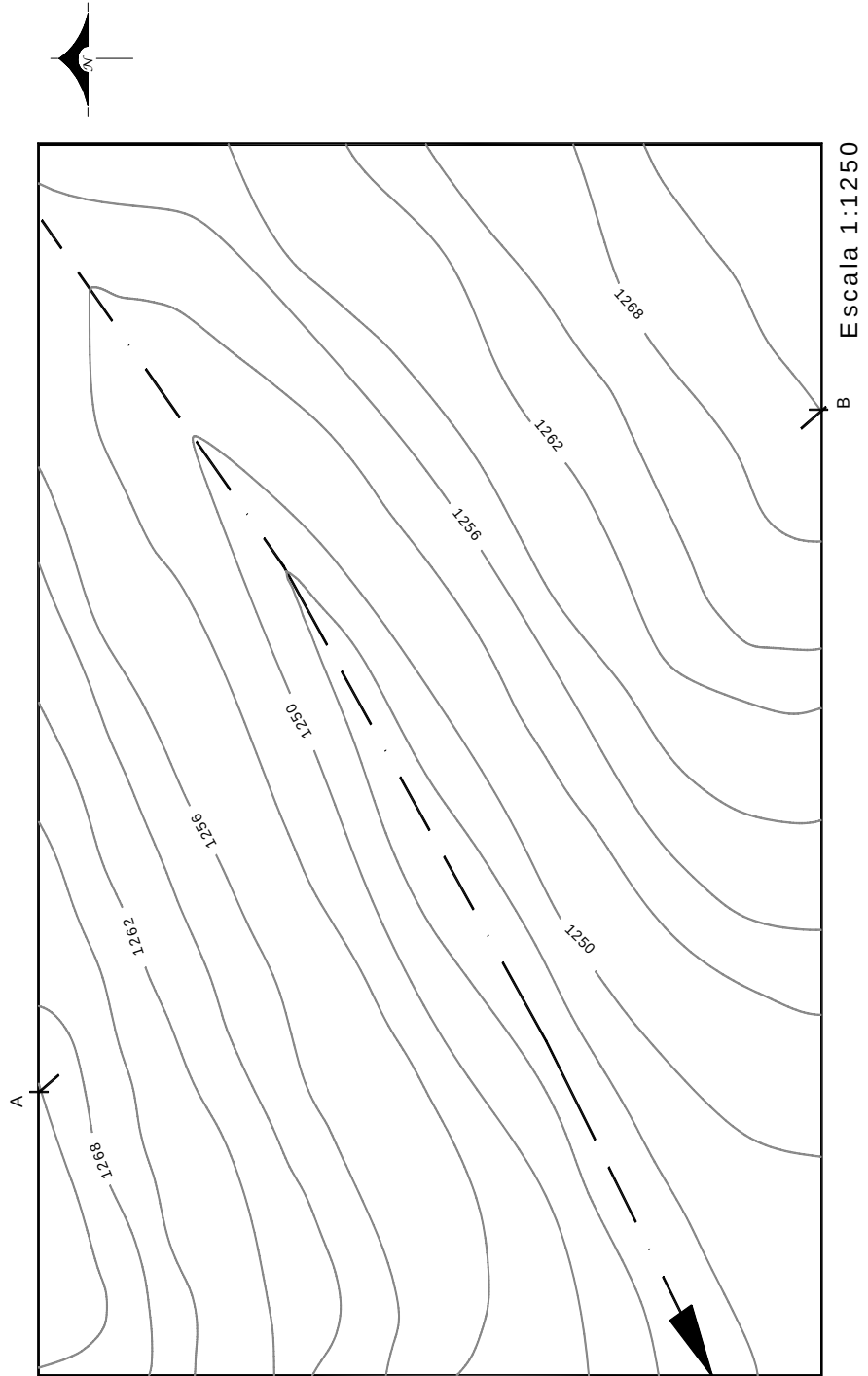
- Trace el patrón de afloramiento de la falla inversa.
- Diga qué unidad se encuentra arriba del plano de falla y cuál abajo, justifique su respuesta.



Escala 1:10,000

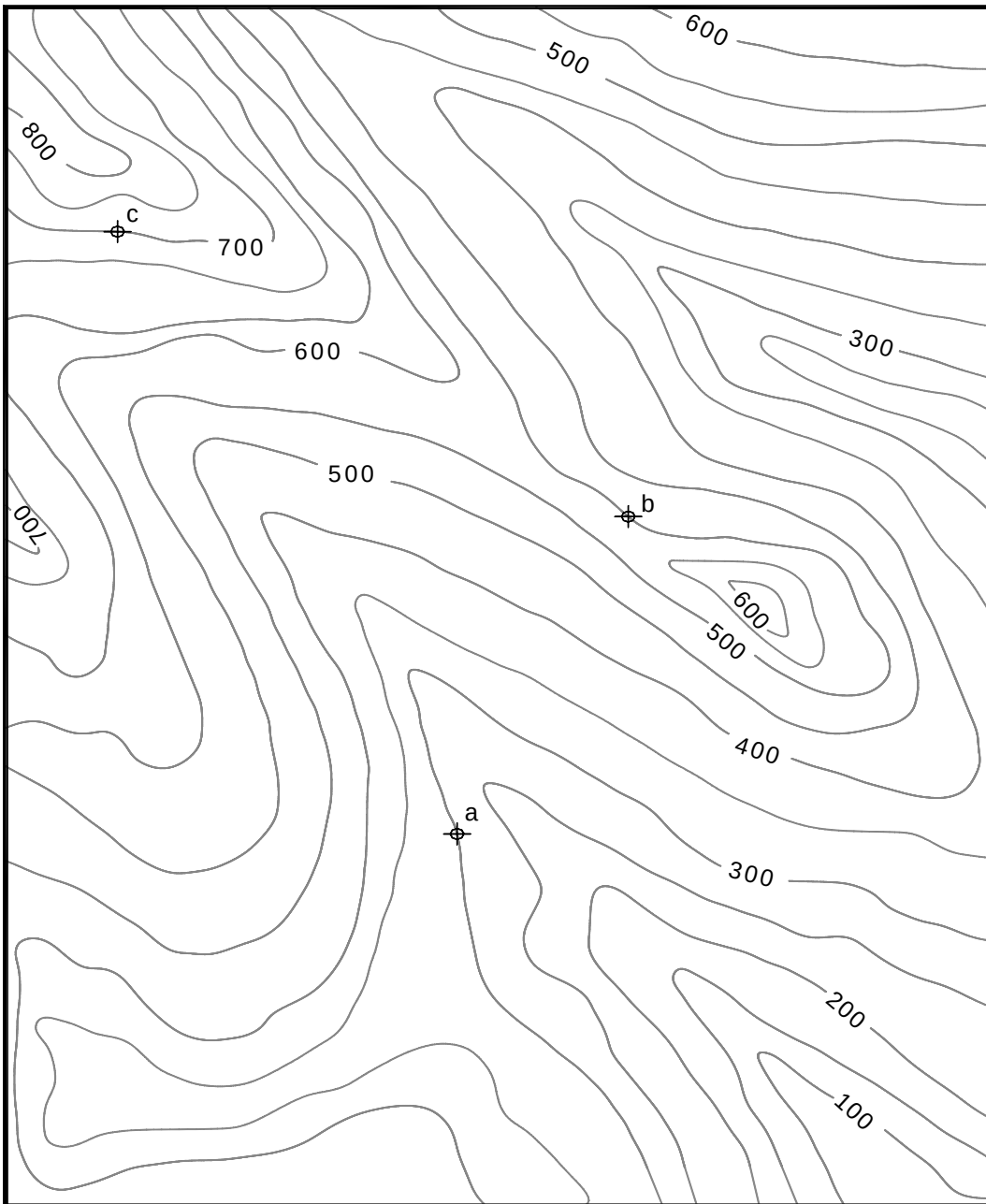
Ejercicio 6.6. En el área que cubre el mapa topográfico aflora una secuencia de calizas arcillosas con intercalaciones de limolitas calcáreas en estratos horizontales. Sobre esta secuencia se pretende construir una presa (cortina) con corazón de arcilla y enrocamiento como cubierta. Considerando que la corona de la cortina tendrá un ancho de 6 m, que su eje pasará por los puntos A y B y que la inclinación de los taludes de enrocamiento será de 30° en ambos lados (aguas arriba y aguas abajo), realizar las siguientes actividades:

- Dibuje la traza de la corona.
- Dibuje en planta la traza del enrocamiento de la estructura.
- Indique con líneas el nivel máximo que alcanzará el agua, considerando que llegará a la elevación de 1266 m.
- Dibuje el perfil de la presa en el punto donde pasa el río.



Ejercicio 6.7. En el mapa topográfico se muestra parte de una propiedad minera. Los puntos **a**, **b** y **c**, situados sobre el lecho superior de una veta-falla de cuarzo y el punto **d** localizado en el lecho inferior de la misma veta, 150 m más bajo del punto **a**. El bloque de techo de la veta es de andesita y el de la base de riolita; realice las siguientes actividades:

- Determine el rumbo y echado (dibujar el símbolo en el mapa).
- Determine la potencia (espesor) de dicha veta.
- Dibuje en el mapa el patrón de afloramiento (tanto de la base como de la cima) de la veta.
- Indique el área de afloramiento de la riolita y la andesita.

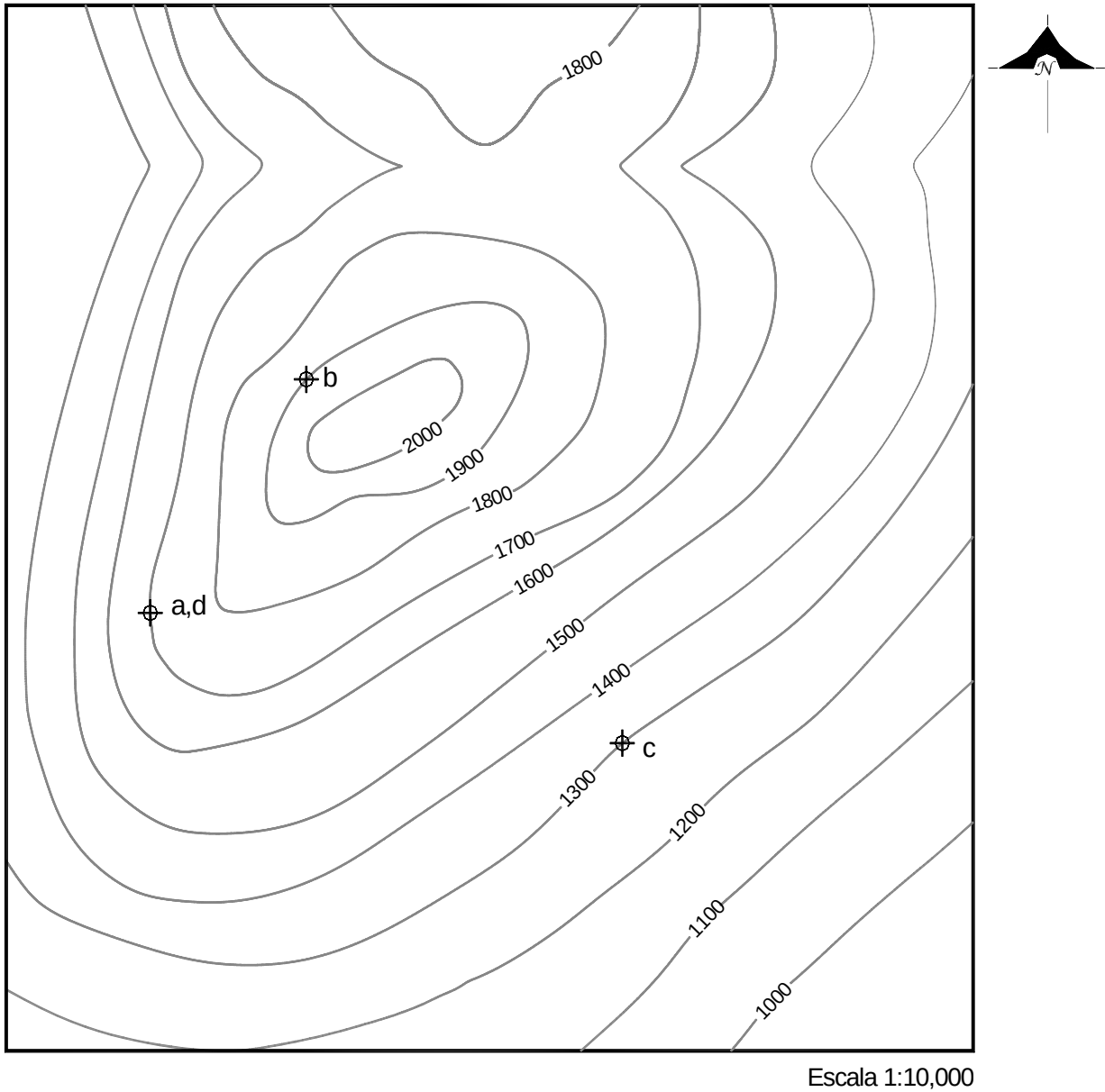


Escala 1:20,000

Ejercicio 6.8. En el mapa topográfico se tiene una propiedad minera con una veta falla con sulfuros que separa una unidad de caliza y una de arenisca; los puntos **a**, **b** y **c** están situados sobre el techo superior de la veta; el punto **d**, está localizado en el lecho inferior de la misma veta, 170 m más abajo del punto **a** (distancia vertical).

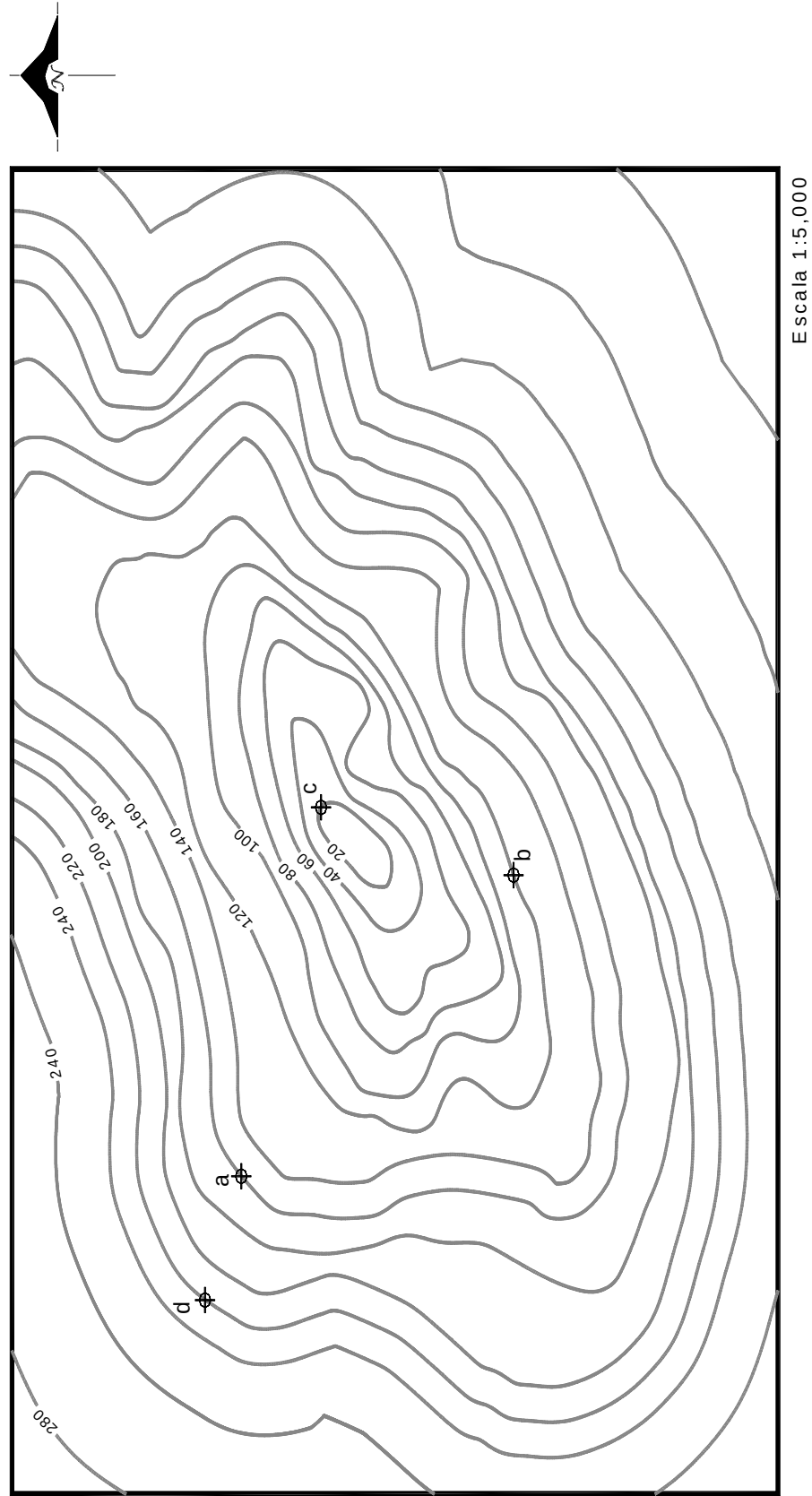
Realice las siguientes actividades:

- Dibuje el patrón de afloramiento del lecho superior e inferior de la veta.
- Calcule y dibuje el rumbo y echado de dicha veta.
- Indique el área de afloramiento de las calizas y de las areniscas.



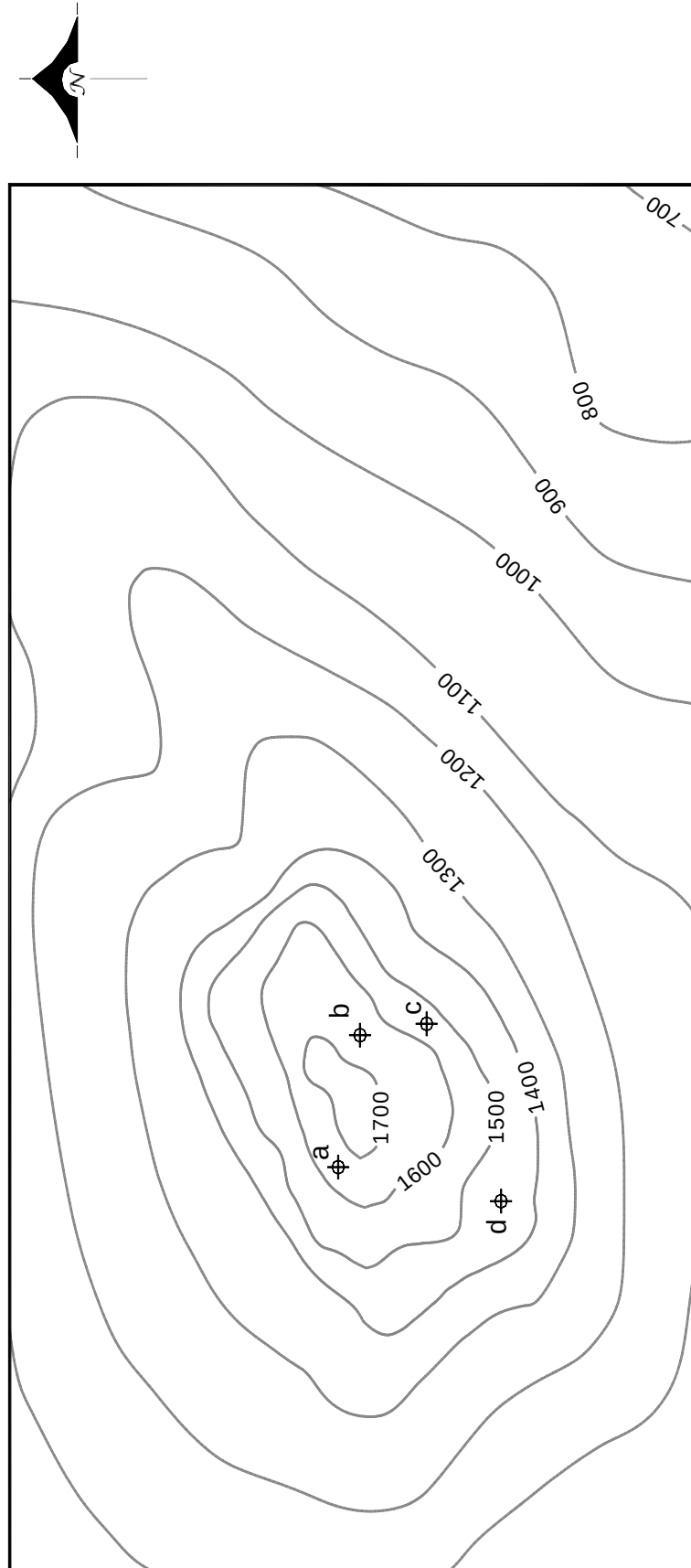
Ejercicio 6.9. Tomando como base el mapa topográfico donde afloran tres unidades geológicas; la más antigua es de calizas del Albiano y su contacto superior es con lutitas del Cenomaniano, mediante un plano que pasa por los puntos **a**, **b** y **c**; el punto **d** es un sitio donde aflora la base de una secuencia horizontal de limolitas del Paleoceno. Realizar las siguientes actividades:

- Obtenga los rumbos y echados de las tres unidades geológicas.
- Trace el patrón de afloramiento del contacto de las calizas con las lutitas.
- Trace el patrón de afloramiento de la base de las limolitas.
- Indique las áreas de afloramiento de las tres unidades.



Ejercicio 6.10. Los puntos a, b, y c se encuentran a una altitud de 1620, 1660 y 1540 m sobre el nivel del mar respectivamente. Desde esos puntos se hicieron perforaciones de barrenos verticales, encontrándose una veta-falla de fluorita en **a**, a 20 m de profundidad; en **b**, 10 m de profundidad y en **c**, a 30 m de profundidad. Esta estructura corresponde con una falla normal, en cuyo bloque de techo afloran areniscas con rumbo promedio N-S y echado de 40° al este; en el bloque de piso afloran calizas, también con rumbo N-S, pero con echado promedio de 50° al oeste. En el punto **d**, aflora un dique granítico vertical, el cual tiene un rumbo N45°E. Realice las siguientes actividades:

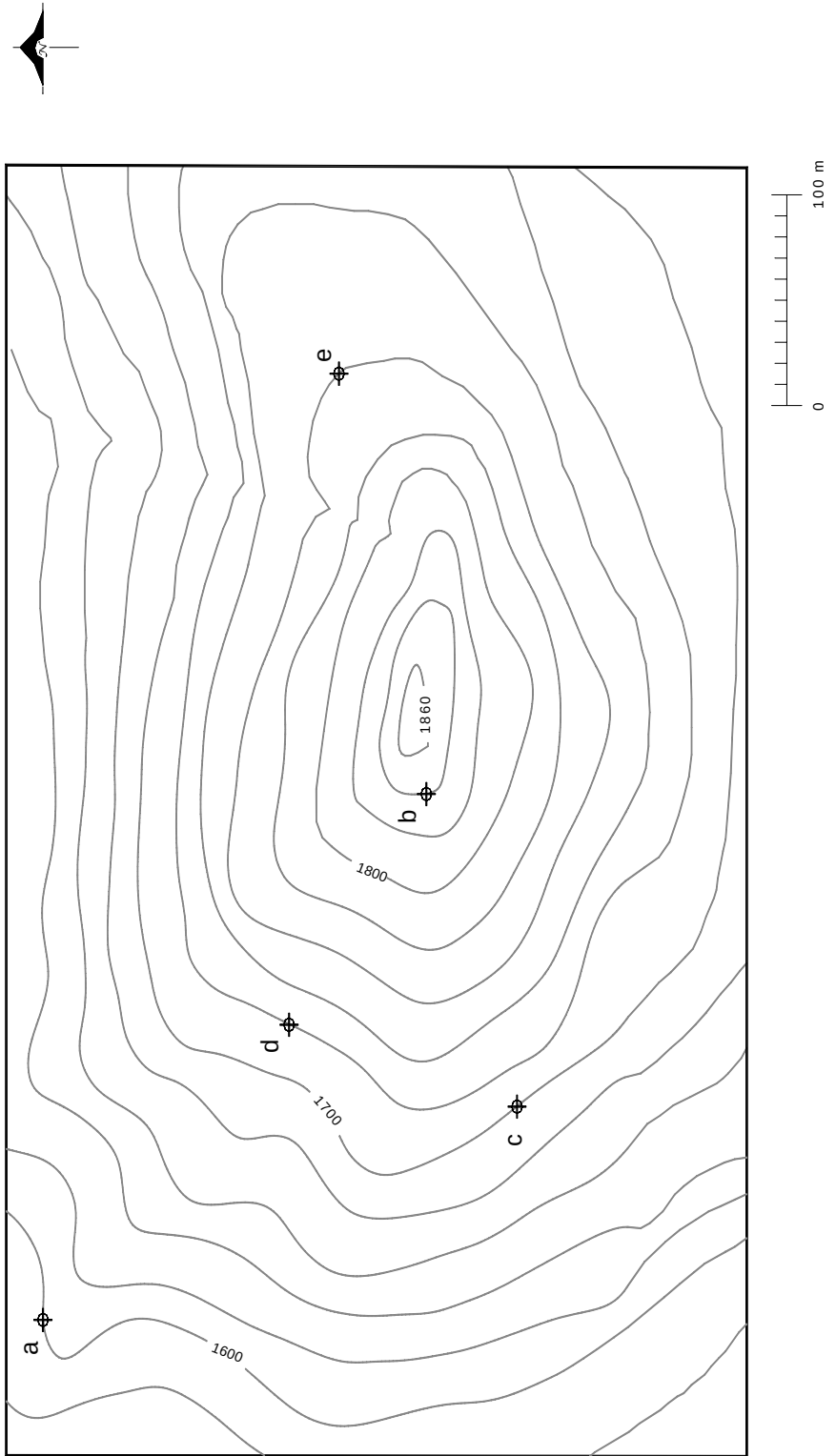
- Trace el patrón de afloramiento de la veta-falla.
- Trace el patrón de afloramiento del dique.
- Determine el rumbo y echado de la veta-falla.
- Indique el área de afloramiento de las areniscas y de las calizas.



ESC. 1:12,500

Ejercicio 6.11. En el área del mapa topográfico se tiene reportada una secuencia siliciclástica con un horizonte de carbón del Oligoceno. Se perforaron tres barrenos verticales desde **a**, **b** y **c**, iniciándose en todos los casos la perforación en areniscas del Eoceno y encontrándose el lecho superior de un cuerpo tabular de carbón a 20, 60 y 40 m de profundidad respectivamente. Considerando que el espesor del cuerpo tabular de carbón es de 30 m, el cual está sobreyaciendo a una secuencia de lutitas del Paleoceno, realizar las siguientes actividades:

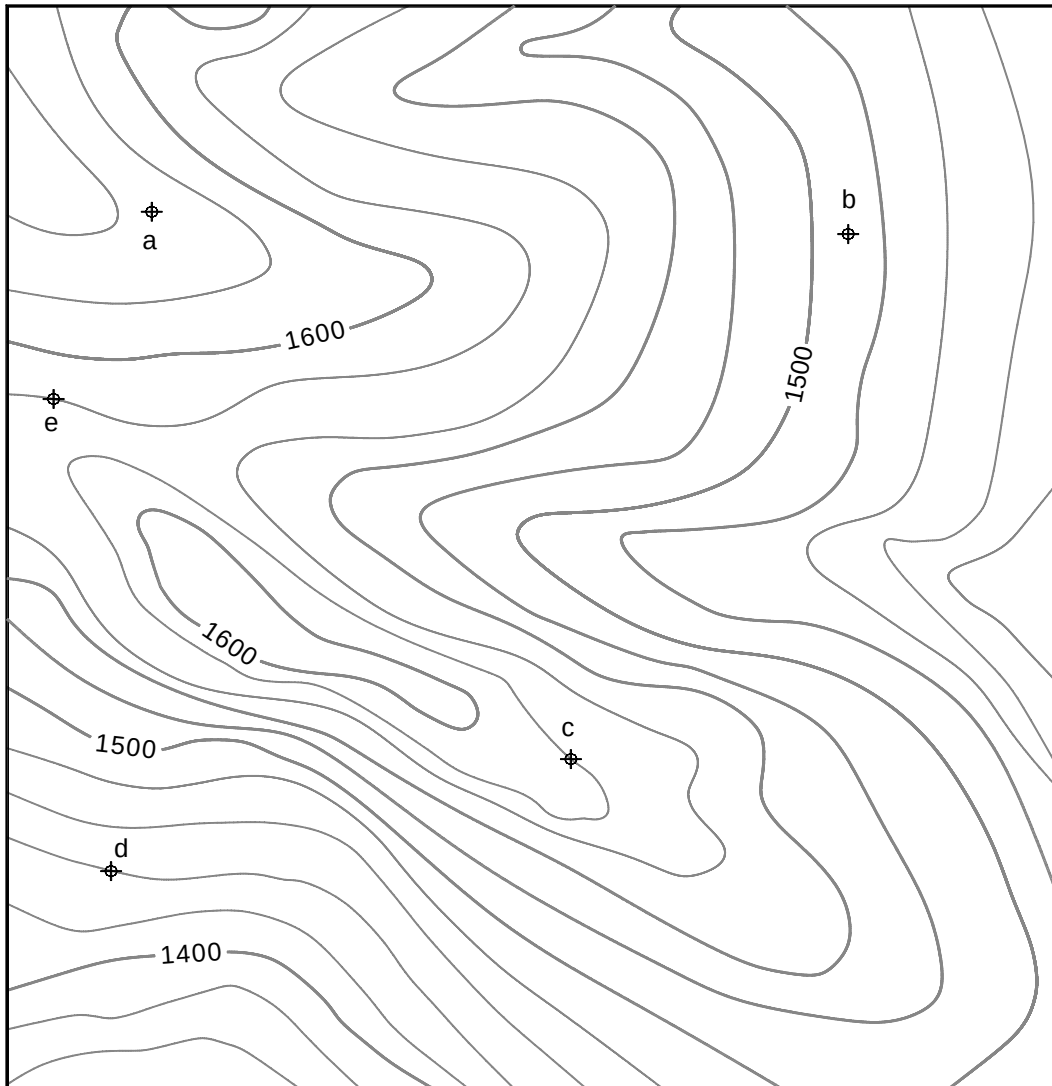
- Calcule el rumbo y echado del cuerpo tabular de carbón.
- Trace el patrón de afloramiento de la cima y base del cuerpo tabular de carbón.
- Indique el área de afloramiento de las areniscas y de las lutitas.
- Si se perforan dos barrenos verticales desde **d** y **e**, calcule a qué profundidad se encontraría el techo del horizonte tabular de carbón.



Ejercicio 6.12. El mapa topográfico muestra el área y relieve de una propiedad minera en la que se perforaron 3 barrenos verticales para ubicar una veta-falla de sulfuros. En esta superficie afloran 2 formaciones sedimentarias. Se inició la perforación en **a**, **b** y **c** en una secuencia de areniscas del Jurásico, encontrándose el techo de la veta a 10 m, 70 m y 40 m de profundidad respectivamente. Continuando con la perforación en el punto **b**, se encontró el piso de la veta a 100 m de profundidad desde la superficie, abajo de la veta se encontró una secuencia de calizas del Terciario.

Realice las siguientes actividades:

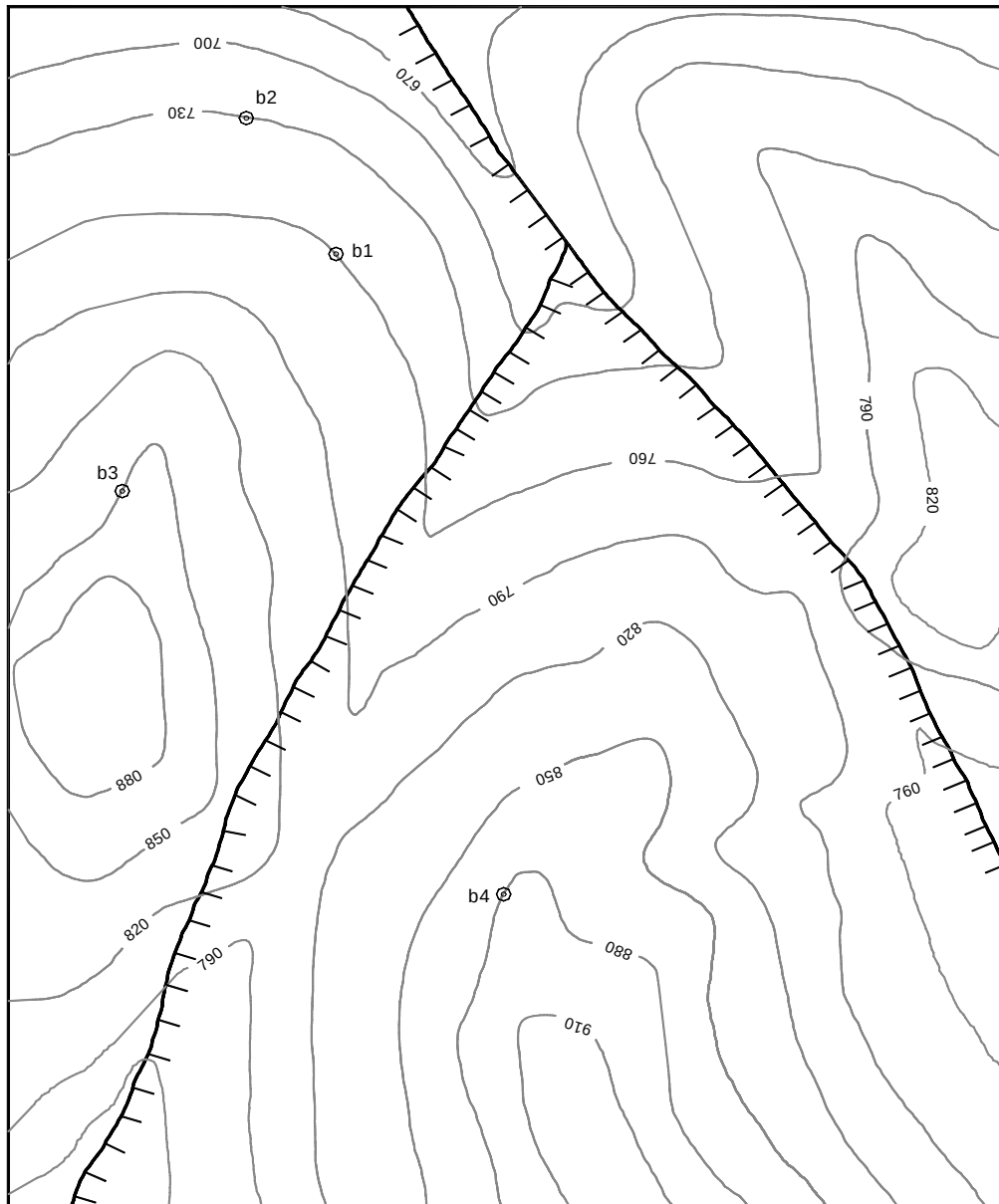
- Trace el patrón de afloramiento del lecho superior e inferior de la veta.
- Calcule y dibuje el rumbo y echado de la veta.
- Indique el área de afloramiento de las calizas y de las areniscas.
- Identifique el tipo de falla que existe e indique cuál es el bloque de techo y cuál el bloque de piso.
- Determine a qué profundidad, desde la superficie, se encuentra el techo y piso de la veta si se perforan barrenos verticales desde **d** y **e**.
- Determine el espesor de la veta.



Escala 1:30,000

Ejercicio 6.13. Dos horizontes tabulares de carbón, paralelos, de 10 m de espesor, han sido localizados en los barrenos de diamante **b1**, **b2** y **b3**. En los dos primeros barrenos el horizonte inferior se encontró a una profundidad de 30 m, mientras que en el barreno **b3** el horizonte superior se encontró a una profundidad de 30 m y el horizonte inferior a 150 m. Considere que abajo del horizonte inferior se tiene a la arenisca 1; entre ambos horizontes a la arenisca 2 y arriba del horizonte superior a la arenisca 3. Realice las siguientes actividades:

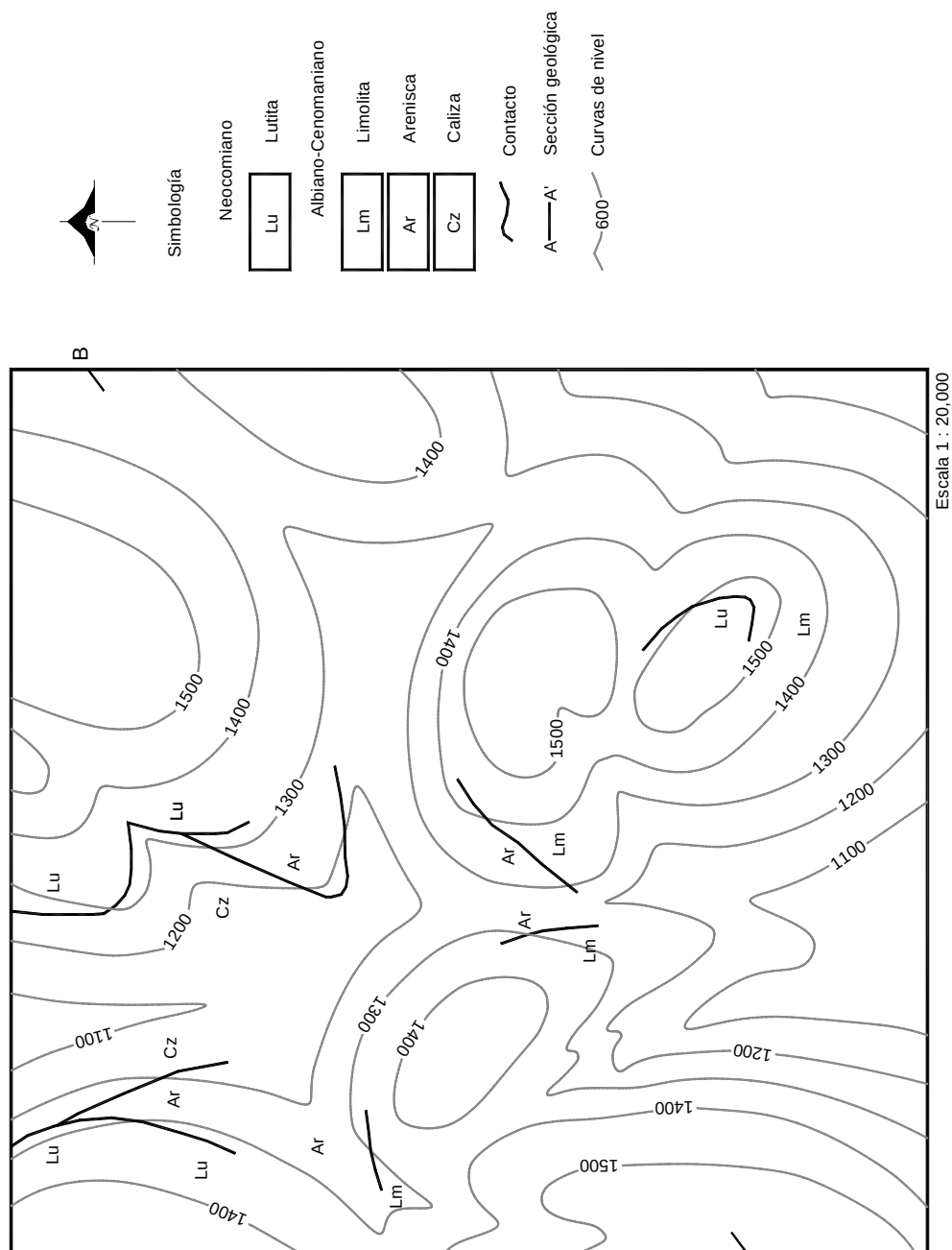
- Trace el patrón de afloramiento de ambos horizontes.
- Obtenga el rumbo y el echado de ambos horizontes.
- Estime las profundidades a que serán encontrados los horizontes en el barreno **b4**.
- Indique el área de afloramiento de las areniscas 1, 2 y 3.
- Calcule el espesor de la arenisca 2.



ESC. 1:2000

Ejercicio 6.14. En el mapa topográfico afloran cuatro unidades geológicas: lutitas (Lu), limolitas (Lm), areniscas (Ar) y caliza (Cz), cuyos contactos se muestran de manera parcial. Tomando como base esta información, realice las siguientes actividades:

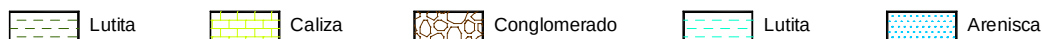
- Complete los patrones de afloramiento (contactos entre las unidades).
- Determine el rumbo y el echado de cada plano de contacto.
- Construya la columna geológica y describa las características de los contactos.



Ejercicio 6.15. Tomando como base el mapa topográfico y las secciones geológicas norte-sur y este-oeste, realice las siguientes actividades:

- Dibuje los patrones de afloramiento de cada uno de los contactos de las unidades.
- Calcule el espesor de las unidades.
- Construya la columna geológica a escala.

Simbología



Cuestionario 6.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y conteste en forma clara y concisa.

=====

1. Con relación a los mapas geológicos contruidos sobre mapas topográficos, explique qué es el patrón de interferencia.
2. Considerando una elevación topográfica (cerro), describa las principales características de los patrones de interferencia de planos estructurales horizontales.
3. Considerando una depresión topográfica (valle), describa las principales características de los patrones de interferencia de planos estructurales verticales.
4. Considerando dos elevaciones topográficas (cerros), separadas por una depresión (valle), describa las principales características de los patrones de interferencia de planos estructurales inclinados. Tome como referencia un plano estructural poco inclinado (10°), un plano con inclinación intermedia (45°) y un plano muy inclinado (82°).
5. Describa el fundamento y las principales características de la regla de las **V's**.
6. Explique si la regla de las **V's** se cumple en todos los casos.
7. Explique cómo se construye el patrón de interferencia de un plano estructural inclinado sobre un mapa topográfico, si se conocen tres puntos no colineales de dicho plano estructural ubicados en el mapa topográfico.
8. Explique cómo se construye el patrón de interferencia de un plano estructural inclinado sobre un mapa topográfico si se conocen una recta horizontal que intersecta a las curvas de nivel y un punto no colineal de dicho plano estructural.
9. Explique cómo se construye el patrón de interferencia de un plano estructural inclinado sobre un mapa topográfico si se conocen dos rectas que se intersectan y que corta a las curvas de nivel. Las rectas están contenidas en dicho plano estructural.
10. Explique cómo se construye el patrón de interferencia de un plano estructural inclinado sobre un mapa topográfico si se conocen dos rectas paralelas que corta a las curvas de nivel. Las paralelas están contenidas en dicho plano estructural y son horizontales con diferente altitud.
11. Explique la utilidad práctica que tiene conocer y trazar el patrón de interferencia de planos estructurales para resolver problemas en Geología.

7



Anticlinales y sinclinales angulares y asimétricos de la Formación Tamaulipas Superior, al poniente de Xicotepec de Juárez, Puebla.



Secuencia plegada con boudinage en la secuencia calcáreo-arcillosa de la Formación Soyatal, en un corte de la carretera ubicado a 3 Km de la casa de máquinas, de la presa hidroeléctrica de Zimapán, Hidalgo.

Pliegues

PLIEGUES

Un **pliegue** es una estructura secundaria producida cuando una superficie originalmente plana es inclinada o curvada como resultado de deformación dúctil heterogénea, la cual se manifiesta como una o varias ondulaciones de sus elementos originales. Cuando esto ocurre, las rocas experimentan una modificación en su geometría, la que se reconoce cuando los cuerpos rocosos presentan algún rasgo plano o lineal rectilíneo antes de la deformación, el rasgo previo más común es la estratificación. Una superficie plegada puede tener gran variedad de formas, desde muy simples a muy complejas; inclusive la geometría de una superficie curva puede en un momento dado ser muy difícil de describir, sobre todo cuando los pliegues son resultado de más de dos fases de deformación. En este caso se pueden tener pliegues plegados. Muchos de los pliegues formados en la naturaleza se aproximan a formas cilíndricas, es decir, que al desplazar una línea recta en el espacio paralelamente a sí misma (generatriz), se forman las superficies curviplanas o pliegues cilíndricos. La orientación de la línea generatriz define la dirección del eje del pliegue. En la naturaleza, los pliegues aparecen en una gran variedad de tamaños y configuraciones, producidas, en la mayoría de los casos como consecuencia de la acción de sistemas de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza. Los esfuerzos de cizalla que provocan deformación dúctil también originan pliegues.

Desde el punto de vista geológico, los pliegues son estructuras que involucran aspectos litológicos, geométricos y estratigráficos (cronológicos); se componen de varias partes que los caracterizan: flanco, cresta, valle, punto de charnela, línea de charnela, superficie de charnela, longitud de onda, amplitud de onda, eje y punto de inflexión. En las figuras 7.1 y 7.2 se ilustran las partes que componen a los pliegues mediante un bloque diagramático y una sección esquemática.

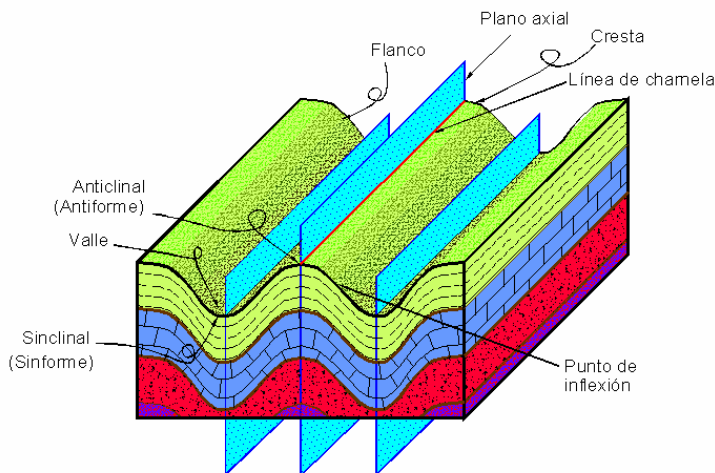


Figura 7.1

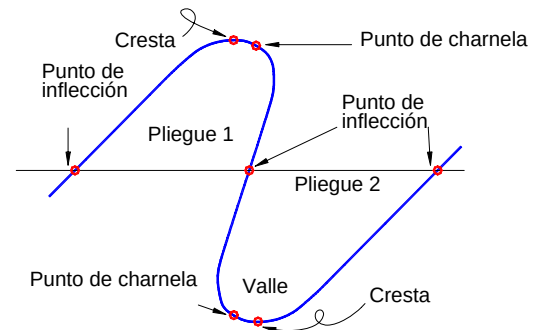


Figura 7.2

PARTES DE UN PLIEGUE

Flanco o limbo. Es la superficie de uno de los lados del pliegue. Cada pliegue tiene dos flancos.

Cresta. Es el punto más alto en la superficie plegada.

Valle. Es el punto más bajo en la superficie plegada.

Punto de charnela. Es punto de máxima curvatura del pliegue, visto en sección transversal.

Línea de Charnela. Es la línea que une los puntos de máxima curvatura de un pliegue y pasa por los puntos de charnela.

Superficie o plano de charnela (plano axial). Superficie que contiene las líneas de charnela de un pliegue en un mismo plano estructural.

Longitud de onda. Distancia horizontal entre cresta y cresta en un antiforme o entre valle y valle en un sinforme, considerando siempre pliegues continuos. Es una medida del tamaño del pliegue.

Amplitud de onda. Distancia entre el punto de inflexión y la cresta de un antiforme o el punto de inflexión y el valle de un sinforme.

Ángulo interlimbos (interflancos). Ángulo menor que se forma entre los limbos o flancos de un pliegue.

Eje. Es la línea que genera a un pliegue (generatriz). En un mapa se define como la traza del eje del pliegue a la intersección de la superficie axial con el relieve topográfico. El eje del pliegue es el que se dibuja en un mapa geológico para representarlo gráficamente.

Punto de inflexión Punto donde una superficie plegada pasa de un pliegue a otro o visto de otra manera de cóncava a convexa.

CONCEPTOS ASOCIADOS A ESTRUCTURAS PLEGADAS

Antiforme. Es una estructura geológica cóncava hacia abajo o convexa hacia arriba sin tomar en consideración la edad de las rocas.

Sinforme. Es una estructura geológica cóncava hacia arriba o convexa hacia abajo sin tomar en consideración la edad de las rocas.

Anticlinal. El pliegue se denomina **anticlinal** cuando las rocas más viejas se localizan hacia la zona cóncava del arqueamiento o núcleo del pliegue.

Sinclinal. El pliegue se denomina **sinclinal** cuando las rocas más jóvenes se presentan en el lado cóncavo o núcleo de la flexión.

Anticlinorio. Estructura regional con forma cóncava hacia abajo, definida por un conjunto de pliegues anticlinales y sinclinales.

Sinclinorio. Estructura regional con forma convexa hacia abajo, definida por un conjunto de pliegues anticlinales y sinclinales.

Monoclinal. Flexión o inclinación estructural en una sola dirección, semejante a un escalón, en zonas donde predominan capas horizontales.

Homoclinal. Flexión estructural en una sola dirección con echado uniforme, es semejante a una rampa.

Terraza estructural. Área donde localmente se tienen estratos horizontales en una zona en la que predominan estratos inclinados.

Décollement. Es la superficie de despegue entre la roca de basamento o bloque autóctono y la roca que se desplaza o bloque alóctono. En el bloque superior se forman los pliegues.

Orientación. Para los flancos o limbos se miden los rumbos y echados, al igual que para el plano de charnela. La orientación de un pliegue se mide en el campo obteniendo la actitud de ambos limbos, plano y línea de charnela. Para las líneas de charnela, se mide el buzamiento y la dirección del buzamiento.

Los pliegues se clasifican de varias formas sin embargo, son cinco las clasificaciones que más se emplean en las distintas aplicaciones de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES

1. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES QUE TOMA EN CUENTA EL ECHADO DEL PLANO DE CHARNELA Y EL BUZAMIENTO DE LA LÍNEA DE CHARNELA

Considerando que el echado del plano de charnela y el buzamiento de la línea de charnela pueden variar de 0° a 90° , los pliegues se clasifican con diferentes nombres, como se muestra en la figura 7.3.

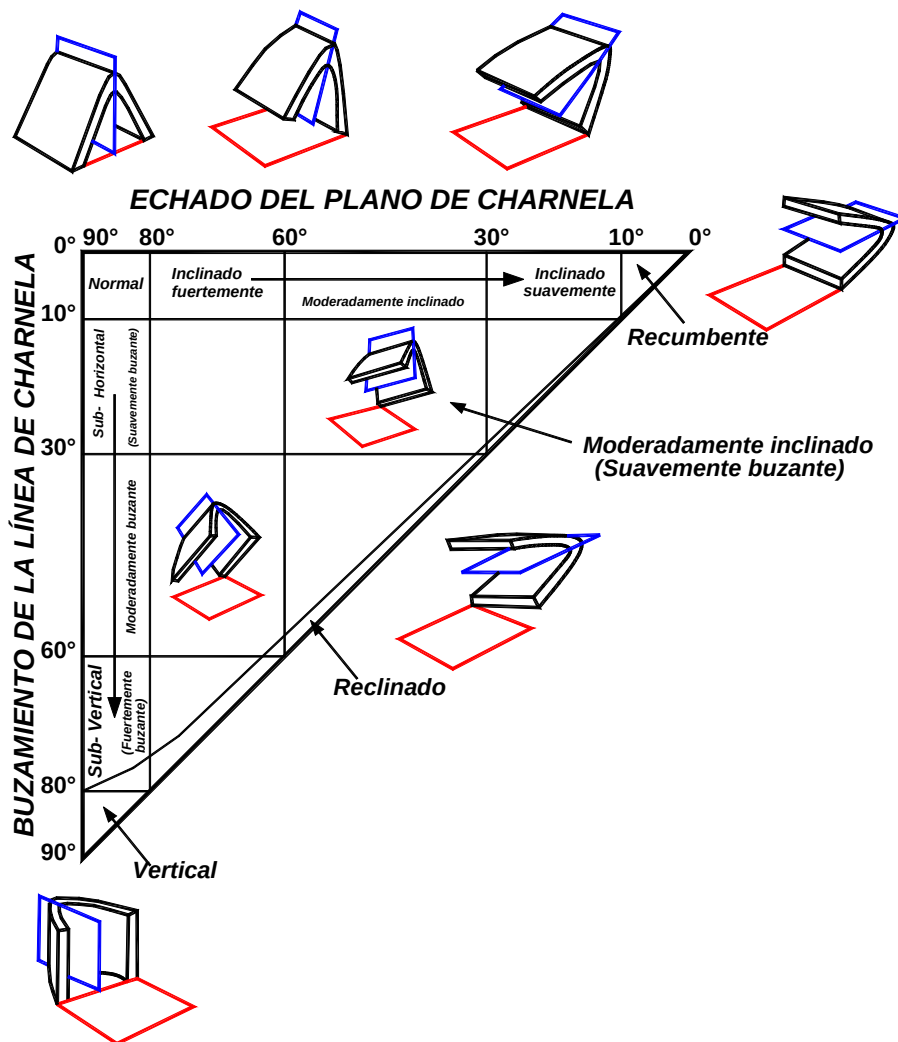


Figura 7.3

2. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES BASADA EN LA ORIENTACIÓN Y POSICIÓN DE LA LÍNEA DE CHARNELA Y EL PLANO AXIAL

Tanto el plano axial como la charnela pueden ser verticales, horizontales o inclinados. En función de su posición y orientación se pueden tener diferentes casos, como se muestra en la tabla 7.1.

PLANO DE CHARNELA	LÍNEA DE CHARNELA		
	HORIZONTAL	INCLINADO	VERTICAL
VERTICAL	Horizontal normal	Buzante normal	Vertical
INCLINADO	Horizontal Inclinado	Buzante inclinado	
HORIZONTAL	Recumbente		

Tabla 7.1. Clasificación de pliegues con base en las orientaciones del plano y línea de charnela

3. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES POR EL ÁNGULO ENTRE SUS FLANCOS

Esta clasificación incluye como elemento descriptivo el ángulo entre los flancos de un pliegue para describir lo “apretado” o lo “abierto” de la estructura, esto se logra pasando una línea tangente a los puntos de inflexión, formando por lo tanto el ángulo interflancos.

ÁNGULO INTERFLANCOS	TIPO DE PLIEGUE
179°--- 120°	SUAVE
119°--- 70°	ABIERTO
69° --- 30°	CERRADO
29° --- 0°	APRETADO
0°	ISOCLINAL
ÁNGULOS NEGATIVOS	DE HONGO O ABANÍCO

Tabla 7.2. Clasificación de pliegues por el ángulo interflancos

4. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES POR LA GEOMETRÍA DE SUS CRESTAS

Esta clasificación es descriptiva y se basa en la geometría de sus crestas y/o valles, bien sean angulares o redondeadas.

Pliegues kink. Pliegues con flancos planos con crestas y valles completamente angulares, los flancos de un pliegue kink son de diferente longitud, por lo que son asimétricos.

Pliegues chevrón. Pliegues con flancos planos con crestas y valles completamente angulares, con flancos simétricos.

Pliegues de caja. Pliegues con crestas y valles angulares, en forma de grecas (ángulos aproximadamente de 90°).

Pliegues cilíndricos. Pliegues con crestas y valles redondeados, semejando una superficie cilíndrica.

5. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES POR EL MÉTODO DE LAS ISÓGONAS

Otra clasificación alternativa para diferenciar los distintos tipos de pliegues, es aquella que utiliza a la distribución de las **isógonas** en un pliegue. Una **isógona**, es una línea que une puntos de igual echado en capas adyacentes; es una clasificación basada en el estilo de plegamiento. Generalmente las isógonas se define en incrementos de 10° y miden la convergencia o divergencia que se obtiene. De acuerdo a esta clasificación, existen cinco tipos o estilos de pliegues:

- a) **Pliegues de isógonas con convergencia fuerte.** La curvatura de la superficie exterior es menor que la interior, y la isógona más corta es la ubicada en la charnela (clase 1a).
- b) **Pliegue paralelo.** Consiste de un caso especial donde las isógonas tienen la misma distancia y son normales a las dos superficies. En este caso, la curvatura de la superficie exterior sigue siendo menor que la interior y el espesor de la capa es constante (clase 1b).
- c) **Pliegue de convergencia débil.** Se caracteriza porque la curvatura de la superficie exterior es menor que la interior y las isógonas se concentran cerca de la charnela (clase 1c).
- d) **Pliegue similar.** Este caso también es especial, donde las isógonas son paralelas y tienen la misma distancia. La curvatura de la superficie exterior y de la inferior son iguales (clase 2).
- e) **Pliegue de isógonas divergentes.** En este caso las isógonas no convergen hacia el núcleo del pliegue como en los otros casos. La curvatura de la superficie exterior es mayor que la interior (clase 3).

Una forma práctica de clasificar a los pliegues por medio de las isógonas, es de acuerdo a los valores que se obtienen al graficar los valores de:

$$t = \frac{t_{\delta}}{t_o} \quad \text{donde } t_{\delta} = \text{es a la distancia del cateto adyacente del triángulo rectángulo, y}$$

$$t_o = \text{es la distancia de la isógona en la charnela (Figura 7.4)}$$

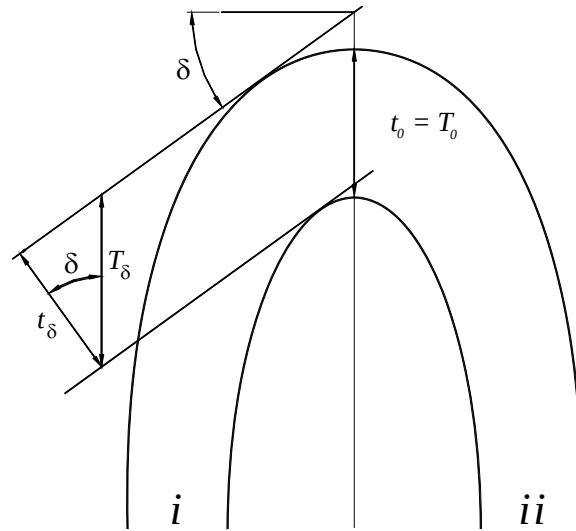


Figura 7.4

Si se grafica t_o vs δ , se pueden obtener valores y clasificar a los pliegues de manera cuantitativa (figuras 7.5a y 7.5b).

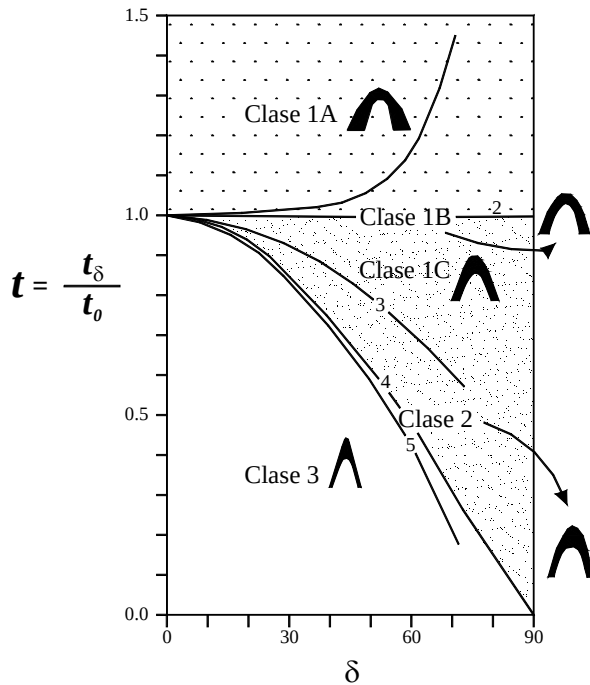


Figura 7.5a

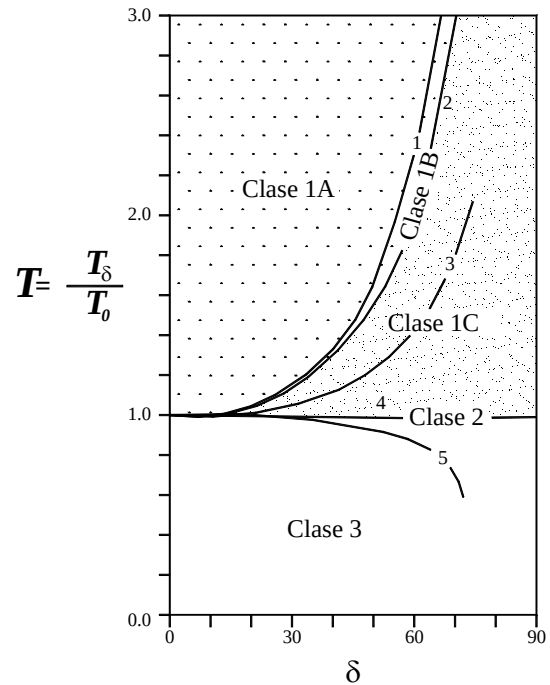


Figura 7.5b

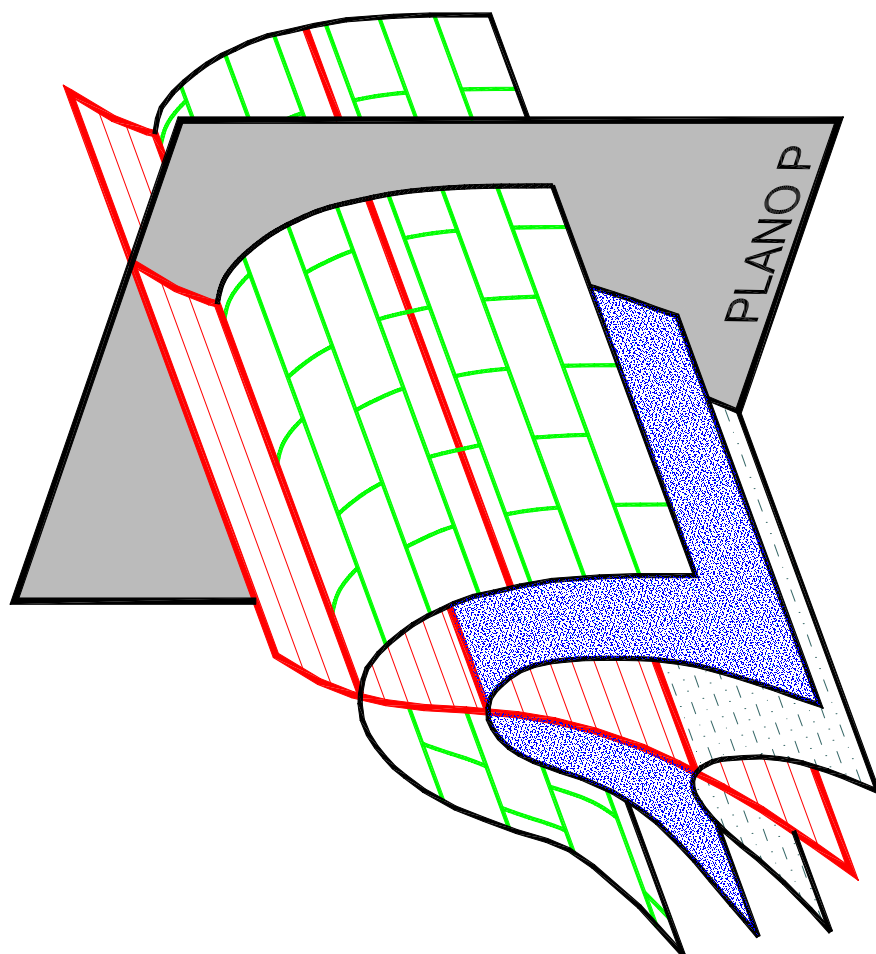
6. CLASIFICACIÓN DE PLIEGUES POR SU SIMETRÍA

Los pliegues también se pueden describir en términos de su simetría, un pliegue es **simétrico** cuando ambos flancos tienen la misma inclinación (echado) respecto de la línea de charnela, cuando uno de ellos tiene mayor inclinación que otro es **asimétrico** y si ambos flancos buzcan en la misma dirección es un pliegue **volcado**.

En este capítulo se analizan las características principales de las estructuras plegadas, se estudian los distintos tipos de pliegues en términos de su origen, forma, geometría, morfología, tamaño, etc.

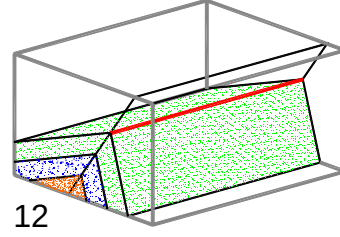
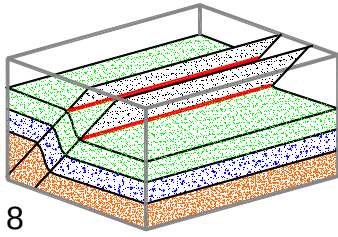
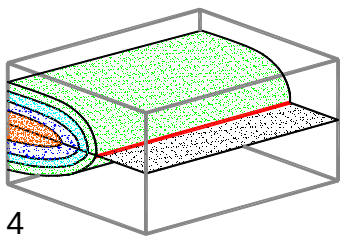
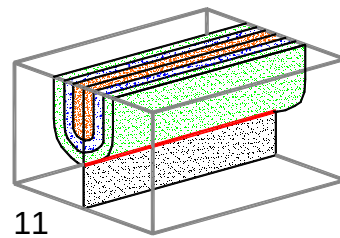
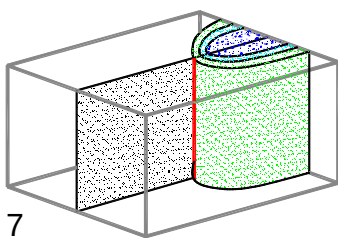
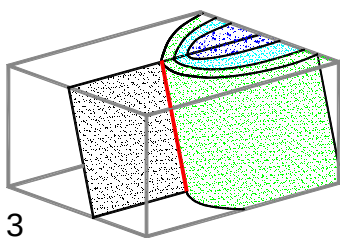
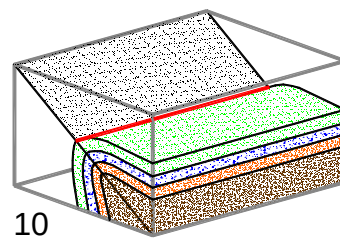
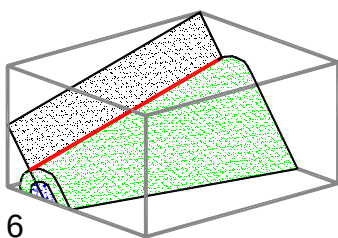
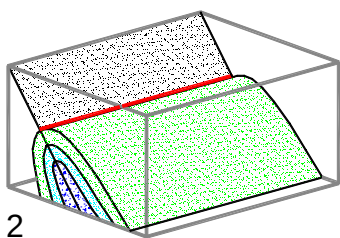
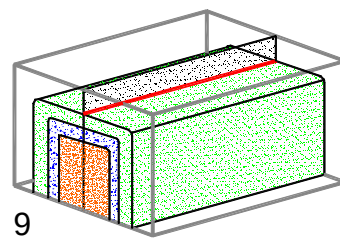
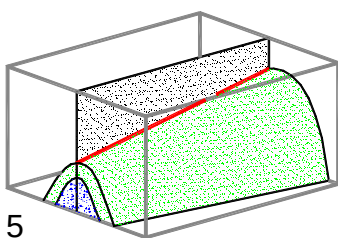
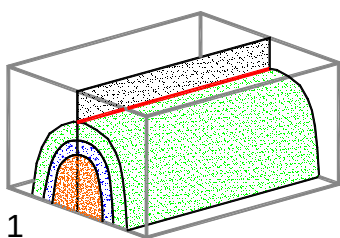
Ejercicio 7.1. Tomando como base el pliegue de la figura, indique sus partes:

- Línea de charnela.
- Superficie de charnela.
- Flanco.
- Eje.
- Zona de charnela.
- Con dos flechas dibujadas sobre el plano P, indique de manera esquemática la dirección en que actuaron los esfuerzos que causaron la deformación.



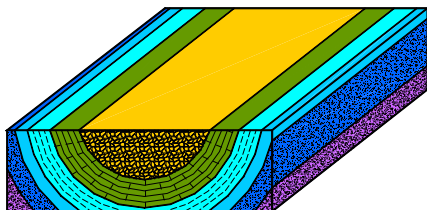
Ejercicio 7.2. Tomando como base las figuras con bloques diagramáticos de pliegues, realice las siguientes actividades:

- Describa cada una de las estructuras.
- Clasifíquelas tomando como referencia su línea de charnela y plano axial.
- Clasifíquelas tomando como referencia el ángulo interflancos.
- Clasifíquelas con base en la geometría de sus crestas.

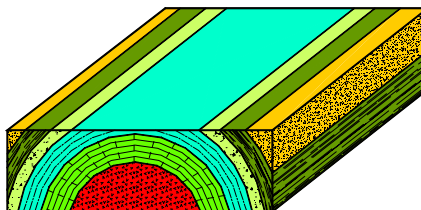


Ejercicio 7.3. Tomando como base las figuras con bloques diagramáticos de pliegues, realice las siguientes actividades:

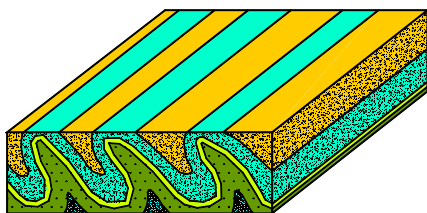
- Describa cada una de las estructuras.
- Clasifíquelas tomando como referencia su línea de charnela y plano axial.
- Clasifíquelas tomando como referencia el ángulo interflancos.



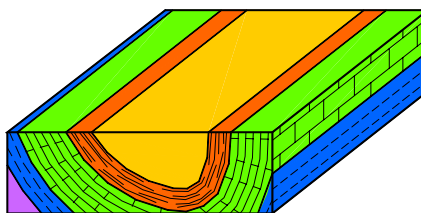
1



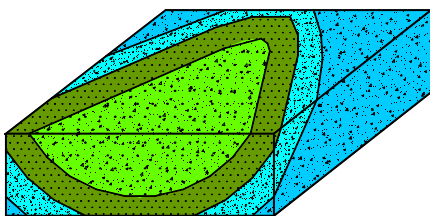
6



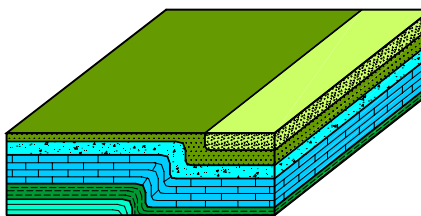
2



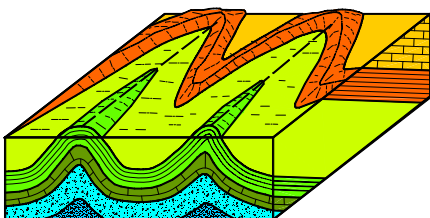
7



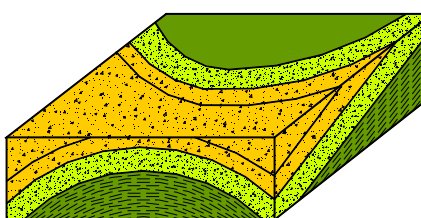
3



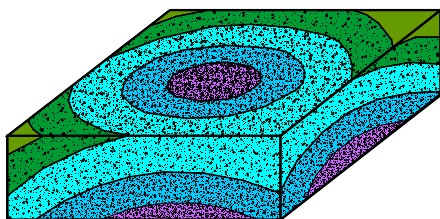
8



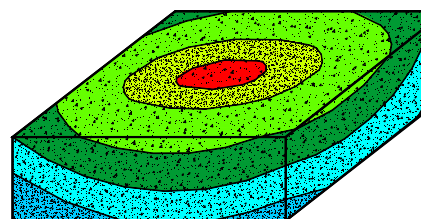
4



9



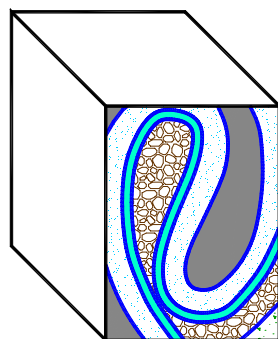
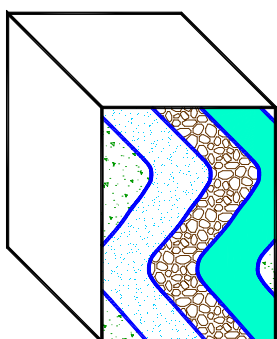
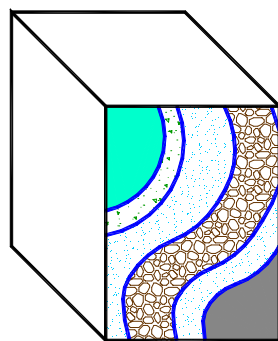
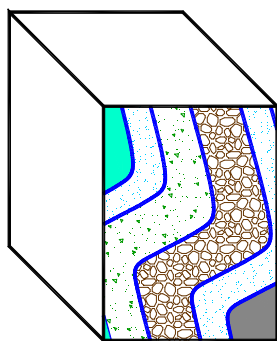
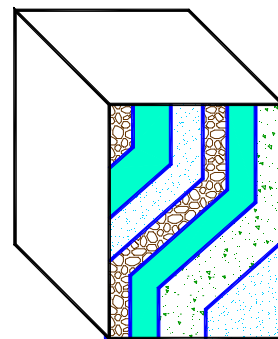
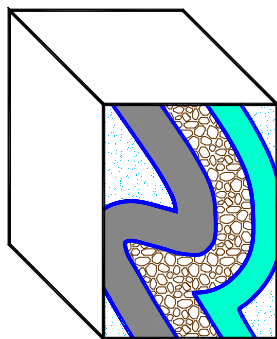
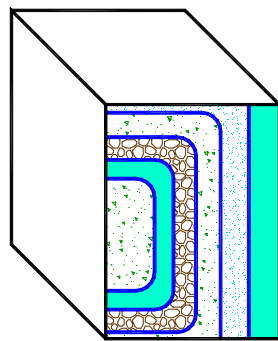
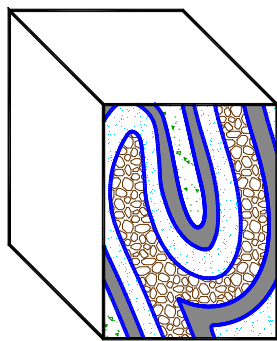
5



10

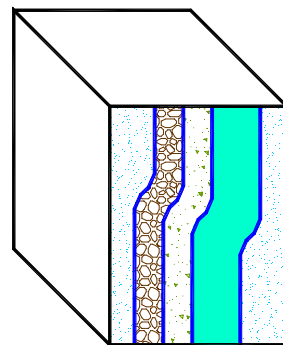
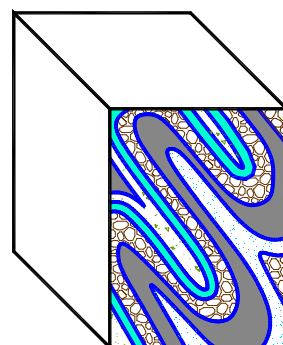
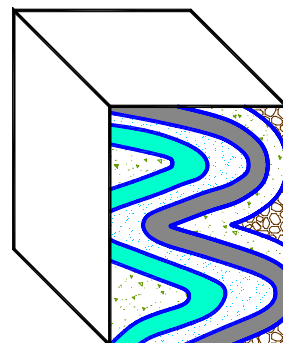
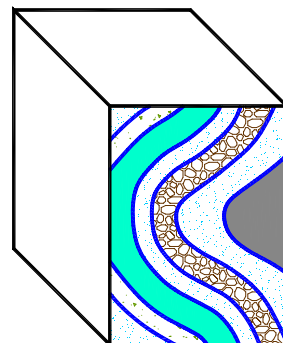
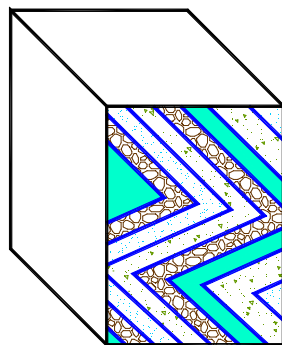
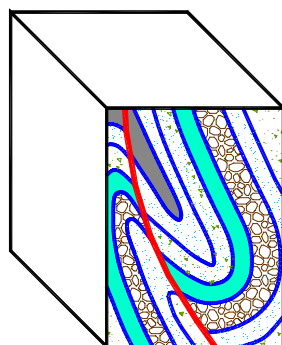
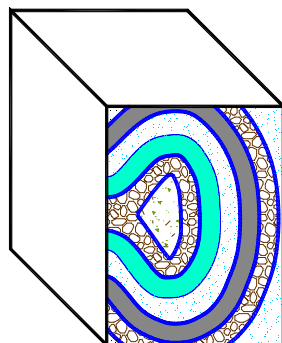
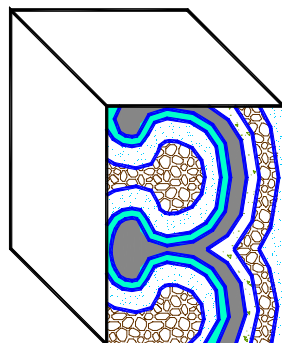
Ejercicio 7.4. Tomando como base el corte transversal de los pliegues, que se muestran en los bloques diagramáticos, realice las siguientes actividades:

- Dibuje la planta y la sección longitudinal en cada uno de los bloques.
- Describa cada una de las estructuras.
- Clasifique los pliegues utilizando dos criterios.



Ejercicio 7.5. Tomando como base el corte transversal de los pliegues, que se muestran en los bloques diagramáticos, realice las siguientes actividades:

- Dibuje la planta y la sección longitudinal en cada uno de los bloques.
- Describa cada una de las estructuras.
- Clasifique los pliegues utilizando dos criterios.



Cuestionario 7.1. Lea atentamente cada una de las cuestiones siguientes y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

=====

1. Tomando en cuenta la orientación del plano y línea de charnela del pliegue, los pliegues que tienen plano y línea de charnela horizontales se llaman:
a) Buzantes
b) Isoclinales
c) Disarmónicos
d) Recumbentes
2. Tomando en cuenta la orientación del plano y línea de charnela del pliegue, los pliegues que tienen plano vertical y línea de charnela horizontal se llaman:
a) Buzantes
b) Armónicos
c) Recumbentes
d) Horizontal normal
3. Tomando en cuenta los ángulos entre flancos (interlimbos), marque aquellos pliegues cuyo ángulo se encuentra en el intervalo de 70° a 120° .
a) Apretados
b) Cerrados
c) Abiertos
d) Suaves
4. No corresponde a la clasificación de pliegues que se basa en la geometría de sus crestas:
a) Pliegues de Chevron
b) Pliegues Similares
c) Pliegues de Caja
d) Pliegues Cilíndricos
5. El plano o superficie que contiene a las líneas de charnela de un pliegue se llama:
a) Plano de charnela
b) Plano vertical
c) Plano de falla
d) Plano de napa
6. Cuando una o varias superficies planas se flexionan por deformación, sin romperse (deformación dúctil), se forma un:
a) Décollemant
b) Graben
c) Pliegue
d) Cizallamiento
7. El punto más bajo en un sinclinal se llama:
a) Cresta
b) Valle
c) Punto de inflexión
d) Punto de charnela
8. Los pliegues que tienen ángulos entre flancos (interlimbos) entre 120° y 180° , se llaman:
a) Suaves
b) Abiertos
c) Cerrados
d) Apretados
9. Los pliegues con crestas y valles completamente angulares, con flancos planos y simétricos se llaman:
a) Chevron
b) Bandas kink
c) Kink
d) Cilíndricos
10. Tomando en cuenta los ángulos interflancos (interlimbos), marque aquellos pliegues cuyo ángulo se encuentra en el intervalo de 30° a 70° .
a) Apretados
b) Cerrados
c) Abiertos
d) Suaves

11. Tomando como base el espesor de las capas de los pliegues, si las capas deformadas que los forman tienen la misma forma y geometría, se denominan:

- a) Pliegues armónicos
- b) Pliegues disarmónicos
- c) Pliegues angulares
- d) Pliegues de "hongo"

12. La línea que une puntos de igual echado en los pliegues se llama:

- a) Isolínea
- b) Isógona
- c) Isocrona
- d) Isoyeta

13. Los pliegues en los que la charnela buza (se inclina) debajo de las rocas circundantes se denominan pliegues:

- a) Circulares
- b) Inversos
- c) Hundidos
- d) Buzantes

Cuestionario 7.2. Lea atentamente las siguientes cuestiones y conteste en forma clara y concisa.

=====.

1. Defina los siguientes conceptos:

- a) Pliegue
- b) Antiforme
- c) Sinforme
- d) Anticlinal
- e) Sinclinal
- f) Monoclinal
- g) Anticlinorio
- h) Sinclinorio
- i) Homoclinal

2. Explique cuáles son los parámetros más importantes que influyen para que se formen los pliegues.

3. Explique cuáles son los mecanismos que dan origen a los pliegues.

4. Dibuje de manera esquemática en planta y sección los siguientes casos de pliegues:

- a) Un sinclinal recostado
- b) Un anticlinal buzante
- c) Un sinclinal chevron
- d) Un anticlinal simétrico
- e) Un anticlinal recumbente

5. Defina los siguientes conceptos:

- a) Línea de charnela
- b) Plano de charnela
- c) Cresta
- d) Punto de inflexión
- e) Valle

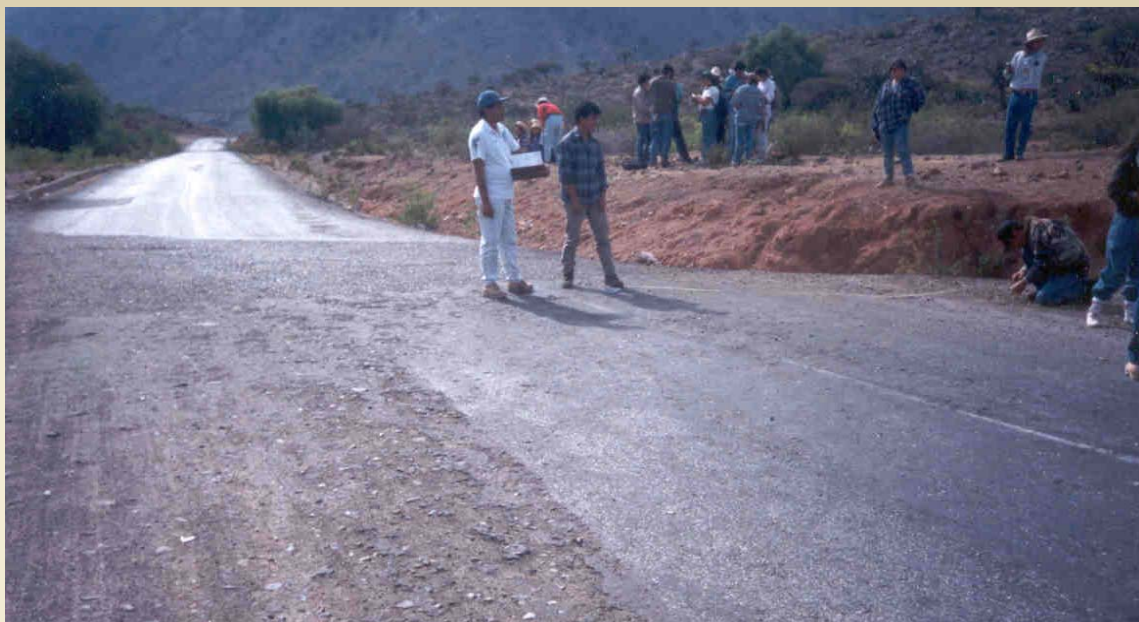
6. Explique la importancia que tienen los pliegues con relación al origen de las cadenas montañosas.

7. Explique la importancia que tienen los pliegues con relación a las acumulaciones de sustancias de interés económico (petróleo, agua y minerales).

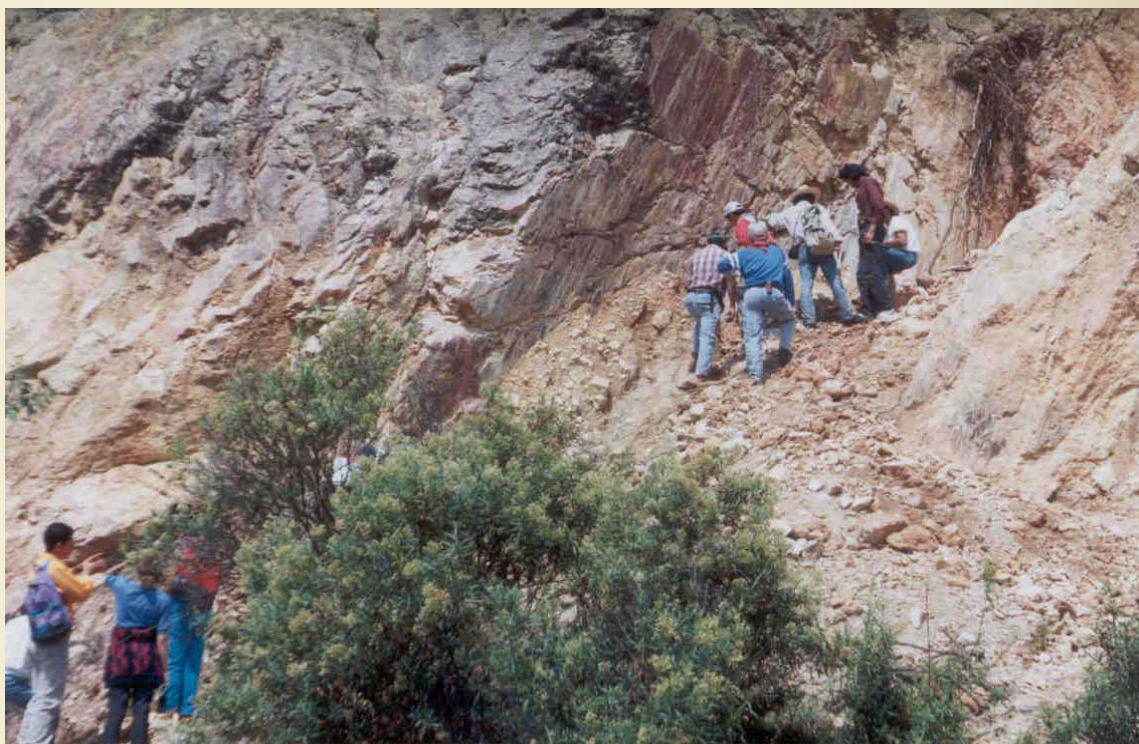
8. Describa los criterios prácticos que se utilizan para identificar los anticlinales y sinclinales.

9. Explique qué diferencias existen entre los monoclinales y los homoclinales.

10. De las distintas clasificaciones de pliegues, explique con fundamentos cuál es la más representativa y de mayor utilidad.



Falla lateral izquierda que desplaza a la carretera Ahualulco-Charcas, San Luis Potosí.



Falla Normal que disloca a un paquete de ignimbritas; en la superficie de falla se observan numerosas estrías. Corte próximo a la localidad de Ahualulco, San Luis Potosí.

Fracturas y fallas

FRACTURAS Y FALLAS

Cada una de las zonas o ámbitos que resultan de una superficie de ruptura se denominan **bloque**; si la superficie de ruptura es horizontal o inclinada, al volumen que queda arriba de la superficie se denomina **bloque de techo** y al volumen inferior **bloque de piso**. El vector de desplazamiento que conecta a puntos originalmente contiguos entre el bloque del techo y el bloque de piso se conoce como **desplazamiento neto**.

Las fracturas y fallas son producto de la deformación frágil en cualquier tipo de roca, se forman por esfuerzos cortantes y en zonas de compresión o tensión.

FRACTURAS

Bajo el campo de la deformación frágil las rocas se rompen conforme a superficies más o menos planas. Las superficies de ruptura se denominan **fracturas** cuando no se aprecia desplazamiento entre los dos ámbitos definidos por la superficie de discontinuidad, en sentido paralelo a la propia superficie.

Las fracturas son discontinuidades aproximadamente planas que separan bloques de roca con desplazamiento perpendicular al plano de ruptura.

FALLAS

Las fallas son superficies de discontinuidad que separan bloques de roca donde ha ocurrido desplazamiento de bloques con movimiento paralelo al plano de discontinuidad. En las figuras 8.1 y 8.2, se muestran en isométricos las partes que componen una falla.

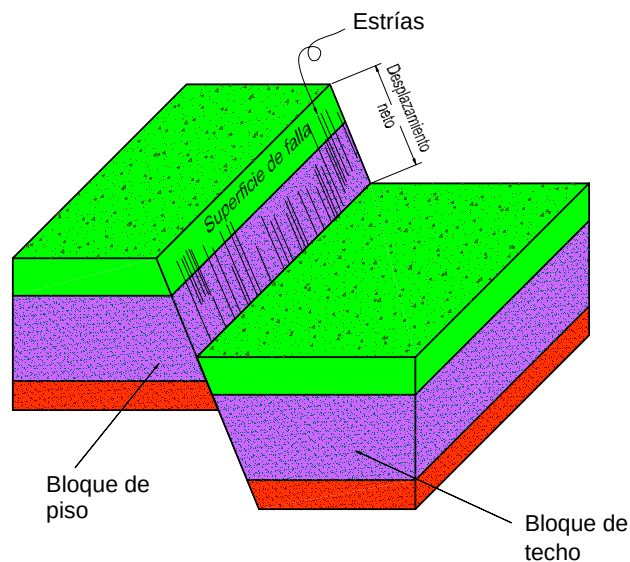


Figura 8.1

$\overline{AC}$ = Desplazamiento neto	δ = Echado de falla
$\overline{AB}$ = Dirección del desplazamiento neto	ϕ = Cabeceo (pitch)
$\overline{AD}$ = Desplazamiento a rumbo	β = Buzamiento del desplazamiento neto
$\overline{DC}$ = Desplazamiento a echado	
$\overline{AF}$ = Salto vertical	α = Hade
$\overline{EF}$ = Salto horizontal	

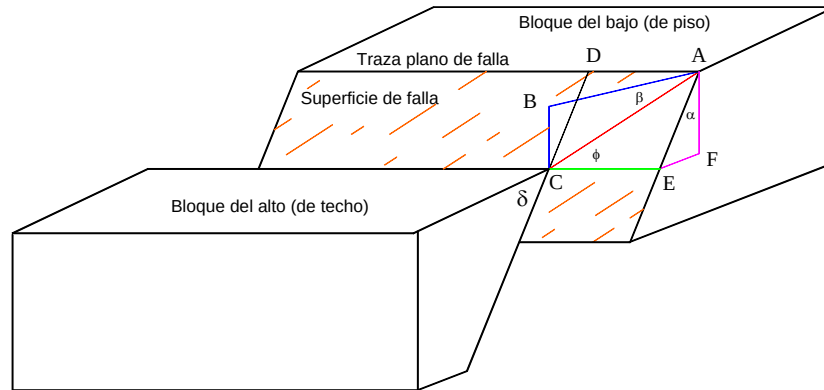


Figura 8.2

TIPOS DE FALLAS

Las fallas se describen y clasifican generalmente por el echado de la falla, la dirección y el sentido del movimiento. El objetivo principal es definir la actitud de desplazamiento, el sentido de movimiento y la magnitud del desplazamiento neto. Las fallas pueden ser normales, inversas, transcurrentes, rotacionales y de crecimiento. Sus principales características se describen a continuación:

Falla normal. Si el movimiento ocurre conforme a la línea de máxima pendiente, la falla es normal; el desplazamiento es tal que el bloque de techo se desliza hacia abajo con relación al bloque de piso.

Falla inversa. La falla es inversa cuando el movimiento ocurre en dirección de la línea de máxima pendiente y el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque de piso.

Falla transcurrente. Si el movimiento de los bloques se da en dirección del rumbo del plano de falla, corresponde a una falla de transcurrencia o falla lateral, pudiendo ser lateral izquierda o lateral derecha. La falla es derecha cuando el observador identifica que el bloque de enfrente se desplaza en forma dextral, y es izquierda cuando dicho bloque se desplaza de manera sinestral.

Falla rotacional o de tijera. Si el movimiento entre los bloques es rotacional, se dice que es una falla rotacional, cilíndrica o de tijera.

Falla de crecimiento. Tienen una componente de desplazamiento similar a una falla normal, a través de cuya superficie de falla existe un incremento del espesor de unidades litoestratigráficas. En este caso la gravedad, el agua, la composición, la cantidad (volumen) y tipo de sedimento influyen para que se formen.

MATERIALES E INDICADORES CINEMÁTICOS ASOCIADOS AL PLANO DE FALLA

Cuando ocurre la ruptura de un bloque y uno o los dos bloques formados se desplazan (movimiento relativo) de forma paralela al plano de discontinuidad, se forma la superficie de falla, en la cual o en su entorno se tienen materiales triturados, recristalizados o metamorfozados que se originaron como resultado del movimiento de los bloques. Estos materiales se clasifican y se describen en función de su composición, tamaño y textura. Se conocen como brecha de falla, microbrecha, millonita, blastomilonita, pseudotaquilita, etc.

Los rasgos asociados al plano de falla que nos indican dirección y sentido del desplazamiento de los bloques se denominan **indicadores cinemáticos**, éstos son muy variados y están en función del tipo de materiales, la forma, geometría, tamaño, etc. Los indicadores cinemáticos más importantes son: estrías, fracturas de tensión escalonadas, foliación sigmoidal, estructuras S-C, libros rotados, pliegues de arrastre, pliegues de funda, espejos y escalones de falla.

CONCEPTOS ASOCIADOS A FALLAS

Horst. Estructura positiva semejante a un pilar (sobre el bloque del piso), delimitada por dos fallas normales.

Graben. Estructura negativa semejante a una fosa (sobre el bloque del techo), delimitada por dos fallas normales.

Cabalgadura. Falla inversa en la cual el desplazamiento neto es de uno a diez Km.

Sobrecorrimiento. Falla inversa en la cual el desplazamiento es de diez a cuarenta Km.

Napa. Falla inversa en la cual el desplazamiento fue mayor a cuarenta Km.

Décollement. Falla inversa en la cual el desplazamiento se debe a un proceso gravitatorio. También se conoce como décollement a las superficies de despegue.

Klippe. Afloramiento aislado del bloque de techo en una falla inversa de ángulo bajo, constituido de rocas alóctonas, rodeado por afloramientos continuos del bloque de piso.

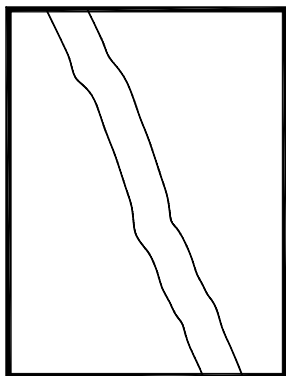
Ventana tectónica. Afloramiento aislado del bloque de piso (autóctono) en una falla inversa de ángulo bajo, rodeado por afloramientos continuos del bloque de techo.

Zona de falla. Es una zona de rompimiento y trituración donde no se observa una superficie en particular; puede corresponder con una región tabular que contenga varias fallas sensiblemente paralelas.

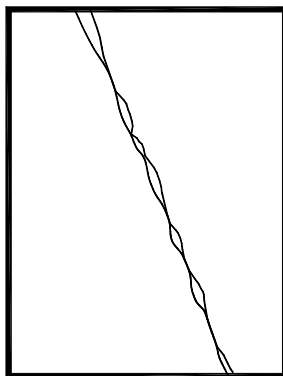
En este capítulo se analizan, estudian y describen los distintos tipos de discontinuidades estructurales, sus partes, su composición, su clasificación y su origen. También se trata lo relacionado a los materiales asociados a los planos de falla y lo correspondiente a los indicadores cinemáticos.

Ejercicio 8.1. Para cada una de las figuras que muestran cortes transversales con discontinuidades en distintos tipos de rocas, realice las siguientes actividades.

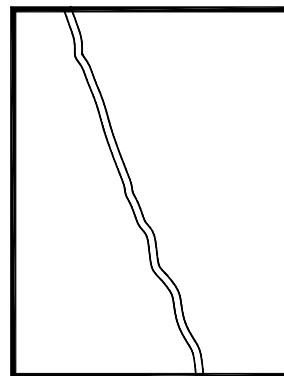
- Describa el tipo de junta.
- Describa sus características.
- Explique su posible origen.
- Indique con flechas la dirección de los esfuerzos principales.



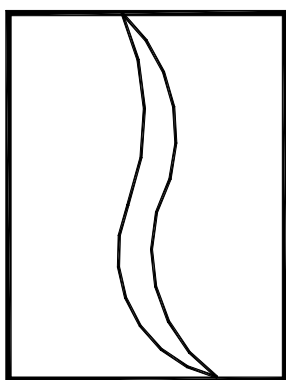
1



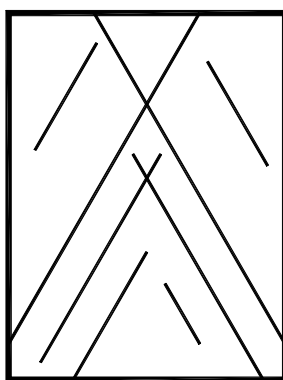
2



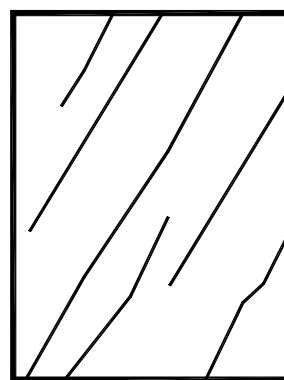
3



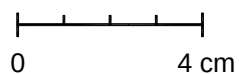
4



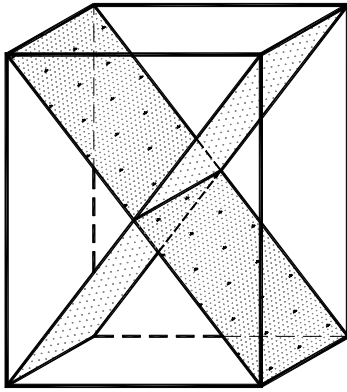
5



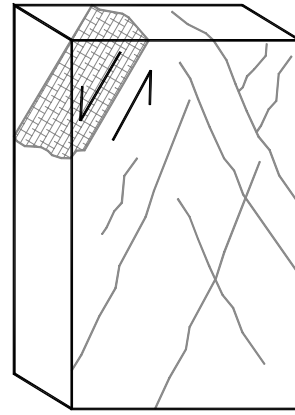
6



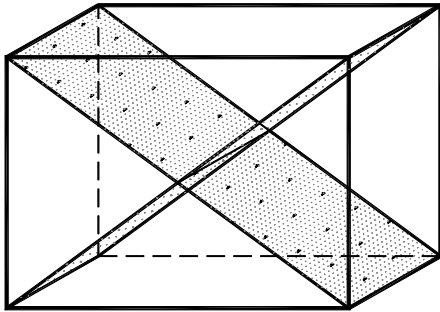
Ejercicio 8.2. Tomando como base los bloques diagramáticos 1, 2, 3 y 4 que muestran planos de fracturas originados por esfuerzos compresivos, indique con flechas la posición de σ_1 , σ_2 y σ_3 .



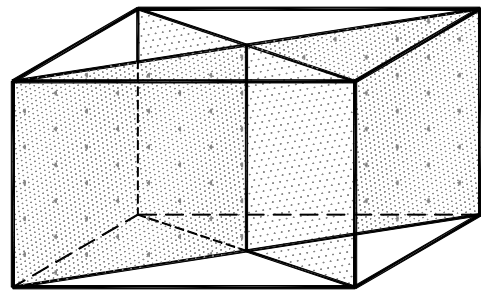
1



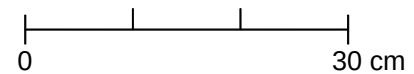
2



3



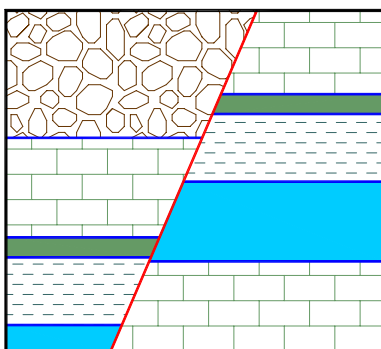
4



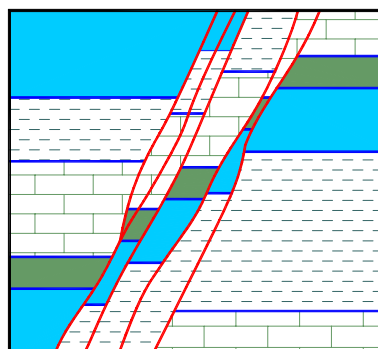
Ejercicio 8.3. Tomando como base las siguientes figuras en las que se muestran cortes geológicos con falla o cizalla, realizar las siguientes actividades para cada figura:

- Indique con flechas el sentido de desplazamiento.
- Describa el tipo de estructura indicando sus partes.
- Interprete y describa los tipos de esfuerzos que los originaron.

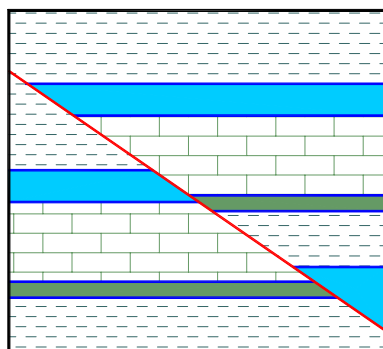
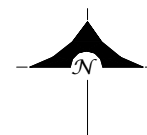
Simbología



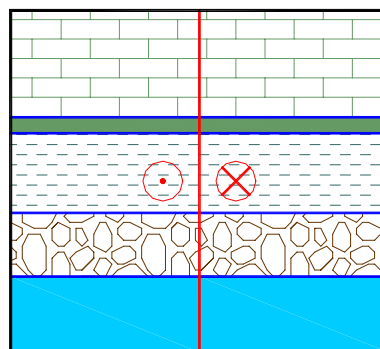
1



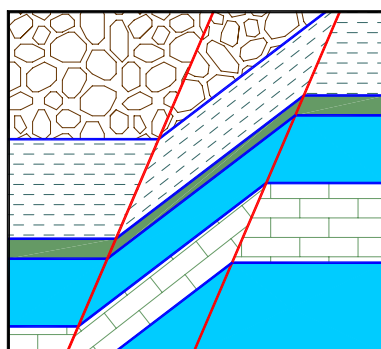
2



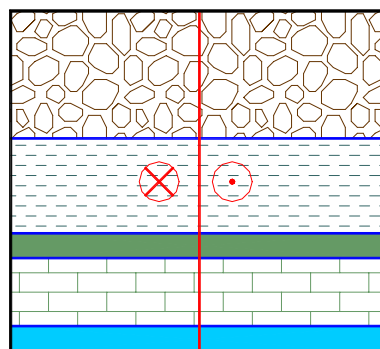
3



4



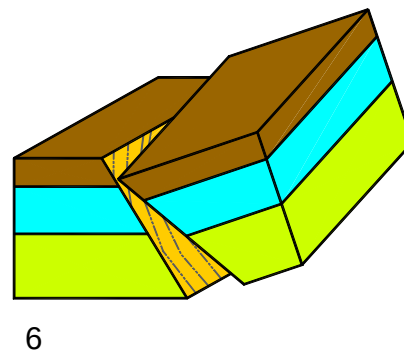
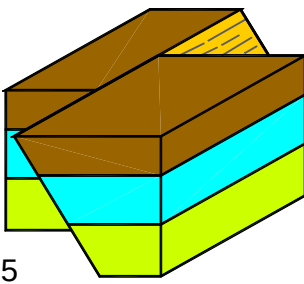
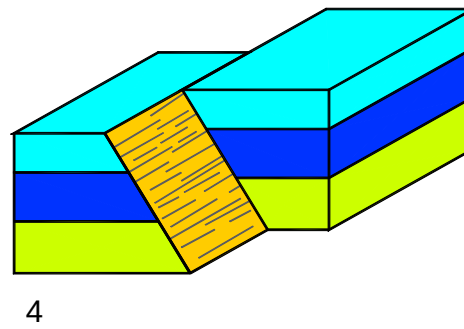
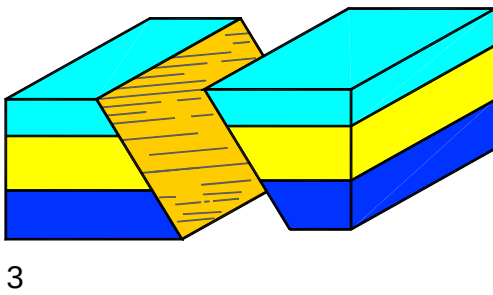
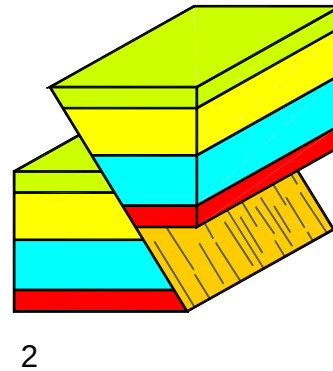
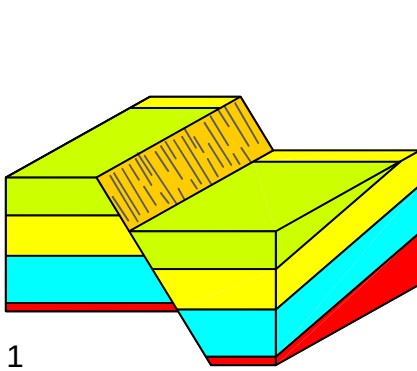
5



6

Ejercicio 8.4. Para cada una de las siguientes figuras, realice las siguientes actividades:

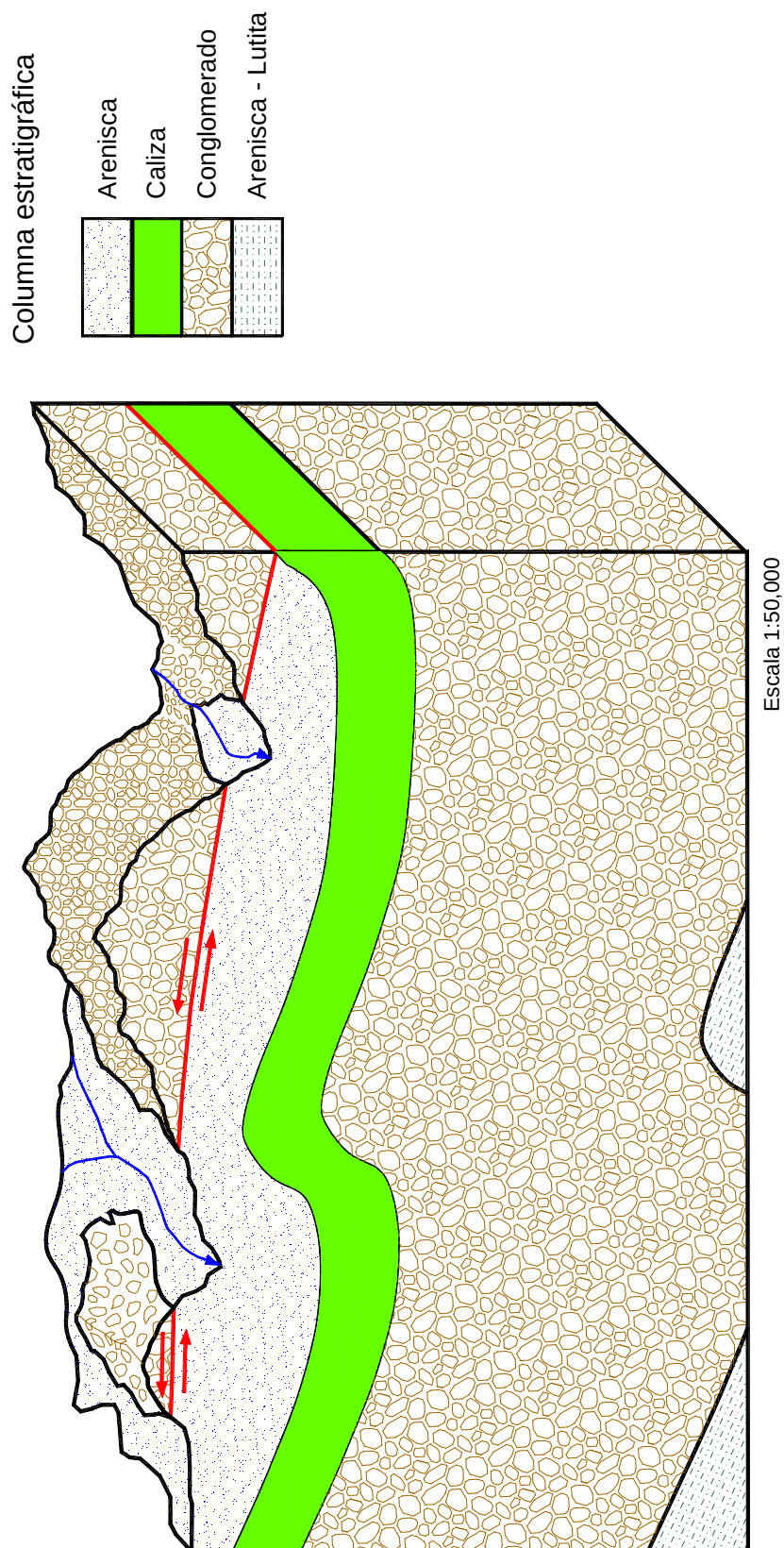
- Indique cuál es el bloque de techo y el bloque de piso.
- Indique el plano de falla.
- Describa el tipo de falla, justificando su respuesta.
- Indique el desplazamiento neto.



0 25 m

Ejercicio 8.5. Tomando como base la figura en la que se muestra una cabalgadura y una secuencia plegada, realice las siguientes actividades:

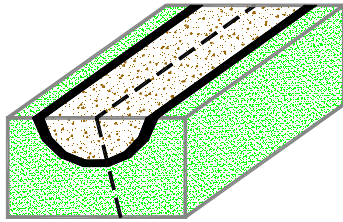
- Indique el anticlinal y describa sus características.
- Indique el sinclinal y describa sus características.
- Indique cuál es el bloque de piso o bloque autóctono.
- Indique cuál es el bloque de techo o bloque alóctono.
- Indique cuál es la cabalgadura y describa sus características.
- Indique cuál es la ventana tectónica y describa sus características.
- Indique cuál es el klippe y describa sus principales características.



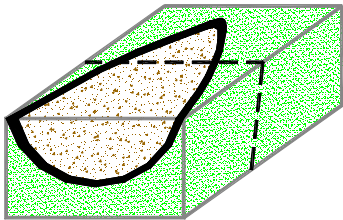
Ejercicio 8.6. Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran bloques diagramáticos con pliegues; las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran la dislocación de bloque por fallas; las figuras 9, 10, 11 y 12 muestran los bloques fallados y erosionados. Realice las siguientes actividades:

a) Dibuje en las figuras de la columna del centro la posición de los planos dislocados por las fallas y en la columna de la derecha la posición de los pliegues cuando se encuentran nivelados por la erosión.

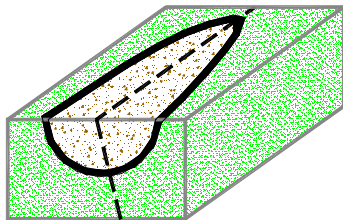
b) Para cada caso describa, qué tipo de falla y pliegue se muestran. Justifique su respuesta.



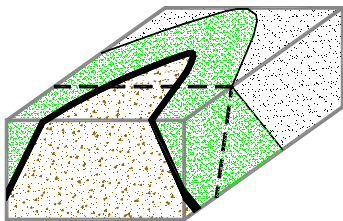
1



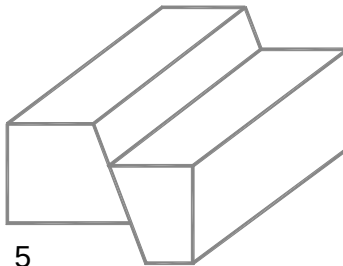
2



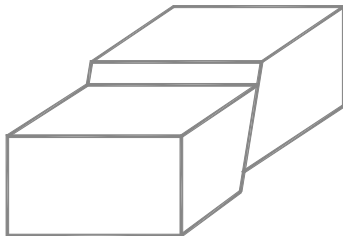
3



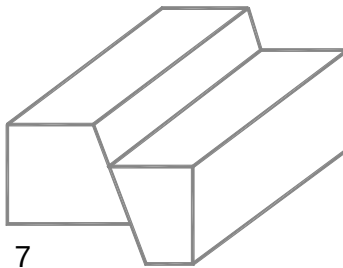
4



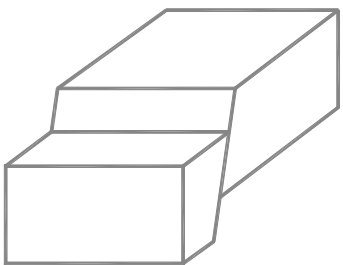
5



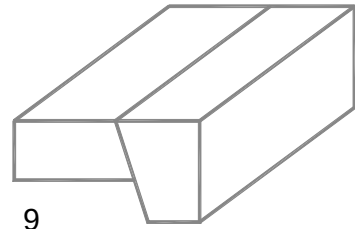
6



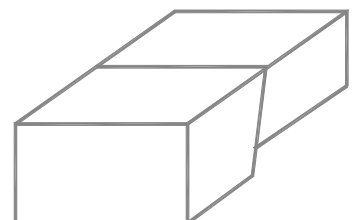
7



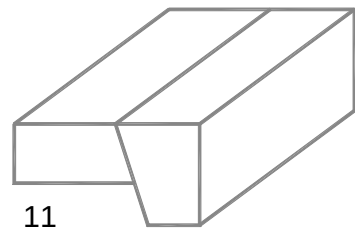
8



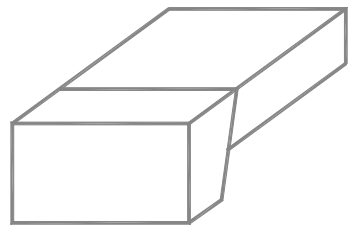
9



10



11



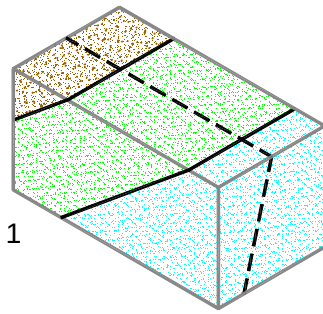
12

0 50m

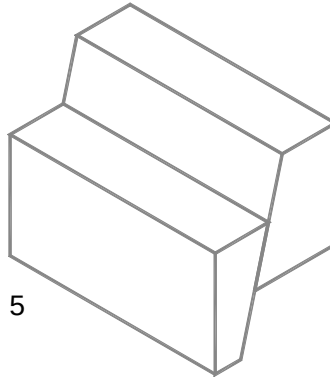
Ejercicio 8.7. Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran bloques diagramáticos con planos de fractura inclinados; las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran la dislocación de los bloques por fallas; las figuras 9, 10, 11 y 12 muestran los bloques desplazados y erosionados. Realice las siguientes actividades:

a) Dibuje en las figuras de la columna del centro la posición de los planos dislocados por las fallas y en la columna de la derecha la posición de los planos cuando se encuentran nivelados por la erosión.

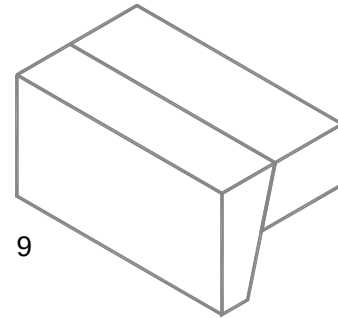
b) Para cada caso describa, qué tipo de falla se tiene. Justifique su respuesta.



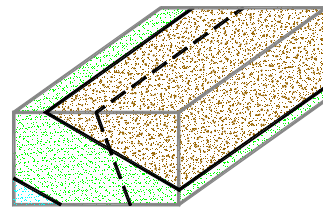
1



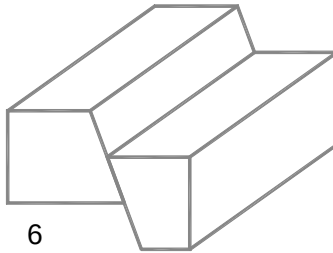
5



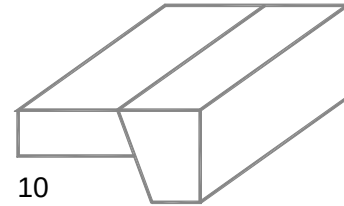
9



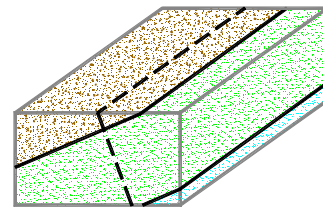
2



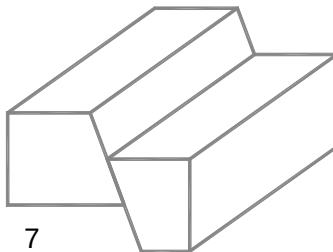
6



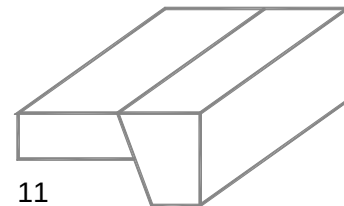
10



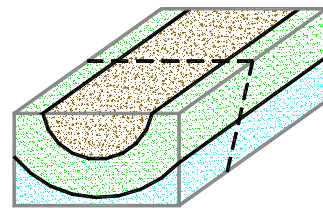
3



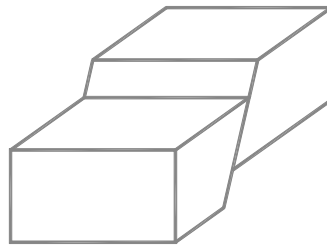
7



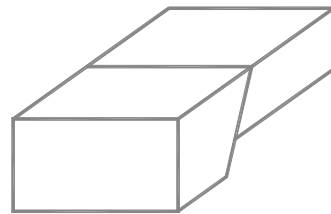
11



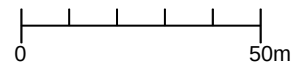
4



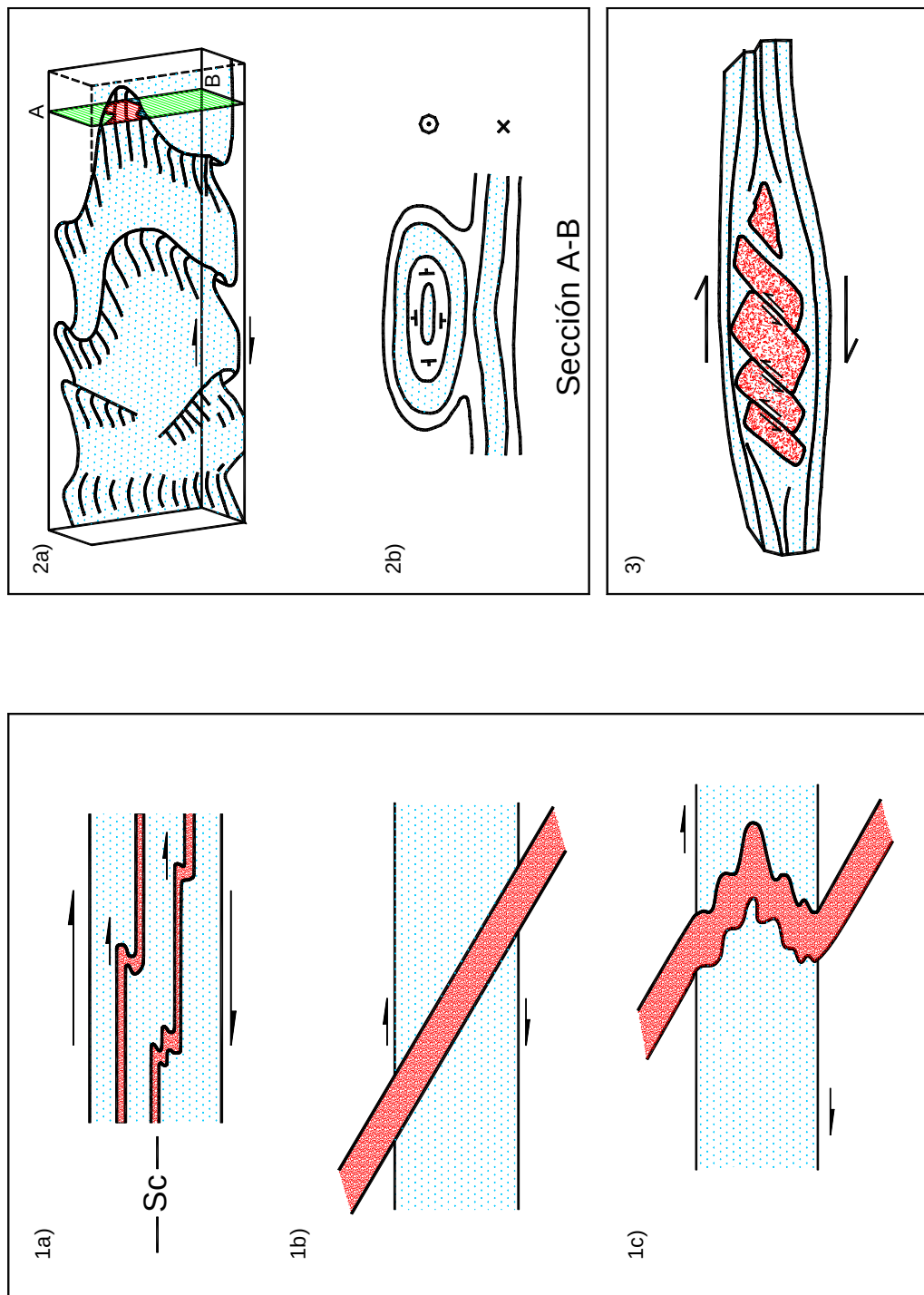
8



12

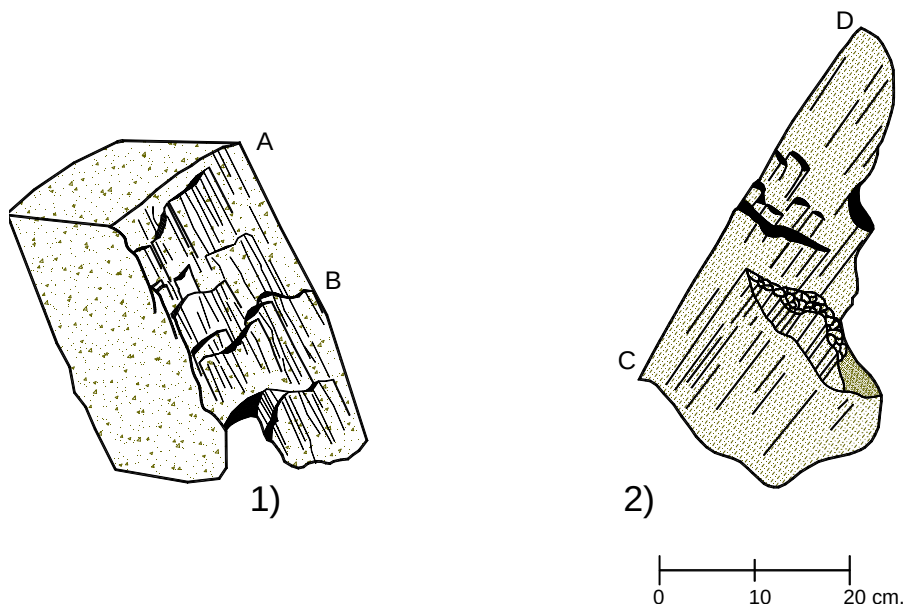


Ejercicio 8.8. Explique las características, el origen y el significado de cada uno de los siguientes indicadores cinemáticos:



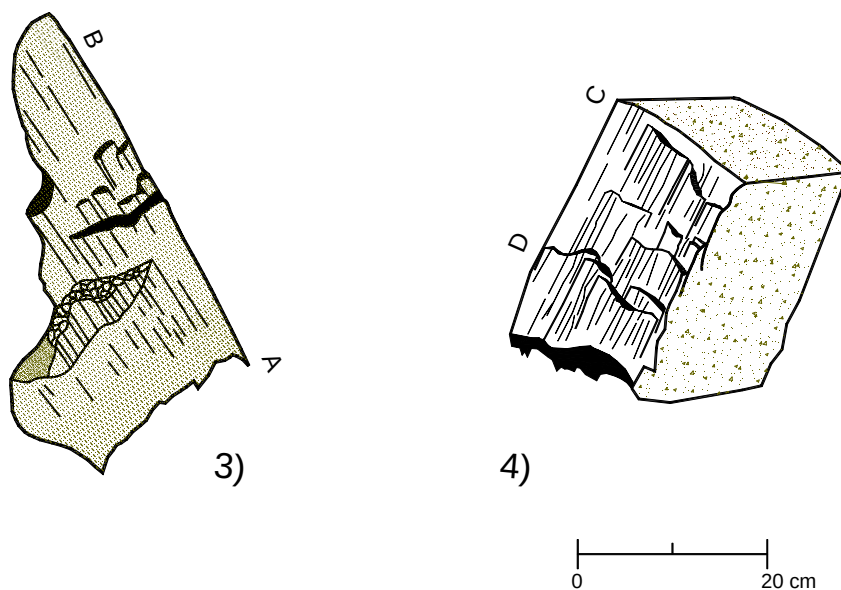
Ejercicio 8.9. Tomando como base las muestras de rocas orientadas que contienen superficies con espejos de falla de las figuras 1 y 2, las cuales muestran escalones y estrías de falla, realice las siguientes actividades:

- Trace las flechas paralelas a las líneas A-B y C-D que indiquen la dirección de desplazamiento.
- Explique el origen de las estrías de falla.

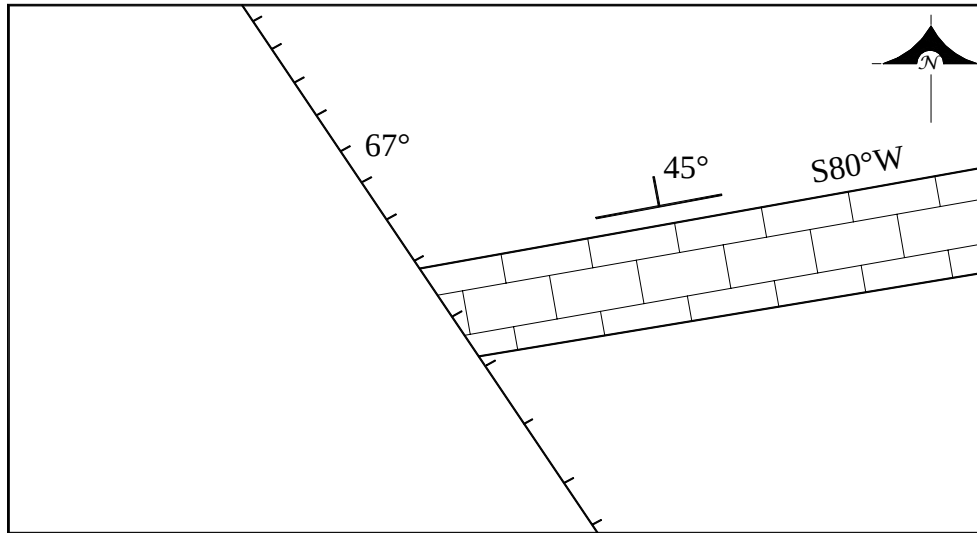


Ejercicio 8.10. Tomando como base las muestras de rocas orientadas que contienen superficies con espejos de falla de las figuras 3 y 4, las cuales muestran escalones y estrías de falla, realice las siguientes actividades:

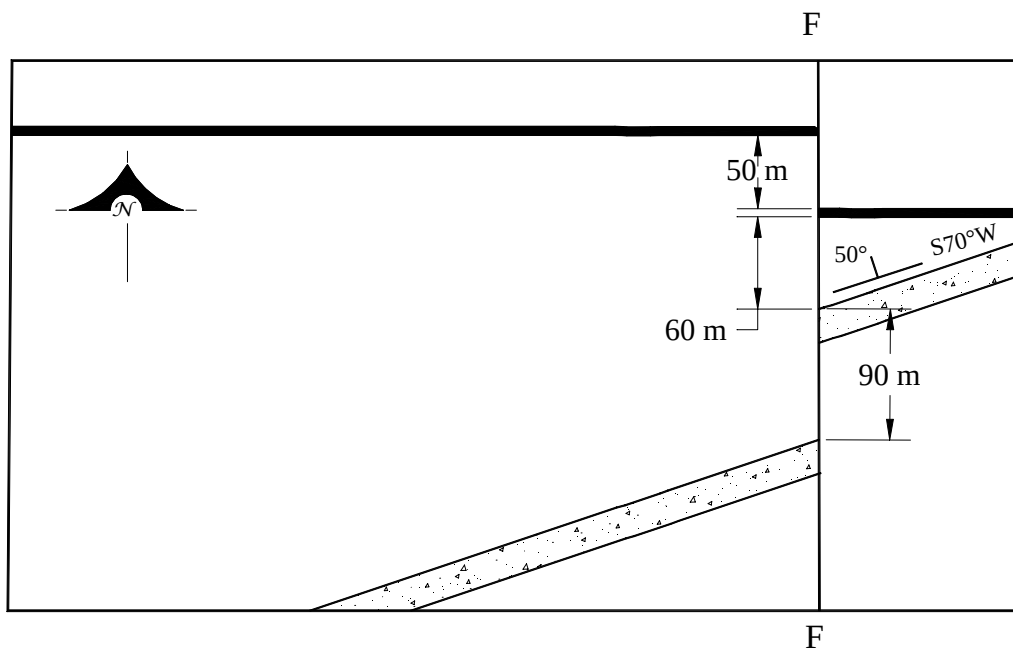
- Trace las flechas paralelas a las líneas A-B y C-D que indiquen la dirección de desplazamiento.
- Explique el origen de los escalones de falla.



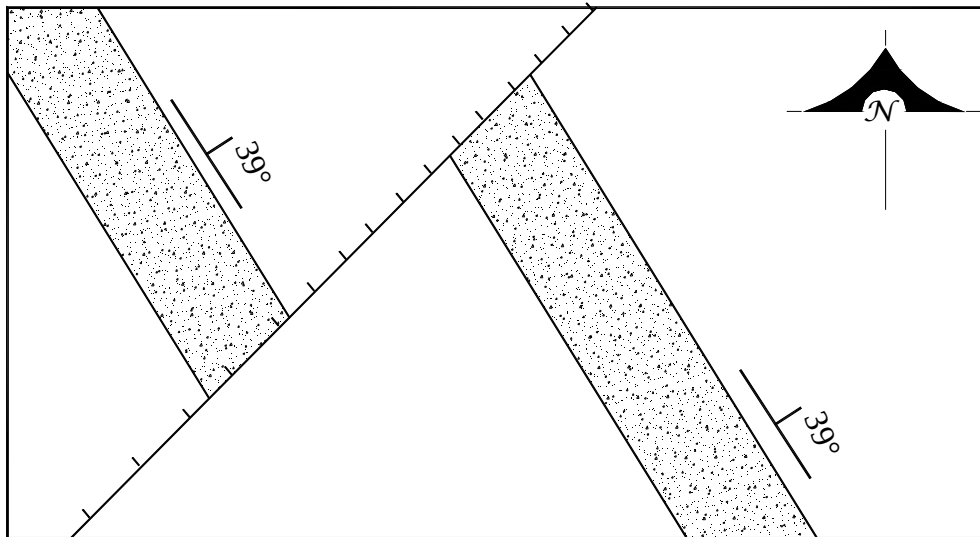
Ejercicio 8.11. Considere que una falla normal desplazó 160 m (desplazamiento neto) a un cuerpo tabular inclinado de calizas que aflora en el bloque de techo, como se ilustra en la figura. Localice y dibuje el cuerpo tabular de calizas en el bloque de piso.



Ejercicio 8.12. Considere que una falla de rumbo N-S con echado de 67° W desplazó a un estrato de arenisca inclinado y a un dique vertical como se ilustra en la figura. Determine de qué tipo de falla se trata y calcule el desplazamiento neto.



Ejercicio 8.13. Considere que una falla normal de rumbo y echado $S45^{\circ}W \ 72^{\circ}NW$, desplazó a un estrato de arenisca con rumbo y echado $N52^{\circ}W \ 39^{\circ}NE$, como se muestra en la figura. Si la separación del estrato de areniscas en una superficie plana labrada por erosión es de 112 m, calcule el desplazamiento neto.



Cuestionario 8.1. Lea atentamente las siguientes cuestiones y marque con una cruz (X) la opción que corresponda a la respuesta correcta.

=====

1. Es una falla de ángulo alto con desplazamiento en dirección del echado del plano de falla, en la cual el bloque de techo se ha movido hacia abajo con relación al bloque de piso:

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| a) Falla normal | b) Falla inversa |
| c) Falla de transcurrencia | d) Ninguna de las anteriores |

2. Es un bloque que se encuentra relativamente más bajo que otros bloques a sus lados y está separado de éstos por fallas normales de ángulo alto:

- | | |
|-------------|--------------|
| a) Alóctono | b) Autóctono |
| c) Horst | d) Graben |

3. Son aquellos afloramientos o secuencias de rocas que se encuentran abajo de una cabalgadura, sobrecorrimiento o napa:

- | | |
|--------------|----------------|
| a) Klippe | b) Alóctono |
| c) Autóctono | d) Décollemant |

4. Los "Klippes" están asociados a:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| a) Anticlinorios y sinclinorios | b) Napas y cabalgaduras |
| c) "Rifts" y fosas tectónicas | d) Aulacógenos y grabens |

5. En general, se puede decir que las juntas se originan por un estado de esfuerzo compresional o tensional, o por:

- | | |
|-----------------------|----------------|
| a) Fallamiento | b) Plegamiento |
| c) Pérdida de volumen | d) Distorsión |

6. Si se intersectan dos planos de falla, la intersección es:

- | | |
|---------------|--------------|
| a) Un plano | b) Una línea |
| c) Otra falla | d) Un punto |

7. Las superficies de ruptura en las que no se aprecia desplazamiento entre los dos bloques, en sentido paralelo a la superficie de discontinuidad, son:

- | | |
|------------------|-----------------|
| a) Fallas | b) Fracturas |
| c) Discordancias | d) Cabalgaduras |

8. En una falla, el bloque que se encuentra por arriba del plano de discontinuidad se denomina:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| a) Bloque de piso | b) Bloque de techo |
| c) Bloque normal | d) Bloque inverso |

9. Es la falla en la que el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque de piso:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| a) Falla lateral derecha | b) Falla lateral izquierda |
| c) Falla normal | d) Falla inversa |

10. Estructura positiva en forma de pilar delimitada por dos fallas normales de ángulo alto:

- | | |
|----------------|----------------|
| a) Horst | b) Graben |
| c) Cabalgadura | d) Décollemant |

Cuestionario 8.2. Lea atentamente los siguientes planteamientos y conteste en forma clara y concisa.

=====

1. Defina los siguientes términos:

- a) Fractura
- b) Diaclasa
- c) Falla normal
- d) Falla inversa
- e) Falla transcurrente

2. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla normal.

3. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla inversa.

4. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla transcurrente (lateral) derecha.

5. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla transcurrente (lateral) izquierda.

6. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre un Horst y un Graben.

7. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla de tijera (rotacional).

8. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una cabalgadura con ventanas tectónicas y klippen.

9. Dibuje de manera esquemática un mapa y un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre una falla de crecimiento.

10. Dibuje de manera esquemática un bloque diagramático de bosquejo sencillo que muestre un domo salino.

11. Defina los siguientes términos:

- a) Bloque de techo
- b) Bloque de piso
- c) Horst
- d) Décollement
- e) Napa

12. Explique en qué difieren las fallas de desplazamiento en dirección del echado de las de desplazamiento en dirección del rumbo.

13. Explique brevemente cómo se forman las fallas normales.

14. Explique brevemente cómo se forman las fallas inversas.

15. Explique brevemente cómo se forman las fallas de transcurrancia.
16. Explique cómo se forman las fallas de crecimiento.
17. Explique las principales diferencias entre fractura y diaclasa.
18. Describa las principales características de las zonas de falla.
19. Describa las principales características de las brechas y microbrechas de falla.
20. Explique cuál es la importancia que tienen las fallas con relación a las acumulaciones de sustancias de interés económico (petróleo, agua y minerales).



Anticlinales y sinclinales recostados en estratos de calizas, calizas arcillosas y lutitas de la Formación Pimienta, en el banco de material ubicado a un costado de la cortina de la Presa Necaxa, Puebla.



Sinclinal recostado en calizas arcillosas y lutitas de la Formación Agua Nueva, en un corte de camino en el poblado de Ayotoxco, Veracruz.

Secciones Geológicas

SECCIONES GEOLÓGICAS

Los mapas geológicos muestran la distribución de las distintas unidades geológicas en superficie, las relaciones estratigráficas o estructurales que guardan y las estructuras geológicas que afloran; sin embargo, no ilustran las relaciones y estructuras en el subsuelo, por lo que se deben construir secciones geológicas representativas, las cuales utilizan todos los datos geológicos disponibles para mostrar con un alto nivel de certeza la configuración del subsuelo. En otros casos, al analizar un mapa geológico, el usuario puede localizar áreas de interés científico, práctico o geológico-económico; también puede indentificar sitios cuyas relaciones geométricas, estratigráficas y estructurales no sean claras. Para comprender y mostrar la solución del problema, se eligen una o varias secciones geológicas, de preferencia perpendiculares a la estructura, ya que son los cortes que nos muestran con mayor exactitud las relaciones estratigráficas y/o estructurales. En algunos casos es conveniente construir secciones diagonales o paralelas a la estructura para interpretar en el subsuelo las relaciones de interés.

Una vez elegida la línea de sección, la construcción se realiza en dos etapas principales:

- ♦ El dibujo del perfil topográfico.
- ♦ La interpretación de la sección con base en la información estratigráfica, estructural y geomorfológica expuesta en el entorno de la línea de sección.

La profundidad de la reconstrucción varía de acuerdo con a la densidad de la información, el espesor de las unidades involucradas, las características geométricas de las estructuras, la información de pozos y la información geofísica.

DIBUJO DE PERFIL TOPOGRÁFICO

Se analiza el relieve identificando las topoformas que se observan en el entorno de la línea de corte, se identifican las elevaciones, depresiones, valles, zonas de pendiente suave, pendiente media y pendiente fuerte; es importante identificar la red de drenaje y muy práctico reconocer hacia donde escurre. Posteriormente en un papel, de preferencia con cuadrícula milimétrica, se dibuja, a la escala elegida (escala vertical = escala horizontal) las líneas que expresan las trazas de los planos de cada curva vistas de perfil (se recomienda usar la escala de la planta). Para expresar las relaciones geológicas es muy importante utilizar la misma escala vertical y horizontal no importando que difiera de la planta; de otra forma existirá exageración y la estructura dibujada no será congruente con la del campo.

Una vez trazada la línea de sección y construido el recuadro de dibujo, transfiera al papel cuadrículado la distancia entre las curvas de nivel comprendidas entre los extremos de la línea de corte elegida, observe los puntos de inflexión en la línea de sección y transfíralos. Proceda igual con los puntos de cambio de pendiente. Una todos los puntos con una línea continua a mano alzada, la cual representa el perfil topográfico deseado. Posteriormente identifique e indique en el corte los rasgos culturales y naturales más notables, rotúlelos en el punto correspondiente en la línea de sección. En el extremo superior de la línea de sección marque la orientación de ésta.

INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN

Dibuje en los lugares correspondientes una línea que exprese la inclinación real o aparente de planos estructurales inclinados y horizontales (estratificación, fallas, discordancias, foliación, etc.)

Dibuje en los lugares correspondientes los distintos contactos geológicos:

- a) Estratigráficos:
 - Concordantes.
 - Discordantes.
- b) Estructurales o tectónicos:
 - Fallas normales.
 - Fallas inversas.
 - Fallas de desplazamiento lateral.

Dibuje otras características estructurales que estén cortadas por la sección, como:

- a) Ejes de pliegues u otros rasgos de plegamiento.
- b) Estructuras ígneas.
- c) Fracturas.

La reconstrucción de la sección se puede realizar con base en diferentes métodos, los cuales están basados en ciertas consideraciones geométricas de los cuerpos rocosos involucrados en la estructura. Los más representativos son:

- a) Busk.
- b) Echados promedio.
- c) Kink.
- d) Secciones balanceadas.

Cuando se dispone de información geológica de pozos de agua o petroleros, se establecen correlaciones entre las distintas unidades en el subsuelo y la interpretación se da con mayor certeza. También se pueden construir secciones geológicas utilizando información geofísica, por ejemplo sísmica de reflexión, ya que la forma y distribución de los reflectores representados en tiempo nos indican las relaciones estratigráficas y estructurales del subsuelo, con mucha precisión.

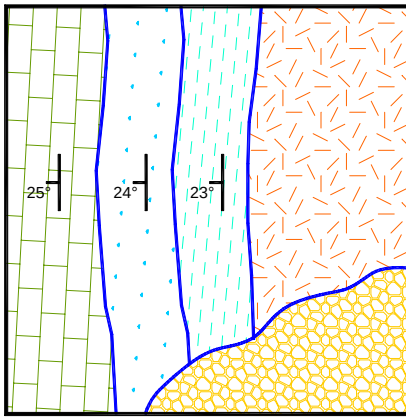
En este capítulo analizaremos mapas geológicos e información de pozos para describir e interpretar las distintas relaciones estratigráficas y estructurales del subsuelo. Se trabajará con distintos ejercicios que nos muestran la gran utilidad que tienen los mapas y las secciones geológicas en las distintas áreas de aplicación de Ciencias de la Tierra.

Ejercicio 9.1. Para cada una de los siguientes figuras que ilustran mapas geológicos en planta, realice las siguientes actividades:

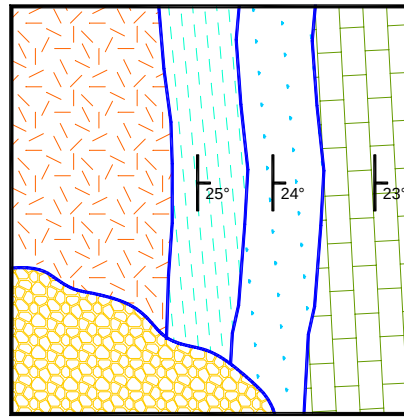
- Construya una sección geológica esquemática perpendicular a la estructura.
- Determine la posición estratigráfica de las unidades de viejo a joven.
- Describa los tipos de contactos geológicos.
- Interprete los eventos geológicos.

Simbología

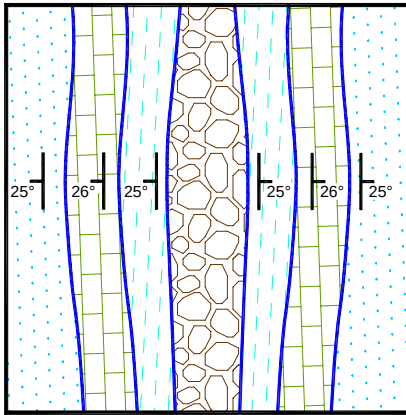
	Caliza		Granito		Aluvión		Contacto
	Arenisca		Lutita		Conglomerado		Falla



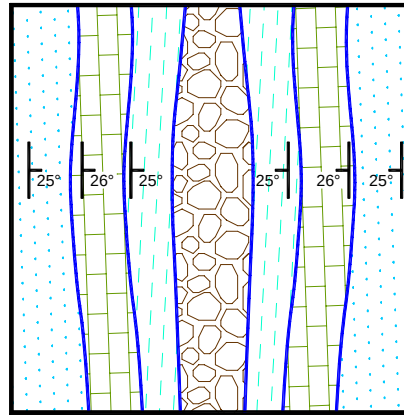
1



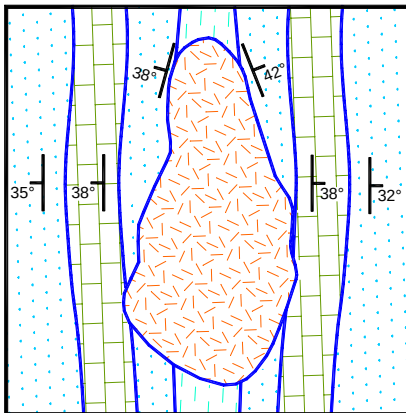
2



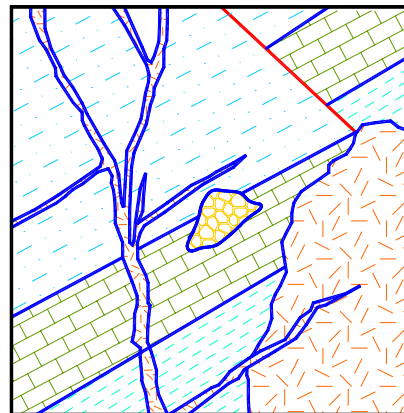
3



4



5



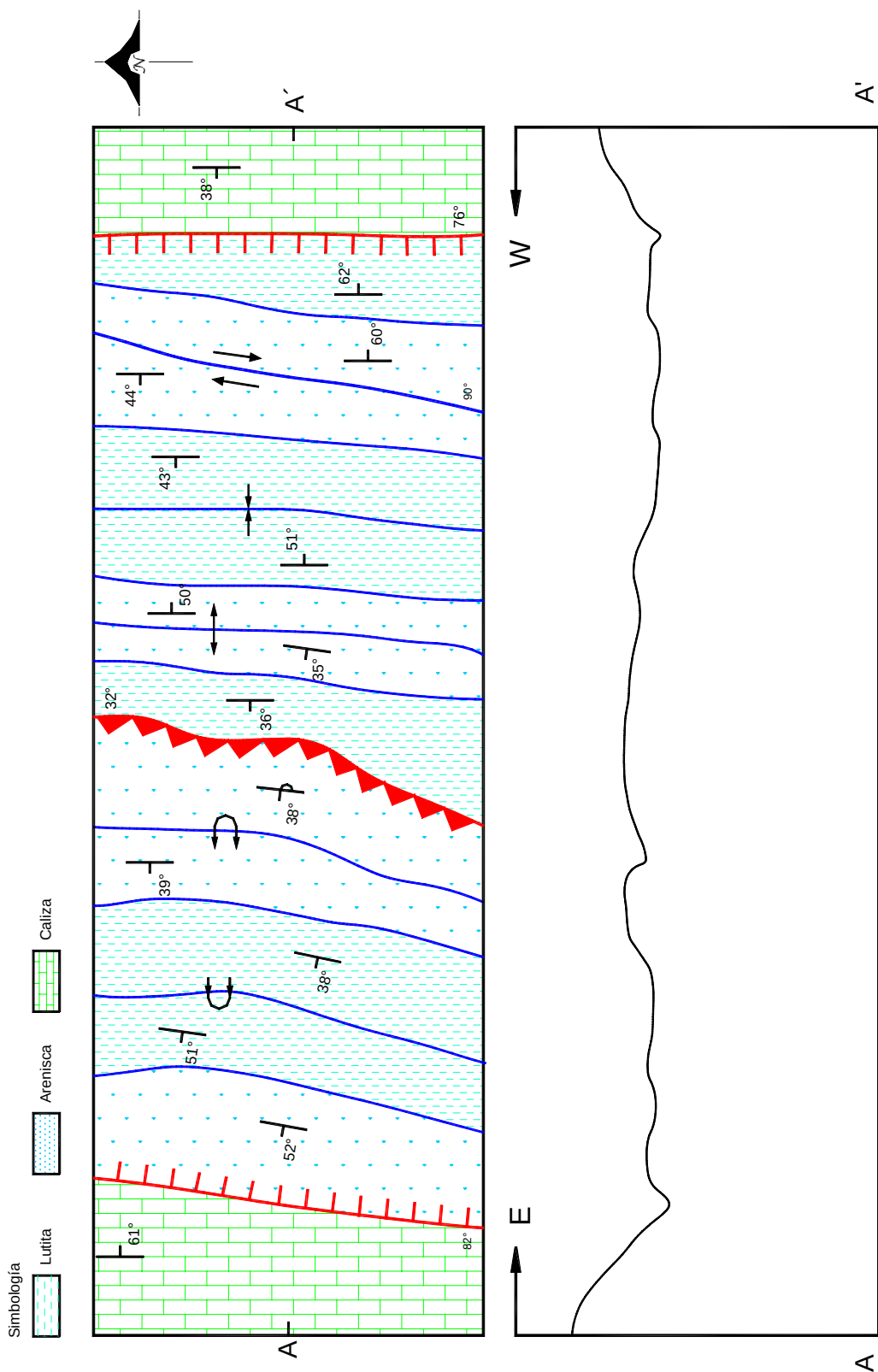
6

Escala 1:10,000



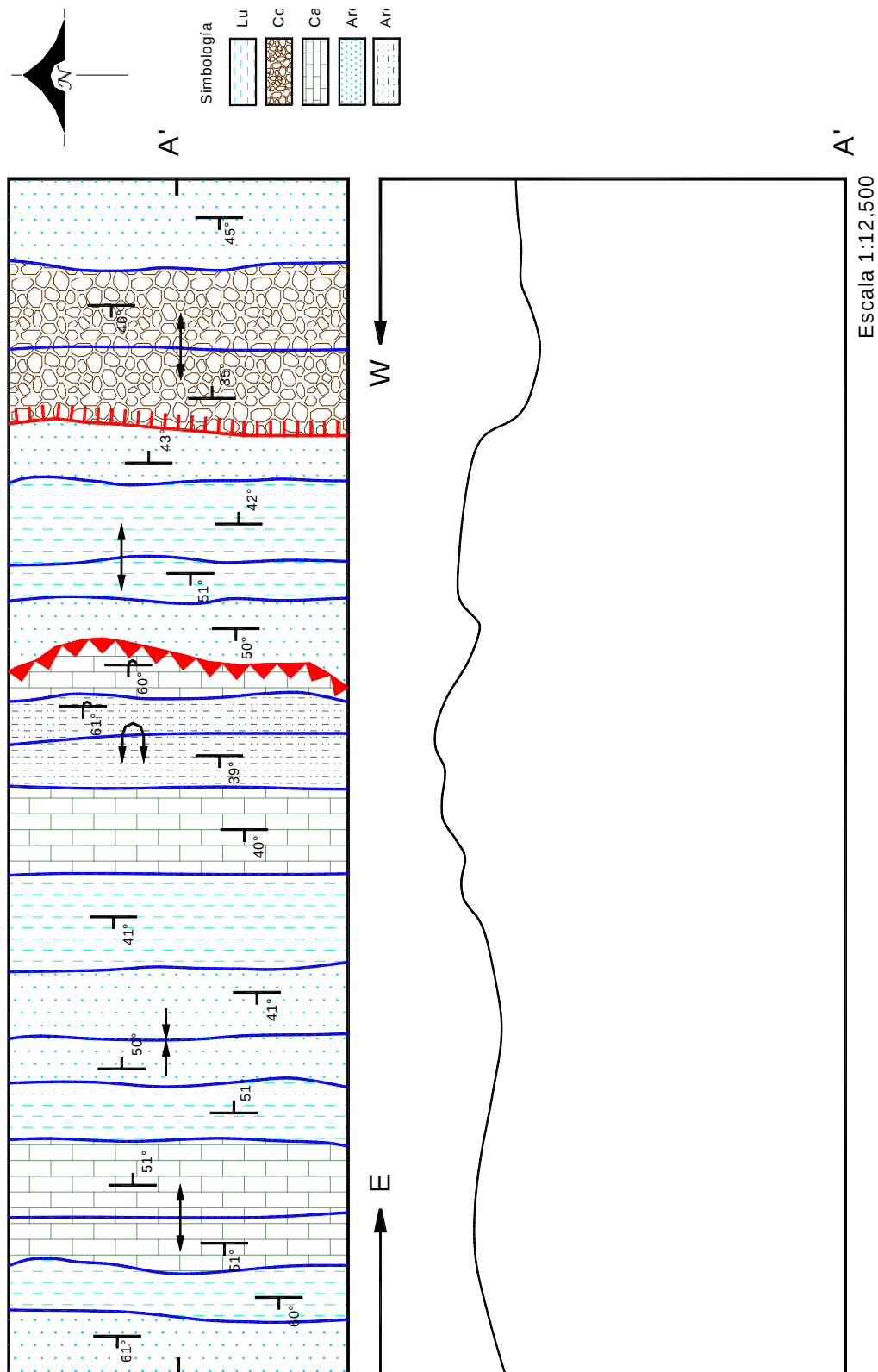
Ejercicio 9.2. Tomando como base el mapa geológico y perfil topográfico, realizar las siguientes actividades:

- Construya la sección A - A'.
- Describa las estructuras geológicas.
- Interprete y describa los estilos de deformación.
- Construya la columna geológica.



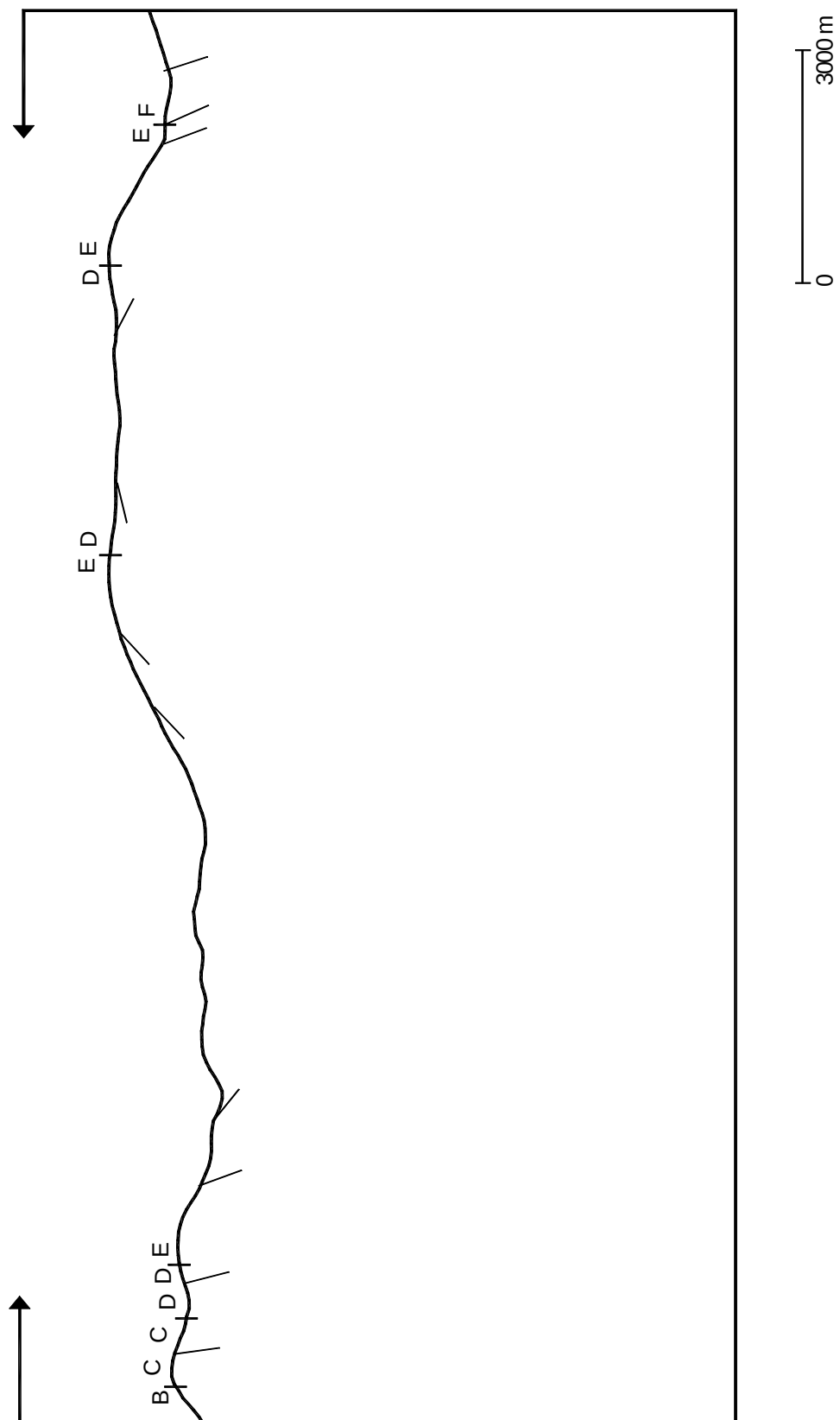
Ejercicio 9.3. Tomando como base el mapa geológico y el perfil topográfico, realizar las siguientes actividades:

- Construya la sección A-A'.
- Describa las estructuras geológicas.
- Interprete y describa los estilos de deformación.
- Construya la columna geológica.



Ejercicio 9.4. Tomando como base el mapa geológico, el perfil topográfico del pozo realice las siguientes actividades:

- Construya la sección A-B, utilizando el método de Busk.
- Describa las estructuras geológicas.
- Interprete y describa los estilos de deformación.
- Calcule el espesor de cada una de las unidades.

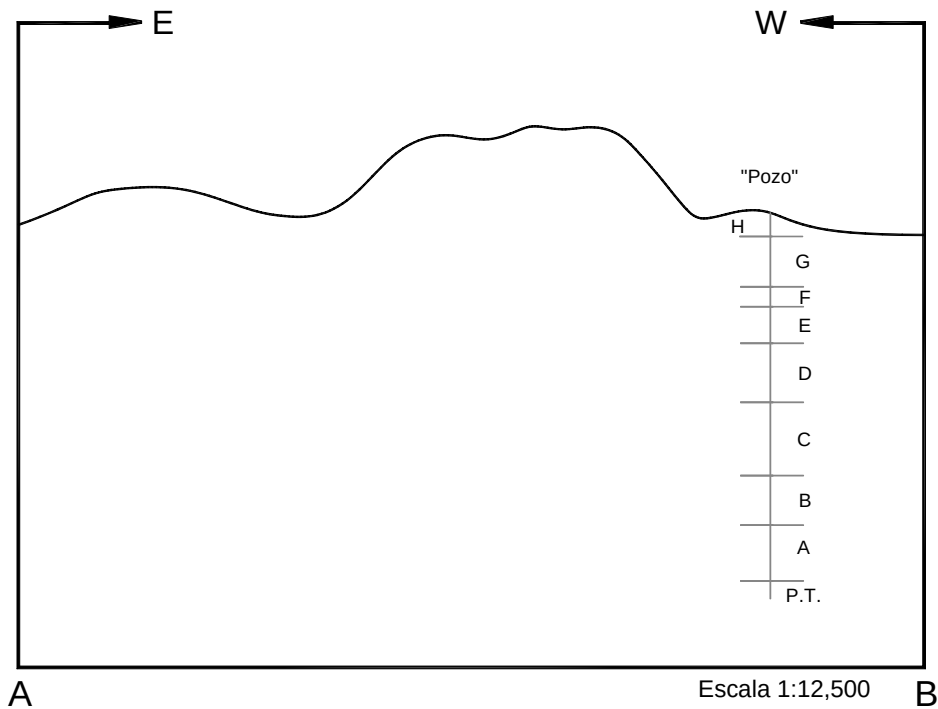
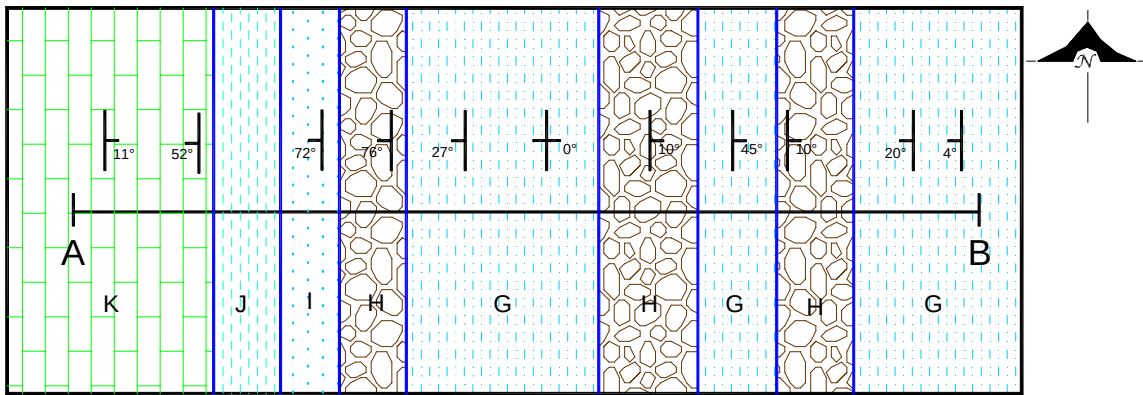


Ejercicio 9.5. Tomando como base el mapa geológico, el perfil topográfico y la información del pozo realice las siguientes actividades:

- Construya la sección A-B, utilizando el método de Busk.
- Describa las estructuras geológicas.
- Interprete y describa los estilos de deformación.
- Calcule el espesor de cada una de las unidades.

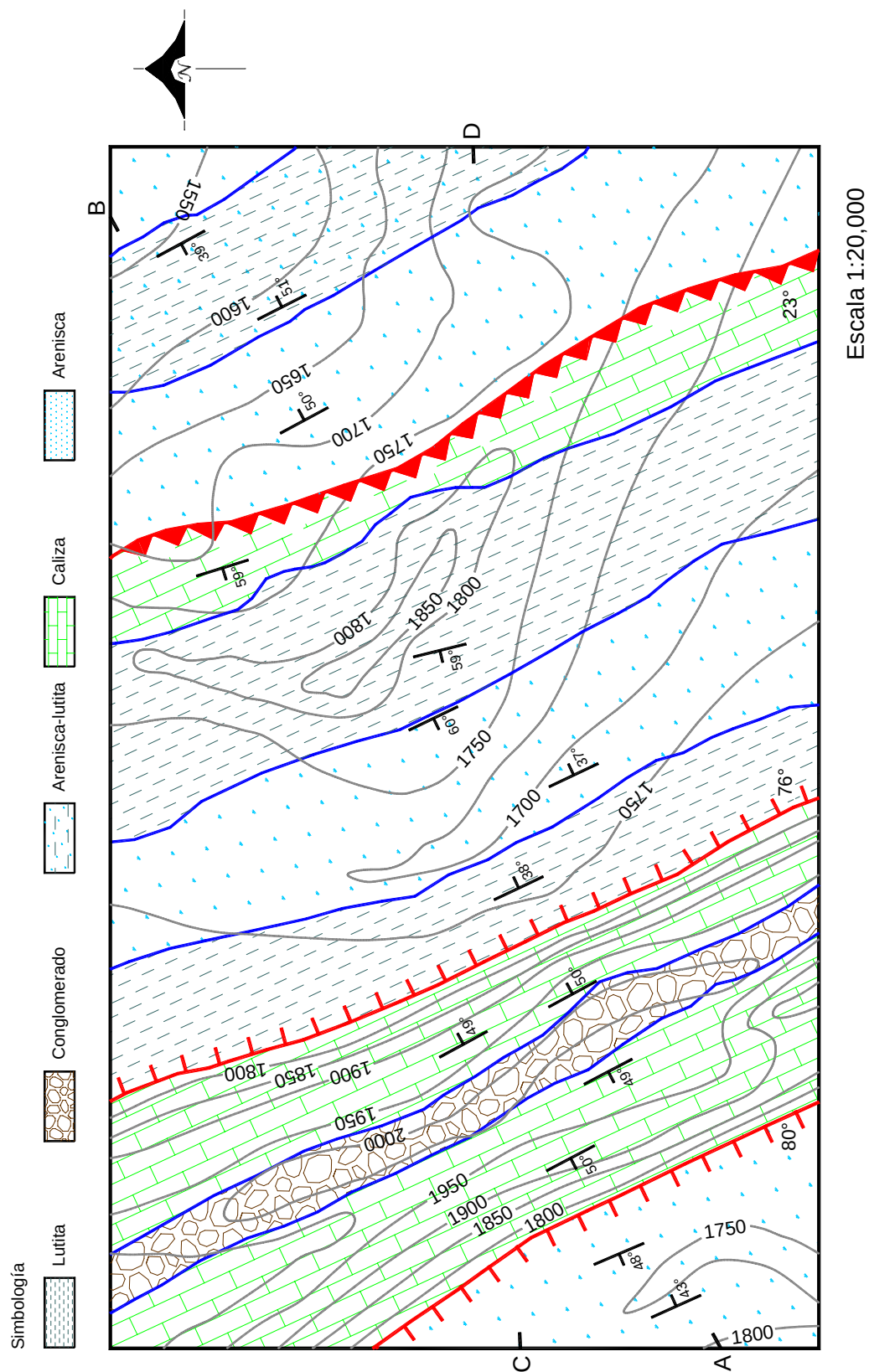
Simbología

	Conglomerado		Caliza		Lutita arenosa		Lutita
	Arenisca		Dolomia		Conglomerado		Caliza
	Lutita		Lutita		Arenisca		



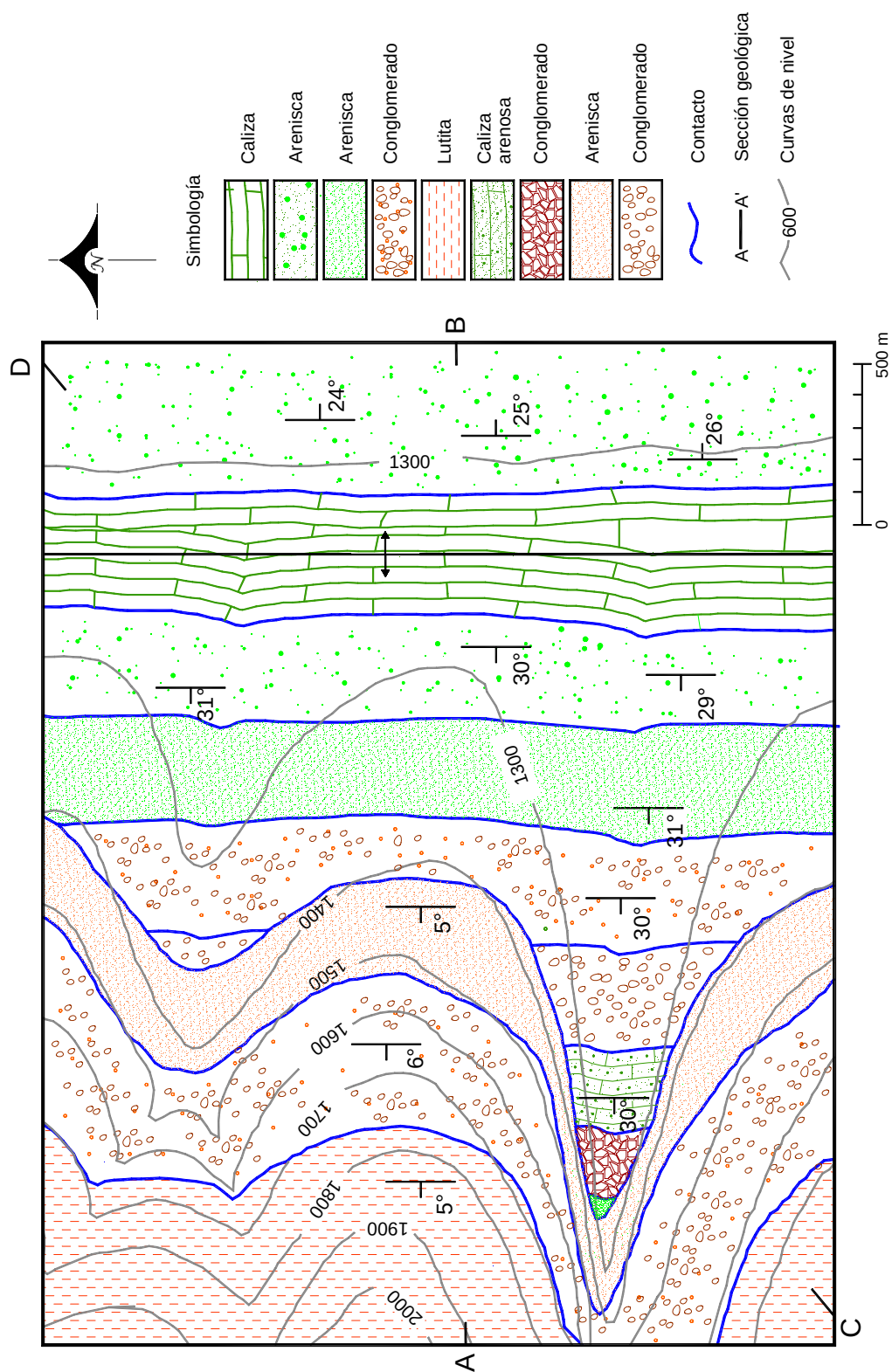
Ejercicio 9.6. Tomando como base la información del mapa geológico, realizar las siguientes actividades:

- Diga cuántas unidades afloran.
- Explique qué tipos de contactos geológicos se tienen.
- Construya las secciones geológicas A-B y C-D.
- Describa la o las estructuras geológicas.
- Construya la columna geológica a escala.



Ejercicio 9.7. Tomando como base la información del mapa geológico, realizar las siguientes actividades:

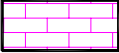
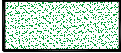
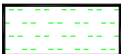
- Diga cuántas unidades afloran.
- Explique qué tipos de contactos geológicos se tienen.
- Construya las secciones geológicas A-B y C-D.
- Describa la o las estructuras geológicas.
- Construya la columna geológica a escala.

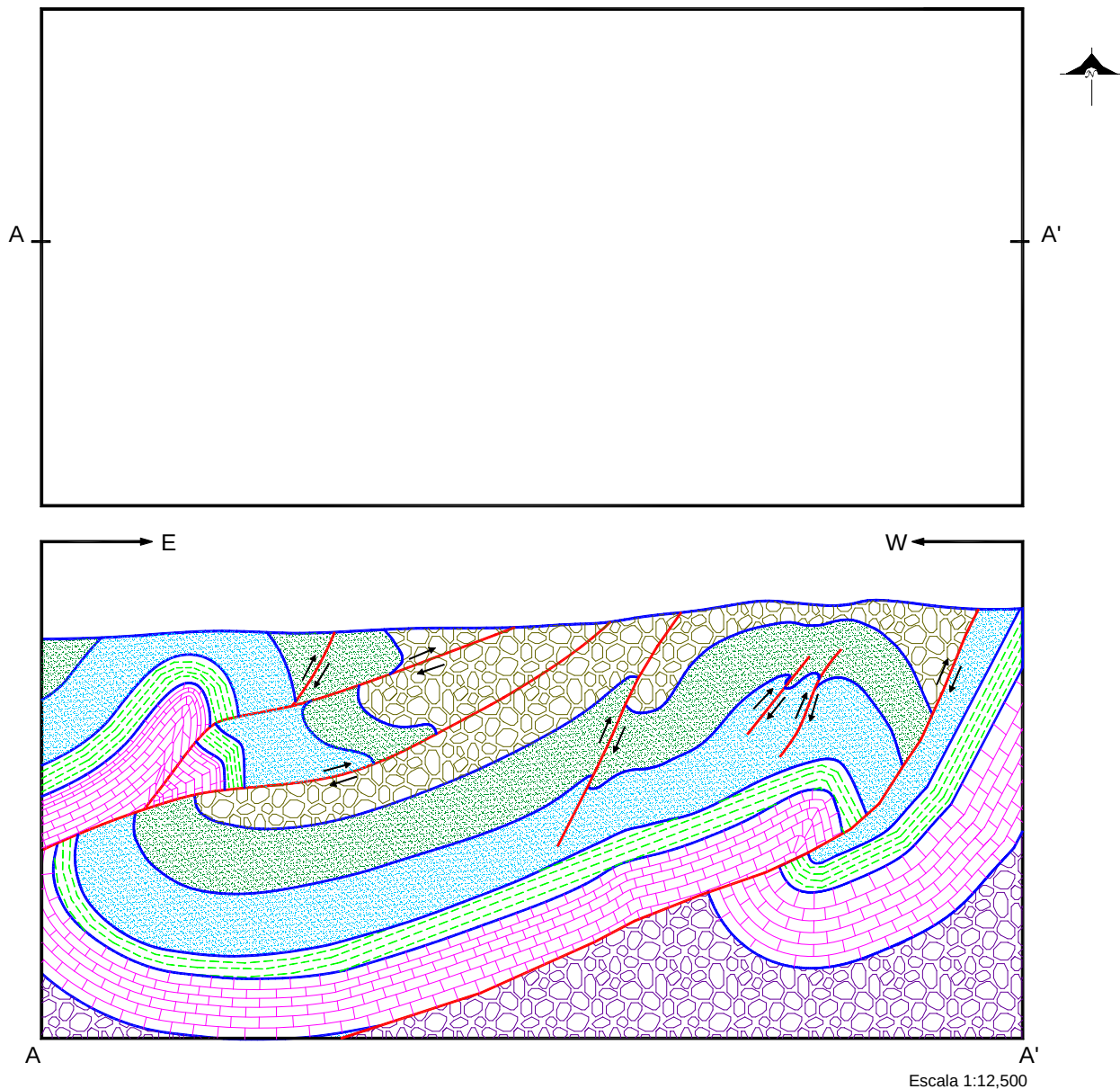


Ejercicio 9.8. Con base en la sección geológica que fue realizada perpendicular a la estructura, realizar las siguientes actividades:

- Diga cuántas unidades geológicas se tienen.
- Construya un mapa geológico en el cuadro superior que sea congruente con la sección geológica.
- Diga qué tipo de contactos geológicos se tienen y describa sus características.
- Describa las características de las estructuras geológicas.

Simbología

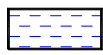
	Caliza		Arenisca		Conglomerado		Contacto
	Arenisca		Lutita		Conglomerado		Falla



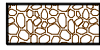
Ejercicio 9.9. Con base en la sección geológica que fue realizada perpendicular a la estructura, realizar las siguientes actividades:

- Diga cuántas unidades geológicas se tienen.
- Construya un mapa geológico en el cuadro superior que sea congruente con la sección geológica.
- Diga qué tipo de contactos geológicos se tienen y describa sus características.
- Describa las características de las estructuras geológicas.

Simbología



Lutita



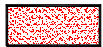
Conglomerado



Caliza



Arenisca



Arenisca



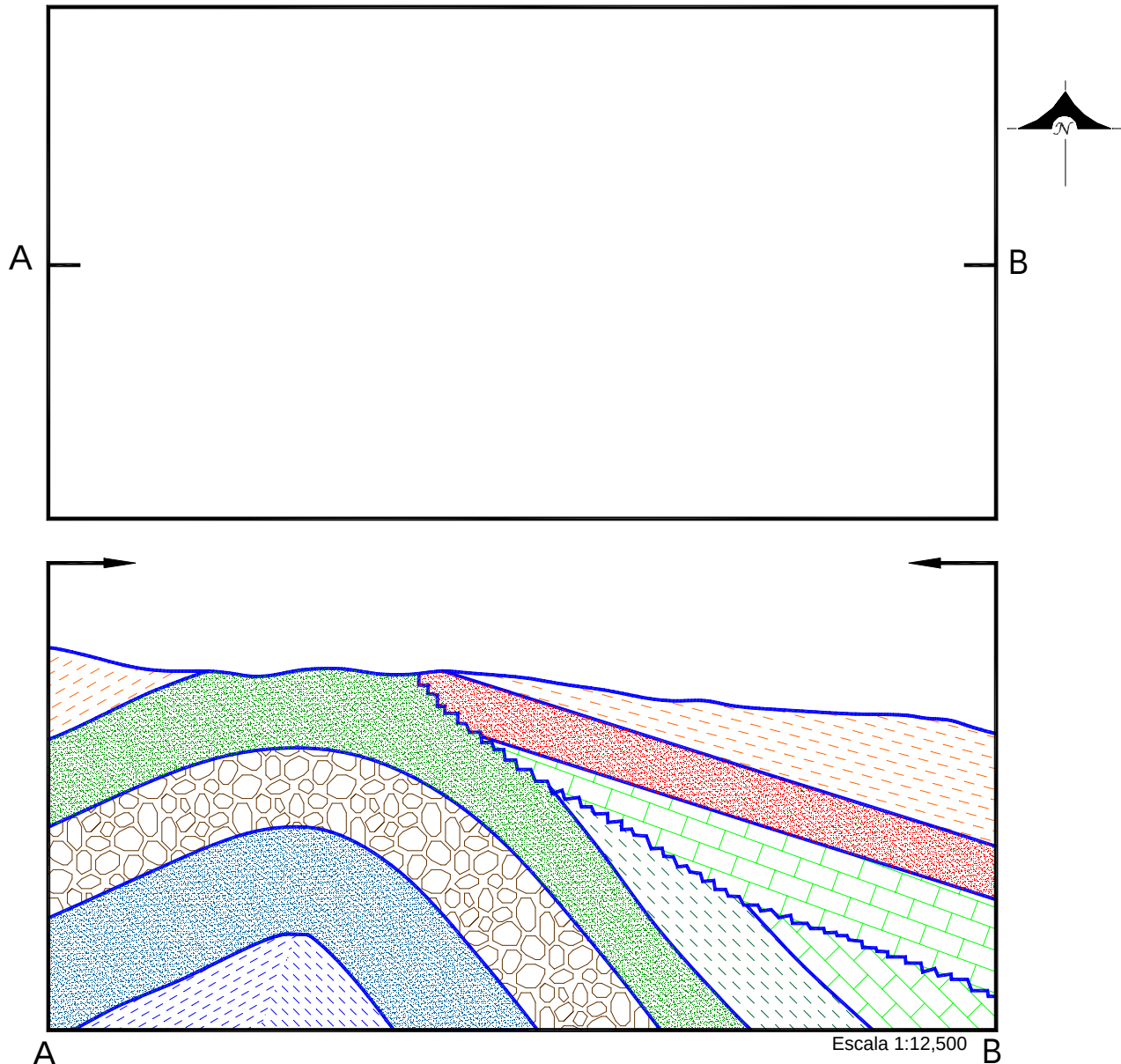
Lutita



Lutita



Arenisca

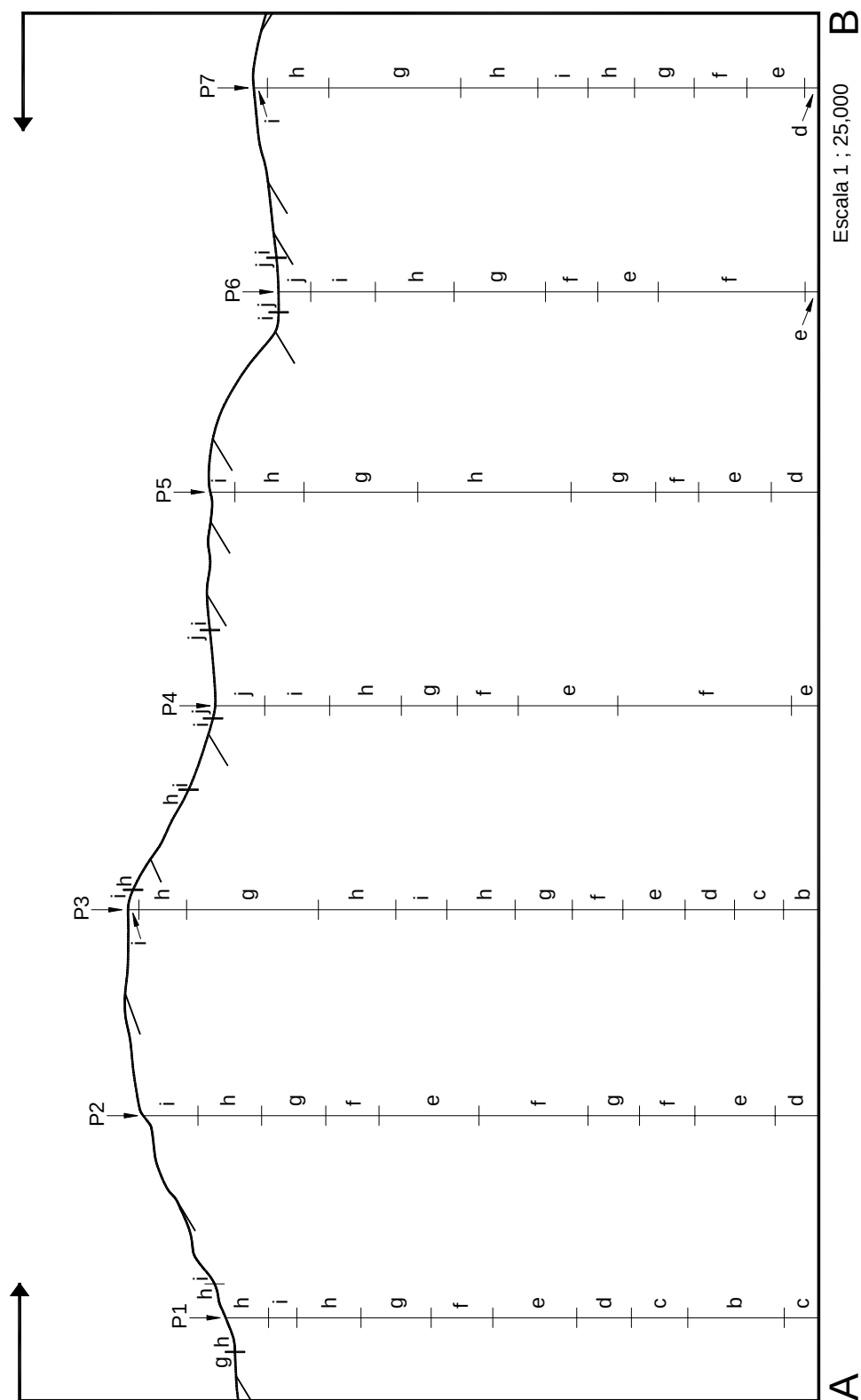


Ejercicio 9.10. Con base en la información de los pozos P1, P2...P7, de los contactos entre las unidades en superficie y con la inclinación de las capas, realice las siguientes actividades:

a) Interprete la correlación entre las formaciones geológicas y las estructuras geológicas.

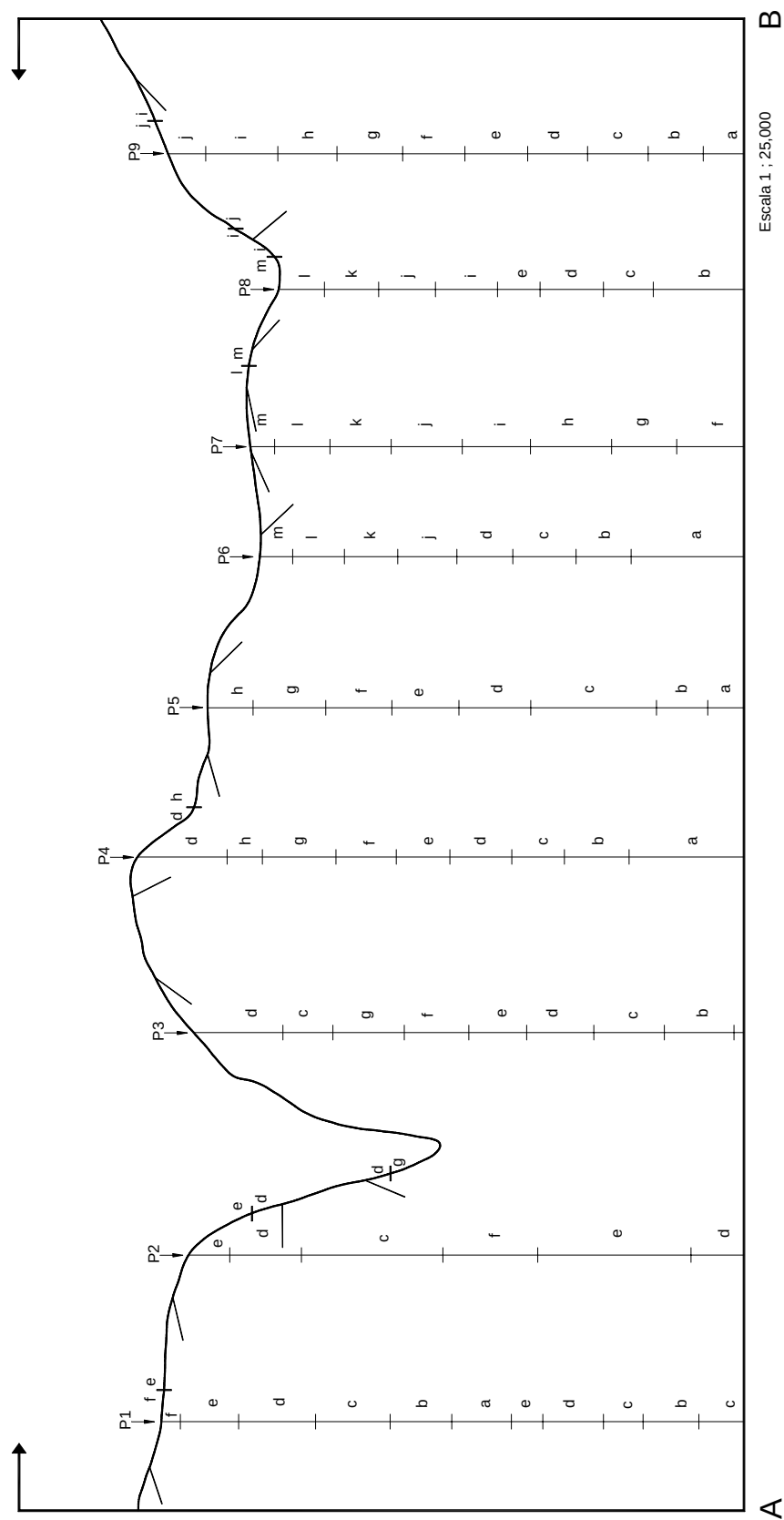
b) Describa las características de los pliegues y clasifíquelos por dos métodos.

Nota: en su interpretación no considere fallas, las repeticiones son únicamente por plegamiento.



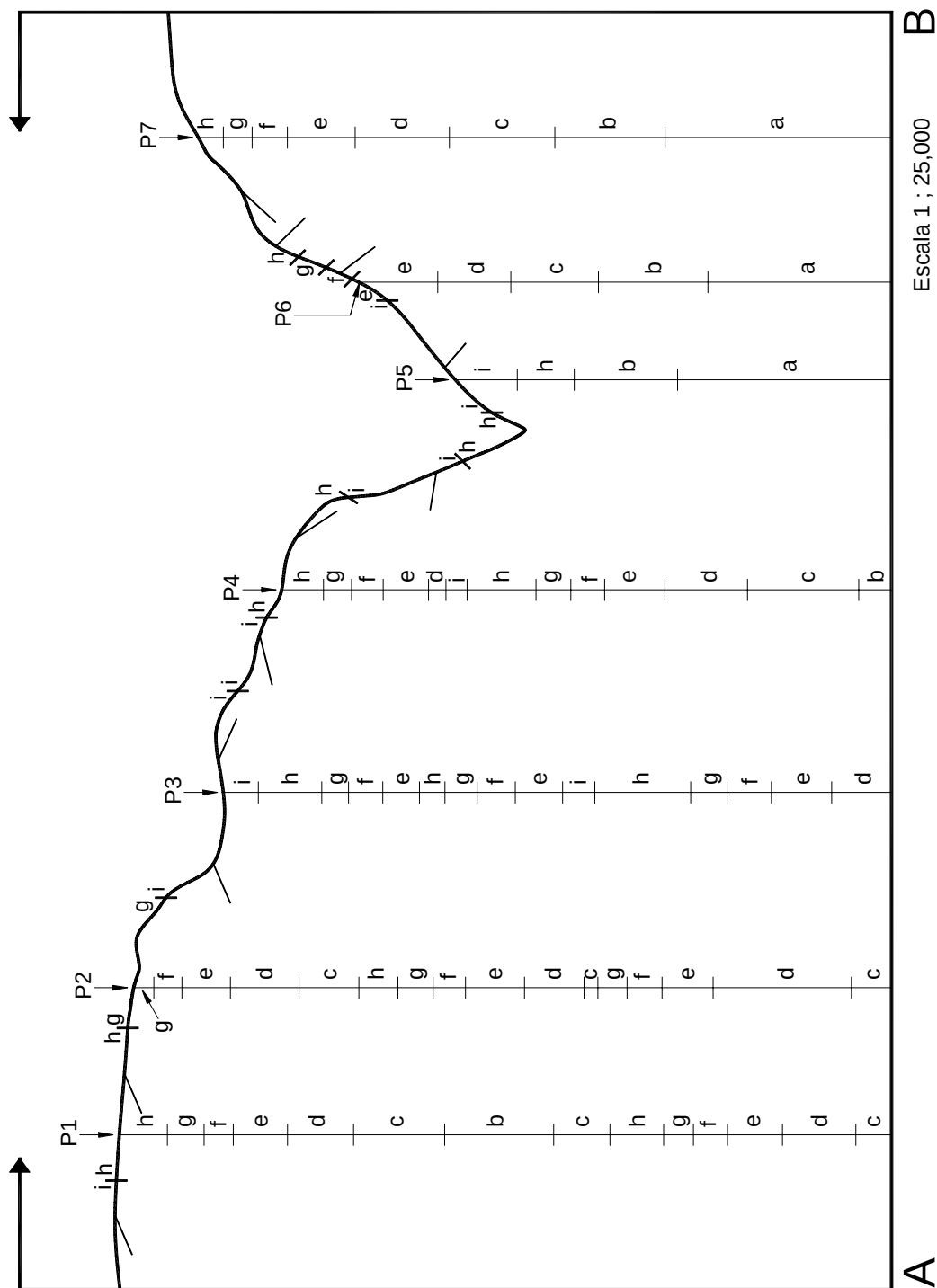
Ejercicio 9.11. Con base en la información de los pozos P1, P2... P9, de los contactos entre las unidades en superficie y con la inclinación de las capas, realice las siguientes actividades:

- Interprete la correlación entre las formaciones geológicas y las estructuras geológicas.
- Describa las características de los pliegues y fallas.



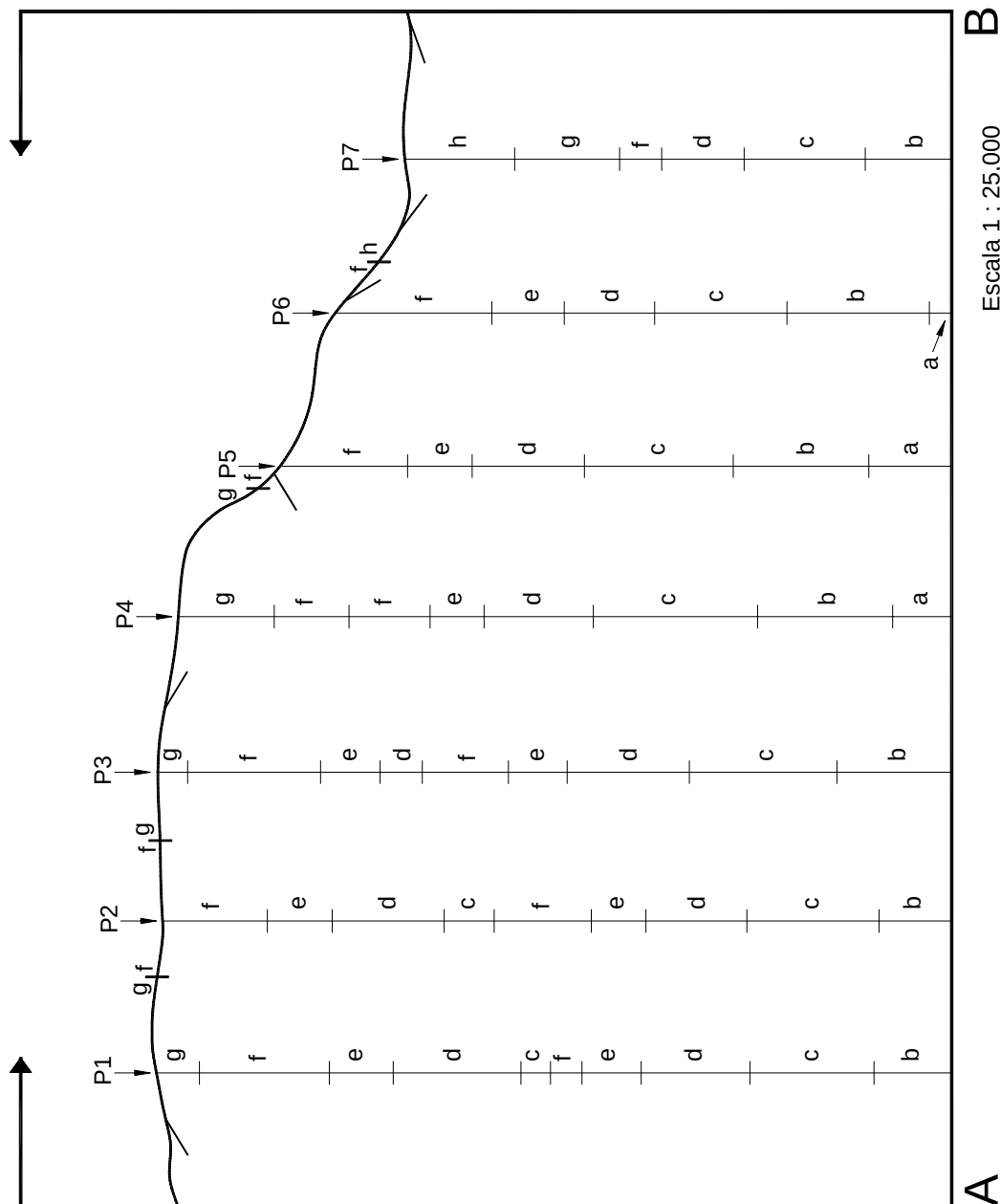
Ejercicio 9.12. Con base en la información de los pozos P1, P2... P7, de los contactos entre las unidades en superficie y con la inclinación de las capas, realice las siguientes actividades:

- Interprete la correlación entre las formaciones geológicas y las estructuras geológicas.
- Describa las características de los pliegues y fallas.



Ejercicio 9.13. Con base en la información de los pozos P1, P2... P7 de los contactos de las unidades en superficie y con la inclinación de las capas, realice las siguientes actividades:

- Interprete la correlación entre las formaciones geológicas y las estructuras geológicas.
- Describa las características de los pliegues y fallas.



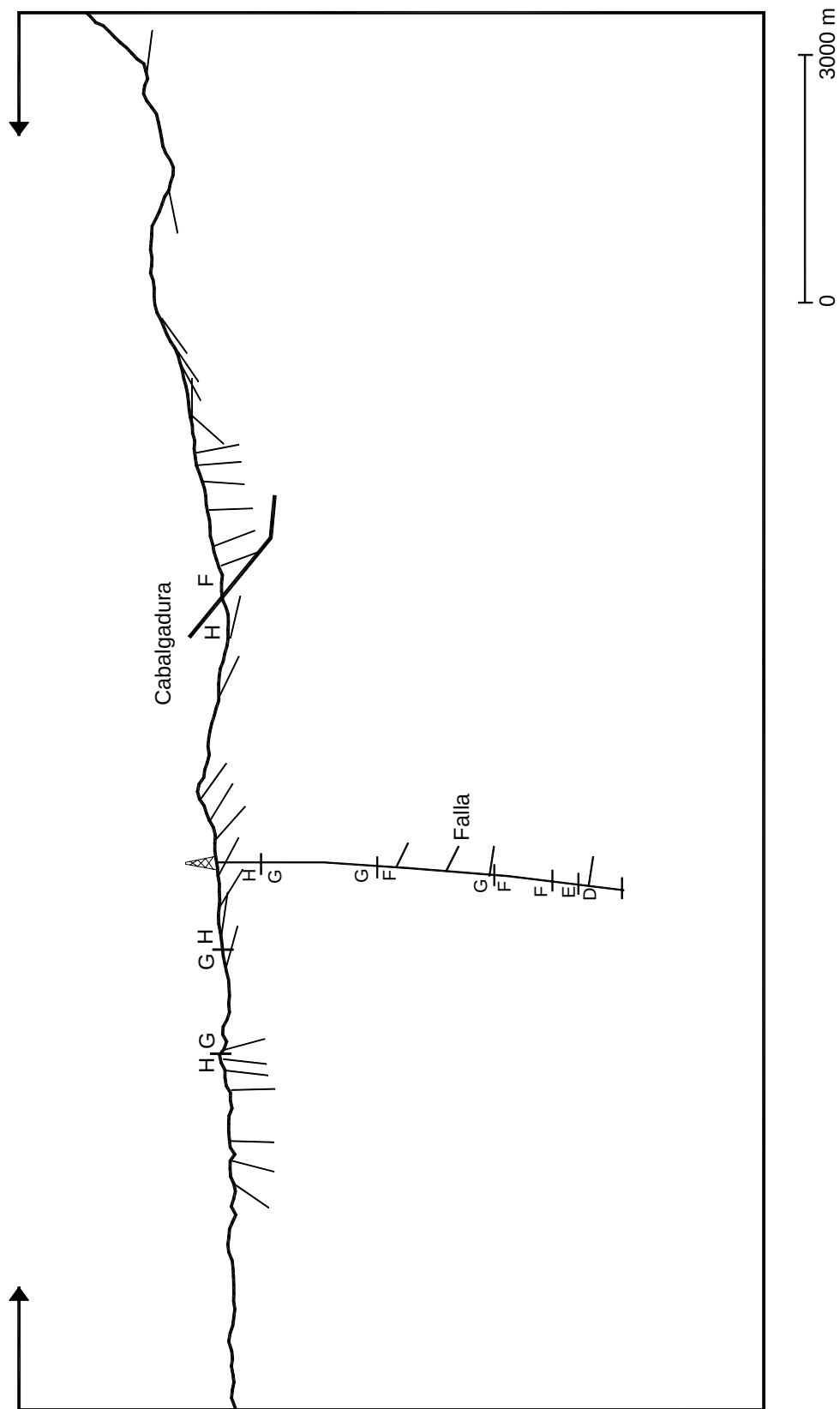
Ejercicio 9.14. Tomando como base el perfil topográfico, donde se tienen contactos entre las formaciones geológicas, la inclinación de las capas y la información de pozos petroleros, realizar las siguientes actividades:

- Construya la sección geológica utilizando el método de Kink.
- Describa las estructuras geológicas.
- Calcule el espesor promedio de cada una de las unidades.



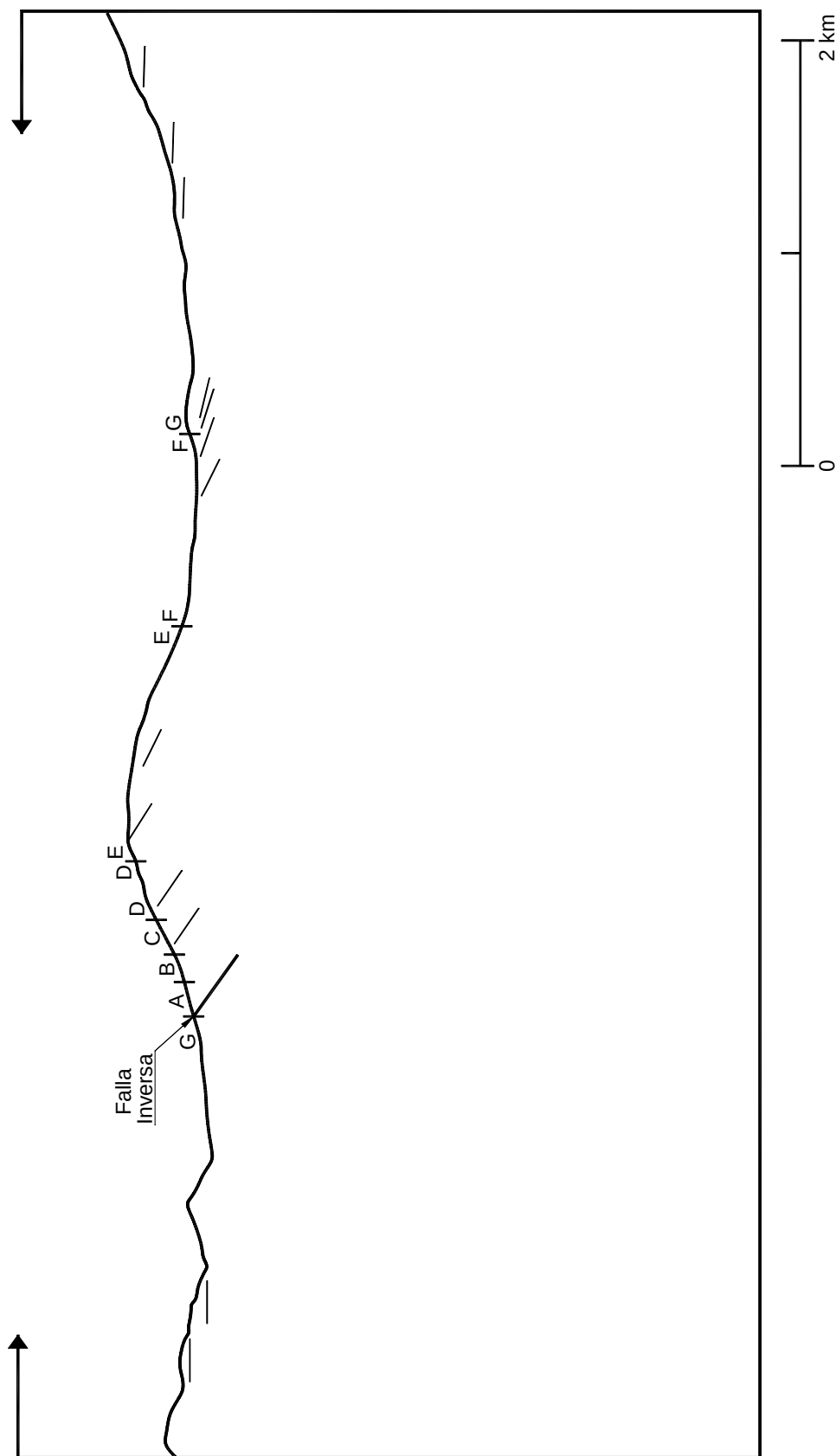
Ejercicio 9.15. Tomando como base el perfil topográfico, donde se tienen contactos entre las formaciones geológicas, la inclinación de las capas y la información del pozo petrolero, realizar las siguientes actividades:

- Construya la sección geológica utilizando el método de Kink.
- Describa las estructuras geológicas.
- Calcule el espesor promedio de cada una de las unidades.



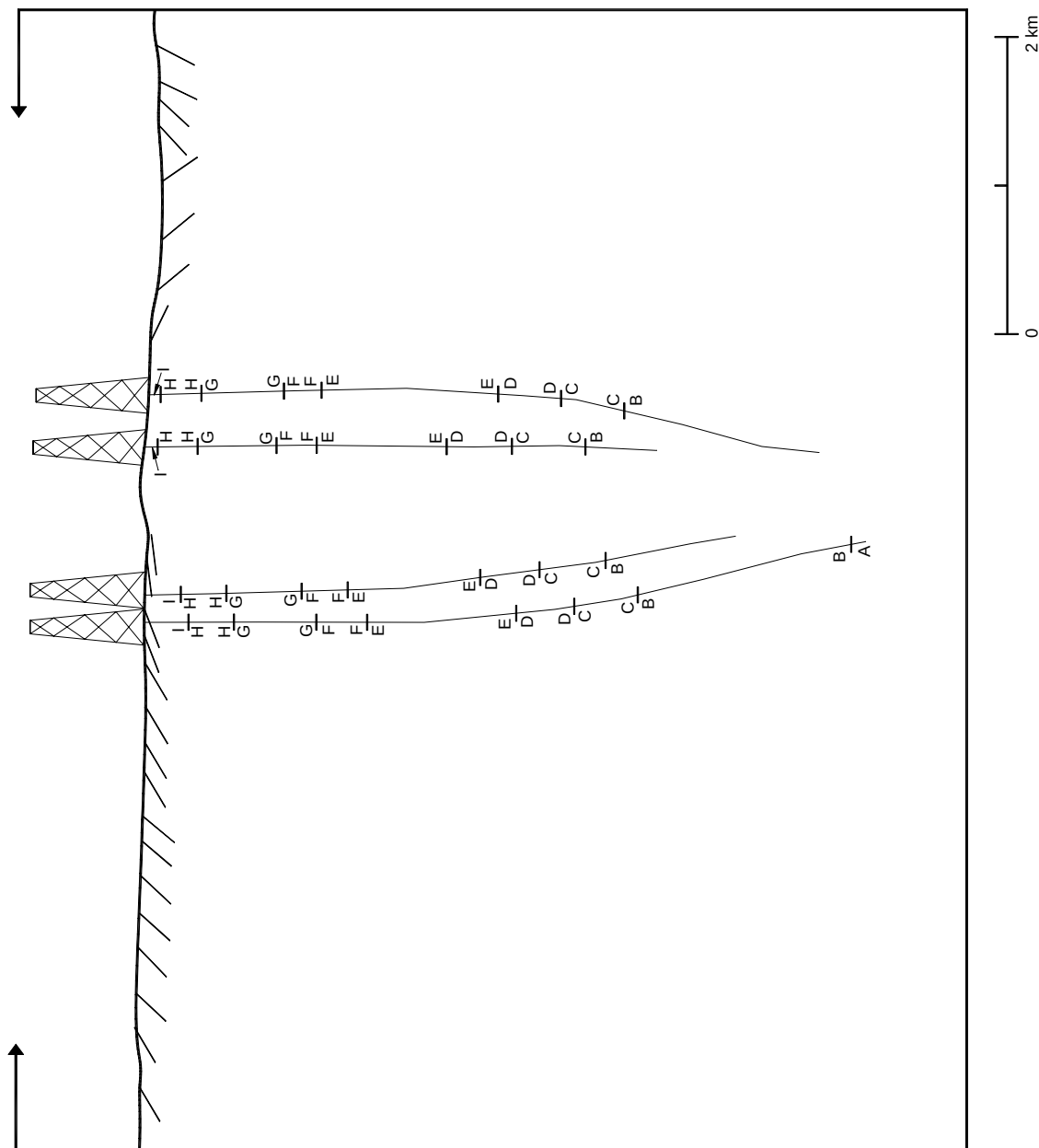
Ejercicio 9.16. Tomando como base el perfil topográfico, donde se tienen contactos entre las formaciones geológicas y la inclinación de las capas, realice las siguientes actividades:

- Construya la sección geológica utilizando el método de Kink.
- Describa las estructuras geológicas.
- Calcule el espesor promedio de cada una de las unidades.



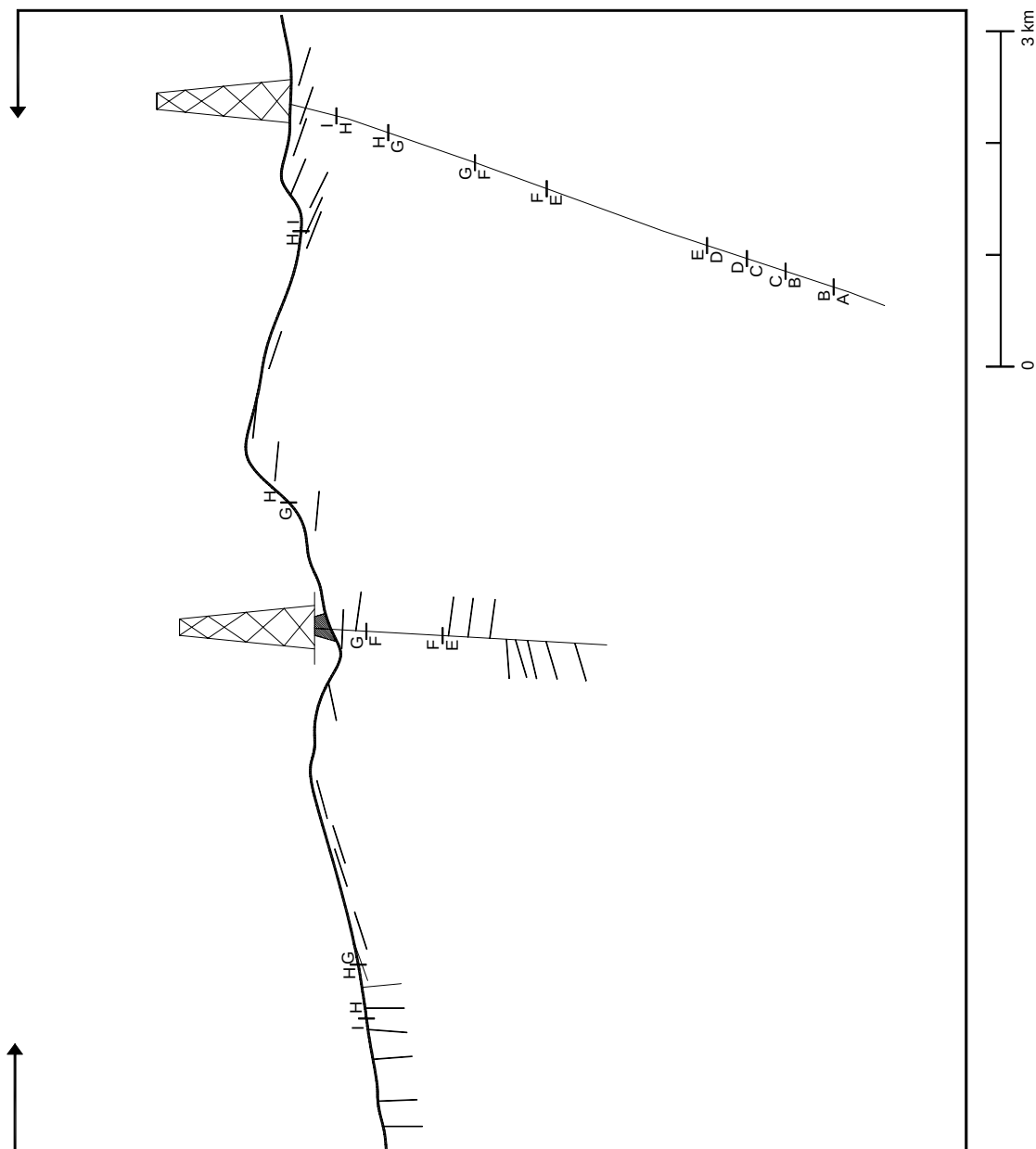
Ejercicio 9.17. Tomando como base el perfil topográfico, donde se tienen contactos entre las formaciones geológicas, la inclinación de las capas y la información de los pozos petroleros, realice las siguientes actividades:

- Construya la sección geológica utilizando el método de Kink.
- Describa las estructuras geológicas.



Ejercicio 9.18. Tomando como base el perfil topográfico donde se tienen contactos entre las formaciones geológicas, la inclinación de las capas y la información de los pozos petroleros, realice las siguientes actividades:

- Construya la sección geológica utilizando el método de Kink.
- Describa las estructuras geológicas.

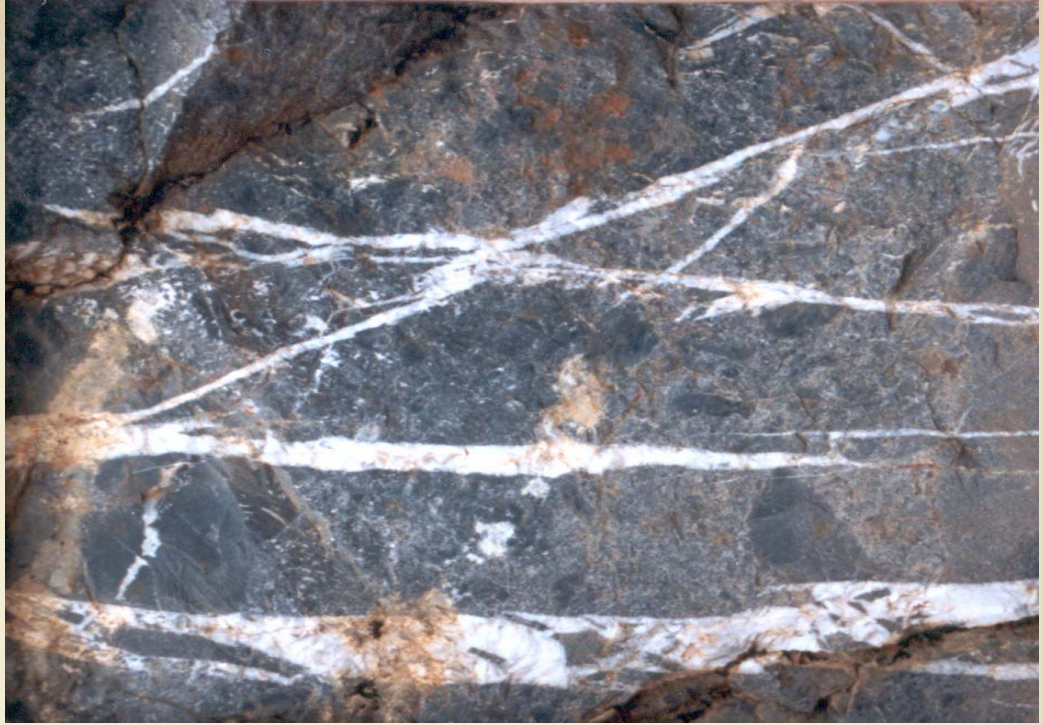


Cuestionario 9.1. Lea y conteste lo que se formule, de forma clara y concisa.

=====

1. Explique brevemente qué es una sección geológica.
2. Diga cuáles son las características más importantes de un mapa geológico, útiles para la construcción de secciones geológicas.
3. Explique cómo se construye un perfil topográfico.
4. Explique cómo se construye una sección geológica.
5. Diga las características más importantes de tres métodos de construcción de secciones geológicas. Diga cuál método proporciona mejores resultados es decir, una mejor interpretación.
6. Con relación a la orientación de las estructuras geológicas, explique y justifique en qué dirección se deben construir las secciones geológicas más representativas.
7. Explique qué ventajas o desventajas tiene construir secciones geológicas diagonales a la estructura, en las que se utilizan echados aparentes.
8. Explique qué ventajas o desventajas tiene construir secciones geológicas paralelas a la estructura.
9. Explique qué importancia tiene construir e interpretar secciones geológicas en Ciencias de la Tierra.
10. Explique cómo se realiza el levantamiento de una sección geológica en el trabajo geológico de campo.
11. Explique por qué en las secciones geológicas representativas utilizan escalas iguales tanto en sentido vertical como horizontal.
12. Explique por qué en una sección geológica paralela al plano de charnela de un pliegue horizontal normal, se observan los estratos de forma horizontal.
13. Explique cómo se pueden calcular los espesores de cuerpos geológicos tabulares a partir de secciones geológicas.
14. Explique cómo se interpretan las edades relativas en los anticlinales y en los sinclinales.
15. Diga las ventajas o desventajas que tiene construir secciones geológicas utilizando información de pozos.
16. Diga las ventajas o desventajas que tiene construir secciones geológicas utilizando información sísmica.

10



Intenso fracturamiento con relleno de calcita (fracturas conjugadas), en calizas de la Formación El Doctor, en el Estado de Querétaro.



Anticlinal recostado con pliegues de segundo orden (pliegue plegado) de la Formación Tamaulipas Superior, en el Estado de Querétaro.

Red Estereográfica

RED ESTEREOGRÁFICA

Las relaciones entre planos y líneas estructurales, se pueden analizar aplicando métodos de Geometría Descriptiva sin embargo, una forma alterna es utilizar la proyección estereográfica, mediante la cual es posible representar orientaciones tridimensionales en dos dimensiones; se pueden representar en un solo diagrama decenas o cientos de orientaciones de planos, líneas o planos y líneas.

La proyección estereográfica es comparable con otras proyecciones que se utilizan para la construcción de mapas (proyecciones cartográficas), en los que se representan en planta con simbología convencional los atributos o características geológicas y/o topográficas de la superficie terrestre.

Los problemas de Geología Estructural que se pueden resolver utilizando la red estereográfica son muy variados; es posible realizar la gráfica de las orientaciones de cualquier plano o línea estructural y se pueden obtener sus relaciones tales como intersección de planos, planos bisectores, ángulos entre planos, ángulos entre líneas, ángulos entre líneas y planos, rotación de planos, rotación de líneas, etc. Por ejemplo, con relación a pliegues, en un diagrama se pueden mostrar los rumbos y echados de sus flancos, obteniéndose como resultado la orientación promedio de cada flanco, de la línea de charnela, del plano de charnela, del ángulo entre flancos, de la dirección de los esfuerzos que los originaron, entre otros. Con relación a fallas, se pueden representar las orientaciones de planos y estrías de falla. Las fracturas se pueden analizar al realizar la gráfica de sus orientaciones con la red estereográfica, se obtiene información de la o las familias predominantes. También, entre otras aplicaciones, se pueden analizar orientaciones de superficies de foliación, de clastos imbricados contenidos en superficies de estratificación, lineaciones minerales, etc.

La importancia de la red estereográfica, no se limita al estudio de las relaciones geométricas entre planos o líneas estructurales originadas por la deformación de las rocas, sino que proporciona los suficientes elementos para identificar las características de orientación (dirección y sentido), de los esfuerzos que las originaron.

Con la finalidad de ilustrar la proyección de un plano estructural cualquiera, en la figura 10.1 se muestra un bloque diagramático que contiene un plano estructural inclinado de rumbo S30°E con echado de 60° al SW; este plano va a ser utilizado como referencia para comprender la proyección estereográfica.

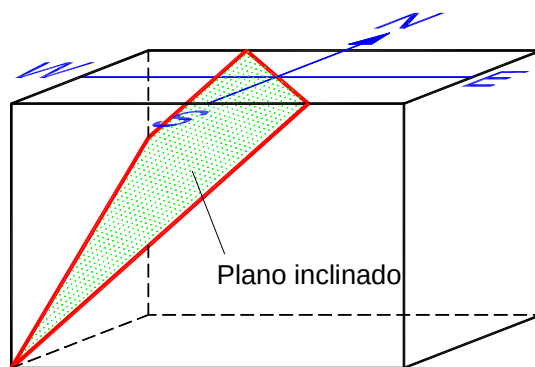


Figura 10.1

Si trasladamos el plano S30°E 60°SW a una esfera, la intersección de este plano con la esfera formara un círculo, el cual se puede proyectar al plano horizontal (plano de proyección) mediante su traza ciclográfica vista desde el cenit, tal como se muestra en la figura 10.2.

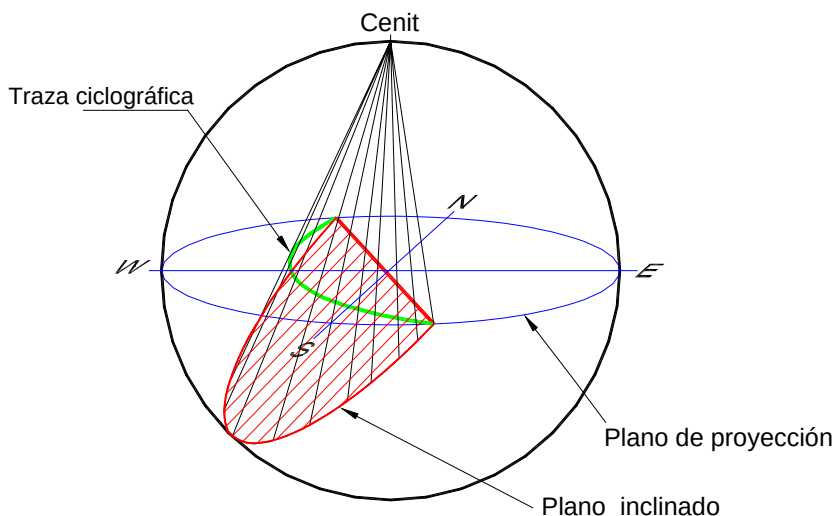


Figura 10.2

Para poder representar la orientación e inclinación de este plano en dos dimensiones, tenemos dos opciones, utilizar el hemisferio superior o el inferior. En ambos casos, se puede proyectar el plano inclinado sobre el plano de proyección como se muestra en la figura 10.3, donde se observa la proyección en el hemisferio inferior.

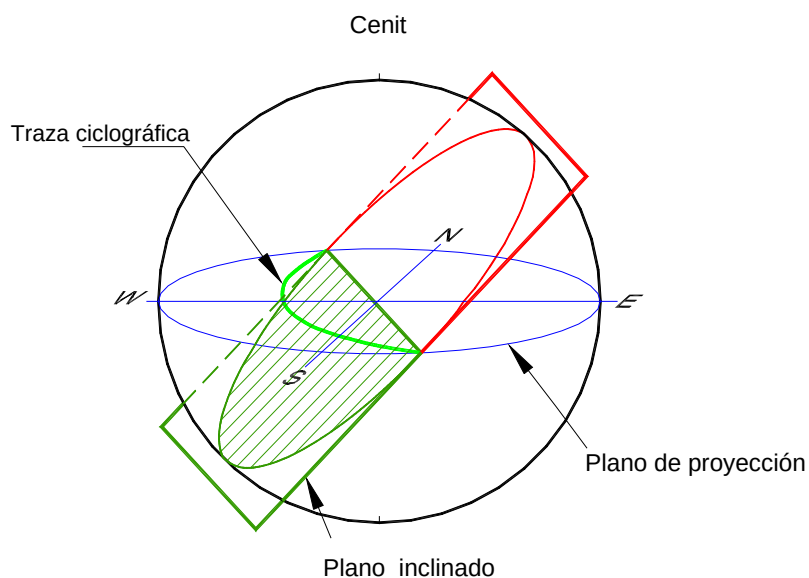


Figura 10.3

En geología estructural se utiliza comúnmente la proyección de planos inclinados en la semiesfera inferior. Dicha proyección se representa en el plano horizontal o ecuatorial o plano de proyección estereográfica, como se muestra en la figura 10.4, la traza ciclográfica dibujada es la proyección estereográfica del plano $S30^{\circ}E\ 60^{\circ}SW$.

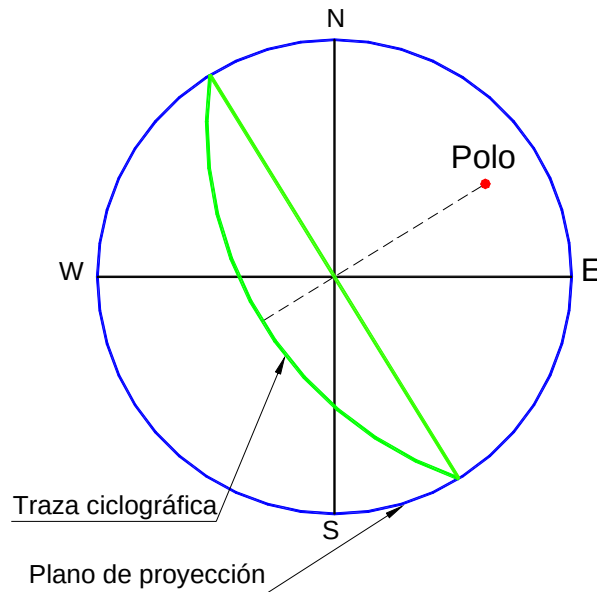


Figura 10.4

Un plano estructural puede ser representado en la red estereográfica por medio de su traza ciclográfica o por medio de su polo, esta representación no es la proyección del plano, sino la proyección de una línea perpendicular al plano que pasa por el centro de la esfera. La proyección polar es muy útil cuando se manejan decenas o cientos de datos.

En Geología Estructural, es posible utilizar varios tipos de estereodiagramas, siendo los más prácticos la red meridional estereográfica de igual ángulo o red de Wulff (figura 10.5) y el estereodiagrama de igual área o red de Schmidt (figura 10.6). En la primera, se mantienen las relaciones angulares iguales y en la segunda se mantienen sin variar las áreas. Este último caso, es muy práctico cuando se manejan gran cantidad de polos de planos o líneas y se requiere realizar conteos estadísticos, ya que si se tiene dispersión es muy difícil evaluarlos e interpretarlos. El método utilizado es el denominado diagrama de contornos, en el que se determina la densidad estadística o sea, el número de puntos que se tienen en un área determinada utilizando la falsilla de conteo de Kalsbeek (figura 11.7); con ésta se obtiene la media de cada orientación de la superficie estructural estudiada la cual, puede ser analizada si se gráfica en la red de Wulff o en el estereodiagrama de Schmidt.

En este capítulo analizaremos las orientaciones de distintos tipos de estructuras geológicas utilizando estereodiagramas.

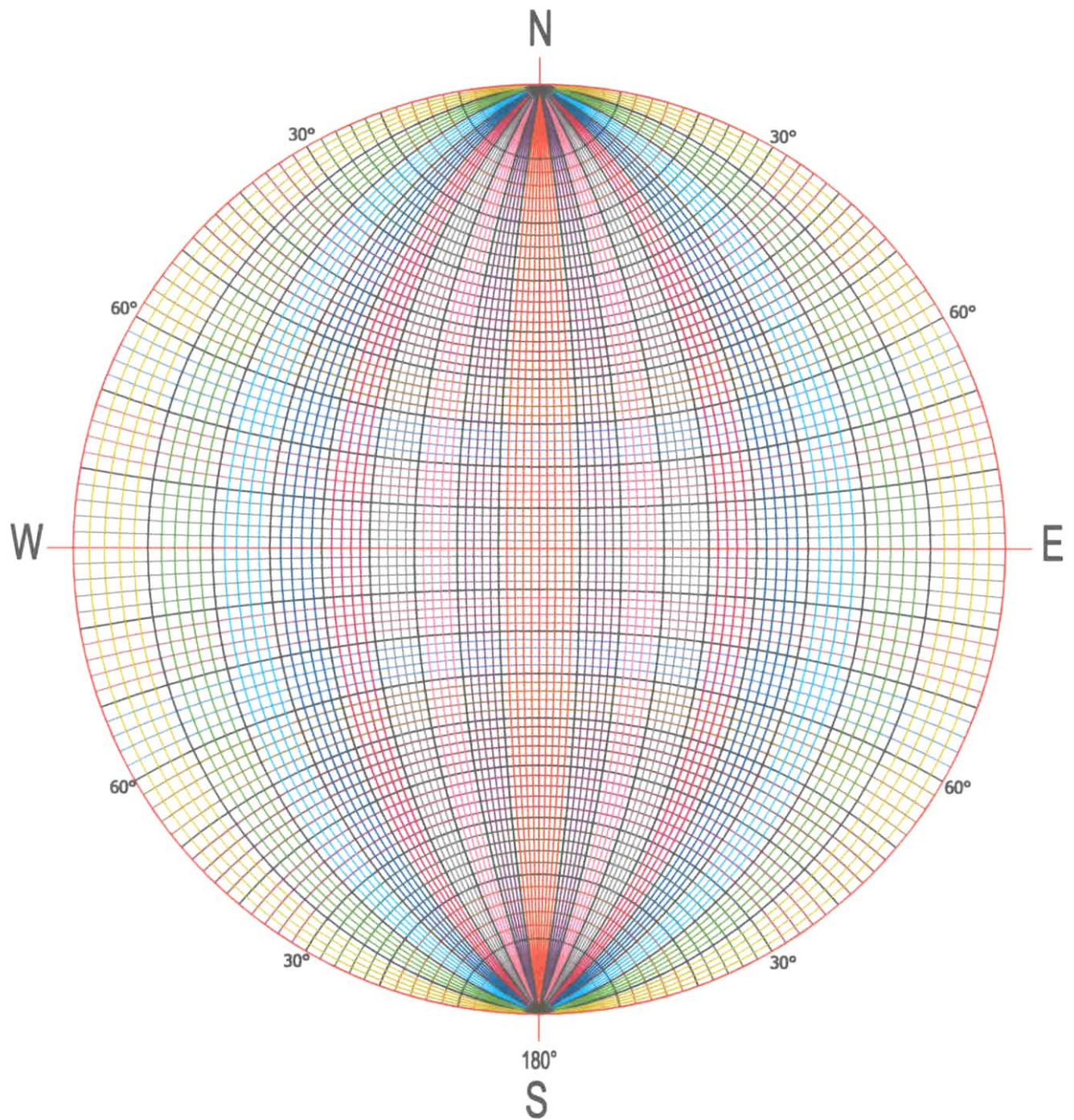


Figura 10.5 Red de Wulff

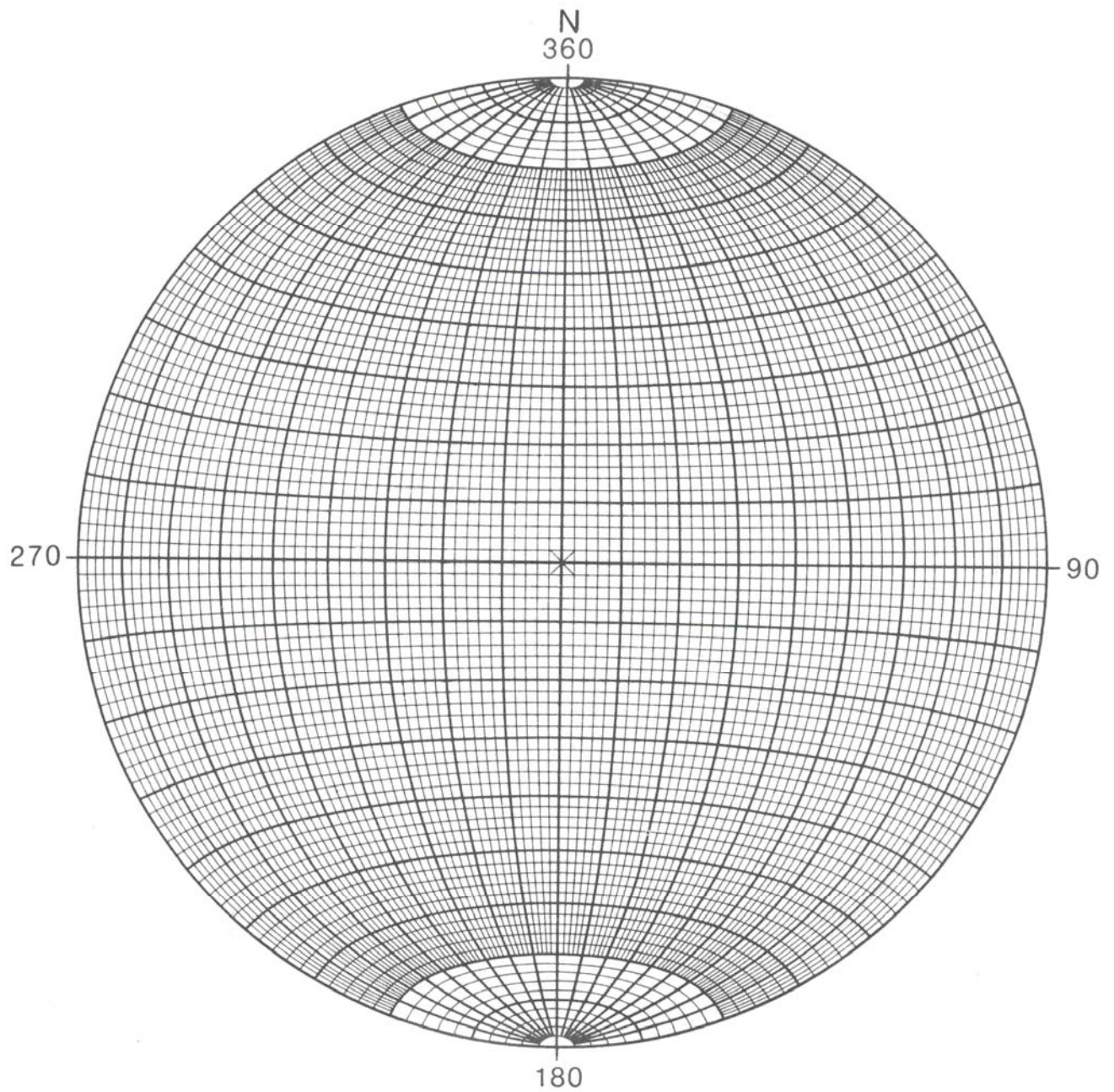


Figura 10.6 Red de Schmidt

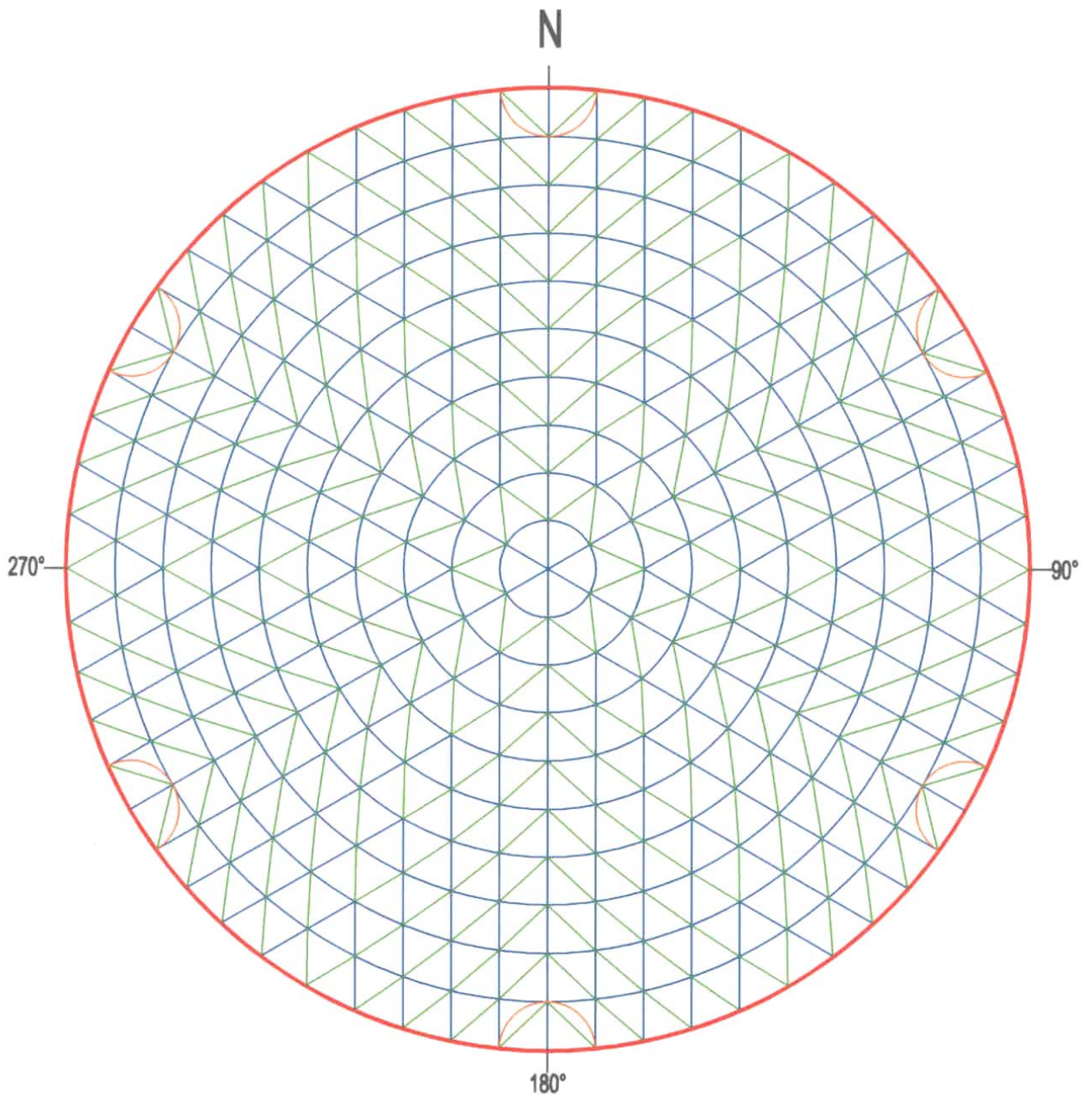


Figura 11.7 Falsilla de Kalsbeek

Ejercicio 10.1. Graficar con la red estereográfica el plano P_1 , con rumbo y echado $N25^\circ W$ 30° NE.

Ejercicio 10.2. Graficar con la red estereográfica la línea L_1 , la cual tiene la siguiente inclinación y orientación 62° al $NE42^\circ$.

Ejercicio 10.3. Encontrar el rumbo y echado de un plano a partir de dos líneas contenidas en él; las líneas son:

$L_1 = 40^\circ$ al $SW78^\circ$ y $L_2 = 62^\circ$ al $NE42^\circ$

Ejercicio 10.4. Encontrar la orientación de una recta definida por la intersección de los dos planos siguientes:

$P_1 = S25^\circ E$ $30^\circ SW$ y $P_2 = N55^\circ E$; $48^\circ SE$

Ejercicio 10.5. Considerando los datos de orientación de las siguientes rectas que se midieron utilizando una brújula con cuadrantes, grafique su proyección en un estereodiagrama utilizando la red estereográfica de Wulff.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| a) 45° $N36^\circ W$ | b) 14° $N15^\circ E$ |
| c) 86° $S60^\circ E$ | d) 52° $N15^\circ E$ |
| e) 07° $S20^\circ W$ | f) 33° $S75^\circ W$ |
| g) 18° $N82^\circ W$ | h) 66° $S10^\circ E$ |

Ejercicio 10.6. Considerando los datos de orientación de las siguientes rectas que se midieron utilizando una brújula azimutal, grafique su proyección en un estereodiagrama utilizando la red estereográfica de Wulff.

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| a) 12° 127° | b) 72° 121° |
| c) 46° 190° | d) 66° 208° |
| e) 54° 348° | f) 19° 306° |
| g) 32° 49° | h) 79° 82° |

Ejercicio 10.7. Considerando los datos de orientación de los siguientes planos que se midieron utilizando una brújula con cuadrantes, grafique su proyección con sus respectivos polos en la red estereográfica de Wulff.

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| a) $S20^\circ W$ $34^\circ NW$ | b) $N15^\circ W$ $72^\circ NE$ |
| c) $N06^\circ E$ $67^\circ SE$ | d) $S43^\circ E$ $86^\circ SW$ |
| e) $N78^\circ E$ $55^\circ SE$ | f) $S48^\circ E$ $87^\circ SW$ |
| g) $S08^\circ W$ $20^\circ NW$ | h) $N82^\circ W$ $66^\circ NE$ |

Ejercicio 10.8. Considerando los datos de orientación de los siguientes planos que se midieron utilizando una brújula azimutal, grafique su proyección con sus respectivos polos en la red estereográfica de Wulff.

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| a) 128° $67^\circ SW$ | b) 200° $45^\circ NW$ |
| c) 273° $10^\circ NE$ | d) 56° $12^\circ SE$ |
| e) 96° $45^\circ SW$ | f) 268° $15^\circ NW$ |
| g) 346° $82^\circ NE$ | h) 10° $70^\circ SE$ |

Ejercicio 10.9. Considerando los datos del problema 10.7, obtenga la orientación e inclinación de las líneas que se forman por la intersección de los planos a) y d), b) y h), e) y f).

Ejercicio 10.10. Considerando los datos del problema 10.8, obtenga la orientación e inclinación de las líneas que se forman por la intersección de los planos b) y c), e) y h), e) y g).

Ejercicio 10.11. A partir de los siguientes pares de líneas que coinciden con los echados aparentes de planos inclinados, obtenga el rumbo y echado verdadero de cada plano.

- a) 75° 45° SE y 66° 67° SW
- b) 10° 30° NE y 80° 76° NW
- c) 45° 20° NW y 82° 66° NE
- d) 24° 23° SE y 34° 89° NE
- e) 45° 45° SW y 67° 45° SE

Ejercicio 10.12. Diga las características de las líneas que se encuentran contenidas en los siguientes planos, en las direcciones que se señalan:

- a) $N25^\circ E$ 45° SE, la línea está en la dirección 80° SE
- b) $S50^\circ E$ 50° SW, la línea está en la dirección 10° SW
- c) $S60^\circ W$ 75° NW, la línea está en la dirección 80° NW
- d) $N06^\circ W$ 10° NE, la línea está en la dirección 60° NE
- e) $N80^\circ E$ 82° SE, la línea está en la dirección 50° SE

Ejercicio 10.13. Suponiendo que el rumbo y echado de un plano estructural es $N88^\circ E$ 32° SE, determine el echado aparente en la dirección $N45^\circ W$. Obtenga la solución por el método gráfico, trigonométrico y utilizando la proyección estereográfica.

Ejercicio 10.14. Con los datos de dos echados aparentes de un estrato inclinado (12° 75° NW y 26° $N38^\circ$ NE), determine el rumbo y echado verdadero de estrato que los contiene. Utilice el método gráfico, trigonométrico y la red estereográfica.

Ejercicio 10.15. Si el rumbo y echado de un estrato es de $S80^\circ W$ 22° NW, ¿Cuál es el echado aparente en la dirección $N52^\circ E$? Utilice el método gráfico, trigonométrico y la red estereográfica.

Ejercicio 10.16. Si el echado aparente de un plano de falla es 32° 72° NE y el rumbo es E-W, ¿Cuál es el echado verdadero de la falla? Utilice el método gráfico, trigonométrico y la red estereográfica.

Ejercicio 10.17. El echado verdadero de un plano estructural es 40° en la dirección Norte. ¿En qué dirección se tendrá un echado aparente de 30° ? Utilice el método gráfico, trigonométrico y la red estereográfica.

Ejercicio 10.18. Determine utilizando la red estereográfica el rumbo y el echado verdadero para cada uno de los siguientes pares de mediciones de echados aparentes:

- a) 19° 81° NW y 42° 12° NE
- b) 28° 61° NE y 51° 46° SE
- c) 05° 77° NW y 26° 38° NW

Ejercicio 10.19. Utilizando la red estereográfica, encontrar el ángulo que se forma entre las dos líneas siguientes:

$$L_1 = 62^\circ \text{ NE } 2^\circ \text{ y } L_2 = 40^\circ \text{ SW } 78^\circ$$

Ejercicio 10.20. Utilizando la red estereográfica, encontrar el ángulo que se forma entre el plano y la línea siguientes:

$P_1 = S40^\circ W \ 50^\circ NW$ y $L_1 = 46^\circ \ NE59^\circ$

Ejercicio 10.21. Los flancos de dos pliegues anticlinales tienen los rumbos y echados indicados en los incisos a) y b), encuentre para cada caso la orientación plano axial y la línea de charnela, clasifique el pliegue de acuerdo al criterio del ángulo entre limbos y por las características del plano axial y charnela.

a) $N33^\circ W \ 29^\circ NE$ y $S33^\circ E \ 15^\circ SW$

b) $N48^\circ W \ 13^\circ NE$ y $N12^\circ E \ 20^\circ SE$

Ejercicio 10.22. Los flancos de dos pliegues sinclinales tienen los rumbos y echados indicados en los incisos a) y b), encuentre para cada caso la orientación plano axial y la línea de charnela, clasifique el pliegue de acuerdo al criterio del ángulo interlimbos y por las características del plano axial y charnela.

a) $N33^\circ E \ 39^\circ SE$ y $S33^\circ E \ 39^\circ SW$

b) $S48^\circ W \ 19^\circ NW$ y $N20^\circ E \ 70^\circ SE$

Ejercicio 10.23. Grafique en la red estereográfica los siguientes flancos de pliegues cuyos planos se midieron de acuerdo a la regla de la mano derecha; obtenga los datos para completar la tabla. La clasificación del pliegue será según el ángulo interlimbos y por la orientación de la línea de charnela y plano axial.

Flanco 1	Flanco 2	Plano axial	Línea de charnela	Ángulo interlimbos	Clasificación
$N40^\circ W \ 16^\circ$	$S47^\circ E \ 26^\circ$				
$S22^\circ E \ 26^\circ$	$S39^\circ E \ 40^\circ$				
$S30^\circ E \ 15^\circ$	$S31^\circ E \ 10^\circ$				
$N50^\circ W \ 09^\circ$	$N73^\circ W \ 86^\circ$				
$N30^\circ E \ 22^\circ$	$S40^\circ W \ 70^\circ$				

Ejercicio 10.24. Utilizando la red estereográfica realice la rotación de los siguientes planos de falla, considerando como eje de rotación una línea horizontal. Indique cuál es la orientación del plano rotado.

a) $N46^\circ E \ 60^\circ SE$, rotarlo 30° .

b) $S80^\circ E \ 78^\circ SW$, rotarlo 65°

c) $S02^\circ W \ 09^\circ NW$, rotarlo 90°

d) $N28^\circ E \ 50^\circ SE$, rotarlo 40°

e) $N18^\circ W \ 22^\circ NE$, rotarlo 120°

Ejercicio 10.25. Utilizando la red estereográfica realice la rotación de los siguientes planos de falla, considerando como eje de rotación una línea vertical. Indique cuál es la orientación del plano rotado.

a) $N76^\circ E \ 70^\circ SE$, rotarlo 30° .

b) $S60^\circ E \ 88^\circ SW$, rotarlo 65°

c) $S09^\circ W \ 19^\circ NW$, rotarlo 90°

d) $N18^\circ E \ 30^\circ SE$, rotarlo 40°

e) $N58^\circ W \ 10^\circ NE$, rotarlo 120°

Ejercicio 10.26. Con los siguientes datos de rumbo medidos en superficies de fractura verticales de una secuencia de ignimbritas, construya una roseta de rumbos, dibuje en la red de Schmidt los polos de dichos planos, realice el conteo con la falsilla de Kalsbeek y obtenga lo siguiente:

- Las direcciones preferenciales de las familias de fracturas.
- Las direcciones de los esfuerzos principales.

SE 44°	NE 28	SW 45°	NW 22°	NW 30°	SE 21°	NE 25°
NE 20°	SW 21°	SE 44°	SW 19°	NW 21°	NW 22°	NE 39°
SW 21°	SE 45°	SW 22°	SW 44°	NE 44°	SW 15°	SE 22°
SE 01°	NW 05°	NE 03°	NE 12°	NW 15°	SE 14°	NW 11°
SE 23°	NW 27°	NE 12°	NW 89°	NE 37°	NW 21°	NW 09°
NW 21°	SE 21°	NW 34°	NW 37°	NW 15°	SE 16°	SE 12°
NW 33°	SE 23°	NW 23°	NW 33°	NW 16°	SE 20°	SE 33°
NW 24°	NW 19°	NW 59°	SE 35°	SE 28°	NE 19°	SE 71°
NW 25°	NW 17°	NW 43°	NW 32°	NE 37°	SE 22°	SW 33°
SE 23°	SE 16°	SE 44°	NW 44°	NE 66°	SE 41°	NE 24°
SE 20°	SE 12°	SE 42°	SE 32°	NW 75°	NW 19°	NE 26°
SE 22°	NW 23°	SE 41°	NE 23°	NW 39°	SE 37°	NE 32°
NW 21°	SE 24°	NW 40°	NE 26°	NE 42°	SE 35°	SW 28°
SW 22°	NW 26°	NW 42°	SW 27°	SE 26°	NE 36°	SW 34°
SW 32°	NW 27°	NW 45°	SE 29°	NE 34°	NE 38°	NE 16°
NE 21°	NW 29°	NW 33°	SE 28°	NE 39°	SW 42°	NE 44°
NE 32°	NW 31°	NW 28°	SE 17°	NE 56°	SW 41°	NE 36°
NE 19°	NW 32°	SE 16°	SE 36°	NE 57°	SW 45°	NE 39°
NW 23°	NW 23°	NW 20°	SE 22°	NE 49°	SW 38°	NE 27°
NW 21°	SE 23°	NW 23°	NW 21°	NE 67°	SW 43°	NE 32°
NW 44°	SE 26°	NW 45°	NW 23°	NE 38°	SW 36°	NE 56°
NW 23°	NW 09°	NE 42°	SW 46°	NE 41°	NE 34°	NE 43°
NE 25°	NW 26°	NW 24°	SE 19°	SE 17°	SE 24°	SE 22°
NE 52°	SW 42°	SW 41°	SW 39°	SW 52°	SW 38°	NE 39°
NE 26°	NW 30°	SW 15°	NW 37°	NE 37°	NW 62°	SE 27°
NE 21°	NW 28°	SW 12°	NW 26°	NE 36°	NW 37°	SE 82°
NE 17°	NW 27°	SE 17°	NW 25°	NE 32°	NW 25°	SE 21°
NE 15°	NW 26°	NE 30°	NW 31°	NE 29°	NW 29°	SE 39°
NE 20°	NW 15°	NE 27°	NW 22°	NE 27°	NW 36°	SE 60°
NE 22°	NW 17°	NE 23°	NW 21°	NE 26°	NW 35°	SE 58°
NE 21°	NW 12°	NE 26°	NW 19°	NE 32°	NW 34°	SE 69°
NE 25°	NW 36°	NE 35°	NW 18°	NE 32°	NW 33°	SE 21°
NE 24°	NW 35°	NE 34°	NW 16°	NE 35°	NW 32°	SE 22°
NE 30°	NW 34°	NE 36°	NW 24°	NE 34°	NW 31°	SE 36°
NE 35°	NW 28°	NE 35°	NW 27°	NE 38°	NW 36°	SE 37°
NE 33°	NW 39°	NE 34°	NW 28°	NE 37°	NW 35°	SE 31°
NE 32°	NW 42°	NE 33°	NW 21°	NE 31°	NW 34°	SE 34°

Ejercicio 10.27. Con base en los siguientes datos de rumbo y echado medidos en los estratos de un pliegue sinclinal, dibuje en la red de Schmidt los polos de dichos planos, realice el conteo con la falsilla de Kalsbeek y obtenga lo siguiente:

- Los rumbos y echados promedio de cada flanco.
- Obtenga el ángulo interflancos.
- Obtenga el rumbo y echado del plano axial.
- Obtenga la orientación e inclinación de la línea de charnela.
- Clasifique el pliegue utilizando dos criterios diferentes.
- Represente esquemáticamente el pliegue en planta y sección.

S37°E 53°W	N21°E 30°W	S26°E 32°W	N35°W 41°E	S30°W 5°E
S19°E 71°W	S20°E 58°E	S42°E 33°W	N20°W 35°E	N16°W 14°E
S30°E 60°W	S18°W 69°E	S42°E 25°W	N30°W 54°E	N5°E 25°E
N21°W 69°E	N8°W 54°E	S11°E38°W	N77°W 5°E	S11°E 28°E
N21°W 20°E	N45°W 50°E	S45°E 40°W	N6°W 78°E	N22°E 22°E
N22°W 5°W	S22°W 73°E	S35°E 42°W	S4°E 69°E	N11°E 36°E
N20°W 15°E	S22°W 90°E	S12° E 50°W	N4°E 48°E	N18°E 30°E
N45°W 25°E	N36°E 77°E	S10°W 25°W	S82°W 3°E	N13°W 64°E
N50°W 44°E	S21°E 37°W	S4°E 40°W	S21°W 4°E	N2°W 30°E
N44°W 56°E	N20°W 72°W	S14°E 50°W	N11°W 15°E	N28°W 39°E
N24°W 53°E	S6°E 30°E	S9°E 28°W	N6°W 8°E	S15°W 19°W
N27°W 39°E	S10°E 21°W	S7°E 31°W	S45°W 3°E	N20°W 35°E
S7°E 39°W	S55°E 31°W	S17°E 28°W	N14°W 65°E	N3°W 26°E
N6°W 44°E	S67°E 42°W	S70°W 8°W	N3°E 69°E	N30°W 20°E
N5°W 46°E	S35°E 40°W	S17°W 50°W	N14°W 90°E	S5°E 24°W
N11°W 46°E	S37°E 42°W	N37°W 39°E	N12°W 65°E	S9°E 23°W
N2°W 32°E	S40°E 27°W	N32°W 47°E	NO°W 40°E	S21°E 21°W
N16°E 24°E	S32°E 30°W	N11°W 57°E	N5°W 63°E	S5°E 28°W
N7°E 20°E	S9°E 42°W	N12°W 32°E	N9°E 25°E	S27°W 30°W
N6°E 25°W	S11°E 31°W	N18°W 32°E	N4°E 4°E	N10°E 11°E
S20°W 20°W	N10°W 51°W	N18°E 20°E	N23°W 10°E	S21°W 18°W
N15°W 42°W	S13°E 9°W	N8°E 23°E	S5°W 30°W	S10°E 31°W
N11°W 10°E	S13°E 9°W	N53°E 28°E	N5°E 29°W	S40°E 26°W
N8°W 39°W	N12°W 14°E	N4°E 30°E	N6°W 35°E	S65°W 15°W
N27°W 39°E	N35°W 6°E	N6°W 35°E	N80°W 11°E	N51°E 20°E
N10°W 20°E	N5°W 50°E	N29°W 32°W	N35°W 41°E	N3°E 25°E
N23°W 73°E	N7°W 45°W	N42°W 25°W	N36°W 37°E	N7°W 28°E
N42°W 56°E	N36°W 10°W	N43°W 40°W	N23°W 32°E	N23°E 22°E
N12°W 10°W	N11°W 53°E	N12°W 25°W	N11°W 32°E	N10°E 20°E
N49°W 44°E	N19°E 20°W	N20°W 69°E	N2°E 52°E	N19°E 20°E
N44°W 25°E	N54°W 56°W	N31°W 54°E	N26°W 70°W	N5°E 44°E
N33°W 60°E	N19°W 7°W	N28°W 35°E	N9°E 26°E	N35°E 40°W
N22°W 5°W	N17°W 10°W	N19°W 57°E	N8°W 8°E	N6°W 23°W
N10°W 25°E	N11°W 31°W	N18°W 35°E	N5°W 40°E	N6°W 51°W
N2°W 40°E	N21°W 6°W	N32°W 47°E	N18°W 16°E	N7°W 31°W

Ejercicio 10.28. Los siguientes datos fueron medidos en clastos tabulares imbricados de una secuencia conglomerática. Con base en un análisis estadístico utilizando la red de

Schmidt y la falsilla de Kalsbeek, determine cuál fue la dirección de flujo de la corriente que los depositó. Considere que el estrato que contiene a estos clastos tiene un rumbo N09°W y está inclinado 33° al NE.

N 7°E 34°	N12°W 31°	N10°W 27°
N 2°E 18°	N43°W 34°	N38°E 58°
N 2°E 62°	N40°W 28°	N16°W 43°
N 72°E 4°	N42°W 37°	N32°W 19°
N 15°E 61°	N32°E 17°	N22°W 41°
N 58°E 19°	N5° W 32°	N12°W 36°
N 56°W 36°	N18°E 32°	N16°E 74°
N 32°E 16°	N7 °E 82°	N46°W 47°
N 79°E 6°	N26° W °73	N28°W 55°
N 45°W 56°	S76°E 33°	N44°W 62°
N62°E 18°	N10°E 60°	S87°W 64°
N8°W 58°	N88°E 32°	N72°W 65°
N4°E 11°	N34°W 4°	N07°W 48°
N75°W 15°	N38° E 60°	N25°W 37°
N31°E 20°	N71°W 17°	N28°W 18°
N 8°W 41°	N20°W 20°	N30°W 31°
N 68°W 20°	N40°W 59°	N50°W 58°
N 34° E 37°	N18°W 27°	N30° E 08°
N 34°W 43°	N40°W 46°	N47°W 44°
N 4°E 21°	N4°W 10°	N45°W 25°
N 0°E 45°	N10°W 27°	N25°W 51°
N 35°W 70°	N38°E 58°	N09°E 34°
N 48°W 53°	N16°W 43°	N32°W 35°
N 24°W 42°	N32°W 17°	N00°E 59°
N 26°W 52°	N05°W 32°	N4°W 48°
N 47°W 22°	N18°E 32°	N20°E 14°
N 5° W 75°	N07°E 82°	S12°E 64°
N 75°E 21°	N26°W73°	N75°W 36°
N 8°E 2°	S76°E 33°	N 7°W 31°
N 22°W 78°	N10°E 60°	S 70°E 52°
N 73°E 28°	N88°E 32°	N72°W 71°
N 38°W °65°	N34°W 04°	N 8°E 33°
N 65°E 6	N38°E 60°	N60°W 58°
N 10°W 34°	N71°W 17°	N20°E 76°
N 64°W 68°	N20°W 20°	N51°W 29°
N 35°W 34°	N40°W 59°	N10°W 24°
N 8°W 40°	N18°W 27°	N15°W 13°
N 28°W 37°	N40°W 46°	S21°E 72°
N 59°W 34°	N04°W 10°	S52°E 8°

Ejercicio 10.29. Los siguientes datos de rumbo y echado se midieron con el método de pínula mayor a la derecha, corresponden a planos de estratificación de los flancos de un pliegue anticlinal. Grafique en la red de Schmidt los polos de dichos planos, realice el conteo con la falsilla de Kalsbeek y obtenga lo siguiente:

- Los rumbos y echados promedio de cada flanco.
- Obtenga el ángulo interflancos.
- Obtenga el rumbo y echado del plano axial.
- Obtenga la orientación e inclinación de la línea de charnela.
- Clasifique el pliegue utilizando dos criterios diferentes.
- Represente esquemáticamente el pliegue en planta y sección.

NW 20° 30°	NW 21° 26°	NW 25° 36°	SE 22° 26°	SE 22° 17°
NW 21° 36°	NW 22° 27°	NW 03° 26°	SE 24° 25°	SE 26° 15°
NW 22° 35°	NW 20° 25°	NW 04° 27°	SE 26° 24°	SE 29° 13°
NW 15° 21°	NW 19° 24°	NW 07° 28°	SE 20° 25°	SE 24° 12°
NW 16° 22°	NW 18° 23°	NW 12° 29°	SE 21° 30°	SE 23° 11°
NW 17° 23°	NW 17° 22°	NW 15° 30°	SE 22° 31°	SE 22° 12°
NW 18° 24°	NW 22° 21°	NW 16° 32°	SE 23° 32°	SE 07° 30°
NW 19° 25°	NW 23° 20°	NW 19° 33°	SE 24° 33°	SE 09° 9°
NW 20° 26°	NW 26° 19°	NW 22° 29°	SE 25° 36°	SE 11° 27°
NW 21° 27°	NW 29° 18°	NW 23° 26°	SE 26° 37°	SE 13° 26°
NW 22° 28°	NW 32° 17°	NW 25° 25°	SE 27° 38°	SE 15° 25°
NW 23° 29	NW 15° 16°	NW 26° 24°	SE 28° 39°	SE 17° 28°
NW 24° 30°	NW 10° 17°	NW 27° 23°	SE 29° 42°	SE 18° 29°
NW 25° 31°	NW 05° 12°	NW 29° 22°	SE 30° 46°	SE 19° 32°
NW 26° 32°	NW 06° 14°	NW 30° 21°	SE 31° 47°	SE 20° 33°
NW 27° 33°	NW 07° 16°	NW 31° 26°	SE 32° 33°	SE 21° 35°
NW 28° 34°	NW 08° 20°	NW 33° 25°	SE 33° 32°	SE 22° 37°
NW 29° 35°	NW 36° 22°	NW 35° 28°	SE 34° 31°	SE 23° 36°
NW 30° 36°	NW 37° 23°	NW 37° 27°	SE 35° 36°	SE 24° 35°
NW 31° 37°	NW 38° 24°	SE 40° 30°	SE 36° 32°	SE 25° 34°
NW 32° 38°	NW 41° 25°	SE 42° 31°	SE 37° 26°	SE 26° 32°
NW 33° 39°	NW 46° 26°	SE 46° 32°	SE 38° 25°	SE 27° 29°
NW 34° 40°	NW 47° 27°	SE 10° 26°	SE 39° 24°	SE 28° 27°
NW 35° 39°	NW 48° 28°	SE 12° 25°	SE 40° 23°	SE 29° 25°
NW 36° 38°	NW 20° 29°	SE 14° 24°	SE 47° 22°	SE 30° 24°
NW 37° 37°	NW 22° 30°	SE 16° 23°	SE 46° 21°	SE 32° 23°
NW 38° 36°	NW 23° 31°	SE 18° 22°	SE 26° 20°	SE 34° 22°
NW 39° 35°	NW 24° 33°	SE 20° 21°	SE 25° 19°	SE 36° 21°
SE 12° 45°	NW 43° 56°	SE 32° 32°	NW 25° 56°	NW 45° 52°
SE 27° 31°	NW 25° 65°	SE 27° 43°	NW 34° 64°	NW 43° 34°
SE 56° 60°	NW 56° 32°	SE 27° 45°	NW 32° 23°	NW 26° 65°
SE 44° 22°	NW 34° 56°	SE 34° 35°	NW 17° 26°	NW 64° 62°
SE 65° 10°	NW 32° 33°	SE 21° 41°	NW 60° 47°	NW 64° 76°
SE 28 45°	NW 67° 32°	SE 25° 43°	NW 65° 61°	NW 31° 23°
SE 38° 19°	SE 40° 17°	SE 42° 16°	SE 44° 19°	SE 40° 26°

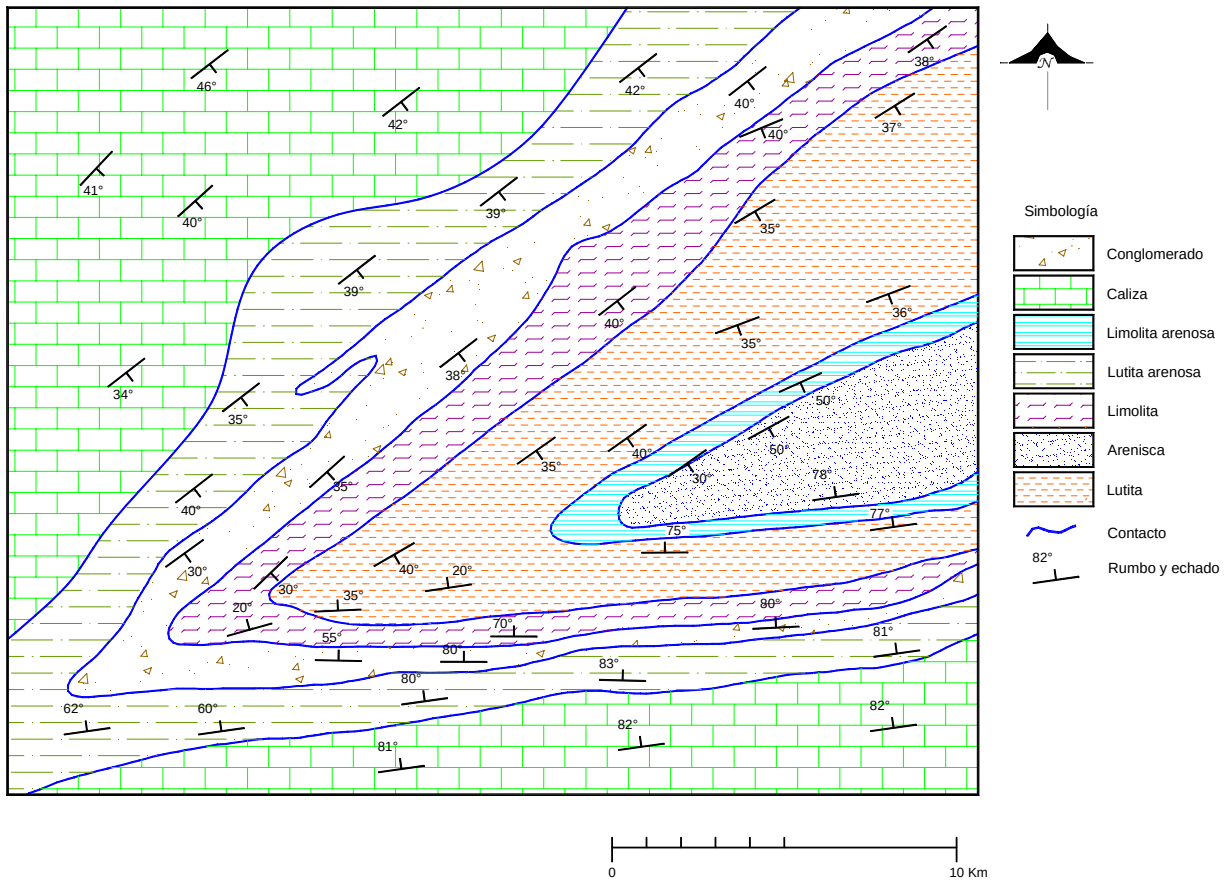
Problema 10.30. Con base en los siguientes datos de rumbo y echado medidos con pínula mayor a la derecha en los estratos de un pliegue anticlinal, dibuje en la red de Schmidt los polos de dichos planos, realice el conteo con la falsilla de Kalsbeek y obtenga lo siguiente:

- Los rumbos y echados promedio de cada flanco.
- Obtenga el ángulo interflancos.
- Obtenga el rumbo y echado del plano axial.
- Obtenga la orientación e inclinación de la línea de charnela.
- Clasifique el pliegue utilizando dos criterios diferentes.
- Represente esquemáticamente el pliegue en planta y sección.

NE 25° 32°	SW 40° 50°	NE 30° 30°	SW 52° 28°
NE 20° 28°	SW 39° 52°	NE 29° 29°	SW 51° 27°
NE 24° 29°	SW 26° 39°	NE 32° 27°	SW 49° 26°
NE 22° 25°	SW 10° 36°	NE 10° 26°	SW 37° 38°
NE 30° 22°	SW 15° 37°	NE 12° 25°	SW 36° 39°
NE 28° 29°	SW 20° 33°	NE 16° 24°	SW 35° 42°
NE 25° 32°	SW 22° 32°	NE 15° 23°	SW 39° 46°
NE 21° 26°	SW 29° 29°	NE 23° 22°	SW 42° 55°
NE 18° 19°	SW 33° 37°	NE 36° 21°	SW 46° 53°
NE 17° 17°	SW 36° 46°	NE 77° 16°	SW 45° 52°
NE 10° 22°	SW 32° 45°	NE 66° 15°	SW 48° 47°
NE 26° 33°	SW 31° 47°	NE 52° 14°	SW 47° 43°
NE 27° 28°	SW 39° 49°	NE 51° 13°	SW 46° 42°
NE 26° 29°	SW 37° 44°	NE 29° 12°	SW 39° 41°
NE 15° 30°	SW 36° 42°	NE 33° 19°	SW 38° 39°
NE 5° 26°	SW 35° 41°	NE 36° 18°	SW 37° 38°
NE 11° 19°	SW 34° 46°	NE 37° 17°	SW 62° 37°
NE 4° 26°	SW 33° 47°	NE 39° 16°	SW 61° 36°
NE 29° 28°	SW 37° 43°	NE 42° 19°	SW 66° 39°
NE 36° 36°	SW 39° 42°	NE 47° 32°	SW 69° 37°
NE 38° 29°	SW 47° 46°	NE 46° 36°	SW 68° 33°
NE 29° 38°	SW 46° 47°	NE 45° 39°	SW 67° 32°
NE 40° 26°	SW 45° 38°	NE 20° 47°	SW 66° 29°
NE 60° 50°	SW 49° 36°	NE 19° 56°	SW 65° 46°
NE 40° 39°	SW 32° 21°	NE 17° 48°	SW 64° 47°
NE 37° 28°	SW 36° 22°	NE 16° 32°	SW 63° 42°
NE 50° 22°	SW 39° 26°	NE 15° 31°	SW 62° 46°
NE 46° 21°	SW 30° 16°	NE 25° 19°	SW 59° 36°
NE 52° 32°	SW 17° 36°	NE 14° 21°	SW 49° 33°
NE 39° 19°	SW 18° 21°	NE 19° 25°	SW 39° 26°
NE 25° 31°	SW 15° 29°	NE 23° 31°	SW 41° 42°
NE 20° 10°	SW 12° 25°	NE 32° 29°	SW 15° 31°
NE 19° 12°	SW 32° 21°	NE 40° 31°	SW 25° 45°
NE 30° 24°	SW 19° 29°	NE 33° 13°	SW 32° 46°
NE 48° 23°	SW 32° 41°	NE 12° 15°	SW 63° 41°
NE 35° 42°	SW 12° 32°	NE 21° 12°	SW 59° 31°
NE 31° 15°	SW 19° 26°	NE 25° 41°	SW 46° 42°
NE 52° 22°	SW 34° 16°	NE 23° 19°	SW 39° 21°

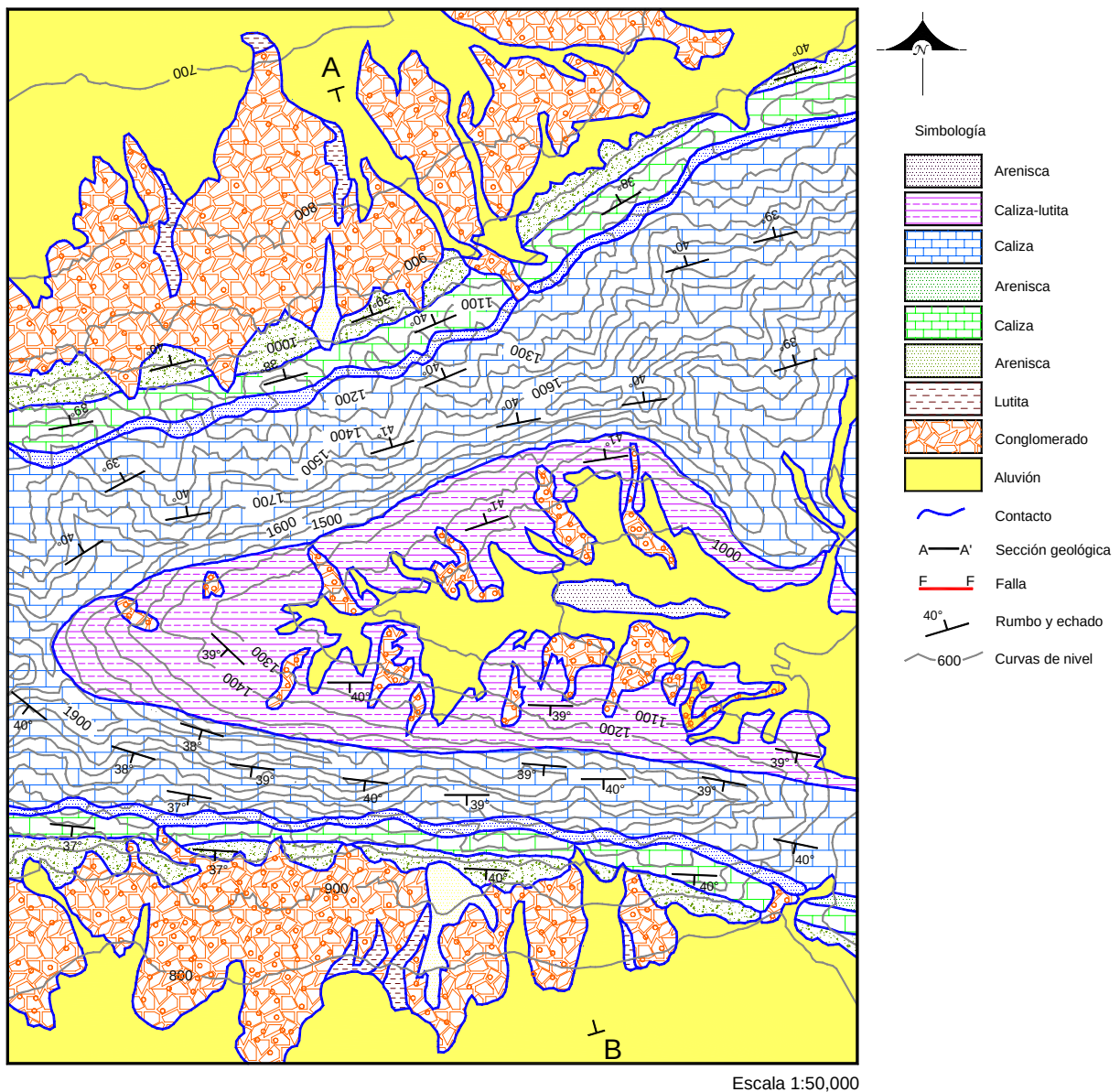
Ejercicio 10.31. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Diga las características del pliegue utilizando la red estereográfica (línea de charnela, plano axial, ángulos interflancos, tipo de pliegue).
- Diga cuántas unidades afloran.
- Explique qué tipos de contactos geológicos se tienen.
- Describe la o las estructuras geológicas.
- Construya la columna geológica a escala.



Ejercicio 10.32. Tomando como base la información del mapa geológico, realice las siguientes actividades:

- Diga las características del pliegue utilizando la red estereográfica (línea de charnela, plano axial, ángulos interflancos, tipo de pliegue).
- Diga cuántas unidades afloran.
- Explique qué tipos de contactos geológicos se tienen.
- Construya la sección geológica A-B.
- Describa la o las estructuras geológicas.
- Construya la columna geológica a escala.



Ejercicio 10.33. Una falla tiene una orientación N10°E, 25°W. Cerca del plano de falla hay vetas de cuarzo subhorizontales (N20°W, 10°E). Determinar la orientación de los esfuerzos principales, el ángulo de rozamiento interno y la dirección y el sentido del salto.

Ejercicio 10.34. La siguiente tabla enumera las mediciones de 10 fallas normales en una secuencia de carbonatos de plataforma. Grafique los datos en la red equiáreal y determine la orientación de los principales esfuerzos.

Número de Referencia	Azimut de la falla	Echado de la falla	Pitch de las estrías
1	046°	62°S	81°@E
2	037°	58°S	81°@W
3	090°	81°N	59°@W
4	051°	69°N	79°@W
5	044°	64°N	77°@W
6	111°	89°N	58°@W
7	073°	79°N	64°@W
8	047°	61°S	81°@W
9	076°	62°N	87°@E
10	066°	57°S	89°@E

Cuestionario 10.1. Lea y conteste lo que se formule, de forma clara y concisa.

1. Diga las características de la proyección que se utiliza en las construcciones con red estereográfica.
2. Describa las principales características de la red de Wulff.
3. Describa las principales características de la red de Schmidt.
4. Describa las principales características de la falsilla de Kalsbeek.
5. Explique cuál es la utilidad práctica que tiene de la red estereográfica en Geología Estructural.
6. Diga qué ventajas tiene utilizar la red de Wulff en la solución de problemas de Geología Estructural.
7. Diga qué ventajas tiene utilizar la red de Schmidt en la solución de problemas de Geología Estructural.
8. Explique las principales características de las trazas ciclográficas.
9. Explique las principales características de la proyección de planos por medio de los polos y qué ventajas tiene utilizar esta representación.
10. Explique cómo se construye la red de Wulff, con su fundamento matemático.
11. Explique cómo se construye la red de Schmidt, con su fundamento matemático.
12. Explique cómo se construye la falsilla de Kalsbeek, con su fundamento matemático.
13. Explique cómo se efectúa la rotación de un plano considerando un eje de rotación vertical.
14. Explique cómo se efectúa la rotación de un plano considerando un eje de rotación horizontal.
15. Explique cómo se efectúa la rotación de un plano considerando un eje de rotación inclinado.
16. Explique cuál sería el resultado de girar un plano estructural inclinado en la dirección del polo.
17. Explique qué representa la roseta de rumbos y diga qué utilidad práctica tiene en Geología Estructural.
18. Dibuje en un esquema la distribución de polos de planos de un pliegue cilíndrico y de un pliegue chevron. Explique por qué la distribución de polos es diferente.



Pliegues angulares Chevron y Kink en calizas wackestone de la Formación Tamaulipas Superior, en un escarpe del Río Venados, Metztitlan, Hidalgo.



Sinclinal en la Formación Chicontepec, en un corte de carretera cercano a Filo Bobos, Veracruz.

Bibliografía

- Belousov, V., 1979, *Geología Estructural*: Mir, Moscú, 303 p.
- Bombolakis, E.G., 1968, "Mohr circle analysis of infinitesimal strain". N.S.F. Advanced Science Seminar in Rock Mechanics for College Teachers of Structural Geology (R. E. Riecker, ed.), Air Force Cambridge Research Lab., Bedford, Mass, 119-134 p.
- Brace, W. F., 1961, "Mohr construction in the analysis of large geologic strain". Geol. Soc. Amer. Bull., 72, 1059-1080 p.
- Chapple, W. M., 1968, "Finite homogeneous strain and related topics" N.S.F. Advanced Science Seminar in Rock Mechanics for College Teachers of Structural Geology (R. E. Riecker, ed.), Air Force Cambridge Research Lab., Bedford, Mass, 317-352 p.
- Cosgrove, W. J., 2001, "Hydraulic Fracturing During the Formation and Deformation of a Basin: A Factor in the Dewatering of Low-Permeability Sediments", American Association of Petroleum Geologists, Bull., v. 85, 737-748 p.
- Davis, H. G., 1996, *Structural Geology of rocks and Regions*. John Willey & Sons, New York., 776 p.
- Donath, F. A., and Parker, R.B., 1964, "Folds and Folding". Geol. Soc. American Bull., v.75, 45-62 p.
- Durelli, A. J., Phillips, E. A., and Tsao, C. H., 1958, *Introduction to the Theoretical and Experimental Analysis of Stress and Strain*. McGraw-Hill, New York., 230 p.
- Fleuty, M.J., 1964, "The Description of Folds". Geol. Assoc. Proc., v. 75, pt. 4, 461-489, p.
- Handin, J., 1966, "Strength and Ductility, in. handbook of Physical Constants" (S.P.Clark, ed.) : Geol. Soc. America memoir 97, 223-289 p.
- Handin, J., Friedman, M., Min, K. D., and Pattison, L.J., 1976, "Experimental Folding of rocks under confining pressure": Part II. Buckling of multileveled rock beams. Geol. Soc. America Bull., v. 87,1035-1048 p.
- Hobbs, B. E., Means ,W.D., and Williams, P. F., 1976, *An outline of Structural Geology*. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto, 571 p.
- Hobbs, B. E., Means, W. D., and Williams, P. F., 1984, *Geología Estructural*. Omega, 518 p.
- Jaeger, J. C., 1969, *Elasticity, Fracture and Flow*. 3rd. Edition, Methuen, London.
- Jolly R. J. H. and D. Sanderson, J., 1997, "A Mohr Circle Construction for the Opening of a Pre-Existing Fracture", Journal of Structural Geology, v. 19, no. 6, 887-892 p.
- Marshak, S. Mitra.G., 1988, *Basic Methods of Structural geology*. John Willey, & Sons, New York, 446 p.
- Marrett Randall and Peacock, C. P. David., 1999, "Strain and Stress", Journal of Structural Geology, v. 21, 1057-1063 p.

McClay Ken and Bonora, Massimo, 2001, "*Analog Models of Restraining Stepovers in Strike-Slip Fault Systems*", American Association of Petroleum Geologists, , v. 85, no. 2, 223-260 p.

Means, W. D., 1976 *Stress and Strain, Basic concepts of Continuum Mechanics for Geologists*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 546 p.

Nieto-Samaniego, Ángel F., 1999, "*Stress, Strain and Fault Patterns*", Journal of Structural Geology, v. 21, 1065-1070 p.

Oliver Withjack M. and Callaway Sybil, 2000 , "*Active Normal Faulting Beneath a Salt Layer: An Experimental Study of Deformation Patterns in the Cover Sequence*", American Association of Petroleum Geologists, Bull., v. 84, 627-651 p.

Padilla y Sánchez, R.J., *Apuntes de Geología estructural*. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, 128 p.

Price, N. J., 1966, *Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock*. Pergamon, Oxford, 380 p.

Ragan, D.M., 1973, *Structural Geology, An introduction to Geometrical Techniques*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, 208 p.

Ramsay, J. G., 1967, *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill, New York, 508 p.

Rouby Delphine, Xiao Hongbin, and Suppe, John, 2000, "*3-D Restoration of Complexly Folded and Faulted Surfaces Using Multiple Unfolding Mechanisms*", American Association of Petroleum Geologists, Bull., v. 84, 805-829 p.

Stewart, S. A., 2001, "*Displacement Distributions on Extensional Faults: Implications for Fault Stretch, Linkage, and Seal*", American Association of Petroleum Geologists, Bull., v. 85, 587-600 p.

Stippes, M., Wempner, G., Stern, M., and Beckett, R., 1961, *An Introduction to the Mechanics of Deformable Bodies*. Merrill, Columbus, Ohio, 610 p.

Tarback, E., Lutgens, F. K., 1999, *Ciencias de la Tierra, Una introducción a la Geología Física*. 6ta Edición. Prentice Hall, Madrid, 556 p.

Turner, F. J., and Weiss, L.E., 1963, *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*. McGraw-Hill, New York, 545 p.

Wicander, R., Monroe, S. J., 1999, *Fundamentos de Geología*. 2da Edición, International Thomson Editores, México, 447 p.

Yielding, Overland, J.A. and Byberg G., 1999, "*Characterization of fault zones for reservoir modeling: An examples from the Gullfacks fields, northern north sea*", American Association of Petroleum Geologists, Bull., v. 83, 925-951 p.

