



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO APLICACIONES DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Laboratorio

Programa Académico
Plan de Estudios
Fecha de elaboración
Versión del Documento

Ingeniero en Geociencias
Plan 21
Junio de 2025
Primera



Dra. Martha Patricia Patiño Fierro
Rectora

Mtra. Ana Lisette Valenzuela Molina
**Encargada del Despacho de la
Secretaría General Académica**

Mtro. José Antonio Romero Montaña
Secretario General Administrativo

Lic. Jorge Omar Herrera Gutiérrez
**Encargado de Despacho de Secretario
General de Planeación**

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	4
IDENTIFICACIÓN	6
<i>Carga Horaria del alumno</i>	6
<i>Consignación del Documento</i>	6
MATRIZ DE CORRESPONDENCIA	7
NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS	9
<i>Reglamento general del laboratorio</i>	9
<i>Reglamento de uniforme</i>	9
<i>Uso adecuado del equipo y materiales</i>	9
<i>Manejo y disposición de residuos peligrosos</i>	9
<i>Procedimientos en caso de emergencia</i>	9
RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA	11
PRÁCTICAS	12
FUENTES DE INFORMACIÓN	44
ANEXOS	45

INTRODUCCIÓN

Como parte de las herramientas esenciales para la formación académica de los estudiantes de la Universidad Estatal de Sonora, se definen manuales de práctica de laboratorio como elemento en el cual se define la estructura normativa de cada práctica y/o laboratorio, además de representar una guía para la aplicación práctica del conocimiento y el desarrollo de las competencias clave en su área de estudio. Su diseño se encuentra alineado con el modelo educativo institucional, el cual privilegia el aprendizaje basado en competencias, el aprendizaje activo y la conexión con escenarios reales.

Con el propósito de fortalecer la autonomía de los estudiantes, su pensamiento crítico y sus habilidades para la resolución de problemas, las prácticas de laboratorio integran estrategias didácticas como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo colaborativo, la experimentación guiada y el uso de tecnologías educativas. De esta manera, se promueve un proceso de enseñanza-aprendizaje dinámico, en el que los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas y reflexivas para su desempeño profesional.

- **Propósito del manual**

Este manual tiene como propósito guiar al estudiante de Ingeniero en Geociencias en el desarrollo de habilidades prácticas para el análisis e interpretación de estructuras geológicas, a través de la aplicación de métodos gráficos y de campo.

- **Justificación de su uso en el programa académico**

Este manual de prácticas de laboratorio ha sido diseñado para complementar la teoría mediante actividades prácticas que desarrollen competencias técnicas en la observación, registro, representación y análisis de datos estructurales. A través del uso de herramientas como las proyecciones estereográficas, la elaboración de secciones geológicas y el reconocimiento de indicadores cinemáticos, el estudiante adquiere habilidades esenciales para la resolución de problemas geológicos en contextos reales.

La integración de estas prácticas dentro del programa educativo fortalece el perfil profesional del egresado, al proporcionarle una base sólida para la toma de decisiones técnicas informadas en proyectos de carácter geológico, ambiental, minero o de riesgo geotécnico.

- **Competencias a desarrollar**

- **Competencias blandas:** Pensamiento crítico y analítico, trabajo en equipo, comunicación efectiva, responsabilidad ética y profesional y gestión de tiempo.

- **Competencias disciplinares:** Reconocer y clasificar estructuras geológicas, analizar patrones de interferencia estructural, elaborar secciones geológicas y cortes estructurales, interpretar indicadores cinemáticos y representar datos estructurales en proyecciones estereográficas.
- **Competencias profesionales:** Diseñar e interpretar modelos geológicos estructurales, recolectar, procesar y analizar datos estructurales, integrar información estructural en el modelado geológico, evaluar riesgos geológicos y aplicar criterios estructurales.

IDENTIFICACIÓN

Nombre de la Asignatura		Aplicaciones de Geología Estructural	
Clave	052CE003	Créditos	6
Asignaturas Antecedentes	Geología Estructural	Plan de Estudios	Plan 21

Área de Competencia	Competencia del curso
Evaluar la problemática y viabilidad económica de las operaciones de exploración, explotación y procesamiento de minerales, a fin de proponer, con iniciativa, sistemas o proyectos de mejora continua, para el desarrollo estratégico de las actividades de producción o cierre de minas, acordes a la legislación minera, laboral, ambiental y las normas de seguridad industrial.	Interpretar las estructuras geológicas en la exploración geológica mediante el uso de técnicas estadísticas y cartográficas apoyadas en el conocimiento geológico con el propósito de generar con un pensamiento estratégico, modelos estructurales aplicados a la evaluación de yacimientos minerales, de minado y geotecnia.

Carga Horaria de la asignatura

Horas Supervisadas			Horas Independientes	Total de Horas
Aula	Laboratorio	Plataforma		
2	2	1	2	7

Consignación del Documento

Unidad Académica	Unidad Académica Hermosillo
Fecha de elaboración	Junio de 2025
Responsables del diseño	María Fernanda Solis Limón
Validación	
Recepción	Coordinación de Procesos Educativos

MATRIZ DE CORRESPONDENCIA

Todas las prácticas contribuyen a la formación estructural y geológica del estudiante, lo cual es la base para tareas como la exploración de yacimientos, el diseño minero, la evaluación de reservas y la toma de decisiones estratégicas en minería.

Las prácticas están alineadas principalmente con las siguientes competencias clave del perfil de egreso:

- ✓ Aplicación de técnicas geológicas para la exploración de recursos minerales.
- ✓ Implementación y diseño de métodos de explotación minera.
- ✓ Construcción e interpretación de modelos geológicos con fines económicos.
- ✓ Pensamiento estratégico, técnico y ambiental en contextos reales del subsuelo.

PRÁCTICA	PERFIL DE EGRESO
1. Indicadores cinemáticos	- Fortalece la capacidad para interpretar el sentido del movimiento en fallas y pliegues, esencial para la definición de modelos geológicos. - Contribuye a la aplicación de técnicas de exploración geológica directa en áreas con estructuras tectónicas complejas.
2. Estructuras geológicas de deformación	- Desarrolla habilidades para identificar y describir estructuras tectónicas como fallas, pliegues y diaclasas. - Apoya la interpretación estructural de zonas mineralizadas, clave para la evaluación del potencial económico de yacimientos minerales.
3. Patrón de interferencia (Regla de las V's y 3 puntos)	- Favorece el análisis de la disposición espacial de unidades rocosas y contactos geológicos sobre topografía. - Es útil para la implementación de metodología de exploración geológica en superficie.
4. Secciones geológicas estructurales	- Capacita para representar e interpretar relaciones geológicas en el subsuelo.

	- Contribuye directamente a la formulación del modelo geológico del yacimiento, base para la toma de decisiones en exploración y explotación minera.
5. Proyecciones estereográficas	- Fortalece la interpretación de orientaciones estructurales y esfuerzos tectónicos. - Permite resolver problemas relacionados con la cinemática de fallas y estabilidad de macizos rocosos, lo cual es clave para el diseño técnico de explotación minera y geotecnia.

NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS

Reglamento general del Laboratorio de Rocas

1. La entrada al laboratorio deberá ser ordenada, conservándose este orden durante el desarrollo de la práctica, mostrar respeto y disciplina en todo momento.
2. El tiempo de tolerancia para entrar al laboratorio será fijado por el maestro.
3. Queda prohibido, comer, beber y fumar dentro del laboratorio.
4. Evitar el uso de aparatos electrónicos personales, excepto laptop.
5. Cuidar el área de trabajo y las instalaciones, a los alumnos que se les sorprenda rayando las mesas, estantes y/o paredes, además de limpiarlo serán sancionados de acuerdo con el reglamento escolar vigente.
6. Identificar donde se encuentran exactamente las instalaciones de seguridad del laboratorio, extintores, botiquín de primeros auxilios y salidas de emergencia.
7. El material y muestras de minerales, rocas y fósiles no deben sacarse del laboratorio sin previa autorización del responsable del laboratorio.
8. Toda muestra utilizada debe ser registrada debidamente en la bitácora.
9. Cualquier accidente, por irresponsabilidad, donde resulten dañados materiales, inmuebles, equipos, herramientas, muestras de minerales, fósiles y/o rocas, estos deberán ser repuestos al laboratorio por los integrantes del equipo o persona responsable, en un plazo no mayor a 7 días hábiles. De lo contrario, se les aplicará la sanción de acuerdo con el reglamento escolar vigente.
10. Personas ajenas al programa educativo de Ingeniería en Geociencias podrán hacer uso de las instalaciones, sólo con la autorización del jefe de Carrera.

Reglamento de uniforme

No aplica

Uso adecuado del equipo y materiales

- **Ácido clorhídrico diluido al 10 %**, aplicar una sola pequeña gota con gotero sobre la superficie seleccionada.
- **Navaja de acero inoxidable o rayador**, manipular siempre con la hoja de la navaja alejada del cuerpo y de otros compañeros, utilizarla solo para rayar suavemente la muestra, no ejercer una fuerza excesiva y guardar inmediatamente después de su uso en un lugar seguro.
- **Muestras de roca**, sostener con ambas manos si la muestra es grande o pesada, colocarla sobre una superficie plana, estable y antideslizante, no golpear, lanzar o manipularla bruscamente.

Manejo y disposición de residuos peligrosos

No aplica

Procedimientos en caso de emergencia

Ácido clorhídrico diluido al 10 %

Posibles riesgos: contacto con piel, ojos o ingestión accidental.

En caso de accidente:

- Contacto con piel: Lavar inmediatamente con abundante agua corriente durante al menos 15 minutos. Retirar ropa contaminada.
- Contacto con ojos: Enjuagar con agua limpia por al menos 15 minutos, manteniendo los párpados abiertos. Acudir al servicio médico de inmediato.
- Ingestión accidental: No inducir el vómito. Enjuagar la boca con agua y buscar atención médica urgente.
- Inhalación de vapores (raro en diluciones bajas): Retirar a la persona a un área ventilada. Si hay síntomas, buscar atención médica.

Navaja de acero inoxidable o rayador

Posibles riesgos: cortaduras leves o profundas.

En caso de accidente:

- Corte superficial: Lavar la herida con agua y jabón. Aplicar desinfectante y colocar un apósito.
- Corte profundo o sangrado profuso: Aplicar presión directa con un paño limpio, elevar la extremidad afectada y buscar atención médica de inmediato.

Muestras de roca

Posibles riesgos: golpes, caídas sobre extremidades, cortes por bordes filosos.

En caso de accidente:

- Golpe o caída de muestra sobre el pie: Evaluar la lesión. Si hay hinchazón o dolor intenso, acudir al servicio médico.
- Corte por fragmento filoso: Lavar la herida, aplicar desinfectante y vendar. Si hay presencia de fragmentos en la piel o sangrado excesivo, buscar atención médica.

RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	Elemento de Competencia I
	Analizar las estructuras geológicas en gabinete y en campo, aplicando criterios geológicos y geométricos - trigonométricos, abordando con un pensamiento estratégico y toma de decisiones para realizar análisis estructurales.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 1	Indicadores cinemáticos	Identificar indicadores cinemáticos en rocas deformadas para inferir el sentido del movimiento relativo de fallas o zonas de cizalla y pliegues, mediante la observación detallada del análisis de ejemplos reales en imágenes y modelos esquemáticos, en el contexto del estudio estructural de zonas tectónicamente activas, desarrollando pensamiento crítico y atención al detalle.
Práctica No. 2	Estructuras geológicas	Reconocer las principales estructuras geológicas (como fracturas, fallas y pliegues) para interpretar los procesos tectónicos que las originaron, a partir del análisis de modelos y esquemas, en el contexto del estudio de la dinámica interna de la corteza terrestre, fortaleciendo la capacidad de observación, análisis espacial y trabajo colaborativo.
Práctica No. 3	Patrón de interferencia	Aplicar el método de los tres puntos para determinar la actitud de planos geológicos con el fin de identificar patrones de interferencia estructural y su geometría espacial, a partir del análisis de mapas geológicos y puntos de control topográfico, en el contexto del estudio de áreas con deformación superpuesta, desarrollando habilidades de razonamiento espacial y solución de problemas en equipo.
Práctica No. 4	Secciones geológicas-estructurales	Construir secciones geológicas-estructurales a partir de información de

		superficie y datos estructurales con el propósito de interpretar la configuración interna del subsuelo y su evolución tectónica, utilizando perfiles topográficos, datos de buzamiento y contactos geológicos, en el contexto del análisis estructural aplicado a la exploración geológica y geotecnia, fortaleciendo la organización, precisión gráfica y pensamiento analítico.
Práctica No. 5	Proyecciones estereográficas	Procesar datos estructurales mediante proyecciones estereográficas con el objetivo de analizar la orientación e intersección de planos y estructuras geológicas, a partir de información recolectada en campo o gabinete y utilizando plantillas estereográficas o software especializado, en el contexto del modelado estructural y la interpretación tectónica de zonas deformadas, fortaleciendo el pensamiento espacial, la precisión técnica y la autonomía en la resolución de problemas.



PRÁCTICAS

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	No. 1 Indicadores cinemáticos
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Identificar indicadores cinemáticos en rocas deformadas para inferir el sentido del movimiento relativo de fallas o zonas de cizalla, mediante la observación detallada del análisis de ejemplos reales en imágenes y modelos esquemáticos, en el contexto del estudio estructural de zonas tectónicamente activas, desarrollando pensamiento crítico y atención al detalle.

FUNDAMENTO TEÓRICO
Los indicadores cinemáticos son estructuras de origen tectónico formadas en rocas que han experimentado deformación, y permiten determinar el sentido del movimiento relativo entre bloques a lo largo de fallas o zonas de cizalla y pliegues. Estos indicadores pueden observarse tanto en el afloramiento como en láminas delgadas de roca mediante el uso del microscopio petrográfico, lo que permite su estudio desde la escala macroscópica hasta la microscópica. Su adecuada identificación e interpretación es esencial para reconstruir la evolución tectónica de una región, definir campos de esfuerzos, distinguir la superposición de fases tectónicas, evaluar riesgos geológicos, y orientar proyectos de exploración estructural, geotécnica o minera (Twiss & Moores, 2007). Los tipos de indicadores cinemáticos varían en función del régimen o nivel estructural en el que se originan, los cuales reflejan las condiciones físicas de la deformación: • Régimen frágil: caracterizado por fractura y fallas; los indicadores típicos incluyen estrías, escalones de falla, espejos de falla y harina de falla. • Régimen frágil-dúctil: corresponde a una transición donde coexisten mecanismos de fallas-fracturas y flujo plástico; en este nivel se desarrollan vetas sigmoidales, objetos alados y fábricas S-C. La capacidad para identificar estos indicadores en distintos contextos estructurales y escalas de observación proporciona información clave para interpretar el estilo y dirección del acortamiento o extensión, así como para construir modelos cinemáticos de zonas tectónicamente activas. Indicadores cinemáticos en el régimen frágil Estas estructuras se generan en condiciones de baja temperatura y presión, predominando la ruptura mecánica y el movimiento a lo largo del plano de falla: ▪ Estrías: Surcos lineales producidos por abrasión entre las superficies del plano de falla durante el deslizamiento. Su dirección indica la orientación del movimiento más no su sentido. (Petit, 1987). ▪ Escalones de falla: Pequeñas irregularidades o salientes en la superficie de falla, con forma de “escalón”, que presentan una asimetría indicativa del movimiento. El sentido del movimiento es en el sentido de la mínima fricción al pasar la palma de la mano. Puede presentar fibras minerales en los planos de falla que se orientan de forma paralela al plano de falla, formando vetas – falla. El sentido del movimiento es el mismo de los escalones, en

el sentido de la mínima fricción. (Fossen, 2016).

- **Especios de falla:** Superficies pulidas por fricción durante el movimiento de la falla. Suelen presentar brillo vítreo, y pueden incluir estrías. En ocasiones, están recubiertos por minerales secundarios (como sílice u óxidos), indican dirección más no su sentido.
- **Harina de falla:** Material finamente triturado (de textura arcillosa o polvorienta) generado por cataclasis. Se encuentra rellenando el plano de falla y es evidencia clara de movimiento frágil. Su orientación interna puede reflejar la dirección del esfuerzo.
- **Brechas de falla:** Rocas angulosas formadas por la fragmentación y reacomodo de bloques dentro de la zona de falla. Los clastos pueden presentar orientación preferente que sugiera el sentido de movimiento.

Indicadores cinemáticos en el régimen frágil-dúctil

En zonas de transición entre comportamiento frágil y dúctil, se desarrollan estructuras que registran deformación combinada por cizalla interna y fractura:

- **Vetas sigmoidales:** Estructuras rellenas (frecuentemente por cuarzo o calcita) que adoptan formas en S o Z al deformarse por cizalla. Su curvatura refleja el sentido del movimiento (Passchier & Trouw, 2005).
- **Objetos alados:** Granos rígidos envueltos en una matriz dúctil que desarrollan “alas” asimétricas. Su geometría indica el sentido del flujo en la zona de cizalla (Means, 1989).
- **Fábricas S–C:** Estructuras compuestas por dos sistemas de foliación: **S** (schistosity): foliación desarrollada por cizalla penetrativa. **C** (cizalla): plano principal de movimiento. El ángulo entre S y C se interpreta para deducir la cinemática de la deformación (Berthé et al., 1979).

Importancia geológica y aplicada

El análisis de indicadores cinemáticos permite inferir el campo de esfuerzos tectónicos, reconstruir la evolución geológica regional, y orientar campañas de exploración minera, sísmica o geotécnica. En zonas de falla activa, también son esenciales para evaluar riesgos geológicos. La observación e interpretación precisa de estos indicadores es una competencia clave para el Ingeniero en Geociencias, tanto en campo como en gabinete.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

Para observación de indicadores cinemáticos en imágenes reales o esquemas

1. Imágenes geológicas de campo con indicadores cinemáticos (alta resolución)
2. Modelos esquemáticos impresos o digitales de fallas y zonas de cizalla
3. Láminas interpretativas con ejemplos de estructuras frágiles, frágil-dúctiles y dúctiles
4. Presentaciones o videos explicativos sobre cinemática estructural (opcional)GPS (opcional)
5. Ficha de laboratorio
6. Formatos para interpretación cinemática (con espacio para esquemas y deducción del

- sentido de movimiento)
7. Lápices de colores para esquemas interpretativos

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

Identificar indicadores cinemáticos en rocas deformadas a partir del análisis visual de imágenes, fotografías geológicas y esquemas estructurales, con el fin de inferir el sentido del movimiento relativo en fallas o zonas de cizalla, desarrollando pensamiento crítico y atención al detalle:

Introducción guiada (contextualización teórica)

El docente presenta una breve explicación sobre:

- Tipos de indicadores cinemáticos: frágiles, frágil-dúctiles y dúctiles
- Conceptos clave: plano de falla, dirección de movimiento, cizalla simple y direcciones de esfuerzo.
- Ejemplos ilustrativos reales y esquemáticos.
- Se entregan fichas o láminas impresas/digitales con imágenes seleccionadas de indicadores cinemáticos (estrías, escalones, vetas sigmoidales, S-C, objetos alados, etc.).

Observación detallada de ejemplos

Los estudiantes analizan individualmente o en equipos las imágenes proporcionadas. Para cada imagen, deberán:

- Identificar el tipo de indicador presente.
- Determinar el régimen estructural al que pertenece (frágil, frágil-dúctil o dúctil).
- Estimar la orientación del plano estructural si es deducible.
- Inferir el sentido del movimiento relativo (dextral, sinistral, normal o inverso).
- Justificar su interpretación con base en la geometría observada.

Registro de observaciones

En el reporte de práctica de laboratorio, los estudiantes completan una tabla con los siguientes campos:

- Imagen / número de ejemplo
- Tipo de indicador cinemático
- Régimen estructural
- Sentido del movimiento inferido
- Dibujo interpretativo (con flechas)
- Justificación de la interpretación

Discusión en grupo

Se realiza una puesta en común donde los estudiantes comparan sus interpretaciones.

- El docente guía el análisis, corrige malentendidos y profundiza en la lógica de cada estructura.
- Se relaciona la práctica con casos reales de zonas tectónicamente activas.

Reflexión individual

Los alumnos redactan una breve conclusión sobre:

- Lo aprendido sobre la lectura de indicadores cinemáticos.
- Las dificultades encontradas al interpretar imágenes sin escala.

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Reconocer visualmente distintos tipos de indicadores cinemáticos en imágenes y esquemas geológicos.
- Clasificar los indicadores según el régimen estructural en que se originan (frágil, frágil-dúctil o dúctil).
- Inferir el sentido de movimiento relativo entre bloques a partir de la geometría y orientación del indicador.
- Representar e interpretar gráficamente los elementos cinemáticos observados, mediante dibujos o esquemas con dirección del desplazamiento.
- Relacionar los indicadores con el contexto tectónico en el que se originaron, desarrollando pensamiento crítico y atención al detalle.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estas preguntas están diseñadas para orientar la interpretación de los datos obtenidos en la práctica:

1. ¿Qué tipo de indicador cinemático fue más fácil de identificar y por qué?
2. ¿Cómo determinaste el sentido del movimiento relativo en cada imagen o esquema analizado?
3. ¿A qué régimen estructural corresponde cada indicador observado y qué evidencia te permitió clasificarlo como tal?
4. ¿Qué elementos te ayudaron a diferenciar entre indicadores similares con diferente sentido de movimiento?
5. ¿Qué importancia tendría la correcta interpretación de estos indicadores en un estudio geológico aplicado, como exploración minera o evaluación tectónica?

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Observa las imágenes e indica lo siguiente:

- 1.- Nombre del indicador cinemático
- 2.- Indica en la imagen y marca el sentido relativo del movimiento con flechas de color rojo



1.- _____



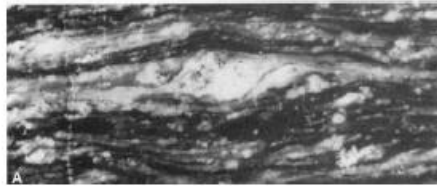
2.- _____



3.- _____



4.- _____



5.- _____



6.- _____

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permitió desarrollar la capacidad de identificar e interpretar indicadores cinemáticos mediante el análisis visual de ejemplos reales y representaciones esquemáticas. A través de la observación detallada de estas estructuras, fue posible inferir el sentido del movimiento relativo en fallas o zonas de cizalla, lo que constituye un paso fundamental en la reconstrucción de la historia tectónica de una región.

El ejercicio fortaleció el conocimiento de los diferentes regímenes de deformación (frágil, frágil-dúctil y dúctil) y la relación entre la geometría de los indicadores y los campos de esfuerzo. Asimismo, evidenció la importancia de la atención al detalle, la interpretación geométrica y el pensamiento crítico para lograr conclusiones sólidas a partir de datos estructurales.

Desde una perspectiva profesional, esta práctica refuerza competencias clave del Ingeniero en Geociencias, como la capacidad para analizar estructuras en campo o gabinete, interpretar procesos tectónicos y aplicar estos conocimientos en exploración geológica, evaluación de riesgos o diseño de modelos estructurales.

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Reporte de Practica de Laboratorio
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICAadelaboratorio.pdf
Formatos de reporte de prácticas	El formato será proporcionado por el facilitador.

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	No. 2 Estructuras geológicas
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Reconocer las principales estructuras geológicas como fracturas, fallas y pliegues) para interpretar los procesos tectónicos que las originaron, a partir del análisis de modelos y esquemas, en el contexto del estudio de la dinámica interna de la corteza terrestre, fortaleciendo la capacidad de observación, análisis espacial y trabajo colaborativo.

FUNDAMENTO TEÓRICO
Las estructuras geológicas son el resultado de esfuerzos tectónicos que modifican la forma, el volumen o la posición de las rocas dentro de la corteza terrestre. Estas estructuras se clasifican comúnmente en estructuras frágiles, como fracturas, fallas y estructuras dúctiles, como los pliegues. Su identificación y análisis es fundamental en geología estructural, ya que permiten reconstruir los procesos tectónicos que han afectado una región y tienen aplicaciones clave en la exploración de recursos naturales, geotecnia e ingeniería geológica (Fossen, 2016). Fracturas Las fracturas son planos o superficies donde las rocas han experimentado ruptura debido a esfuerzos tectónicos, sin que haya necesariamente desplazamiento relativo entre los bloques. Se generan en condiciones frágiles, típicas de las partes superiores de la corteza terrestre. Se clasifican en: Modo I: Fractura de Extensión, Modo II: Fractura de Cizalla y Modo III: Fractura de Cizalla con desplazamiento oblicuo. Existen varios tipos de fracturas: • <i>Juntas</i>: fracturas sin desplazamiento apreciable. • <i>Fracturas abiertas</i>: pueden facilitar la circulación de fluidos hidrotermales, lo que permite la formación de vetas minerales. Las vetas tectónicas son un tipo de fractura rellena por minerales precipitados a partir de fluidos. Estas estructuras registran procesos de deformación acoplados con flujo de fluidos, y su microestructura puede reflejar múltiples fases de apertura y relleno (Bons, Elburg & Gomez-Rivas, 2012). Fallas Las fallas son fracturas en las que se ha producido un desplazamiento relativo entre los bloques. Están asociadas a campos de esfuerzo compresivo, extensivo o transcurrente, y pueden clasificarse según la dirección del movimiento: • <i>Falla normal</i>: el bloque superior (techo) desciende respecto al inferior (muro); asociadas a extensión. • <i>Falla inversa</i>: el bloque techo asciende sobre el muro; típicas de ambientes compresivos. • <i>Fallas de desgarre o laterales (strike-slip)</i>: el movimiento es predominantemente horizontal. Las fallas pueden presentar zonas de cizalla frágil con estructuras como escalones de falla, estrías,

espejos de falla o harina de falla, que permiten inferir la cinemática del movimiento (Fossen, 2016).

Pliques

Los pliques son estructuras dúctiles que resultan de la deformación plástica de las rocas bajo esfuerzos compresivos. Se caracterizan por la curvatura de los estratos, sin fractura evidente. Sus elementos principales incluyen el plano axial, los flancos y el eje del plique. Existe una gran variedad de clasificar a los pliques, siendo la curvatura de sus crestas y la amplitud interflancos las más utilizadas.

Los pliques pueden clasificarse por su geometría en:

- Anticlinales: con el núcleo de capas más antiguas hacia el centro.
- Sinclinales: con el núcleo de capas más jóvenes.
- Isoclinales, recumbentes, chevron, etc.: según simetría e inclinación.

La geometría de un plique está estrechamente relacionada con el comportamiento mecánico de las rocas, la dirección del esfuerzo y el régimen tectónico al que fueron sometidas (Passchier & Trouw, 2005).

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

Este conjunto de materiales permite que el estudiante realice un análisis visual estructural completo, identificando e interpretando deformaciones en imágenes reales y modelos esquemáticos, fortaleciendo su capacidad para aplicar estos conocimientos en contextos geológicos reales.

Material visual y didáctico

1. Imágenes geológicas impresas o digitales de afloramientos con fracturas, fallas y pliques
2. Esquemas estructurales ilustrativos (dibujos técnicos, cortes geológicos, perfiles estructurales)
3. Fotografías de campo con estructuras deformacionales reales
4. Presentaciones digitales o fichas de apoyo con descripciones y ejemplos

Herramientas de análisis y registro

5. Cuaderno de laboratorio o reporte de prácticas de laboratorio
6. Formato de observación e interpretación (con campos para tipo de estructura, geometría, orientación, sentido de desplazamiento, etc.)
7. Lápices, colores y borrador para realizar dibujos interpretativos
8. Regla, transportador y compás para análisis geométrico de las estructuras
9. Calculadora (opcional, para cálculos de buzamiento o ángulos)

Recursos digitales (opcionales según disponibilidad)

10. Proyector o pantalla para análisis grupal de imágenes
11. Acceso a computadora o tablet con software de visualización estructural (Sketchfab, Google Earth, plataformas interactivas)
12. Acceso a recursos en línea como mapas geológicos o cortes estructurales

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

Esta metodología busca desarrollar habilidades visuales y analíticas fundamentales en la formación del Ingeniero en Geociencias, vinculando el estudio teórico con casos reales y aplicables al campo profesional.

Introducción teórica

- El docente presenta una breve revisión de:
- Conceptos clave: deformación frágil y dúctil, esfuerzos, planos estructurales.
- Tipos y elementos de las estructuras: fracturas (juntas), fallas (normales, inversas, transcurrentes) y pliegues (anticlinales, sinclinales).
- Ejemplos visuales con interpretación cinemática básica.

Presentación del material visual

- Se entregan o proyectan imágenes y esquemas con ejemplos de estructuras reales o idealizadas.
- Las imágenes pueden incluir cortes geológicos, fotografías de campo, dibujos técnicos y modelos estructurales.

Observación e identificación individual

- Los estudiantes analizan cada imagen siguiendo una guía de observación.
- Para cada caso deberán identificar:
 - Tipo de estructura observada (fractura, falla o pliegue).
 - Geometría básica (dirección, buzamiento, forma).
 - Elementos estructurales (bloque techo y muro, eje del pliegue, plano axial, etc.).
 - Posible régimen tectónico asociado (extensión, compresión, cizalla).

Registro y representación

- Cada alumno completa una ficha de interpretación con:
 - Dibujo esquemático de la imagen observada.
 - Nombre y tipo de estructura.
 - Análisis del sentido de movimiento (si aplica).
 - Clasificación estructural y posible contexto tectónico.

Discusión guiada

- Se revisan las respuestas en grupo.
- El docente aclara dudas, refuerza conceptos y destaca errores comunes en la interpretación estructural.
- Se fomenta el debate entre pares para comparar enfoques y justificaciones.

Conclusión individual

- Cada estudiante redacta una breve reflexión sobre:
 - La utilidad de identificar estructuras geológicas.
 - La relación entre geometría estructural y tectónica.
 - La aplicación profesional de este conocimiento en geología regional, minería, geotecnia o exploración.

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Reconocer e identificar correctamente los principales tipos de estructuras geológicas de deformación: fracturas, fallas y pliegues, a partir de imágenes, esquemas y modelos estructurales.
- Clasificar las estructuras observadas según su tipo de deformación (frágil o dúctil) y el régimen tectónico (extensional, compresivo o transcurrente).
- Analizar y representar gráficamente la geometría estructural, incluyendo planos, ejes y sentidos de desplazamiento.
- Relacionar las estructuras con procesos geológicos responsables de su formación y contextos tectónicos posibles.
- Desarrollar pensamiento espacial, atención al detalle y habilidades interpretativas fundamentales para la aplicación profesional.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Qué tipo de estructura geológica predomina en las imágenes analizadas y cuál fue el criterio para identificarla?
2. ¿Qué diferencias geométricas observaste entre fallas normales, inversas y transcurrentes?
3. ¿Cómo influyó la orientación de los planos en tu análisis?
4. ¿Qué elementos clave te permitieron diferenciar entre pliegues anticlinales y sinclinales?
5. ¿Pudiste identificar el régimen tectónico (compresivo, extensional, cizalla) a partir de las estructuras? Justifica tu respuesta.
6. ¿Cómo podría aplicarse el reconocimiento de estas estructuras en el contexto profesional de la exploración geológica o análisis de estabilidad?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permitió consolidar los conocimientos teóricos sobre estructuras geológicas de deformación mediante su reconocimiento en imágenes y esquemas geológicos. Los estudiantes desarrollaron habilidades para identificar y clasificar fracturas, fallas y pliegues, comprender su geometría y vincularlas con procesos tectónicos responsables de su formación.

Estas capacidades resultan esenciales en el quehacer profesional del Ingeniero en Geociencias, ya que las estructuras de deformación son clave para la interpretación del subsuelo, la evaluación de yacimientos, el análisis de riesgos geológicos y la toma de decisiones en proyectos de exploración, minería, geotecnia y geología estructural. Además, la práctica fomenta el pensamiento crítico, la interpretación espacial y la atención al detalle, competencias fundamentales en el análisis estructural aplicado.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Realizar los ejercicios del capítulo 7 Pliegues del libro **Ejercicios de Geología Estructural** (Arellano- Gil, J. et al. (2002). http://www.dict.unam.mx/Libros/Ejercicios_de_Geologia_Estructural_JAG-SC.pdf

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE	
Criterios de evaluación	•Reporte de Práctica de Laboratorio •Solución individual de ejercicios
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	• https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Reportedepracticadelaboratorio.pdf • https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/19_Rubrica_Solucion_individual_de_ejercicios.pdf
Formatos de reporte de prácticas	El formato será indicado por el facilitador.

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	No. 3 Patrón de interferencia
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Aplicar el método de los tres puntos para determinar la actitud de planos geológicos con el fin de identificar patrones de interferencia estructural y su geometría espacial, a partir del análisis de mapas geológicos y puntos de control topográfico, en el contexto del estudio de áreas con deformación superpuesta, desarrollando habilidades de razonamiento espacial y solución de problemas en equipo.

FUNDAMENTO TEÓRICO
Patrón de interferencia Los patrones de interferencia son las formas que adoptan los contactos geológicos —como los límites entre diferentes tipos de rocas— al observarse en la superficie del terreno. Estos contactos pueden ser estratigráficos (entre capas de roca sedimentaria), estructurales (fallas, pliegues) u otras superficies geológicas. La forma que presentan en el terreno depende de dos factores principales: la inclinación de los planos geológicos y la forma del relieve (como montañas, laderas o valles). Estos patrones permiten interpretar cómo se orientan las capas o estructuras dentro de la Tierra. Es decir, hacia dónde se inclinan (rumbo y echado) y con qué ángulo. Para hacer esta interpretación, existen dos métodos fundamentales: la regla de las V's y el método de los tres puntos. Regla de las V's La regla de las V's se basa en observar la intersección entre un plano geológico y la topografía del terreno. Cuando esta intersección ocurre, se forma una línea visible en los mapas o en el campo, que marca la traza del contacto geológico, es posible interpretar hacia donde se inclinan los planos y que tan inclinado es. Si el terreno tiene valles o cañadas (como los formados por ríos o arroyos), los contactos geológicos pueden formar figuras en forma de "V". Pueden verse "V's" abiertas, cerradas o de lado, dependiendo de la pendiente del terreno y del ángulo de inclinación del plano, pueden presentarse en 4 casos generales: 1. <i>Cuando la capa o superficie estructural es horizontal:</i> la traza o patrón será paralelo a la curva de nivel. 2. <i>Cuando el plano o superficie geológica es vertical:</i> el patrón será una línea recta que cruza todas las curvas de nivel. 3. <i>Cuando las superficies geológicas estén inclinadas menos de 90°:</i> la traza es en forma de V abierta o cerrada que cruzan las curvas de nivel. 4. <i>Cuando la unidad geológica se incline aguas abajo existen 3 variantes:</i> a) el echado del plano estructural es de mayor inclinación que la pendiente topográfica, forma una traza sinuosa con el vértice de la V apuntando hacia abajo. b) cuando el echado es de igual inclinación que la topografía, la traza no se une y no se forma la V. c) cuando el echado es menor que la inclinación de la topografía se forma una traza sinuosa en una V abierta apuntando aguas arriba, parecida más a una U. Arellano-Gil, J. et al 2002).

Por lo tanto, esta regla permite hacer una interpretación cualitativa de la orientación de las capas, simplemente observando cómo se comportan los contactos en relación con la forma del terreno.

Método de los tres puntos

El método de los tres puntos es una técnica cuantitativa para calcular el rumbo y el echado de una capa o estructura geológica. Consiste en ubicar tres puntos del mismo estrato (o superficie geológica) en un mapa con curvas de nivel. A partir de sus posiciones y elevaciones, se determina con precisión la orientación del plano.

Este método es muy útil en geología estructural y cartografía geológica porque permite conocer con exactitud cómo están inclinadas las capas dentro del terreno, lo cual es clave para interpretar su historia geológica y posibles recursos asociados.

En conjunto, estos conceptos son fundamentales para entender la geometría de las estructuras geológicas que afloran en la superficie y para representar correctamente los datos en un mapa geológico apoyado en una base topográfica.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

Equipo individual del estudiante:

1. Lápiz del número 2 o portaminas con mina HB (para trazos finos)
2. Borrador
3. Regla o rumbera esc. 1:000
4. Transportador de ángulos (180° o tipo semicírculo)
5. Calculadora científica (para cálculos de pendiente o ángulos de inclinación)

Material de trabajo:

6. Mapas topográficos con curvas de nivel (a escala 1:25 000 o 1:50 000)
7. Mapas geológicos con contactos estructurales y estratigráficos
8. Hojas milimétricas o papel cuadriculado
9. Hojas blancas tamaño carta u oficio
10. Papel vegetal (para calcar y superponer trazas)
11. Guía de prácticas o instructivo con ejercicios (proporcionado por el docente)

Material auxiliar del laboratorio:

12. Mesa o superficie plana de trabajo por equipo o alumno
13. Rotuladores de punta fina o lápices de colores (para distinguir unidades geológicas y contactos)
14. Cinta adhesiva o sujetadores para fijar hojas

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

Reconocimiento de patrones de interferencia, regla de las V's y método de los tres puntos

Preparación del área de trabajo

- a. Asegúrate de contar con todos los materiales enlistados antes de comenzar.
 - b. Coloca sobre la mesa de trabajo los mapas topográficos y geológicos, y fíjalos con cinta adhesiva para evitar que se muevan.
 - c. Organiza los instrumentos (regla, transportador, lápiz, colores) en un área accesible.
- *Precaución:* No uses tinta o plumones indelebles directamente sobre mapas originales. Trabaja siempre con copias o sobre papel vegetal.

Análisis de patrones de interferencia

- d. Observa en el mapa geológico las trazas de los contactos entre distintas unidades de roca.
 - e. Identifica cómo se distribuyen estas trazas sobre la topografía. Nota si siguen valles, laderas o zonas elevadas.
 - f. Reconoce el tipo de patrón que generan (lineales, curvos, ramificados) y relacionalo con la pendiente del terreno.
- *Consejo:* Usa lápices de colores para resaltar diferentes unidades y contactos. Esto te ayudará a visualizar mejor los patrones.

Aplicación de la Regla de las V's

- g. Localiza zonas en el mapa donde los contactos geológicos intersectan cauces de ríos o valles.
 - h. Dibuja las "V's" que forman los contactos al cruzar estos relieves.
 - i. Determina si las "V's" apuntan aguas arriba o aguas abajo del cauce. Esto te dará indicios de la dirección del echado de los estratos.
 - j. Relaciona la forma de las "V's" con la pendiente del terreno y el ángulo de inclinación del plano geológico.
- *Advertencia:* No interpretes la dirección del echado sin considerar la dirección de escurrimiento del agua. Puede conducir a errores si el análisis topográfico no es preciso.

Aplicación del método de los tres puntos

- k. Ubica tres puntos que pertenezcan a la misma unidad geológica o contacto, asegurándote de que cada uno tenga distinta altitud.
 - l. Anota sus coordenadas y alturas relativas, utilizando las curvas de nivel.
 - m. Traza una línea entre dos de los puntos y calcula la diferencia de altura entre ellos.
 - n. Repite el proceso entre los otros pares para obtener el plano que pasa por los tres puntos.
 - o. Calcula el rumbo (dirección horizontal del plano) y el echado (inclinación) usando transportador y regla.
 - p. Registra tus resultados en una tabla o esquema.
- *Recomendación:* Usa papel milimétrico o vegetal para facilitar el trazado de planos y la visualización del modelo estructural.

Registro y análisis de resultados

- q. Elabora un croquis final en el que señales:
- r. El patrón de interferencia observado.
- s. La dirección del echado según la regla de las V's.

- t. El rumbo y echado calculados por el método de los tres puntos.
- u. Compara tus observaciones cualitativas con los resultados cuantitativos y reflexiona sobre su consistencia.

Limpieza y cierre

- v. Revisa que tus materiales estén completos y en buen estado.
 - w. Retira cualquier cinta o papel adicional utilizado durante la práctica.
 - x. Entrega tu hoja de resultados al instructor o guárdala según se indique.
- *Precaución final:* No deseches ni maltrates los mapas o guías del laboratorio. Son herramientas esenciales para futuras prácticas.

RESULTADOS ESPERADOS

Identificación clara de patrones de interferencia

- El estudiante reconocerá diferentes formas de contactos geológicos sobre la superficie, como líneas rectas, curvas o sinuosas, dependiendo de la inclinación de los planos y la topografía.
- Se esperará que se interpreten correctamente las relaciones entre unidades geológicas aflorantes y su disposición en el mapa.
- Aplicación adecuada de la Regla de las V's
- El estudiante podrá observar y dibujar las "V's" que forman los contactos geológicos al intersectar valles o cauces, e interpretará la dirección del echado de las capas con base en la forma y orientación de esas "V's".
- Se espera que comprenda que las "V's" cambian dependiendo de si el plano geológico es más o menos inclinado que la pendiente del terreno.

Cálculo correcto del rumbo y echado mediante el método de los tres puntos

- Los alumnos aplicarán correctamente el procedimiento para determinar el plano estructural utilizando tres puntos con distinta elevación pertenecientes al mismo estrato o contacto.
- Se espera que obtengan valores razonables y coherentes del rumbo y echado, registrándolos en esquemas o tablas.
- Representación gráfica precisa
- Se espera que el estudiante elabore un croquis o mapa con trazos limpios, diferenciando unidades geológicas, contactos y resultados obtenidos.
- El trabajo incluirá una representación del plano calculado y la comparación entre resultados cualitativos y cuantitativos.

- Comprensión de la relación entre estructura y topografía
- El estudiante demostrará una comprensión clara de cómo se relacionan los planos estructurales con la forma del relieve.
- Se espera que reflexione sobre cómo el análisis de mapas geológicos permite inferir la geometría tridimensional de las estructuras del subsuelo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estas preguntas están diseñadas para orientar la interpretación de los datos obtenidos en la práctica:

Patrones de interferencia

1. ¿Qué tipo de patrón presentan los contactos geológicos observados en el mapa: lineal, curvo o irregular?
2. ¿Cómo se relaciona este patrón con el tipo de relieve predominante en el área (valles, colinas, pendientes pronunciadas)?
3. ¿Qué inferencias puedes hacer sobre la disposición de las capas o estructuras geológicas a partir de estos patrones?

Regla de las V's

4. ¿Se observan figuras en forma de "V" en los contactos geológicos al cruzar valles o arroyos?
5. ¿Las "V's" apuntan hacia la fuente del cauce (aguas arriba) o en la dirección del flujo (aguas abajo)? ¿Qué indica esto sobre la dirección del echado?
6. ¿Qué relación existe entre la forma de las "V's" (abiertas, cerradas, simétricas o deformadas) y la pendiente del terreno?

Método de los tres puntos

7. ¿Fueron seleccionados correctamente los tres puntos sobre el mismo plano geológico? ¿Cómo verificaste que pertenecen a la misma unidad o contacto?
8. ¿Qué valores obtuviste para el rumbo y el echado del plano? ¿Son coherentes con lo que observaste aplicando la regla de las V's?
9. ¿Qué dificultades encontraste al aplicar este método? ¿Cómo las resolviste?

Comparación entre métodos

10. ¿Coinciden las interpretaciones cualitativas (regla de las V's) con los cálculos cuantitativos (método de los tres puntos)?
11. ¿Qué método te pareció más sencillo de aplicar y por qué?
12. ¿En qué situaciones prácticas del trabajo geológico en campo se usaría cada uno de estos métodos?

Reflexión final

13. ¿Qué aprendiste sobre la relación entre geología estructural y topografía a través de esta práctica?
14. ¿Cómo podrías aplicar este conocimiento en el análisis de mapas reales o en una prospección geológica?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permitió al estudiante desarrollar habilidades fundamentales para la interpretación de mapas geológicos y topográficos mediante el análisis de patrones de interferencia, la regla de las V's y el método de los tres puntos. A través del reconocimiento visual de la disposición de los contactos geológicos sobre el relieve, se comprendió cómo la inclinación de los planos estructurales se refleja en la superficie mediante formas características que pueden interpretarse con herramientas simples, pero efectivas.

La regla de las V's ofreció una manera cualitativa y accesible de deducir la dirección del echado de los estratos, especialmente útil en zonas montañosas o disectadas por ríos. Por su parte, el método de los tres puntos permitió calcular con mayor precisión el rumbo y echado de los planos geológicos, fortaleciendo la capacidad analítica y espacial del estudiante en la representación de datos estructurales.

En conjunto, esta práctica refuerza la importancia de comprender la relación entre estructura geológica y topografía, y cómo esta interacción se representa en los mapas. Además, se enfatiza la utilidad de estos métodos en el trabajo profesional de geólogos, ingenieros en geociencias y especialistas en exploración, ya que son fundamentales para la planificación de obras civiles, la exploración de recursos naturales, la evaluación de riesgos geológicos y la elaboración de modelos del subsuelo.

La correcta aplicación de estos conceptos permite interpretar de forma más precisa la geometría tridimensional de las estructuras geológicas, lo cual es esencial para una toma de decisiones informada en el ámbito científico, técnico e industrial.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Ejercicios de Secciones geológicas Estructurales. Capítulo 9. Secciones geológicas (Arellano-Gil, J. 2021).
http://www.dict.unam.mx/Libros/Ejercicios_de_Geologia_Estructural_JAG-SC.pdf

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	• Reporte de Práctica de Laboratorio • Solución individual de ejercicios
Rúbricas o listas de	• https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Reportedepractic

cotejo para valorar desempeño	adelaboratorio.pdf • https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/19 Rubrica Solucion individual de ejercicios.pdf
Formatos de reporte de prácticas	El formato será proporcionado por el facilitador.

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	No. 4 Secciones Geológicas
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Construir secciones geológicas a partir de información de superficie y datos estructurales con el propósito de interpretar la configuración interna del subsuelo y su evolución tectónica, utilizando perfiles topográficos, datos de buzamiento y contactos geológicos, en el contexto del análisis estructural aplicado a la exploración geológica y geotecnia, fortaleciendo la organización, precisión gráfica y pensamiento analítico.

FUNDAMENTO TEÓRICO
Sección Geológica Las secciones geológicas partes de los mapas topográficos que es la representación del relieve a escala, en él se representa la elevación mostrada por las curvas de nivel y de los mapas geológicos representan la distribución superficial de las unidades de roca, sus contactos y estructuras visibles como pliegues, fallas o discordancias. Aunque son herramientas fundamentales para la interpretación geológica, estos mapas ofrecen únicamente una visión bidimensional y superficial del terreno. Para comprender mejor la geometría de las estructuras y su continuidad bajo la superficie, es necesario elaborar secciones geológicas (Arellano-Gil et al., 2002). Una sección geológica es una representación interpretativa del subsuelo, construida a partir de datos topográficos y geológicos observables en el campo o en un mapa. Permite visualizar cómo se disponen las unidades estratigráficas y las estructuras geológicas en un corte vertical ideal, lo cual es clave para la comprensión de la evolución geológica de un área, la evaluación de recursos naturales y la planificación de obras de ingeniería (Arellano-Gil et al., 2002). La construcción de secciones geológicas se basa en la integración de distintos tipos de información: la topografía del terreno, los contactos entre unidades rocosas, el espesor real y continuidad de los estratos, la geometría de estructuras como pliegues y fallas. La precisión de la sección depende directamente de la cantidad y calidad de esta información recolectada (Arellano-Gil et al., 2002; Bennison et al., 2011). Una sección geológica se traza por medio de una línea recta de corte sobre el mapa geológico. Idealmente, esta línea debe ser perpendicular a la estructura principal para capturar con mayor claridad las relaciones estratigráficas y estructurales. Sin embargo, también pueden realizarse cortes paralelos o diagonales cuando se desea estudiar otros aspectos específicos, como la continuidad de ciertas unidades o la geometría de estructuras complejas (Arellano-Gil et al., 2002, Marshak & Mitra, 2007). Para realizar la sección geológica se parte del perfil topográfico, que consiste en trasladar las elevaciones del terreno a lo largo de la línea de corte sobre una gráfica o plantilla. Y de la interpretación geológica, en la cual se dibujan las unidades de roca y estructuras bajo la superficie, con base en los datos disponibles en el mapa, observaciones de campo, correlaciones estratigráficas y principios de la geología estructural. Sección Estructural Las secciones estructurales parten de una sección geológica con las estructuras (fracturas, fallas,

pliegues, discordancias), son una de las herramientas más importantes en el análisis estructural, se realizan a partir de secciones geológicas precisas y con un considerable número de datos estructurales, los espesores y echados deben ser reales o verdaderos (Padilla y Sánchez, R. J., 2021).

En la práctica geológica profesional, las secciones geológicas – estructurales son herramientas clave para identificar estructuras mineralizadas, planificar perforaciones, modelar reservorios, evaluar riesgos geotécnicos o sísmicos, y para comunicar hipótesis geológicas de manera visual y argumentada.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

Equipo individual del estudiante

1. Lápiz del número 2 o portaminas (mina HB o 2H).
2. Goma de borrar.
3. Sacapuntas (en caso de usar lápiz de madera).
4. Regla graduada (30 cm o más).
5. Transportador de ángulos (180° o circular).
6. Compás de dibujo (para curvas suaves).
7. Calculadora científica (para escalas, pendientes o proporciones).

Materiales de trabajo

8. Mapa geológico impreso con curvas de nivel y escala adecuada (1:25 000 o 1:50 000).
9. Papel milimétrico o cuadriculado (para construir el perfil topográfico y sección).
10. Papel vegetal o papel mantequilla (para calcar el perfil topográfico o contactos geológicos).
11. Hojas blancas tamaño carta u oficio.
12. Lápices de colores o plumones de punta fina (para diferenciar unidades geológicas).
13. Cinta adhesiva o clips (para fijar los papeles durante el trabajo).
14. Plantilla con simbología geológica convencional (opcional, para facilitar la rotulación).
15. Manual de prácticas o guía de ejercicios proporcionada por el docente.

Material complementario del laboratorio

16. Mesa de trabajo amplia y bien iluminada.
17. Tablero rígido, mesa de luz o portaplanos (opcional, para facilitar el calco).
18. Escuadras o cartabón (opcional, para trazar líneas precisas).

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

La elaboración de una sección geológica tiene como objetivo representar la disposición de las unidades geológicas y estructuras del subsuelo a partir de datos obtenidos en superficie. Para lograrlo, se deben seguir los siguientes pasos:

Selección de la línea de sección

- a. Identifica en el mapa geológico la zona que será objeto de estudio.
- b. Traza una línea recta sobre el mapa, preferentemente perpendicular a la estructura principal

- (como un pliegue o falla) para maximizar la visibilidad de las relaciones estratigráficas.
- c. En casos particulares, también pueden usarse líneas paralelas o diagonales, dependiendo del objetivo de interpretación.
- *Recomendación:* Usa una escala adecuada para que la sección represente fielmente las proporciones topográficas y estructurales (Arellano-Gil et al., 2002).

Construcción del perfil topográfico

- d. Coloca una hoja de papel milimétrico o vegetal sobre el mapa geológico y marca los puntos de intersección entre la línea de sección y las curvas de nivel.
- e. Transfiere estas elevaciones a un gráfico cartesiano, ubicando la distancia horizontal sobre el eje X y la elevación sobre el eje Y.
- f. Une los puntos con una línea suave para obtener el perfil del relieve del terreno.
- *Consejo:* Puedes usar un papel base con cuadrícula o una plantilla con la escala vertical exagerada si las diferencias de altitud son pequeñas.

Proyección de los contactos geológicos

- g. Marca sobre el perfil topográfico los puntos donde cada unidad geológica (o estructura) intercepta la línea de sección.
- h. Identifica los contactos visibles en el mapa y proyéctalos verticalmente hasta el perfil.
- i. Usa colores o tramas distintas para diferenciar cada unidad.
- *Precaución:* Asegúrate de respetar la escala horizontal y vertical para evitar distorsiones en el ángulo del echado.

Interpretación estructural del subsuelo

- j. Dibuja las unidades geológicas bajo el perfil del terreno siguiendo principios geométricos y lógicos:
Continúa las unidades manteniendo su rumbo y echado.
Aplica la ley de la superposición si se trata de estratos sedimentarios.
Considera simetría en pliegues o desplazamientos en fallas si se observan indicios en superficie.
Incluye estructuras como pliegues, fallas, discordancias o intrusiones, de acuerdo con la información disponible.
- *Apoyo teórico:* Utiliza los criterios de Padilla y Sánchez (2021) para representar adecuadamente la geometría de estructuras complejas.

Revisión y rotulación

- k. Revisa que todas las unidades y estructuras estén correctamente representadas y etiquetadas.
- l. Añade:
Nombre de unidades geológicas.
Dirección del echado.
Simbología convencional (líneas de falla, pliegues, discordancias, etc.).
Escala horizontal y vertical.
Nombre de la sección y dirección (por ejemplo, Sección A–A').

Análisis de la sección

- m. Interpreta la evolución tectónica o sedimentaria que podría haber generado la configuración observada.
- n. Compara con datos de campo, pozos, cortes cercanos u otra información disponible.
- o. Discute posibles alternativas o incertidumbres en la interpretación.

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Trazar correctamente una línea de sección sobre un mapa geológico, considerando la orientación de las estructuras geológicas principales.
- Construir un perfil topográfico preciso a partir de curvas de nivel, respetando la escala horizontal y vertical.
- Ubicar e interpretar los contactos geológicos observables en el mapa y proyectarlos adecuadamente sobre la sección.
- Representar de forma lógica y estructuralmente coherente las unidades geológicas en el subsuelo, aplicando principios como la superposición, continuidad lateral, concordancia/discordancia y geometría estructural.
- Identificar y representar estructuras como pliegues, fallas, discordancias o intrusiones si están presentes en el mapa base.
- Rotular y organizar la sección de forma clara, incluyendo escala, dirección de la sección, unidades geológicas, simbología y estructuras.
- Emitir una interpretación razonada del modelo estructural y geológico del subsuelo, con base en la sección construida.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sobre la línea de sección

1. ¿La línea de sección fue trazada perpendicular a las estructuras geológicas principales? ¿Por qué es importante esta orientación?
2. ¿Qué criterios tomaste en cuenta para elegir la ubicación y dirección de la sección?

Perfil topográfico

3. ¿El perfil topográfico respeta correctamente la escala del mapa? ¿Cómo comprobaste que la transferencia de curvas de nivel fue precisa?
4. ¿Observaste alguna dificultad al interpretar las curvas de nivel? ¿Qué aprendiste sobre la relación entre topografía y estructuras geológicas?

Ubicación de contactos geológicos

5. ¿Lograste proyectar adecuadamente los contactos desde el mapa al perfil topográfico? ¿Qué métodos utilizaste para asegurar su precisión?
6. ¿Existen diferencias notables entre lo observado en el mapa y lo representado en la sección? ¿A qué podrían deberse?

Interpretación estructural del subsuelo

7. ¿Las unidades geológicas se continúan de forma coherente bajo la superficie? ¿Aplicaste correctamente los principios de continuidad, superposición y geometría estructural?
8. ¿Cómo representaste las estructuras presentes (pliegues, fallas, discordancias)? ¿Cuál fue tu criterio para estimar su forma y profundidad?

Escala y simbología

9. ¿La escala horizontal y vertical se mantuvieron constantes? ¿Se exageró la escala vertical? ¿Qué impacto tiene eso en la interpretación?
10. ¿Utilizaste simbología geológica estandarizada para representar las unidades y estructuras? ¿Es clara la diferencia entre cada elemento en tu sección?

Interpretación final y reflexión

11. ¿Qué historia geológica puedes inferir a partir de tu sección estructural?
12. ¿Cómo cambia la comprensión de una región geológica al observarla en sección y no solo en planta?
13. ¿Qué limitaciones encontraste al interpretar el subsuelo solo con base en datos superficiales?
14. ¿Qué importancia tiene esta práctica para el trabajo de campo profesional en geología, ingeniería civil, minería o hidrocarburos?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La elaboración de secciones geológicas y estructurales es una herramienta fundamental en el análisis e interpretación del subsuelo, ya que permite representar de manera gráfica y razonada la disposición de las unidades rocosas y las estructuras que no son visibles en superficie. A través de esta práctica, el estudiante comprendió cómo transformar la información contenida en un mapa geológico —limitada a dos dimensiones— en una representación tridimensional e interpretativa del terreno.

La correcta aplicación de los principios de la geología estructural, como la continuidad de los estratos, la ley de superposición y la geometría de pliegues y fallas, fue clave para construir modelos coherentes del subsuelo. La práctica también demostró la importancia de respetar la escala, la orientación estructural y el relieve topográfico, así como la utilidad del trazado de perfiles perpendiculares a las estructuras principales para una mejor visualización de sus relaciones.

Desde una perspectiva profesional, esta habilidad tiene múltiples aplicaciones: en la exploración de recursos naturales (minerales, petróleo, agua subterránea), en la evaluación de riesgos geológicos (zonas sísmicas, inestabilidad del terreno) y en la planificación de obras civiles (túneles, presas, carreteras). Además, proporciona las bases para interpretar registros de pozos, perfiles sísmicos y modelado geológico tridimensional.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Ejercicios de interpretación y construcción de secciones geológicas. Secciones Geológicas. Capítulo 9. Arellano-Gil, J. et al (2002).
http://www.dict.unam.mx/Libros/Ejercicios_de_Geologia_Estructural_JAG-SC.pdf

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	- Resolución individual de ejercicios - Reporte de practica de laboratorio
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/19_Rubrica_Solucion_individual_de_ejercicios.pdf https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Reportedepracticadelaboratorio.pdf
Formatos de reporte de prácticas	El formato será proporcionado por el facilitador.

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	No. 5 Proyecciones estereográficas
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Procesar datos estructurales mediante proyecciones estereográficas con el objetivo de analizar la orientación e intersección de planos y estructuras geológicas, a partir de información recolectada en campo o gabinete y utilizando plantillas estereográficas o software especializado, en el contexto del modelado estructural y la interpretación tectónica de zonas deformadas, fortaleciendo el pensamiento espacial, la precisión técnica y la autonomía en la resolución de problemas.

FUNDAMENTO TEÓRICO
El análisis de las relaciones geométricas entre planos y líneas estructurales —como fallas, pliegues, foliaciones o lineaciones— es esencial para interpretar los procesos de deformación de las rocas. Tradicionalmente, estos análisis pueden abordarse mediante la geometría descriptiva; sin embargo, una herramienta ampliamente adoptada en geología estructural por su eficiencia y versatilidad es la proyección estereográfica (Arellano-Gil et al., 2002; Padilla y Sánchez, 2021). La proyección estereográfica permite representar orientaciones tridimensionales (planos y líneas) en un espacio bidimensional, facilitando la visualización e interpretación de datos estructurales. A través de un solo diagrama —también conocido como red estereográfica o red de Wulff— es posible graficar decenas o cientos de mediciones geológicas, conservando la relación angular entre los elementos (Lisle et al., 2020). Esto convierte a la red estereográfica en una herramienta fundamental para sintetizar y analizar grandes volúmenes de información estructural de manera clara y ordenada. Esta técnica es comparable a las proyecciones cartográficas utilizadas en mapas geológicos, ya que transforma coordenadas espaciales en representaciones planas que conservan información clave. Sin embargo, mientras las proyecciones cartográficas representan formas en planta, las proyecciones estereográficas capturan orientaciones y relaciones angulares de estructuras internas en las rocas. La red estereográfica tiene múltiples aplicaciones prácticas en geología estructural. Permite: • Representar la orientación de planos y líneas estructurales. • Calcular intersecciones entre planos, ángulos entre líneas o entre planos y líneas. • Analizar la rotación de elementos estructurales. • Estudiar la simetría y geometría de pliegues, como la dirección de charnelas y flancos. • Determinar la orientación de planos de falla y estrías de deslizamiento. • Analizar familias de fracturas y su distribución espacial. • Representar superficies de foliación, imbricación de clastos, y lineaciones minerales. Además de su valor en el análisis geométrico, la proyección estereográfica es útil para inferir la orientación de los esfuerzos tectónicos que dieron origen a las estructuras representadas. A través de la síntesis de datos, se pueden identificar direcciones de máxima compresión o extensión, esenciales para comprender los regímenes tectónicos de una región (Fossen, 2016).

La proyección estereográfica constituye una técnica indispensable en el análisis estructural moderno, permitiendo visualizar relaciones complejas entre elementos geológicos, formular modelos estructurales coherentes y apoyar la toma de decisiones en exploración geológica, geotecnia, minería y geofísica.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

1. Transportador de ángulos (180°)
2. Regla (30 cm) o rumbera
3. Lápiz con punta fina Lápiz del 2 o portaminas (mina HB o 2H)
4. Borrador
5. Sacapuntas
6. Red estereográfica (impresa o dibujada)
7. Papel vegetal o milimétrico
8. Hojas blancas tamaño carta
9. Plantilla de red estereográfica (acetato o papel)
10. Cinta adhesiva o clips
11. Calculadora científica
12. Marcadores o lápices de color para diferenciar elementos

Herramientas Softwares: Stereonet y Faulkin

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

Revisión de conceptos básicos

- a. Leer previamente los fundamentos teóricos sobre proyección estereográfica, red de Wulff y orientación de elementos estructurales (planos y líneas).
- b. Identificar los elementos geométricos: polos de planos, trazas, líneas de intersección y rotación.

Preparación del material de trabajo

- c. Imprimir o dibujar una red estereográfica (tipo Wulff) en una hoja de papel milimétrico o vegetal.
- d. Tener a la mano una plantilla transparente con la misma red para facilitar el trazado sobre distintas orientaciones.

Representación de planos estructurales

- e. Usar datos reales o simulados de rumbo y echado de planos (ej.: $120^\circ/45^\circ$).
- f. Marcar el rumbo en el borde de la red estereográfica.
- g. Contar el ángulo del echado desde el centro hacia fuera, y ubicar el polo del plano.
- h. Repetir con diferentes datos para representar múltiples planos sobre una sola red.

Representación de líneas estructurales

- i. Utilizar direcciones e inclinaciones de lineaciones (por ejemplo, estrías o ejes de pliegue).
- j. Localizar el punto correspondiente en la red según su orientación.

Cálculos geométricos con la red

k. Determinar:

- La intersección entre dos planos.
- El ángulo entre planos o entre líneas.
- El plano bisector de dos planos.
- La rotación de un plano o línea usando círculos pequeños.
- Anotar los resultados y trazar los elementos derivados.

Análisis estructural

- l. Interpretar las concentraciones de polos o puntos para definir:
- m. Familias estructurales dominantes.
- n. Orientación de esfuerzos tectónicos (σ_1 , σ_2 , σ_3).
- o. Geometría y simetría de pliegues, fallas o sistemas de fracturas.

Elaboración del reporte

- p. Incluir los diagramas estereográficos completos, explicación de los pasos seguidos y la interpretación geológica de los resultados obtenidos.
- Precauciones y recomendaciones: usar siempre el mismo sistema de referencia (rumbo y echado o dirección/inclinación) de manera coherente.
- Asegurarse de trazar con precisión para evitar errores en los ángulos.
- Evitar perforar o desgastar la plantilla de red estereográfica.
- Mantener una orientación constante de la red al rotarla durante los procedimientos.

Software Stereonet y Faulkin

Preparación de los datos estructurales

1. Antes de usar cualquiera de los dos programas, es importante que los datos estén organizados correctamente. Puedes usar una hoja de cálculo (Excel o .CSV) con las siguientes columnas:
 Para planos (estratificación, foliación, fallas, etc.):
 Rumbo (Strike): en grados (0° – 360°)
 Echado (Dip): en grados (0° – 90°)
 Dirección de echado (Dip direction): opcional
 Para lineaciones (estrías de falla, ejes de pliegue, etc.):
 Azimut (trend): dirección de la línea
 Plunge: ángulo de inclinación desde la horizontal
- *Importante:* asegúrate de que todos los datos estén en el mismo sistema (estilo "right-hand rule" si usas rumbo y echado).

Procedimiento para procesar datos estructurales en Stereonet y FaultKin

1. **Preparación de los datos estructurales:** antes de usar cualquiera de los dos programas, es importante que los datos estén organizados correctamente. Puedes usar una hoja de cálculo (Excel o .CSV) con las siguientes columnas:

Para planos (estratificación, foliación, fallas, etc.):

- Rumbo (Strike): en grados (0° – 360°)
- Echado (Dip): en grados (0° – 90°)
- Dirección de echado (Dip direction): opcional

Para lineaciones (estrías de falla, ejes de pliegue, etc.):

- Azimut (trend): dirección de la línea
- Plunge: ángulo de inclinación desde la horizontal

- *Importante:* asegúrate de que todos los datos estén en el mismo sistema (estilo "right-hand rule" si usas rumbo y echado).

2. Procesamiento en el software Stereonet

Stereonet (versión gratuita para Windows/macOS/Linux)

Pasos para procesar datos:

- Abrir el programa y crear un nuevo proyecto desde File > New.

Cargar los datos:

- Manualmente desde Data > New Data Table, eligiendo el tipo de elemento: planes, polos, lines, etc.
- O importar archivo: File > Import Data desde un .csv o .txt con formato adecuado.

Visualizar en la red estereográfica:

- Selecciona el tipo de proyección: equal-angle o equal-area.
- Se graficarán los planos, polos o líneas según la tabla de datos.

Aplicar herramientas de análisis:

- Determinar ángulos entre elementos.
- Obtener orientaciones promedio (mean vector).
- Trazar círculos pequeños y grandes.
- Contornos de densidad de polos (para identificar familias o patrones).

Exportar resultados:

- Guarda imágenes del estereograma (File > Export Graphic) o los datos procesados para informes.

3. Procesamiento en el software FaultKin

FaultKin (ideal para análisis cinemático de fallas)

Pasos para usar FaultKin:

- Abrir el programa FaultKin.
- Seleccionar el tipo de datos a usar:
- Fallas con estrías (slip lines).
- Orientaciones de planos con movimiento conocido (normal, inverso, lateral, etc.).

- q. Ingresar los datos:
 - Desde el menú Data > New, ingresar rumbo, echado y rastro de deslizamiento (rake).
 - También se pueden cargar desde archivo .csv.
- r. Visualizar el mecanismo focal:
 - El programa generará automáticamente el diagrama estereográfico mostrando:
 - Plano de falla.
 - Plano auxiliar.
 - Ejes de esfuerzo (σ_1 , σ_2 , σ_3).
 - Dirección de deslizamiento.
- s. Realizar análisis de esfuerzo:
 - FaultKin permite estimar el tipo de régimen tectónico (compresivo, extensivo o transcurrente).
 - Puedes hacer análisis inverso para calcular los ejes principales de esfuerzo a partir de múltiples fallas.
- t. Exportar resultados:
 - Imágenes en alta resolución, valores numéricos de orientaciones, o archivos de texto con datos interpretados.
- u. Consejos prácticos
 - Mantén una nomenclatura coherente y evita errores de formato al ingresar datos (rake negativo/positivo según el movimiento).
 - Siempre revisa el sistema de referencia que estás usando: right-hand rule o dip direction.
 - Puedes usar ambos programas de forma complementaria: Stereonet para representar estructuras, y FaultKin para analizar la cinemática.

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Comprender el funcionamiento y la utilidad de la red estereográfica como herramienta gráfica en el análisis estructural de elementos geológicos.
- Representar de forma precisa la orientación de planos y líneas estructurales (fallas, pliegues, foliaciones, lineaciones) en una red estereográfica.
- Determinar gráficamente las intersecciones entre planos, ángulos entre planos y/o líneas, planos bisectores y elementos derivados como ejes de pliegues o direcciones de esfuerzo.
- Interpretar agrupamientos de polos o líneas para inferir patrones estructurales, como familias

de fracturas, geometría de pliegues o sistemas de fallas.

- Aplicar el método estereográfico en problemas prácticos de geología estructural y tectónica, con una base sólida para su uso profesional en exploración geológica, geotecnia o minería.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estas preguntas están diseñadas para ayudar al estudiante a reflexionar sobre el manejo de datos, la calidad de su representación gráfica y la interpretación estructural a partir de las proyecciones.

Sobre la representación de planos y líneas

1. ¿Los planos estructurales se graficaron correctamente en la red estereográfica según sus valores de rumbo y echado?
2. ¿Identificaste si los polos de planos pertenecen a una familia o muestran dispersión? ¿Qué puede indicar esto en términos estructurales?
3. ¿Las lineaciones (estrías, ejes de pliegue, etc.) se proyectaron con orientación e inclinación coherentes?

Sobre relaciones geométricas

4. ¿Pudiste calcular correctamente la intersección entre dos o más planos? ¿Cómo se representó gráficamente?
5. ¿Qué tipo de ángulos estructurales pudiste determinar entre planos o líneas? ¿Cuál es su interpretación geológica?
6. ¿Lograste identificar planos bisectores o ejes estructurales mediante construcciones geométricas?

Sobre patrones estructurales

7. ¿Hay agrupamientos visibles en los polos de planos? ¿Se puede inferir una orientación dominante o una familia de fallas/fracturas?
8. ¿Cómo interpretas la distribución de los elementos en el estereograma? ¿Hay simetría que sugiera pliegues o un sistema ordenado?
9. ¿Qué indica la dispersión de datos sobre el tipo de deformación (frágil, dúctil, caótica, ordenada)?

Análisis cinemático (FaultKin)

10. ¿La proyección de la falla y sus estrías generó un mecanismo focal coherente con los datos ingresados?
11. ¿Qué tipo de régimen tectónico se deduce (extensional, compresivo, transcurrente)? ¿Coincide con las evidencias del campo?
12. ¿La posición de los ejes de esfuerzo (σ_1 , σ_2 , σ_3) es lógica según el contexto estructural de la zona analizada?

Interpretación general

13. ¿Qué interpretación geológica puedes hacer a partir de la proyección realizada?
14. ¿Qué utilidad tiene esta representación para inferir la historia deformacional de un área?

15. ¿Qué diferencias observaste entre analizar datos estructurales de forma gráfica en papel versus en software?
16. ¿Qué información adicional te gustaría tener para mejorar la interpretación (más puntos de medición, datos de campo, geofísica, etc.)?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permitió comprender y aplicar el uso de la proyección estereográfica como una herramienta fundamental para el análisis estructural en geología. A través del manejo de datos reales o simulados, los estudiantes aprendieron a representar gráficamente planos y líneas estructurales, así como a interpretar sus relaciones espaciales dentro de una red estereográfica.

El uso del software Stereonet facilitó la visualización y el análisis de múltiples orientaciones en un mismo diagrama, permitiendo la identificación de patrones estructurales como la concentración de polos, ángulos entre planos, y orientación de lineaciones. Por otro lado, FaultKin ofreció herramientas especializadas para representar mecanismos de falla y calcular orientaciones de esfuerzos tectónicos (σ_1 , σ_2 , σ_3), lo que resulta clave en estudios cinemáticos y tectónicos.

Esta experiencia fortaleció las habilidades para:

- Procesar y graficar datos estructurales con precisión.
- Interpretar la geometría interna de estructuras geológicas como fallas, pliegues y fracturas.
- Relacionar gráficamente los elementos estructurales con el contexto tectónico.
- Utilizar herramientas digitales que optimizan el análisis, reducen errores y permiten obtener resultados reproducibles y presentables en el ámbito académico y profesional.

El dominio de las proyecciones estereográficas y su aplicación mediante software especializado constituye una competencia esencial en la formación del geólogo, con aplicación directa en geología estructural, exploración geológica, geotecnia y planificación de obras civiles.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Ejercicios de proyecciones estereográficas. Red estereográfica. Capítulo 10. Arellano-Gil, J. et al (2002). http://www.dict.unam.mx/Libros/Ejercicios_de_Geologia_Estructural_JAG-SC.pdf

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE	
Criterios de evaluación	• Resolución individual de ejercicios • Reporte de practica de laboratorio
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	• https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/19_Rubrica_Solucion_individual_de_ejercicios.pdf • https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Reportedepracticadelaboratorio.pdf
Formatos de reporte de prácticas	El formato será proporcionado por el facilitador.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Allmendinger, R. W., Cardozo, N., & Fisher, D. (2012). Structural geology algorithms: Vectors and tensors. Cambridge University Press.
2. Arellano- Gil, J. De la Llata R. R., Carreón, M. M. A., Morales, B. W. V. y Villarreal M. J. C. (2002). Ejercicios de Geología Estructural. Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.dict.unam.mx/Libros/Ejercicios_de_Geologia_Estructural_JAG-SC.pdf
3. Arellano-Gil, J., Morales-Casique, E., García-Hernández, J., Hernández-Espriú, A., & Aranda-Gómez, J. J. (2002). Manual de prácticas de geología estructural. Universidad Nacional Autónoma de México.
4. Bennison, G. M., Moseley, K. A., & Tucker, M. E. (2011). An introduction to geological structures and maps (8th ed.). Hodder Education.
5. Berthé, D., Choukroune, P., & Jegouzo, P. (1979). Orthogneiss, mylonite and non-coaxial deformation of granites: The example of the South Armorican Shear Zone. Journal of Structural Geology, 1(1), 31–42. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(79\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0191-8141(79)90019-1).
6. Bons, P. D., Elburg, M. A., & Gomez-Rivas, E. (2012). A review of the formation of tectonic veins and their microstructures. Journal of Structural Geology. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.005>.
7. Botines, F. M. & Ernstson, K. (2020). El cabalgamiento de Daroca (cadena Ibérica, España) y la estructura de impacto de Azuara - la controversia continua. https://www.researchgate.net/publication/340006495_El_cabalgamiento_de_Daroca_cadena_Iberica_Espana_y_la_estructura_de_impacto_de_Azuara_-_la_controversia_continua.
8. Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996). Structural geology of rocks and regions (2nd ed.).
9. Fossen, H. (2016). Structural Geology. Cambridge University Press. https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-structural-geology_1.pdf.
10. Lillo, J. y Oyarzun, R. (2013). Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: principios básicos. Ediciones GEMM-Aula2punto.net.
11. Lisle, R. J., Leyshon, P. R., & Gaetani, M. (2020). Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers (3rd ed.). Cambridge University Press.
12. Marshak, S., & Mitra, G. (2007). Basic methods of structural geology. Waveland Press.
13. Martínez C., J. R. (2003), Geología Estructural y Dinámica Global. Universidad de Salamanca.
14. Means, W. D. (1989). Stretching faults. Geological Society of America Bulletin, 101(4), 507–511.
15. Padilla y Sánchez, R.J. (2021). Geología Estructural, Métodos modernos. Universidad Nacional Autónoma de México.
16. Passchier, C. W., & Trouw, R. A. J. (2005). Microtectonics (2nd ed.). Springer.
17. Petit, J. P. (1987). Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. Journal of Structural Geology, 9(5-6), 597–608.
18. Tarbuck, E. J. y Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra. Pearson Prentice Hall. 8va Ed.
19. Tolson, G. (1996). Un catálogo de indicadores cinemáticos en rocas cizalladas. GEOS. <https://ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos96-1/catalogo-16-1.pdf>.
20. Twiss, R. J., & Moores, E. M. (2007). Structural Geology (2nd ed.). W. H. Freeman and Company.

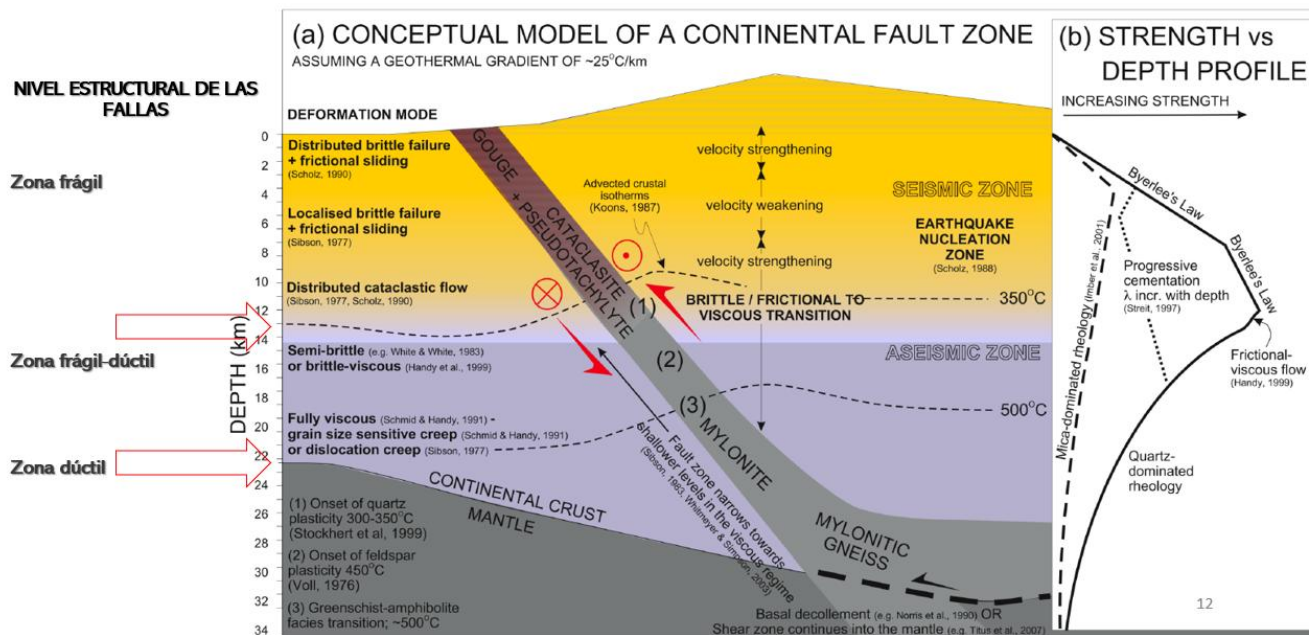


UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

ANEXOS

Elemento de competencia I



Niveles estructurales. Imagen ligeramente modificada de Botines & Ernstson, Kord. (2020).

Indicadores cinemáticos en Zona Frágil



Indicadores cinemáticos de zona frágil de estrías, escalones y fibras mineralizadas
Lillo, J. y Orvazun, R. (2013).

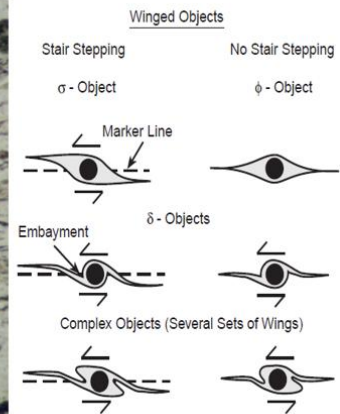
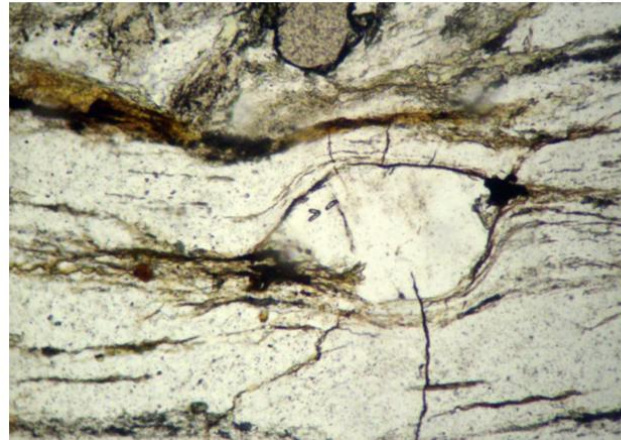
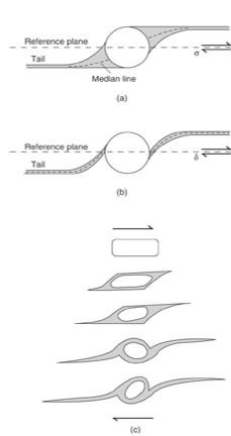


Espejo de falla y estrías. Lillo, J. y Oyarzun, R. (2013).

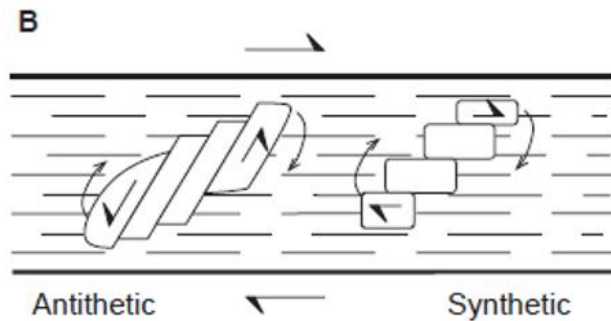


Harina de falla (gouge fault). Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

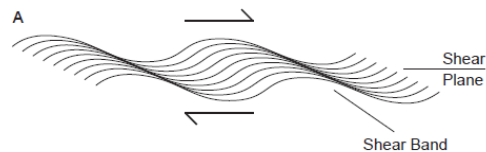
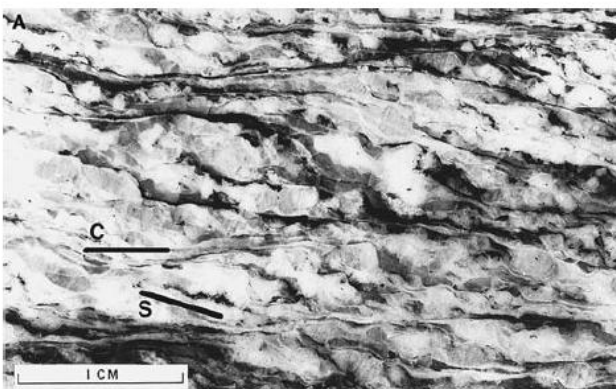
Indicadores cinemáticos en Zona Frágil-Dúctil-Dúctil



Objetos sigmoidales y alados. Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

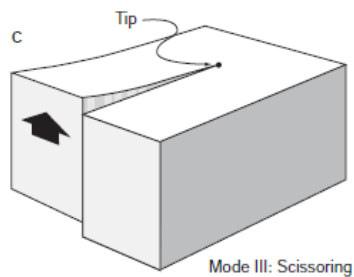
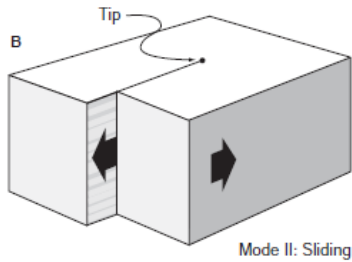
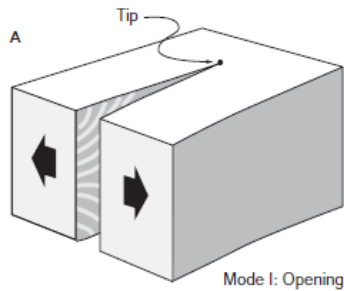


Libros rotados (dominó). Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

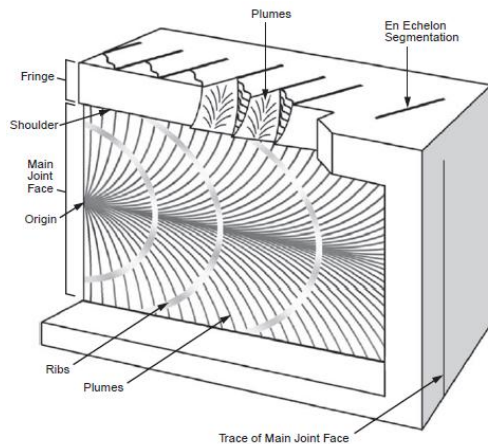


Estructuras S-C. Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

Clasificación de Fracturas



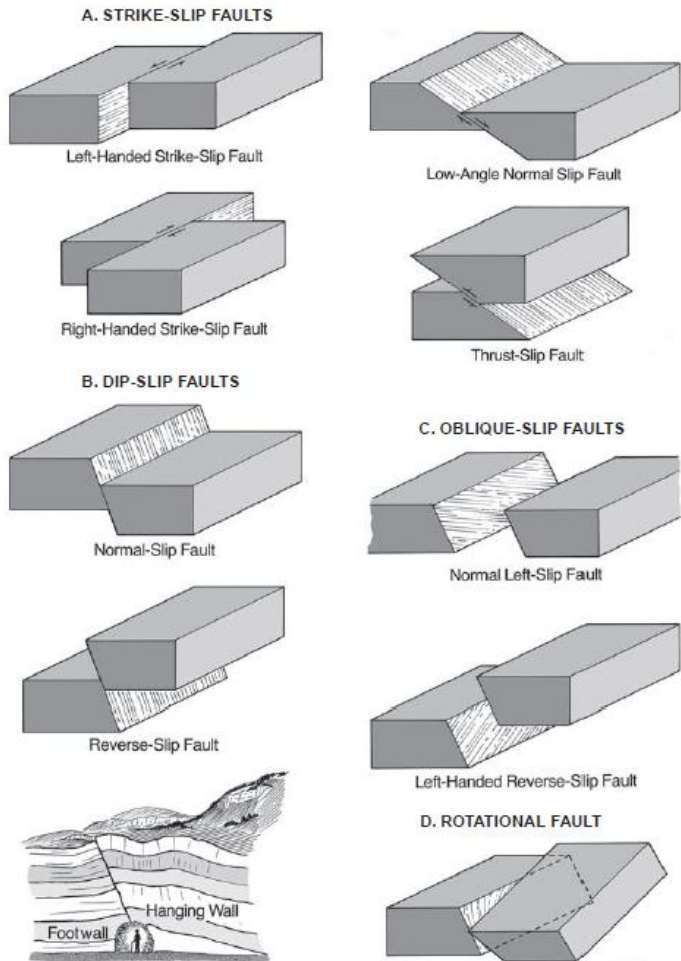
- A. **Modo I:** Fractura de Extensión (apertura perpendicular a las paredes de la superficie de fractura).
- B. **Modo II:** Fractura de Cizalla (deslizamiento en una dirección paralela a la superficie de fractura y perpendicular al frente de fractura).
- C. **Modo III:** Fractura de Cizalla (cizallamiento paralelo a la superficie de fractura y paralelo al frente de fractura).



Diaclasa Plumosa (caso ideal)

Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

Clasificación de las fallas por deslizamiento



Partes de una falla (normal)

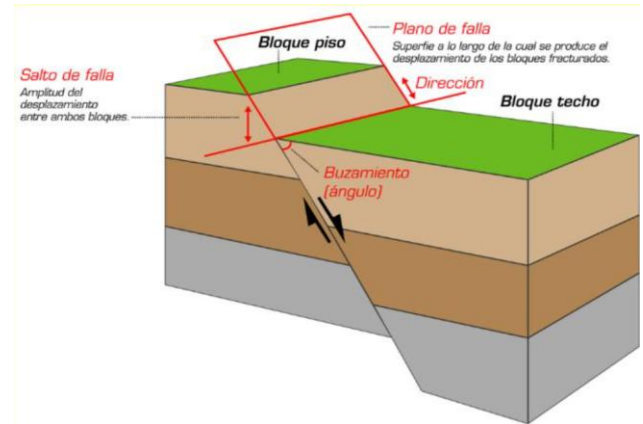
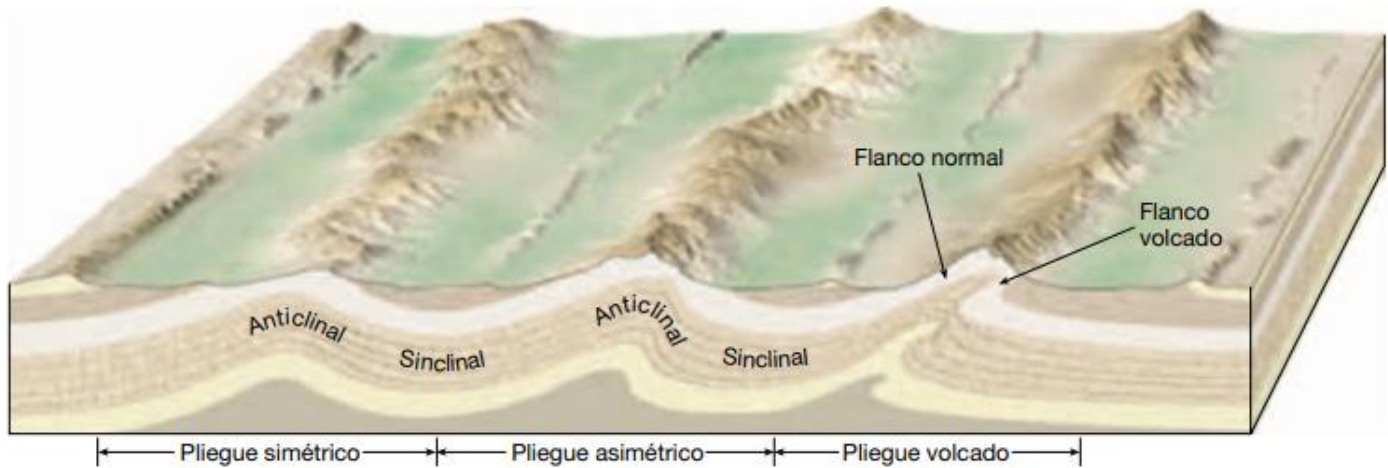


Imagen tomada de la red. Geología Básica
(www.joachim.cl/geologia)

- A.** Fallas de deslizamiento lateral (derecha e izquierda)
- B.** Fallas de deslizamiento inclinado incluyendo (normal, inverso)
- C.** Fallas de deslizamiento oblicuo
- D.** Falla rotacional.

Davis, G. H., & Reynolds, S. J. (1996).

Clasificación de pliegues



Principales tipos de pliegues. (Tarbuck, E. J. y Lutgens, F. K. 2005).

Partes de un pliegue

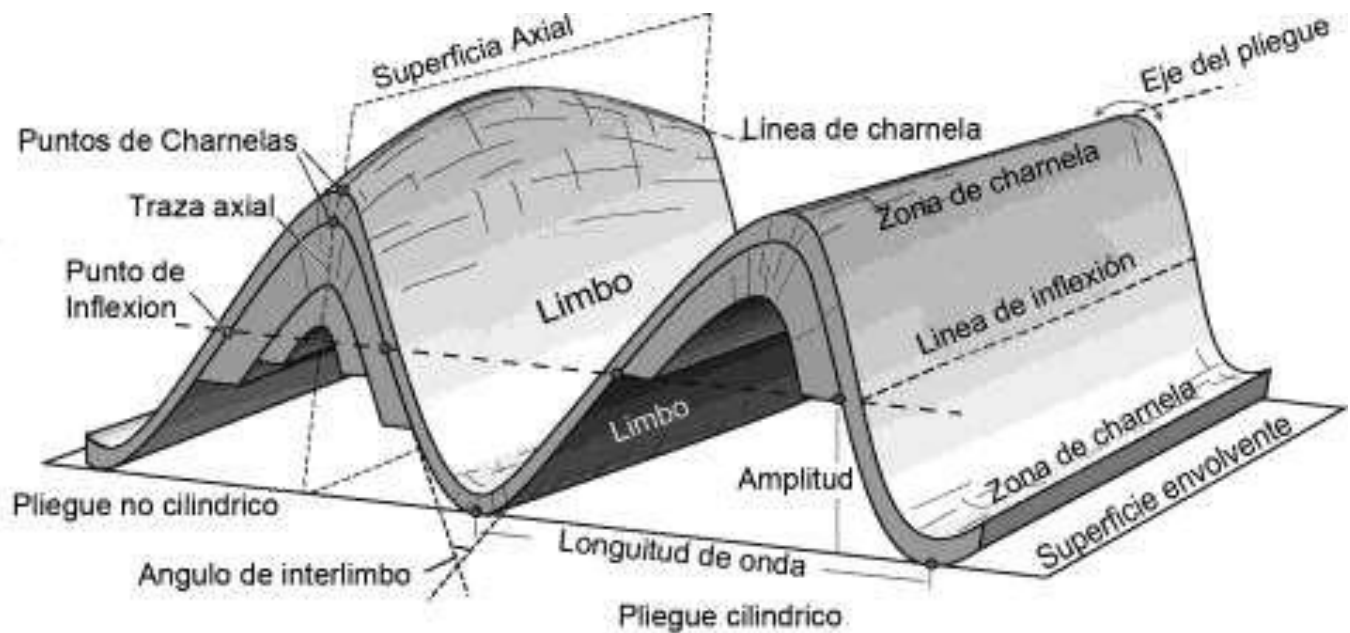
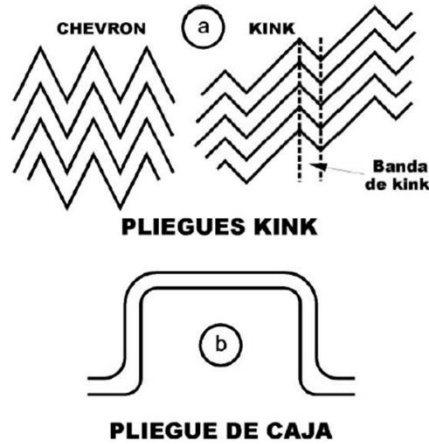


Imagen tomada de la red. <https://docplayer.es/42113266-Geologia-estructural-trabajo-practico-n.html>

-Según la geometría de sus crestas



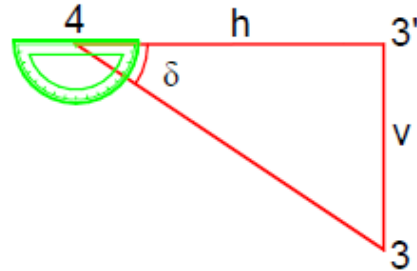
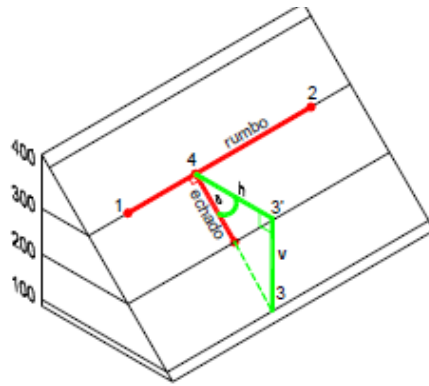
Pliegues con crestas angulares y flancos rectos. (Padilla y Sánchez, R. J., 2021).

-Según 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

Pliegues según el ángulo interflancos (Arellano-Gil et al., 2002).

Método de los 3 puntos



Utilizando la ecuación:

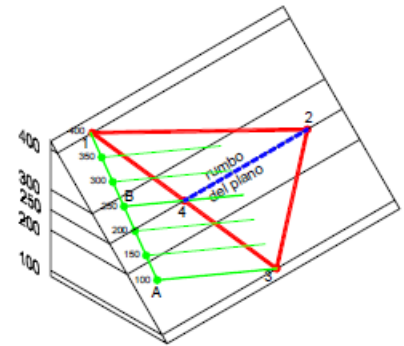
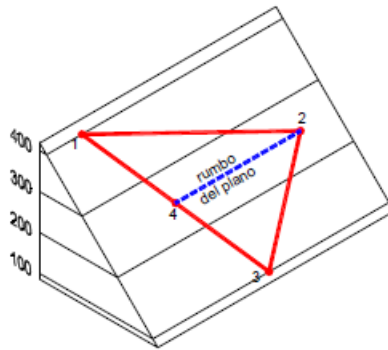
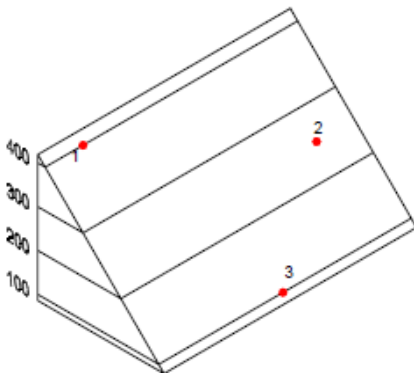
donde:

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

δ = echado del plano

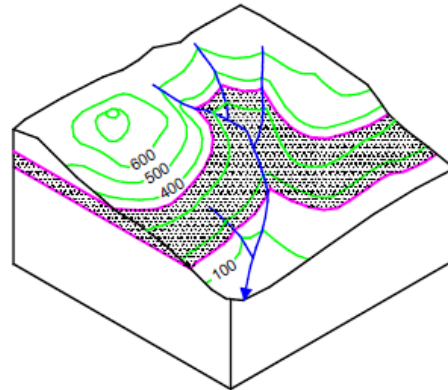
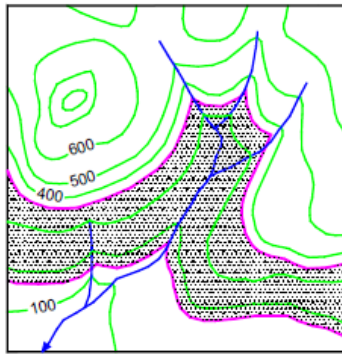
h = distancia horizontal

v = distancia vertical o desnivel

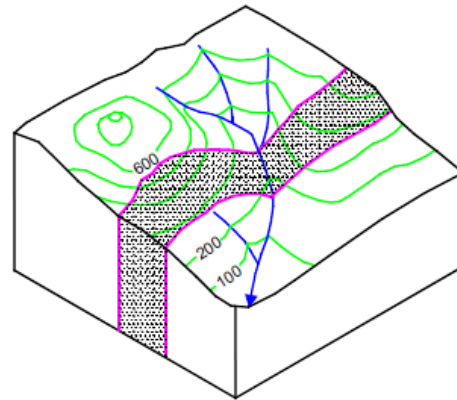
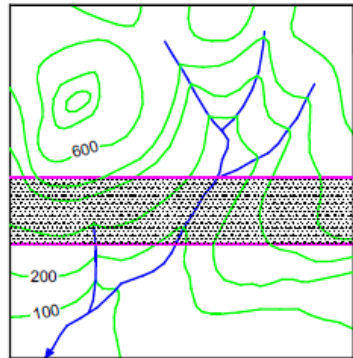


El método de los 3 puntos consiste en determinar el rumbo y echado de un plano por medio de 3 puntos conocidos, con elevaciones diferentes. Arellano-Gil et al., (2002).

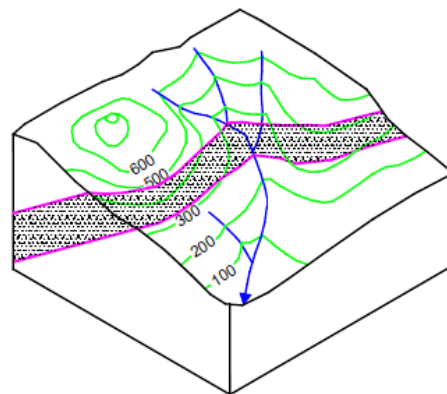
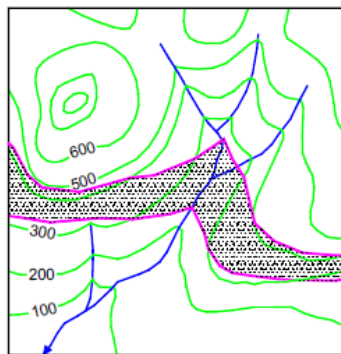
Regla de las V's



Cuando la capa o superficie estructural es horizontal: la traza o patrón será paralelo a la curva de nivel. Arellano-Gil et al., (2002).

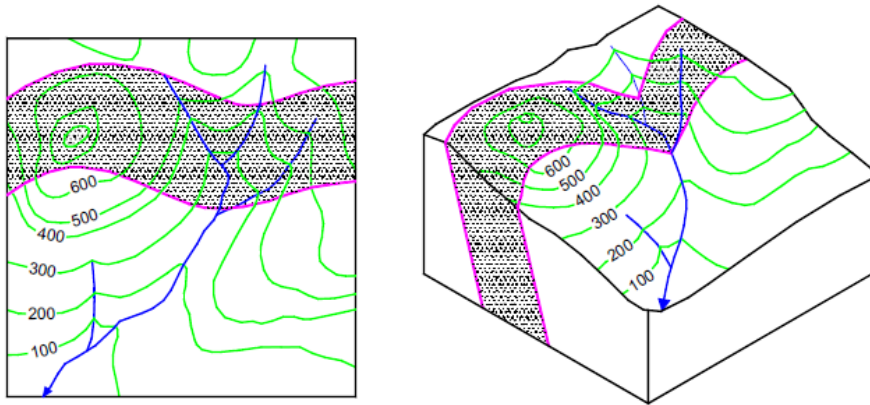


Cuando el plano o superficie geológica es vertical: el patrón será una línea recta que cruza todas las curvas de nivel. Arellano-Gil et al., (2002).

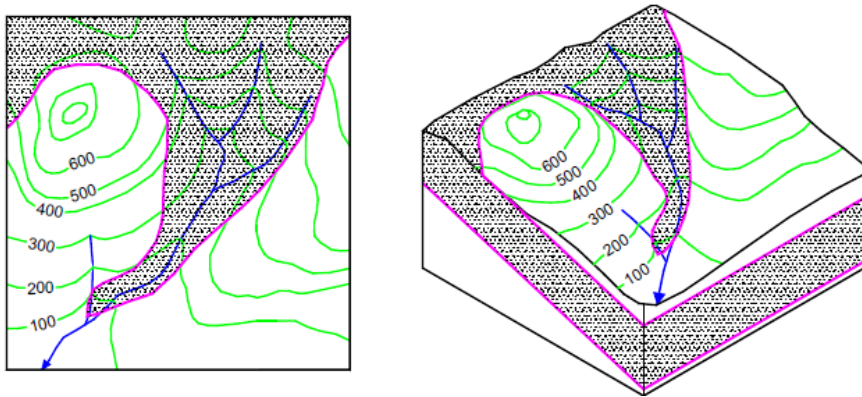


Cuando las superficies geológicas estén inclinadas menos de 90° , la traza es en forma de V abierta o cerrada que cruzan las curvas de nivel. Arellano-Gil et al., (2002).

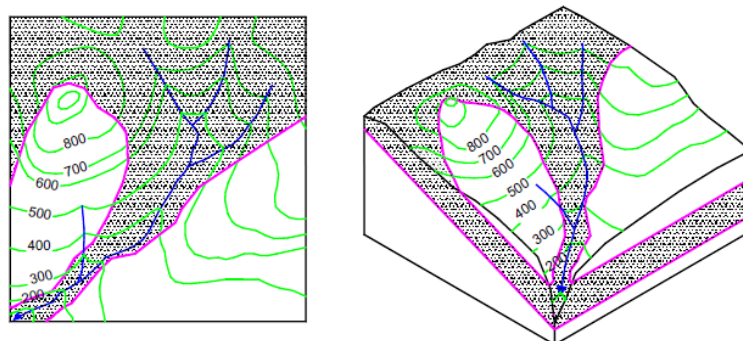
Cando la unidad geológica se incline aguas abajo existen 3 variantes:



a) el echado del plano estructural es de mayor inclinación que la pendiente topográfica, forma una traza sinuosa con el vértice de la V apuntando hacia abajo.

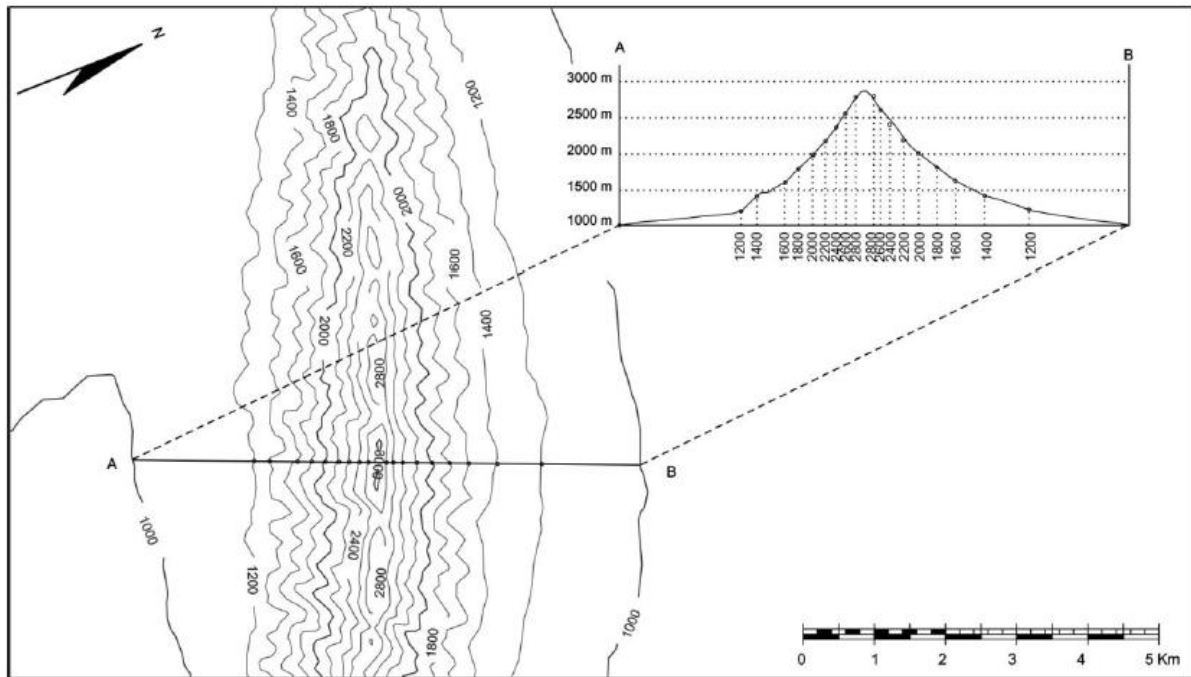


b) cuando el echado es de igual inclinación que la topografía, la traza no se une y no se forma la V. (Arellano-Gil, J. et al 2002).



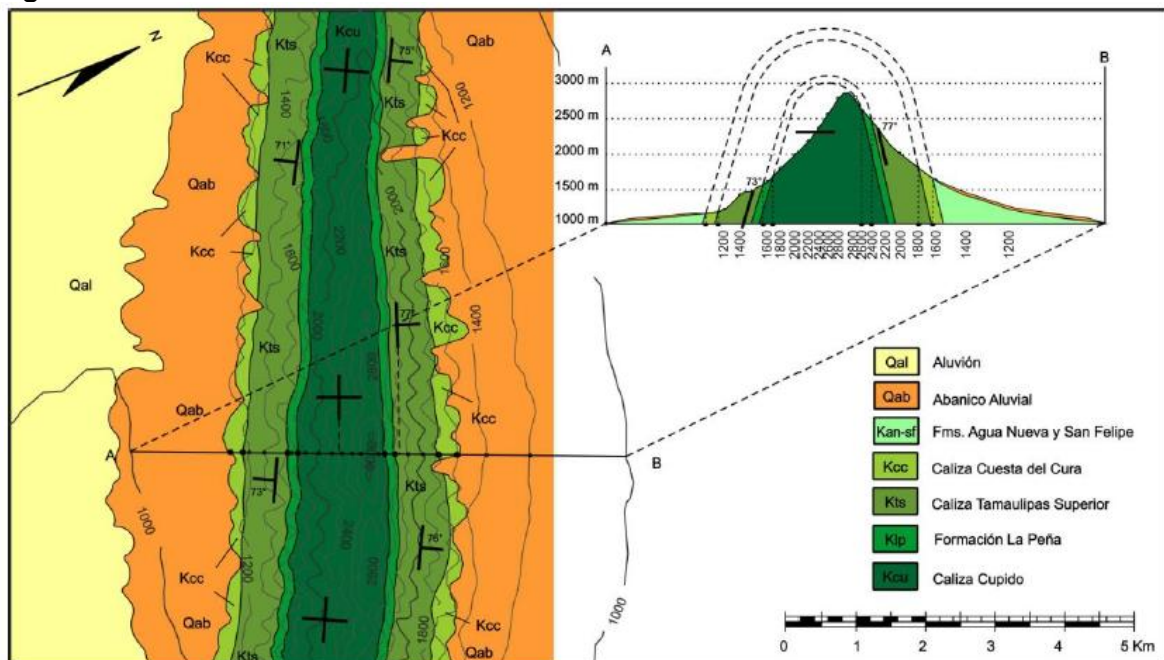
c) cuando el echado es menor que la inclinación de la topografía se forma una traza sinuosa en una V abierta apuntando aguas arriba, parecida más a una U. (Arellano-Gil, J. et al 2002).

Perfil topográfico



Construcción de un perfil topográfico. (Padilla y Sánchez, R. J., 2021).

Sección geológica



Construcción de una sección geológica. (Padilla y Sánchez, R. J., 2021).

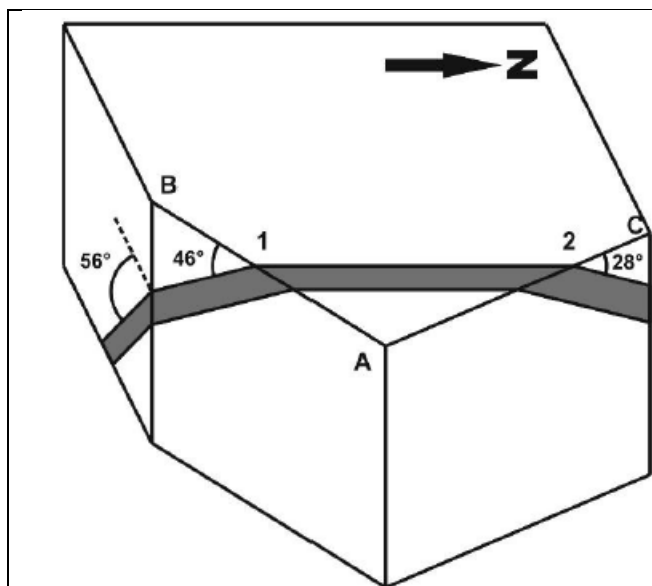


Diagrama mostrando las relaciones geométricas entre un echado verdadero

Ejemplo:

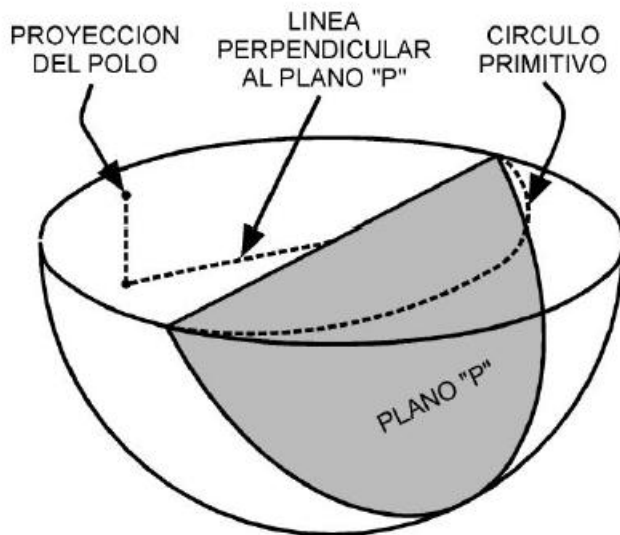
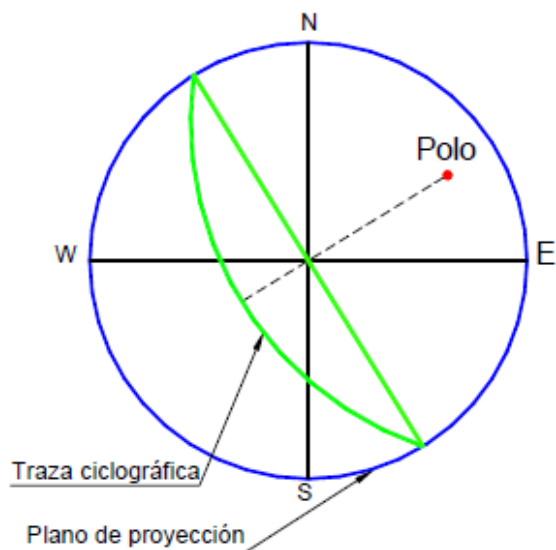
(NS-56°W) y dos echados aparentes en direcciones AB (S45°W-46°) y AC (N21°W-28°).

$$\text{Distancia } A - 1 = \cot 46^\circ = \frac{1}{1.044147} = 0.95772$$

$$\text{Distancia } A - 2 = \cot 28^\circ = \frac{1}{0.528173} = 1.89332$$

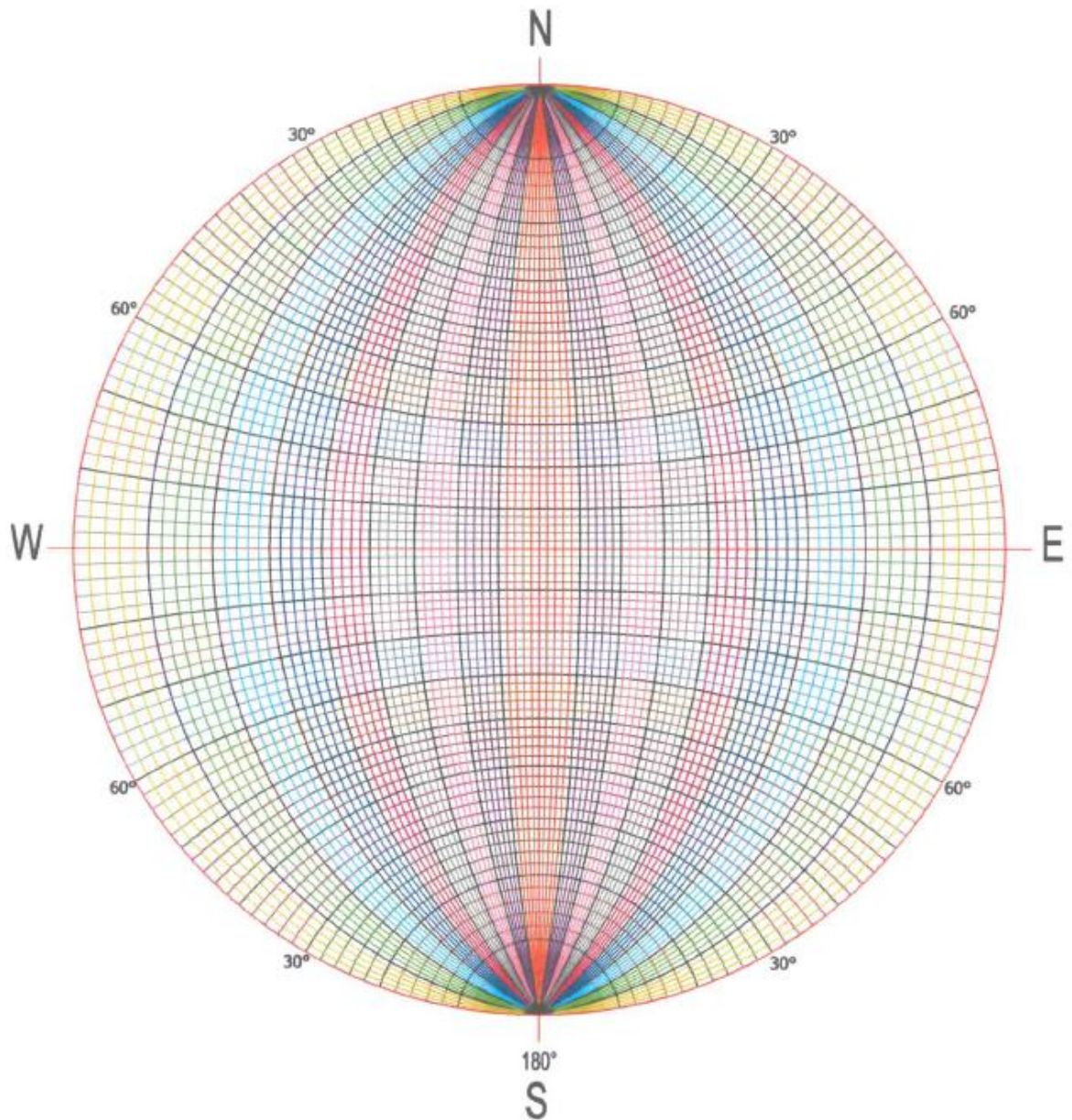
$$\text{Distancia } A - D = \cot 56^\circ = \frac{1}{1.482536} = 0.67452$$

Cálculo de echado verdadero. Padilla y Sánchez, R. J., (2021).

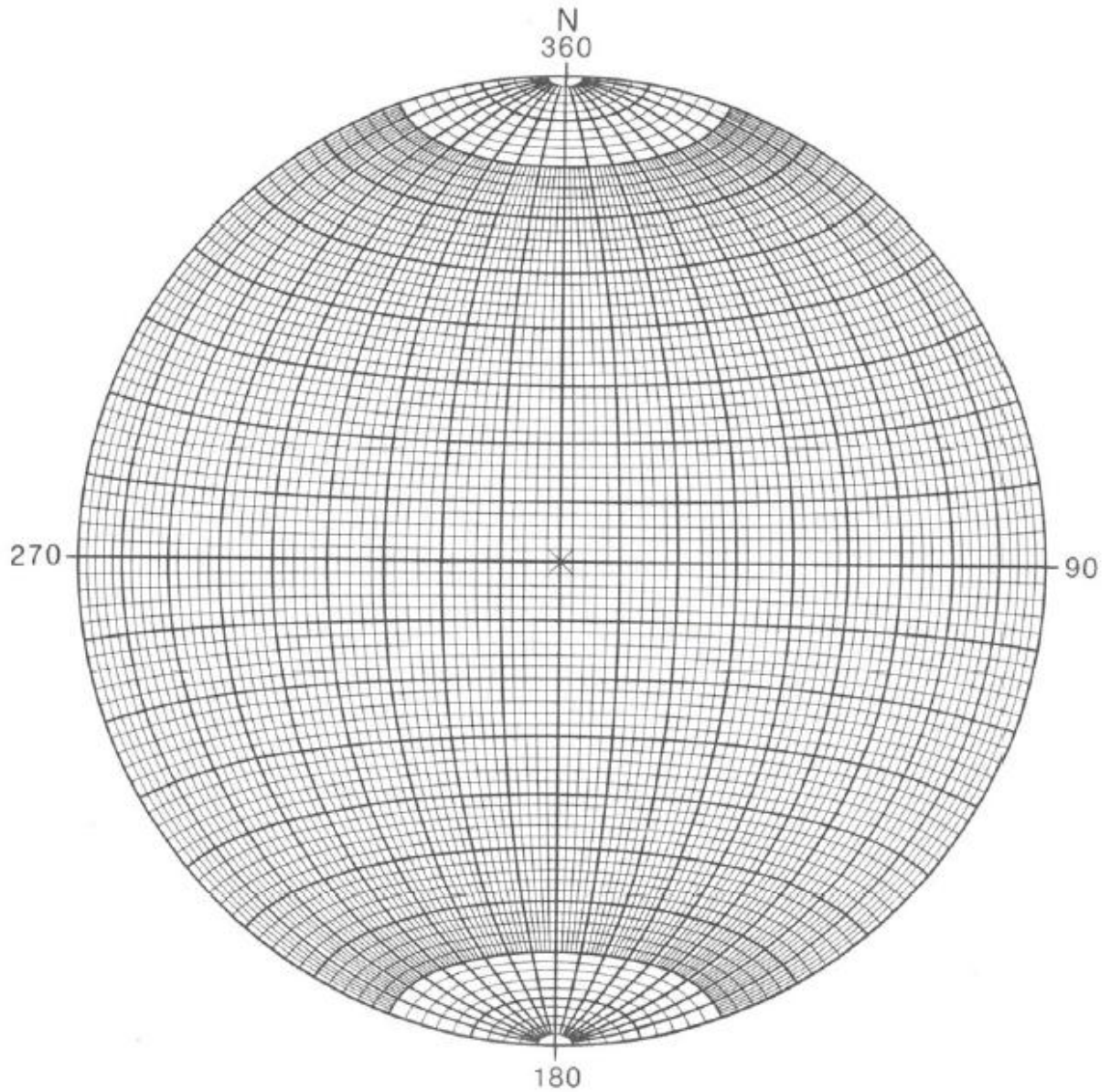


Traza ciclográfica dibujada es la proyección estereográfica del plano S30°E 60°SW.

Arellano-Gil, J. et al. (2002) y Padilla-Sánchez, R. J., (2021).



Red de Wulff. (igual ángulos)



Red de Schmidt (igual área)



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu