

**GUÍA DE LABORATORIO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO
PARA INGENIEROS DE PETRÓLEO**

CRISTINA ISABEL RIVAS PELAYO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2014

**GUÍA DE LABORATORIO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO
PARA INGENIEROS DE PETRÓLEO**

CRISTINA ISABEL RIVAS PELAYO

Trabajo de grado para optar al título de Geóloga.

DIRECTOR:

RICARDO MIER UMAÑA

Geólogo

CODIRECTOR:

JUAN DAVID BADILLO REQUENA

Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

En primer lugar le quiero dedicar este trabajo a mi madre Oliva Pelayo, por ser madre y un padre a la vez. Por brindarme todo su apoyo durante toda mi vida y más durante la carrera. Por brindarme su cariño y amor hasta en momentos de desesperación.

En segundo lugar le quiero agradecer a la Familia Plata Suarez, por adoptarme como si fuera una hija más, apoyarme y colaborar en momentos de crisis y necesidad.

Y en tercer lugar quiero dedicarles este trabajo a mis amigos más cercanos por apoyarme, ayudarme y estar pendientes de mí y acompañándome cuando más los necesitaba.

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo le quiero agradecer a Dios, porque sin él no hubiera tomado las decisiones correctas y no hubiera llegado donde estoy actualmente.

También quiero agradecerles a mi director de proyecto, el profesor Ricardo Mier, por el apoyo a pesar todos los inconvenientes que se dieron y a la profesora Julieta Pineda por todo su apoyo durante la carrera y por estar tan pendiente de mí en momentos de inquietud.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 COMPETENCIAS DE LOS ESTUDIANTES DE GEOLOGÍA.....	15
2.1.1 Competencias establecidas por el proyecto Alfa Tunning América Latina.	16
2.1.2 Competencias establecidas por el consejo profesional de geología.....	19
2.1.3 Competencias escuela de geología, UIS.	19
2.2 COMPETENCIAS DE LOS INGENIEROS DE PETRÓLEOS.....	20
2.2.1 competencias de los estudiantes de ingeniería de petróleos en la Universidad Industrial de Santander.....	22
2.2.2 competencias de los estudiantes de ingeniería de petróleos en la materia de geología estructural y del petróleo.	23
2.3 COMPETENCIAS DE LOS DOCENTES.....	24
2.4 LA IMPORTANCIA DE LA TEORICO-PRACTICA.....	26
2.5 LA COMUNICACIÓN EN EL AULA.....	27
2.5.1 Estrategias de enseñanza y aprendizaje:	27
2.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO:.....	28

2.6.1 Geología del petróleo:	29
2.6.2 Geología Estructural.....	29
2.6.3 Laboratorios:.....	30
4. RECOMENDACIONES	32
5. BIBLIOGRAFIA.....	34
ANEXO	36

LISTA DE ANEXO

Pág.

ANEXO. GUÍA DE LABORATORIO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO PARA INGENIEROS DE PETRÓLEO.....	36
---	-----------

RESUMEN

TÍTULO:

GUÍA DE LABORATORIO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO PARA INGENIEROS DE PETRÓLEO.*

AUTOR:

RIVAS PELAYO, Cristina Isabel.**

PALABRAS CLAVES:

GUÍA, GEOLOGÍA ESTRUCTURAL, GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO.

DESCRIPCION

Esta guía fue creada con el fin de facilitar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial de Santander, desarrollar sus competencias y complementar sus estudios de Geología Estructural y Geología del petróleo. Además de dar soportes para el desarrollo del tema a través de prácticas e informes, ya que mediante las prácticas se desarrollan las habilidades y se fortalece el conocimiento.

Para una buena educación profesional es necesario desenvolverse ante cualquier ejercicio evidenciando sus dominios por el tema, para ello los docentes deben enseñar no solo con las técnicas tradicionales sino también implementando la parte práctica como complemento de la parte teórica de la materia. Este trabajo recopila información de libros y documentos virtuales sobre los temas que se van a desarrollar durante la asignatura de geología estructural y del petróleo para ingenieros de petróleos.

La información recopilada está contenida en 6 capítulos de laboratorio con parte teórica y práctica, planteados como una guía completa. Esta guía se adapta a cualquier tipo de pedagogía utilizada por el profesor de la asignatura; al momento del desarrollo de la práctica, se quiere que el estudiante entrene y perfeccione sus habilidades de acuerdo a lo que desarrollan en la teoría. Cada guía cuenta principalmente con 5 partes las cuales ayudan al estudiante a aprender el tema en cuestión; estas partes son objetivos, introducción, marco teórico, desarrollo de la práctica y conclusiones.

* Trabajo de Grado.

** Facultad Físico-Química, Escuela de Geología, Director: Ricardo Mier Umaña, Codirector: Juan D. Badillo R.

ABSTRACT

TITLE:

LABORATORY GUIDE OF STRUCTURAL GEOLOGY AND PETROLEUM FOR PETROLEUM ENGINEERS.*

AUTHOR:

RIVAS PELAYO, Cristina Isabel.**

KEYWORDS:

GUIDE, STRUCTURAL GEOLOGY, PETROLEUM GEOLOGY

DESCRIPTION

This guide was created to facilitate the learning of students in petroleum engineering from the Universidad Industrial de Santander to develop their skills and complement their studies in Structural Geology and Petroleum Geology. Besides giving supports to the development of the subject through practice and reports due to through the practice skills are developed and knowledge is strengthened.

For a good professional education is necessary to know how to manage any exercise demonstrating their domains on the subject, teachers need to teach them not only with traditional techniques but also implementing the practical part to complement the theoretical part of the subject. This work collects information from books and virtual documents on the topics that will be developed during the course of structural geology and petroleum for petroleum engineers.

The information collected is contained in 6 chapters of theory and laboratory practice contemplate as a complete guide. This guide is suitable for any type of pedagogy used by the subject teacher; at the time of development of the practice, the student need to train and improve the skills according to the developed in theory. Each guide has mainly 5 parts which help the student to learn the subject matter; these parts are objective, introduction, theoretical framework, practice development and conclusions.

* Degree Project.

** Faculty of Physis and Chemical, School of Geology, Director: Ricardo Mier Umaña, Codirector: Juan D. Badillo R.

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre reconoció la necesidad de aprender, de enseñar, se ha hecho énfasis en el aprendizaje cognitivo a nivel de memorización comprensión y una aplicación mecanizada. Pero este tipo de enseñanza se limita únicamente a la parte teórica, produciendo un desequilibrio en el aprendizaje del estudiando, lo que lleva en algunos casos, a los egresados a realizar grandes esfuerzos para transferir y aplicar sus conocimientos, cuando en su vida real o profesional se enfrentan a dificultades que aparentemente no forman parte de su saber.

Así como el hombre sintió esa necesidad de aprender, también sintió la necesidad de investigar sobre su origen, su entorno, de conocer como es la Tierra, que contiene, como se formó, como cambia constantemente, los recursos que poseen y como se pueden extraer, entre otras. La geología siendo considerada una ciencia natural, que estudia la composición y la estructura interna de la tierra, y los procesos por los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico, ayuda a la ingeniería de petróleo en el estudio, la prospección y exploración de hidrocarburos, mediante herramientas como los mapas, cortes geológicos, determinación de espesores de formación, entre otras.

Desde el punto de vista pedagógico el desarrollo y la aplicación profesional es una ciencia geológica que no solo se basa en conocimientos teóricos sino también en obtener conocimientos mediante la práctica. Es por ello que en algunas materias se requiere del apoyo de documentos que guíen y ayuden en la solución de problemas prácticos de la materia.

El siguiente proyecto a realizar es la “Guía de laboratorio de Geología Estructural y del Petróleo para ingenieros de petróleo”, está guía de laboratorios se creó en necesidad de dar al docente un material de apoyo y guía en las clases, y al estudiante conocimientos prácticos en la asignatura de Geología Estructural y del Petróleo. Se pretende brindar al estudiante, un documento que refuerce el desarrollo y el conocimiento adquirido en las clases teóricas de la materia, mediante ejercicios prácticos de cada tema.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proporcionar explícitamente información sobre la Geología Estructural y Geología de Hidrocarburos mediante una guía de laboratorio novedosa y práctica para los estudiantes de ingeniería de petróleos, que contribuya con el desarrollo de sus competencias; entrenar al estudiante en técnicas, métodos y acciones que exijan una determinada respuesta lógica o psicomotriz.

Se propone como un apoyo al docente para ayudar en su ardua labor de planear, enseñar y formalizar las actividades practicas

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proporcionar información en el área de Geología estructural y del Petróleo, de sus métodos y procedimientos.
- Guiar el aprendizaje de los alumnos, ayudando a organizar la información y relacionar los conocimientos correspondientes a la Geología Estructural y Geología de Hidrocarburos.
- Entrenar al alumno en técnicas, métodos y acciones que exijan una determinada respuesta lógica o psicomotriz.
- Evaluar los conocimientos adquiridos al final de cada tema de estudio, conociendo las debilidades y fortalezas de cada estudiante para un posible refuerzo.

2. MARCO TEORICO

2.1 COMPETENCIAS DE LOS ESTUDIANTES DE GEOLOGIA.

En la universidad Industrial de Santander, se busca que el estudiante de la carrera de geología desarrolle todas sus capacidades psicoanalistas, psicomotoras y sus competencias (son los logros alcanzados, conocimientos adquiridos, habilidades desarrolladas, destrezas e integración de los valores).

La competencia no es una característica intrínseca de las personas y tampoco es una cuestiones independientemente del conocimiento que se adquiere a lo largo de su vida, al contrario nace y crece con él, con lo útil del conocimiento y con el conocimiento de lo útil. El conocimiento es el vehículo que facilita su progreso, ambas cuestiones condicionan los niveles y la calidad del producto final resultante. La formación en competencias mezcla de forma equilibrada los ingredientes más característicos del conocimiento tratando descubrir algunos o muchos de los saberes ocultos (destrezas, aptitudes y actitudes) de gran repercusión en el resultado logrado, (Arbeláez *et al.*, 2009).

El programa de geología permite al estudiante relacionarse con el medio para el desarrollo de las prácticas, de esta manera se pueden reforzar el conocimiento adquirido en el aula de clase, cumpliendo con el proceso de enseñanza-aprendizaje planteado en el programa.

La formación por competencias: ofrece el espacio para que cada estudiante imagine, diseñe y construya un proyecto de vida basado en el conocimiento transformado del saber, del hacer, del ser y del convivir, (Arbeláez *et al.*, 2009).

- El saber: conjunto de conocimientos y procedimientos necesarios para adquirir, aprender a pensar, a leer.
- El hacer: el aprender no solo por una nota sino por una capacidad propia al desenvolverse en un entorno.

Por lo tanto, para un buen desarrollo de las competencias de los alumnos, el proceso

de estudio debe ir acompañado a las prácticas y teniendo en cuenta aspectos como:

1. La formación como persona: está asociada a la capacidad que puede alcanzar el individuo en el plano físico, intelectual, emocional y afectivo, para actuar en su mundo con autonomía.
2. La educación para el ejercicio profesional: corresponde al conjunto de habilidades para desempeñarse en el ejercicio de la profesión asumiendo diferentes roles en la prestación de servicios que requieren la sociedad y las profesiones.
3. La formación para el ejercicio de la ciudadanía: está asociada a la adquisición de capacidades para comportarse en los diferentes grupos dentro de los cuales debe interactuar a lo largo de su vida.

2.1.1 Competencias establecidas por el proyecto Alfa Tunning América Latina.

El proyecto Alfa Tunning América latina es un proyecto independiente, impulsado y coordinado por Universidades de distintos países, tanto latinoamericanos como europeos. Un trabajo conjunto que busca y construye lenguajes y mecanismos para la comprensión recíproca de los sistemas de enseñanza superior, que faciliten los procesos de reconocimiento de carácter transnacional y transregional, es un espacio de entes educativos comprometidos con la educación superior que a través de espacios de diálogo y trabajo, contribuye para avanzar en el desarrollo de titulaciones fácilmente comparables y comprensibles, de forma articulada en América Latina. (Proyecto Tuning - América Latina., 2007)

Para establecer unas competencias aptas y uniformes, el proyecto Alfa Tunning América Latina, con ayuda de países como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, Honduras, Perú y Venezuela, constituyeron el grupo del área de geología (2006); donde analizaron y discutieron el área temática de los diferentes países, las competencias genéricas elaboradas en las etapas anteriores del proyecto, se definieron unas competencias específicas y lo más importante, se construyó unas estrategias de enseñanza y aprendizaje para una competencia específica.

Según el proyecto Alfa Tunning América Latina (2007), la educación basada en competencias aporta muchas ventajas como son:

- Identificar los perfiles profesionales y académicos de las titulaciones y programas de estudios.
- Desarrollar un nuevo paradigma en educación, primordialmente centrada en el estudiante y la necesidad de encauzarse hacia la gestión del conocimiento.
- Responder hacia las demandas crecientes de una sociedad de aprendizaje permanente y de mayor flexibilidad en la organización del aprendizaje.
- Contribuir a la búsqueda de mayores niveles de empleabilidad y ciudadanía.
- Propiciar un impulso para la construcción y consolidación de espacio en América latina, el Caribe y la Unión Europea de la educación superior.
- Tomar en consideración los acuerdos firmados en la última conferencia iberoamericana de educación.
- Estimular acuerdos para la definición del lenguaje común, que facilite el intercambio y el dialogo entre los grupos interesados.

En el grupo del proyecto del área de geología, durante la reunión del proyecto Alfa Tuning América Latina en el año 2006, se establecieron las siguientes competencias específicas para el área. (Proyecto Tuning-America Latina., 2007).

1. Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos.
2. Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.
3. Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias.
4. Capacidad de observación y comprensión del entorno.
5. Desarrollar métodos de enseñanza e investigación de la geología dirigidos tanto a la mejora de desempeño profesional como a la difusión del conocimiento
6. Desarrollar los trabajos en equilibrio con el cuidado y conservación del medio ambiente y social.
7. Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legali-

dad, seguridad y sustentabilidad.

8. Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos.
9. Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.
10. Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.
11. Evaluar y valorar los recursos geológicos y las alteraciones causadas a los mismos.
12. Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta.
13. Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables.
14. Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos.
15. Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos.
16. Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.
17. Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos.
18. Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico.

2.1.2 Competencias establecidas por el consejo profesional de geología

El consejo profesional de geología, en junio de 2004, presentó un documento sobre los ECAES hoy conocidos con el nombre de Saber-Pro, donde se establecen las particularidades de la geología como profesión y el perfil propuesto de competencias de un geólogo. (Consejo Profesional de Geología., 2007)

En el informe presentado por el Consejo Profesional de Geología, se hace un resumen de las competencias establecidas por los europeos en el proyecto Alfa Tunnig, donde se resaltan como competencias más importantes las siguientes:

- Capacidad de análisis y de síntesis.
- Capacidad de aprender.
- Capacidad de resolver problemas.
- Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica.
- Capacidad de adaptación a nuevas situaciones.
- Preocupación por la calidad.
- Capacidad para administrar información.
- Habilidad para trabajar en forma autónoma y en equipo.

2.1.3 Competencias escuela de geología, UIS.

El geólogo de la UIS, estará en capacidad de desempeñarse en tareas como: exploración y explotación de petróleo y gas empleando técnicas geofísicas, estratigráficas, estructurales y geoquímicas; elaboración de mapas geológicos a escalas locales y regionales empleando sensores remotos y sistemas de información geográfica; prospección y explotación de yacimientos de minerales metálicos y no metálicos; prospección y explotación del recurso hídrico incluyendo aguas superficiales y subterráneas; investigación en las áreas de petrología ígneo-metamórfica, geoquímica orgánica, geoquímica de aguas, estratigrafía, geología estructural, sedimentología, paleontología, geología ambiental entre otras. Además, estará en capacidad de trabajar interdisciplinariamente con profesionales de

otras ciencias e ingenieros para generar y adecuar conocimiento puro y aplicado y desempeñar funciones propias del geólogo de acuerdo a la Ley 9a del 30 de Septiembre de 1974, que regula el ejercicio de la geología en Colombia. (Romero, Y., 2011.)

De acuerdo al desarrollo científico tecnológico mundial y al marco jurídico que regula la profesión del geólogo en nuestro país, el programa de Geología fomenta las siguientes competencias en sus estudiantes:

- Lingüísticas: saber comunicarse, expresar sus ideas de manera clara en forma oral y escrita, en lengua materna, inglés y otras optativas.
- Creativas: poseer la capacidad de entender procesos y usar el conocimiento matemático para su formulación y modelación.
- Informáticas: levantar, procesar o tratar y analizar e interpretar información técnico – científica especialmente del área de ciencias naturales y exactas, utilizando recursos lógicos y automáticos disponibles en el medio.
- Profesionales: saber manejar tanto los conceptos de espacio y tiempo de los procesos geológicos como las diferentes escalas de estos.
- Interdisciplinarias: poseer aptitudes y actitudes para abordar y adelantar conceptos interdisciplinarios que le permitan interactuar con profesionales de otros campos técnico – científicos.
- Socialización: tener la capacidad de interactuar con las personas de su entorno.
- Internacionalización: saber interactuar con personas y medios diferentes al colombiano.

2.2 COMPETENCIAS DE LOS INGENIEROS DE PETRÓLEOS

El ingeniero al ser capaz de inferir, comprender una medida o diagnosticar una situación, es el indicado para la solución de problemas, que se presentan dependiendo de la rama de ingeniería que escoja. Por ello el ingeniero de petróleos se diferencia de los otros porque su base en la ingeniería aplicada, como la perforación, yacimientos,

producción y evaluación de formaciones. (Consejo Profesional de Ingenieros de Petróleos., 2012).

Según el consejo profesional de ingeniería de petróleo los estudiantes deben:

- Estar capacitados en los recursos hidrocarburíferos, como el manejo, la exploración y su obtención hasta llegar a la superficie. Además de sus conocimientos en el área de diseño y administración de campos de pozos.
- Estar capacitado para ejercer la profesión de jefe de pozo, ya que posee conocimientos de perforación, yacimientos, producción y evaluación de formación, además de conocimientos sobre HSE.
- Los ingenieros de petróleo que han obtenido su educación según el CPIP (consejo profesional de ingenieros de petróleo), tienen conocimientos básicos en geología, mediante los cuales les permiten identificar fácilmente cualquier tipo de roca en sus labores de exploración.
- Poseer capacidades para leer e interpretar mapas geológicos y elaborar mapas del subsuelo, utilizados en la identificación, estudio y determinación de las funciones, los fundamentos, las características de los yacimientos y poder hacer sus análisis volumétricos para la determinación de reservas que se encuentren en el campo.
- Una de las principales fortalezas que debe tener el ingeniero de petróleo es estar formado en el diseño, dimensionamiento y operación de equipos utilizados en la extracción del hidrocarburo a la superficie.
- En la simulación de yacimientos, los estudiantes deben recibir estudios integrales para la adecuada explotación de los campos y se une con las diferentes disciplinas como geología, en la perforación, producción, en yacimientos y facilidades económicas.
- El ingeniero mediante el uso de registros de pozos presentan las mejores calidades y competencias para participar, liderar procesos a nivel de compañías operadoras y de servicios en su interpretación, análisis, en su adquisición y en el control de calidad que provee, para tener una mejor visualización de recursos de hidrocarburos en el subsuelo.

- El ingeniero debe estar capacitado en la entrega del hidrocarburo en óptimas condiciones, y en el manejo de equipos que le ayuden con la extracción del hidrocarburo hasta la superficie en condiciones de calidad.
- Los ingenieros de petróleos tiene la capacidad de diseñar, operar y dirigir plantas de tratamientos y plantas de procesamiento.
- El ingeniero también debe estar interesado y capacitado en abarcar otras áreas como el transporte de hidrocarburo, plantas de gas, tratamientos de aguas y otras técnicas; además de herramientas como la administrativa, planeación y evaluación de proyecto.

2.2.1 competencias de los estudiantes de ingeniería de petróleos en la Universidad Industrial de Santander.

La Universidad Industrial de Santander cuenta con la Escuela de Ingeniería de Petróleos, su principal objetivo es la preparación integral de profesionales para responder a los retos planteados por la Industria Petrolera Colombiana, el mejoramiento continuo de la calidad mediante la implementación de contenidos actualizados en los planes de estudio de sus programas, para formar altas competencias técnicas, científicas, sociales, ecológicas y humanísticas en sus educandos tanto a nivel de pregrado como de posgrado.

Dentro de sus objetivos de la Universidad Industrial de Santander están:

- Ajustar la formación técnica a la demanda del entorno industrial.
- Modificar las estrategias pedagógicas de tal forma que favorezcan la investigación, la reflexión y la transferencia crítica de contenidos.
- Favorecer la interdisciplinariedad con las herramientas proporcionadas por otras disciplinas para que le permitan al estudiante tener una visión global de todas las actividades que componen el ciclo de la industria (exploración, evaluación, desarrollo, explotación y abandono).
- Lograr que el trabajo docente lleve implícita una formación de excelencia, liderazgo de investigación y de valores éticos, a través de todas las asignaturas del plan de estudios.

- Fortalecer el crecimiento intelectual del estudiante, estimulando los procesos de autoformación y una actitud permanente del aprender.

Así mismo, la Escuela analiza las necesidades del entorno para generar y proyectar soluciones que mediante la prestación de servicios contribuyan a solucionar los problemas técnicos y conceptuales de la industria de hidrocarburos, en armonía con el ecosistema y con responsabilidad ética y social.

El Ingeniero de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander debe tener una amplia visión en el campo del negocio de los hidrocarburos; capaz de aplicar, diseñar, gestionar y complementar técnicas, metodologías y procesos teóricos y empíricos de exploración, tratamiento, transporte y comercialización de hidrocarburos

2.2.2 competencias de los estudiantes de ingeniería de petróleo en la materia de geología estructural y del petróleo.

Así como los estudiantes de geología tienen competencias, los estudiantes de ingeniería de petróleo en la materia de geología estructural y del petróleo fomentan competencias relacionadas con las competencias de geología, como:

- Lingüísticas: saber comunicarse con geólogos sobre algún tema relacionado con la geología estructural y la geología del petróleo; expresar sus ideas de manera entendible tanto de forma oral como escrita
- Creativas: poseer la capacidad básica para el entendimiento de procesos relacionados con la geología estructural, así como la capacidad de encontrar algún dato estructural por métodos matemáticos.
- Profesionales: saber manejar tanto los conceptos de espacio y tiempo de los procesos geológicos que se desarrollen en la geología estructural y la geología del petróleo.
- Interdisciplinarias: poseer aptitudes y actitudes para abordar y adelantar conceptos interdisciplinarios que le permitan interactuar con profesionales de otros campos técnico – científicos.

2.3 COMPETENCIAS DE LOS DOCENTES

Según los especialistas de la enseñanza, las exigencias intelectuales, emocionales y físicas que pesan sobre los que enseñan no han dejado de crecer en el curso de los últimos años. Esto no hace sino confirmar lo que muchos profesores piensan: el enseñar se ha convertido en una actividad mucho más difícil que en el pasado, (Saint-Onge., 2005).

Varios estudios destacan y deducen que los grandes rasgos que se deben tener en cuenta en la enseñanza son los siguientes, (Saint-Onge., 2005):

- Los métodos de enseñanza están en razón directa con el aprendizaje.
- Las divergencias de importancia en la práctica de la enseñanza explican que unos profesores facilitan mucho más que otros los aprendizajes escolares.
- En la enseñanza, algunas actuaciones están asociadas al éxito del aprendizaje.
- Aunque no existen conductas apropiadas a cada caso, unos modelos de enseñanza están generalmente asociados al éxito de los alumnos.
- La concepción de las mujeres y hombres dedicados a la enseñanza respecto de su papel repercute en la eficiencia de su trabajo.
- Los profesores que conciben su trabajo en el marco del programa de estudios, que se organizan en función de lo que está en el programa y que a él consagran la mayor parte de su tiempo, muestran mayor eficacia.
- La habilidad para organizar un ambiente que mantenga a los alumnos activos en el aprendizaje es un factor importante.
- Los profesores que saben organizar sus clases de manera que haya el mayor tiempo posible para la actividad de aprendizaje de los alumnos favorecen más el aprendizaje al eliminar la pérdida de tiempo debida a la confusión, a los intervalos entre actividades y a la disciplina.
- La habilidad para orientar las actividades de aprendizaje y organizar el estudio es fundamental.

- Las situaciones de aprendizaje donde los que enseñan dirigen la marcha de los alumnos son más favorables que las situaciones donde los alumnos deben aprender por si mismos o por otros alumnos.
- La capacidad de organizar la enseñanza en función de los alumnos influye en la eficiencia de la enseñanza.

Se advierte que los progresos en el aprendizaje son más notables cuando las características de los alumnos, la importancia del enfoque, las frecuentes repeticiones, la introducción de nuevos desafíos y la precisión de las críticas son las que determinan el ritmo del desarrollo del curso.

Enseñar es trabajar para establecer una relación pedagógica, una relación que lleva a una persona a adquirir nuevas capacidades, nuevas tareas y retos. Las tareas de la enseñanza están todas dirigidas a establecer esta relación.

Para la preparación de un curso se debe tener en cuenta una fase de revisión de los materiales, para la enseñanza. Hay siempre una reestructuración del contenido con fines pedagógicos. Con el tiempo, los profesores con experiencia elaboran estructuras conceptuales más ricas en número y coherencia de los conceptos utilizados.

Otro autor ha identificado siete fuentes de conocimientos necesarios para la enseñanza, (Saint-Onge., 2005):

- El conocimiento del contenido: conocimiento y comprensión de la materia que se va a enseñar.
- El conocimiento didáctico: mezcla de conocimientos disciplinarios y pedagógicos que permite a los profesores organizar los conocimientos para facilitar el aprendizaje.
- El conocimiento de la pedagogía general: conocimiento de los diversos métodos de enseñanza, de estrategias y actividades.
- El conocimiento de los alumnos: conocimiento de los que caracteriza a los alumnos y conocimientos de los procesos de aprendizaje que ellos utilizan (teorías de aprendizaje).
- El conocimiento de los contextos: conocimiento de aquello con que los profe-

sores pueden contar para enseñar.

- El conocimiento de las metas, los objetivos y fines: conocimientos de lo que convierte su enseñanza en necesaria.
- El conocimiento del programa: conocimiento de la articulación de los diversos elementos que componen el programa.

Los profesores tiene un campo de competencias propio: ayudar a realizar aprendizaje que modifiquen las capacidades intelectuales de la gente. Esto exige de ellos un gran número de competencias: competencias de mediación, unidas a la interacción cognitiva con los alumnos, y competencias de organización del estudio, unidas al trabajo personal de los alumnos. Estas competencias merecen ser reconocidas y apreciadas no solamente por los profesores, sino también por todos los que se han aprovechado de sus servicios, (Saint – Onge, M., 2005).

2.4 LA IMPORTANCIA DE LA TEORICO-PRACTICA

En la actualidad, el aprendizaje no es de la misma forma que el aprendizaje hace 30 años, cada rato se cambian los métodos de enseñanza, se cambian la facilidad de aprendizaje por medio del alumno, es decir los profesores necesitan estar actualizando la forma de enseñanza, sus métodos, lo temas de la materia que dicta y aparte los alumnos no son los mismos, su capacidades e intereses, cambian con las épocas. Si por ejemplo se trajera un alumno de la época de los 70 y se colocara en un salón de clases actual, no podría entender casi nada de lo que el profesor dicta; Esta acostumbrado a otros métodos, a temas no tan desarrollado.

Actualmente la mayoría de la metodología aplicada en las aulas de clases son teórico-prácticas, porque ayudan a fortalecer los conocimientos aprendidos en el aula. El proceso de enseñanza-aprendizaje parte de la propia experiencia personal o social. La dinámica metodológica incluye todas las estrategias participativas y reflexivas que tiendan a desarrollar la conciencia crítica y su disponibilidad para la acción social. El educador se convierte en un facilitador y animador del proceso educativo, con una actitud que fomenta el dialogo y la consideración positiva del alumno en cuanto persona. Se busca que en la relación educativa predomine el <<ser persona>> más que la ejercitación de los <<roles>> profesor-alumno. (Molina., 2006).

Para crear y desarrollar un clima participativo de aprendizaje, deben eliminarse las amenazas. La situación educativa que promueve más eficazmente un aprendizaje significativo es aquella en que las amenazas al yo del alumno se reducen al mínimo pues, cuando no existe amenaza al sí mismo, la experiencia se percibe de otra manera y resulta más fácil el aprendizaje.

2.5 LA COMUNICACIÓN EN EL AULA

En el aula, es muy importante desarrollar la comunicación docente- alumno, pero para tener comunicación en el aula, el docente y el alumno deben construir una relación a base de motivación, confianza, tolerancia y respeto.

Se debe tener en cuenta que el aula, se considera como un espacio importante, en el cual se interactúa diariamente el docente y los estudiantes. Pero también es el lugar donde el estudiante aprende, comprende y en algunos casos, donde realiza practicas del tema de estudio.

2.5.1 Estrategias de enseñanza y aprendizaje:

Así como la comunicación es esencial, también lo es que el docente se dé a entender, es decir que el docente al explicar un tema, el estudiante analice, comprenda y resuelva problemas relacionado con el tema tanto en el aula como fuera de ella. Esto hace parte de las estrategias de enseñanza y aprendizaje que el docente incluya en la materia.

En la materia de geología estructural y del petróleo, se quiere incluir como parte de la estrategia de enseñanza y aprendizaje al alumno de ingeniería de petróleos, esta guía de laboratorio. Siendo una materia teórico-práctica, se quiere que el estudiante de ingeniería de petróleo desarrolle y analice problemas de la geología estructural y la geología del petróleo, de forma similar al geólogo. Esta guía incluye una breve explicación de varios temas con sus respectivos ejercicios a desarrollar por el estudiante y calificar por el docente para conocer el grado de conocimiento sobre los temas datos en esta guía, y si es necesario reforzar estos temas.

Las estrategias de enseñanza en la escuela de geología, son los procedimientos o recursos utilizados por el docente, para enseñar y promover el aprendizaje. Cabe

recordar que estas estrategias de enseñanza están relacionadas y van a la par con los procesos cognitivos que las estrategias facilitan para promover mejores aprendizajes.

En la Universidad Industrial de Santander y en específico la escuela de geología, se da a elegir al docente diferentes estrategias de aprendizaje que incluyen:

1. Estrategias motivacionales: como el material didáctico, estímulo del ambiente (aula), objetivos de la clase, entre otras.
2. Estrategias de orientación y elaboración de aprendizaje. Estas incluyen las estrategias de aprendizaje individual, las estrategias de aprendizaje en grupo, y las estrategias que ayudan a desarrollar una actitud científica en el estudiante.
3. Estrategias para reforzar el aprendizaje del estudiante.
4. Estrategias para la integración de lo aprendido por el estudiante: estas incluyen tareas, ejercicios en clase, trabajos prácticos, apuntes, guías didácticas, entre otras.
5. Estrategias para que el estudiante puede transferir lo aprendido: estas incluyen proyectos, problemas, investigaciones, entre otras.
6. Estrategias para que el docente evalúe lo aprendido: incluyen ensayos, estudios de casos, problemas, proyectos, entre otras.

Una gran estrategia para que el estudiante desarrolle una actitud científica, son los laboratorios, porque allí se evalúa al estudiante mediante el desarrollo de los diferentes problemas que se le puedan presentar.

2.6 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y DEL PETROLEO:

En la Universidad Industrial de Santander, en la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, la Escuela de Ingeniería de Petróleos tiene dentro del pensum académico, de pregrado en Ingeniería de Petróleos, la asignatura de Geología estructural y del Petróleo.

En esta asignatura se entrena al estudiante y se le suministran los mecanismos

necesarios para interpretar y describir las estructuras de la corteza terrestre, predecir profundidades de los estratos, interpretar mapas geológicos y elaborar mapas estructurales.

Dentro del cronograma de la materia entran temas como la explicación de los términos tectónicos, Geotectónica Microtectónica, estructura; Aproximación al análisis estructural. Métodos y herramientas usadas en Geología Estructural; Métodos directos e indirectos; Relaciones con otros campos de la Geología.

2.6.1 Geología del petróleo:

La geología del petróleo es la utilización de la geología en la búsqueda y explotación de yacimientos de petróleo y gas natural. Los geólogos del petróleo están actualmente pensando y trabajando en el sentido de desentenderse de los prejuicios que han obstaculizado la investigación petrolífera desde sus comienzos; crear nuevos terrenos petrolíferos extendiendo la exploración más allá de los límites previos lateral y vertical; continuar mejorando los instrumentos y técnicas de exploración y alcanzar una mejor integración de los datos geológicos, (Landes., 1963).

2.6.2 Geología Estructural

La geología estructural es la rama de las ciencias geológicas que estudia la arquitectura de la corteza terrestre. No solo describe y clasifica la expresión física de la deformación, sino también analiza y comprende la historia de las causas de esta deformación. Es decir forma parte del estudio de la morfología resultante de la deformación, como las fuerzas deformantes mismas y los procesos mecánicos. La tectónica es la disciplina consagrada al estudio de las estructuras adquiridas por las rocas posteriormente a su formación.

Se define una estructura como el elemento tectónico individual y para el caso de una región significa su configuración interna consistente en una afinidad de elementos tectónicos de todas dimensiones. Las estructuras primarias son formadas simultáneamente con la génesis de la misma roca; las estructuras secundarias son las resultantes de la deformación de rocas ya consolidadas, de fenómenos posteriores.

(León., 1994)

Para el análisis estructural, el estudio de los fenómenos estructurales pueden utilizar dos tipos de análisis, el primero es el análisis geométrico y el segundo es el análisis cinemático, (León., 1994).

- El análisis geométrico se restringe puramente a la morfología de las estructuras. Es un análisis en términos de escala y forma. Se representa por medio de mapas, secciones, bloques diagramas, ilustraciones y fotografías. Esencialmente es la proyección sobre un plano de las características tridimensionales de las estructuras. También se puede representar por medio de la descripción estadística, se juntan muchos elementos individuales estructurales de un área, se agrupan, se utiliza el método de proyección esférica.
- El análisis cinemático es el análisis de los mecanismos de desplazamiento y esto incluye el efecto que tienen las fuerzas deformativas sobre la roca, la secuencia temporal de sucesos y la influencia de temperatura y presión.

Los métodos y herramientas usadas para el estudio de los fenómenos estructurales son los métodos directos e indirectos. Los métodos directos son la observación directa del fenómeno existente, utilizando herramientas como la lupa, las fotografías aéreas, imágenes de radar e imágenes de satélite, entre otras. Los métodos indirectos pueden suministrar información donde los otros métodos no alcanzan, métodos como la sísmica, gravimetría, magnetometría, entre otras, (León., 1994).

2.6.3 Laboratorios:

Los temas de las prácticas a realizar son los siguientes:

1. **Esfuerzos, determinación de rumbo y buzamiento por geometría descriptiva.** Para que el ingeniero de petróleos entienda como son los esfuerzos a los que son sometidos las rocas, y las diferentes inclinaciones que pueden tener las unidades.
2. **Determinación de espesores, espesores aparente, ancho de afloramiento, buzamiento aparente y buzamiento real.** Para que el ingeniero entienda la importancia del cálculo de espesores y anchos de afloramientos en la per-

foración de un pozo; además de conocer el buzamiento de la unidad.

3. **Elaboración de bloques diagrama y proyección de afloramientos para mapas topográficos en áreas plegadas.** Para que el ingeniero comprenda las diferentes herramientas y métodos utilizadas en el estudio y análisis del subsuelo
4. **Uso del estereonet.** Permite al ingeniero un rápido cálculo de datos estructurales faltantes.
5. **Mapas estructurales.** Importantes para el ingeniero porque le permite conocer la forma de los estratos en profundidad y relacionarlos con la perforación.
6. **Mapas de isópacos e isócoras.** Permiten al ingeniero, conocer como varían los espesores de las rocas de interés y su importancia en el cálculo de reservas.

3. CONCLUSIONES

- Esta guía es la primera que se realiza para la materia de geología estructural y del petróleo. Se pretende lograr en esta guía, que el alumno en cada práctica desarrolle y refuerce sus conocimientos en los temas de la materia, cumpliendo los parámetros para desarrollar todas las actividades en términos de competencias.
- Se lograron realizar 6 laboratorios, con duración entre 2 y 6 horas. Tratando de relacionar algunos temas en un solo capítulo, ya que es importante una clara explicación y comprensión del estudiante.
- Estos laboratorios fueron planteados para lograr que el estudiante se contextualice en los temas y perfeccione sus conocimientos.
- Cada capítulo contiene objetivos, introducción, marco teórico, desarrollo de la práctica y conclusiones. Dándole la opción al estudiante lector comprender lo que se quiere realizar en la práctica, los métodos utilizados y evaluar lo aprendido.
- Se invita al estudiante a utilizar la bibliografía contenida en la guía de laboratorio para complementar sus conocimientos sobre los temas tratados o de otras materias relacionadas.

4. RECOMENDACIONES

Este manual está elaborado de manera flexible y puede ser modificado por el profesor encargado de la asignatura, por esta razón se le recomienda al estudiante la comprensión del contenido de cada capítulo, profundizar sobre los modelos planteados y realizar cambios que consideren necesarios para optimizar el aprendizaje.

También se recomienda elaborar guías de laboratorios, para las demás asignaturas teórico-prácticas. Estas guías son importantes para que el estudiante comprenda, desarrolle y analice los temas que contiene cada materia. Además estas guías sirven para actualizar al alumno en métodos más prácticos y con los mismos resultado; por ello también se recomienda estar actualizando las guías de laboratorio.

Esta guía de laboratorio no solo se le recomienda a los estudiantes sino también a los docentes que dictan esta materia, ya que es un material de apoyo y guía en la materia, el cual pueden modificar, actualizar y contextualizar.

5. BIBLIOGRAFIA

ARBELÁEZ, R; VITALIA, M; MONTAGUT, M; PÉREZ, M. 2009. Concepciones sobre Competencias. Bucaramanga: Ediciones UIS, CEDEUIS.

CONSEJO PROFESIONAL DE GEOLOGÍA. 2007. Informe de las competencias propias de los egresados en Geología. Bogotá.

LANDES, K. 1963. Petroleum Geology. Editorial John Wiley & Sons, Inc., de Nueva York.

LEÓN, L. 1994. Geología Estructural. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas, Departamento de Geología.

MOLINA, A. 2006. Aprendizaje centrado en el alumno: Metodología para una escuela abierta. Narcea, S. A. de ediciones Madrid.

ONTORIA, A; GOMEZ, J; LUQUE, A; MOLINA, A. 2006. Aprendizaje centrado en el alumno: Metodología para una escuela abierta. Narcea, S. A. de ediciones Madrid.

PROYECTO TUNING - AMÉRICA LATINA. 2007. Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina. Universidad de Deusto; Universidad de Groningen.

ROMERO, Y. 2011. Propuesta de reforma curricular bajo la visión de competencias, para la línea de yacimientos energéticos. Tesis trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander.

SAINT – ONGE, M. 2005. Yo explico, pero ellos... ¿Aprenden?. Ediciones Mensajero; Segunda edición.

CONSULTAS VIRTUALES:

CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERIA DE PETRÓLEOS. Video de competencias- CPIP. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=sB4IXI-kR04>

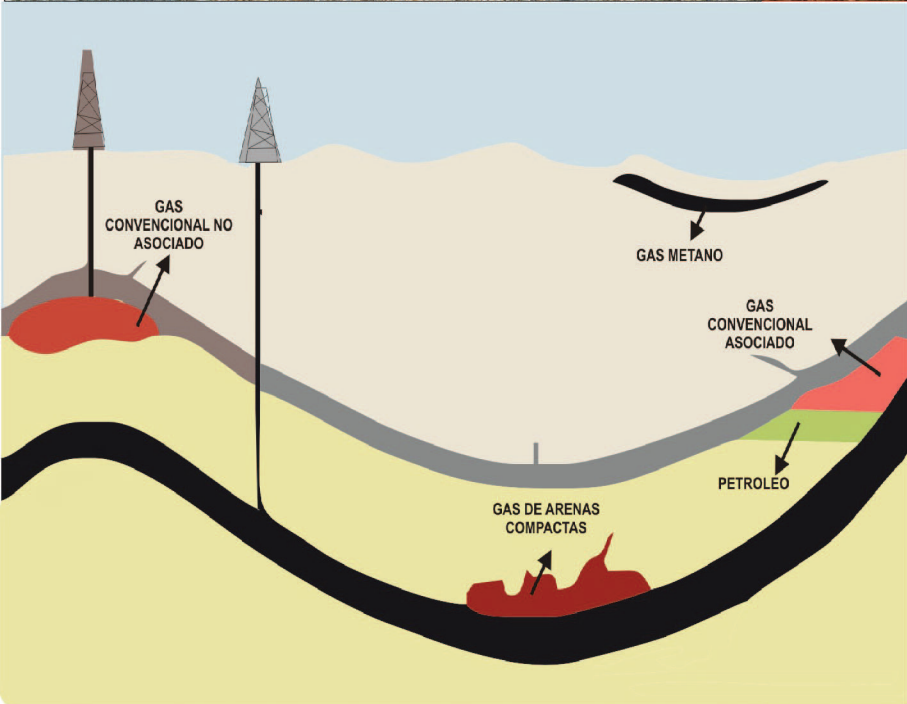
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Programa académico de ingeniería de petróleos.

<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoQuimicas/escuelas/ingenieriaPetroleos/programaAcademicos/ingenieriaPetroleos/index.jsp?variable=32>.

(LA BIBLIOGRAFIA DE LA GUIA ESTA CONTENIDA EN ESTA)t

ANEXO

GUIA DE LABORATORIO DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y DEL PETROLEO
PARA INGENIEROS DE PETROLEO.



GUIA DE LABORATORIO DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y DEL PETROLEO

Autor:
Cristina Isabel Rivas Pelayo

Director:
Ricardo Mier Umaña

Codirector:
Juan David Badillo Requena

Universidad Industrial de Santander
2014

Universidad
Industrial de
Santander



GUÍA DE LABORATORIO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DEL PETRÓLEO
PARA INGENIEROS DE PETRÓLEO

CRISTINA ISABEL RIVAS PELAYO

Trabajo de grado para optar al título de Geóloga.

DIRECTOR:

RICARDO MIER UMAÑA

Geólogo

CODIRECTOR:

JUAN DAVID BADILLO REQUENA

Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2014

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
PRÁCTICA No 1: ESFUERZOS, DETERMINACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO POR GEOMETRIA DESCRIPTIVA	13
OBJETIVOS	13
INTRODUCCIÓN.....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
Esfuerzo	14
Circulo de Mohr	21
Rumbo y buzamiento.....	23
Método trigonométrico.....	26
Nomograma.....	28
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	31
CONCLUSIONES.....	33
PRÁCTICA No 2: DETERMINACION DE ESPESORES, ESPESORES APARENTES, ANCHO DE AFLORAMIENTO, BUZAMIENTO APARENTE, BUZAMIENTO REAL.....	34
OBJETIVOS	34
INTRODUCCIÓN.....	34
MARCO TEÓRICO.....	35
Buzamiento real y aparente.....	35
Método grafico.....	35
Buzamiento real a partir de dos buzamientos aparentes	38
Espesor	40

Medición directa	41
Medición indirecta.....	43
Profundidad	46
Problemas de los tres puntos	48
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	51
CONCLUSIONES.....	53
PRÁCTICA No 3: ELABORACION DE BLOQUES DIAGRAMA Y PROYECCION DE AFLORAMIENTOS PARA MAPAS TOPOGRAFICOS EN AREAS PLEGADAS.....	54
OBJETIVOS	54
INTRODUCCIÓN.....	54
MARCO TEÓRICO	54
Bloque diagrama	54
Topografía.....	55
Corte estructural	55
Perfil topográfico.....	56
Corte estructural	58
Exageración vertical	62
Proyección de afloramientos para mapas topográficos en áreas plegadas	63
Regla de las Vs	64
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	68
CONCLUSIONES.....	72
PRÁCTICA No 4: USO DE ESTEREONET.....	73
OBJETIVOS	73
INTRODUCCIÓN.....	73
MARCO TEÓRICO.....	74
Proyección estereográfica	74
Buzamiento aparente	81

Buzamiento real.....	83
Intersección de dos planos.....	84
Rotaciones.....	85
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	89
CONCLUSIONES.....	91
PRÁCTICA No 5: MAPAS ESTRUCTURALES.....	94
OBJETIVOS	94
INTRODUCCIÓN.....	94
MARCO TEÓRICO	95
Método de trazado.....	96
construcción	97
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	100
CONCLUSIONES.....	101
PRÁCTICA No 6: MAPAS ISOPACOS.....	104
OBJETIVOS	104
INTRODUCCIÓN.....	104
MARCO TEÓRICO	105
Construcción de mapas isópacos.....	106
Normas de construcción.....	106
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	108
CONCLUSIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111

TABLA DE GRAFICAS.

	Pág.
Figura 1. Tipos de fuerzas de superficie.....	15
Figura 2. El daño producido por el jugador de futbol americano, ejerciendo la fuerza (su peso) en una sola parte de la superficie o abarcando mayor parte.....	16
Figura 3. Componentes del esfuerzo.....	18
Figura 4. Tensor de segundo orden con las 9 componentes de un estado de esfuerzo.....	19
Figura 5. Circulo de Mohr para esfuerzos.....	22
Figura 6. Estados de esfuerzos en dos dimensiones utilizando los círculos de Mohr, a) tensión hidrostática, b) tensión general, c) tensión uniaxial, d) tensión y compresión, e) cizallamiento puro, f) compresión uniaxial, g) compresión general, h) compresión hidrostática.....	23
Figura 7. Determinación del Rumbo y buzamiento sobre un plano inclinado.....	24
Figura 8. Un buzamiento real y dos buzamientos aparentes.....	26
Figura 9. Los datos aparente N 72 W/10° y N 35 E/25°	27
Figura 10. Método grafico para hallar la dirección de la capa.....	28
Figura 11. Nomograma.....	29
Figura 12. Dados el buzamiento aparente y el ángulo entre el rumbo y buzamiento aparente se halla el buzamiento real.....	30
Figura 13. Bloque diagrama que indica los ángulos involucrados en el problema de buzamiento real y buzamiento aparente.....	36
Figura 14. Método grafico para hallar la distancia “d”	37
Figura 15. Construcción de la gráfica a partir del buzamiento real y la dirección de	

la capa para hallar el buzamiento aparente.....	37
Figura 16. Bloque diagrama donde se indica los ángulos del problema de determinar el buzamiento real y dirección de la capa a partir de dos buzamientos parentes.....	38
Figura 17. Dados dos buzamientos aparentes, hallar el buzamiento real.....	39
Figura 18. Grafica de buzamiento real y dirección de la capa a partir de dos buzamientos aparentes.....	39
Figura 19. Bloque diagrama donde se observa el espesor t , espesor aparente t' y la profundidad d	40
Figura 20. Medición directa de una capa, (a) horizontal, (b) vertical.....	42
Figura 21. Medición directa de una capa inclinada, con una vara de Jacob.....	43
Figura 22. Medición indirecta.....	44
Figura 23. Determinación del espesor t a partir del ancho del afloramiento en un terreno inclinado.....	45
Figura 24. Bloque diagrama en el que se representa un trayecto medido oblicuo en un terreno inclinado.....	46
Figura 25. Bloque diagrama que muestra la profundidad d dese una superficie horizontal.....	47
Figura 26. Determinación de la profundidad a partir de la distancia m medida en un terreno inclinado.....	48
Figura 27. Problema de los 3 puntos.....	50
Figura 28. Bloque diagrama donde los estratos tienen baja inclinación.....	55
Figura 29. Bloque diagrama donde los estratos tiene inclinación.....	56
Figura 30. Topografía en un bloque diagrama. a) mapa topográfico. b) superficie topografica.....	58
Figura 31. Línea del corte y construcción de un perfil topográfico en base a un	

mapa	60
Figura 32. Corte estructural. (a) Sin exageración. (b) Verticalmente exagerado...	63
Figura 33. Corte estructural en una zona con sinclinales y anticlinales.....	64
Figura 34. Patrones de afloramiento que representan la regla de la V. a) capa horizontal, b) capa que buza rio arriba, c) capa vertical, d) capa que buza rio abajo, e) capa y valle de la misma inclinación, f) capa que buza rio abajo con un ángulo menor que el gradiente del valle.....	67
Figura 35. Representación de un plano inclinado. (a) bloque diagrama. (b) representación en la esfera.....	74
Figura 36. Proyección estereográfica de un plano inclinado. (a) proyección al plano ecuatorial horizontal. (b) estereograma correspondiente.....	75
Figura 37. Falsilla Estereográfica Meridional o de Wulff.....	76
Figura 38. Rotación del transparente y cálculo de la dirección N30°E.....	77
Figura 39. Representación del plano N30°E/40°E.....	78
Figura 40. Construcción del polo.....	79
Figura 41. Proyección estereográfica de una línea (S 42°E/30°).....	80
Figura 42. Proyección estereográfica de un plano que contiene una línea.....	81
Figura 43. Buzamiento aparente a partir del buzamiento real y la dirección de la capa.....	82
Figura 44. Determinación de cabeceo.....	83
Figura 45. Buzamiento real a partir de dos buzamientos aparentes.....	84
Figura 46. Línea de intersección de dos planos. (a) La inmersión y el cabeceo de la línea. (b) Angulo diedro entre los dos planos.....	85
Figura 47. Rotación de un plano alrededor de un eje vertical.....	87
Figura 48. Rotación de un plano alrededor de un eje horizontal.....	88

Figura 49. Mapa contorneos estructurales	98
Figura 50. Mapa de contorneos estructurales.	99

TABLA DE VIDEOS.

	Pág.
Video 1. Calculo buzamiento	25
Video 2. Proyección de tres puntos	49
Video 3. Representación 3d de un mapa	57
Video 4. Corte estructural con estratos horizontales	61
Video 5. Corte estructural a partir de mapas geológicos	61
Video 6. Regla de las Vs	65
Video 7 Conceptos básicos sobre mapas	95

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo1: Falsilla de Wulff.....	92
Anexo2: Falsilla de Schimidt.....	93
Anexo3: Ejercicio práctica 5.....	102
Anexo4: Ejercicio práctica 5.....	103

INTRODUCCIÓN

Esta guía de laboratorio ha sido escrita, en respuesta a la necesidad de los estudiantes y docentes de la materia de geología estructural y del petróleo, de la escuela de ingeniería de petróleos, para tener a su disposición un manual de la asignatura teórico- práctica. Se decidió implementar este manual por la falta de una guía que sirva para complementar en la práctica la parte teórica.

La presente guía de laboratorio contiene los temas correspondientes a la asignatura de “geología estructural y del petróleo. Esta guía se hizo con el fin de que los estudiantes de ingeniería de petróleos tengan conocimiento, analicen e interpreten estos temas, logrando así que los estudiantes tengan conocimientos de los temas relacionados con geología estructural y geología del petróleo. También le permitirá comunicarse adecuadamente con sus colegas y profesionales del área de geología. Las prácticas están divididos en las siguientes partes: (1) objetivos, (2) introducción, (3) marco teórico, (4) desarrollo de la práctica, (5) conclusiones.

En la práctica No 1 se quiere que el estudiante tenga una idea clara de cómo las rocas están sometidas a esfuerzos. También se quiere que conozcan como es la orientación de las capas, ya que estas raramente son horizontales, utilizando así el método trigonométrico para hallar el rumbo y buzamiento.

La práctica No 2, contiene temas como la determinación de rumbos y buzamientos real o aparente mediante otros métodos como el método gráfico; pero también se le quiere enseñar al estudiante a determinar el espesor, profundidad y anchos de afloramientos para que tengan una idea clara de estos al momento de hacer una perforación.

La práctica No 3, se enfoca en que el estudiante tenga una idea en 3 dimensiones del subsuelo y a partir de mapas y que a su vez sepan interpretar los datos contenidos en los mapas y utilicen métodos como la “regla de las Vs” para determinar la dirección de buzamiento.

En la práctica No 4 se le quiere enseñar al estudiante un método rápido y eficaz de hallar el rumbo y buzamiento, gastando poco tiempo. Además hallar la dirección de una capa antes de que fuera sometida a un esfuerzo y la cambiara.

En las prácticas No 5 y 6 se le quiere enseñar al estudiante a realizar mapas estructurales e isópacos, así puedan analizar y desarrollar sus habilidades interpretativas.



PRÁCTICA No 1: ESFUERZOS, DETERMINACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO POR GEOMETRIA DESCRIPTIVA.

OBJETIVOS:

- Comprender y calcular esfuerzos utilizando el círculo de Mohr.
- Calcular e interpretar problemas sobre esfuerzos.
- Determinación del rumbo y buzamiento por geometría descriptiva dado un dato real y otro dato aparente.
- Determinación del rumbo y buzamiento por geometría descriptiva dado dos datos aparentes.

DURACIÓN: 2 HORAS

INTRODUCCION

Al estudiar la tierra, se encuentra que cualquier punto en el interior como el exterior de la tierra está sometido a sistemas de esfuerzos. Dependiendo de las propiedades físicas y químicas de la zona que se somete al esfuerzo, este se deforma o se fractura fácilmente, ya que todos los materiales sufren una deformación ante un esfuerzo pero dependiendo de las propiedades alcanza el punto de ruptura. Por ello es importante conocer cómo reacciona un cuerpo ante una fuerza impuesta.

Dependiendo de la zona que se sometió ante el esfuerzo, estas zonas con el paso del tiempo se pueden transformar en futuros reservorios de hidrocarburos, fallas, entre otras estructuras.

La geología estructural que es la encargada de estudiar e interpretar la geometría de las rocas y su relación espacial, determinando así las deformaciones que presenta; además es útil con la documentación necesaria para recopilar datos de campo como rumbo, buzamiento real, buzamiento aparente, entre otras.



En este capítulo se quiere ayudar a documentar al estudiante en el cálculo, interpretación y comprensión del esfuerzo producido en objetos y la determinación del rumbo y buzamiento mediante la geometría descriptiva, y su aplicación en la ingeniería de petróleos que se relaciona con los esfuerzos efectuados sobre la roca durante el proceso de perforación o para tener en cuenta los esfuerzos a que está sometida la roca de manera regional, para hacer más eficiente el proceso de perforación para fracturar la roca artificialmente.

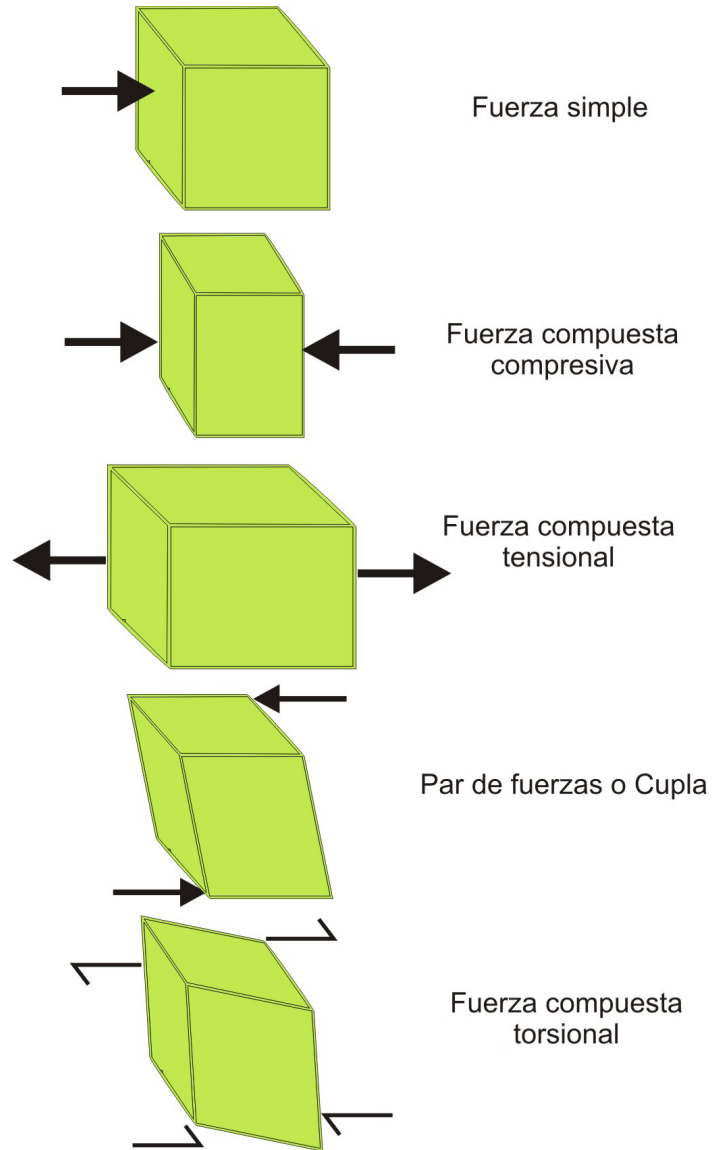
MARCO TEORICO

ESFUERZO

Lo primero que se debe tener en cuenta es la definición de fuerza. la fuerza se define como una magnitud vectorial que tiende a producir una deformación en su estructura externa e interna y se puede expresar de la siguiente manera: $F=m*a$, donde “m” es la masa y “a” es la aceleración. Las fuerzas superficiales dependen siempre de causas al cuerpo y no guardan ninguna relación con las masas del cuerpo. Las masas superficiales se dividen en simples y compuestas, las fuerzas simples tienden a producir movimiento y las compuestas tienden a producir distorsión. Que realmente se produzca o no deformación, dependerá de su intensidad y de las propiedades del cuerpo o de su situación. (Martínez., 2003). Figura 1.



Figura 1. Tipos de fuerzas de superficie

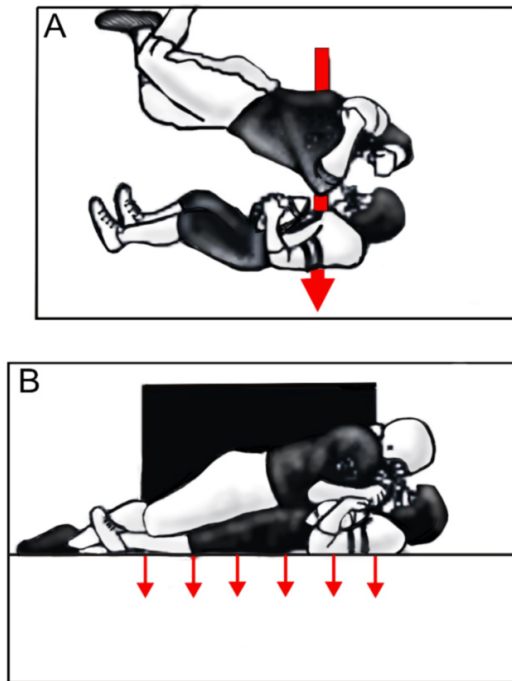


El esfuerzo por otra parte, se define como la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un plano cualquiera de un cuerpo. Es decir, es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie sobre la cual se aplica. Una fuerza aplicada a un cuerpo es la misma con independencia de la superficie del mismo sobre el cual se aplique, si se aplica en una sola parte del cuerpo o en todas partes, teniendo diferentes resultados; según lo anterior se puede deducir que al variar la superficie,



varía la relación fuerza/superficie, que es el esfuerzo. (Martínez., 2003). Ver Figura 2.

Figura 2. El daño producido por el jugador de futbol americano, ejerciendo la fuerza (su peso) en una sola parte de la superficie o abarcando mayor parte.



Modificado de: Martínez, J. 2003.

El esfuerzo se puede expresar como: $\delta = F/A$, donde “F” es la fuerza y “A” es el área que resiste la fuerza. Las unidades utilizadas para las mediciones de esfuerzo y fuerza, en el sistema cegesimal y sistema internacional son:

Sistema cegesimal: 1 dina= gr*cm/seg² 1 baria= 1 dina/cm²

Sistema internacional: 1 newton=Kg*m/seg² 1 pascal= 1 newton/m²

Conversiones:

1 bar= 10⁶ barias 1 Kbar= 10³bars= 10⁹barias



$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 10 \text{ barias}$$

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bars}$$

$$1 \text{ GPa} = 10 \text{ Kbars}$$

Pero los anteriores tipos de fuerzas no son las únicas, también existen otros tipos de fuerzas como las fuerzas del cuerpo y las fuerzas de superficie; pero en esta materia nos interesan los esfuerzos causados en las rocas por la gravedad y los que son causados por fuerzas independientes de la masa del cuerpo.

La gravedad crea un esfuerzo llamado presión litostática. La presión litostática es el esfuerzo que sufre un determinado punto de la Tierra debido al peso de las rocas que tiene encima; si comparamos la presión litostática con la presión hidrostática en los líquidos, se obtiene que esta última sea igual al esfuerzo creado por la columna de líquido que hay encima de un determinado punto. La presión hidrostática es igual en todas las direcciones, de forma que no sólo actúa en la vertical. Por ejemplo si se sumerge un pequeño globo esférico inflado de gas en una piscina o tanque, el globo va perdiendo volumen al ser sumergido, debido a la presión que ejerce el líquido, pero su forma sigue siendo esférica, lo que indica que se comprime en todas direcciones por igual. (Martínez., 2003).

La presión litostática se calcula como:

$$\text{Esfuerzo vertical} = P_L = \rho * g * z$$

$$\text{Fuerza vertical} = \rho * g * z^3$$

Donde “ ρ ” es la densidad media de las rocas que hay por encima del punto, “ g ” es el valor de la aceleración de la gravedad y “ z ” es la profundidad.

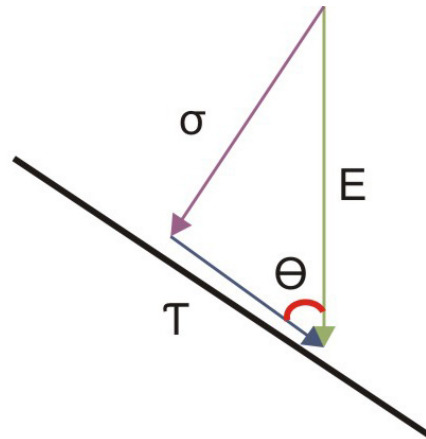
La presión litostática no suele ser de tipo hidrostático, salvo que las rocas se comporten como líquidos, lo cual sucede en los magmas. Por lo tanto, el esfuerzo en la dirección vertical al que está sometido un punto de la Tierra en profundidad, es igual a la presión litostática, mientras que el esfuerzo en cualquier otra dirección, suele ser diferente.

Un vector esfuerzo que actúa sobre un plano lo hace oblicuamente a él. Un esfuerzo que actúa perpendicularmente a un plano se denomina *esfuerzo normal*, y uno que



actúa paralelamente a un plano se denomina *esfuerzo de cizalla*. Un vector de esfuerzo oblicuo puede descomponerse en uno perpendicular al plano y en otro paralelo a él. El esfuerzo normal es el esfuerzo que tiende a comprimir o separar, según sea de tipo compresivo o tensional. En cambio, el *esfuerzo de cizalla* tiende a romper el cuerpo por ese plano y a desplazar las dos mitades del cuerpo una junto a la otra. (Martínez, J. 2003). Ver Figura 3.

Figura 3. Componentes del esfuerzo



Las componentes de un esfuerzo que actúa sobre un plano con el que forma un ángulo Θ son:

$$\sigma = E \cdot \text{sen } \Theta$$

$$\tau = E \cdot \text{cos } \Theta = \text{esfuerzo paralelo al plano (cizallante)}$$

Un estado de esfuerzo se define como el conjunto de los infinitos vectores esfuerzo que actúan sobre los infinitos planos que pasan por un punto, en un instante dado. Esto ya no es una magnitud vectorial, sino una cantidad física compuesta de infinitos vectores. (Martínez., 2003). Los esfuerzos se pueden representar mediante un elipsoide de esfuerzo, que es la superficie tridimensional que se obtendría uniendo todos los extremos de los vectores esfuerzo que actúan sobre un punto en un instante dado. Si se representan en dos dimensiones, la figura que lo representaría sería una elipse.

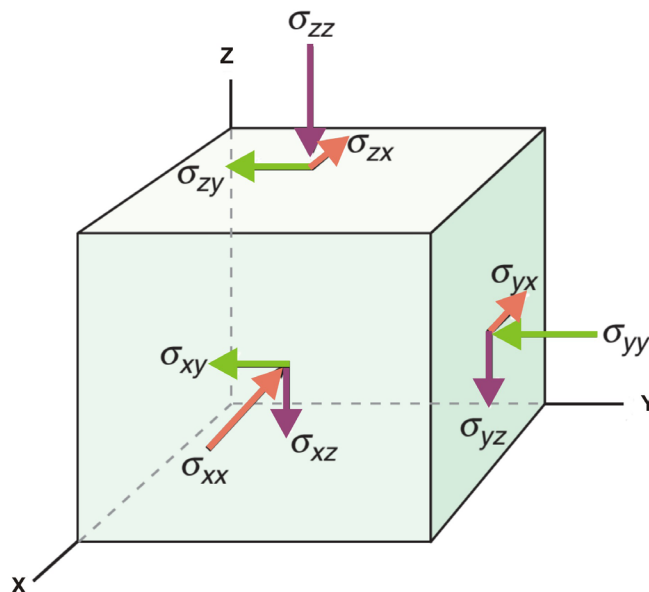
Los tensores son cantidades físicas que expresan diferentes cosas. Los tensores de orden cero son los llamados escalares, cantidades físicas que se expresan en simples



números (ejemplo, $T=25^\circ$); los tensores de primer orden son vectores, cantidades físicas que representan una intensidad, pero también una dirección y un sentido en el espacio (ejemplo, $F: (6,3,4)$, es una fuerza cuya dirección en coordenadas es $x=6$, $y=3$, $z=4$; y cuya intensidad es $F = (6^2+3^2+4^2)^{1/2}=7.81$ unidades de fuerza); los tensores de segundo orden o también llamados vectores de deformación, son cantidades físicas que representan, infinitos vectores o que expresan una propiedad que permite establecer una relación entre dos vectores. Un tensor de segundo orden necesita 9 cantidades o componentes. (Martínez., 2003.)

El vector esfuerzo actúa sobre cada plano de coordenadas cartesianas, incluyendo las tres componentes, la componente normal y las dos componentes de cizalla que actúan según las direcciones. Ver Figura 4

Figura 4. Tensor de segundo orden con las 9 componentes de un estado de esfuerzo.



Modificado de: Fossen, H. 2010.

Las componentes se denotan como σ_{ij} , donde “i” es el eje de coordenadas perpendicular al plano, y “j” es el eje paralelo la componente.

Cada elipsoide de esfuerzo tiene tres ejes perpendiculares entre sí, que se llaman esfuerzos principales. A los tres ejes del elipsoide de esfuerzos se le denominan σ_1 ,



σ_2 , σ_3 , de forma que: σ_1 sea mayor o igual que σ_2 y que éste último sea así mismo mayor o igual que σ_3 . Una propiedad importante de los esfuerzos principales es que son siempre esfuerzos normales, es decir, son perpendiculares al plano sobre el que actúan. Por tanto, los tres planos son perpendiculares entre sí. (Martínez., 2003.)

Los estados de esfuerzo se clasifican en uniaxial, biaxial y triaxial, según que dos, uno o ninguno de los esfuerzos principales sea cero: (Martínez., 2003.)

- Estado de esfuerzo uniaxial: sólo existe un esfuerzo principal. La figura geométrica que lo representa es un par de flechas de igual magnitud y sentidos opuestos.
- Estado de esfuerzo biaxial: sólo existen dos esfuerzos principales, σ_1 y σ_2 . Si $\sigma_1 = \sigma_2$, la figura geométrica sería una circunferencia. Si σ_1 es compresivo y σ_2 es tensional, entonces la figura que une las puntas o las colas no es una elipse y no puede hablarse de elipse de esfuerzos en ese caso.
- Estado de esfuerzo triaxial: existen tres esfuerzos principales: σ_1 , σ_2 y σ_3 . La figura es en este caso un elipsoide salvo que, σ_1 sea compresivo y σ_3 sea tensional, en cuyo caso no puede hablarse de elipsoide de esfuerzo, aunque sí de estado y de tensor de esfuerzo. Los esfuerzos triaxiales son los normales en la naturaleza y se subdividen en poliaxiales, axiales e hidrostáticos:
- Estado de esfuerzo poliaxial: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Los tres esfuerzos principales son diferentes y la figura que lo representa es un elipsoide de tres ejes.
- Estado de esfuerzo axial: $\sigma_1 = \sigma_2$ o bien $\sigma_2 = \sigma_3$. Dos de los esfuerzos Principales son iguales y la figura que lo representa es un elipsoide de revolución, es decir, uno cuya superficie puede ser generada girando una elipse alrededor de uno de sus ejes.
- Estado de esfuerzo hidrostático: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$. Los tres esfuerzos principales son iguales, la figura que lo representa es una superficie esférica. En este caso todo son esfuerzos principales y todos actúan en planos perpendiculares entre ellos. Este tipo de esfuerzo se da en fluidos en reposo, no hay ningún plano que esté sometido a esfuerzos de cizalla.



CIRCULO DE MOHR

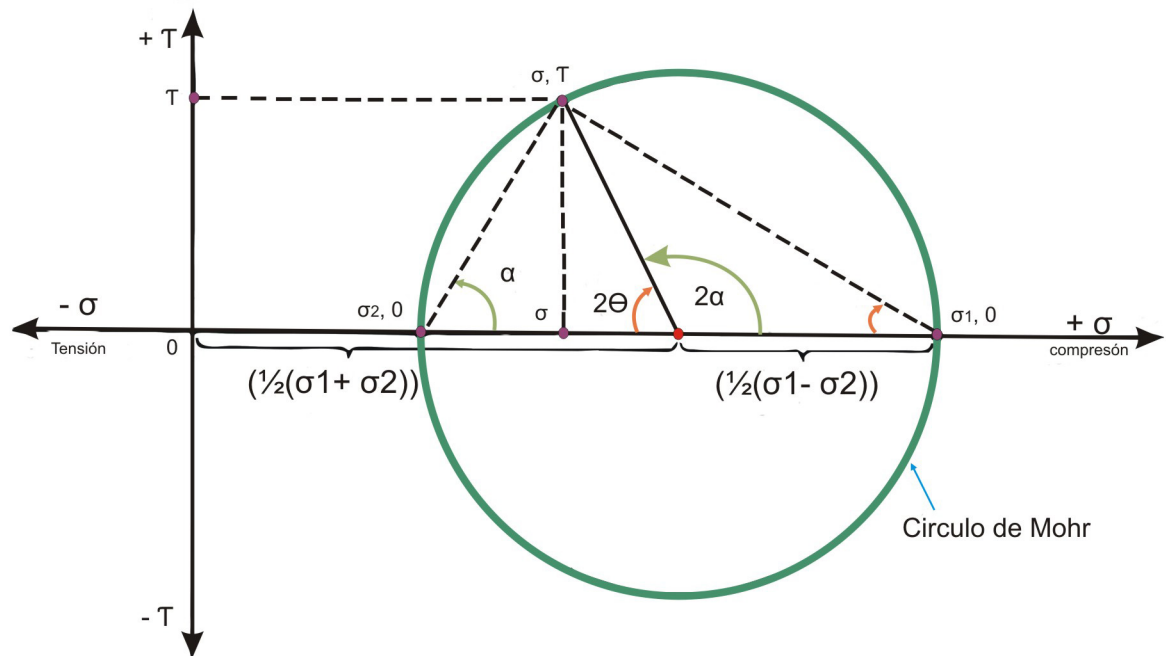
El círculo o diagrama de Mohr, fue inventado por el ingeniero alemán Otto Mohr en 1882, para efectuar los cálculos de modo gráfico de la componente normal y de cizalla del esfuerzo que actúa sobre un plano. En la naturaleza normalmente se encuentran estados de esfuerzos de tipo triaxiales, para trabajar en dos dimensiones del plano se asume que el esfuerzo principal σ_3 no está, es decir se trabaja solo con σ_1 y σ_2 .

Antes de empezar con la construcción del círculo de Mohr se debe tener en cuenta que los esfuerzos normales compresivos son positivos, mientras que los esfuerzos normales tensionales son negativos, y los esfuerzos de cizalla senestros son positivos y los esfuerzos de cizalla dextros son negativos.

La construcción gráfica parte de un par de ejes de coordenadas. En las abscisas se representan los esfuerzos normales y en las ordenadas los esfuerzos de cizalla. En las abscisas, se coloca el valor correspondiente de los esfuerzos principales normales, y el punto medio entre los dos ($\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)$). Haciendo centro en ese punto, se traza una circunferencia que pase por los esfuerzos principales σ_1 y σ_2 . Su radio es ($\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)$). El ángulo "θ", se representa trazando una línea con vértice en σ_1 , desde el eje de las abscisas; el ángulo "α", que forma la normal al plano con σ_1 , se representa trazando una línea con vértice en σ_2 . Al trazar el ángulo "θ" y ángulo "α", estos se cortan en un punto de la circunferencia, que representa las componentes del esfuerzo en ese plano (σ , τ). Ver Figura 5



Figura 5. Circulo de Mohr para esfuerzos.



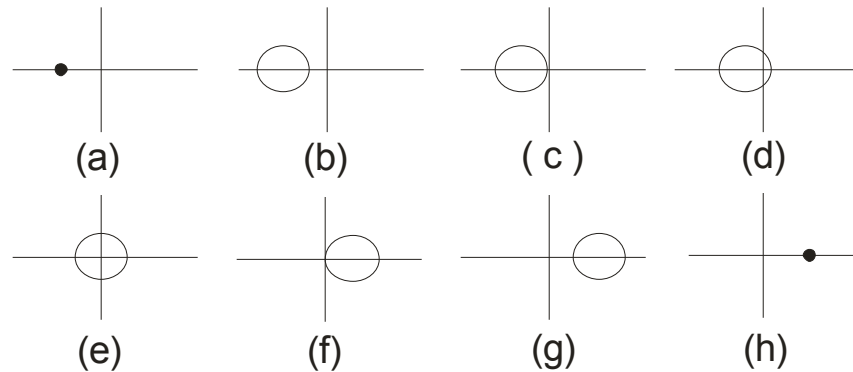
Modificado de: Martínez, J. 2003.

Aplicando las relaciones trigonométricas obtendríamos en la abscisa que el punto es: $\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \cos 2\alpha$ y su ordenada es: $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \sen 2\alpha$, que son los valores de "σ" y "T", respectivamente. Para los ángulos 2α y 2θ ver Figura 6.

Ademas de representar los estados de esfuerzos, el circulo de Mohr sirve para representar distintos tipos de estados de esfuerzos bidimensionales. Un estado hidrostático se representa con un punto, pues todos los esfuerzos son iguales y todos son principales. Un estado uniaxial se representa por circulos que pasa por el origen, pues uno de los esfuerzos principales vale cero. Un estado de cizallamiento puro se denomina cuando $\sigma_1=0$ y σ_2 es negativo o cuando σ_1 es positivo y $\sigma_2=0$. (Martínez, J. 2003). Ver Figura 6



Figura 6. Estados de esfuerzos en dos dimensiones utilizando los círculos de Mohr, a) tensión hidrostática, b) tensión general, c) tensión uniaxial, d) tensión y compresión, e) cizallamiento puro, f) compresión uniaxial, g) compresión general, h) compresión hidrostática.



RUMBO Y BUZAMIENTO

Es muy importante para el ingeniero de petróleo conocer los datos de rumbo y buzamiento, porque al momento de analizar el subsuelo y comprobar las estructuras se necesitan conocer estos datos; además de ser útil al momento de hacer los cálculos para la perforación de un pozo.

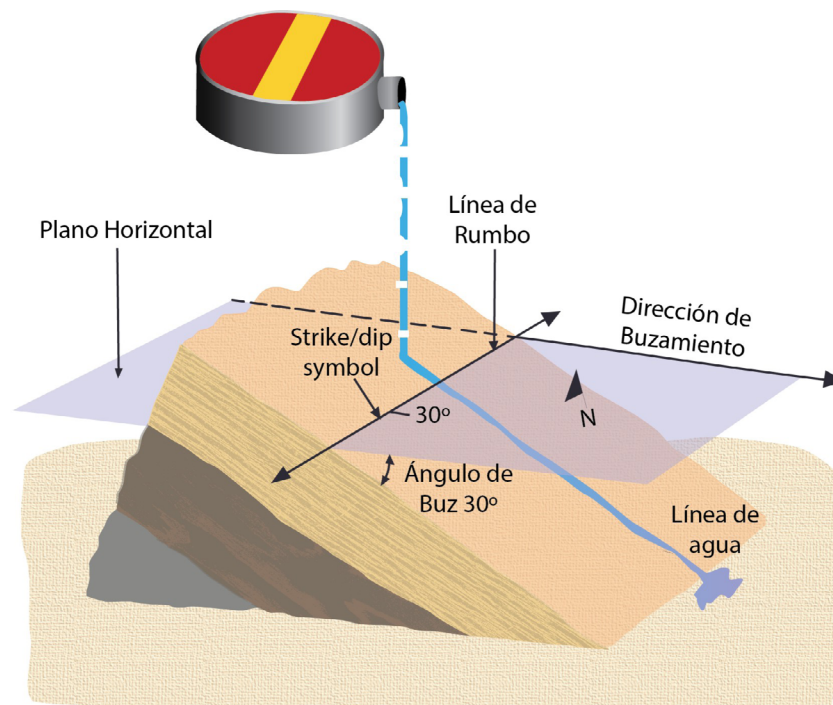
Lo primero antes de conocer cómo se calcula el rumbo y el buzamiento a partir de cálculos tomados en campo y por geometría descriptiva, se debe tener claras algunas definiciones importantes; como la orientación, rumbo, azimut, inclinación, buzamiento, dirección de buzamiento y buzamiento aparente. Ver Figura 7.

- **Orientación:** termino que describe la disposición de un plano o línea estructural en el espacio. Son componentes de la orientación el rumbo o azimut y la inclinación.
- **Rumbo:** ángulo que forma la línea de intersección del estrato con un plano horizontal. En la práctica asume valores entre 0° y 90° .
- **Azimut:** ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico, asume valores entre 0° y 360° .
- **Inclinación:** ángulo vertical formado por un plano vertical imaginario y un plano o línea cualquiera medida hacia abajo.



- **Buzamiento:** inclinación de la línea de máxima pendiente de un plano inclinado. Se mide perpendicular a la dirección de la capa.
- **Dirección de Buzamiento:** es el rumbo o azimut de una línea horizontal contenida dentro del plano de buzamiento.
- **Buzamiento aparente:** inclinación de un plano medida en una dirección no perpendicular a la dirección del plano.

Figura 7. Determinación del Rumbo y buzamiento sobre un plano inclinado.



Fuente: Fossen, H. 2010

Para obtener un mayor entendimiento de cómo se halla y cuál es la diferencia entre el buzamiento real y el buzamiento aparente, se le recomienda ver el siguiente video de “Calculo de buzamientos”. (Dar clic sobre el video para reproducir)



Video 1. Cálculo de buzamientos.

El buzamiento de un estrato es el ángulo de inclinación de su línea de máxima pendiente. Cualquier otra línea contenida en el plano de la capa tendrá un ángulo de inclinación menor que el buzamiento.

Si se hace un corte vertical en una zona en la que existe un plano inclinado (ABCD), el buzamiento que la capa aparentará tener será el de la línea de intersección con el plano del corte.

Pueden darse tres situaciones:

- Buzamiento real
- Buzamiento aparente
- Buzamiento nulo

1.- Seleccione la opción que desee para ver las tres posibles situaciones.

2.- Pulse el botón avanzar (▶) para obtener el cálculo del buzamiento real a partir del aparente.

The diagram shows a rectangular cross-section with vertices labeled A (top-left), B (top-right), C (bottom-right), and D (bottom-left). A green shaded area represents an inclined plane. A large play button icon is centered over the diagram, with the text 'PLAY VIDEO' below it. The video player interface includes a progress bar at the bottom.

Fuente: Cartografía geológica

Los términos de buzamiento y dirección se aplican a cualquier estructura plana y ambos valores juntos establecen la orientación del plano en el espacio. El plano más frecuente de encontrar es el plano de estratificación, por lo tanto, también el más utilizados en los estudio de geología estructural. Pero también se utilizan otros planos estructurales como la exfoliación, diaclasas, entre otras. (Ragan, D. 1980). En geología normalmente se usa para determinar la posición de los estratos, niveles, miembros y formaciones.

Existen varios métodos para determinar la orientación de los planos estructurales, todas se basan en las mediciones de campo de una u otra forma. Para las mediciones en campo, el método más directo es apoyar directamente la brújula en la estratificación, pero también existen otros métodos indirectos.

**Método trigonométrico.**

Un método práctico de hallar los ángulos de buzamiento es el método trigonométrico. El método trigonométrico utiliza los valores obtenidos por geometría descriptiva donde se busca conocer y manejar el problema en 3 dimensiones.

Por lo general este método se combina con el método gráfico hasta la construcción de los triángulos rectángulos. A partir de esa construcción se establece la relación trigonométrica entre el buzamiento real δ , el buzamiento aparente α y el ángulo β entre la dirección de la capa y la dirección de buzamiento aparente es

$$\tan \alpha = \tan \delta * \text{sen } \beta$$

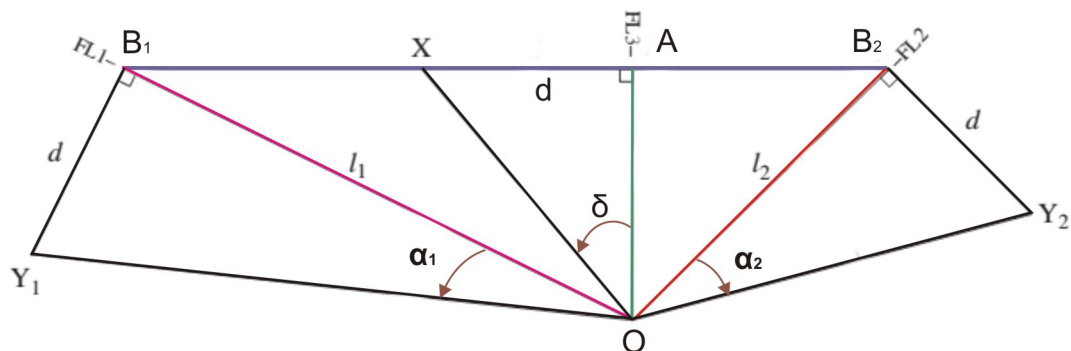
Así, si solo se conocen dos de las variables, se puede calcular la tercera fácilmente, análogamente, el buzamiento real y la dirección de la capa se pueden obtener a partir de dos buzamientos aparentes mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tan \vartheta \cong \left\{ \left(\frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1} \right) - \cos \theta \right\} / \text{sen } \theta$$

$$\tan \delta = \frac{\tan \alpha}{\text{sen } \beta}$$

Donde α_1 y α_2 son los ángulos de buzamiento aparente, " θ " es el ángulo entre los dos rumbos de buzamiento aparente y " ϑ " es el ángulo entre el rumbo de α_1 y la dirección de buzamiento real. (Ragan, D. 1980). Ver la Figura 8, $\theta = \text{ángulo } B_1OB_2$, $\vartheta = \text{ángulo } B_1OA$.

Figura 8. Un buzamiento real y dos buzamientos aparentes



Modificado de: Ragan, D. 2009

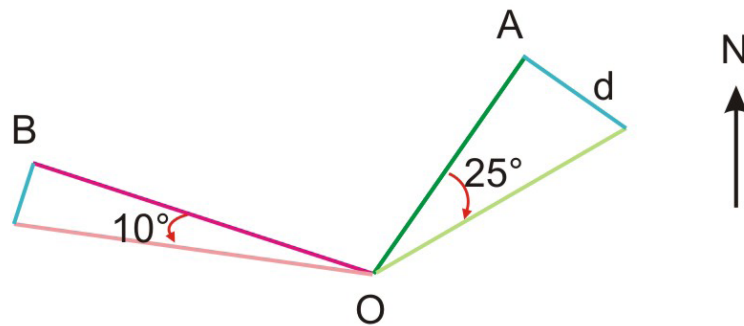
**Ejemplo:**

Dados dos datos aparentes (N 72 W/10° y N 35 E/25°), hallar el buzamiento real y la dirección del plano.

Para construir el grafico se debe:

1. orientar el papel como un mapa y a partir de un mismo punto, trazar la línea OA correspondiente a la dirección N 35 E y la línea OB correspondiente a la dirección N 72 W y sus respectivas inclinaciones del buzamiento aparente.

Figura 9. Los datos aparente N 72 W/10° y N 35 E/25°



2. calculando el valor de la cotangente de cada inclinación encontramos la medida de cada dato aparente.

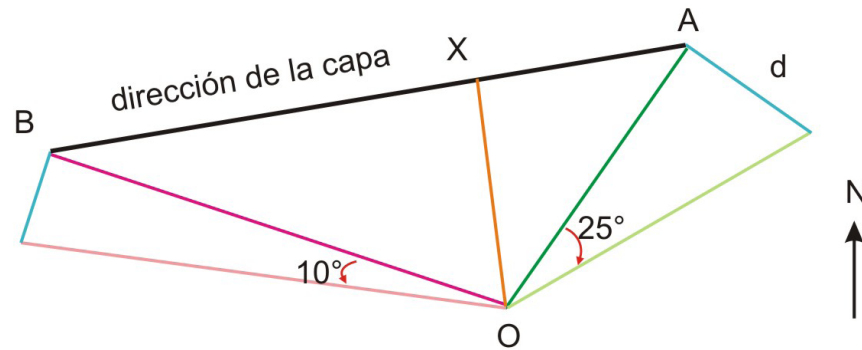
$$\cot 10^\circ = 5,671$$

$$\cot 25^\circ = 2,144$$

3. La línea que une los puntos determinados es la línea de la dirección de la capa. Ver Figura 10.



Figura 10. Método gráfico para hallar la dirección de la capa



4. Una vez que se observa claramente la figura se puede aplicar otros métodos alternativos, en este caso el método trigonométrico. Teniendo la ecuación $\tan \alpha = \tan \delta * \text{sen } \beta$, se quiere hallar el ángulo “ δ ”, entonces la ecuación quedaría $\tan \delta = \frac{\tan \alpha}{\text{sen } \beta} = -6,4053$. Por lo tanto $\delta = 30^\circ$.

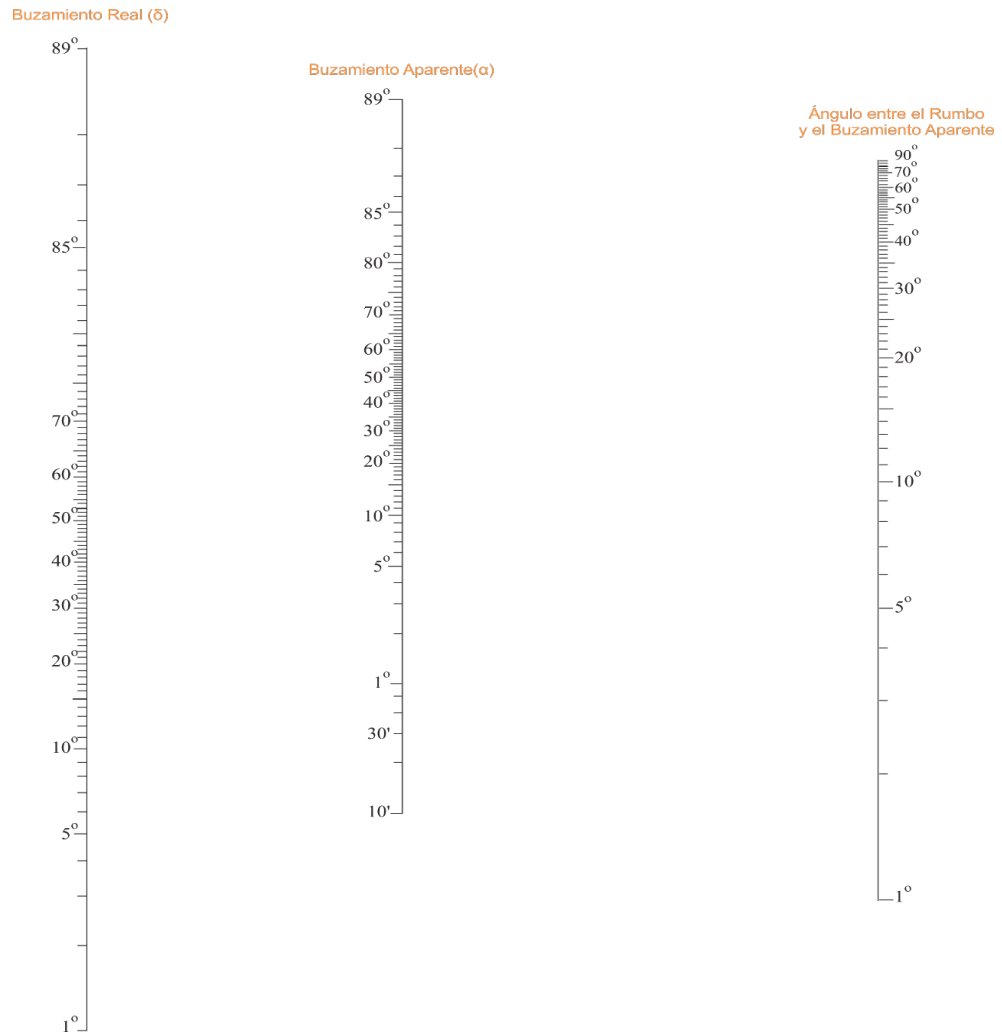
La respuesta sería: N 90 W, 30° N

Nomograma:

Otro método es el nomograma, con el cual se puede hallar el buzamiento real, el buzamiento aparente o el ángulo entre el rumbo y el buzamiento aparente, teniendo dos de los tres datos, (ver figura 11); se unen por medio de una línea que pasa por los dos datos que se tienen. El punto donde la línea que une dos de los datos pasa por la tercera columna es el valor del tercer dato, ver figura 12).



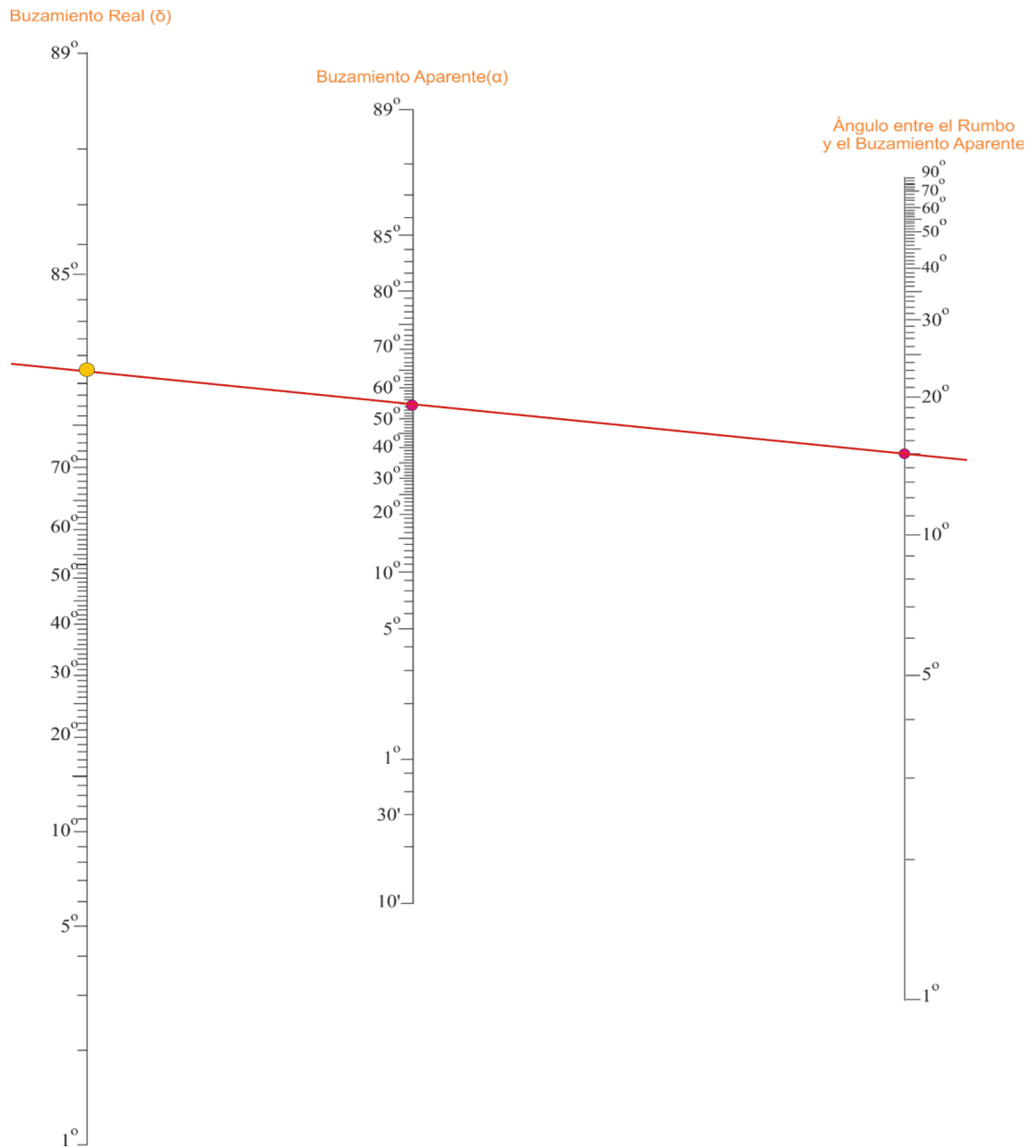
Figura 11. Nomograma.



Fuente: Ragan, D. 2009



Figura 12. Dados el buzamiento aparente y el ángulo entre el rumbo y buzamiento aparente se halla el buzamiento real.



Modificado de: Ragan, D. 2009



de la capa y el buzamiento real.

- b. El buzamiento aparente es $N47^{\circ}E / 33^{\circ}SE$; la dirección de la capa es E-O.
¿Cuál es el buzamiento real?

4. Dado la orientación del plano $N90^{\circ}E, 30^{\circ}N$, encontrar el buzamiento aparente en el corte vertical orientado $N45^{\circ}O$.

5. Dados un dato aparente y la dirección de la capa, determinar el buzamiento real, utilizando el nomograma. Se recomienda realizar un gráfico para mayor entendimiento del problema.
 - a. $N 30^{\circ} E / 40^{\circ}SE$ $N 80^{\circ} O$
 - b. $N 60^{\circ} E / 30^{\circ}SE$ $S 45^{\circ} E.$
 - c. $N 36^{\circ} O / 25^{\circ}SO$ $N 78^{\circ} E$



CONCLUSIONES

La tierra está afectada constantemente por movimientos tectónicos, movimientos ascensionales del magma, por presión litostática ejercida sobre los fondos marinos, la acción de las corrientes de convección del manto terrestre, entre otras. Por ellos es importante conocer sobre cómo estas fuerzas afectan la tierra.

Para tratar de entender los diferentes cambios que la superficie de la tierra sufre, se estudian las diferentes unidades estratigráficas y con ella los diferentes datos estructurales que nos indican la orientación en la que se depositó, los esfuerzos a los que han sido sometidos; por ellos estos datos son muy importantes de conocer.

En la ingeniería de petróleos es muy útil conocer los datos de rumbo y buzamiento de las unidades, además de conocer los esfuerzos a los que las rocas del subsuelo han sido sometidos. Estos datos son muy importantes a la hora de perforar un pozo.

Para describir la orientación de un plano geológico, se necesitan propiedades como la dirección de la inclinación, rumbo y buzamiento. Estos datos se pueden hallar mediante diferentes métodos descritos en este capítulo.



PRACTICA No 2: DETERMINACION DE ESPEORES, ESPEORES APARENTES, ANCHO DE AFLORAMIENTO, BUZAMIENTO APARENTE Y BUZAMIENTO VERDADERO.

OBJETIVOS

- Entender los métodos para hallar el buzamiento real y el buzamiento aparente.
- Determinar el buzamiento real y aparente a partir de datos estructurales.
- Determinar el espesor y profundidad de un afloramiento a partir de datos estructurales conocidos
- Determinar la dirección de la capa y el buzamiento dados 3 puntos sobre una capa.

DURACION: 4 HORAS

INTRODUCCIÓN:

En la geología es importante estudiar las diferentes unidades estratigráficas y con ella los diferentes datos estructurales que nos indican la orientación en la que se depositó, los rasgos estructurales que se adquirieron con el tiempo, entre otras. El buzamiento al ser el ángulo de inclinación de los estratos con respecto a la horizontal, es uno de los datos estructurales más importantes. El buzamiento es de gran ayuda al momento de reconstruir una zona o al tratar de encontrar estructuras en el subsuelo que a simple vista no se pueden ver. Existen diferentes métodos para hallarlo a partir de otros datos tomados en campo.

Uno de los problemas más comunes que se plantean en geología es la determinación del espesor real y el espesor aparente de una capa, conociendo como espesor, la medida perpendicular entre dos planos paralelos que limitan un cuerpo de roca tabular. La medición del espesor se realiza para efectos prácticos, basándose en una superficie de discontinuidad la cual determina tanto el espesor como la geometría del estrato.

En esta práctica se quiere dar a entender los diferentes métodos, que existe para hallar el buzamiento real, el buzamiento aparente, el espesor y profundidad de una



unidad geológica. Estas prácticas buscan dar el conocimiento y entendimiento al estudiante, en estos temas con fines prácticos.

MARCO TEÓRICO

BUZAMIENTO REAL Y APARENTE

Cuando el ángulo de buzamiento de un plano posee un valor máximo, es decir, buzamiento real, este es observado perpendicularmente a la dirección de la capa, pero si este se va disminuyendo hasta alcanzar un mínimo de 0° , este es observado desde una vista no perpendicular hasta alcanzar una vista paralela a la dirección de la capa.

Entonces, si se conoce la orientación real de una capa, se puede determinar el buzamiento aparente de la capa en una dirección no perpendicular a la dirección de la capa. Esto significa que se debe conocer los elementos geométricos principales que definen el ángulo de buzamiento. Ver Figura 13.

Existen 3 métodos diferentes para calcular el buzamiento aparente e un corte vertical orientado, por el método gráfico, el método trigonométrico y mediante un diagrama de alineamiento. Y para hallar la aptitud de un plano estructural a partir de dos buzamientos aparente, existen dos métodos, el método gráfico y el método combinado.

Método gráfico:

El método gráfico sirve para ayudar a comprender las relaciones espaciales de las diversas componentes angulares; por ello las construcciones gráficas son las más importantes

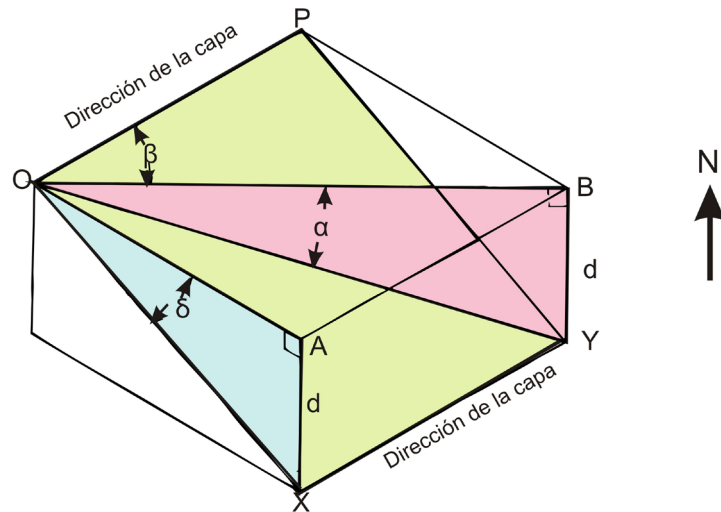
Ejemplo:

Dada la orientación de un plano (N 90 E/30 N); encontrar el buzamiento aparente en el corte vertical orientado N 45° O.



Para empezar se debe tener una imagen clara de los datos que se tiene y del dato a encontrar. Donde δ es el buzamiento real, α es el buzamiento aparente que se quiere hallar. Ver Figura 13.

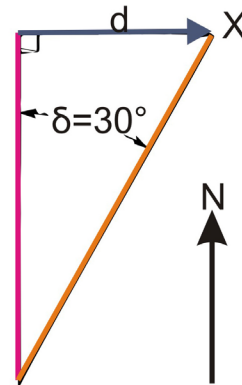
Figura 13 Bloque diagrama que indica los ángulos involucrados en el problema de buzamiento real y buzamiento aparente.



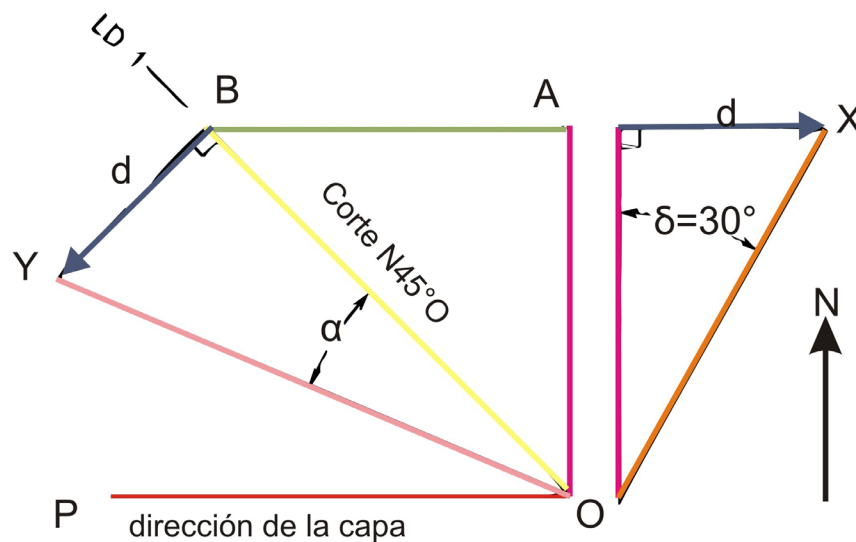
Modificado de: Ragan, D. 1980.

Para construir el grafico se debe:

1. orientar el papel como si fuera un mapa, indicando el norte geográfico en la hoja para referenciar.
2. Trazar la línea OP que es la dirección de la capa (N 90 E), seguida de línea OA que representa la dirección del buzamiento. Después se debe trazar una línea AB que es paralela a la línea de la dirección de la capa.
3. Para hallar la distancia "d" se debe hacer un triángulo aparte donde la línea OA es el cateto y OX es la hipotenusa y entre ellas se forma el ángulo de buzamiento real, en este caso es 30° . Ver Figura 14

**Figura 14.** Método gráfico para hallar la distancia “d”

- Una vez encontrada esa distancia “d”, se debe trazar la línea OB correspondiente al corte orientado, en este caso es N 45 O. una vez la línea OB esta trazada esta deberá formar un ángulo recto y trazar la distancia “d” (como se indica en la Figura 15), se traza una línea que vaya desde O hasta el final de la distancia “d”, ese punto se va a llamar Y. El ángulo formado por BOY es el buzamiento aparente α .

Figura 15 Construcción de la gráfica a partir del buzamiento real y la dirección de la capa para hallar el buzamiento aparente.

Modificado de: Ragan, D. 1980.



El buzamiento aparente para este caso es de 22° , en la dirección N 45 O de un plano N 90 E/ 30 N.

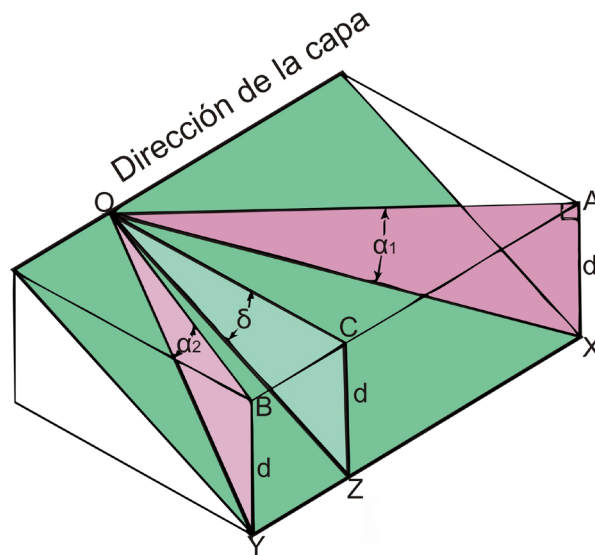
El buzamiento real a partir de dos buzamientos aparentes.

Ejemplo 2:

Dados dos buzamientos aparentes (N 72 O/10°SO y N 35 E/25°SE) hallar el buzamiento real y la dirección del plano.

Para empezar se debe tener una imagen clara de los datos que se tiene y del dato a encontrar. Donde δ es el buzamiento real, α_1 es el buzamiento aparente 1 y α_2 es el buzamiento aparente 2, y se desea hallar el buzamiento real. Ver Figura 16.

Figura 16. Bloque diagrama donde se indica los ángulos del problema de determinar el buzamiento real y dirección de la capa a partir de dos buzamientos aparentes.



Modificado de: Ragan, D. 1980.

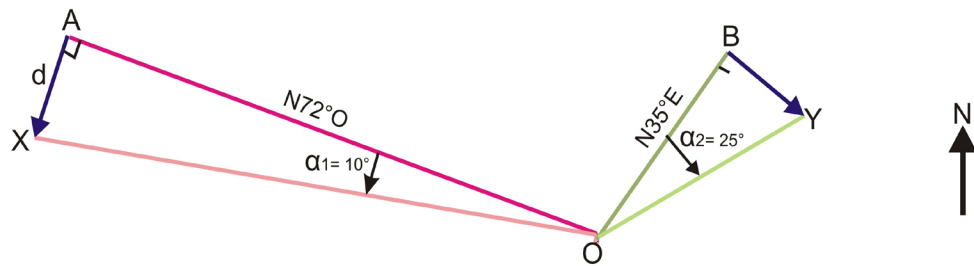
Para construir el grafico se debe:

1. Orientar el papel como un mapa, se indicar el norte geográfico en la hoja para referenciar.
2. Trazar la línea OA correspondiente al buzamiento aparente 1, con



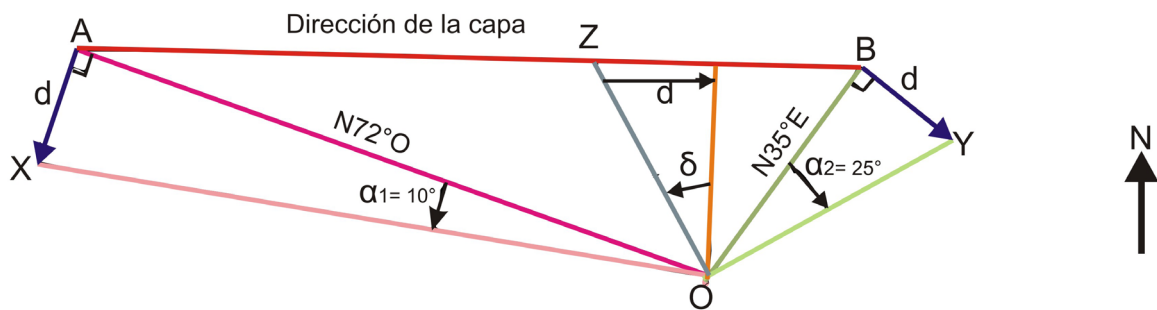
coordenadas N 72 O, luego se representa la inclinación de 10° . Se traza la línea OB correspondiente al buzamiento aparente 2, con coordenadas N 35 E, luego se representa la inclinación de 25° . Ver Figura 17

Figura 17. Dados dos buzamientos aparentes, hallar el buzamiento real



3. La distancia “d” que es el cateto opuesto de AOX debe ser de la misma distancia del cateto opuesto BOY. Después se trazar una línea que conecta los puntos A y B, esta línea es la dirección de la capa. Perpendicular a esta línea (AB) se traza otra línea que va hasta el punto O, siendo la línea del buzamiento real.
4. A partir de esta línea y sobre la línea AB se mide la distancia “d” ya encontrada anteriormente. En el punto donde se mida se le llama Z y a partir de este se traza la línea OZ. El ángulo formado por el triángulo es el buzamiento real, la dirección de la capa es la coordenada de la línea AB. Ver Figura 18.

Figura 18. Grafica de buzamiento real y dirección de la capa a partir de dos buzamientos aparentes.





Modificado de: Ragan, D. 1980.

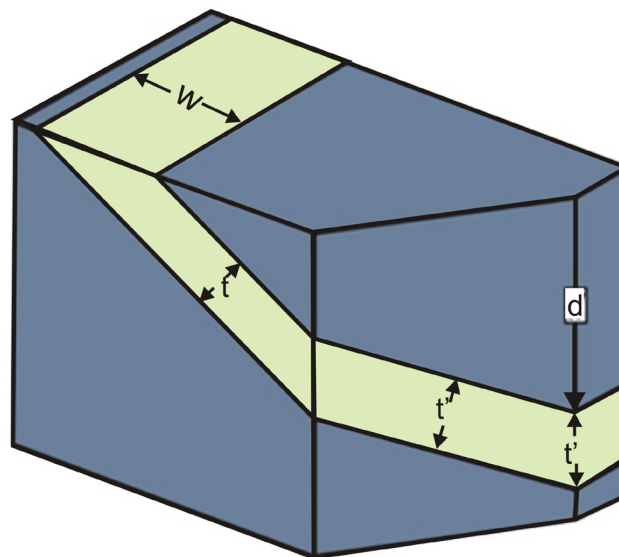
Desde el punto de vista trigonométrico, el problema se puede resolver mediante la fórmula $\tan \alpha = \tan \delta * \text{sen } \beta$. Donde δ es el ángulo de buzamiento real de la capa, β es el ángulo que forma la dirección aparente con la dirección real de la capa y α es el buzamiento aparente. (Este método fue explicado en el capítulo anterior).

ESPESOR

El espesor es la distancia perpendicular entre los dos planos paralelos que limitan un cuerpo de roca tabular. Ver Figura 19.

La profundidad es la distancia vertical medida hacia abajo desde un nivel específico hasta un punto, línea o plano. Ver Figura 19.

Figura 19. Bloque diagrama donde se observa el espesor t , espesor aparente t' y la profundidad d .



Modificado de: Rowland, S., et al., 2007

El espesor real de una capa corresponde a la distancia mínima entre el techo y la base, por lo tanto debe determinarse en donde aparece el buzamiento real, es decir,



en un corte geológico perpendicular a la dirección de la capa. En cambio el espesor aparente de la capa es mayor que el espesor real y se determina en cualquier corte geológico que no sea perpendicular a la dirección de la capa, por lo tanto también el buzamiento es aparente. (Delgado., et al., 2010).

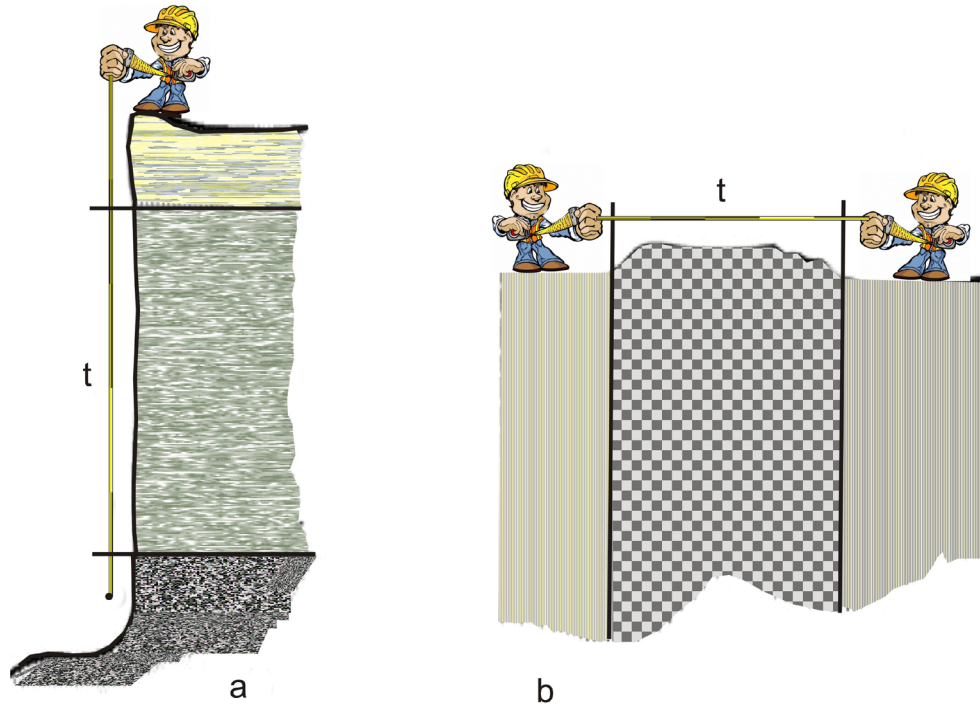
La medición del espesor se realiza para efectos prácticos, basándose en una superficie de discontinuidad la cual determina tanto el espesor como la geometría de un estrato. El espesor de una capa puede determinarse por medición directa o indirecta. (León., 1997).

Medición directa:

Para el caso de una capa horizontal expuesta en una cara vertical de un afloramiento, el espesor puede medirse sosteniendo una cinta métrica de forma vertical, se podría calcular análogamente, si la altura del techo y la base de la capa se puede determinar con precisión sea cual sea el ángulo del talud, el espesor es simplemente la diferencia de la altura. Otro caso es el afloramiento de una capa vertical en una superficie horizontal, se utiliza una cinta métrica para medir de forma perpendicular a la dirección de la capa, obteniendo el espesor el espesor. Ver Figura 20



Figura 20. Medición directa de una capa, (a) horizontal, (b) vertical.

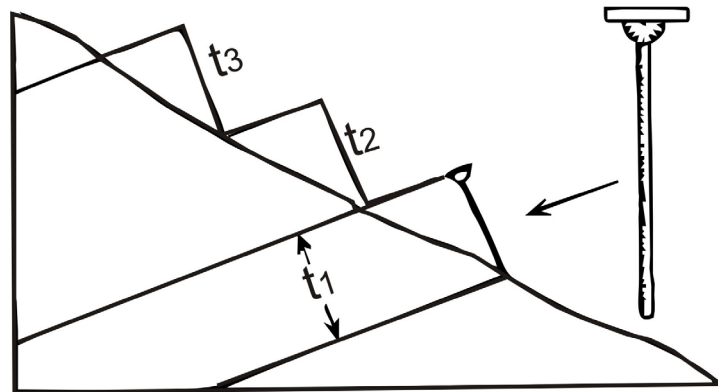


Modificada de: Ragan, D. 1980.

Otra herramienta utilizada para medir el espesor directamente, teniendo en cuenta su relación con el buzamiento y la pendiente del afloramiento, es la vara de Jacob, constituida por un palo largo liviano graduado y un instrumento de nivelar con clinómetro o una brújula Brunton acoplador es su extremo superior. Ver Figura 21



Figura 21. Medición directa de una capa inclinada, con una vara de Jacob.



Fuente: Ragan, D.1980.

Medición indirecta

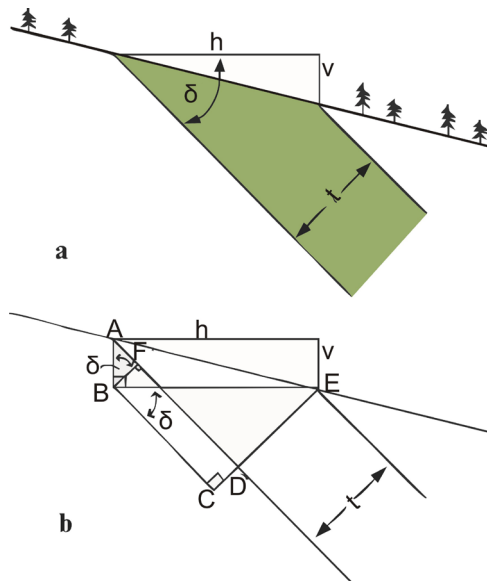
Cuando no se puede medir directamente el espesor, se utiliza este método. Cuya aplicación depende de las características del terreno, equipo disponible, complejidad de la estructura y de las preferencias personales.

El primero y más sencillo, consiste en medir la anchura de la capa, que aflora perpendicularmente a la dirección de capa en una superficie horizontal. A partir de este afloramiento de anchura w y ángulo de buzamiento δ , se puede determinar el espesor t construyendo un triángulo o aplicando la siguiente ecuación. $t = w \operatorname{sen} \delta$. Ver Figura 19

Cuando la anchura del afloramiento se mide en un terreno inclinado, el método es inicialmente el mismo. En este caso el espesor es función tanto del ángulo de buzamiento δ como de la pendiente. (Ver Figura 22). También el espesor puede obtenerse gráficamente con un dibujo a escala o puede calcularse trigonométricamente.



Figura 22. Medición indirecta.



Modificado de: Rowland, S. et al. 2007

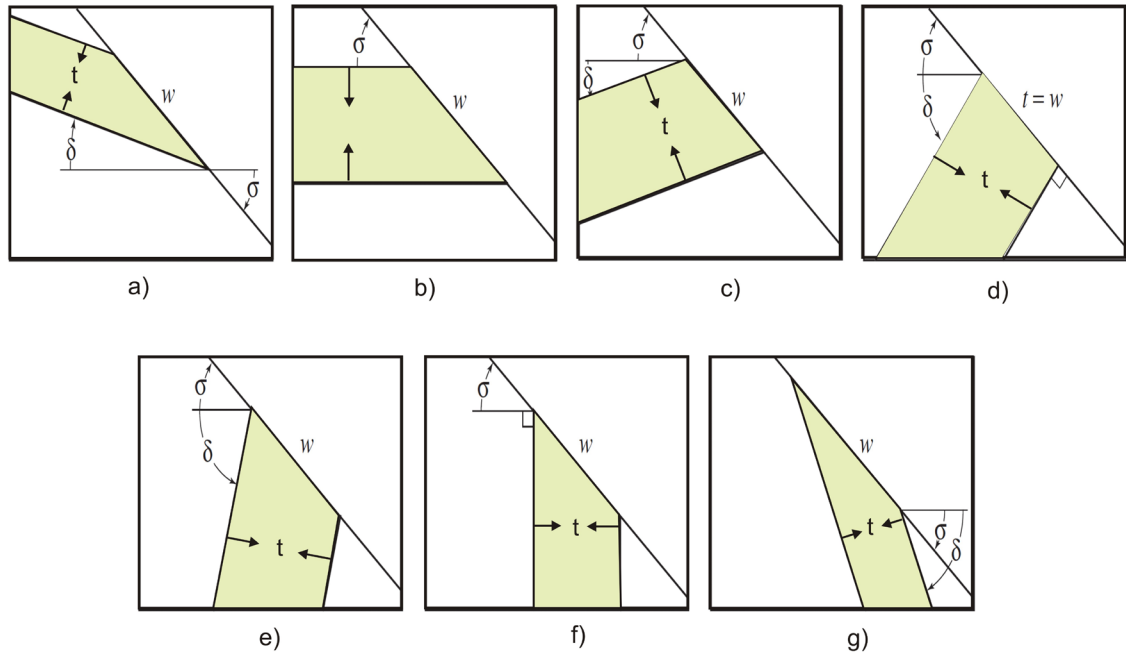
En la figura 23 se pueden observar los diferentes subcasos, dependiendo del terreno y de la orientación e inclinación de la capa.

- la pendiente y el buzamiento están en la misma dirección, $\delta < \sigma$. La ecuación es $t = w \text{ sen } (\sigma - \delta)$.
- La capa es horizontal, por lo tanto no hay buzamiento, $\delta = 0$. La ecuación es $t = w \text{ sen } (\sigma)$.
- La pendiente y el buzamiento va en direcciones opuestas, $(\delta + \sigma) < 90$. La ecuación es $t = w \text{ sen } (\sigma + \delta)$.
- La pendiente y el buzamiento va en dirección opuestas, $(\delta + \sigma) = 90$. La ecuación es $t = w$.
- La pendiente y el buzamiento van en direcciones opuestas, $(\delta + \sigma) > 90$, la ecuación es $t = w \text{ sen } [180 - (\sigma + \delta)] = w \text{ sen } (\sigma + \delta)$.
- La capa es vertical, $\delta = 90$. La ecuación es $t = w \text{ sen } (90 - \sigma) = w \text{ sen } (90 + \sigma)$.
- La pendiente y el buzamiento están en la misma dirección, $\delta > \sigma$. La ecuación



$$\text{es } t = w \text{ sen } (\delta - \sigma).$$

Figura 23. Determinación del espesor t a partir del ancho del afloramiento en un terreno inclinado.



Modificado de: Rangan, D. 2009

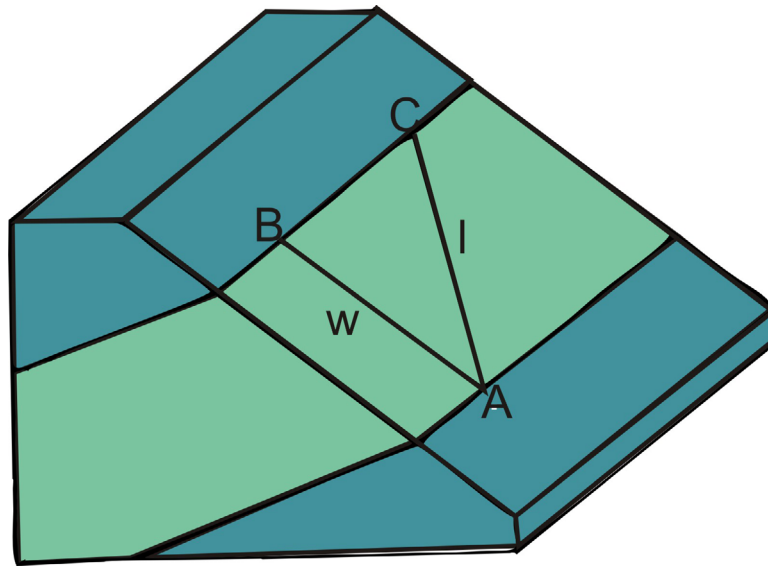
Debido a obstrucciones, no siempre se pueden hacer mediciones siguiendo un itinerario perpendicular a la dirección de capa, entonces se requiere otra corrección. La longitud del trayecto "l", es demasiado larga y debe reducirse a la anchura del afloramiento. Esta corrección se puede hacer mediante una grafica o por la ecuación:

$w = l \text{ sen } \beta$; siendo β el ángulo que forma la dirección seguida con la dirección de la capa.

El espesor se puede determinar mediante la ecuación: $t = l \text{ sen } \beta * \text{sen } \delta$. Ver Figura 24.



Figura 24. Bloque diagrama en el que se representa un trayecto medido oblicuo en un terreno inclinado.



Modificado de: Ragan, D. 1980.

PROFUNDIDAD

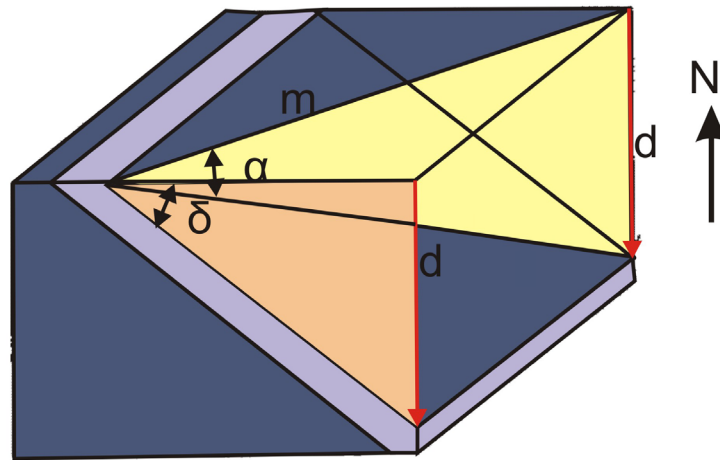
Otro problema bastante común es conocer la profundidad d , a la que un sondeo vertical cortaría una determinada formación geológica. Si el sondeo no es vertical, sino que tiene cierta inclinación, también se puede intentar estimar la distancia a la que se encontraría dicha capa geológica. (Delgado., et al., 2010).

Dado el ángulo de buzamiento y la distancia horizontal m , medida perpendicularmente a la dirección de capa desde el afloramiento al punto de interés. La profundidad puede determinarse gráficamente o con la ecuación: Ver Figura 25

$$d = m \tan \delta .$$



Figura 25. Bloque diagrama que muestra la profundidad d dese una superficie horizontal



Modificado de: Delgado, J. et al. 2010

Cuando la distancia m , no se mide perpendicular a la dirección de la capa se emplea el buzamiento aparente.

Para medir la profundidad en un plano inclinado desde un talud, se debe tener en cuenta la pendiente del terreno y las direcciones de buzamiento. (Ver Figura 27).

Cuando la distancia m en el talud se mide perpendicularmente a la dirección de la capa, la ecuación general es:

$$d = m \{ |\operatorname{sen} \sigma \pm \cos \sigma \tan \delta| \}.$$

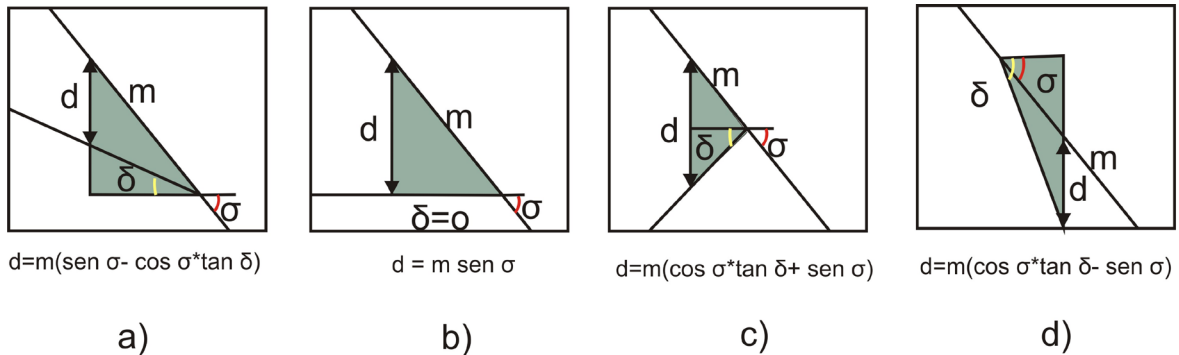
Se suma cuando la pendiente y buzamiento están inclinados en sentidos opuestos, y se resta cuando estos están en el mismo sentido.

Si en el caso donde la distancia sea oblicua a la dirección de capa, se debe usar el buzamiento en la dirección del trayecto. Utilizando los datos de mapas u otras fuentes de información, la profundidad se puede calcular directa con la ecuación $d = m \tan \delta$; o con un diagrama de alineamiento.

Para el diagrama de alineamiento, se necesita la distancia horizontal real o aparente, así la profundidad relativa a la altura del afloramiento se calcula o se obtiene de este diagrama. Ver Figura 26.



Figura 26. Determinación de la profundidad a partir de la distancia m medida en un terreno inclinado.



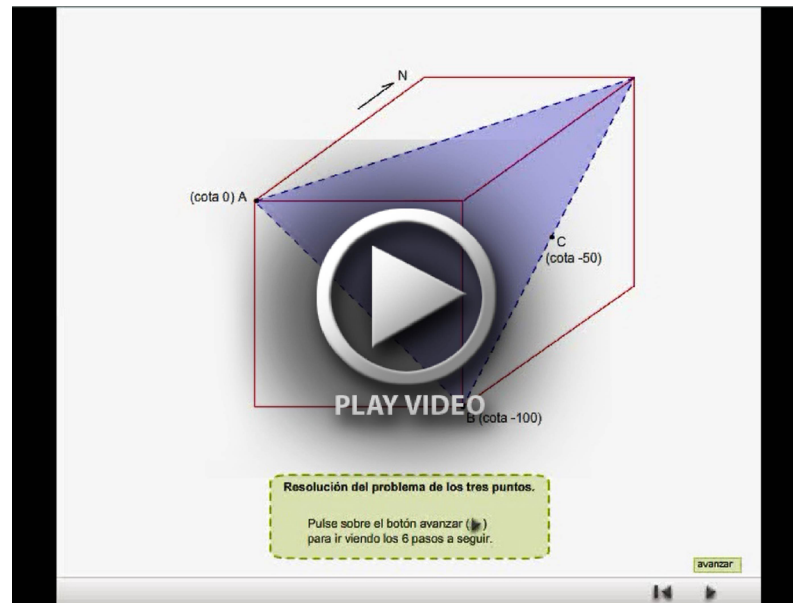
Modificado de: Ragan, D. 1980.

PROBLEMA DE LOS TRES PUNTOS

A veces cuando se realizan sondeos, se obtiene información de la profundidad a la que se encuentra una determinada unidad geológica; la cota a la que se encuentra esa unidad en profundidad, es frecuentemente distinta. Si se obtiene al menos 3 puntos del mismo plano geológico es posible calcular tanto la dirección de la capa del plano como su buzamiento. A este tipo de problema se le denomina problema de los 3 puntos.

Dos puntos a igual altura definen la dirección de capa, si uno de estos 3 puntos es el que se encuentra a una altura intermedia, lógicamente el otro punto se encontrara entre el punto más alto y el punto más bajo. El buzamiento se podría calcular mediante la distancia perpendicular a la dirección de la capa y la diferencia de altura entre la línea de dirección de la capa y el punto más bajo. (Delgado., et al., 2010).

Para un mayor entendimiento de cómo se puede calcular la dirección de la capa y el buzamiento a partir de 3 puntos, se recomienda ver el video 2 “proyección de tres puntos” (dar clic sobre el video para reproducir)

**Video 2.** Proyección de tres puntos

Fuente: Cartografía geológica

Ejemplo:

Conociendo la altura y posición en el mapa de tres puntos ($A = 450\text{m}$; $B = 525\text{m}$; $C = 650\text{m}$), que se encuentran en un mismo plano estructural, determinar la orientación de este plano.

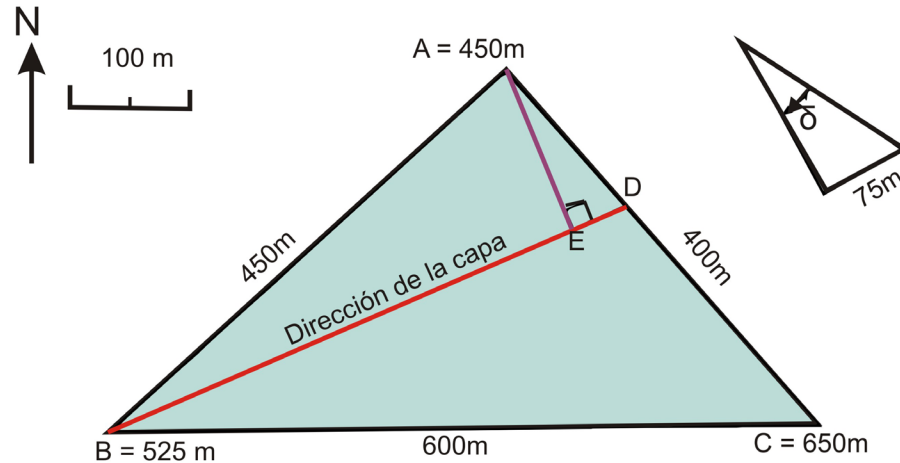
En el video se pudo apreciar la construcción del paso a paso del problema de los 3 puntos (ver el video 2 “proyección de los 3 puntos”), pero a continuación se vuelve a explicar brevemente para la realización del ejemplo.

1. Se ubican los tres puntos en una hoja orientada como un mapa y utilizando la escala adecuada. Luego se unen formando un triángulo.
2. Entre el punto más alto (A) y más bajo (C), se encuentra D, que es de la misma altura que el punto intermedio B. la distancia AD en el mapa se deduce como:
$$\frac{AD}{AC} = \frac{\text{altura DA}}{\text{altura CA}}$$
también se puede determinar gráficamente construyendo los triángulos.
3. La línea BD al ser dos puntos de la misma altura, se puede definir como la dirección de la capa.



4. Perpendicular a la línea BD se traza una línea hasta A. El punto sobre la línea BD es E. la perpendicular AE es la dirección de buzamiento y se calcula por la formula $\tan \delta = v/h$, donde v es la diferencia de altura y h es la horizontal o distancia media en el mapa; pero también se puede hallar construyendo un triángulo.

Figura 27. Problema de los 3 puntos.



Modificado de: Ragan, D. 1980.

Respuesta: dirección de la capa: N66°E y buzamiento $\delta=28^\circ$ tiene dirección NW.



DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Dada la orientación de un plano $N30^{\circ}E/30^{\circ}SE$; determinar el buzamiento aparente en el corte vertical orientado $N40^{\circ}O$, utilizando el método trigonométrico.
2. Dada la orientación de un plano $N45^{\circ}O, 30^{\circ}SO$; determinar el buzamiento aparente en el corte vertical orientado $N30^{\circ}E$, utilizando el nomograma
3. Dados dos planos y buzamientos aparentes, determinar el rumbo y buzamiento real del plano, utilizando el método gráfico.

$N 20^{\circ} E/25^{\circ}SE$

$N 60^{\circ} O/15^{\circ}SO$

4. Dados dos planos y buzamientos aparentes, determinar el rumbo y buzamiento real del plano, utilizando el método gráfico.

$N 30^{\circ} O/25^{\circ}SO$

$N 40^{\circ} E/15^{\circ}SE$

5. Dados dos planos y buzamientos aparentes, determinar el rumbo y buzamiento real del plano utilizando el método gráfico.

$N 60^{\circ} O/10^{\circ} SE$

$N 20^{\circ} E/25^{\circ}SW$

6. La orientación de una unidad de arenisca es $N 65^{\circ} E/35^{\circ}SE$. Un trayecto horizontal de un rumbo $S10^{\circ} E$ de la base al techo mide 125m. ¿Cuál es el espesor real?
7. Una formación en cierta zona llamada formación G, está constituida litológicamente por areniscas, las cuales presentan una orientación de su estratificación de $N 80^{\circ} O/30^{\circ} SO$, el ancho de la formación en un trayecto horizontal, con rumbo $N 70^{\circ} E$, mide 500m. ¿Cuál es el espesor real? Hacer un dibujo que ilustre el problema.
8. Conociendo el tope de la perforación de 3 pozos: A= -6000 msnm, B= -3000 msnm y C= -4000 msnm, los cuales llegaron a la capa de arenisca. El pozo B se encuentra localizado con respecto al pozo A, en la dirección $S20^{\circ}E$ a una distancia de 5 Km., y el pozo A se encuentra localizado con respecto al pozo C en la dirección



S40°O, a una distancia de 4 Km. La escala para hacer el dibujo: 1cm representa 1000 m. ¿Determine el rumbo y buzamiento de este estrato? (msnm= metros sobre el nivel del mar)

9. Conociendo el tope de la unidad productora en las siguientes perforaciones: Pozo A = -4000 msnm, Pozo B = -9000 msnm y Pozo C = -2000 msnm. El pozo A se encuentra localizado con respecto al pozo B, en la dirección N20°E a una distancia de 5 Km., y el pozo C se encuentra localizado con respecto al pozo A en la dirección N60°W, a una distancia de 6 Km. Determine el rumbo y buzamiento de este estrato. La escala para hacer el dibujo: 1cm representa 1000 m. (msnm= metros sobre el nivel del mar).

10. Se perforaron tres pozos exploratorios (A, B y C), se encontró el tope de una unidad rocosa con muy buenas características petrofísicas a las siguientes profundidades el pozos: A= -3000 msnm, B= -7000 msnm y C= -1500 msnm. El pozo C se encuentra localizado con respecto al pozo B, en la dirección N40°E a una distancia de 4 Km., y el pozo A se encuentra localizado con respecto al pozo C en la dirección N80°O, a una distancia de 6 Km, determine el rumbo y buzamiento del estrato. La escala para hacer el dibujo: 1cm representa 1000 m. (msnm= metros sobre el nivel del mar).



CONCLUSIONES

En geología para estudiar las unidades estratigráficas es necesario conocer el rumbo y buzamiento de la capa, el espesor y profundidad de la formación que se quiere estudiar, pero no solo en geología también en ingeniería de petróleos es importante al hacer los cálculos relacionados con el análisis del subsuelo, la prospección y perforación de pozos.

El rumbo y buzamiento de la capa es necesaria para hacerse una idea clara de la orientación de la capa o estrato. Dependiendo de esta orientación también se puede conocer las posibles estructuras que se encuentran en el subsuelo a parte de los posibles eventos ocurridos en la zona, si se encuentran bajo un posible esfuerzo que las hizo fracturarse y desplazarse (fallas) o si la unidad tiene un comportamiento elástico y solo se deforma (pliegues).

Debido a todos los procesos que ocurren en la tierra, el espesor y la profundidad de una unidad no es totalmente constante en todas las zonas donde se depositó esa unidad. Al estudiar una zona es importante conocer el espesor y la profundidad de las unidades en esa zona, ya que si se quiere estudiar esa zona para una exploración de hidrocarburo al tratar de perforar el subsuelo se necesitan cálculos precisos de los espesores y profundidades de las unidades.



PRACTICA No 3: ELABORACIÓN DE BLOQUES DIAGRAMA Y PROYECCION DE AFLORAMIENTOS PARA MAPAS TOPOGRÁFICOS EN AREAS PLEGADAS.

OBJETIVOS

- Comprender la importancia del bloque diagrama.
- Elaborar bloques diagramas.
- Construir cortes estructurales.
- Comprender las reglas de la V.
- Desarrollar problemas sobre las reglas de la V.

DURACION: 6 HORAS

INTRODUCCIÓN

En la geología del petróleo es necesaria la información proveniente de datos de pozo, mapas geológicos, datos estructurales, análisis químicos entre otros. Muchos de estos datos provienen de información tomada en campo, que en un principio fue tomada y analizada para reconstruir la historia de la zona que se quiere estudiar.

Por ello cuando se quiere estudiar nuevamente una zona con fines de averiguar si la zona es productiva en alguna clase de recurso, es necesario recurrir a información básica, como mapas geológicos, bloques diagrama, cortes geológicos, entre otros, para entender, analizar y visualizar mejor las estructuras encontradas en el subsuelo.

El bloque diagrama al ser un croquis del terreno en el que se representa en detalle la forma de un relieve, las diferentes unidades estructurales y morfológicas, ofrecen una importante ventaja, al reconstruir la sección geológica requerida.

En esta práctica se quiere que el estudiante entienda, analice y construya bloques diagramas, cortes estructurales como ayuda para resolver un problema; además de entender y desarrollar problemas con ayuda del método de las V.



MARCO TEÓRICO

BLOQUE DIAGRAMA

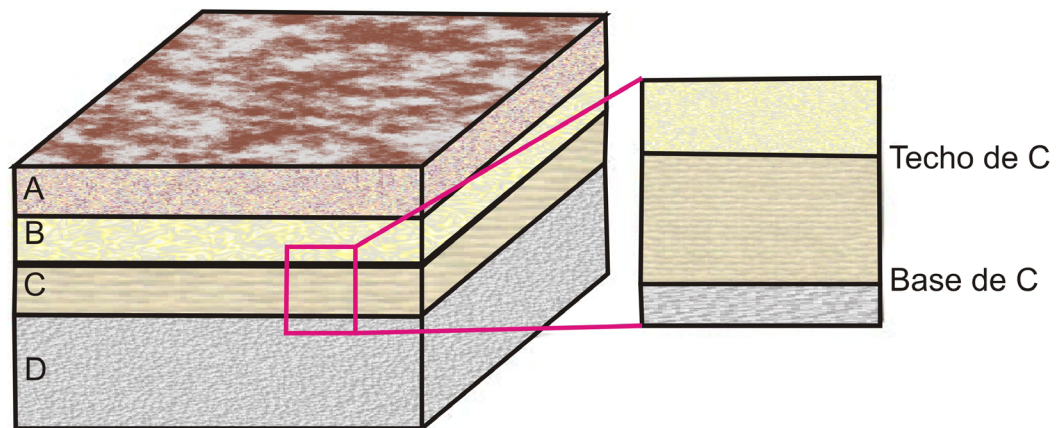
Duración: 1 hora

El bloque diagrama es una de las mejores formas de representación de información geológica en una figura tridimensional. La construcción de un diagrama de este tipo exige dibujar un bloque a escala, añadir la topografía al plano superior y representar las estructuras en los planos frontal y lateral.

Los bloques a escala se pueden construir por geometría descriptiva u otros métodos más prácticos.

En los bloques diagrama en la vista frontal y lateral se puede apreciar las inclinaciones de los diferentes estratos, pero solo en la vista frontal se puede observar la verdadera inclinación del estrato. Ver figura 28 y 29

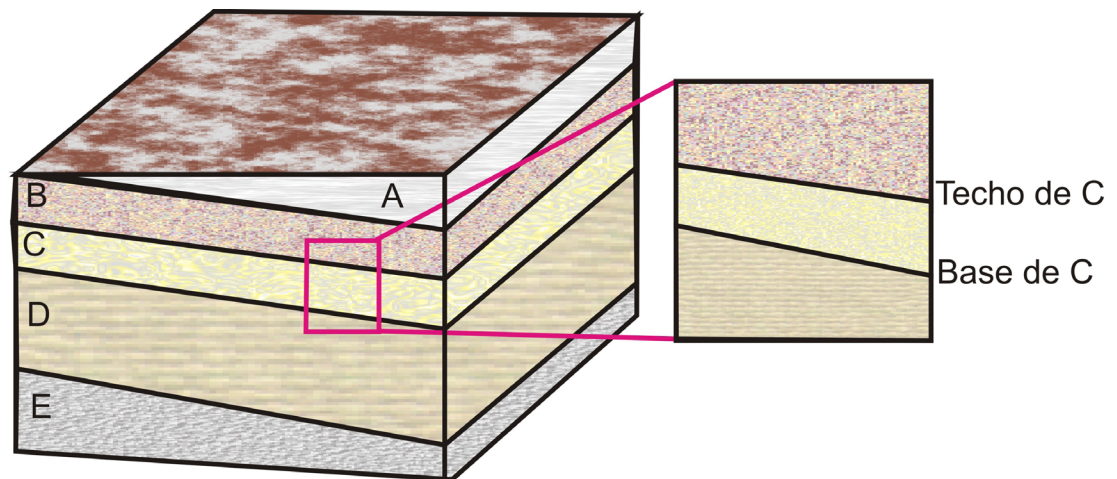
Figura 28. Bloque diagrama donde los estratos tienen baja inclinación.



Modificado de: Pozo, M. et al. 2003



Figura 29. Bloque diagrama donde los estratos tiene inclinación.



Modificado de: Pozo, M. et al. 2003

Topografía

La superficie superior del bloque puede representar cualquier nivel subsuperficial o una parte llana de la superficie terrestre. Si la zona tiene un poco de relieve, el aspecto tridimensional del bloque se realza mucho añadiendo relieve topográfico al diagrama. (Ragan., 1980).

En el video 3 “representación 3d de un mapa” se podrá apreciar cómo a partir de un mapa, cada curva de nivel es como una capa individual que se puede representar en 3 dimensiones.

**Video 3.** Representación 3d de un mapa.

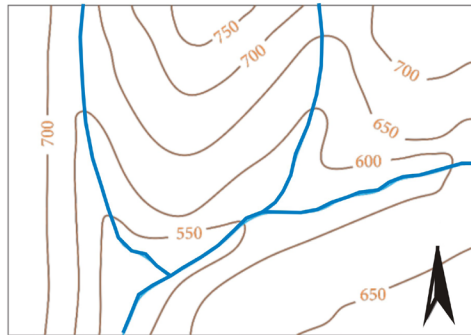
Fuente: Cartografía geológica

Construcción: (Figura 30)

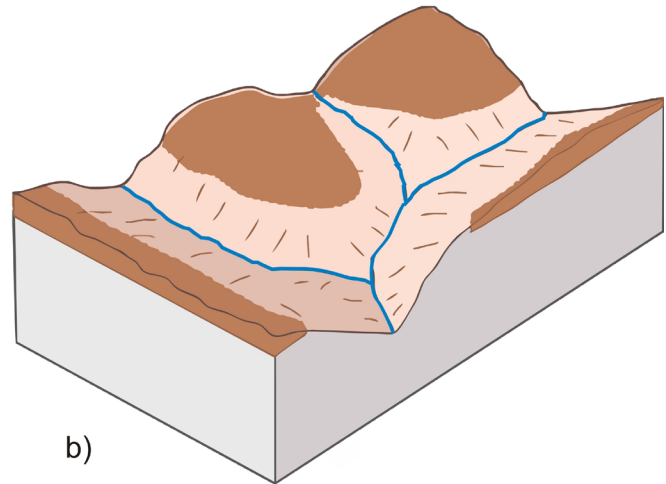
- Seleccionar en el mapa el área a trabajar.
- Dibujar un cubo con las medidas adecuadas para transferir el área del mapa seleccionada, es decir, una escala horizontal.
- La profundidad del bloque depende de la profundidad de la estructura a representar.
- Se debe seleccionar una escala vertical, con el fin de ajustar el relieve de la zona.
- Se sitúan en el bloque una serie de puntos topográficos, estos puntos se pasan con ayuda de la escala, con el fin de orientar y ajustar los detalles.
- Después de situar los suficientes puntos, se traza la topografía por medio de curvas de nivel, dando así forma al relieve.



Figura 30. Topografía en un bloque diagrama. a) mapa topográfico. b) superficie topografica.



a)



b)

Modificado de: Pozo, M. et al. 2003

Para insertar los datos estructurales al bloque, se utilizan los datos estructurales del mapa y se utiliza la escala correspondiente, si hay dudas sobre la representación frontal y lateral del bloque, se realizan dos cortes.

CORTE ESTRUCTURAL

Muchas veces se plantean problemas al leer un mapa geológico, uno de estos problemas es la visualización tridimensional de las estructuras representadas en dos dimensiones. Al estar buscando una posible fuente de hidrocarburos, es muy importante delimitar las posibles zonas con ayuda de los mapas, previo a la exploración.

Aunque los cortes estructurales verticales tienen limitaciones, también facilitan la representación de las estructuras en profundidad, en especial cuando las estructuras



son variadas y no existe una única dirección estructural abajo.

La técnica más sencilla de construcción de estos cortes verticales, consta de dos partes:

1. El perfil topográfico a lo largo de la línea del corte.
2. La extrapolación del subsuelo, por medio de datos estructurales, contactos, orientaciones, entre otras.

La línea del corte que se debe elegir, debe ser la que mayor exhiba los posibles accidentes estructurales de interés. Por lo general se elige una línea perpendicular a la dirección de la capa, para mayor exactitud de los datos.

Perfil topográfico

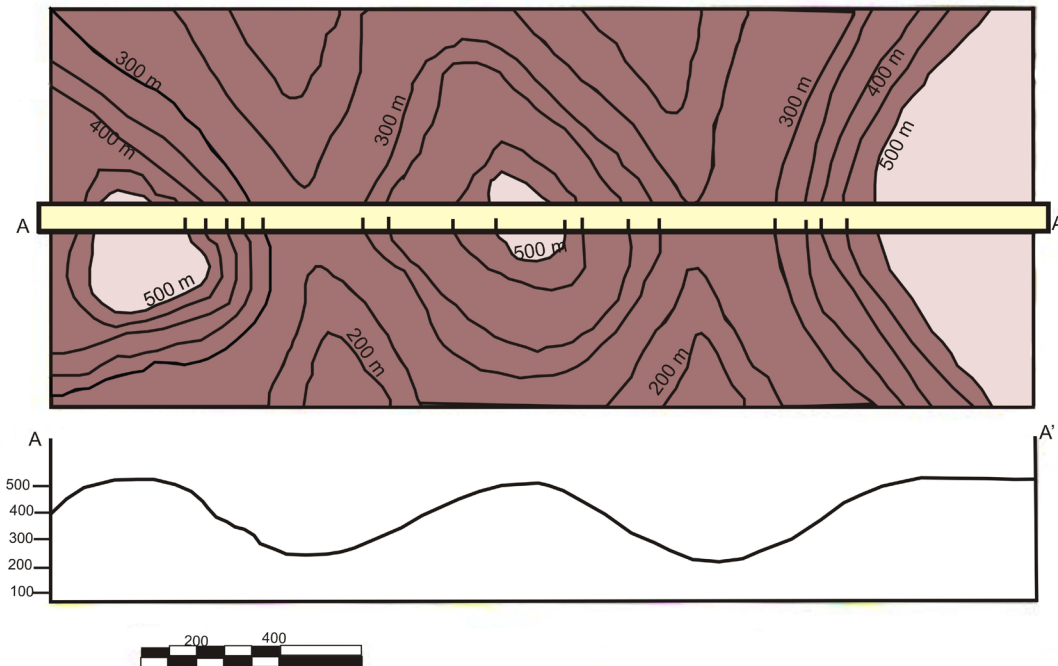
Duración: 1 hora

La forma más sencilla, es colocar una tira de papel tal larga como la línea del corte elegido; en su borde se marcan los puntos de intersección de las curvas de nivel topográfico con las líneas del corte, con los valores correspondientes de las curvas. También se le recomienda marcar los ríos, torrentes, cresta de colinas. Ver Figura 31

En otro papel se traza una línea horizontal y se transfieren los puntos topográficos ubicados en la tira de papel a la línea horizontal; luego se traza una línea vertical, donde se marcan los puntos de altura, hasta el máximo valor de la curva de nivel que pasa por el corte, se puede utilizar la misma escala del mapa o se puede cambiar dependiendo de cómo se desee. Luego se proyecta el valor de cada punto topográfico y las series de puntos obtenidos se unen, representando así la topografía; si las curvas de nivel están muy separadas, se puede consultar el mapa para esbozar los detalles. Ver Figura 31



Figura 31. Línea del corte y construcción de un perfil topográfico en base a un mapa.



Modificado de: Pozo, M. et al. 2003

Corte estructural

Duración: 1 hora

Después de construido el perfil topográfico, se trasladan los datos estructurales. Los diversos contactos y puntos de orientación se pueden marcar al mismo tiempo que se marcan los datos topográficos. Los datos cartográficos situados a ambos lados de la línea se pueden proyectar al corte, en estructuras que presenten inmersión, los modelos cartográficos se pueden proyectar al plano de corte vertical con una construcción que en esencia es igual a la utilizada para obtener el perfil de un pliegue.

En corte debe llevar indicado las coordenadas geográficas, porque es importante conocer su orientación. También es importante conocer su escala, en especial si la escala es diferente a la del mapa.

En los videos “corte estructural con estratos horizontales” y corte estructural a partir de un mapa geológico” (4 y 5 respectivamente), se podrá apreciar los pasos para



la construcción de cortes geológicos a partir de mapas, (dar clic en el video para reproducir).

Video 4. Corte estructural con estratos horizontales.

• Se pintan los contactos concordantes (planos de estratificación). Se sigue el mismo proceso utilizado en el trazado de las estructuras: se traza una línea, con el ángulo de buzamiento adecuado, que pase por la intersección definida en el perfil topográfico.

• Todas las líneas que se cruzan en un corte geológico deben tener "estilo geológico", es decir, es conveniente trazarlas a mano alzada y evitar los trazos completamente rectos.

• Después se deben rellenar con tramas y colores las superficies definidas en el corte en función del tipo litológico y edad correspondiente.

Pulse sobre el botón avanzar (▶) para visualizar la transformación

Fuente: Cartografía geológica

Video 5. Corte estructural a partir de mapas geológicos.

orden cronoestratigráfico
(de más antiguo a más moderno)

- Cámbrico (C)
- Ordovícico (O)
- Silúrico (S)
- Devónico (D)
- Carbonífero (M)
- Cretácico (K)

Escala cronoestratigráfica internacional

Pulse sobre el botón avanzar (▶) para visualizar los 8 pasos a seguir

Fuente: Cartografía geológica



Exageración vertical

Duración: 1 hora

Cuando se construye un perfil topográfico, se puede exagerar la escala vertical aumentando la escala vertical y manteniendo la escala horizontal cartográfica constante. Esta exageración en algunos casos se debe realizar para poder ver con más detalle o para destacar estructuras que casi no se verían con una escala normal.

A esta exageración vertical se le conoce como corte transversal verticalmente exagerado, y el grado de ensanchamiento se define mediante un factor de exageración, **V** y se puede calcular como:

$$V = \frac{\textit{escala vertical}}{\textit{escala horizontal}}$$

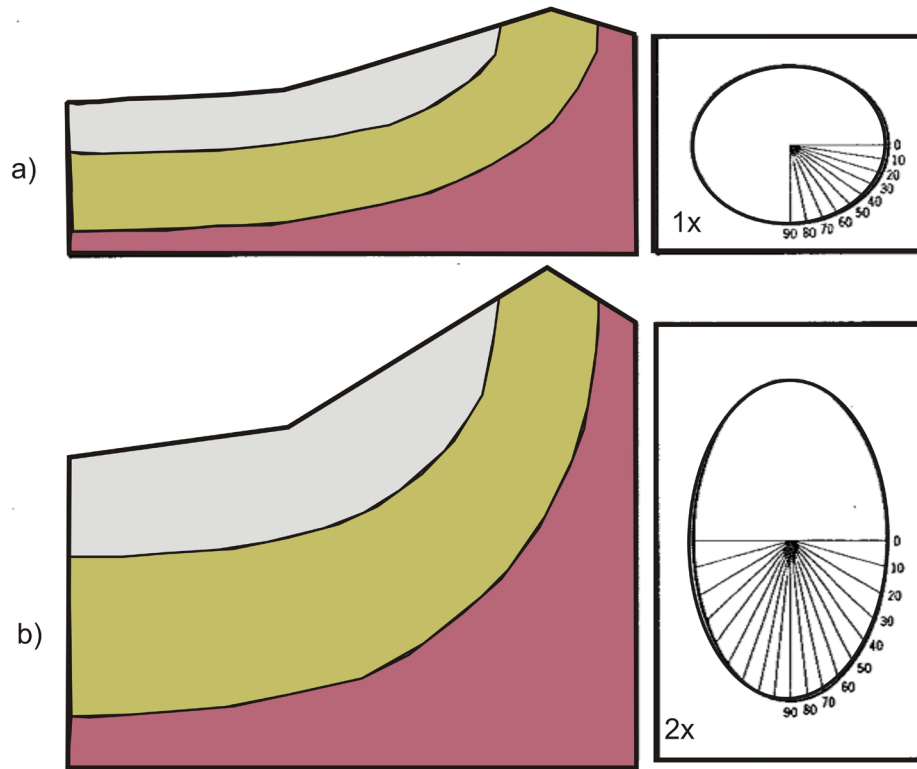
Por ejemplo si la escala horizontal es 1:100000 y la escala vertical es 1:50000, el factor de exageración es 2,0 o si la escala horizontal es 1:50000 y la escala vertical 1:10000, el factor de exageración es 5,0. Ver figura 32

Al hacer la exageración vertical también se realiza un cambio en el buzamiento, el buzamiento exagerado se puede hallar mediante la fórmula:

$\tan \delta = V \cdot \tan \theta$, donde θ y δ son los buzamientos original y exagerado respectivamente.



Figura 32. Corte estructural. (a) Sin exageración. (b) Verticalmente exagerado.



Modificado de: León, L. 1994.

Por todo lo anterior, se puede comprender que los cortes con exageración vertical, distorsionan la forma y la orientación de las estructuras, lo cual tiende a destruir la información que se pretendía en un principio (las relaciones geométricas reales dadas en la profundidad).

PROYECCION DE AFLORAMIENTOS PARA MAPAS TOPOGRAFICOS EN AREAS PLEGADAS

Duración: 2 horas.

Las relaciones entre la topografía y discontinuidades geológicas (fallas, estratos, superficies plegadas, diques, discordancias), presentan variaciones en cuanto al diseño o modelo de afloramiento de las mismas, controladas fundamentalmente por la actitud espacial del plano y por la morfología del terreno. (León., 1997). Es decir,

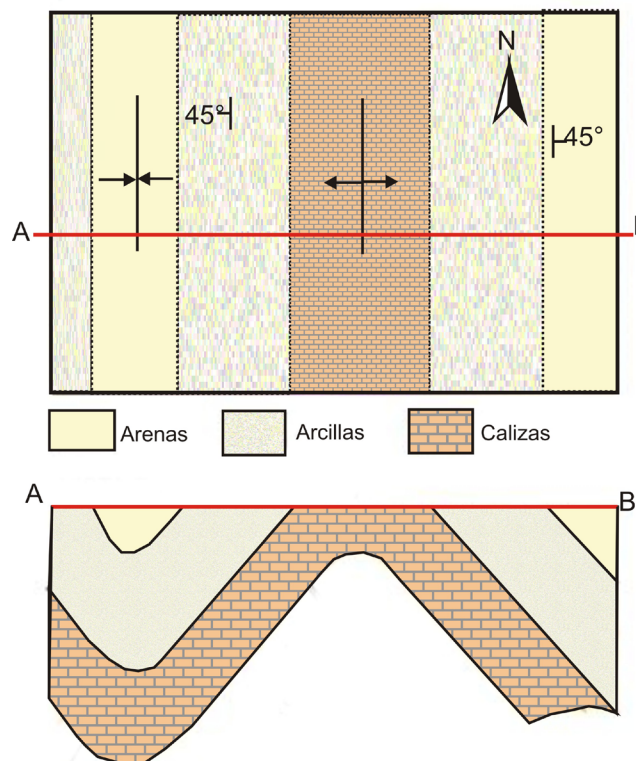


es importante la observación del relieve y morfología de terreno para establecer un posible evento y determinar los posibles espesores y profundidades de los estratos.

Si se tuviera un área sin relieve, se establecería que los patrones del afloramiento serían de geometría lineal, con poca información como su buzamiento y los pocos datos del subsuelo; no se podría predecir con precisión la posición espacial de los estratos.

Si por el contrario se tuviera un área plegada o áreas con contornos sinuosos, se obtendría gran cantidad de información del subsuelo como los rumbos y buzamientos y el posible evento ocurrido en la zona. Ver Figura 33

Figura 33. Corte estructural en una zona con sinclinales y anticlinales



Modificado de: Pozo, M. et al. 2003

Regla de las Vs

La llamada “regla de las Vs” establece la relación entre buzamiento y topografía; por las cuales se puede estimar directamente la dirección de buzamiento de los planos



estructurales a partir del modelo de afloramiento, donde la traza de un plano cruza un valle, (Ragan., 1980).

Cuando esta traza atraviesa un valle, esta describe una forma de letra “v” más o menos marcada con la particularidad que el hipotético vértice de esa “v” apunta en el sentido en que se inclina el plano. (Delgado., et al., 2010) para un mayor entendimiento de cómo visualizar en 3 dimensiones a un plano, se recomienda ver el video 6 “regla de las Vs. (dar clic sobre el video para reproducir)

Video 6. Regla de las Vs



Fuente: Cartografía geológica

Pero para no estar variando los distintos planos de la regla de la V sin llegar a ninguna conclusión, se debe analizar con detalle los diferentes tipos de patrón que se pueden establecer. Ver Figura 34

- Planos horizontales: las trazas de los planos horizontales reales siguen exactamente las curvas de nivel topográficas. Los patrones están controlados completamente por la topografía y la traza de afloramiento refleja detalladamente la curva de nivel; por lo tanto, el patrón de afloramiento describe una V con el vértice río arriba. Ver Figura 34.a



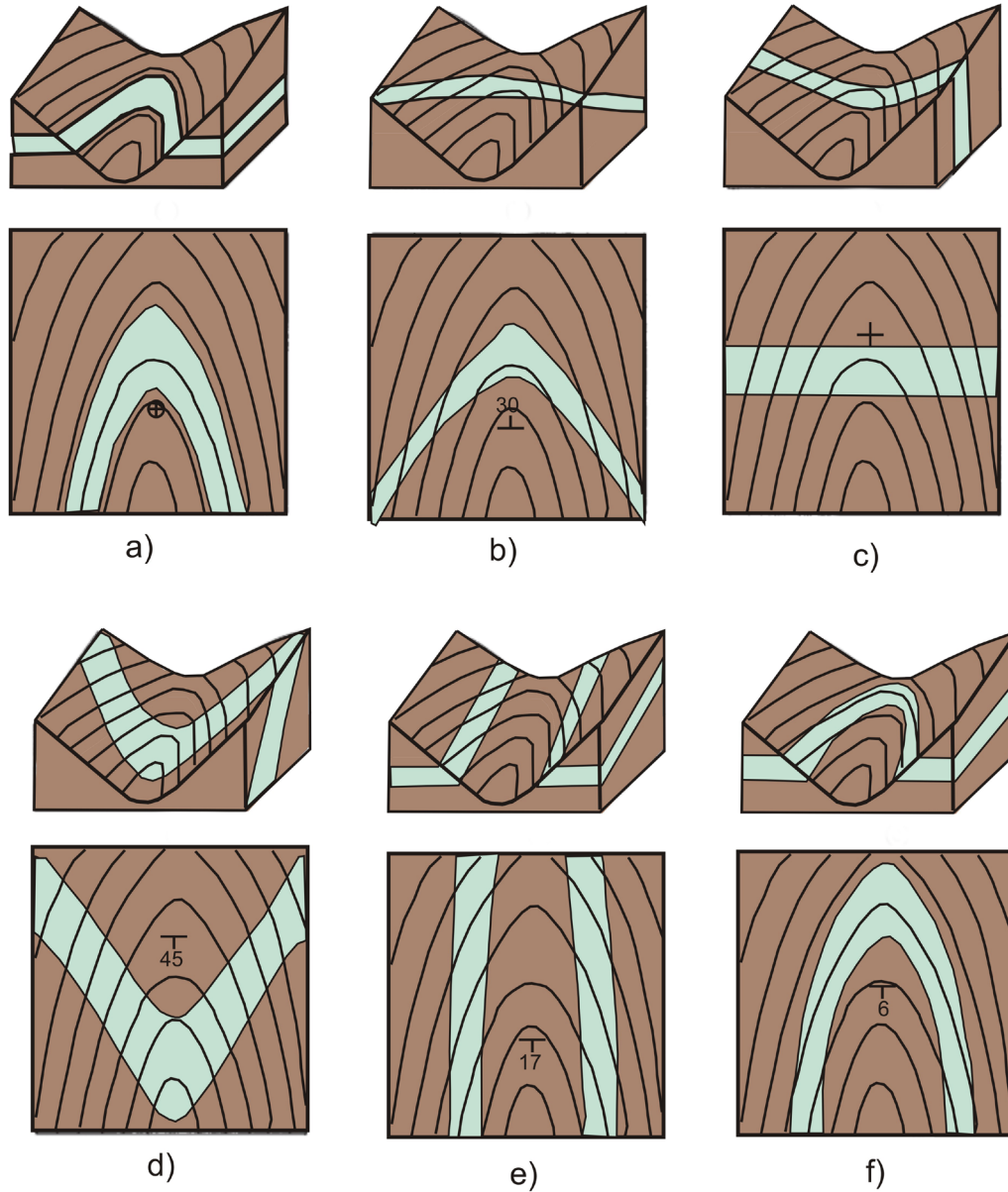
- Planos inclinados río arriba: estos planos no son horizontales y la dirección de buzamiento es aguas arriba, el patrón es una V abierta, con el vértice río arriba. Cuanto más fuerte es el buzamiento, tanto menos la traza de afloramiento refleja el detalle topográfico. Ver Figura 34.b
- Planos verticales: en este caso el buzamiento es de 90° y la traza de afloramiento es recta y paralela a la dirección de la capa. No se forma ninguna V y por lo tanto no hay control topográfico, en el patrón del mapa. Ver Figura 34.c
- Planos inclinados río abajo: existen tres subcasos, teniendo en cuenta la relación entre el buzamiento y el gradiente del valle:
 1. Cuando el buzamiento es mayor que el gradiente del valle, la V apunta aguas abajo. Ver Figura 34.d.
 2. Cuando el buzamiento es igual al gradiente del valle, no se presenta ninguna V; pero en alguna parte el plano se deberá cruzar con el valle. Ver figura 34.e
 3. Cuando el buzamiento es menor al gradiente del valle, la V apunta río arriba. Ver Figura 34.f

Dado los anteriores tipos de patrones que se puedan dar, se supuso que la dirección de la capa cruzaba el valle más o menos perpendicularmente. Los patrones de la V asimétricas y el caso limite es aquel en el que el eje del valle y la dirección de capa son paralelos.

Una regla sencilla que resume todo lo anterior es que el vértice del afloramiento en V apunta hacia la dirección en la cual la formación se mete bajo el río. (Ragan., 1980)



Figura 34. Patrones de afloramiento que representan la regla de la V. a) capa horizontal, b) capa que buza rio arriba, c) capa vertical, d) capa que buza rio abajo, e) capa y valle de la misma inclinación, f) capa que buza rio abajo con un ángulo menor que el gradiente del valle.

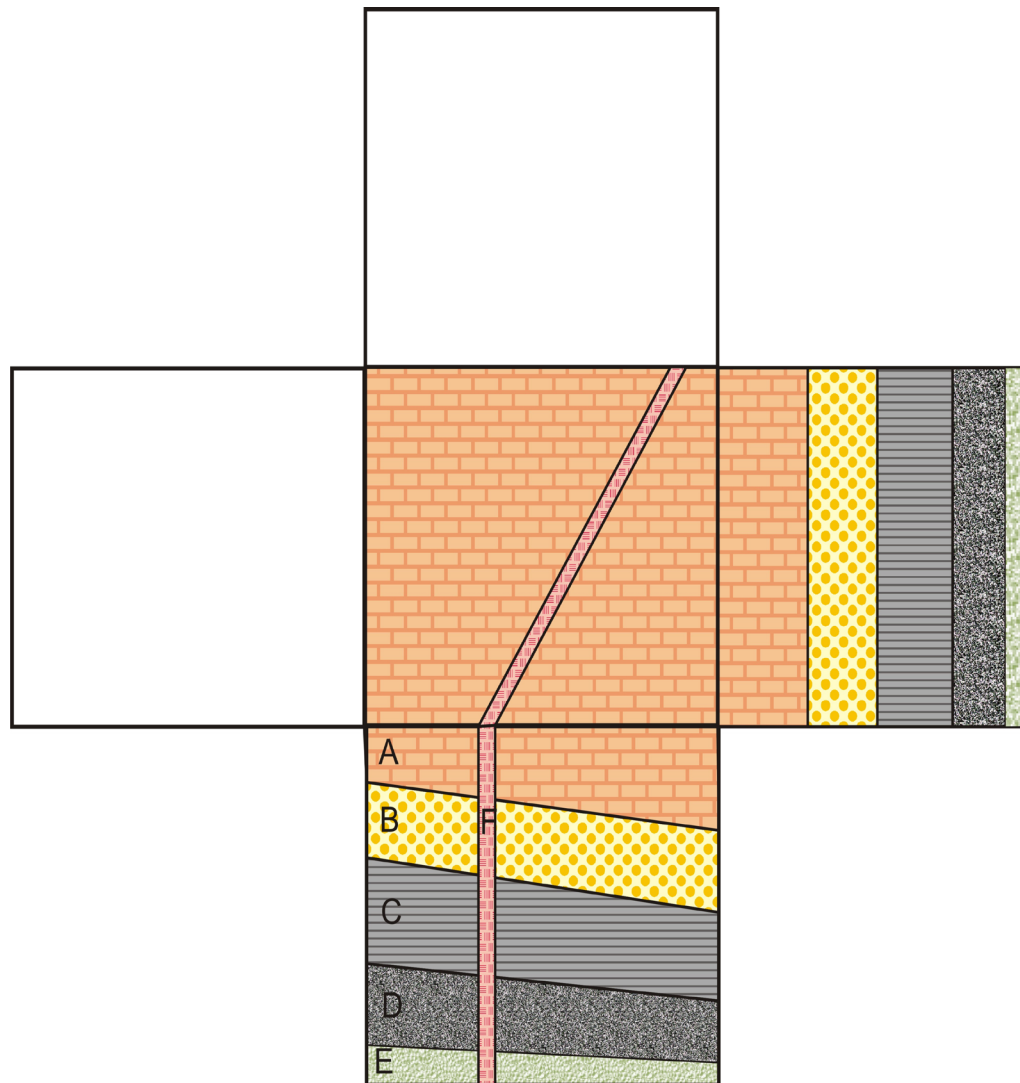


Modificado de: Ragan, D. 2009.



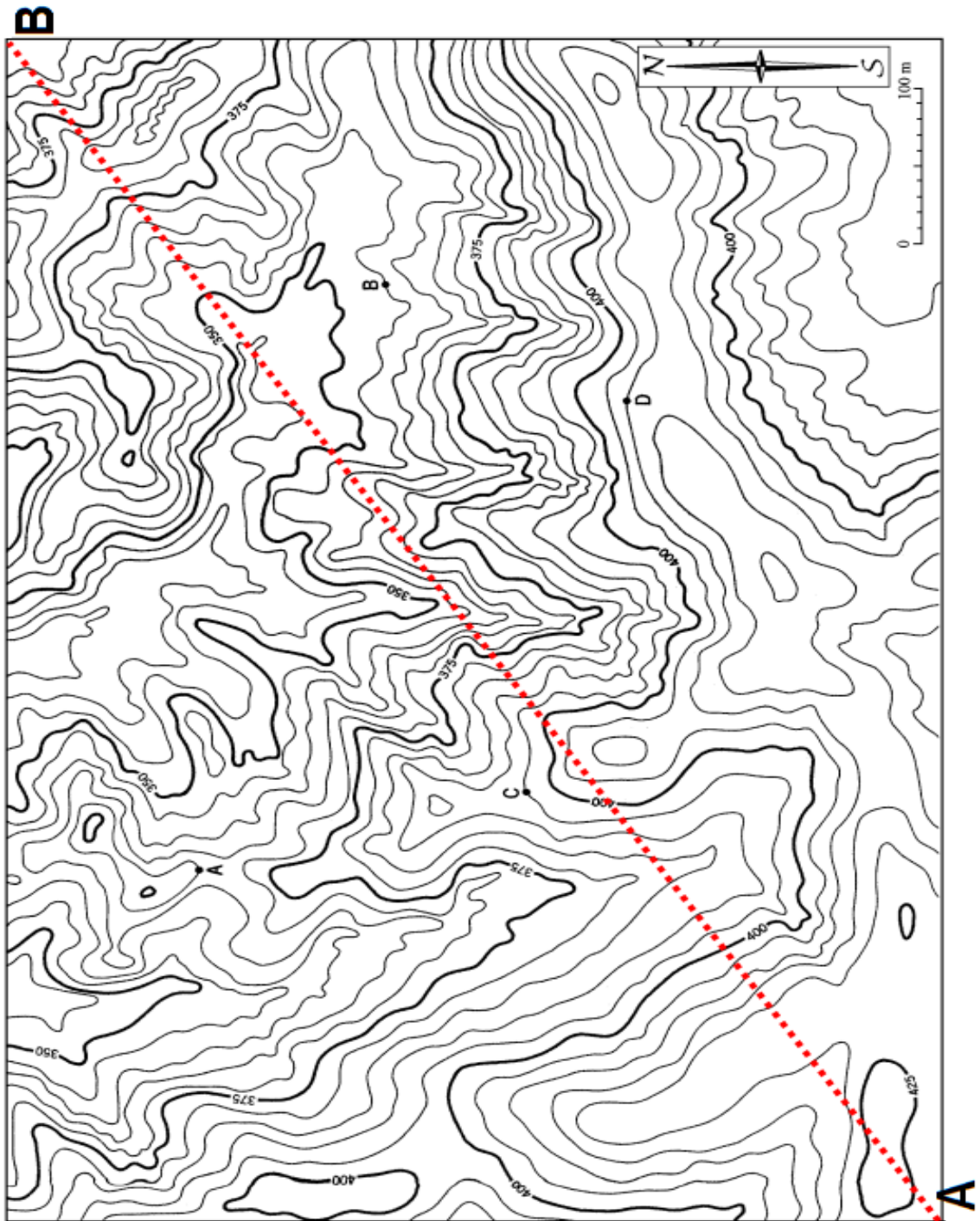
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Complete el siguiente bloque diagrama, que contiene las unidades A, B, C, D y E, siendo F un dique.





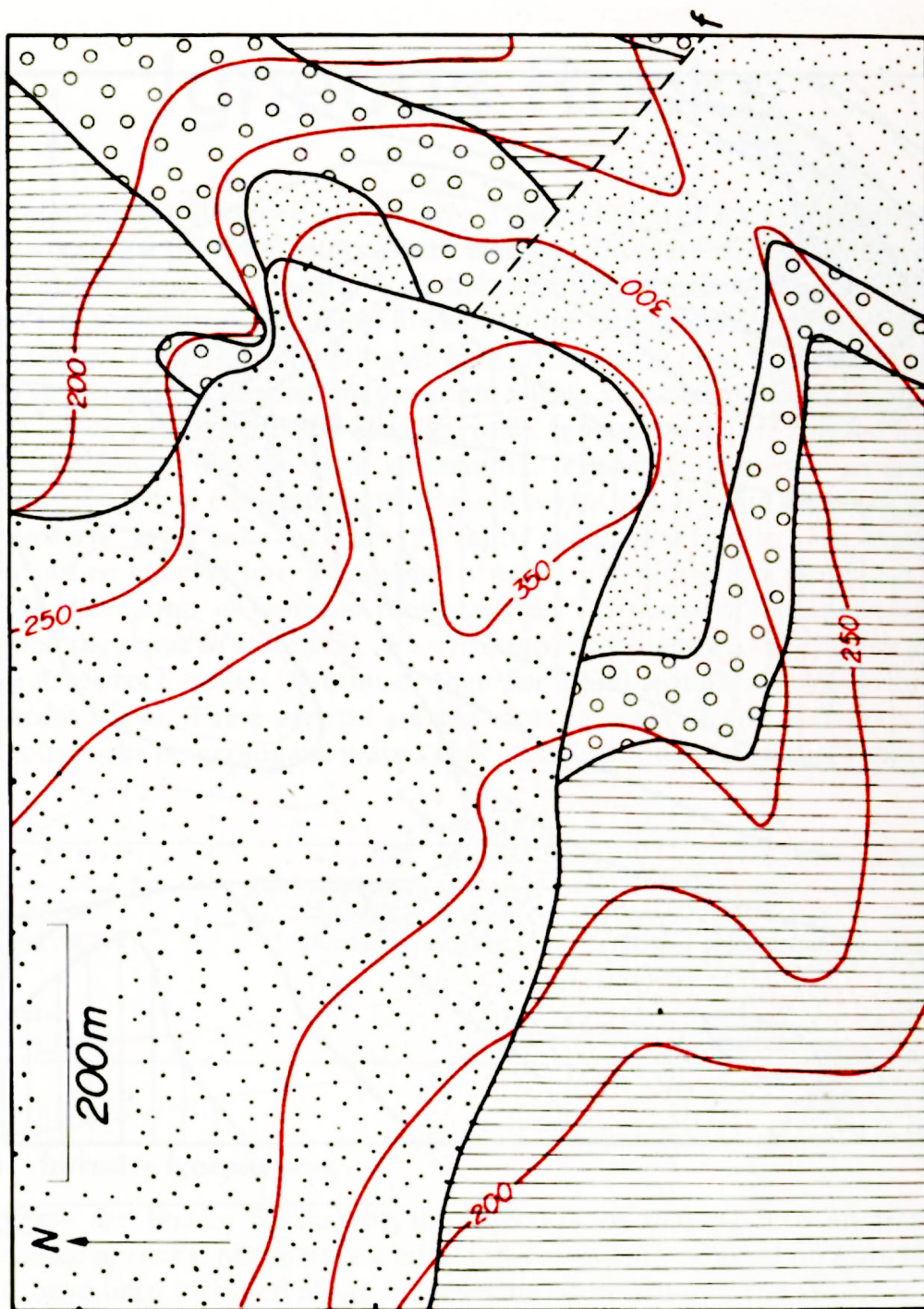
2. Con base el siguiente mapa, realice el perfil topográfico de A-B, sin exageración y teniendo en cuenta la escala del mapa:



Mapa tomado de: Delgado., et al., 2010



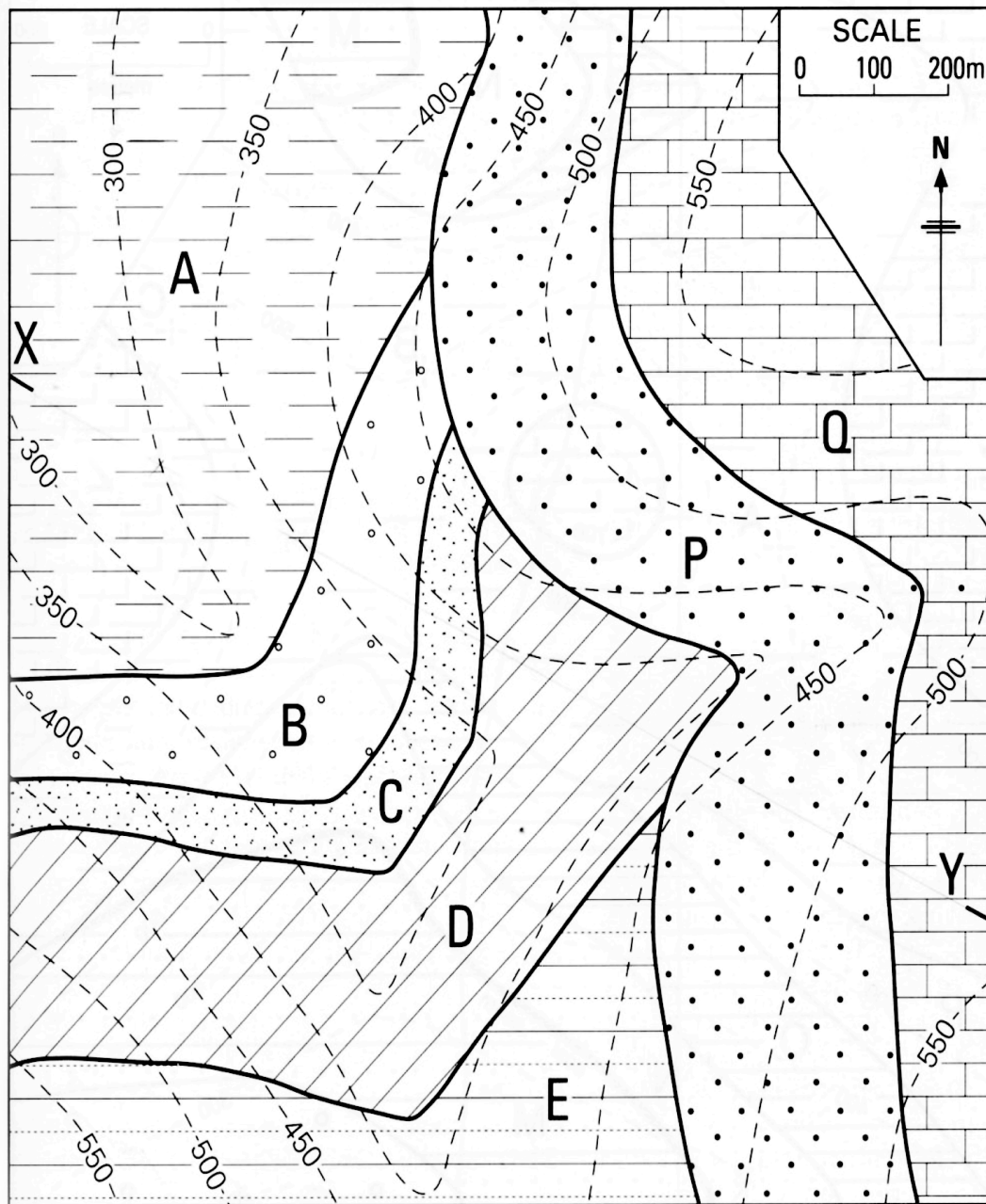
3. Según el siguiente mapa realice y utilizando la regla de las V, determine para donde buzcan los estratos encima y debajo de la discordancia (marcaquela en azul), e identifique si está a favor de la pendiente topográfica o en contra.



Mapa tomado de: Mier, R., 2000



4. Según el siguiente mapa elabore el corte X-Y.



Mapa tomado de: Mier, R., 2000



CONCLUSIONES

Al tratar de estudiar mapas geológicos, estructurales, topográficos, entre otros, es importante reconocer lo que se observa y a partir de esto identificar las posibles unidades con posible potencia de hidrocarburos.

Los cortes estructurales son la mejor herramienta a la hora de estudiar el subsuelo de una zona, ya que identifica las estructuras del subsuelo que a simple vista no se pueden observar y que son importantes a la hora de la exploración. Además de ofrecer una posible historia de la depositación de las unidades.

Una de los aspectos esenciales a la hora de estudiar mapas geológicos es identificar hacia donde buzcan los estratos, para lo cual se utiliza un método muy eficaz llamado la regla de las V, la cual nos indica el buzamiento del estrato y si la pendiente de este si está a favor de la topografía o en contra.



PRACTICA No 4: USO DEL ESTEREOONET

OBJETIVOS

- Comprender el manejo de la red estereonet.
- Determinar el polo de un plano.
- Encontrar la dirección del plano antes de una rotación.
- Solucionar problemas utilizando la red estereonet.

DURACION: 4 HORAS

INTRODUCCIÓN

Generalmente, para la solución de problemas por los métodos usuales de geometría descriptiva, se necesita por lo mínimo dos vistas ortográficas, en la cual se gasta tiempo y energía. Pero existe un método alternativo más rápido, práctico e igual de efectivo, por el cual las relaciones angulares entre líneas y planos se pueden determinar más directamente; este método es el método de proyección estereográfica.

La falsilla como herramienta, es mucho más manipulable y permite resolver rápidamente muchos problemas prácticos, incluso con algunos problemas que si se solucionan por otros métodos, resultarían muy tediosos. Otra ventaja de la proyección estereográfica es que un plano se puede representar mediante un punto. Esta herramienta y método para los ingenieros de petróleos es muy útil, ya que es muy práctica y se ahorran tiempo.

Esta práctica busca desarrollar problemas con el uso de la red estereonet, que utilizando otros métodos descritos en las prácticas anteriores, da resultados más rápidos y prácticos.

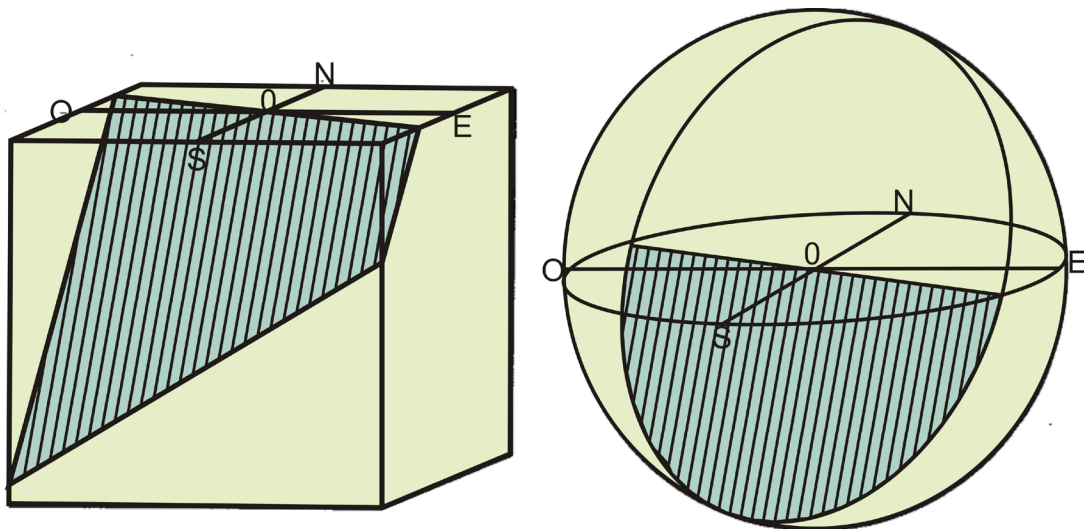


MARCO TEÓRICO

PROYECCION ESTEROGRAFICA

Si se construye una esfera centrada en algún punto 0 de la traza de afloramiento de un plano estructural inclinado, el plano y su prolongación cortaran la esfera según un círculo máximo, es decir según un círculo cuyo plano incluye el punto central 0. (León., 1994.) Ver Figura 35

Figura 35. Representación de un plano inclinado. (a) bloque diagrama. (b) representación en la esfera.



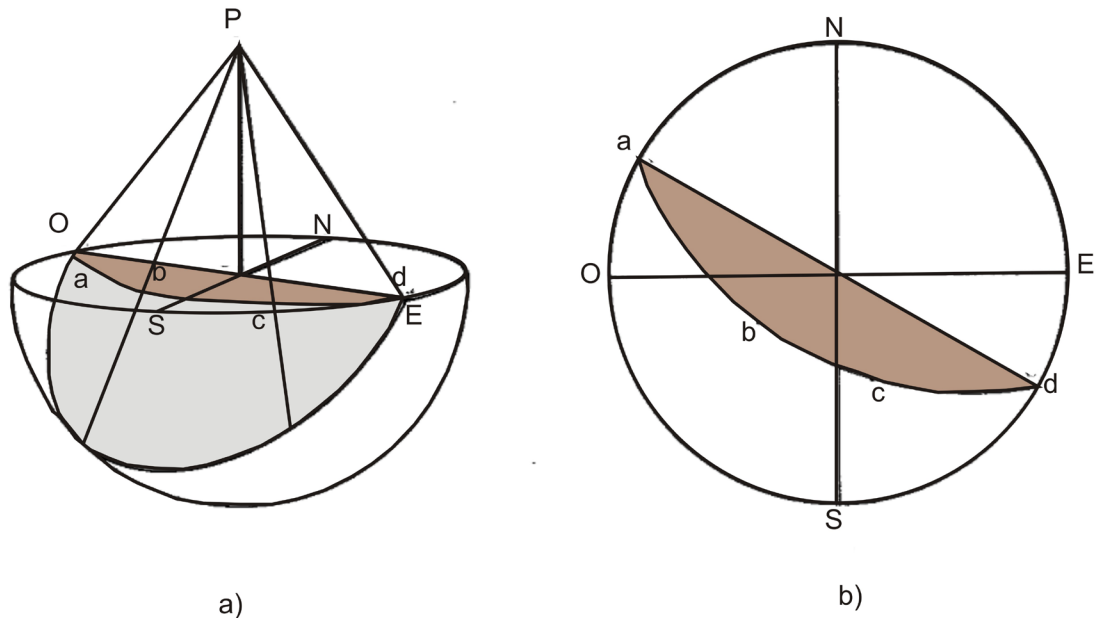
Modificado de: Ragan, D. 2009.

Si se inscribe una esfera tomando 0 como centro, la intersección con el plano estructural y la esfera, estará dada por un círculo máximo. Ver Figura 35

La forma más útil de proyectar todos los puntos de la parte inferior del círculo máximo al plano horizontal es mediante su unión con el punto cenital "P", a lo que resulta el arco "abcd", en otras palabras, una línea estructural que pase por el punto 0 cortara la esfera en un punto, este punto se proyectara al plano horizontal utilizando también P, (Ragan., 1980.).Ver Figura 36.



Figura 36. Proyección estereográfica de un plano inclinado. (a) proyección al plano ecuatorial horizontal. (b) estereograma correspondiente.



Modificada de: Ragan, D. 2009

En la proyección estereográfica, una de las propiedades es la de que un círculo máximo de la esfera es también un círculo en el estereograma; lo cual ayuda a la fácil construcción de la representación de cualquier plano. Los centros geométricos de los arcos que son círculos máximos se pueden encontrar gráficamente o a partir de la relación:

$$d = r \tan \delta$$

Donde **d** es la distancia desde 0 al centro del arco, **r** es el radio primitivo y **δ** es el ángulo de buzamiento. Otra propiedad de la proyección estereográfica es que los círculos menores también quedan representados por arcos circulares, estos se pueden hallar por la ecuación:

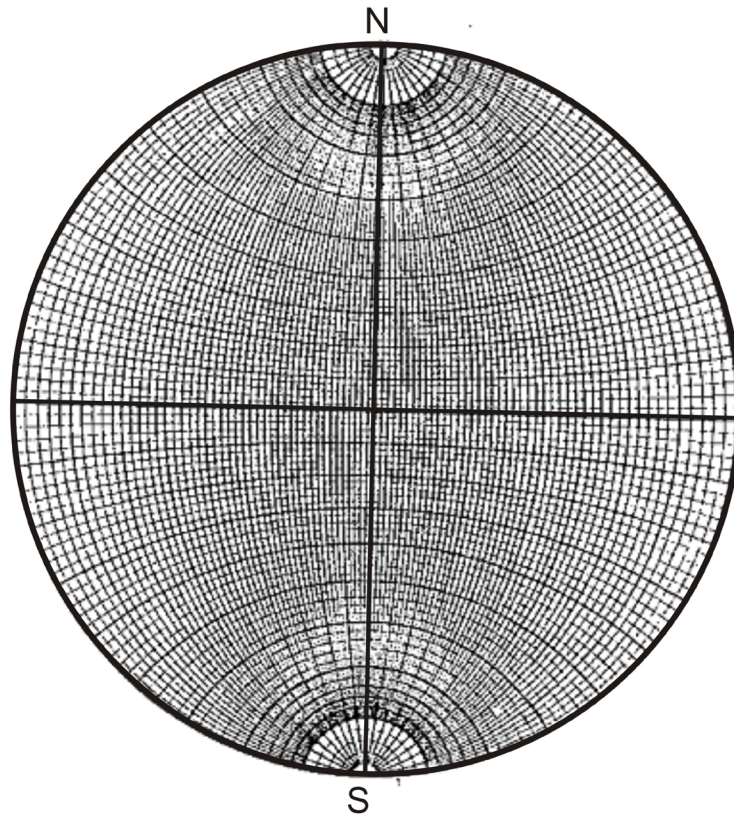
$$d = \frac{r}{\cos \alpha}$$

Donde **d** es la distancia desde 0 al centro del círculo, **r** es el radio de la primitiva y **α** es el ángulo que forma el círculo menor con un punto de la primitiva (la circunferencia limítrofe).



La falsilla de Wulff o falsilla estereográfica meridional, supone una gran ayuda en las construcciones gráficas. Los problemas se resuelven por simple manipulación de los datos que se representan directamente. Figura 37.

Figura 37. Falsilla Estereográfica Meridional o de Wulff.



Modificada de: Ragan, D. 2009.

Para usar la falsilla se necesitan los datos estructurales y una hoja transparente. El transparente se adhiere sobre la red por medio de una chincheta o alfiler, colocado exactamente en el centro, para permitir rotar la hoja libremente. Se puede reforzar el transparente con un pedacito de cinta adhesiva situada en el hueco de la chincheta, para que este no se agrande; luego se representan los datos estructurales en la hoja transparente.

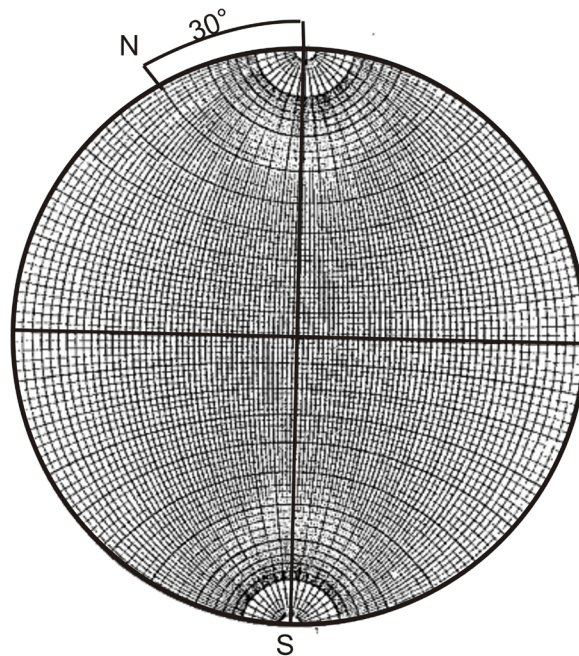
Se debe tener en cuenta que al momento de representar los datos, se visualizan los elementos estructurales como elementos que pasan por el centro de la esfera y que cortan su superficie. Para mayor comprensión el estudiante deberá realizar este ejercicio como ejemplo guía.

**Ejemplo:**

Dada la orientación de un plano, N30E/40E, hacer su proyección estereográfica.

1. Ya situado el transparente encima de la falsilla, se marca el norte, en el mismo lugar donde está el punto norte del estereonet.
2. Para trazar la línea de la dirección de la capa, se cuenta 30° a la derecha, desde el norte y se marca con un punto sobre el círculo limítrofe.
3. Se gira el transparente hasta que el punto de la dirección del plano este exactamente en el punto norte de la red estereográfica, es decir, girarlo 30° a la izquierda. Ver figura 38

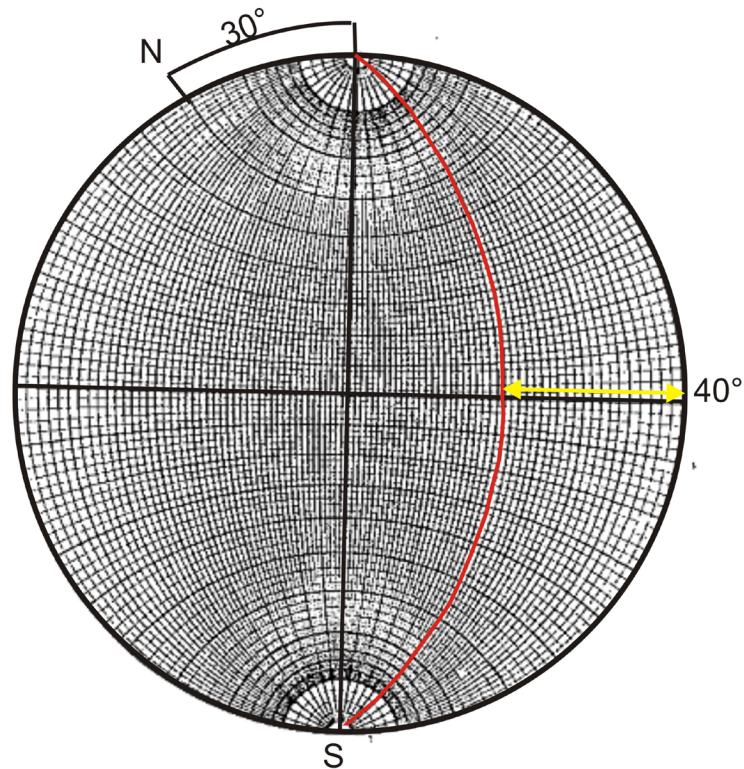
Figura 38. Rotación del transparente y cálculo de la dirección N30°E



4. Para representar el buzamiento, 40° SE, se cuenta desde la derecha del círculo limítrofe, hacia adentro a lo largo del diámetro este – oeste de la red estereográfica. Trazar el arco del círculo máximo correspondiente. Ver Figura 39.
5. Girar el transparente a su posición original, es decir, hasta que el norte coincida con el norte de la red estereográfica. Verificar los resultados.



Figura 39. Representación del plano $N30^{\circ}E/40^{\circ}SE$

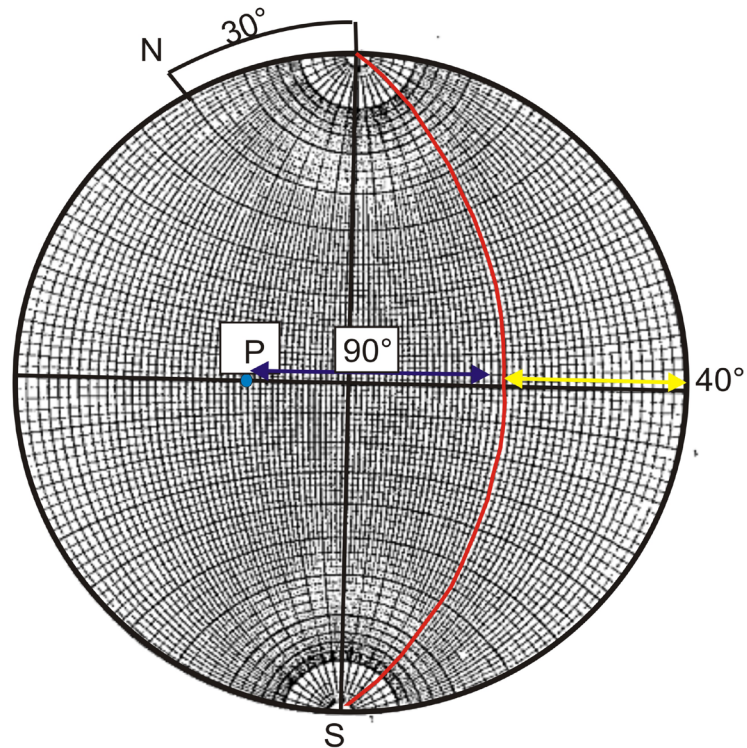


Modificada de: Ragan, D. 2009.

Para cada plano solo hay una perpendicular a él, a esta perpendicular se le llama polo, y para visualizarla, se coloca un punto a 90° a la derecha o izquierda del círculo máximo trazado que pasa por el punto marcado del buzamiento. Ver Figura 40.



Figura 40. Construcción del polo.



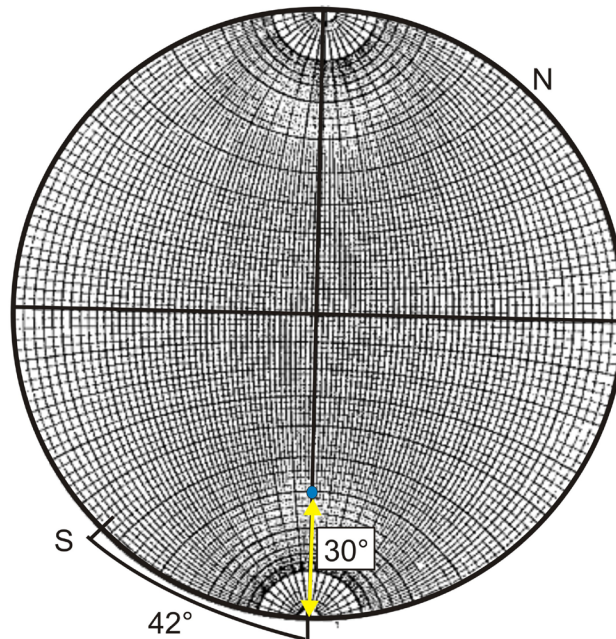
Modificada de: Ragan, D. 2009.

Para representar una línea se realiza el procedimiento anterior, pero en este caso solo se ubica el punto, no se traza el círculo máximo que pase por ese punto.

Por ejemplo si tenemos una línea para representar y los datos son $S42^{\circ}E/30^{\circ}$. Ver Figura 41.



Figura 41. Proyección estereográfica de una línea (S 42°E/30°).



Modificada de: Ragan, D. 2009

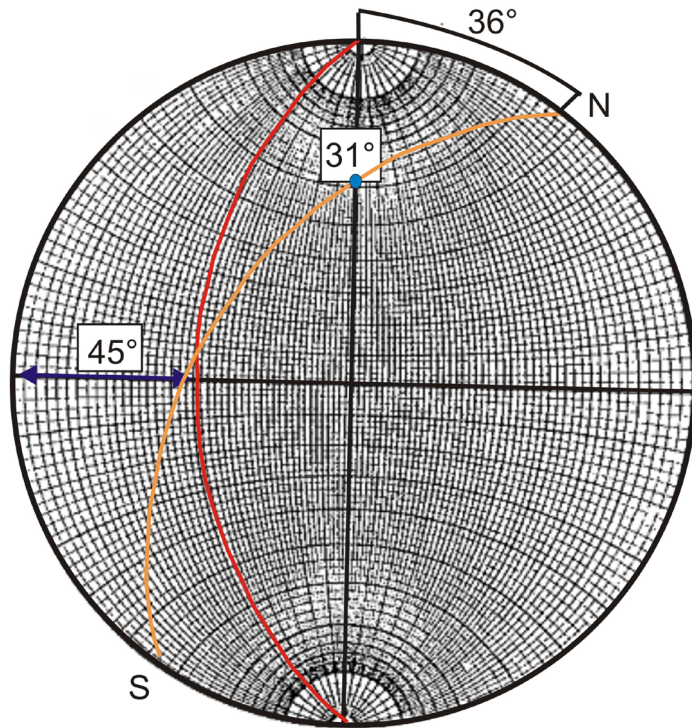
Para representar un plano que contiene una línea, el procedimiento se hace paso por paso. Para mayor comprensión seguir el siguiente ejemplo. Ver Figura 42.

Dado un plano, (N 0°/45°O), y una línea de este plano, (N36°O/31°SO), representar ambos en la red estereográfica.

1. Para representar el plano, se marca la dirección del plano en el círculo limítrofe, en este caso es el norte; luego se cuenta los 45° desde la izquierda sobre el diámetro este – oeste de la falsilla. Por ultimo marcar el círculo máximo que pasa por el punto. (Como en los anteriores ejemplos)
2. Para representar la línea, se orienta el transparente al norte y se marca la dirección de la línea; luego se gira hasta que el punto este sobre el norte de la red estereográfica y contar 31° desde este punto a lo largo del diámetro norte–sur; marcar el punto.
3. Como la línea está contenida en el plano, también el punto que se representa la línea, se encuentra en el círculo máximo. Si no está en él, es que se ha cometido un error, se recomienda verificar.



Figura 42. Proyección estereográfica de un plano que contiene una línea.



Modificada de: Ragan, D. 1980

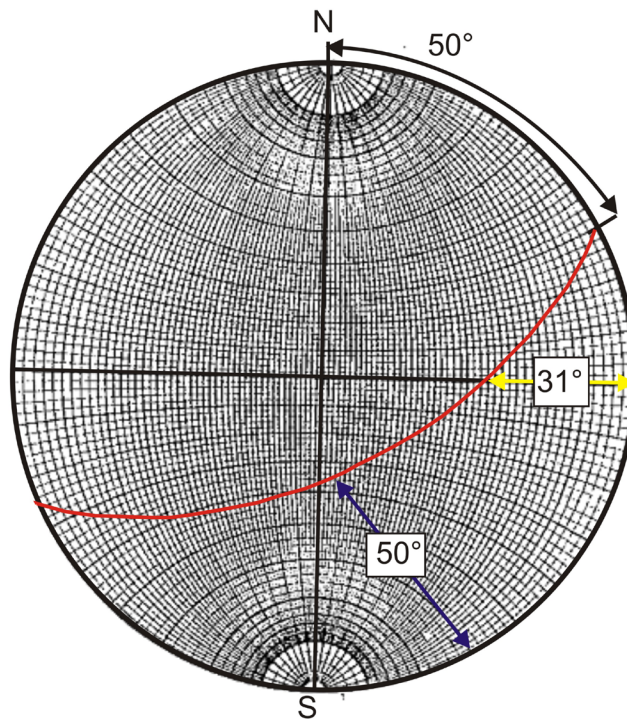
Buzamiento aparente:

Uno de los problemas que se pueden resolver es el buzamiento aparente. Por ejemplo si se tiene un plano inclinado, (N50°E/50°SE), hallar el buzamiento aparente en la dirección N 80° E. Ver Figura 43

1. Para representar el plano, se gira 50° a la izquierda del norte; cuando el punto este en el norte, se cuenta 50° a lo largo del diámetro este – oeste y se traza el círculo máximo, (así como en los ejemplos anteriores).
2. Con el transparente de vuelta a su posición inicial, se marca N80°E sobre el círculo limítrofe.
3. Girar esta marca hasta el punto este, y desde el, leer la posición angular, es decir, los grados sobre el diámetro este- oeste, hasta la intersección con el círculo máximo.



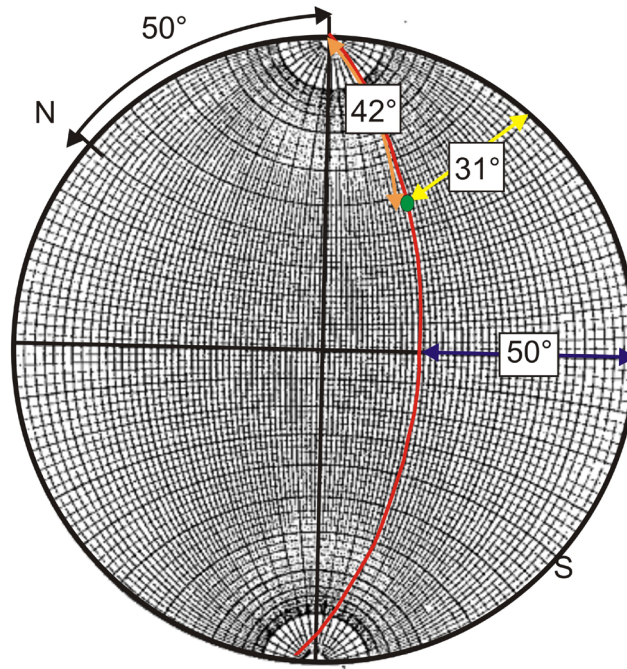
Figura 43. Buzamiento aparente a partir del buzamiento real y la dirección de la capa.



Modificado de: Ragan, D. 1980

El buzamiento aparente en la dirección $N80^\circ E$ es de 31°

A partir de este diagrama se puede obtener el cabeceo de una línea en un plano inclinado. se lleva el transparente de nuevo a la posición donde el plano este norte-sur y se determina el ángulo comprendido entre el círculo limítrofe y el punto medido a lo largo del círculo máximo; es decir Ver figura 44.

**Figura 44.** Determinación de cabeceo.

Modificado de: Ragan, D. 1980

En el anterior ejemplo el cabeceo de la línea es 42° NE.

Buzamiento real

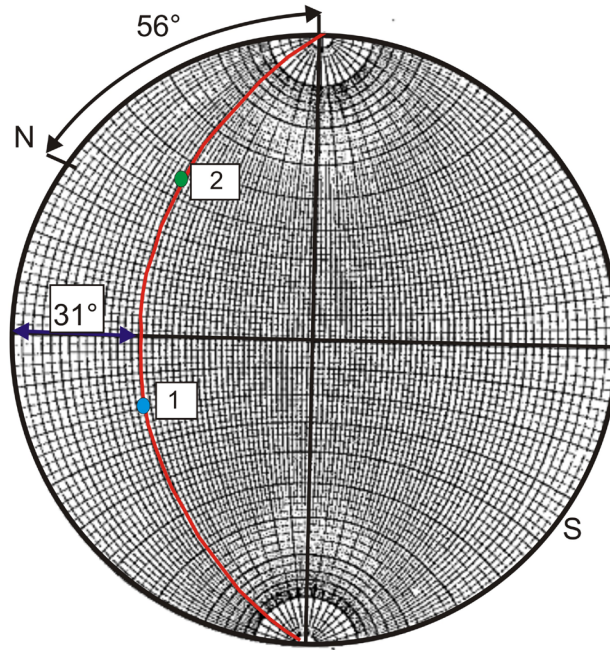
Otro problema que se puede solucionar es la determinación del buzamiento real a partir de buzamientos aparente. Por ejemplo, dados los buzamientos aparente ($N45^\circ O/30^\circ SO$) y ($N14^\circ E/22^\circ SE$), hallar el buzamiento real. Ver Figura 45

1. Representar las dos líneas de buzamiento aparente. La primera girando 45° a la derecha del norte y contar 30° desde el norte a lo largo del diámetro norte – sur. La segunda se gira 14° a la izquierda de la marca del norte y contar 22° desde el norte.
2. Girar el transparente hasta que los puntos que representan los buzamientos aparentes caigan en un mismo círculo máximo. Marcar el arco.
3. El buzamiento real del plano se lee sobre el diámetro este – oeste; la dirección



de la capa se determina devolviendo el transparente a la posición norte.

Figura 45. Buzamiento real a partir de dos buzamientos aparentes.



Modificado de: Ragan, D. 1980

El buzamiento real es $N56^{\circ}E, 30SE$. El ángulo entre ambas líneas es la distancia angular leída sobre el círculo máximo entre los dos puntos (62°).

Intersección de dos planos:

También se puede hallar la inmersión de la intersección de dos planos. Para ellos se grafica paso a paso cada plano individualmente en la misma hoja transparente; el punto de intersección de los dos círculos máximos, representa la línea de intersección de ambos planos. Para leer el ángulo de inmersión y el rumbo, se gira este punto hasta que se sitúa en el diámetro norte-sur de la falsilla.

Ejemplo:

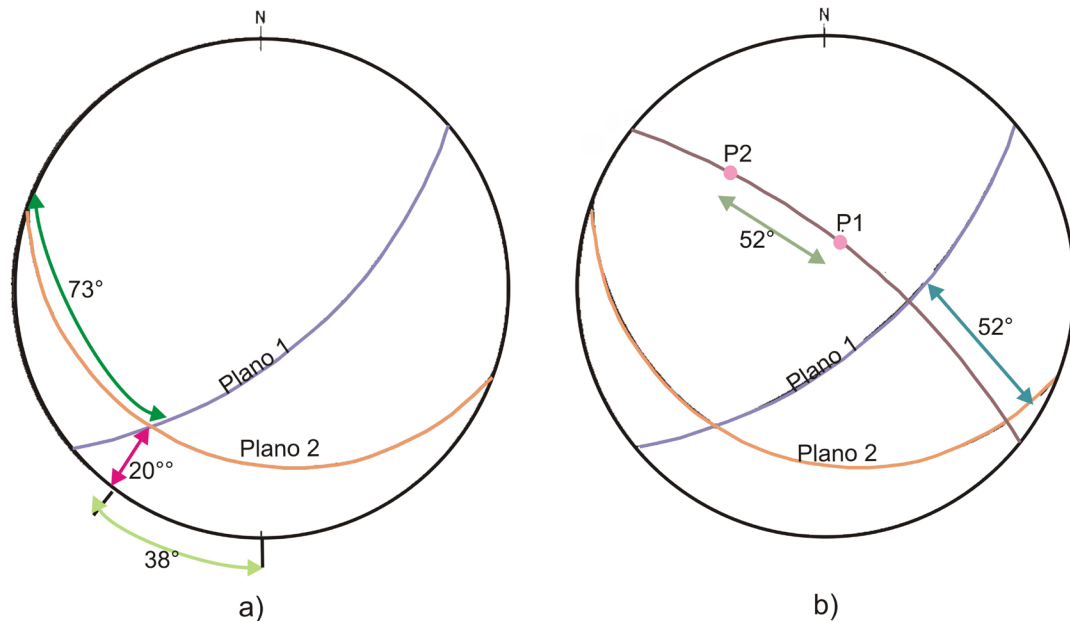
Dados dos planos, ($N50^{\circ}E/60^{\circ}SO$) y ($N70^{\circ}O/20^{\circ}SO$) hallar la inmersión de la línea de intersección.

Se construyen los dos planos (para la construcción los pasos son los mismo



explicados anteriormente) en una mismo papel transparente, el punto de inmersión es el punto de intersección de los dos círculos máximos de los planos en la línea, se halla girando este punto hasta que se situé en el diámetro Norte-Sur de la falsilla, también se lee el rumbo de la inmersión. Ver Figura 46a

Figura 46. Línea de intersección de dos planos. (a) La inmersión y el cabeceo de la línea. (b) Ángulo diedro entre los dos planos.



Modificado de: Ragan, D. 1980

La inmersión de la línea de intersección es de 20° , con rumbo de $S38^\circ O$.

Otra relación útil entre dos planos que se cortan es el ángulo diedro, este se determina midiendo el ángulo entre los polos de los dos planos. Si se construye el círculo máximo cuyo polo es la línea de intersección, el ángulo entre ambos planos se puede leer directamente; para este ejemplo el ángulo diedro es de 52° . Ver Figura 46 b.

ROTACIONES

Una de las principales aplicaciones de la red estereonet son las rotaciones. Al poder rotar un plano alrededor de un eje horizontal, vertical o inclinado. En ocasiones, se



necesita saber cuál era la orientación inicial, antes de que sufriera basculamiento.

Por ejemplo, si se quiere reubicar una estructura con fines paleogeográfico, como alineaciones debidas a la corriente y las orientaciones anteriores al basculamiento o reubicar las unidades sedimentarias que sufrieron fallamiento o plegamiento, de una trampa estratigráfica actual, antes del basculamiento.

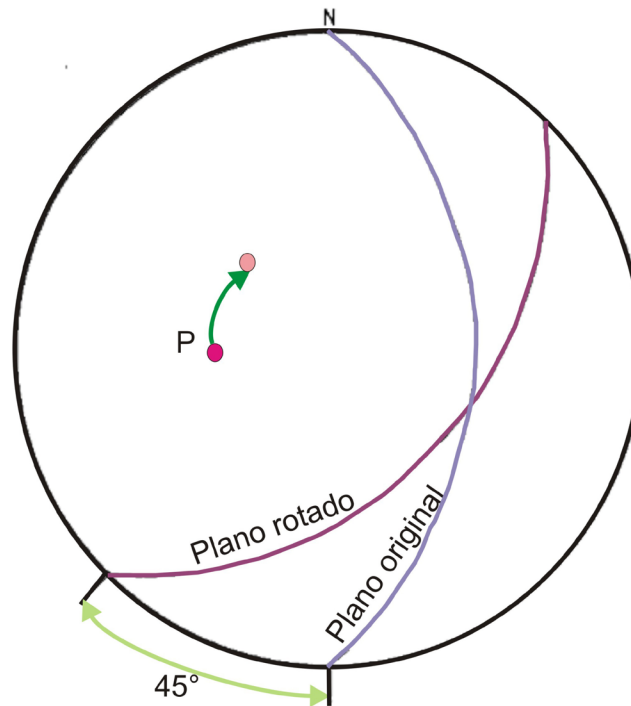
Durante el plegamiento, se produce el tipo más corriente de basculamiento, y a veces estos basculamiento pueden ir asociados a fallas. En el caso de pliegues de flexión, se trata solo de desarrollar la estructura y volver a colocar las cosas en posición horizontal. Para establecer las capas de un pliegue sin inmersión a la horizontalidad, a los planos de estratificación se les aplica rotación alrededor de un eje paralelo a la dirección de capa de los estratos, que también es paralelo al eje del pliegue, rotación de ángulo igual al ángulo de buzamiento, (León., 1997).

En la figura 47, se representa el plano ($N 45^{\circ}E$) que ha rotado 45° a la derecha, en sentido de las agujas del reloj, alrededor de una vertical R hasta adquirir su nueva orientación ($N45^{\circ}E/5^{\circ}SE$). Se puede rotar la traza del círculo máximo, al igual que se puede rotar el polo del plano, los resultados van a ser iguales.

Para hallar la posición nueva, se gira el transparente, el ángulo indicado; pero antes de realizar este giro, es muy importante tener en cuenta que después de una rotación, un plano o línea tiene una orientación totalmente nueva en relación a una dirección de coordenadas establecidas.



Figura 47. Rotación de un plano alrededor de un eje vertical.



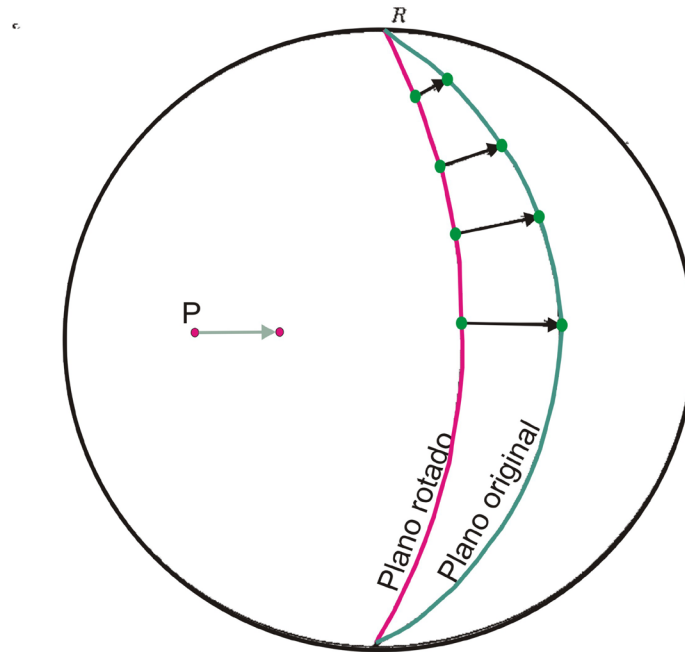
Modificado de: Ragan, D. 1980

En la red estereonet, también se puede solucionar problemas de un elemento estructural rotado en un eje horizontal. Para esto se debe girar el transparente hasta que R coincida con el diámetro norte- sur de la falsilla; en esta posición, una rotación desplaza puntos a lo largo de trayectos según círculos menores.

Para mayor entendimiento, en el ejemplo de la figura 48, un plano que tiene buzamiento de 60° , se somete a un esfuerzo que provoca una rotación sinistrogira, es decir, en sentido contrario a las agujas del reloj, vista desde el extremo sur de R.



Figura 48. Rotación de un plano alrededor de un eje horizontal.



Modificado de: Ragan, D. 1980



DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Grafique en la red estereonet los siguientes planos y ubique sus respectivos polos:
 - a. $N 60^{\circ}O/46^{\circ}SO$
 - b. $N 15^{\circ}E/20^{\circ}SE$
 - c. $N 25^{\circ}E/33^{\circ}NO$
 - d. $N 36^{\circ}O/70^{\circ}SO$
 - e. $N 65^{\circ}O/50^{\circ}NE$
 - f. $N 25^{\circ}E/90^{\circ}$

2. Determine la orientación de la línea de intersección entre los siguientes planos.
 - a. $N 60^{\circ} O/46^{\circ}SO$ $N 15^{\circ} E/20^{\circ} SE$
 - b. $N 25^{\circ} E/33^{\circ}NO$ $N 36^{\circ} O/70^{\circ} SO$
 - c. $N 65^{\circ} O/50^{\circ}NE$ $N 25^{\circ} E/90^{\circ}$

3. Determinar la inmersión de la línea de intersección y el ángulo diedro para cada uno de los siguientes:
 - a. $N 30^{\circ} O/ 45^{\circ}SO$ $N 70^{\circ} E/ 20^{\circ}SE$
 - b. $N 60^{\circ} O/30^{\circ}SO$ $N 54^{\circ} E/70^{\circ}SE$
 - c. $N 40^{\circ} O/45^{\circ}SO$ $N 50^{\circ} E/80^{\circ}SE$

4. Una arenisca tienen una orientación de $N45^{\circ}O/40^{\circ}SO$ y se sabe que ha rotado 30° en sentido contrario a las manecillas del reloj. ¿Cuál era la orientación de las areniscas antes de la rotación?

5. Un shale tenía una orientación de $N 25^{\circ}E/50^{\circ}SE$ antes de que sufriera una rotación



de 45° en sentido de las manecillas del reloj. ¿Cuál es la nueva orientación del shale?

6. Una arcillolita tiene una orientación de $N45^\circ O/40^\circ SO$, pero ha sufrido una rotación de 50° a favor de las manecillas del reloj ¿Cuál es la orientación actual de la arcillolita?



CONCLUSIONES

La utilización de la red estereonet en los problemas para hallar el rumbo y buzamiento es más eficaz y rápida que por los otros métodos vistos en los capítulos anteriores, lo cual es de gran utilidad para los ingenieros de petróleos, que no tienen el tiempo y la práctica necesaria para realizar los cálculos por los otros métodos.

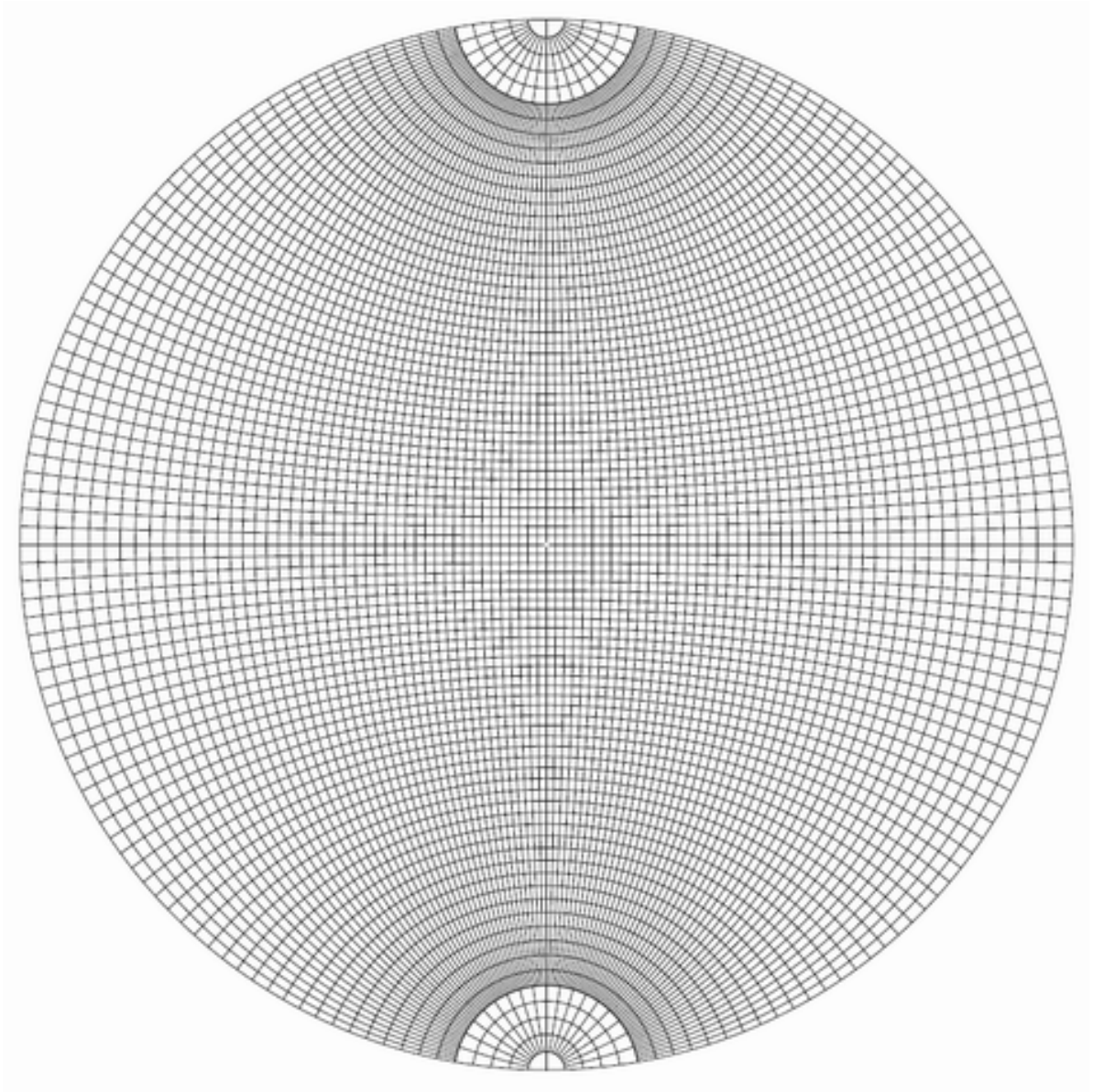
Para el estudio de una zona, a veces es importante conocer la orientación de una unidad antes de su basculamiento, lo cual se puede resolver fácilmente utilizando la red estereonet.

Existen varias redes de estereonet pero la más útil y práctica es la falsilla estereográfica de Wulff. Esta falsilla es útil para resolver problemas relacionados con la geología estructural y la geotecnia, además precisa de la comprensión por parte del estudiante.



ANEXO 1

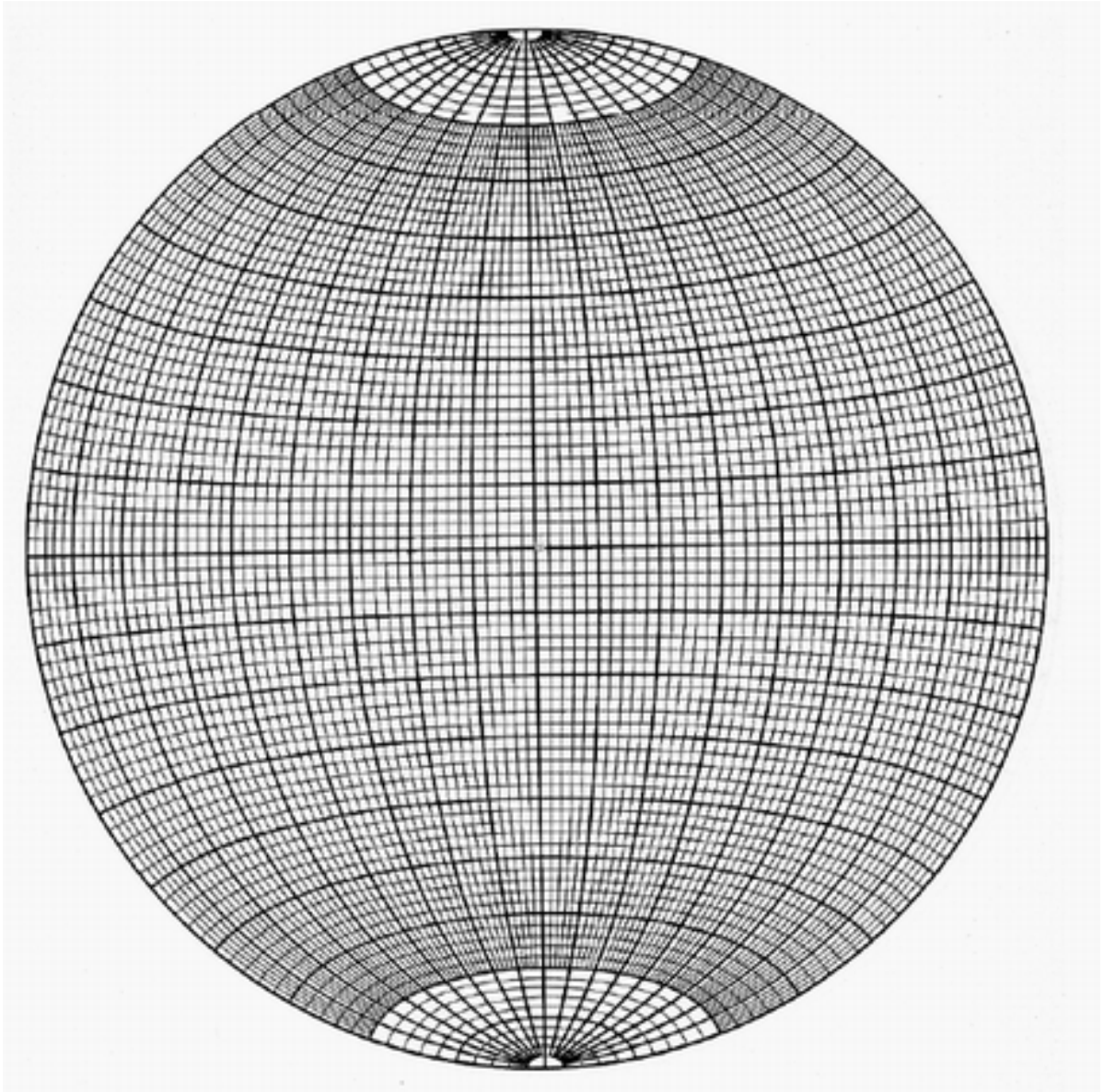
Falsilla de wulff.





ANEXO 2

Falsilla de Schmidt.



**PRACTICA No 5: MAPAS ESTRUCTURALES.****OBJETIVOS**

- Comprender la importancia de un mapa estructural como herramienta.
- Desarrollar mapas estructurales por los diferentes métodos de trazado.

DURACION: 4 HORAS

INTRODUCCIÓN:

La mayoría de los mapas usados en la geología del petróleo son mapas del subsuelo, siendo los mapas geológicos de superficie, los tectónicos y los geofísicos, parte de la información utilizada en la evaluación geológica de un yacimiento.

Los mapas estructurales usa contornos para indicar la elevación de la parte superior de la capa de roca sedimentaria, esta roca podría ser objetivo de perforación o ser un posible reservorio. Además estos mapas ayudan a dar indicios de la forma de la estructura del yacimiento.

Muchas veces, un mapa estructural en blanco o negro preparado cuidadosamente es mejor que uno coloreado, ya que el mapa al estar coloreado se puede llegar a confundir y sobrecargar el mapa con información. En estos mapas las unidades litológicas deben representarse únicamente con datos geológicos.

Un buen control estructural del área de estudio permite establecer mejores diseños de perforación, como la profundidad hasta donde perforar.



MARCO TEÓRICO

Al elaborar cualquier tipo de mapa se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Se debe escoger una escala y un intervalo apropiado para representar los datos.
- Se debe evitar sobrecargar los mapas, por ello solo se deben usar los datos más importantes y representativos, utilizando las convenciones estándar. Ver Figura 47.
- Los mapas deben guardar relación con las áreas de estudio.

Se deben tener unos conceptos claros antes de continuar. Para ello se debe ver el video 7 “Conceptos básicos sobre mapas”.(dar clic en reproducir).

Video 7. Conceptos básicos sobre mapas.

DEFINICIONES BÁSICAS

Contacto normal o concordante. Separa dos materiales paralelos entre sí, que pueden suponerse consecutivos en el tiempo geológico. (Se representa por una línea de puntos)

Contacto discordante. Separa dos materiales entre sí, que no tienen continuidad temporal. (Se representa por una línea discontinua)

Contacto mecánico. El plano de contacto es una falla.

PLAY VIDEO

Los planos discordantes se caracterizan por la falta de conformidad entre estratos encontrándose en series discordantes sobre otras series (suprayacente sobre infrayacente).

Pulse sobre el botón avanzar () para continuar

Fuente: Cartografía geológica

Los mapas estructurales consisten en trazar el comportamiento físico de las



estructuras geológicas en el subsuelo; además de aportar cierto tipo de información para que junto con otros mapas, se pueda evaluar la zona de estudio.

Una curva estructural es una línea imaginaria que conecta puntos de igual posición estructural en el subsuelo, por consiguiente un mapa estructural muestra la configuración de un horizonte o estrato

Todos los datos utilizados para su construcción deben ser referidos a una línea base o datum, que por lo general es el nivel del mar.

Para su construcción se requiere de la ubicación exacta de cada punto de observación, marcadores estratigráficos seleccionados, profundidad de los marcadores bajo la superficie y composición conocida de las rocas.

Para determinar el tope de una unidad o de una estructura geológica, se utilizan datos litológicos y paleontológicos. Así como se utilizan ripios, núcleos o registros de pozos para la identificación detallada la unidad.

El intervalo entre las curvas depende de la diferencia de elevación dentro del área de estudio, lográndose proporcionar un suficiente número de isolíneas que muestran una interpretación razonable y clara de la estructura del subsuelo. Un intervalo muy amplio, puede dar una interpretación inexpresiva que no muestre ninguna estructura o cierre importante, (León., 1997).

METODOS DE TRAZADO

En los mapas estructurales la información está sujeta a la interpretación individual, debido a que la información por lo general es escasa, a menos que esta información provenga de una exploración. (León., 1997).

- Método de trazado mecánico: de acuerdo a la distancia y al intervalo elegido, la diferencia en elevación entre cada dos puntos, se distribuye aritméticamente.

Este método produce un mapa geoméricamente exacto, pero si los datos son escasos, el relieve puede ser muy diferente a las formas comunes en la naturaleza.



- Método paralelo: también llamado método proporcional de espacios iguales entre curvas, se usa cuando la información es escasa y mantiene una pendiente uniforme.
- Método interpretativo: traza las curvas mostrando un patrón estructural consistente con los valores dados y también con la estructura regional.

Cuando los datos son limitados, se recomienda el trazado interpretativo. Cuando se cuenta con suficiente control, el trazado mecánico es más exacto.

CONSTRUCCION: (León., 1997).

1. Al ser mapas similares a los de las curvas de nivel, siguen las normas generales del trazado de isolíneas.
2. En algunos casos como de pliegues volcados y fallas inversas, las isolíneas pueden cruzarse. En el bloque hundido o en el flanco inferior del pliegue volcado no se muestran las cuervas, y una curva finaliza solamente en una falla, línea de costa o discordancia.
3. En donde las curvas este juntas, esto representa buzamientos pronunciados y donde las curvas estén separadas, representa buzamientos bajos.
4. En algunos casos las isolíneas pueden converger en una sola curva, lo que significa un buzamiento vertical o una falla que hace desplazar las isolíneas a lo largo del rumbo.
5. Las líneas del mismo valor deben ser repetidas ara expresar un cambio en la dirección del buzamiento.
6. La geología regional proporciona indicadores del tipo de estructuras que pueden encontrarse en el área.
7. Cuando los mapas estructurales son para el desarrollo exploratorio o cálculo de reservas, no se debe ser excesivamente optimista en cuanto al número, área y cierre de domo o anticlinales.
8. Es conveniente mantener el buzamiento constante y mostrar gradualmente

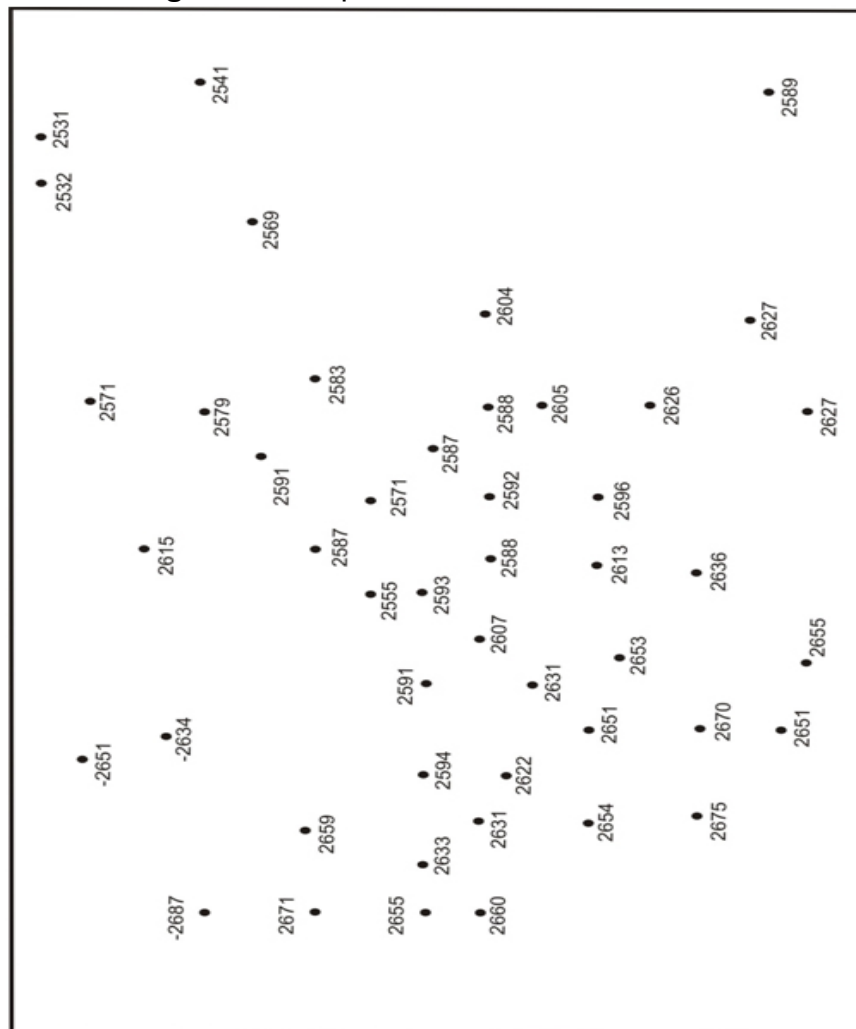


los cambios de rumbo y buzamiento, a menos que los datos indiquen cambios.

9. En áreas donde no se presenten cambios anómalos deben ser cuidadosamente estudiadas en busca de posibles fallas.
10. A medida que se obtiene más información, las curvas estructurales deben ser modificadas.

Dado el siguiente mapa, construya el mapa estructural por el método de trazado. Ver Figura 49 y 50

Figura 49. Mapa contorneos estructurales



Modificado de: Mier, Ricardo. Geología del petróleo básica. Publicaciones UIS. 2000



DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. A partir del anexo 3 realizar un mapa estructural utilizando el método interpretativo, con intervalo de 20 m y tratando de mantener las curvas de nivel lo más paralelas posibles.

2. A partir del anexo 4 realizar un mapa estructural, utilizando el método mecánico o matemático, con intervalos de 20 m y tratando de mantener las curvas de nivel lo más paralelas posibles.

3. Realice un mapa estructural que contenga (utilice datos de su imaginación):
 - a. Un anticlinal y un sinclinal.
 - b. Un monoclinal
 - c. Una falla.



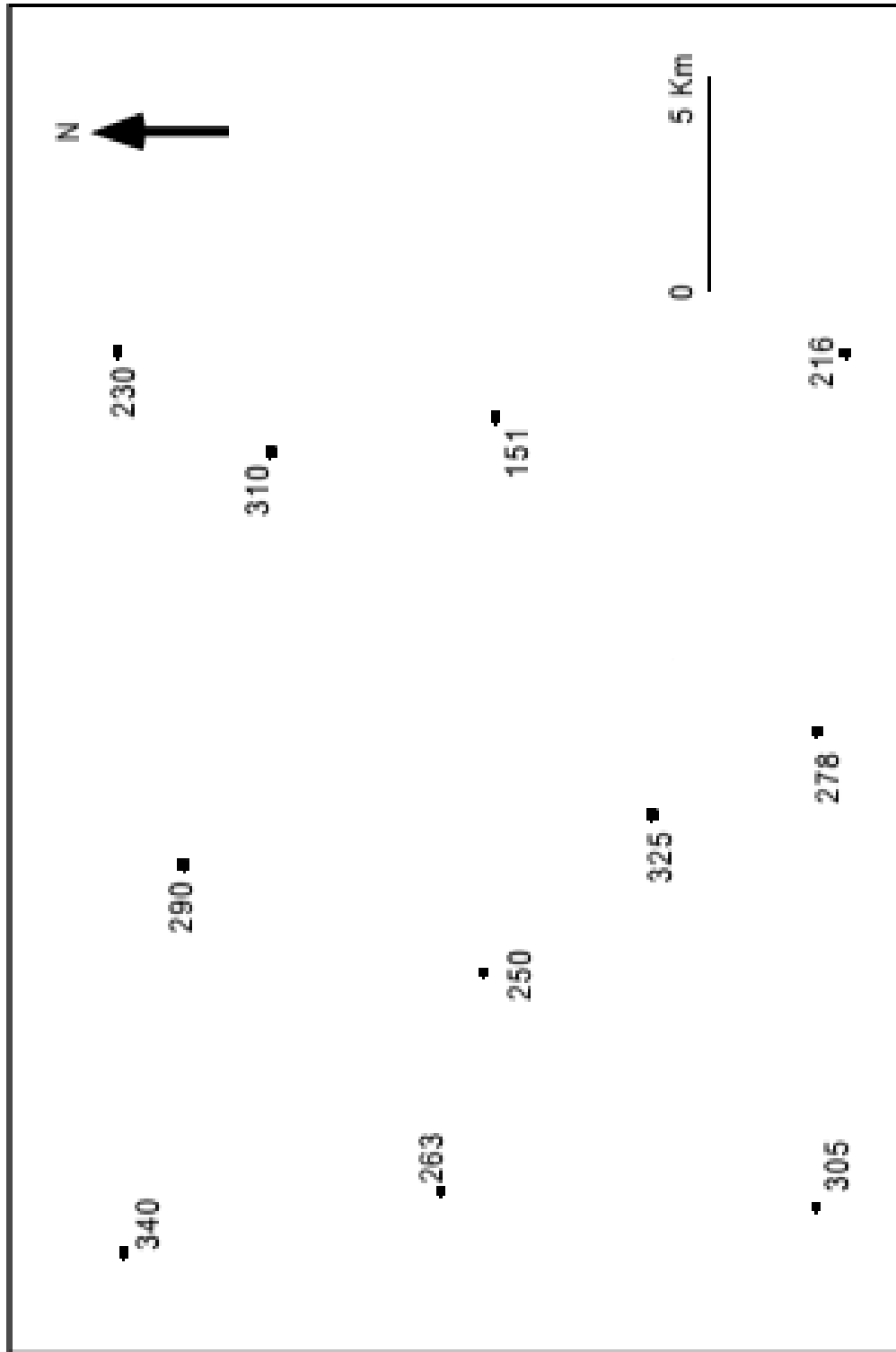
CONCLUSIONES

Para el área de geología del petróleo la utilización de mapas estructurales es de importancia, ya que es de gran ayuda para el desarrollo de los distintos campos y proporcionan gran cantidad de información que ayuda con la interpretación de una zona si se usa adecuadamente

Para seleccionar el método indicado de trazado para la realización de un mapa estructural, se debe tener en cuenta que cuando se cuenta con suficiente control del trazado mecánico es más exacto y cuando los datos son limitados el trazado interpretativo es el más satisfactorio.



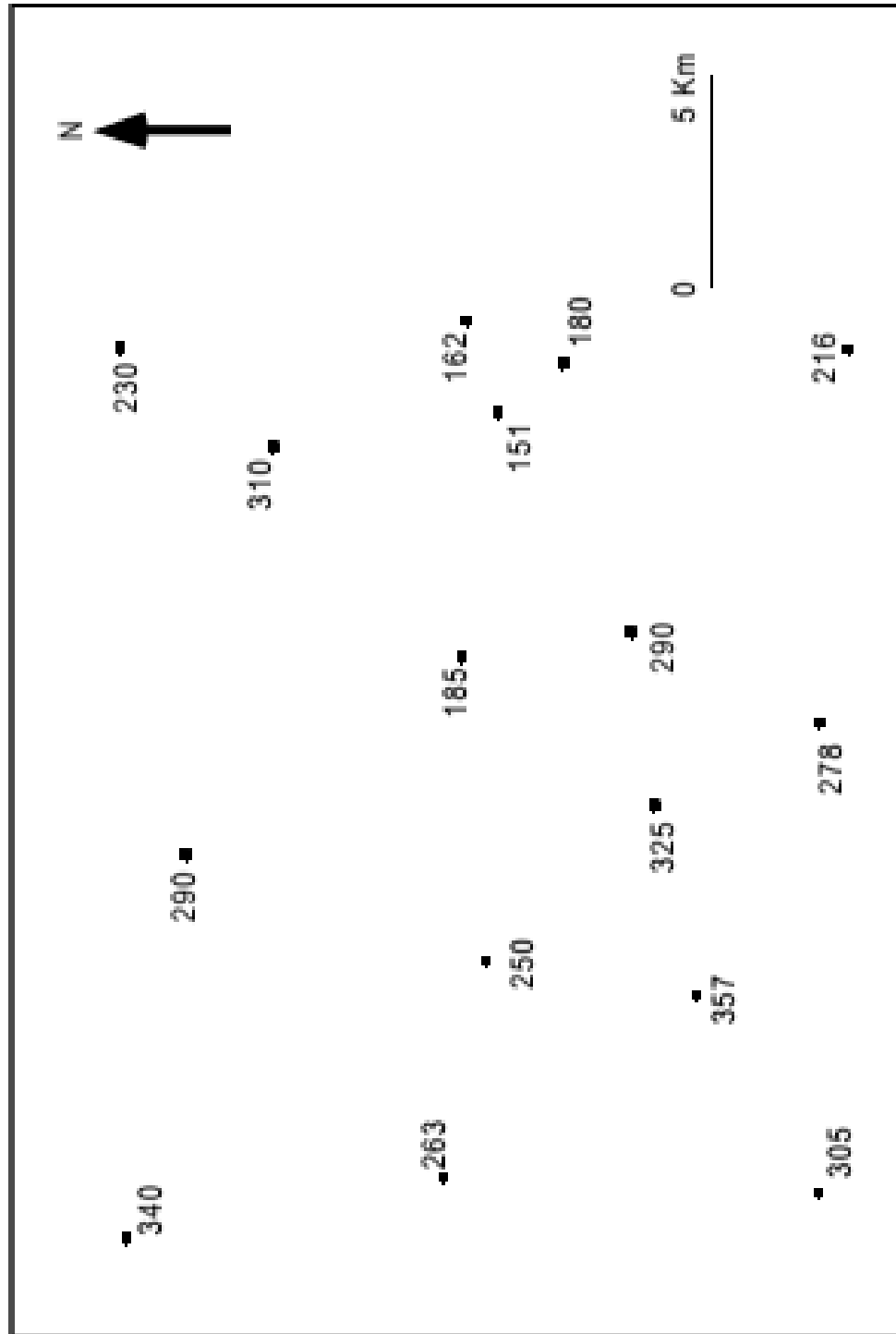
ANEXO 3.



Modificado de: Mier,R., 2000



ANEXO 4.



Modificado de: Mier,R., 2000



PRACTICA No 6: MAPAS DE ISÓPACOS

OBJETIVOS

- Reconocer la importancia de los mapas isópacos e isócoras.
- Conocer las diferencias entre un mapa isópaco y un mapa isócoras.
- Desarrollar un mapa isópaco para un potencial petrolero.

DURACION: 4 HORAS.

INTRODUCCIÓN

Los mapas de isópacos e isócoras son usados frecuentemente en la industria petrolera, pero estos son diferentes, ya que los mapas de isópacos ilustran el verdadero espesor estratigráfico de una unidad, mientras, los mapas de isócoras delimitan el verdadero espesor vertical de una unidad de roca.

Los mapas de isópacos son muy útiles en el desarrollo del origen de la relación estructural dada para tipo de sedimentación; es decir en la forma de la cuenca, la posición de áreas de elevación y erosión, pueden ser reconocidas mapeando las variaciones de espesor de un intervalo estratigráfico dado.

Los mapas isópacos e isócoras son usados con diversos propósitos, como los estudios del medio ambiente de depositación, los estudios de arenas petrolíferas netas, el análisis histórico del crecimiento, los estudios del espacio deposicional, mapeo de reservorios, la historia del movimiento de fallas, el cálculo de volúmenes de hidrocarburos, entre otras.

En esta práctica se quiere enseñar al estudiante a hacer mapas isópacos e isocoras, que le ayuden a realizar cálculo de volúmenes de hidrocarburos y otros cálculos en los que necesite corregir o no el espesor de la roca.



MARCO TEÓRICO

Un mapa isópaco es aquel que por medio de isolíneas (líneas que unen puntos de igual espesor de un estrato), que muestran la distribución real del espesor de roca. Un mapa construido sin ajustar los espesores se le llama isócoro y muestra con líneas isócoras el espesor perforado de una unidad estratigráfica.

Cuando los ángulos de buzamiento de los estratos son menores de 5° , la diferencia entre el isópaco y el isócoro es insignificante. Para los ángulos mayores de 10° se debe hacer las correcciones pertinentes, (Manrique., et al., 2003).

Los mapas de isocoras son muy importantes en los estudios de las variaciones regionales del espesor de unidades sedimentarias porque ayuda a comprender la paleogeografía de la época de deposición. (Ragan., 1980).

La importancia del mapa se isócoras estriba en el hecho de que define con mayor precisión la condición actual del estrato, en lugar de definir el espesor, que en su mayor parte es una función de su condición primaria.

Los espesores obtenidos con base en núcleos o perfiles, deben ser corregidos cuando los pozos no son verticales a la superficie estratigráfica. (León., 1997)

- En el caso que sea de pozos inclinados, el espesor se corrige multiplicando el intervalo perforado por el coseno del ángulo de desviación del pozo:

$$\text{Espesor estratigráfico} = \text{intervalo perforado} * \cos (\text{ángulo de desviación})$$

- En el caso que sea el pozo vertical y el estrato inclinado, será el coseno del ángulo de buzamiento.
- En el caso de pozo inclinado y capas inclinados, se debe hacer una doble corrección y se calcula así:

$$\text{Espesor real} = \text{intervalo o perforado} * \cos (\text{ángulo de desviación}) * \cos (\text{ángulo de buzamiento})$$

Los datos de espesor necesarios para construir un mapa isópaco se pueden obtener a partir de secciones estratigráficas, de las diferencias de espesor medidas en los pozos que cortan las unidades, con las diferencias de elevación del techo y la base



de una unidad en un mapa geológico si el buzamiento de la unidad es cercano a la horizontal o a partir de información sísmica.

Construcción de mapas isópacos

Después de elegir la unidad estratigráfica que se va a representar con el mapa isópaco, se determina el espesor en cada pozo y su número se coloca en el mapa base, encima o debajo del símbolo del pozo. Luego se trazan las isópacos siguiendo las ramas generales del dibujo de isolíneas.

El intervalo empleado depende de la calidad del mapa, exactitud y variación entre los valores. Puede ser de centenares de metros para un mapa regional hasta fracciones del metro para mapas a gran detalle en unidades estratigráficas delgadas, (LEON, L. 1997).

Normas de construcción

Los mapas de isovalores siguen las normas generales del trazado de isolíneas.

1. Las curvas del mismo valor deben ser repelidas donde se presente algún cambio, es decir donde cambia de un adelgazamiento a un engrosamiento de la unidad
2. El límite de la presencia de la unidad se determina por la línea cero.
3. Las pequeñas curvas cerradas indican adelgazamiento local o engrosamiento y si tiene un achurado especial tienen mayor significado.
4. La geología regional del área suministra información de la geología que puede encontrarse, por lo tanto se debe tomar en cuenta.
5. Cuando se usan los mapas isópacos en el desarrollo exploratorio o en el cálculo de reservas, se debe evitar en la construcción, un exceso en el espesor y extensión de las unidades productoras o potencialmente productivas.
6. Es frecuente que en las líneas isópacos se acerquen a las fallas normales,



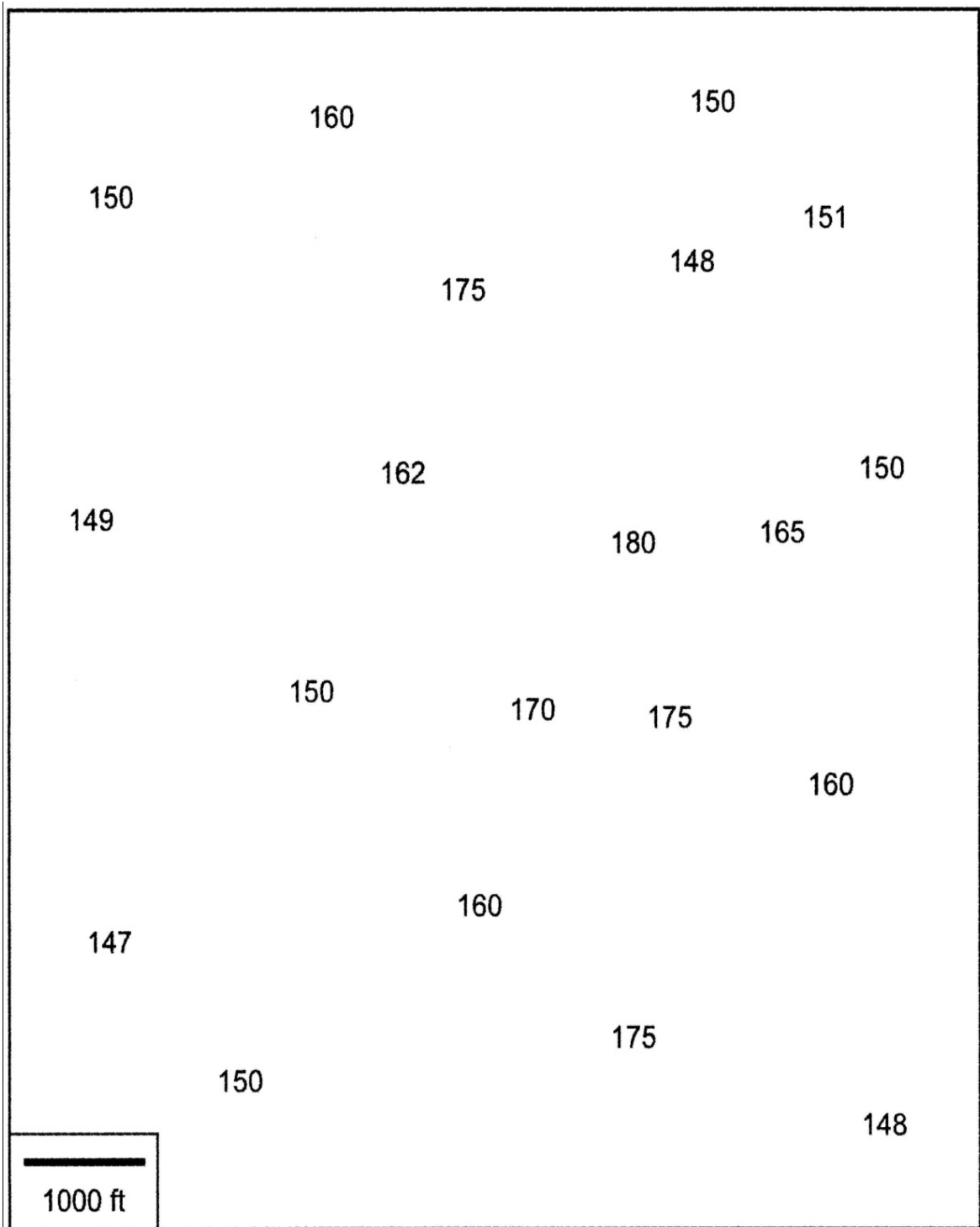
esto indica una mayor sedimentación en el bloque hundido o deprimido.

7. Se deben modificar las líneas isópacas conforme a los datos de información adicional de nuevos pozos.



DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

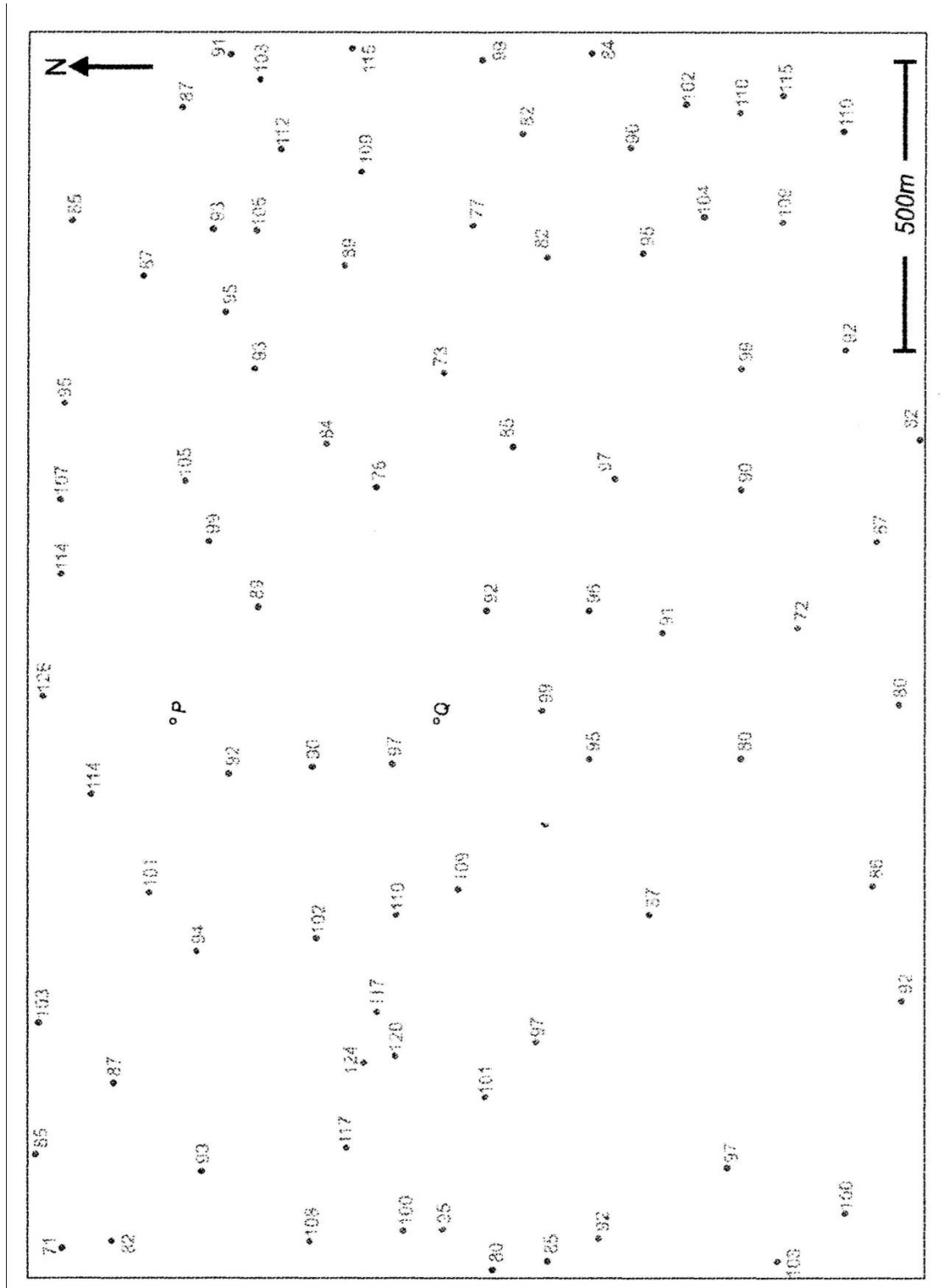
1. A partir del siguiente mapa construir un mapa isópaco.



Tomado de: Mier, Ricardo. Geología del petróleo básica. Publicaciones UIS. 2000



2. A partir del siguiente mapa construir un mapa isópaco.



Tomado de: Mier, Ricardo. Geología del petróleo básica. Publicaciones UIS. 2000



CONCLUSIONES.

Para el área de geología del petróleo la utilización de mapas isópacos es de importancia, ya que es de gran ayuda para el cálculo de volumen y proporcionan gran cantidad de información para la interpretación de una zona si se usa adecuadamente.

Elaborar un mapa isópaco de una formación y uno estructural del tope de la misma, proporciona la profundidad, forma y posición en profundidad de la zona de estudio.

En algunos casos cuando se utilizan mapas isópacos e isócoros, los espesores obtenidos a través de núcleos o perfiles se deben corregir. Esta corrección es necesaria cuando los pozos no son verticales a la superficie de estratificación y/o cuando las capas están inclinadas.

BIBLIOGRAFIA

DELGADO, J. PADILLA, F. BARRIENTOS, V. 2010. Prácticas de geología, Mapas geológicos y problemas. Universidade da Coruña. E.T.S. de ingenieros de caminos, canales y puertos.

FOSSEN, H. 2010. Structural Geology. Cambridge University. Cambridge University Press.

MANRIQUE, J. MORA, C. 2003. Manual de ejercicios aplicados a la exploración de hidrocarburos. Universidad de Caldas. Copyright, centro editorial.

MARTÍNEZ, J. 2003. Geología Estructural y Dinámica Global. Curso 2002/2003, Departamento de Geología, Universidad de Salamanca.

MIER, R. 2000. Geología del petróleo básica. Publicaciones UIS.

POZO, M. GONZALEZ, J. GINER, J. 2003. Geología práctica, introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas. Pearson Prentice Hall.

RAGAN, D. 1980. Geología Estructural. Departamento de Geología, Arizona State University.

RAGAN, D. 2009. Structural Geology. Cambridge University. Cambridge University Press.

ROWLAND, S. DUEBENDORFER, E. SCHIEFLBEIN, I. 2007. Structural Analysis and Synthesis, third edition. Blackwell Publishing.

LEÓN, L. 1997. Manual de Geología Estructural. Universidad Industrial de Santander. Ediciones UIS.

LEÓN, L. 1994. Geología Estructural. Universidad Industrial de Santander. Ediciones UIS.

CONSULTA DE DOCUMENTOS VIRTUALES:

- Cartografía geológica. 2008. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
(http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/1_2.htm)