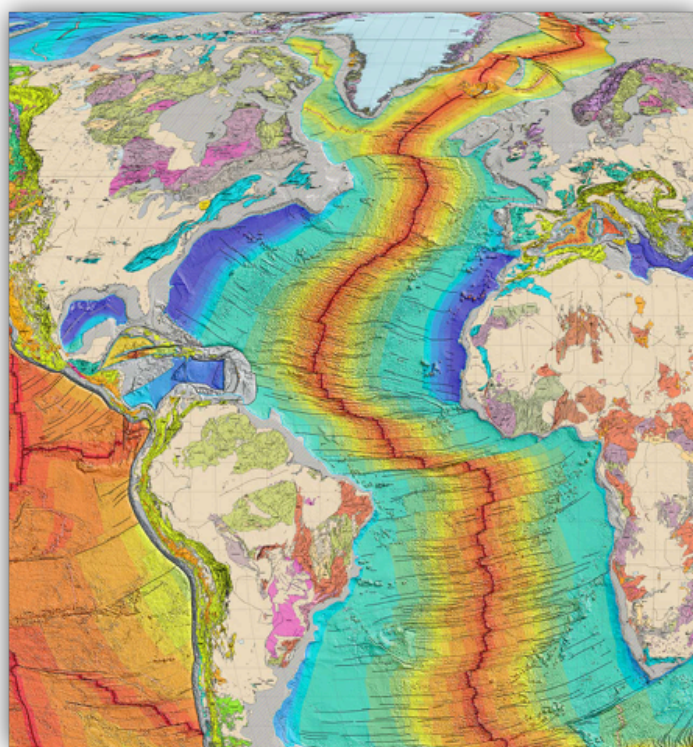


Curso de SIG aplicados a la Geología

GEO 001

EXTRACTO



TEMA 3 CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS

ÍNDICE

TEMA 3 CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS

TEMA 3 CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS	I
3.1. LITOLOGÍA	1
3.1.1. ATRIBUTOS	2
3.1.2. CÓDIGOS DE ATRIBUTOS	3
3.1.3. FUENTE	4
3.1.4. GEOPROCESAMIENTOS	4
3.1.5. CAPAS EJEMPLO	4
3.1.6. SIMBOLOGÍA	5
3.2. CONTACTOS	8
3.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZARON	10
3.3.1. FUENTE	12
3.3.2. GEOPROCESAMIENTOS	12
3.3.3. CAPAS EJEMPLO	13
3.3.4. SIMBOLOGÍA	13
EJERCICIO 3.1: PROYECTO EL ROBLE	14
3.4. DETECCIÓN DE ALTERACIÓN CON INFORMACIÓN ESPECTRAL	15
3.4.1. GEOPROCESAMIENTOS	18
3.4.2. CAPAS EJEMPLO	18
3.4.3. SIMBOLOGÍA	18
EJERCICIO 3.2: DETECCIÓN ESPECTRAL DE ALTERACIÓN CON ASTER.	19
3.5. ESTRUCTURAS	20
3.5.1. ATRIBUTOS	23
3.5.2. FUENTE	23
3.5.3. GEOPROCESAMIENTOS	24
3.5.4. CAPAS EJEMPLO	24
3.5.5. SIMBOLOGÍA	24
3.6. ESTRUCTURAS MENORES	25

TEMA 3

3. CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS

Ya hemos aprendido bastante sobre algunas de las capas de este grupo en el Tema 1, vamos a repasarlas y conocer qué otro tipo de información podemos encontrar.

Las capas que pertenecen a este grupo son:

GEOLOGIA	GEO	LITOLOGIA	LIT	Polígono
		CONTACTOS	CON	Línea
		ALTERACION	ALT	Polígono
		MINERALIZACION	MIN	Polígono
		ESTRUCTURAS	EST	Línea
		ESTRUCTURAS_MENORES	ESM	Punto
		PUNTOS_GEOLOGICOS	PGE	Punto
		OCURRENCIAS	OCU	Punto
		YACIMIENTOS	YAC	Punto
		PERFILES	PER	Línea
		GEOCRONOLOGIA	DAT	Punto
		PETROGRAFIA	PET	Punto
		GEOTECNIA	GET	Polígono

3.1. Litología

La capa de litología al inicio de la exploración es de escala regional a distrital (escalas 100.000 a 20.000), después de varios estudios y visitas a la zona, y una vez identificados algunos blancos exploración, es que se realiza un mapa más detallado (escalas 10.000 a 2.000).

Dada la importancia de esta capa, vamos a ver en detalle los campos de atributos que su tabla asociada debería contener:

3.1.1. Atributos

CAMPOS DE ATRIBUTOS RECOMENDADOS DE LA CAPA LITOLOGIA:

Nombre_Campo	Alias_Campo	Tipo_Dato
LITOLOGIA	Litologia	Text
DESCRIP	Descripcion	Text
CODIGO	Codigo	Text
EPOCA	Epoca	Text
EDAD_MIN	Edad minima	Text
EDAD_MAX	Edad maxima	Text
AMBIENTE*	Ambiente*	Text
ROCA_PRI*	Roca principal*	Double
DISTRITO	Distrito	Text
PROYECTO	Proyecto	Text
FUENTE	Fuente	Text
DATUM_ORI	Datum original	Double
OBSERVAC	Observaciones	Text

El documento [SIG_MINERIA.xls](#) esta almacenado en la carpeta de [Documentos complementarios](#) del Tema 2, y tiene varias hojas de cálculo donde encontrareis las tablas de atributos, y las tablas de códigos (dominios) de algunos de los campos.

Esta lista de campos es referencial, dependiendo de la fuente de los datos, tendrás campos que no están aquí y quizás te falte alguno de los que están, no es grave, pero hay que hacer el esfuerzo para que esté lo más completa posible.

El relleno de algunos de estos campos es libre (como “Observaciones”) pero otros pueden tener una lista de códigos definida que hay que distribuir a los usuarios, esto es fundamental para la integridad y coherencia de la base de datos SIG.

Es muy importante para las posteriores modelizaciones geológicas, que se respeten las listas de códigos, de esta forma la base del datos estará **normalizada** y será mucho más fácil hacer posteriores controles de calidad y aplicar simbologías en los mapas.

3.1.2. Códigos de Atributos

Para esta capa hemos preparado listas de códigos para los campos marcados con un asterisco *.:

- . Ambiente
- . Tipo de Roca

La tabla de códigos de **Tipo de Roca** tiene 472 registros, es decir contiene todos o casi todos los tipos de roca que se pueden encontrar en el planeta, y es difícil de manejar, es por esto que el responsable de la base de datos SIG junto con el geólogo a cargo del proyecto, deberán seleccionar de esta tabla aquellos códigos que corresponden a la zona de estudio en particular, y simplificar la tabla lo más posible.

Se han dejado todas las listas de códigos en las subsiguientes pestañas del archivo [SIG_MINERIA.xls](#)

CODIGO	DESCRIPCIÓN
1	adakita
2	adamelita
3	aglomerado
4	aglomerado volcanico
5	alaskita
6	albitrofiro
7	alcalina
8	alterada
9	aluvio
10	andesita
11	andesita basaltica
12	anfibolita
13	anhidrita
14	anortosita
15	...

El formato Geodatabase

Las tablas de códigos se componen de un campo CODIGO y otro campo DESCRIPCION, esto se ha hecho así para que puedan importarse como talas de **dominios** a una geodatabase den ArcGIS.

Las ventajas y desventajas de utilizar formato shapefile versus geodatabase deben analizarse para cada proyecto en particular.

Mi recomendación es comenzar con shapefile hasta que se tenga suficiente soltura tanto con la geometría como con los datos de la tabla de atributos, y se conozca bien la dinámica del proyecto y de los datos.

Una vez el SIG haya alcanzado cierta madurez, se analizarán las ventajas de convertir todo a una geodatabase, o quizás solo una selección de los datos.

Para aquellos que aun no se sienten cómodos con el formato Geodatabase recomendamos revisar la completísima ayuda online de ArcGIS:

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

Y/o descargar el breve tutorial: [tutorial_geodatabase.pdf](#) disponible en la carpeta [Documentos complementarios](#) del tema.

3.1.3. Fuente

Ya vimos en el tema uno donde encontrar datos geológicos, normalmente de organismos oficiales, pues los mapas de detalle, normalmente son generados por empresa privadas que los conservan como datos confidenciales o se encargan a consultores de confianza.

3.1.4. Geoprocesamientos

Un mapa litológico de superficie es la base para la posterior generación de perfiles y plantas en profundidad, para finalmente crear el modelo litológico 3D y conocer la historia geológica de la zona, y poder definir las zonas con mayor potencial de presencia de mineralización, con sus características y dimensiones.

Se relacionan con otras capas y se define cuales son las litologías, la edades y los ambientes estructurales regionales que favorecen la removilización y alojamiento de minerales. Una vez definidas las unidades prioritarias, se procesan con metodologías como la generación de mapas de prospectividad, que veremos más adelante en otro tema.

3.1.5. Capas ejemplo

Coincidentes con la extensión de la zona de estudio del SIG de exploración que estamos construyendo, hemos preparado cuatro capas dentro del grupo **GEO**:

- ✦ LITOOGÍA DISTRITAL: [GEO_LIT_Distrital.shp](#)
- ✦ ESTRUCTURAS: [GEO_EST_EStructuras.shp](#)
- ✦ DATACIONES GEOCRONOLÓGICAS: [GEO_DAT_Regional.shp](#)
- ✦ YACIMIENTOS MINERALES: [GEO_YAC_Sernageomin.shp](#) (dos versiones)

Estas capas están en la carpeta [Nuevas capas SIG](#), en la sección de [Archivos SIG](#) del tema, pero además vamos a trabajar con muchas otras capas de esta temática, con diferentes escalas y estructuras en los próximos ejercicios.

3.1.6. Simbología

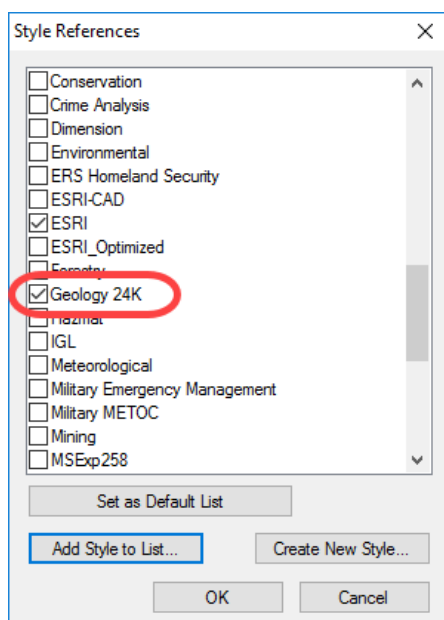
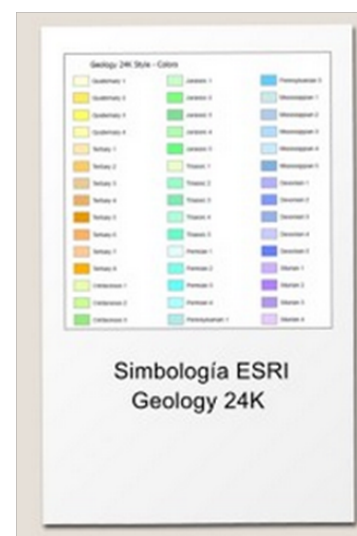
Ya conocimos en el Tema 1 la librería de símbolos del MAGNA de España, ésta tiene la ventaja de que es bastante completa y está en español, pero ahora que ya tenemos también un buen diccionario de términos geológicos Inglés/Español, podemos aprovechar de otra librería muy completa, que es la del **Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)**.

Hemos dejado una copia en la carpeta de **Documentos Complementarios** de este tema:

[USGS Based Simbology.pdf](#)

Basada en ésta ultima es que ESRI generó su propia librería de símbolos geológicos que es conocida como **Geology 24K**. Hemos dejado en esa misma carpeta un documento pdf con la colección completa:

[Geology_24K.pdf](#)

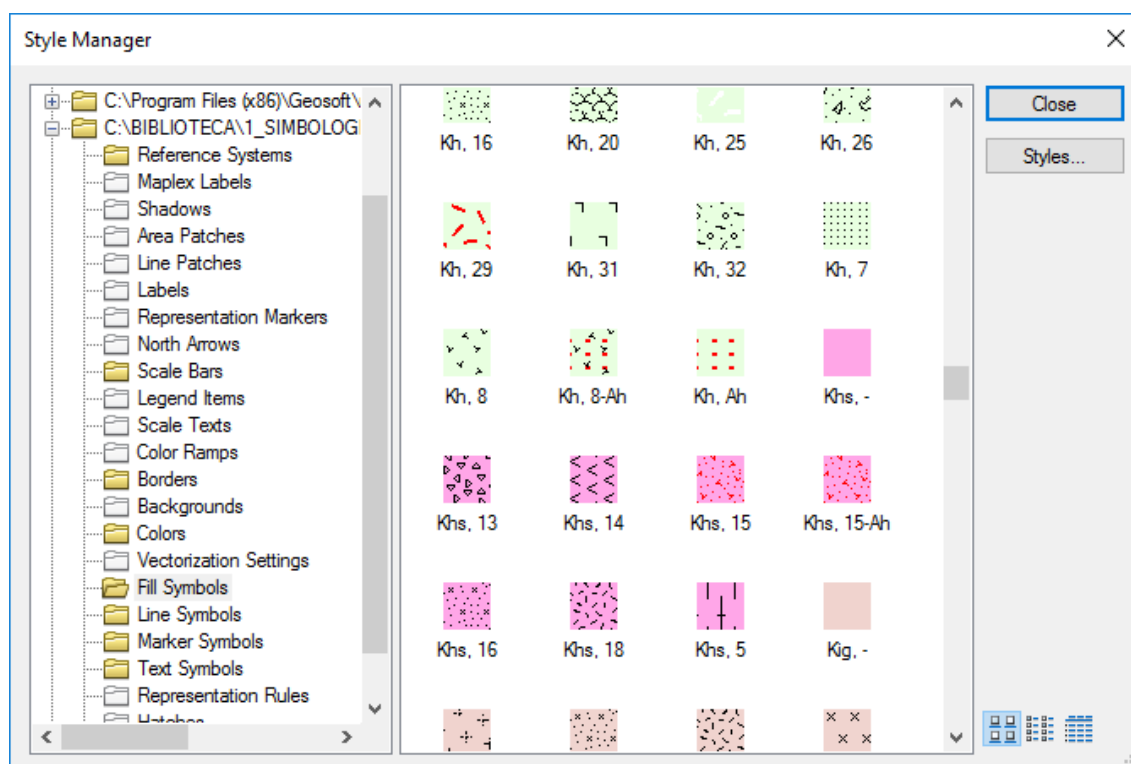


El archivo ***.style** correspondiente viene por defecto al instalar el software **ArcGIS Desktop**, pero esta desactivado, tendrás que añadirlo a tu lista de estilos preferentes usando el **Style Manager** en el menú principal **Customize** de **ArcMap**

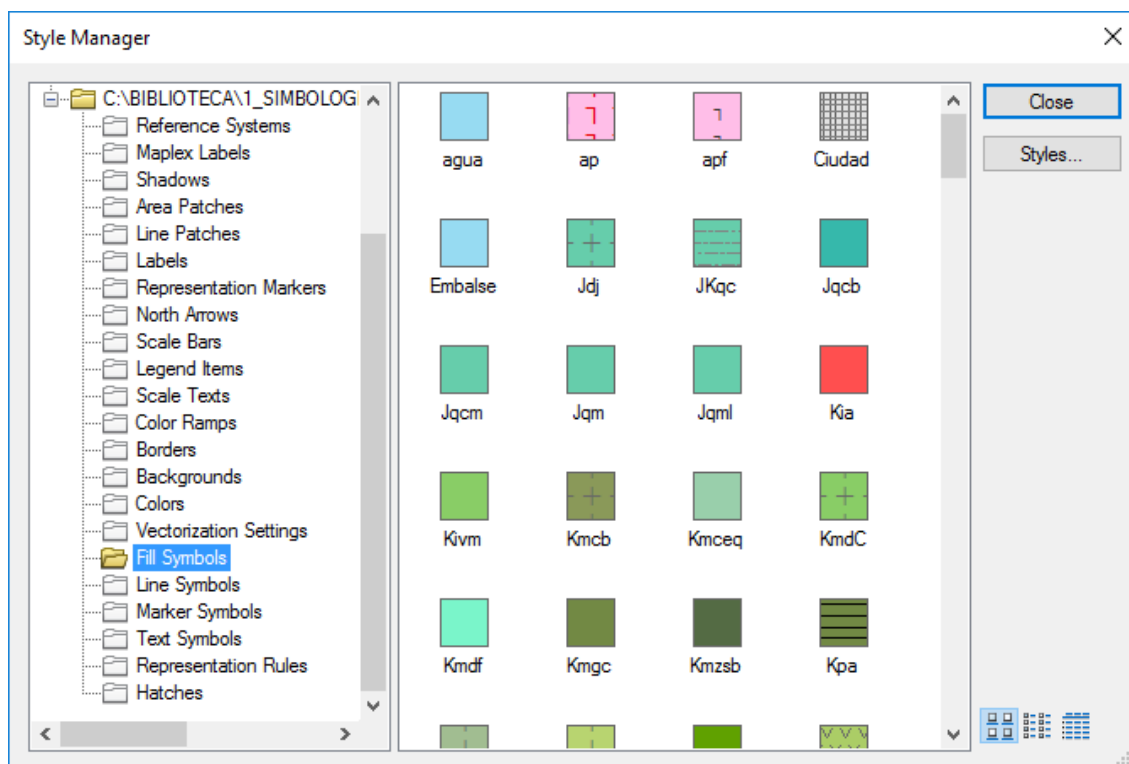
Ahora, para haceros la vida realmente fácil, os hemos dejado en esta carpeta además dos **Styles** para datos geológicos que son el resultado de muchas horas de trabajo y que os servirán de base para crear a partir de ellos, los catálogos de simbología para vuestros propios proyectos.

Uno se llama **GEOX.style**, es muy completo, veréis que tiene una colección fantástica de **Fill**, **Line** y **Marquer Symbols**.

Los símbolos para unidades litológicas están compuestos por varias capas, la base relleno de color solido representa la edad, y el patrón de símbolos puntuales o líneas representa el tipo de roca.



El otro se llama **Infotierra.style**, que solo tiene **Fill Symbols** basados en la clasificación del **Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN)** pero puede ser aplicable a cualquier mapa litológico, es el que mas utilizo porque para los símbolos puntuales utiliza **Marquer Symbols** (que son como caracteres de texto) en vez de **Picture Symbols**, que son mas “pesados” para despliegue en la pantalla y también para enviar a impresión a plotter, a veces ocurre que se generan errores en la impresión y es porque el plotter no tiene la capacidad de procesar el peso del mapa.



Momento perfecto para hacer una pausa en los apuntes, abrir **ArcMap**, cargar nuestro mapa SIG_Base.mxd, añadir las capas ejemplo del grupo **GEO**, cargar todas estas simbologías y explorarlas en detalle.

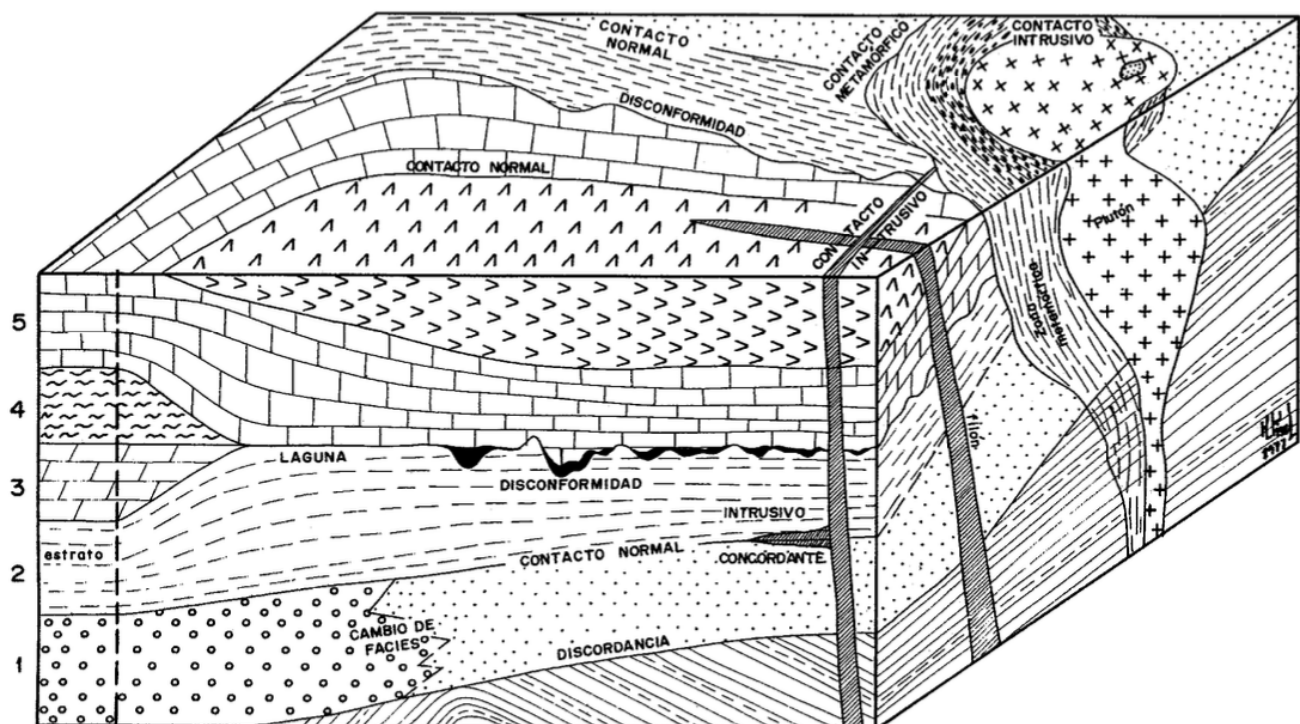
Si no estas familiarizado con el editor de símbolos, este es buen momento, crea símbolos nuevos a partir de los que ya tienes que prepara el Style perfecto para el proyecto en el que estas trabajando.

3.2. Contactos

La capa de contactos a veces está presente y a veces no. Es el borde de las unidades litológicas, a veces es polígono y a veces línea. Es una de las capas que aparecen en los servicios de mapa que vino en el tema 1 y en la librería de símbolos del MAGNA podéis ver los diferentes tipos (discordante, mecánico, difuso), pero eso siempre será definido por un geólogo.

Muchas de las formaciones geológicas representadas en los mapas son de naturaleza sedimentaria. En algunos casos se trata de mapas litoestratigráficos (diferenciación de unidades geológicas de acuerdo a las diferentes litologías) mientras que otros son mapas cronoestratigráficos (agrupación de unidades geológicas de acuerdo a su edad, sin tener en cuenta los tipos de roca).

En formaciones sedimentarias y metamórficas derivadas de rocas sedimentarias, el rasgo más característico de los contactos entre formaciones geológicas son las líneas que separan estratos. En un corte geológico la separación entre unidades geológicas (ya sean por edad o por litología) deberéis realizarla con un trazo grueso. Además, mejoraréis la visualización del corte si acompañáis a las divisiones principales de una serie de líneas paralelas a aquellas ejecutadas con un trazo más fino.



Bloque diagrama donde se resumen los principales tipos de contacto geológico.

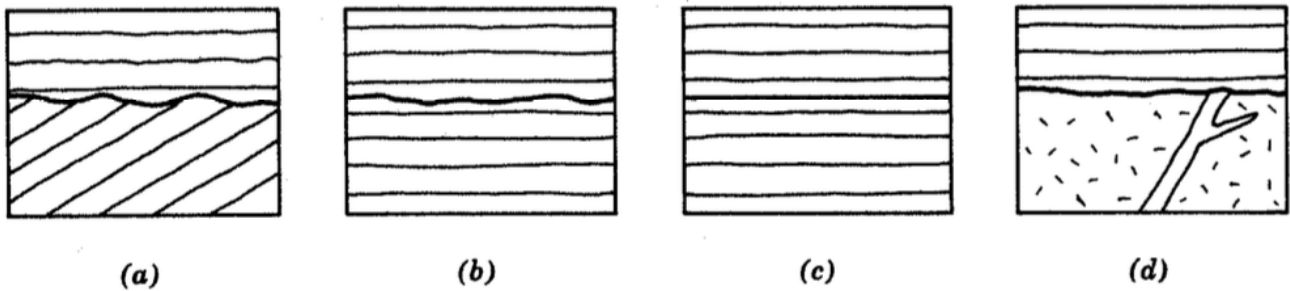
Fuente: Martínez Álvarez, J.A. (1989) Cartografía Geológica; Ed. Paraninfo; 477 pp.

Los **estratos** (ya sean de rocas metamórficas o sedimentarias) deben representarse, en general, mediante líneas paralelas con potencia (espesor) constante. No obstante, si del mapa se deducen criterios que indiquen que tal circunstancia no se cumple o bien que (de acuerdo a vuestro conocimiento geológico esa situación no se da) será admisible que los representéis de otra manera. Ejemplos de ausencia de paralelismo pueden encontrarse en zonas donde se aprecien cambios laterales de facies (es decir, zonas de transición en medios de sedimentación). Para representar adecuadamente esos contactos, habéis de recordar que podéis visualizar una formación sedimentaria como un diagrama tiempo (eje vertical) vs. distancia (eje horizontal) y que en los sistemas naturales, la ubicación de una zona de transición es función del tiempo. Ello implica que esos contactos deberán dibujarse como acuñaientos o digitaciones, según sea el caso.

Las **formaciones de origen volcánico** se representarán, en general, como estratos. Sin embargo, debéis recordar que muchas formaciones volcánicas (coladas de lava, depósitos piroclásticos, etc.) son discordantes sobre las formaciones infrayacentes (las que se encuentran por debajo). Por ello, a veces entre el techo y la base de la formación volcánica puede que no exista paralelismo (con el consecuente efecto sobre las direcciones de capa) y así debe constar en el correspondiente corte geológico.

Los **díques de rocas intrusivas** (lamprófidos, pórfidos, aplitas, etc.) se indicarán en los cortes, en general, mediante contactos secantes respecto de las formaciones geológicas que los encajan y sus hastiales (paredes) serán sub- paralelas. **Se trata de estructuras desarrolladas a favor de fracturas.** No obstante, también existen diversos tipos de formaciones subvolcánicas, las cuales, aun sin haber extruído (salir a la superficie), pueden haber desarrollado morfologías estratiformes, quizás alimentadas por una chimenea en forma de dique. Tal es el caso de algunos mapas en los que aparecen, por ejemplo, doleritas.

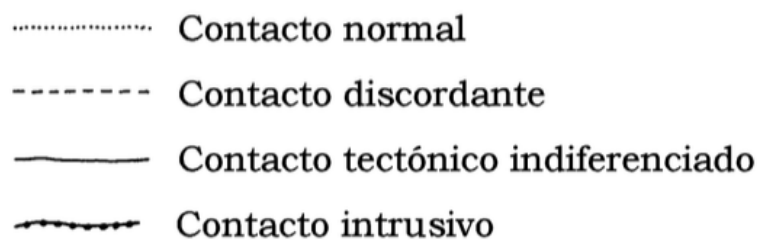
Los **macizos ígneos** (batolitos, etc.) presentan planos de contacto extremadamente irregulares lo que hace imposible identificar su traza en profundidad, a través de la mera observación de su relación con la topografía superficial. En esos casos será de utilidad la información procedente de sondeos si es que se dispone de ella. Por las razones expuestas, los contactos de macizos ígneos se dibujarán de manera irregular, siempre y cuando respetéis el sentido común, en términos geológicos.



Principales tipos de discordancia entre formaciones geológicas. a) Discordancia angular; b) disconformidad; c) paraconformidad o hiato sedimentario; d) discordancia heterolítica o no-concordancia.

Fuente: Ragan, D.M. (1973) *Structural Geology. An introduction to Geometrical Techniques*, 2a Ed.; John Wiley & Sons, 208 pp.

Recordad que los contactos entre las formaciones geológicas que se observan en superficie (es decir, sobre el mapa) no indican necesariamente la posición de los contactos entre formaciones geológicas en el subsuelo. Ello es así, en particular, en el caso de aquellas basculadas que han sido recubiertas (discordantemente) por otros materiales más modernos.



Símbolos frecuentemente empleados para indicar distintos tipos de contacto en mapas geológicos

3.3. Alteración y Mineralizaron

Son representaciones de otras características geológicas de las rocas o los suelos.

La **alteración** como su nombre indica, muestra signos de alteración cuyo limite no necesariamente coincide con el límite de una unidad litológica, y por eso no puede ponerse como una característica mas de la unidad en la tabla de atributos de la litología y debe crearse una capa nueva; la **mineralización** indica la presencia de minerales, ya sea diseminada o en vetas, por ejemplo como presencia de minerales de cobre.

La **alteración hidrotermal** es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas.

La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma.

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

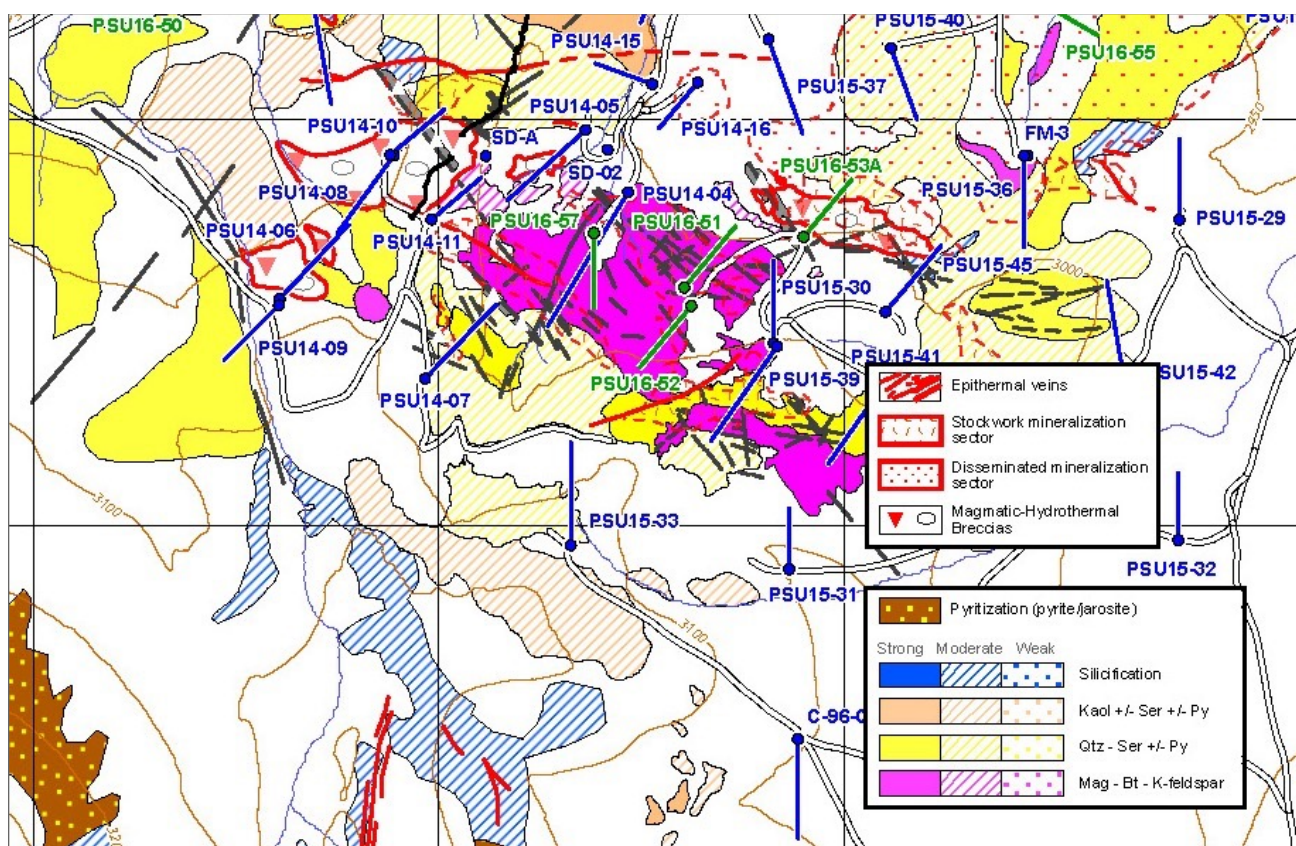
El método más simple es mediante la utilización del mineral más abundante y más obvio en la roca alterada. De ahí derivan denominaciones como:

- Silicificación (sílice o cuarzo)
- Sericitización (sericita)
- Argilización (minerales de arcilla)
- Cloritización (clorita)
- Epidotización (epidota)
- Actinolitización (actinolita)
- Etc.

Además del tipo de alteración, también se indica su grado de intensidad: *débil*, *moderada* o *fuerte*. Para los que deseáis profundizar más en esta temática, hemos dejado un breve documento explicativo en la carpeta de **Documentos Complementarios** del tema con el nombre de **ALTERACION.pdf**.

La **mineralización**, consiste en la presencia de diferentes minerales, por ejemplo, calizas con presencia de óxidos de hierro, o vetas de cuarzo con pirita y calcopirita, etc., pero también se especifica la forma en la que se presenta, si es en vetas o vetillas, en brecha en stockwork, o disseminada, etc...

En este ejemplo vemos que están las capas de mineralización (en rojo) y alteración, sin la litología debajo, y ya es un mapa con una cantidad de información enorme, es por esto que la **simbología aplicada a cada capa es de vital importancia para lograr que los mapas generados sean fáciles de leer y entender**, pues hay que tener en cuenta que normalmente van a superponerse muchas capas de información:



3.3.1. Fuente

La fuente de estas capas suele ser de generación propia, creada en por los geólogos en campañas de cartografía de superficie de detalle, en los proyectos de exploración media y avanzada.

3.3.2. Geoprocesamientos

Esencialmente los que se realiza con estas capas es el cruce con otras capas de datos geológicos para comprender mejor la historia geológica de un sector determinado.

Superposición con la litológica, estructuras y geoquímica, etc.

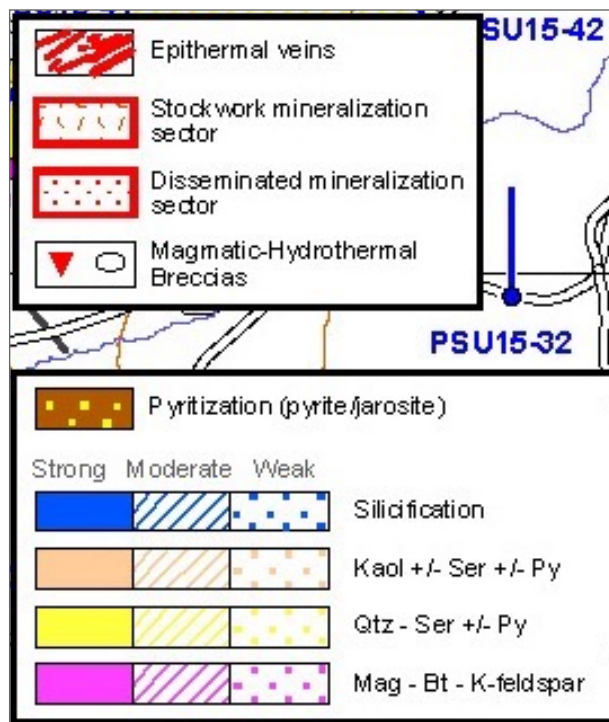
3.3.3. Capas ejemplo

Trabajaremos con varias capas de ejemplo de esta temática en los próximos ejercicios prácticos.

3.3.4. Simbología

Para la mineralización se suelen utilizar colores rojos y anaranjados, como se aprecia en la figura anterior, idealmente representarla en una capa de polígonos, si son puntos se engloban en un polígono sin borde, incluso las líneas que representan vetillas, es mejor hacerlas dobles en un polígono que tener varias capas de diferente geometría para el mismo tema.

En la alteración, además del tipo, hay que representar su intensidad, entonces se utilizan diferentes tipos de líneas o patrones, mas densos para las zonas mas intensas.



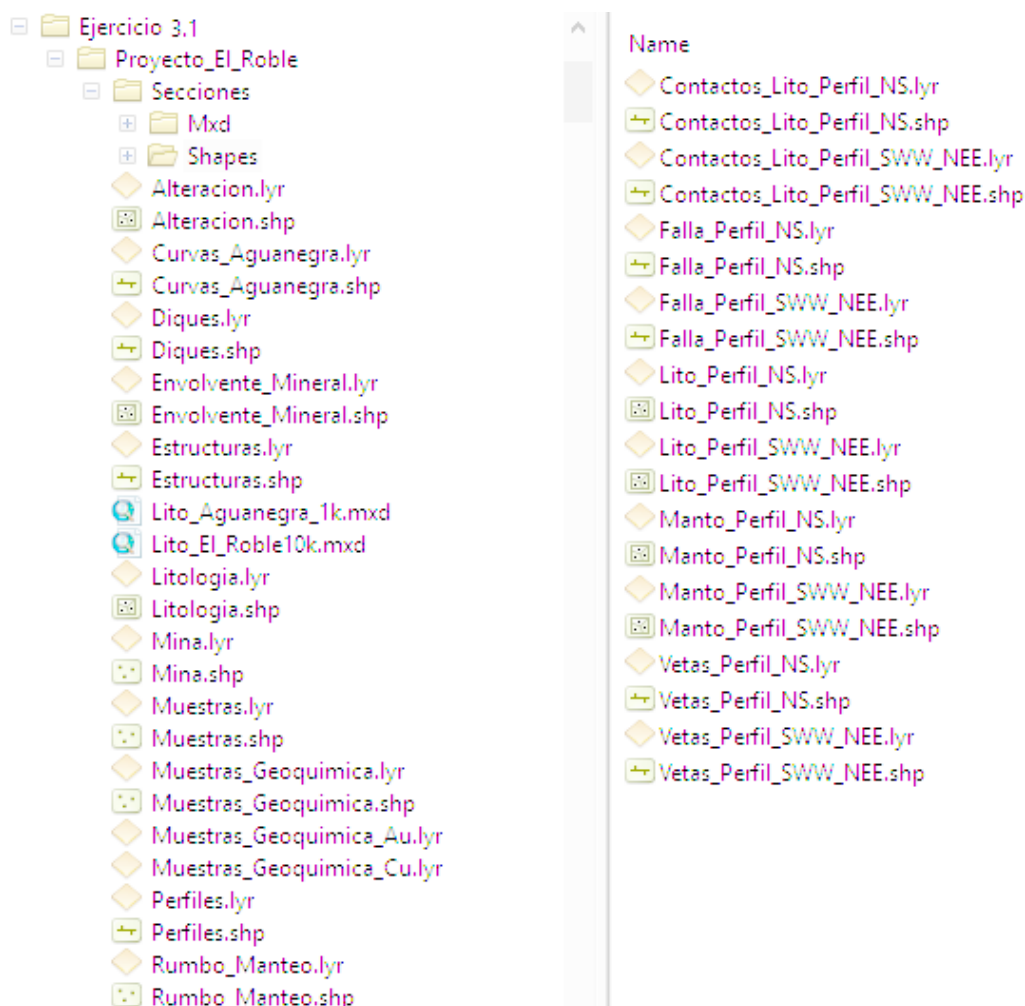
NOTA: Ocurre con frecuencia que, una vez preparado un mapa a escala 1:10.000 por ejemplo en una hoja tamaño A1 (80x60 cm) que contiene muchísima información, se nos pide que lo pongamos en una diapositiva de Power Point para una presentación importantísima a un directorio que va a decidir si el proyecto continua o si nos despiden a todos, y es la habilidad de la persona a cargo de la base de datos SIG la que puede hacer una gran diferencia en los resultados.

A veces se tarda una semana en preparar 1 diapositiva, el punto es, **LA PRISA NO CONDUCE A NADA**, hay que tomarse el tiempo necesario para que los mapas sean “casi perfectos”, porque esa diapositiva, podría ser usada por varias personas durante varios años en incontables presentaciones.

Los trabajos importantes hay que revisarlos con lupa, volver a revisarlos, imprimirlos en papel y volver a revisarlos, y cuando ya estas totalmente seguro que no hay el mas mínimo error, pídele a un colega que la revise, te aseguro que va a encontrar algo que corregir y mucho que mejorar.

Ejercicio 3.1: Proyecto El Roble

Ve a la carpeta de **Archivos SIG** del ejercicio, y revisa detenidamente todas las capas proporcionadas, su tabla de atributos, su simbología, también analiza los documentos mapa MXD.



Si fueras un auditor de un proyecto creado por otro especialista SIG:

- ✦ ¿que informe escribirías sobre esta base de datos?
- ✦ ¿que aspectos crees que se pueden mejorar?
- ✦ ¿que aspectos consideras que están correctos?
- ✦ ¿reorganizarías los datos de otra forma?
- ✦ ¿cambiarías el nombre de las capas?

(esto es parte de la Practica 2 a entregar al final del tema)

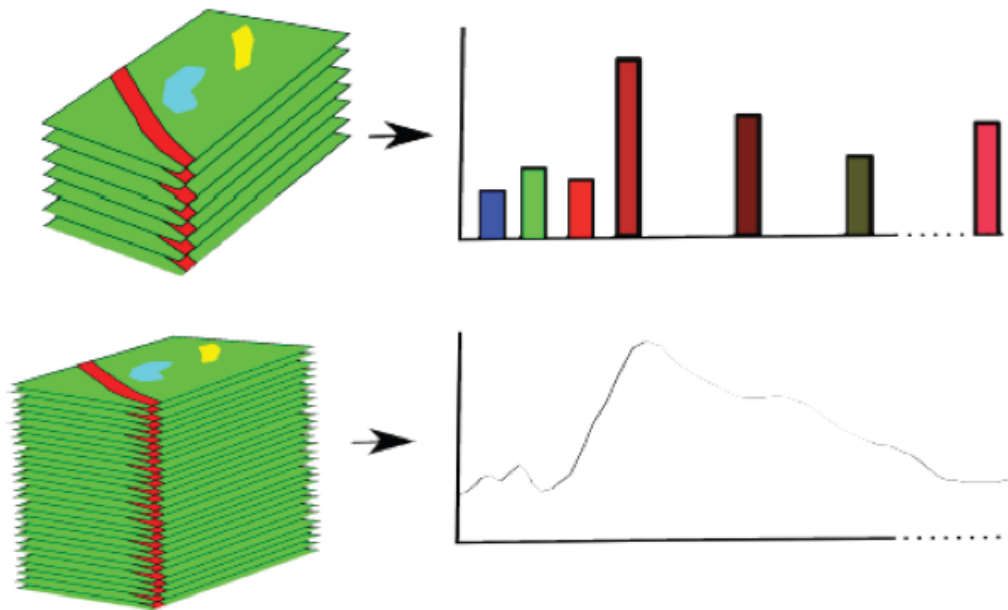
3.4. Detección de alteración con información espectral

Se trata de detectar zonas de alteración hidrotermal a través del análisis de la firma espectral de una serie de minerales, en combinaciones de bandas específicas de imágenes de satélite ASTER o LANDSAT, u obtenidas por un sensor Hyperespectral, ya que este análisis requiere de bandas que no se detectan con otros sensores.

Diferencia entre imágenes pancromáticas, multiespectrales e hiperespectrales

Retomando el tema de los sensores remotos, es importante entender la diferencia entre información espacial y espectral, porque se trata del primer paso para elegir entre los dos tipos fundamentales de imágenes de satélite: pancromáticas y multiespectrales. En la mayoría de las ocasiones, esta será tu primera decisión al evaluar los diversos tipos de imágenes y productos.

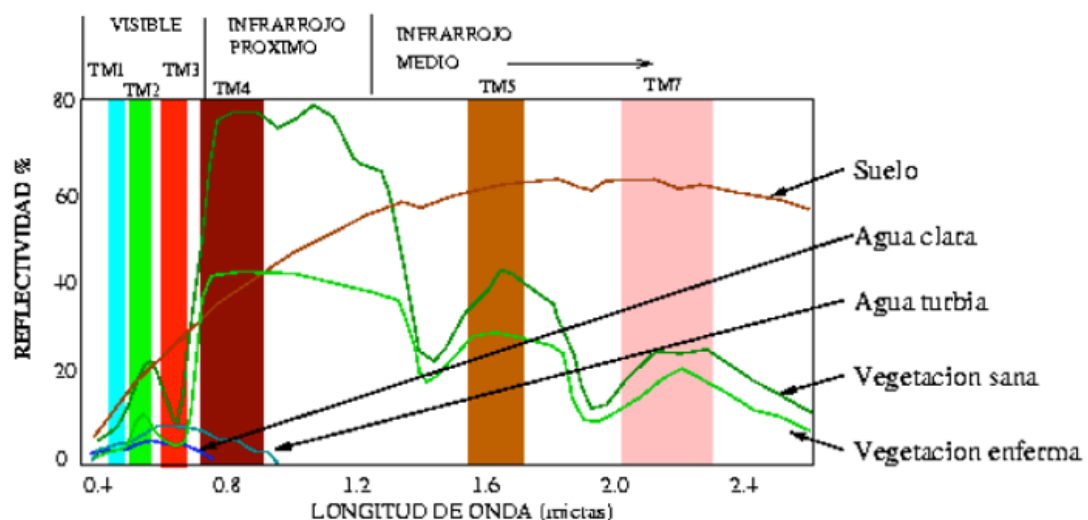
- Las **imágenes pancromáticas** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (normalmente tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas). Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en escala de grises y suelen tener mejor resolución espacial que las otras bandas.
- Las **imágenes multiespectrales** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en varias bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multiespectrales de hoy en día miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de **tres (RGB) a catorce**.
- Las **imágenes hiperespectrales** se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia, (cien o mas). La teoría en la que se apoya la detección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas.



En esta figura vemos la comparación entre un satélite multispectral que tiene sensores para medir la energía electromagnética en 7 bandas del espectro (arriba) y otro hiperespectral, que tiene un gran número de sensores que cubren el espectro de tal manera que permite dibujar una línea continua (abajo).

Esta línea se llama **signatura** o **firma espectral**, y es característica para cada tipo de material en la superficie de la Tierra.

En la siguiente figura vemos las firmas correspondientes a suelo, agua y vegetación:



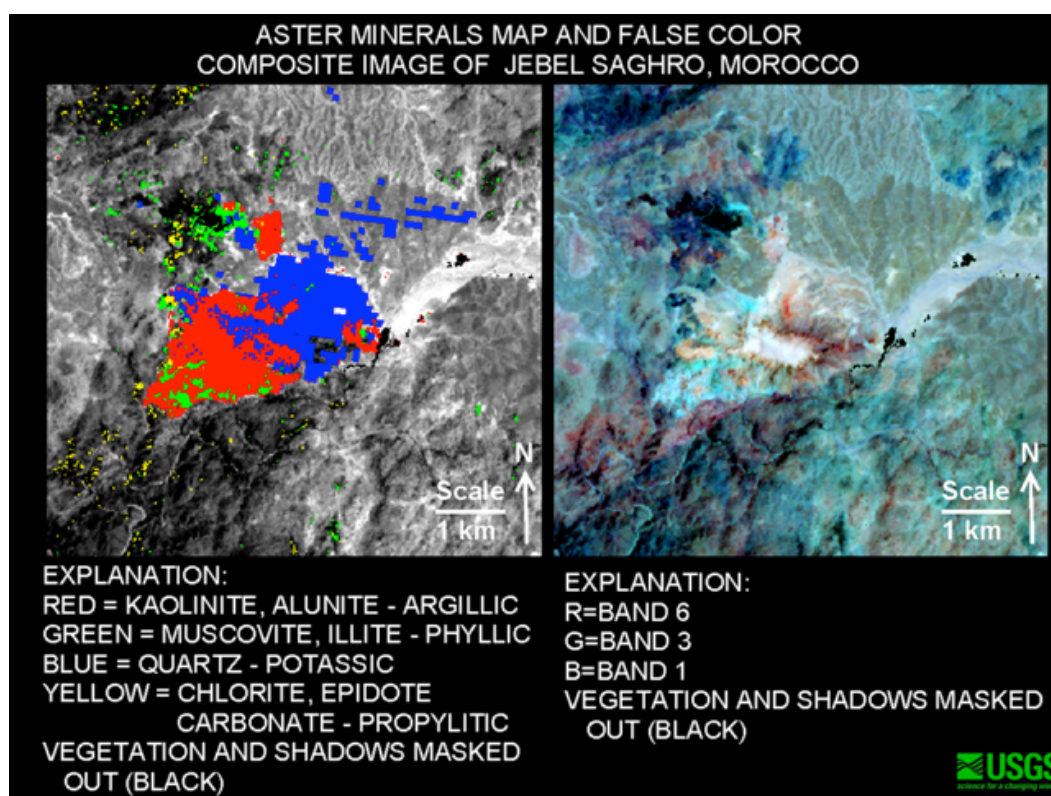
Estas curvas pueden variar para un mismo elemento, dependiendo de la diferente posición en el planeta y de otras variables atmosféricas.

EXTRACTO - CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS

A partir de la firma espectral de algunos minerales, y por medio del uso de software especializado, como por ejemplo **ENVI**, necesariamente manejado por un especialista en el tema, se pueden generar clasificaciones de imágenes ASTER y LANDSAT (ambas imágenes multiespectrales) a partir de muestras de campo.

Es decir, se marcan en la imagen los píxeles que representan una alteración o unidad litológica bien conocida, se analizan sus firmas espectrales y se busca la misma combinación de firmas espectrales por el resto de los píxeles de la imagen o imágenes.

El resultado se suele representar en una imagen de fondo gris, resaltando con colores vivos los elementos buscados:



Ya vimos en el tema anterior las fuentes donde pueden obtenerse imágenes satelitales multiespectrales, pero también es posible encargar un vuelo privado en una aeronave portando una cámara hiperespectral, no obstante estos servicios suelen ser bastante costosos y requieren de una importante preparación logística. Después de haber obtenido la imagen hiperespectral hay que analizar las alteraciones espectrales, pero esto también suele contratarse a un consultor especialista.

3.4.1. Geoprocesamientos

Los procesos aplicados a las imágenes para obtener las zonas con alteración deben ser siempre preparados por un especialista en el tema, lo que hay que tener en cuenta es que el consultor te entregue los datos en los formatos y proyección de coordenadas que se necesitan para el proyecto.

Una buena práctica es “vectorizar” el resultado para facilitar la visibilidad al superponer estas capas con otras capas de información, así en vez de una imagen ráster que nos hace más difícil la superposición de capas, tendremos algunos polígonos sueltos, muy livianos y fáciles de simbolizar (lo veremos en el Ejercicio 3.2.).

3.4.2. Capas ejemplo

Como ejemplo en esta temática, hemos preparado un mapa completo, que contiene tanto las imágenes necesarias para realizar este procesamiento, como los resultados de alteración espectral. Podrás revisarlas todas en el próximo ejercicio.

- ✦ Alteración Espectral: [Sample_Aster_Alteration.shp](#) (vectorial) Es una capa generada por especialista en procesamiento de imágenes para obtener alteraciones hidrotermales a partir de la signatura espectral de las rocas.
- ✦ Imágenes de base: [Sample_Aster_VNIR_84.tif](#), [Sample_Aster_SWIR_84.tif](#), [Sample_Shadede_Colour_84.tif](#), [Sample_Shadede_Grey_84.tif](#), [Sample_Shadede_Colour_84.tif](#), [Sample_DEM_84.tif](#),

3.4.3. Simbología

La simbología utilizada para las diferentes alteraciones es libre, pero se suelen utilizar colores puros, Rojo, Verde, Azul, lo importante es mantener siempre la misma simbología para esta temática en todos los proyectos dentro de una organización.

En la carpeta de [Documentos complementarios](#) hemos dejado dos lecturas recomendadas, sobre esta temática, una basada en imágenes ASTER y otra de imágenes LANDSAT, junto con un guía de usuario de imágenes ASTER:

- ✦ [Aster Geology Mapping.ppt](#)
- ✦ [Landsat Alteration Mapping.pdf](#)

Ejercicio 3.2: Detección espectral de alteración con ASTER.

Vamos a revisar los resultados de un típico trabajo de análisis espectral en base a imágenes ASTER:

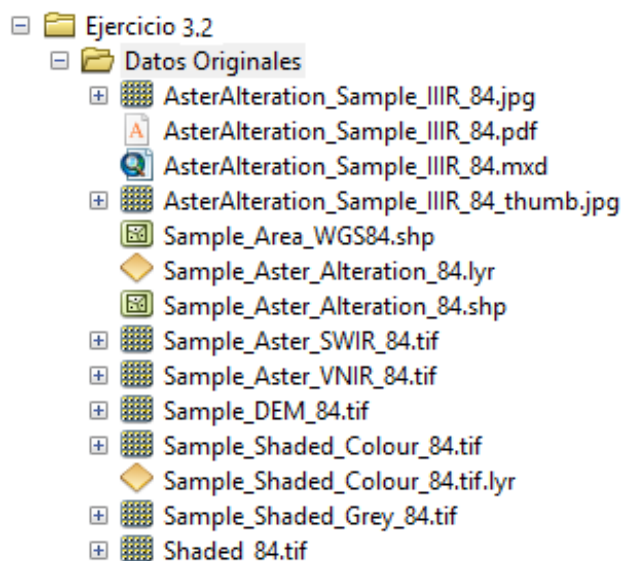
➡ Ve a la carpeta donde has guardado los archivos digitales del Tema 3, y abre el documento mapa:

[AsterAlteration_sample_IIR_84.mxd](#) y analiza detenidamente cada una de las capas presentes.

Observa que la nomenclatura de este proyecto no utiliza los mismos códigos que se muestran en la [Tabla Maestra](#), esto es porque es un mapa de muestra creado para público variado, que no necesariamente conoce el significado de nuestros códigos. **Un especialista SIG tiene que saber decidir cuando corresponde hacer excepciones.**

➡ Con ayuda de las coordenadas ve a Google Earth y busca el proyecto de exploración avanzada real que coincide con una de las principales anomalías de alteración.

Lo podrás identificar fácilmente por que podrás ver la cantidad enorme de caminos y de plataformas de sondeos en la zona:



Cierra todo.

3.5. Estructuras

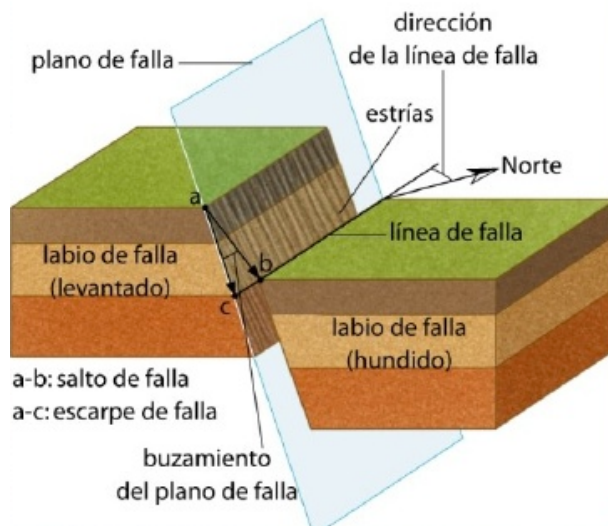
La corteza terrestre, que esta en constante movimiento como explica la tectónica de placas, (cuya consecuencia más directa y conocida son los terremotos), con sus movimientos de compresión y distensión produce deformaciones en las rocas superficiales y subterráneas generando estructuras, como las fallas y los pliegues.

Fallas y diaclasas

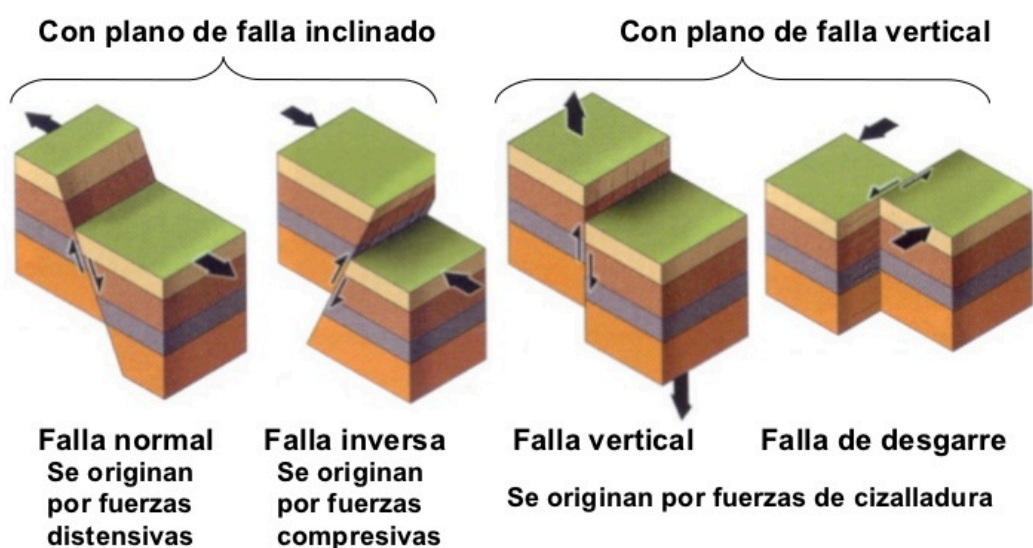
Al ser sometidos a grandes esfuerzos, los materiales frágiles de la corteza terrestre pueden sufrir fractura o rotura en bloques. Si se produce un desplazamiento de los dos bloques a lo largo de la superficie de fractura, se forma una **falla**.

Si hay ruptura en bloques pero estos no llegan a desplazarse, se produce una **diaclasa**. Las diaclasas también denominadas juntas (joints), son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa.

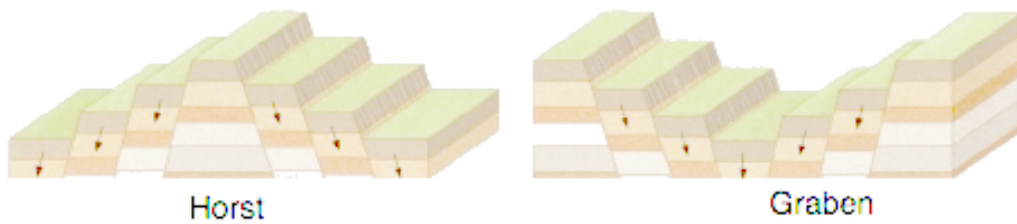
Los elementos de una falla son:



Los principales tipos de fallas son:



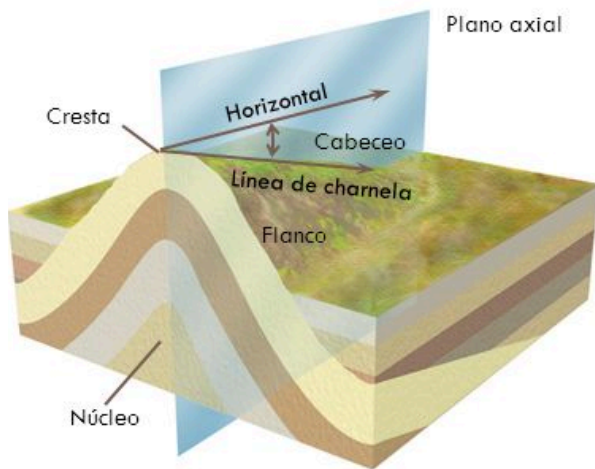
Cuando se asocian varias fallas, pueden resultar en un **horst** o un **graben**:



Pliegues

A las altas presiones y temperaturas que se dan a gran profundidad, las rocas se comportan dúctilmente, dando lugar a pliegues de diferentes tipos. Los pliegues, son estructuras curvadas y se clasifican de una manera general en anticlinales y sinclinales.

Los elementos de un pliegue son:



Plano axial: divide al pliegue en dos mitades lo más simétricas posibles.

Flancos: zonas a ambos lados de la charnela.

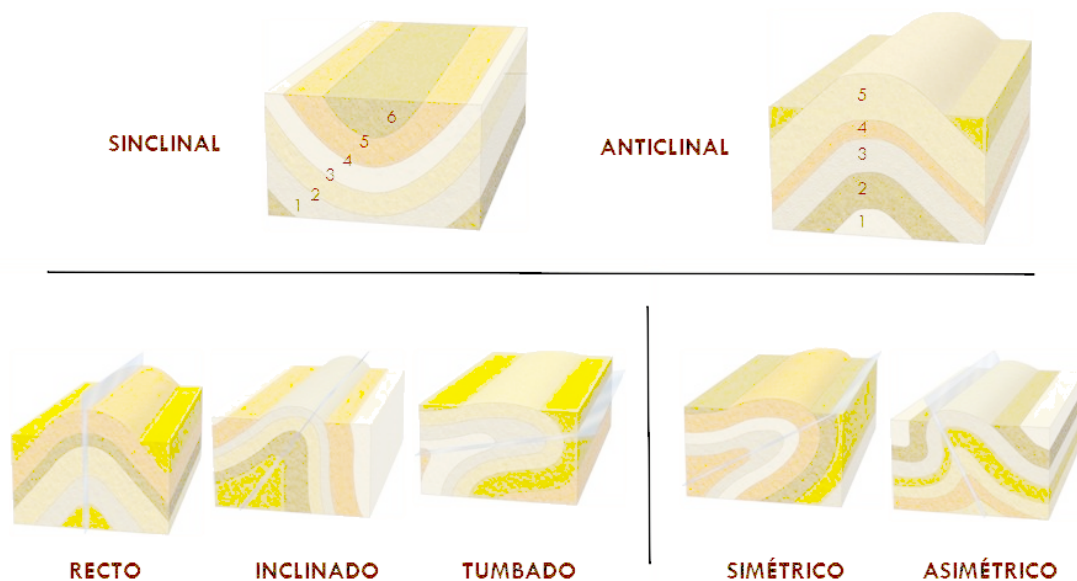
Charnela: zona de máxima curvatura.

Cabeceo: ángulo que forma el eje del pliegue con la horizontal en el plano.

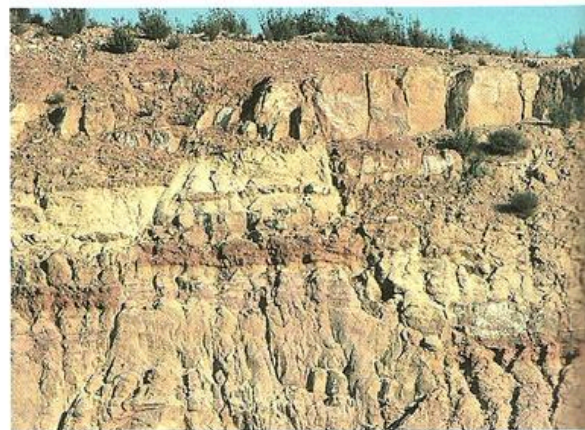
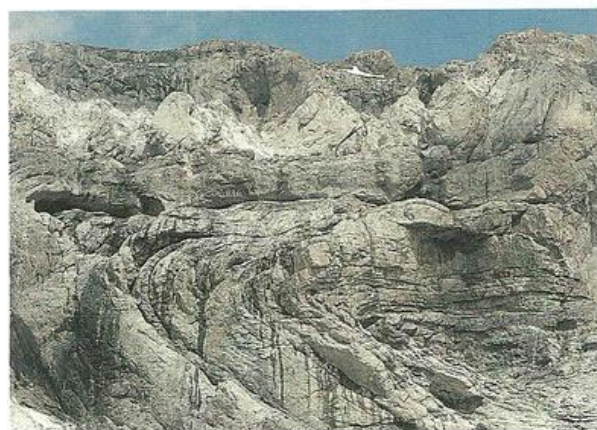
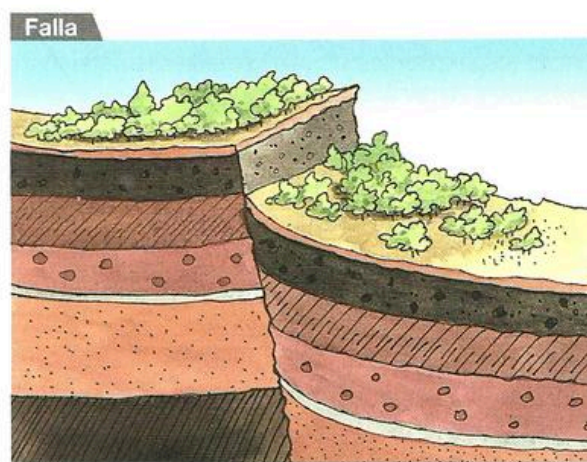
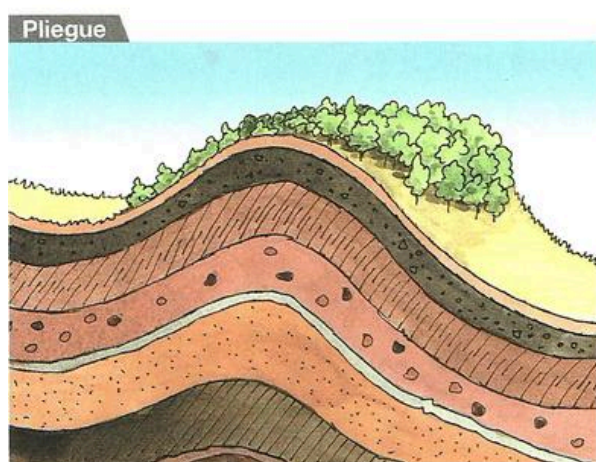
Núcleo: la parte más interna del pliegue.

Cresta: la zona más alta de un pliegue.

Los principales tipos de pliegues son:



Ejemplo de un pliegue y una falla en la naturaleza:



3.5.1. Atributos

CAMPOS DE ATRIBUTOS DE LA CAPA ESTRUCTURAS:

Nombre_Campo	Alias_Campo	Tipo_Dato
TIPO_ES *	Tipo Estructura	Text
FUENTE	Fuente info	Text
TIPO_FALLA *	Tipo de Falla	Text
NOMBRE	Nombre	Text
DIRECCION	Direccion	Text
MOVIMIEN	Movimiento	Text

Esta tabla se encuentra en la pestaña ATRIBUTOS del documento [SIG_MINERIA.xls](#) almacenado en la carpeta de [Documentos complementarios](#) del tema 2.

Códigos de Atributos

Podrás encontrar las tablas con los códigos recomendados para estos campos

- Tipo de Estructura
- Tipo de Falla

3.5.2. Fuente

Hay que distinguir entre la fuente de donde procede la capa de **Estructuras**, que puede ser un organismo oficial, un estudio contratado a consultores externos o de generación propia, etc, y la fuente de la información en sí misma, es decir, una falla por ejemplo ¿como ha sido identificada?

Hay varias metodologías, entre otras:

MEDIDA: si se han visto evidencias de su existencia en terreno, y han podido medirse los desplazamientos.

FOTOGEOLOGIA: si ha sido identificada a partir de una fotografía aérea o una imagen satelital.

INFERIDA: si se supone su existencia dados otros indicios, como cambios bruscos de litologías, etc.

3.5.3. Geoprocesamientos

Para poder hacer geoprocesamientos con estructuras en 2D es necesario tener una tabla de atributos muy completa, donde poder hacer filtros o *buffers* en funcion de estos atributos, como por ejemplo *tipo y orientación* de falla, *edad de activación*, *edad de reactivación*, etc, lo cual rara vez ocurre, solo a nivel regional, datos oficiales son tan completos, o estudios encargados a consultores especializados.

No obstante, en 3D, un buen modelo geológico estructural es fundamental. A partir de las interpretaciones de plantas y perfiles del yacimiento, se va construyendo el modelo estructural que es muy importante en yacimientos de tipo vetiforme por ejemplo, para poder seguir la continuidad de la veta mineralizada.

3.5.4. Capas ejemplo

Para la zona de estudio del SIG hemos preparado una capa de líneas de estructuras:

✦ ESTRUCTURAS: [GEO_EST_Estructuras.shp](#)

No obstante, en el próximo ejercicio, vamos a practicar con varias capas mas de esta temática.

3.5.5. Simbología

La sección de simbología estructural es muy completa en cualquiera de las librerías de símbolos entregadas hasta el momento, no obstante, siempre esta la opción de generar los propios símbolos con un programa de dibujo y añadirlos a tu Style, éstos deben ser lo similares posible a los indicados en estas librerías oficiales, por que son basados en convenios internacionales que deben ser respetados.

Dado que hay algunas diferencias menores entre los servicios de unos países y otros, mejor elegir la librería de tu país.

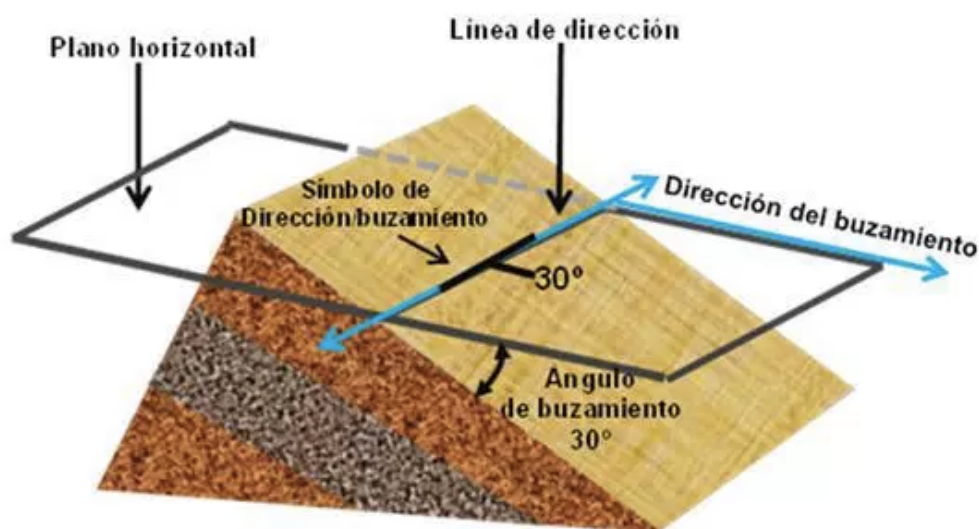
Vamos a trabajar con simbología geológica en el siguiente ejercicio, primero vamos a revisar en detalle las **Estructuras menores**, concretamente en lo que se refiere a las mediciones de dirección y buzamiento.

3.6. Estructuras Menores

Las estructuras menores, son como su propio nombre indica, estructuras de menor extensión espacial, normalmente representados por una capa de puntos.

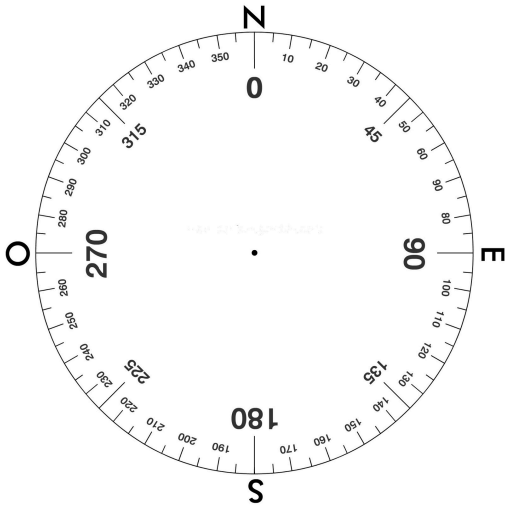
Hemos visto que una falla es una estructura lineal que puede tener desde unos metros a varios cientos de kilómetros de longitud, y la hemos representado en una capa de líneas, una falla es en realidad un plano cuando lo desplegamos en un modelo 3D, pero en cartografía 2D la representamos como la línea de intersección de ese plano con la superficie de la tierra.

Una falla, en un punto determinado, tiene una **dirección (rumbo, strike)** y un **buzamiento (manteo, o inclinación, dip)** que pueden ser medidos in situ con una brújula estructural, pero esa misma falla, en otros puntos, puede haber variado tanto en su dirección como en su buzamiento, y por lo tanto se podrá tomar otra medida puntual y añadir a la capa de puntos:



La **dirección** es el ángulo entre el Norte y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato inclinado, o falla, con un plano horizontal. La dirección se suele expresar como un valor de un ángulo en relación con el norte. La dirección del estrato ilustrada en la figura es de aproximadamente norte 75° este. (N 75° E).

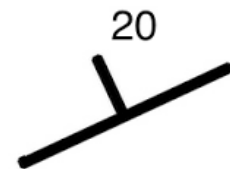
El **buzamiento** es el ángulo de inclinación del plano geológico con respecto a un plano horizontal. En la figura, el ángulo de buzamiento del estrato rocoso es de 30°. Una manera de visualizar el buzamiento es imaginar que el agua descenderá siempre por la superficie rocosa según una línea dirección de buzamiento, que formará siempre un ángulo de 90° con la dirección o rumbo del estrato.



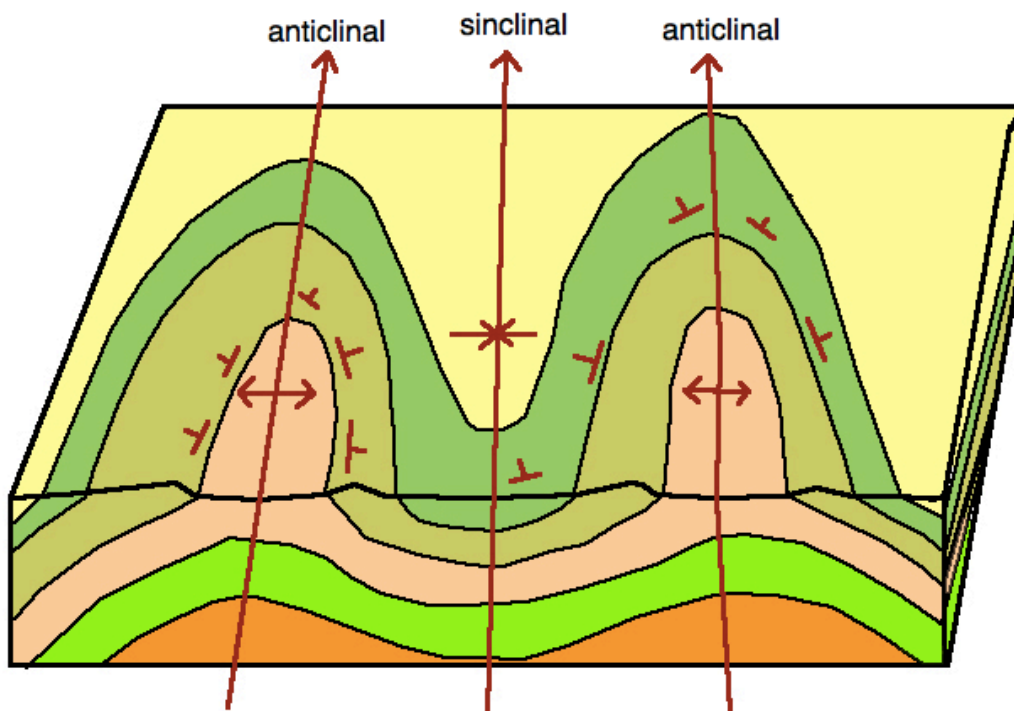
Estas mediciones puntuales se anotan en la libreta con las coordenadas Este y Norte, (la elevación idealmente) el tipo de estructura, el rumbo y el manto, pero hay varias formas de anotar este dato, según la brújula o instrumento que se utiliza, o según la costumbre de la persona que toma el dato.

Posteriormente estos datos se traspasan a una tabla (quizás ya se tomaron en terreno en una aparato electrónico y la tabla se genera automáticamente) y posteriormente se despliegan en un mapa a partir de las coordenadas, con los símbolos definidos en las librerías que ya hemos revisado, el más típico es este:

Donde el segmento largo indica la dirección y el segmento corto indica hacia que lado se da el buzamiento de la capa, y el numero, indica los grados de buzamiento.



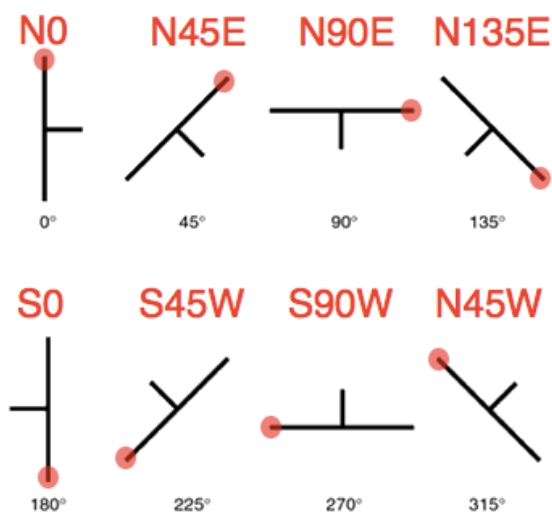
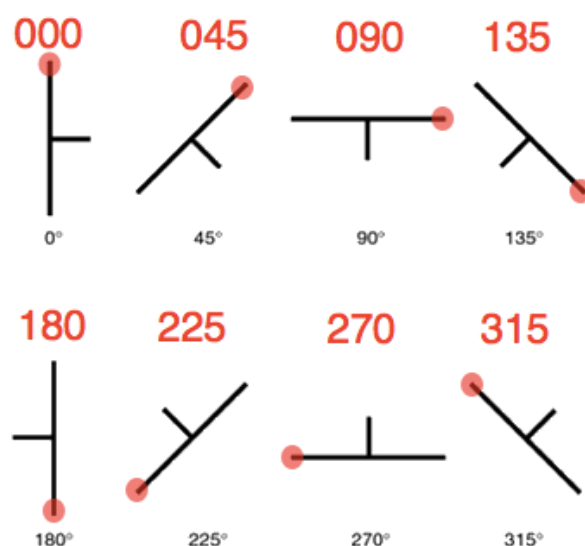
Esta información es de gran importancia pues ayudan muchísimo a comprender el comportamiento de las capas en profundidad, y son esenciales para la creación de perfiles y modelos en 3D.



La dirección siempre se mide con respecto al Norte geográfico y sus valores están en un rango de **0° a 360°**, siempre aumentando hacia el Este (la derecha).

La dirección se puede medir en cualquiera de las dos puntas de la línea, pero si no se indica hacia que lado ocurre el buzamiento (con E, ó W al lado del valor numérico), entonces se debe utilizar la que deja la dirección de buzamiento a su derecha, veremos varios ejemplos mas adelante. **Lo ideal es anotar el valor con tres dígitos para evitar confundirlo con el buzamiento.**

Esta sería la forma correcta de anotar la dirección en varios ejemplos, una dirección anotada correctamente ya nos indica la dirección de buzamiento, ya que siempre queda a la derecha de la punta del segmento largo, avanzando según las agujas del reloj:



Otra forma muy común de anotar las direcciones es indicando el cuadrante de la rosa de los vientos:

Pero como podemos observar, comienza la confusión, y ya no es tan claro detectar la dirección de buzamiento a partir de este valor, además es muy difícil de procesar en un SIG, donde lo que se necesitan son valores numéricos. netos.

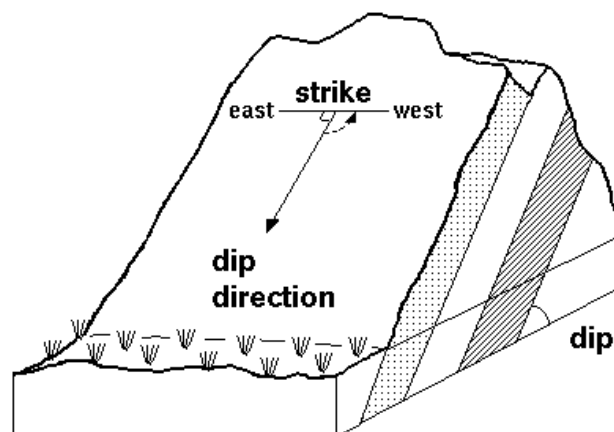
En esta forma, a veces se suele indicar además la dirección de buzamiento: **N45W/15°NE**. Es por esto que lo ideal es pedirle al geólogo que nos indique la dirección de buzamiento y así evitaremos cualquier

posibilidad de error.

El Buzamiento o manto (Dip), es el ángulo que va desde la horizontal hacia dentro de la tierra, y sus valores están en un rango de 0° a 90°, cuando se trata de estructuras en un mapa, siempre son valores positivos, cuando se trata de la inclinación de un sondeo de

exploración, pueden tener valores positivos y negativos, pues algunos sondeos se hacen desde un túnel y su inclinación es hacia arriba, y depende de la convención o del software de despliegue 3D que se decide cual de los dos es positivo y cual negativo, pero eso lo veremos en el tema de perforaciones.

La **dirección de buzamiento** o inclinación (**dip direction**) es la es perpendicular a la dirección, pero siempre hacia el lado donde se produce el buzamiento, es decir, se suman 90 grados a la dirección cuando el buzamiento ocurre hacia la (derecha) de la dirección, o se restan 90 grados a la dirección cuando el buzamiento ocurre hacia el oeste (izquierda) de la dirección.



Este es un ejemplo de algunas de las posibilidades de anotación de una misma medida:

N120E/15NE

120E/15E

N60W/15NE

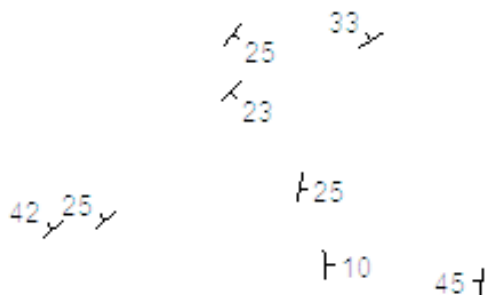
300/15°

120/15E

No importa cómo te entreguen la información, antes de desplegarlo en un mapa creado por un SIG necesitas tener una tabla con estos tres campos:

DIRECCIÓN RUMBO STRIKE	BUZAMIENTO MANTEO DIP	DIRECCIÓN BUZ. DIRECCION MANTEO DIP DIRECTION
300 (N60W)	15	30

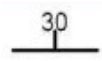
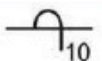
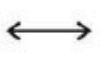
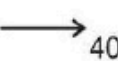
Y esos son los valores correctos para poder generar un mapa, pues hay que tener en cuenta que vamos a usar el campo **DIRECCION DE BUZAMIENTO** para rotar el símbolo automáticamente y lograr este efecto:



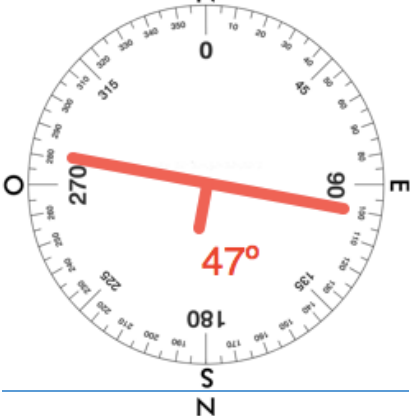
Para ello usaremos la opción avanzada de rotación de un símbolo, disponible en la pestaña de simbología de las propiedades de una capa en ArcMap, esto lo veremos en el próximo ejercicio.

Una vez rotando el símbolo, se añade el valor del campo **DIP** como una etiqueta.

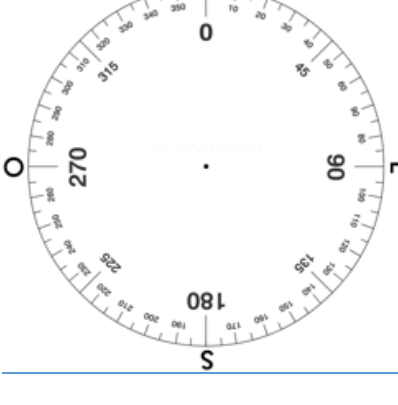
Dependiendo del tipo de estructura, el símbolo a utilizar es diferente, según la librería que utilicemos podemos encontrar, por ejemplo:

	Rumbo y buzamiento de estratificación		Rumbo y buzamiento de capa invertida
	Rumbo y buzamiento de capa vertical		Capa horizontal
	Rumbo y buzamiento de diaclasa		Diaclasa vertical
	Diaclasa horizontal		Linea horizontal
	Linea vertical		Dirección e inmersión de línea

Veamos algunos ejemplos:

	DIRECCIÓN RUMBO STRIKE	BUZAMIENTO MANTEO DIP	DIRECCIÓN BUZ. DIRECCION MANTEO DIP DIRECTION
	N50E 50	15	140
	N70E 250	62	340
	N100E 100	47	190
	S70W 240	23	330

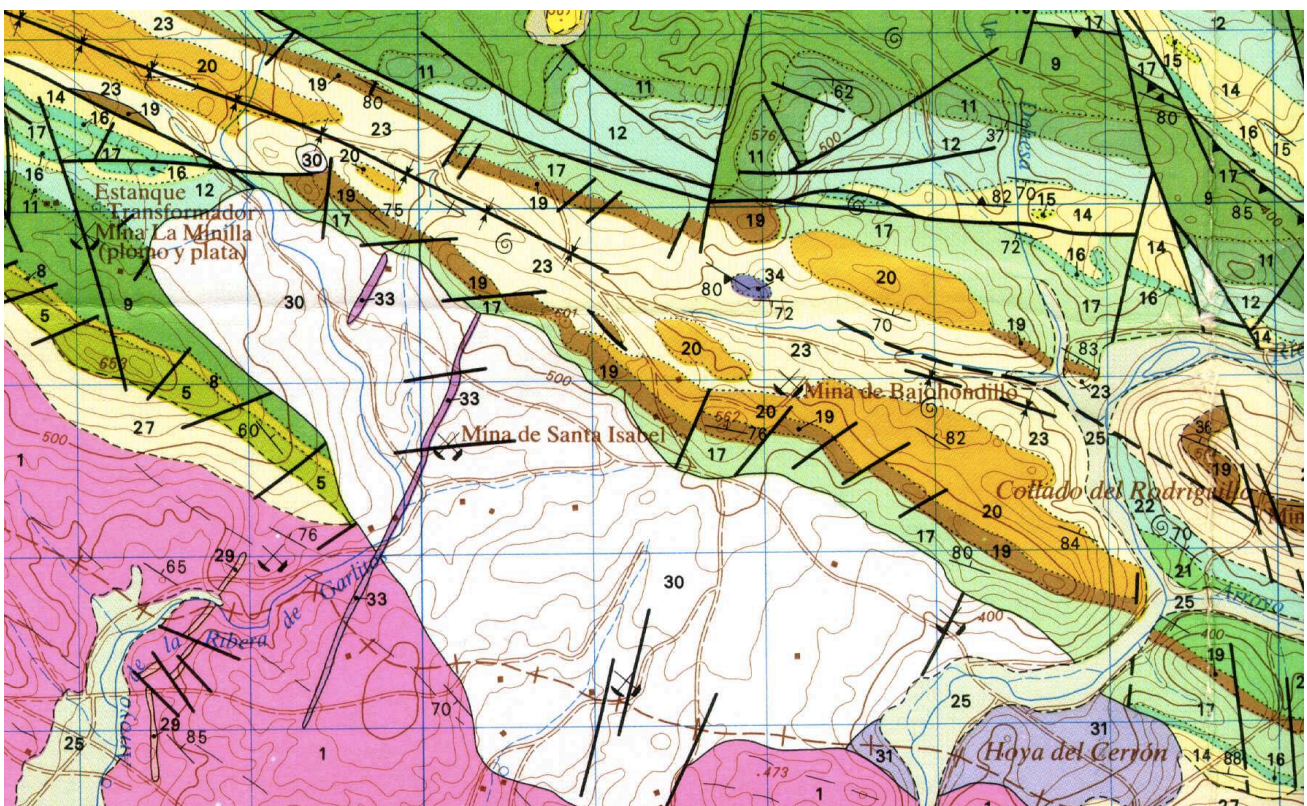
EXTRACTO - CONSTRUCCION DE UN SIG PARA EXPLORACION MINERAL - DATOS GEOLÓGICOS

	Tu turno:		
	DIRECCIÓN RUMBO STRIKE	BUZAMIENTO MANTEO DIP	DIRECCIÓN BUZ. DIRECCION MANTEO DIP DIRECTION
			
			
	N20W	35	70
	N90E	72	180

Como hemos visto, además hay otras estructuras, como la estratificación de la roca, foliaciones o diaclasas, que también pueden ser medidas en un punto concreto, todas estas son las estructuras menores, pero a veces encontramos estructuras mayores, como fallas en esta capa, porque se refiere a una medida puntual de la falla.

Es decir la separación entre esta capa y la de estructuras es difusa, tiene información compartida, y ambas deberían ir siempre juntas, pues la separación más tiene que ver con la forma de representarla, que con la información propiamente tal.

Podemos ver en la siguiente figura, la importancia de la información estructural para la correcta interpretación de este mapa litológico:



Veremos en próximos temas la relevancia de los datos estructurales en las fases de diseño de minas, y minas en producción tanto subterráneas como a cielo abierto.

----- FIN EXTRACTO TEMA 3 -----