



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Modelos Tridimensionales y
Algoritmos para ilustrar diferencias
entre separación y deslizamiento
en fallas. Enfoque Didáctico**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

David Méndez Orduña

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Jorge Nieto Obregón



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

TEMARIO

Temario	2
I. Introducción	4
II. Objetivo	6
III. Planteamiento teórico.....	8
IV. Discusión Generalizada.....	12
IV.1 Plano Estructurales con Rumbo Paralelo al Rumbo del Plano de Falla.	12
IV.2 Plano Estructurales Inclínados con Rumbo No Paralelo al Rumbo del Plano de Falla.	18
V. Casos	26
V.1 Planos Estructurales Horizontales truncados por Fallas con Inclínación	26
V.1.1 Caso 1 (Desplazamiento Izquierdo)	26
V.1.2 Caso 2 (Desplazamiento Derecho).....	30
V.1.3 Caso 3 (Separación Normal)	34
V.1.4 Caso 4 (Separación Inversa)	38
V.2 Estratos Inclínados Truncados por Fallas con Rumbos Paralelos	42
V.2.1 Caso 5 (Echados Opuestos - Separación Normal)	42
V.2.2 Caso 6 (Echados Opuestos - Separación Inversa)	46
V.2.3 Caso 7 (Echados en la Misma Dirección - Separación Normal)	50
V.2.4 Caso 8 (Echados en la Misma Dirección - Separación Inversa)	54
V.3 Planos Estructurales Inclínados Truncados por Fallas Inclínadas de Rumbos Ortogonales.....	58
V.3.1 Caso 9	58
V.3.2 Caso 10.....	62
V.3.3 Caso 11.....	66
V.3.4 Caso 12.....	70
V.3.5 Caso 13.....	74
V.3.6 Caso 14.....	78
V.3.7 Caso 15.....	82
V.3.8 Caso 16.....	86
V.4 Planos Estructurales Inclínados truncados por Fallas Inclínadas con Rumbos Oblicuos	90
V.4.1 Caso 17 (Gama > 90°)	90
V.4.2 Caso 18 (Gama < 90°)	94

V.4.3 Caso 19 (Gama = 90°)	98
V.4.3 Caso 20.....	102
VI. Bibliografía	106
Apéndice i. Terminología	108
Apéndice ii. Modelos Armables.....	112
Apéndice iii. Ejercicios	152

I. INTRODUCCIÓN

Se elaboró un escrito que servirá de base para los apuntes del tema de fallas de la asignatura Geología Estructural contemplada en los planes de estudio de las licenciaturas de:

- Ingeniería Geológica.
- Ingeniería Geofísica.
- Ingeniería de Minas y Metalurgia.

Estas licenciaturas se imparten en la División de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Dentro de este escrito se realizó un análisis geométrico de fallas con desplazamientos rectilíneos en fallas planas. Así mismo se realizó un análisis trigonométrico del cual se obtuvo un algoritmo para obtener la magnitud del desplazamiento o salto total.

Se diseñaron modelos en mapas, secciones, perfiles de las fallas y su representación en redes estereográficas, de los cuales se derivaron modelos tridimensionales y modelos armables para su uso didáctico. Finalmente se elaboraron ejercicios tipo para cada uno de los casos estudiados, como una aportación que ayude a los profesores y estudiantes en la comprensión de algunas variaciones que producen resultados aparentemente contradictorios, y que ayudan a resolver paradojas.

Este estudio se planeó con el propósito de aclarar conceptos que a menudo causan algunas confusiones, entre ellos las diferencias entre separación y desplazamiento, al igual que algunos términos tomados de la literatura anglosajona. Así mismo, porque en la interpretación de la cinemática de las fallas, en ocasiones se producen resultados aparentemente contradictorios que contribuyen a la confusión de estudiantes en las primeras etapas de su formación profesional, y que conviene aclarar en esa etapa de sus vidas.

El estudio se realizó para eliminar estas situaciones y ayudar a profesores y profesionistas no especializados en el tema, y por supuesto como una ayuda para los estudiantes de esta asignatura y de otras contempladas como subsecuentes a Geología Estructural. Así mismo este trabajo podrá servir como obra de consulta por profesionistas de ciencias de la tierra y de otras ingenierías de la UNAM y otras universidades, que requieran aclarar conceptos, o resolver problemas prácticos, o de aplicación general.

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el tema de fallas, y se discutieron los distintos parámetros para su clasificación, poniendo énfasis en la obtención de la magnitud del vector de desplazamiento. Posteriormente se realizaron análisis de visualización tridimensional -utilizando distintos paquetes de software-, análisis estereográficos para determinar ángulos de pitch (del plano truncado y del vector de desplazamiento), análisis trigonométricos, descritos más adelante. Estos análisis se utilizaron en la creación de modelos tridimensionales o maquetas, y de modelos armables incluidos en el apéndice con propósitos didácticos.

Se busca obtener como producto final los apuntes del tema de fallas, restringiendo el análisis de saltos de falla, cuando ocurren de manera rectilínea, es decir, aquellos que ocurren sobre planos de falla rectos. Por limitaciones de tiempo se excluyen los planos alabeados, o lítricos, y los problemas relacionados a rotaciones sobre pivotes paralelos o perpendiculares al plano de falla, que son tema de otro trabajo de investigación.

II. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es aportar herramientas gráficas y matemáticas que ayuden a explicar y comprender los conceptos de separación y deslizamiento entre bloques truncados por fallas. Está enfocado a proporcionar un documento auxiliar a la enseñanza del capítulo de fallas de la asignatura de Geología Estructural, los objetivos que se persiguen son los siguientes:

Se discutirán a profundidad los términos, separación y desplazamiento de planos estructurales truncados por planos de falla como función del ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Se presentará la deducción de la función para calcular la magnitud del vector de desplazamiento, adicionalmente se utilizaron maquetas y modelos virtuales para el análisis tridimensional del desplazamiento de puntos contiguos en los bloques desplazados.

Por primera vez se muestra una regionalización del plano de falla, en el que se indican las áreas que delimitan los posibles tipos de falla, en función del ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

El análisis se restringirá a vectores de desplazamiento rectilíneos, es decir a aquellos que ocurren en un solo plano de falla, donde este es plano, y sin curvaturas. Quedan por lo tanto fuera del alcance de este documento, los problemas con 2 o más planos de falla, los planos de falla lístricos y las fallas rotacionales con movimientos alrededor de un pivote perpendicular al plano de falla, y aquellas cuyo pivote es paralelo al rumbo de la falla.

Se mostrará la deducción del algoritmo utilizado para obtener la magnitud del vector de desplazamiento (D).

El análisis geométrico y trigonométrico mostrara, en base a la información existente en mapas, secciones verticales o perfiles inclinados, que algunas soluciones producen resultados aparentemente contradictorios. Estos resultados se discuten y explican dentro de este documento con ejemplos específicos.

III. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

El análisis se centra en la determinación del salto en el perfil de la falla, y la magnitud del vector de deslizamiento en función del ángulo de pitch de la lineación de la estría.

Se hizo un uso intensivo de:

- La proyección horizontal (i.e. Mapa o Planta).
- La proyección de la sección vertical perpendicular del plano de falla.
- El perfil de la falla.
- La proyección estereográfica de los elementos estructurales involucrados.
- La utilización del algoritmo para encontrar la magnitud del desplazamiento.

Los datos o información que se requieren para encontrar la solución a este tipo de problemas son:

- Las orientaciones de los planos de falla y de referencia.
- Orientación del vector de desplazamiento (i.e. el pitch de la línea, o la dirección y buzamiento de esa línea).
- el sentido de la separación aparente de las trazas de los planos de referencia, en proyecciones horizontales (i.e. Mapas), y en secciones verticales.

Asumiendo que la separación (en el mapa y en la sección) es mayor que cero, se dedujo un algoritmo para la obtención del salto total. Estos parámetros se proyectaron en el perfil de la falla, y las soluciones se validaron en maquetas y modelos virtuales, para todas las combinaciones posibles de las variables involucradas.

Si H o E son 0, entonces la separación aparente sería nula, y la función no es válida para esos casos. En este caso el desplazamiento ocurre de forma paralela a la traza de intersección del plano truncado, y corresponde con el tipo de falla “*trace slip*” (Beckwith, 1941), y para su solución se requiere información adicional, como se mostrará más adelante.

En la literatura anglosajona, se acostumbra pensar en líneas que “perforan” al plano de falla, y por esa razón se les denomina “*piercing points*”, o *perforaciones de arete*, o *puntos de pinchado* (Ragan, 1985). Algunas de las líneas cuyos puntos de pinchado se pueden utilizar para el cálculo del salto, incluyen a las líneas de charnela en pliegues truncados por la falla, o la línea de intersección de dos planos (no paralelos al plano de falla) que perforan a este en puntos diferentes, entre otros.

Estas líneas contenidas en los bloques de piso y de techo, tocan el plano falla en sitios diferentes, y la distancia entre ellos corresponde con la magnitud del vector de desplazamiento, o salto total de la falla.

En nuestro caso[□] se utilizaron como puntos de “*perforación de arete*” a la intersección de la traza del plano de referencia en el bloque de piso y de techo, con la traza del plano horizontal o mapa (en este caso esa línea de intersección se convierte en la línea de tierra, para una elevación determinada).

La recta que define la magnitud del salto queda definida en función del ángulo de pitch de la estría, y el punto final de ese vector en su intersección con la traza del plano de referencia en el bloque del techo.

Se acostumbra establecer la geometría de un vector en un espacio bidimensional en términos de tres variables: magnitud, dirección y sentido. En Geología Estructural la orientación de líneas en un espacio tridimensional, se define en función de 4 parámetros: la magnitud, dirección, buzamiento, (trend and plunge) y sentido. La dirección y buzamiento, pueden determinarse a partir del ángulo de pitch de la línea medida en el plano de falla. El sentido se establece en función de las posiciones inicial y final de dos puntos originalmente contiguos a los que hizo referencia anteriormente. Pretendemos realizar esta

discusión proyectando en el perfil de la falla, los ángulos de pitch de la línea de intersección del plano truncado con el plano de falla, y de la lineación de la estría (vector de deslizamiento).

Podemos en primera instancia, subdividir las posibles formas de desplazamiento entre bloques (i.e. Salto), en función las orientaciones de planos de falla y planos de referencia. A partir de los desplazamientos aparentes en el mapa y en el perfil vertical, se pueden proyectar en el perfil de la falla los ángulos de pitch de las intersecciones del plano truncado en el plano de falla, y el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Dependiendo de la orientación de la inclinación del plano de falla (por ejemplo: echado al W, o echado al E, o echado vertical, o echado horizontal), y asumiendo que se cuenta con un mapa se analiza visualmente si existe una separación derecha, izquierda o nula. Exceptuando el caso de estratos y fallas horizontales, donde no es posible establecer los puntos de perforación de arete.

En el presente documento se muestra un análisis de 4 escenarios principales:

1. Cuando el contacto es horizontal y es truncado por una falla.

Dado que no es posible definir desplazamientos aparentes en el mapa (plano horizontal), se consideran dos posibilidades, según se observa en el perfil vertical perpendicular al rumbo de la falla:

- a. No existe desplazamiento aparente (si a ambos lados de la falla aflora la misma unidad geológica).
- b. El desplazamiento es Normal o Inverso.

2. Cuando los rumbos de la falla y del plano de contacto son paralelos. Para este caso se tienen dos posibilidades:

- a. Los echados se inclinan en direcciones opuestas.
- b. Los echados se inclinan en la misma dirección. Que incluye dos sub casos.
El echado de la falla es mayor que el echado del plano de referencia.
El echado de la falla es menor que el echado del plano de referencia.

3. Cuando los rumbos, y por ende las direcciones de los echados de la falla y el plano son ortogonales entre sí.

Se consideran las posibles combinaciones de las variables:

- a. Rumbo y Echado del Plano de Referencia.
- b. Rumbo y Echado del Plano de Falla.

4. Cuando los rumbos de la falla y el plano de referencia son oblicuos (i.e. Ni ortogonales ni paralelos).

Para simplificar se considera arbitrariamente el mismo rumbo y echado del plano de falla, mientras que para el plano de referencia se considera un rumbo oblicuo que se mantendrá constante y se hará variar el ángulo del echado.

Los resultados del análisis se pueden agrupar en dos escenarios posibles, dependiendo del valor absoluto de la diferencia entre las direcciones de los echados de los planos de referencia y de la falla, el cual puede ser:

- a. Mayor de 90° .
- b. Menor de 90° .

Estos casos serán discutidos con detalle más adelante.

Para cada uno de estos escenarios se realizó un análisis trigonométrico y tridimensional para cuantificar el salto (vector de desplazamiento o deslizamiento) entre dos puntos originalmente adyacentes sobre el plano de falla, y se aplicó un algoritmo que permite obtener el valor de la magnitud del vector de desplazamiento para cualquier combinación de valores de las variables utilizadas.

Posteriormente se analizaron distintos ejemplos de los casos estudiados, modificando las variables mencionadas, mostrando las soluciones, utilizando mapas, secciones verticales, perfiles del plano de falla, proyecciones estereográficas y un modelo tridimensional de los elementos estructurales involucrados. De esta manera se indican las posibles trayectorias del vector de desplazamiento, en función de ángulo de pitch de este, y de este análisis se desprende una regionalización del plano de falla, que delimita las distintas posibilidades de movimiento en la falla.

Así mismo se busca, validar esta metodología haciendo uso de maquetas, las cuales muestran el plano horizontal (Mapa) y los planos verticales laterales, frontal y trasero, de cada uno de los casos presentados, que pueden ser armados por el profesor y/o los alumnos para una explicación más adecuada de cada uno de los tipos de movimiento rectilíneo de los bloques a lo largo del plano de falla, presentados en este trabajo.

IV. DISCUSIÓN GENERALIZADA

IV.1 PLANO ESTRUCTURALES CON RUMBO PARALELO AL RUMBO DEL PLANO DE FALLA.

Partiendo del caso hipotético, como el mostrado en la figura 1, un plano horizontal (color azul) es desplazado por una falla según se ilustra, dejando un plano de falla (color rojo) con las trazas de los contactos del piso y techo paralelas al rumbo de la falla (i.e. la línea de tierra)

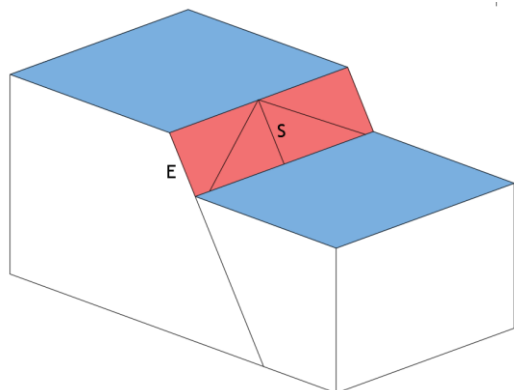
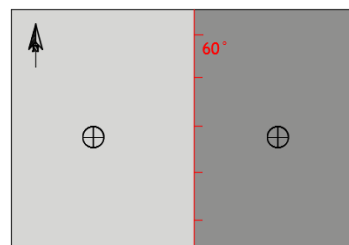


Figura 1. Representación tridimensional de un plano horizontal (color azul) afectado por una falla (color rojo) que separa a los bloques del techo y del piso. Una planta horizontal ubicada por arriba del plano azul mostraría la presencia de diferentes unidades estratigráficas dependiendo del espesor de estas unidades (ver figura 2), y no se observa un desplazamiento aparente (H). Mientras que en la dirección del echado la separación es normal, con un desplazamiento aparente (E). La separación en la dirección perpendicular a las trazas del contacto en el plano de falla (S) coincide con el desplazamiento aparente (E).

En la planta (plano horizontal) no se observa ninguna separación, por lo tanto, ningún desplazamiento aparente H, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Mapa o Planta Horizontal donde se ejemplifica, el hecho de que no se observa una separación aparente H, a lo largo de la traza de la falla (color rojo).

Columna



Mientras que, en los perfiles verticales perpendiculares al rumbo de la falla, se observa una separación aparente normal, y un desplazamiento aparente E, como se muestra en la figura 3.

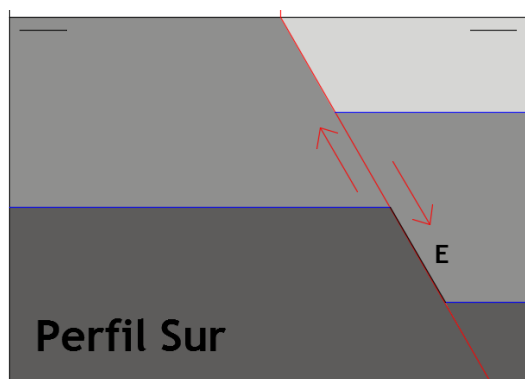


Figura 3. Perfil Sur o Plano vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se aprecia la separación y desplazamiento aparente E, del contacto (color azul) en ambos bloques a lo largo de la traza de la falla (color rojo).

De la misma manera que partimos del caso hipotético de la figura 1, a continuación, se muestra una representación tridimensional (figura 4) de un plano inclinado (color azul) desplazado por una falla (color rojo), dejando un plano de falla con las trazas de los contactos del piso y techo paralelas al rumbo de la falla (i.e. la línea de tierra)

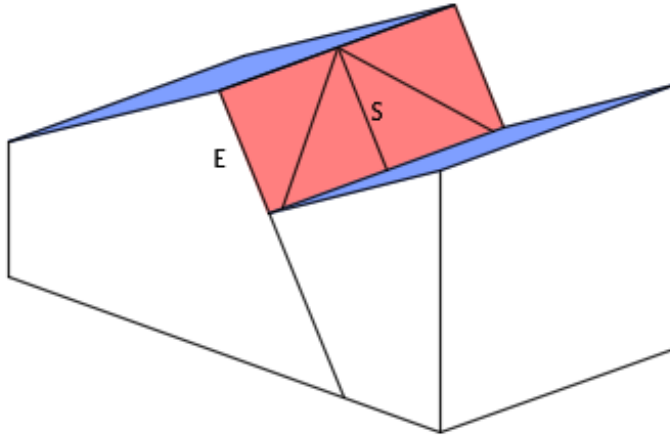


Figura 4. Representación tridimensional de un plano inclinado, afectado por una falla que separa a los bloques del techo y del piso. La separación en la dirección perpendicular a las trazas del contacto (S) en el plano de falla coincide con el desplazamiento aparente E.

Así como se observó en el caso anterior, en la planta (plano horizontal) no se observa ninguna separación, por lo tanto, ningún desplazamiento aparente H, como se muestra ahora en la figura 5.

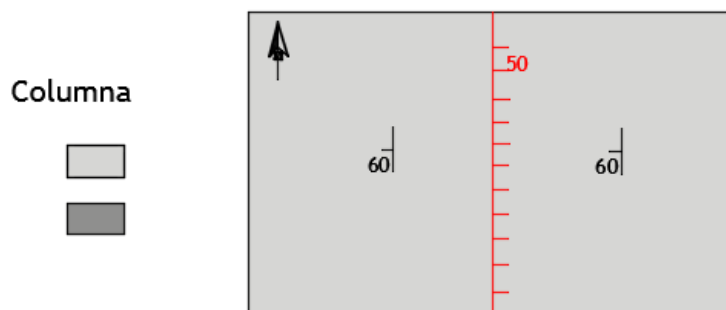
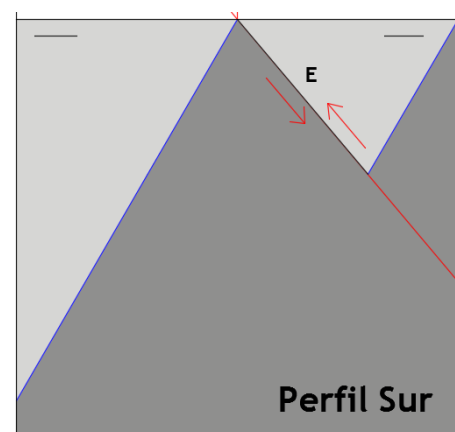


Figura 5. Mapa o Planta Horizontal donde se ejemplifica, el hecho de que no se observa una separación aparente H, a lo largo de la traza de la falla (color rojo), para los casos presentados.

Mientras que, en los perfiles verticales perpendiculares al rumbo de la falla, se observa una separación aparente normal, y un desplazamiento aparente E (figura 6).

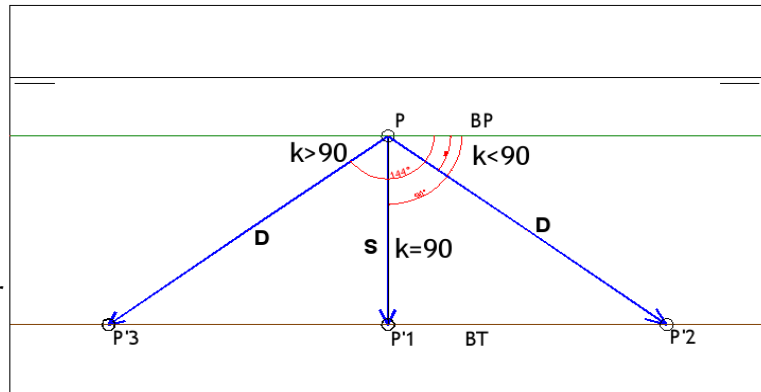
Figura 6. Perfil Sur o Plano vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se aprecia la separación y desplazamiento aparente E, del contacto (color azul) en ambos bloques a lo largo de la traza de la falla (color rojo).



Para ambos casos hipotéticos, el rumbo del plano de falla formado resulta ser paralelo a las trazas del plano de referencia (i.e. contacto, dique, veta, plano axial, falla, etc.), y los vectores de desplazamiento (en color azul en la figura 5), representan ejemplos de las posibles orientaciones de las estrías de falla. La lineación dejada por estas estrías causadas por el movimiento entre dos bloques en el plano de falla, forman un ángulo de pitch aquí denominado κ (kappa).

El vector de desplazamiento D puede tener cualquiera de las trayectorias mostradas en la figura 7, como se describe a continuación.

Figura 7. Perfil del Plano de Falla donde se representan las posibles trayectorias del vector de desplazamiento con un punto inicial P arbitrario sobre la traza del bloque de piso (BP) hasta el punto final $P'1$ - $P'3$ sobre la traza del bloque de techo (BT). Un caso especial ocurre cuando $\kappa = 90^\circ$, la magnitud de ese vector adopta el valor de S , que a su vez es igual a E .



Cuando la separación ocurre solo en la dirección del echado es decir $\kappa = 90^\circ$ (figura 8), la magnitud del vector de desplazamiento es $D = S$, que a su vez es igual a E (figura 1 y 4), que es la separación en dirección del echado. Siendo S la distancia perpendicular entre las trazas del contacto. Por lo tanto:

$$D = E$$

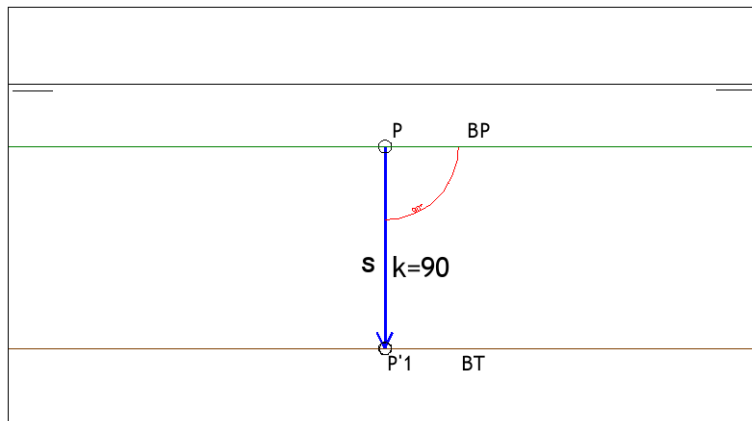
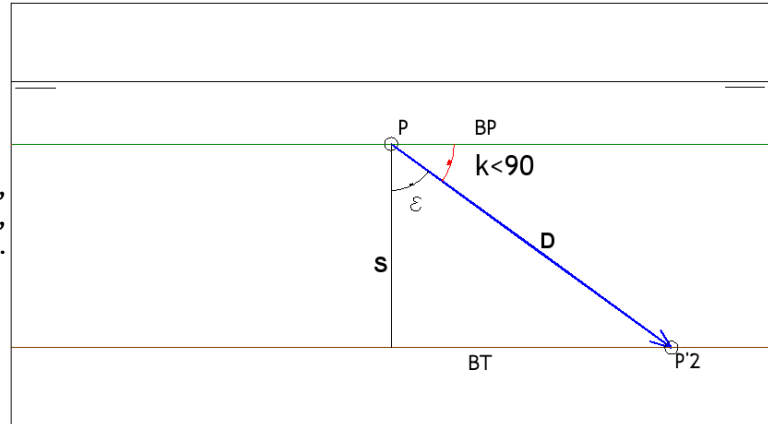


Figura 8. Perfil del plano de falla, mostrando las trazas de plano del contacto truncado en los bloques del techo (BT) y del piso (BP), y el vector de desplazamiento cuando κ adopta el valor de 90° ($D=S$).

Cuando el ángulo de pitch κ es menor que 90° , el vector de desplazamiento puede tomar una trayectoria como la mostrada (figura 9).

Figura 9. Perfil del plano de falla, mostrando el vector de desplazamiento, cuando κ es menor que 90° .



De la figura deducimos que:

$$\varepsilon = 90 - \kappa$$

$$\cos(\varepsilon) = S/D$$

Despejando a D,

$$D = S/\cos(\varepsilon)$$

Sustituyendo S se tiene que, la magnitud del vector de desplazamiento D es:

$$D = E/\cos(\varepsilon) \text{ o } D = S/\text{Sen}(\kappa)$$

A la zona comprendida entre valores de κ mayores a 0° y menores de 90° , le llamamos **Zona 1** (ver figura 11).

Análogamente si κ es mayor que 90° , y menor que 180° (Figura 10), se obtiene lo siguiente:

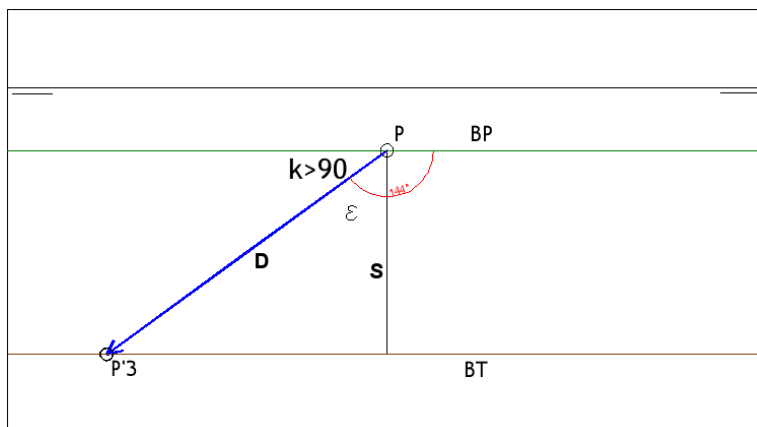


Figura 10. Perfil del plano de falla mostrando el vector de desplazamiento cuando κ es mayor que 90° , pero menor de 180° .

Analizando la figura tenemos que:

$$\varepsilon = \kappa - 90$$

$$\cos(\varepsilon) = S/D$$

Despejando a D,

$$D = S/\cos(\varepsilon)$$

Sustituyendo S se tiene que, la magnitud del vector de desplazamiento D es:

$$D = E/\cos(\epsilon) \text{ o } D=S/\text{Sen}(k)$$

A la zona comprendida entre valores de κ mayores a 90° y menores de 180° , le llamamos **Zona 2** (ver figura 11).

En conclusión, podemos decir que la ecuación que controla esta función se puede escribir:

$$D = E/\cos(\epsilon) \text{ o } D=S/\text{Sen}(k)$$

El caso cuando κ es igual a 90° nos sirve para separar las dos zonas que hemos identificado en este análisis. La figura 9 muestra la regionalización del perfil de la falla, indicando para cada vector el tipo de fallamiento en función del ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

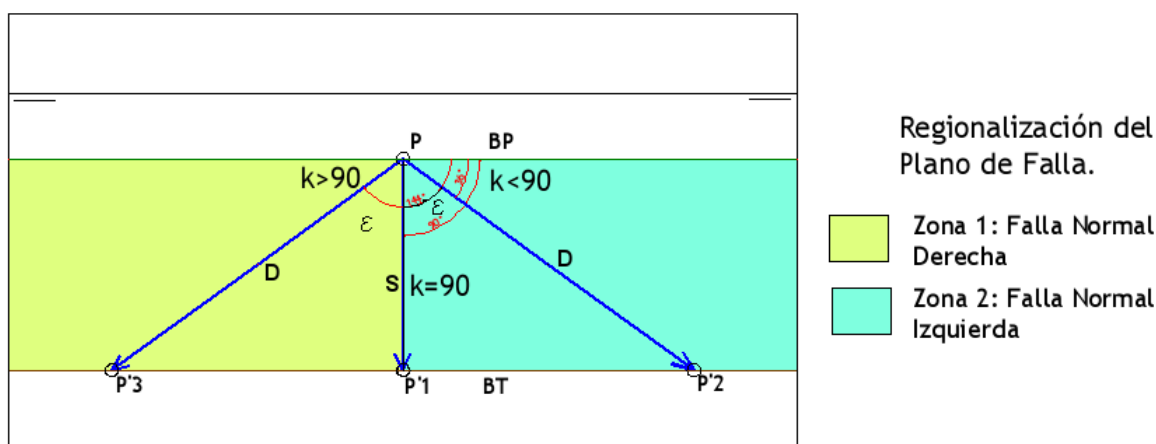


Figura 11. Perfil del plano de falla, mostrando las zonas en las que se puede subdividir de acuerdo a la orientación del vector de deslizamiento. Los vectores con distintos ángulos de pitch (κ) dividen a la falla en zonas donde la falla puede tener movimiento con diferentes componentes (normal, derecha o izquierda). Las trazas del plano estructural truncado se muestran para los bloques de piso (BP) y techo (BT).

Los valores de κ y γ , mostrados entre paréntesis, pueden adoptar valores positivos o negativos dependiendo de la manera en que se considere el sentido de giro de la medición.

En este texto hemos adoptado la convención de considerar que estos ángulos se miden en el perfil de la falla (abatido hasta la horizontal). La orientación de ese plano está medida con la regla de la mano derecha, y la medición se hace desde el extremo derecho del plano abatido.

La medición de los ángulos de pitch de la traza truncada del plano estructural y del vector de deslizamiento corresponde con un valor positivo cuando se mide hacia arriba (i.e. en sentido anti horario) de 0° a 180° , y con un valor negativo cuando se mide hacia abajo (i.e. en sentido horario) de 0° a -180° .

Esta convención es la misma que se adopta en los textos de trigonometría, y en otras disciplinas como por ejemplo en sismología. Específicamente en los mecanismos de plano focal reportados en las redes sismológicas mundiales (ver por ejemplo la página del USGS: <http://www.usgs.gov>).

Adicionalmente esta convención representa algunas ventajas cuando se manejan trigonométricamente los datos para la visualización del comportamiento de distintas variables como se muestra más adelante en este trabajo. Adoptamos además la convención de mantener el bloque de piso fijo, y mover únicamente el bloque de techo.

Si se analiza el comportamiento de la orientación de los vectores de deslizamiento en las figuras precedentes y los valores que adquiere su magnitud, se observa que cuando el valor de κ se acerca al valor de 0° o 180° , la magnitud o deslizamiento total del vector crece rápidamente y en el límite tiende al infinito, y por lo tanto la solución en este caso no se puede obtener. Esta situación no puede resolverse con estas ecuaciones, pues implica una división entre cero. Sin embargo, si esto llegase a suceder implicaría que la separación en la proyección horizontal (i.e. H), o en el perfil vertical perpendicular al rumbo de la falla (i.e. E), tendría que ser cero, y en ese caso estaríamos observando una falla de tipo “*trace slip*” (Beckwith, 1941), es decir en la que el deslizamiento ocurre en la dirección de la traza del plano estructural truncado (i.e. cuando:) En ese caso la determinación del deslizamiento o salto total es indeterminada y se requiere información adicional.

En el caso de los ejemplos mostrados, esta situación se puede descartar pues partimos del postulado de que $E > 0$, (es decir que es positiva).

En el caso específico de estos ejemplos H es indeterminable por la geometría del contacto y la falla (son paralelos), y el ángulo de pitch de la traza de truncamiento son horizontales, i.e. γ es 0° .

IV.2 PLANO ESTRUCTURALES INCLINADOS CON RUMBO NO PARALELO AL RUMBO DEL PLANO DE FALLA.

Partiendo de los casos hipotéticos, como los mostrados en las figuras 12 y 13, un plano inclinado (color azul) es desplazado por una falla según se ilustra, dejando un plano de falla (color rojo) con las trazas de los contactos del piso y techo oblicuas a la horizontal o línea de tierra.

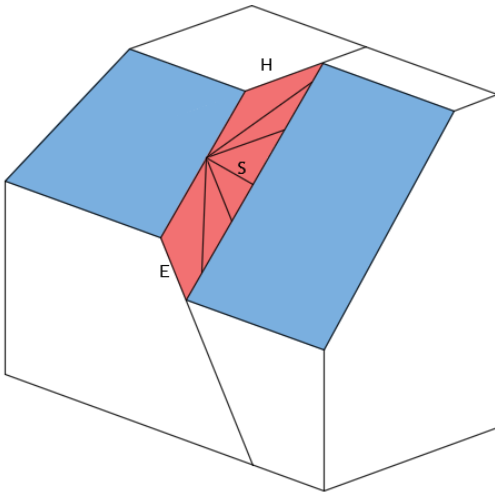
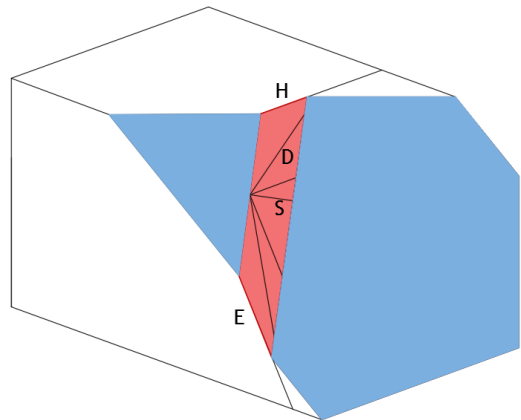


Figura 12. Representación tridimensional de un bloque afectado por una falla (color rojo) que separa a los bloques del techo y del piso. Los vectores ilustran las posibles trayectorias del desplazamiento del bloque del techo que producirían el mismo estado final. En la planta se muestra una separación izquierda con un desplazamiento aparente H , mientras que en la dirección del echado la separación es normal con un desplazamiento aparente E . La separación en la dirección perpendicular a las trazas del contacto en el plano de falla es oblicua y de magnitud S .

Figura 13. Representación tridimensional de un bloque afectado por una falla (color rojo) que separa a los bloques del techo y del piso, mostrando en planta una separación izquierda con un desplazamiento aparente H , mientras que en la dirección del echado la separación es normal con un desplazamiento aparente E . La separación en la dirección perpendicular a las trazas del contacto en el plano de falla es oblicua y de magnitud S .



En la planta (plano horizontal) se observa una separación izquierda y un desplazamiento aparente **H** (figura 14).

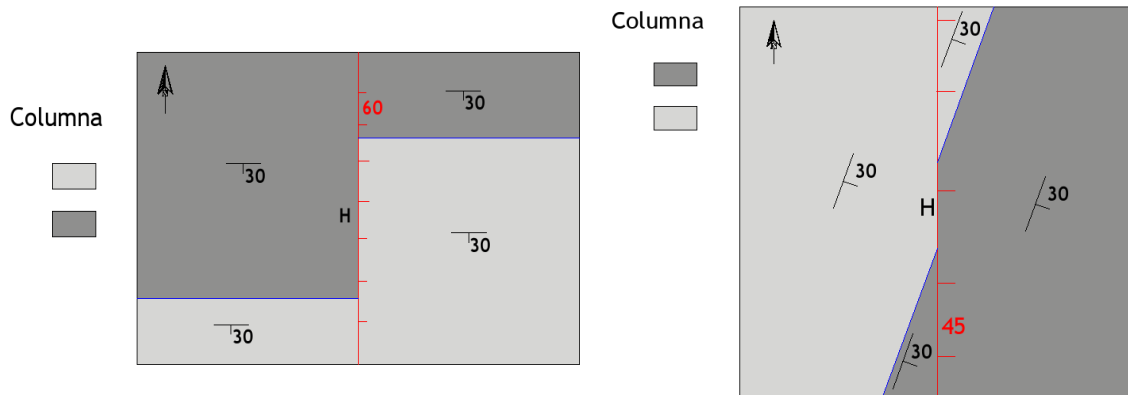


Figura 14. Mapa o Plano Horizontal donde se ejemplifica la separación y desplazamiento aparente **H, del contacto (color azul) sobre la traza de la falla (color rojo), para los casos presentados.**

Mientras que, en el perfil vertical perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente normal, y un desplazamiento normal aparente **E**, como se muestra en la figura 15.

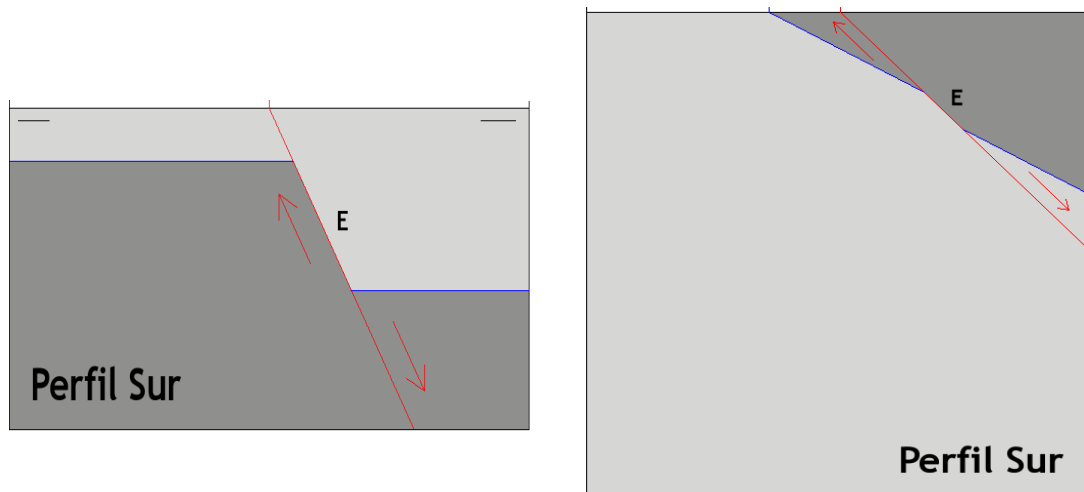
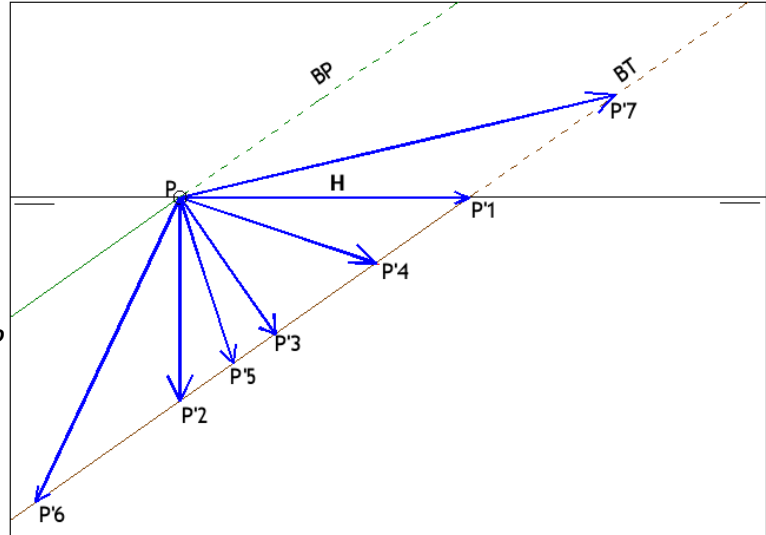


Figura 15. Perfil Sur o Plano vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se aprecia la separación y desplazamiento aparente **E, del contacto (color azul) en ambos bloques a lo largo de la traza de la falla (color rojo). Se presentan ejemplos para ambos casos.**

En el perfil de la falla (figura 16), las trazas del plano de referencia (i.e. contacto, dique, veta, plano axial, falla, etc.), forman ángulos de pitch con la traza horizontal, un ángulo que aquí denominamos γ (**gamma**), y los vectores de desplazamiento (en color azul), representan ejemplos de las posibles orientaciones de las estrias de falla. La lineación dejada por estas estrias causadas por el movimiento entre dos bloques en el plano de falla, forman otro ángulo de pitch aquí denominado κ (**kappa**).

El vector de desplazamiento **D** puede tener cualquiera de las trayectorias mostradas en la figura 16, como se describe a continuación.

Figura 16. Perfil de Falla donde se representan las posibles trayectorias del vector de desplazamiento con un punto inicial P arbitrario sobre la traza del bloque de piso (BP) hasta el punto final $P'1$ - $P'7$ sobre la traza del bloque de techo (BT).



Sea H la separación en la dirección del rumbo (i.e. el desplazamiento es solo horizontal) es decir $\kappa=0$ (figura 17), se tiene que la magnitud del vector de desplazamiento D , entonces es:

$$D = H$$

De manera similar cuando la separación ocurre solo en la dirección del echado es decir $\kappa=90$, la magnitud del vector de desplazamiento es $D = E$ (figura 17), donde:

$$E = H * \tan(\gamma) \dots 1$$

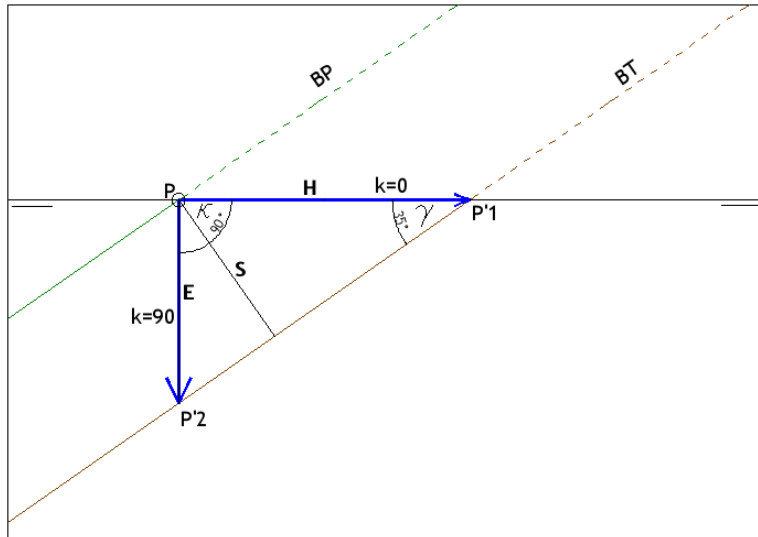
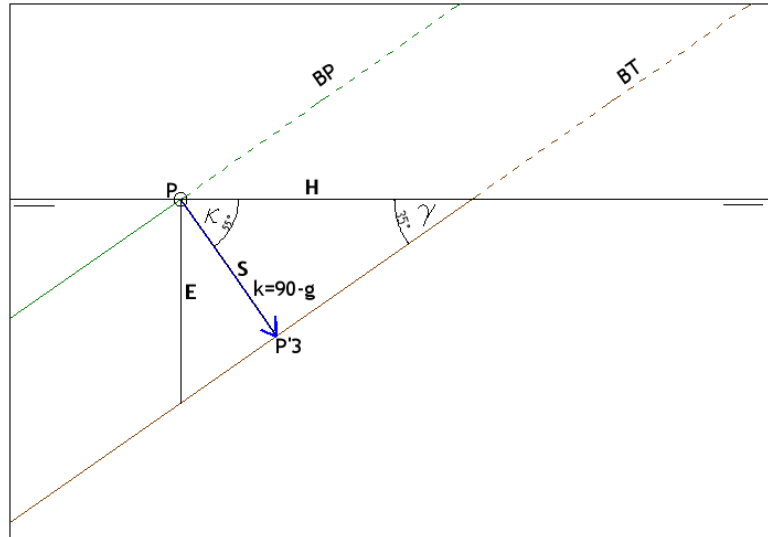


Figura 17. Perfil del plano de falla, mostrando las trazas de plano del contacto truncado en los bloques del techo (BT) y del piso (BP). Y el vector de desplazamiento cuando κ adopta los valores 0° ($D=H$), y 90° ($D=E$).

Así mismo, cuando el vector de desplazamiento está dirigido en una dirección perpendicular a las trazas del plano de referencia (contacto), es decir $\kappa=(90-\gamma)$, entonces la magnitud de ese vector será $D=S$ (Figura 18), y se define como:

$$S = H * \sin(\gamma) \dots 2$$

Figura 18. Perfil del plano de falla, mostrando el vector de desplazamiento cuando κ es igual a $(90-\gamma)$.



Cuando el ángulo de pitch κ es menor que $(90-\gamma)$ (Figura 19), se tiene que:

$$\text{sen}(\kappa+\gamma) = S/D \dots 3$$

Despejando a D,

$$D = S/\text{sen}(\kappa+\gamma) \dots 4$$

Sustituyendo S de la ecuación 2 se tiene que, la magnitud del vector de desplazamiento D es:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(\kappa+\gamma)) \dots 5$$

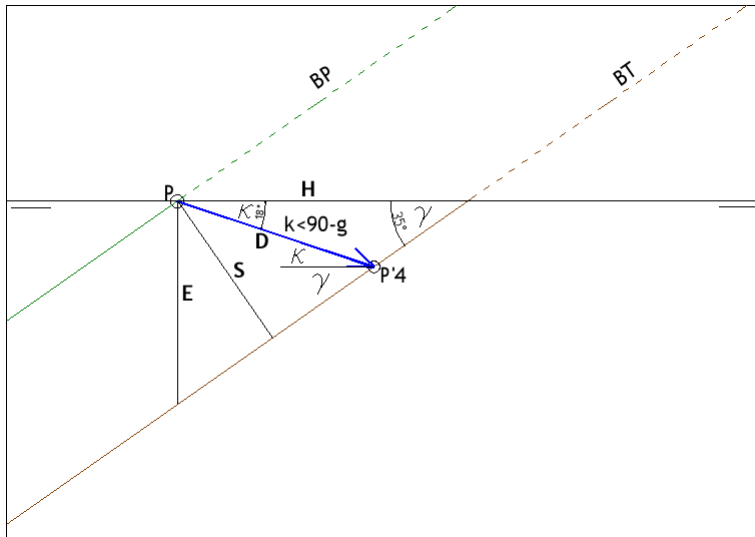
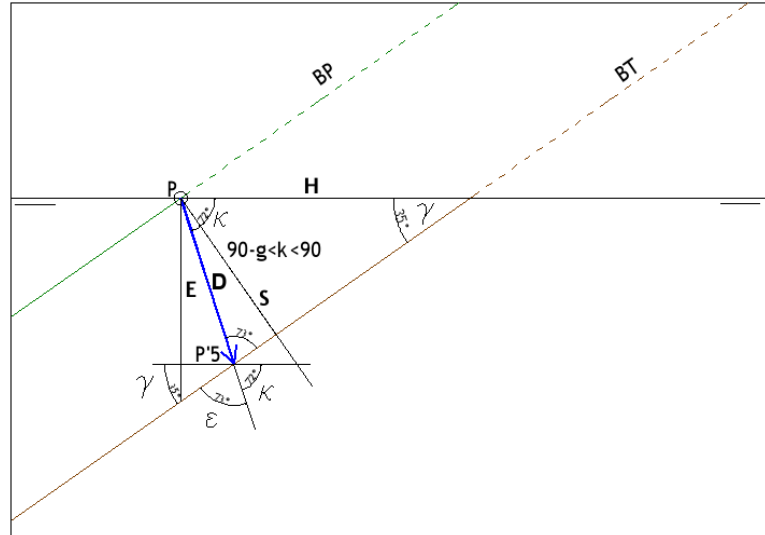


Figura 19. Perfil del plano de falla, mostrando el vector de desplazamiento, cuando κ es menor que $(90-\gamma)$.

Análogamente si κ es mayor que $(90-\gamma)$, pero menor que 90 (figura 20, vector P-P'5,), se obtiene:

Figura 20. Perfil del plano de falla mostrando el vector de desplazamiento cuando κ es mayor que $(90-\gamma)$, pero menor de 90 .



Analizando la figura tenemos que:

$$\epsilon = 180 - \kappa - \gamma$$

Simplificando:

$$\begin{aligned} \epsilon &= 180 - (\kappa + \gamma) \\ \text{sen } \epsilon &= S/D \dots 6 \end{aligned}$$

Despejando D

$$D = S/\text{sen}(\epsilon)$$

Sustituyendo 2 y 6,

$$S = H * (\text{sen}(\gamma)/\text{sen}(180-(\kappa+\gamma)))$$

Y de la identidad trigonométrica $\text{sen}(180-a) = \text{sen}(a)$, obtenemos:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma)/\text{sen}(\kappa+\gamma)) \dots 7$$

Que es idéntica a la ecuación 5, y por lo tanto podemos concluir que cuando κ tiene valores entre 0° y 90° , el valor de la magnitud del vector de desplazamiento D se obtiene de esta ecuación. A esta región la llamaremos **Zona 1** (figura 23).

Si analizamos ahora el caso para el cual κ es mayor de 90° , pero menor que γ (figura 21, vector P-P'6), se tienen las siguientes relaciones trigonométricas.

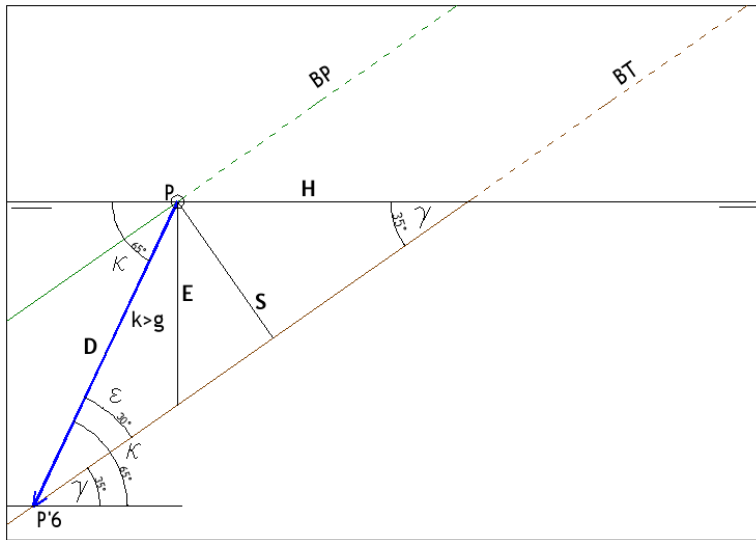


Figura 21. Perfil del plano de falla mostrando el vector D, cuando κ es mayor de 90° , pero menor que γ .

En la figura se deduce que:

$$\epsilon = \kappa - \gamma \dots 8$$

Y

$$\text{sen}(\epsilon) = S/D$$

Despejando D,

$$D = S/\text{sen}(\epsilon)$$

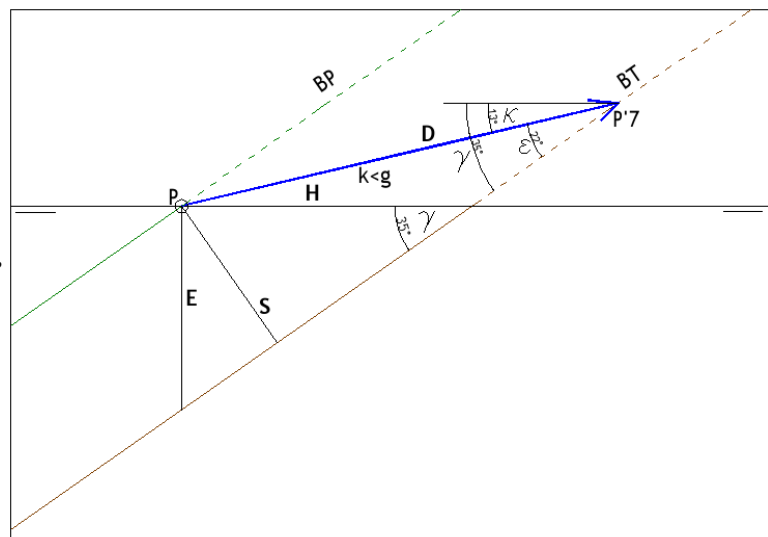
Y sustituyendo las ecuaciones 2 y 8, se obtiene:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma)/\text{sen}(\kappa - \gamma)) \dots 9$$

A la zona comprendida entre valores de κ entre 90° y γ , le llamamos **Zona 2** (figura 23).

Por último, en el caso de que el vector de desplazamiento tenga un valor de κ medido hacia arriba de la línea de tierra (figura 22, vector P-P'7), entonces se observa:

Figura 22. Perfil del plano de falla, mostrando el vector de desplazamiento, cuando κ se mide por arriba de la línea de tierra, es decir cuando κ es mayor que γ .



De la figura se deduce que:

$$\varepsilon = \gamma - \kappa \dots 10$$

Y de la misma manera que en la figura anterior, se tiene que:

$$\text{sen}(\varepsilon) = S/D$$

$$D = S/\text{sen}(\varepsilon)$$

Y sustituyendo 2 y 10,

$$D = H * (\text{sen}(\gamma)/\text{sen}(\gamma - \kappa)) \dots 11$$

En conclusión, podemos decir que la ecuación que controla esta función se puede escribir:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma)/\text{sen}(|\kappa \pm \gamma|)) \dots 12$$

A la región comprendida entre un valor de $\kappa > 0$ y $\kappa = \gamma$, la llamamos **Zona 3** (figura 23).

La figura 23 muestra la regionalización del perfil de la falla, indicando para cada vector el tipo de fallamiento en función del ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

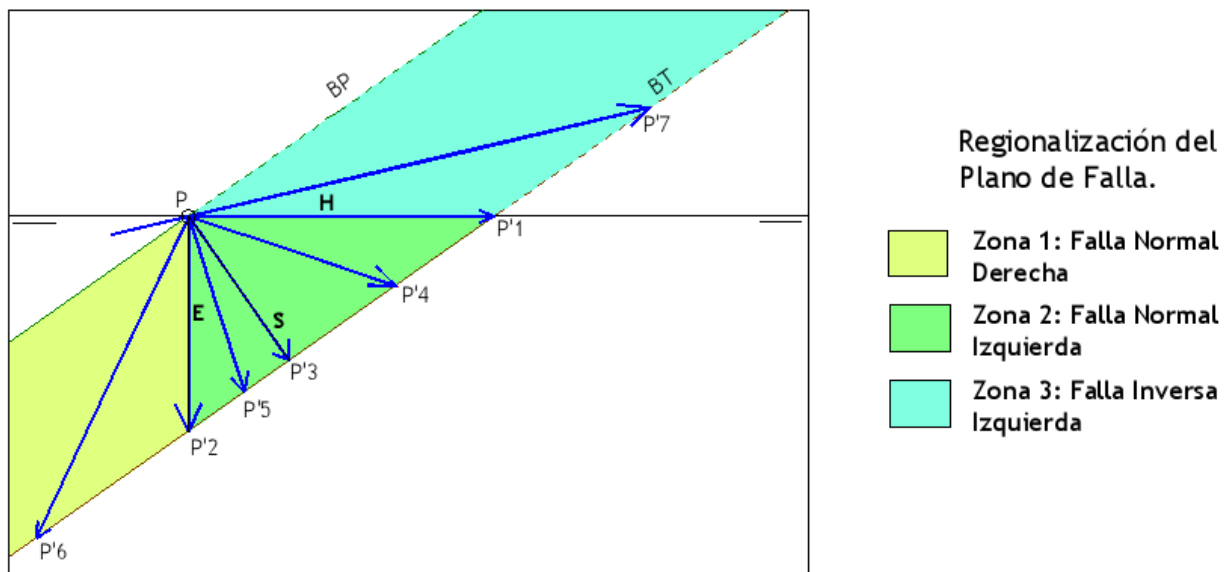


Figura 23. Perfil del plano de falla, mostrando las zonas en las que se puede subdividir de acuerdo a la orientación del vector de deslizamiento. Los vectores con distintos ángulos de pitch dividen a la falla en zonas donde la falla puede tener movimiento con diferentes componentes (normal, inversa, derecha o izquierda). Las trazas del plano estructural truncado se muestran para los bloques de piso (BP) y techo (BT).

Para los casos planteados aquí la determinación requiere que se conozcan de antemano los siguientes parámetros: la separación a lo largo del rumbo H (i.e. *strike separation*), el ángulo de pitch que forma la traza del plano estructural truncado en el plano de falla i.e. y el ángulo de pitch del vector de deslizamiento. Alternativamente se podrían resolver estas ecuaciones si en vez de H, se conoce la separación en la dirección del echado E (i.e. *dip separation*). La variable H se puede obtener a partir de la ecuación 1 (página 20).

V. CASOS

V.1 PLANOS ESTRUCTURALES HORIZONTALES TRUNCADOS POR FALLAS CON INCLINACIÓN

V.1.1 Caso 1 (Desplazamiento Izquierdo)

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, aparentemente no produce ningún desplazamiento en el mapa, donde solo se observa la unidad superior, ya que el contacto con la unidad inferior es horizontal.

El mapa no muestra una separación aparente de las unidades, de la misma manera en el perfil del sur no se observa ningún desplazamiento vertical, y por lo tanto se supone un movimiento puramente lateral izquierdo. En los perfiles Este y Oeste, aparece la traza del contacto entre las unidades con el echado verdadero horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 24.

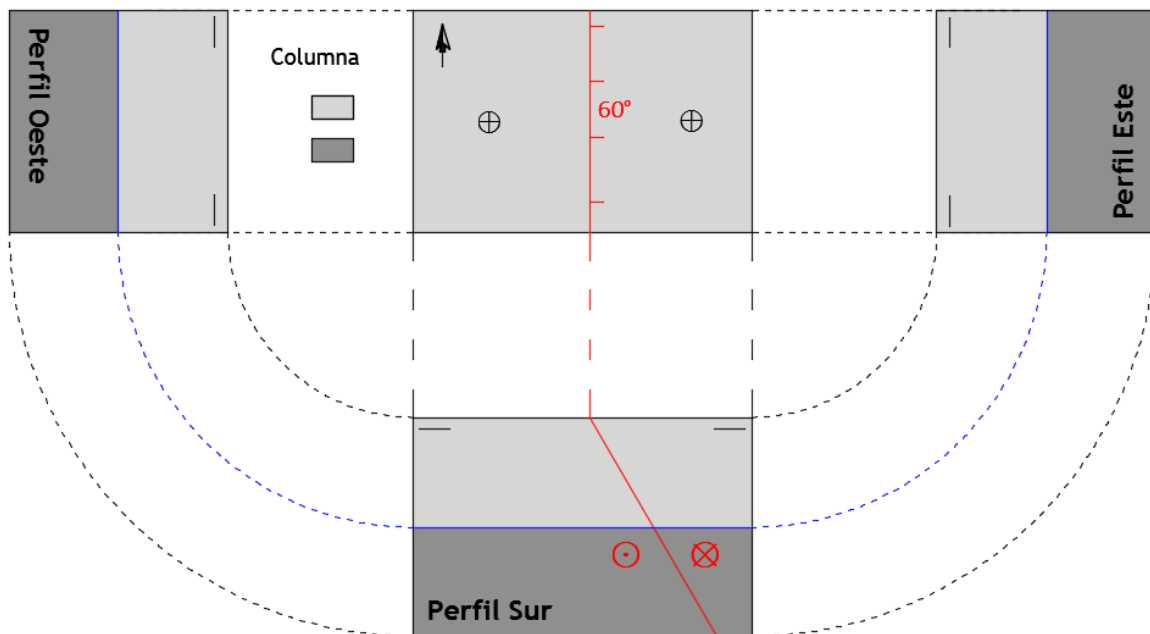


Figura 24.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este y dos unidades estratigráficas con echado horizontal. El mapa no muestra una separación aparente. En el perfil del sur perpendicular a la falla, tampoco se observa una separación aparente.

Dadas las condiciones iniciales del problema, estamos frente a un caso de trace slip fault, donde el movimiento se presenta a lo largo del contacto entre las unidades, y por lo tanto el vector de desplazamiento coincide con la intersección del plano de falla y el contacto estratigráfico. Se presenta el análisis del gráfico y trigonométrico para una mejor comprensión del caso.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 2.

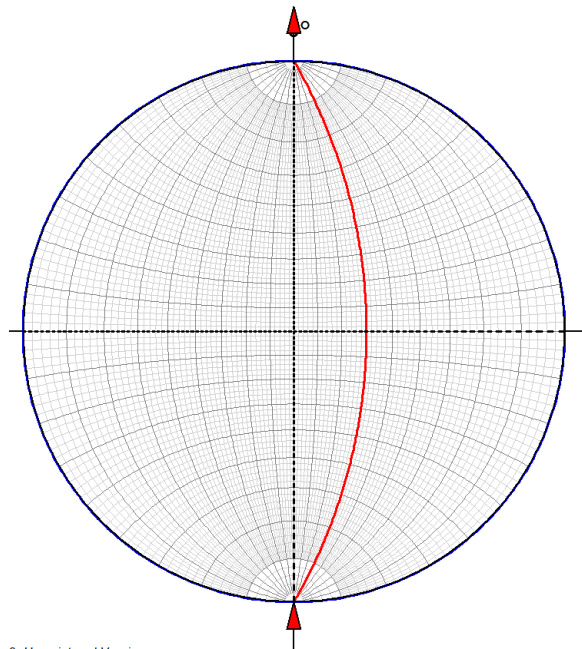


Figura 25.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul al contacto inclinado. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 24.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 26. Dado que se supone un movimiento puramente lateral, en el plano de falla la región es simplemente la traza del vector de desplazamiento P-P'1.

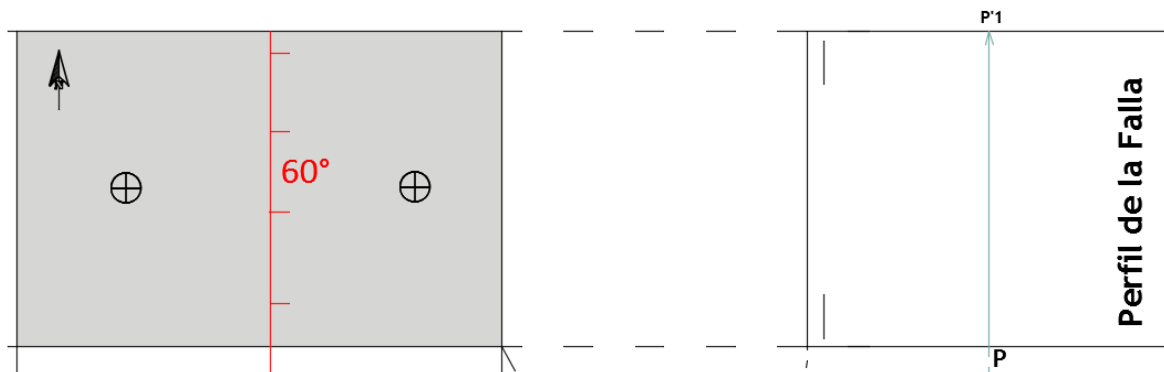


Figura 26.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. El vector P-P'1, ejemplifica la única posible orientación del vector de desplazamiento (Tabla 1), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto sobre la traza del contacto desplazado como punto de inicio del vector de desplazamiento P, y desde él se proyecta el vector hacia P'1.

La magnitud del vector de desplazamiento neto se calcula utilizando la relación:

$$D = E$$

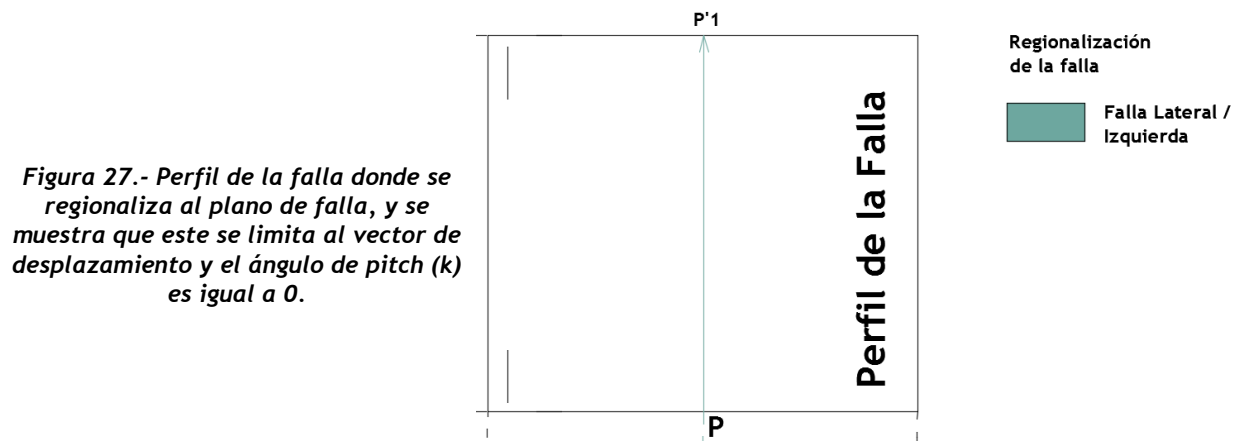
Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E es la separación entre los puntos P y P'1 (solo se observa en el perfil de la falla, figura 26).

La distancia entre los puntos P y P'1 solo puede cuantificar directamente sobre el plano de falla, utilizando otros elementos como referencia (i.e. contacto, dique, veta, plano axial, falla, etc.), y dado que el ángulo de pitch (k) del vector de desplazamiento es igual a 0, el único posible caso es el ejemplificado en la Tabla 1.

Tabla 1.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Izquierdo

Este ejemplo de orientación del vector, sirve para ejemplificar que el movimiento sobre el plano de falla, se limita al mismo vector y solo es posible regionalizar el plano de falla como se muestra en la figura 4.



El valor de la magnitud del desplazamiento (D), es igual a la distancia E, que es simplemente la medida entre el punto P y P'1.

Se entiende que el sentido del vector de desplazamiento, admite como única posible solución el fallamiento puramente lateral izquierdo, excluyendo todas las demás posibilidades, dadas las condiciones iniciales indicadas.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 5. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

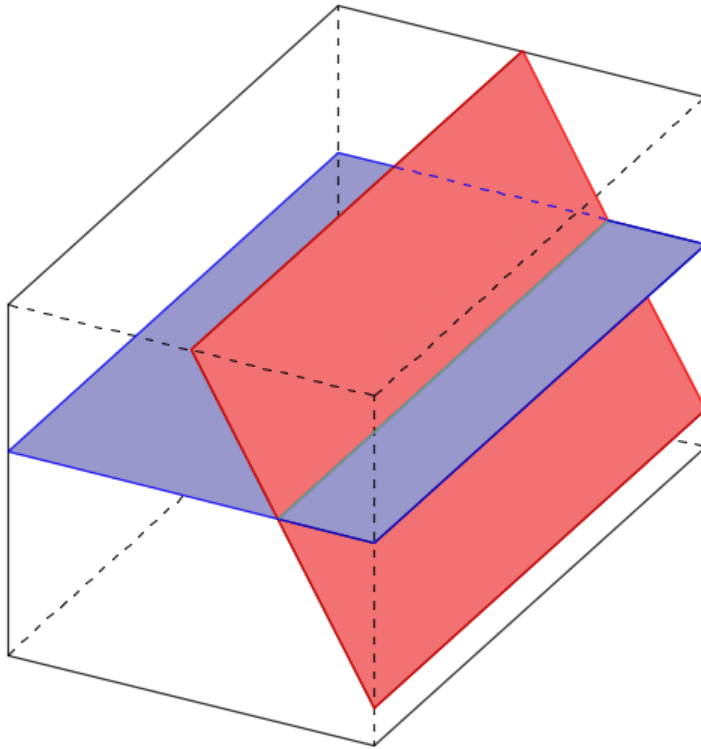


Figura 28.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.1.2 Caso 2 (Desplazamiento Derecho)

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, aparentemente no produce ningún desplazamiento en el mapa, donde solo se observa la unidad superior, ya que el contacto con la unidad inferior es horizontal.

El mapa no muestra una separación aparente de las unidades, de la misma manera en el perfil del sur no se observa ningún desplazamiento vertical, y por lo tanto se supone un movimiento puramente lateral derecho. En los perfiles Este y Oeste, aparece la traza del contacto entre las unidades con el echado verdadero horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 29.

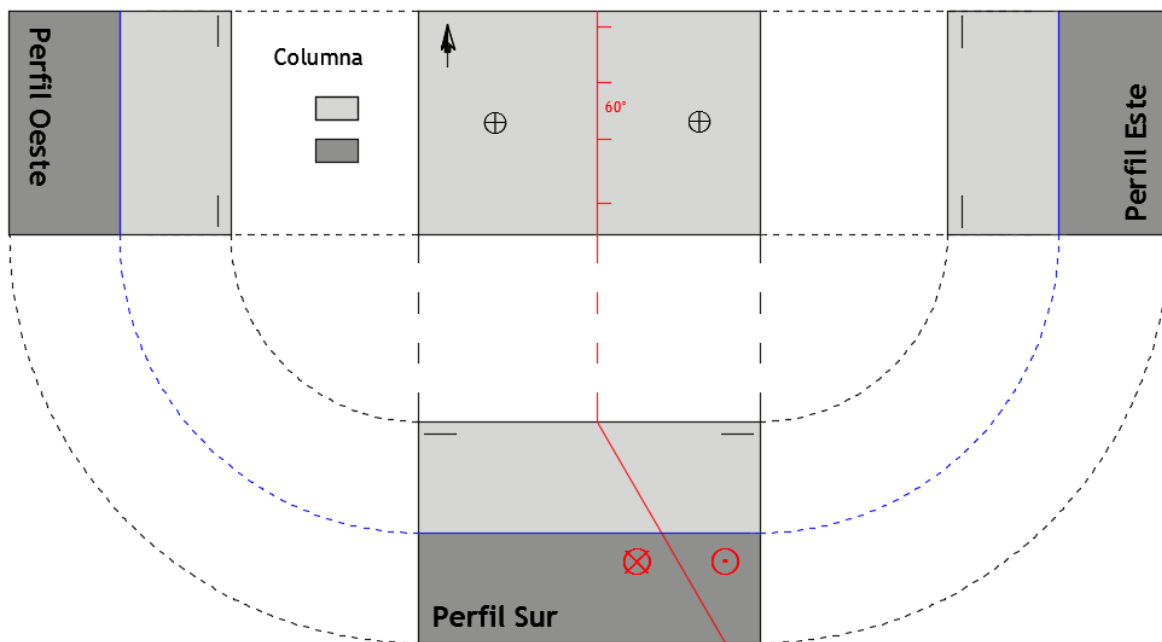


Figura 29.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este y dos unidades estratigráficas con echado horizontal. El mapa no muestra una separación aparente. En el perfil del sur perpendicular a la falla, tampoco se observa una separación aparente.

Dadas las condiciones iniciales del problema, estamos frente a un caso de trace slip fault, donde el movimiento se presenta a lo largo del contacto entre las unidades, y por lo tanto el vector de desplazamiento coincide con la intersección del plano de falla y el contacto estratigráfico. Se presenta el análisis del gráfico y trigonométrico para una mejor comprensión del caso.

Figure 30 is a Wulff stereonet projection, which is a circular map of the sky or a geological structure. It features a grid of great circles (lines of constant distance from a point on the sphere). A red curve represents a fault, and a blue curve represents an inclined contact. Dashed lines indicate the profiles of the north-south and east-west profiles, as used in Figure 29. The plot is centered on a vertical axis with arrows at both ends, and a horizontal axis is also shown.

Se localiza arbitrariamente un punto sobre la traza del contacto desplazado como punto de inicio del vector de desplazamiento P, y desde él se proyecta el vector hacia P'1.

D = E

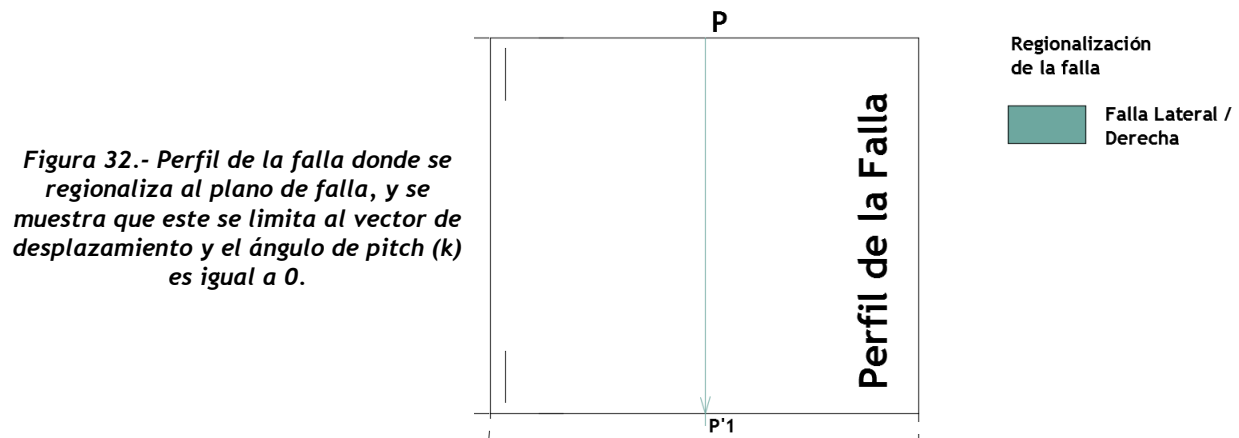
31

La distancia entre los puntos P y P'1 solo puede cuantificar directamente sobre el plano de falla, utilizando otros elementos como referencia (i.e. contacto, dique, veta, plano axial, falla, etc.), y dado que el ángulo de pitch (k) del vector de desplazamiento es igual a 0, el único posible caso es el ejemplificado en la Tabla 2.

Tabla 2.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Derecho

Este ejemplo de orientación del vector, sirve para ejemplificar que el plano de falla, se limita al mismo vector y solo es posible regionalizar el plano de falla como se muestra en la figura 32.



El valor de la magnitud del desplazamiento (D), es igual a la distancia E , que es simplemente la medida entre el punto P y P'1.

Se entiende que el sentido del vector de desplazamiento, admite como única posible solución el fallamiento puramente lateral derecho, excluyendo todas las demás posibilidades, dadas las condiciones iniciales indicadas.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 33. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

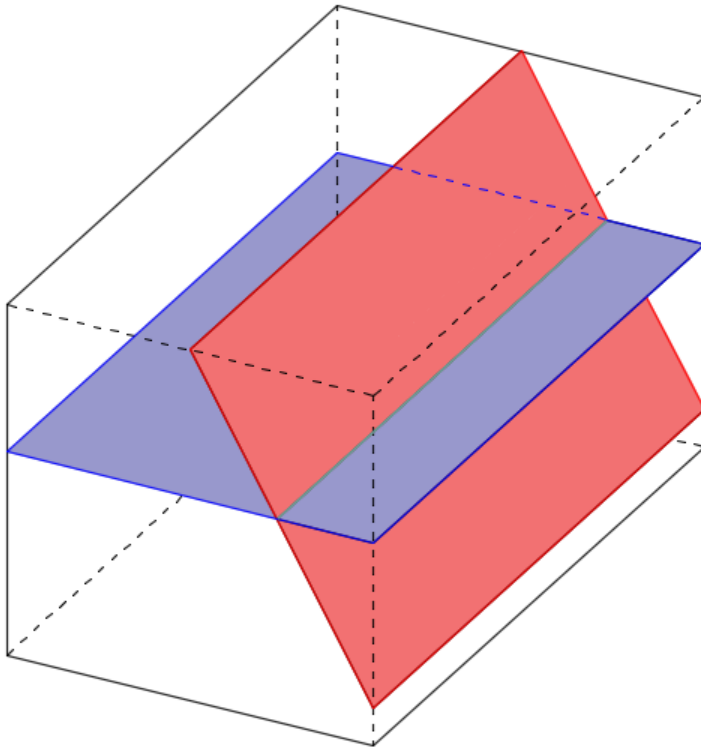


Figura 33.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.1.3 Caso 3 (Separación Normal)

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, produce en el mapa un contacto a lo largo de esta, entre unidades horizontales.

El mapa no muestra una separación aparente sino un contacto de las unidades a lo largo de la falla, mientras que en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y el de las unidades al ser horizontales, así como una separación aparente normal. En el perfil Este se observan las tres unidades con el echado verdadero horizontal, por otra parte, en el perfil Oeste, solo se observan dos unidades con el mismo echado verdadero horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 34.

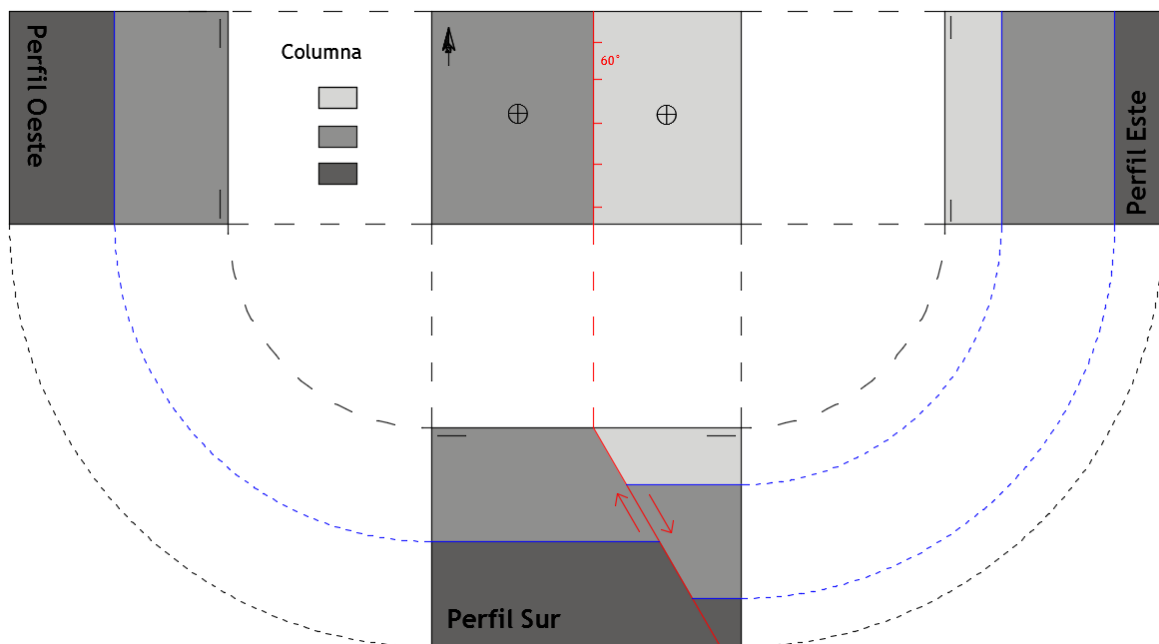


Figura 34.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, y el contacto entre dos unidades horizontales a lo largo de la traza de la falla. El mapa No muestra una separación aparente, en cambio el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 35.

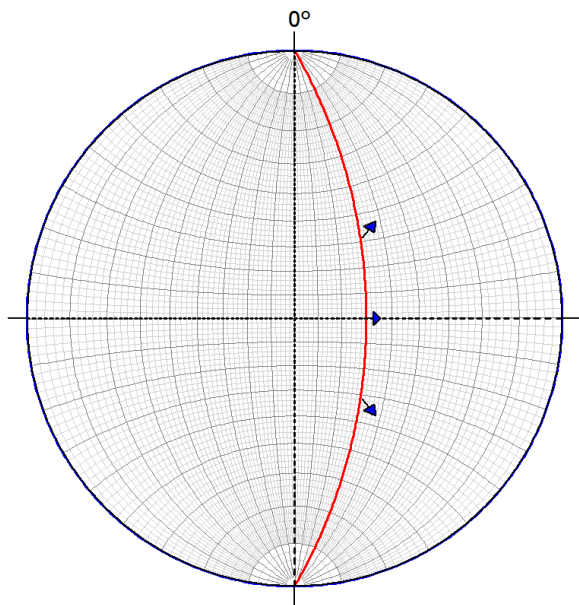


Figura 35.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul al contacto horizontal. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 34.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 36.

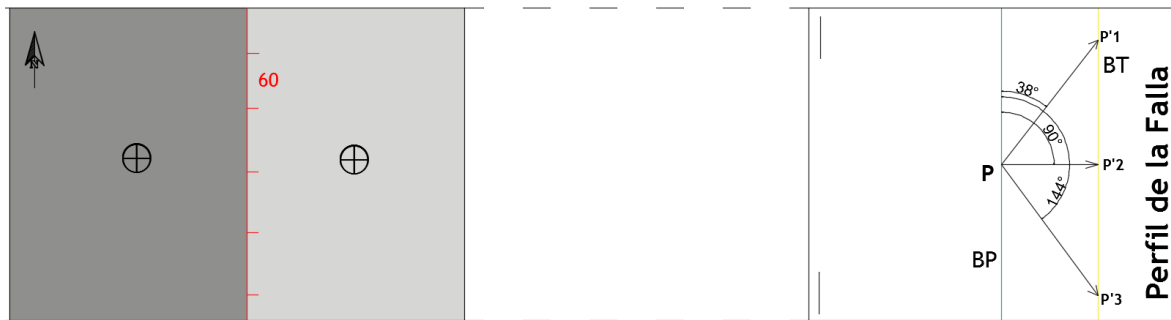


Figura 36.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (Tabla 3), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto sobre la traza del contacto desplazado como punto de inicio del vector de desplazamiento P, y desde él se proyecta el vector hacia P'1, P'2 y P'3, con sus respectivos ángulos de pitch, las trayectorias se precisan en la tabla 3.

Tabla 3.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	38°	Normal Izquierdo
2	90°	Normal
3	144°	Normal Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 37.

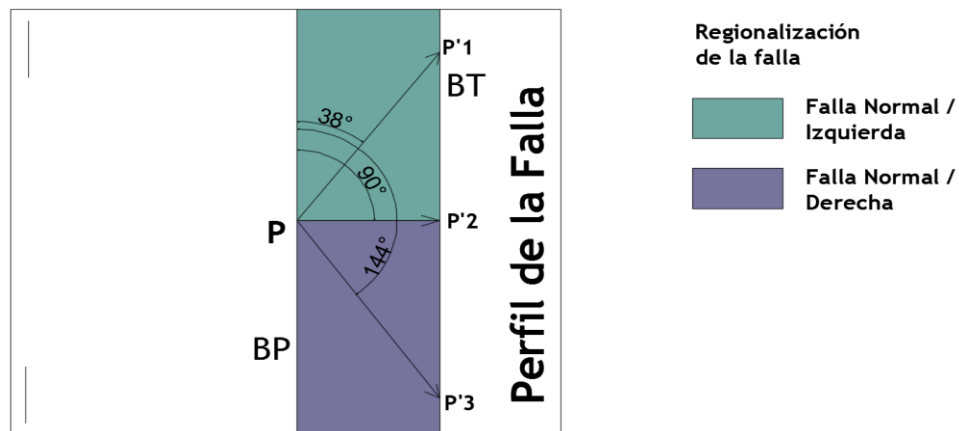


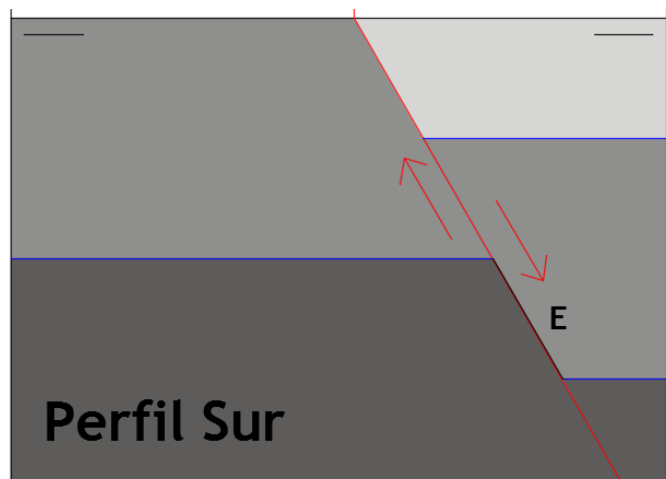
Figura 37.- Perfil de la falla donde se divide en 2 regiones, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch). Un caso especial cuando K es igual a 90° , el desplazamiento es puramente normal

La magnitud del vector de desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E/\text{sen}(\kappa)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E es la separación entre los contactos en la dirección del echado de la falla, observable en el Perfil Perpendicular Sur (Figura 38), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Figura 38. Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación normal entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E .



Un corolario interesante que se desprende de esta discusión es que el valor de la magnitud del desplazamiento (D), que depende del valor del ángulo de pitch, incrementa su valor a medida que $kappa$ disminuye. Y en el límite cuando $kappa$ vale cero, el valor se vuelve indeterminado pues la ecuación se colapsa al ser dividida entre cero.

El otro corolario importante que se deriva del anterior es que el sentido del vector de desplazamiento, admite como posibles soluciones fallamiento puramente normal (cuando κ es igual a 90°), y desplazamientos oblicuos normales derechos o izquierdos (para valores de κ mayores o menores a 90°), pero excluye la posibilidad de desplazamientos puramente laterales, porque ello implicaría un ángulo de pitch de 0° o de 180° , con las limitaciones descritas arriba.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 39. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

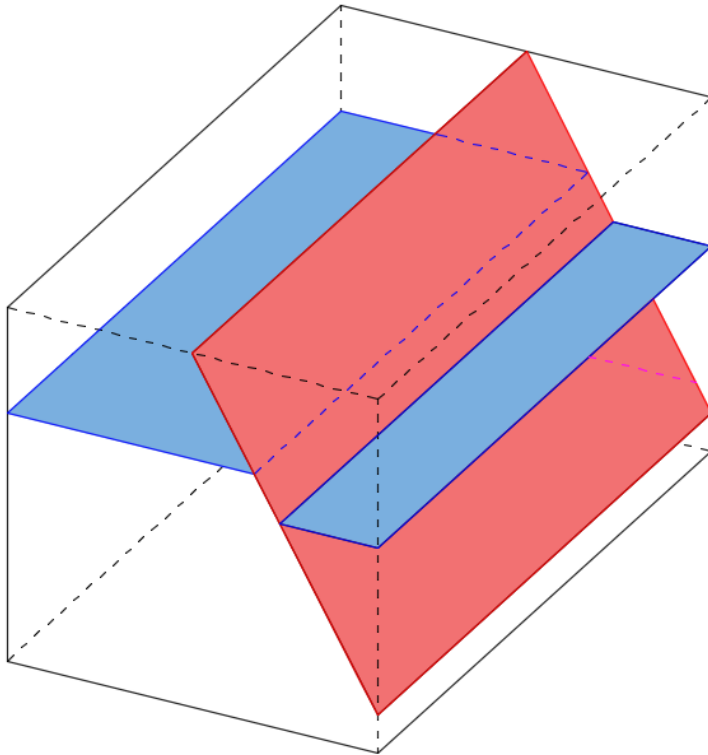


Figura 39.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.1.4 Caso 4 (Separación Inversa)

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, produce en el mapa un contacto a lo largo de esta, entre unidades horizontales.

El mapa no muestra una separación aparente sino un contacto de las unidades a lo largo de la falla, mientras que en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y el de las unidades, así como una separación aparente inversa. En el perfil Oeste se observan las tres unidades con el echado verdadero horizontal, por otra parte, en el perfil Este, solo se observan dos unidades con el mismo echado verdadero horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 40.

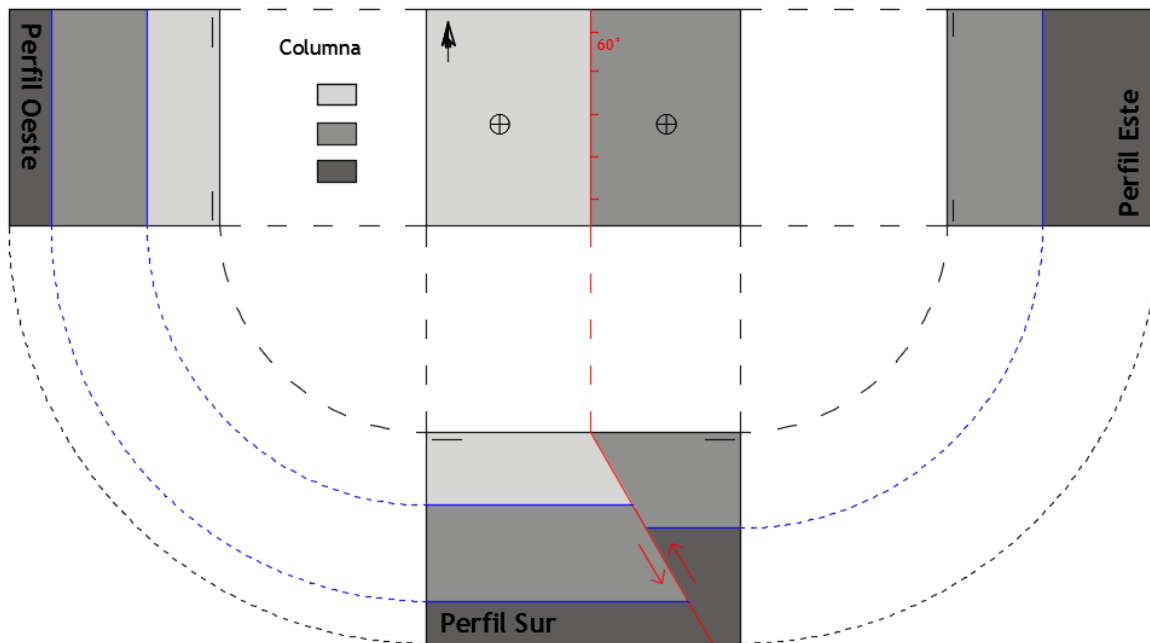


Figura 40.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Este, y el contacto entre dos unidades horizontales a lo largo de la traza de la falla. El mapa No muestra una separación aparente, en cambio el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 41.

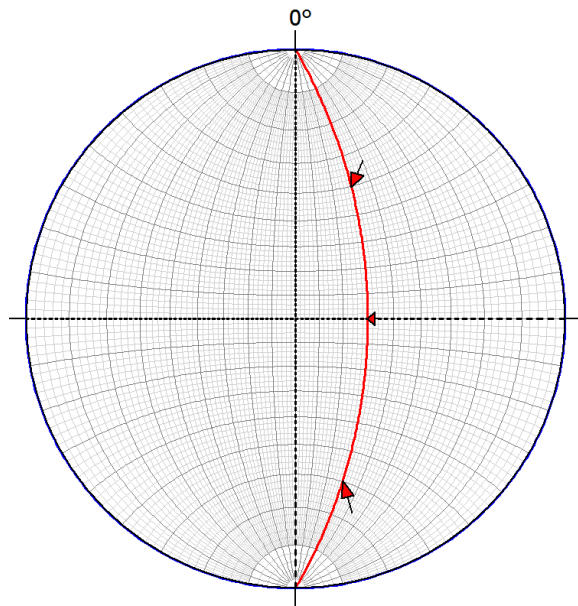


Figura 41.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul al contacto horizontal. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 40.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 42.

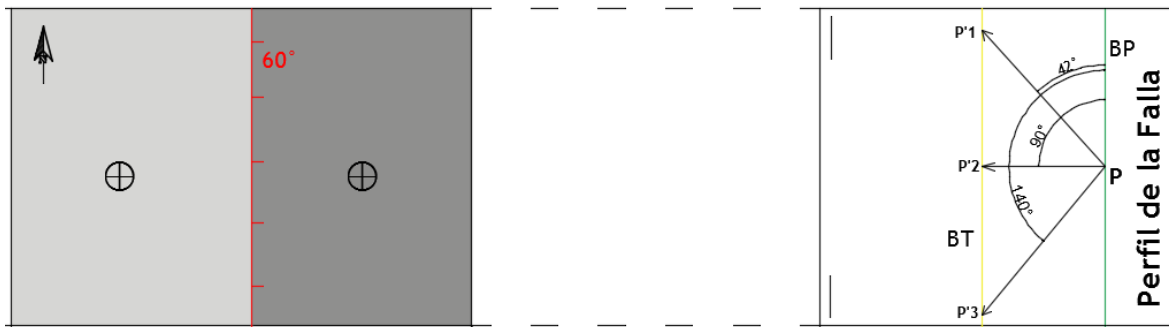


Figura 42.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 4), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto sobre la traza del contacto desplazado como punto de inicio del vector de desplazamiento P, y desde él se proyecta el vector hacia P'1, P'2 y P'3, con sus respectivos ángulos de pitch, las trayectorias se precisan en la tabla 4.

Tabla 4.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	42°	Inverso Izquierdo
2	90°	Inverso
3	140°	Inverso Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 43.

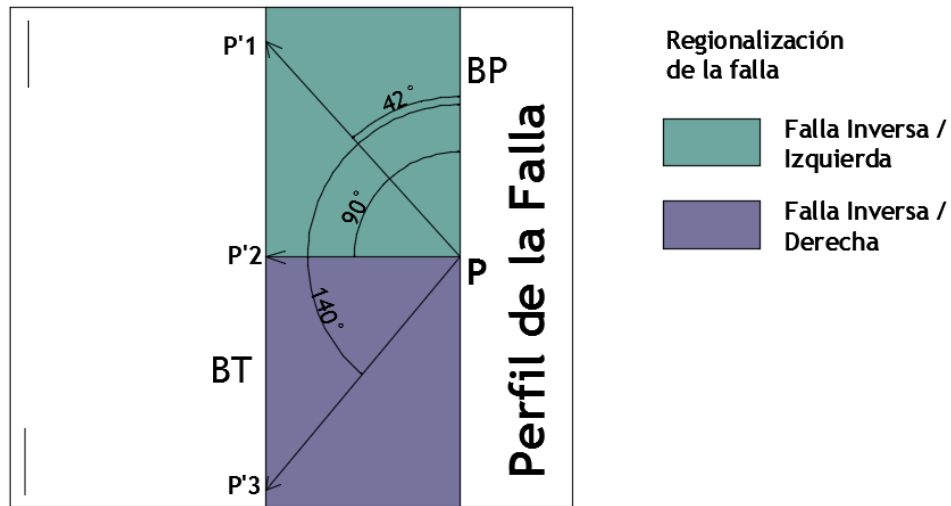


Figura 43.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch). Un caso especial cuando K es igual a 90° , el desplazamiento es puramente inverso.

La magnitud del vector de desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E/\text{sen}(\kappa)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E es la separación entre los contactos en la dirección del echado de la falla, observable en el Perfil Perpendicular Sur (figura 44), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

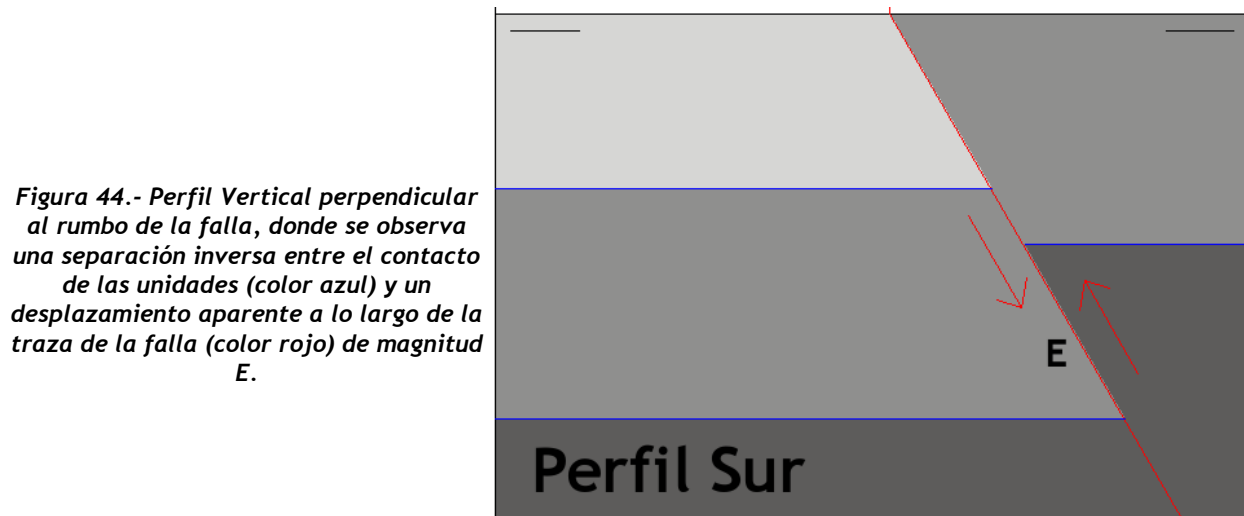


Figura 44.- Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación inversa entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E .

Al utilizar la misma ecuación que en el Caso 3 previamente analizado, llegamos a los mismos corolarios discutidos anteriormente acerca de los posibles valores de κ , así como sus límites y sus implicaciones en el valor real del vector de desplazamiento D .

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 5. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

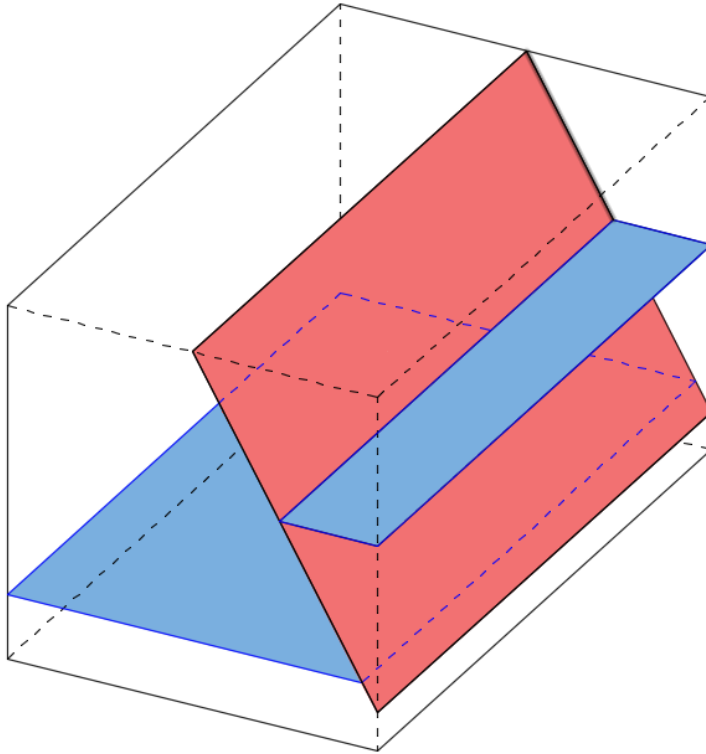


Figura 45.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.2 ESTRATOS INCLINADOS TRUNCADOS POR FALLAS CON RUMBOS PARALELOS

V.2.1 Caso 5 (Echados Opuestos - Separación Normal)

Una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, produce una repetición en el mapa, del contacto entre las dos unidades (N-S / 60° W).

El mapa no muestra una separación aparente sino una repetición de las unidades, mientras que en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y de los contactos, así como una separación aparente normal. En el perfil Este, aparece la traza de la falla con un echado aparente horizontal, y repetición de la misma unidad inferior por encima y debajo del plano de falla. En el perfil Oeste se observa el echado aparente horizontal del contacto estratigráfico, y presencia de la traza del plano de falla por encima de la línea de tierra. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 46.

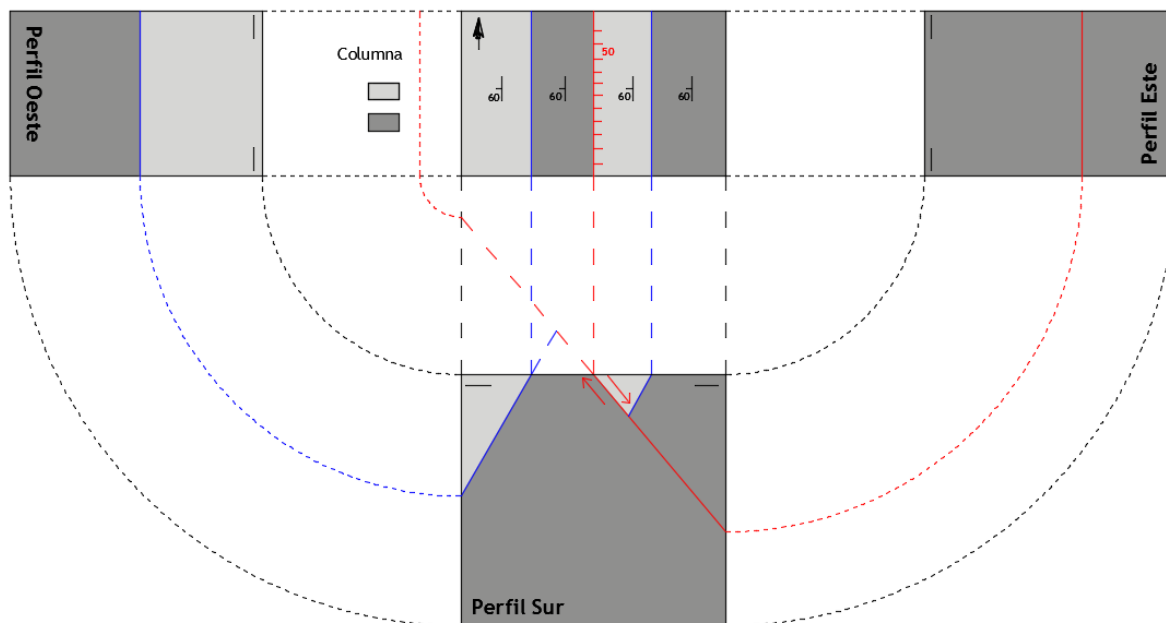


Figura 46.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, y la repetición del contacto entre dos unidades estratigráficas de rumbo N-S/ 60° W. El mapa no muestra una separación aparente, pero si una repetición de los estratos. En contraste en el perfil del sur perpendicular a la falla, esta muestra una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 47.

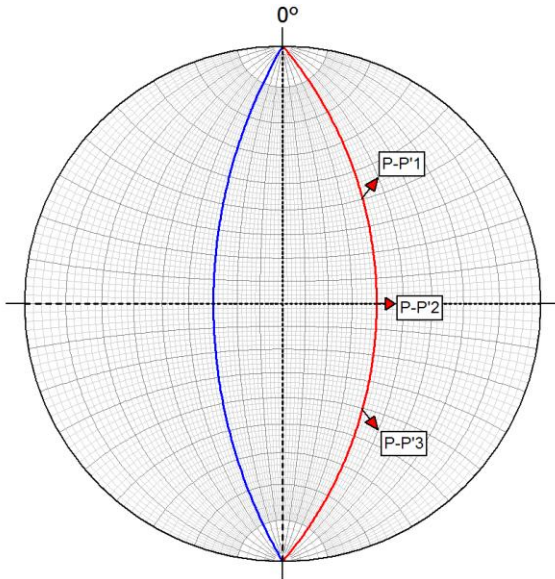


Figura 47.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 46.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 48.

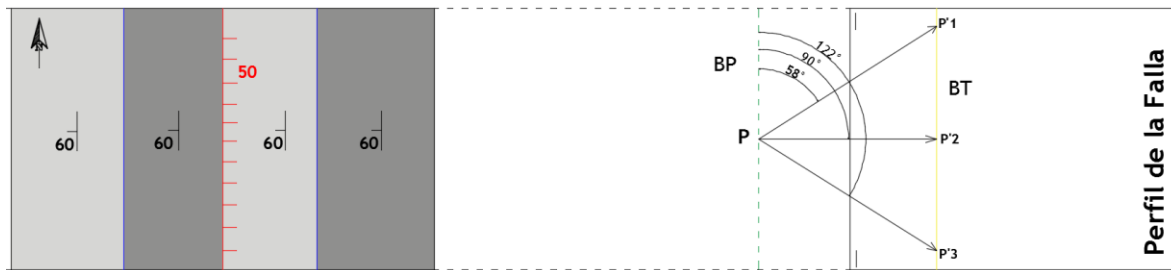


Figura 48.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 5), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto (P) a la mitad de la traza del contacto desplazado en el bloque del piso, como punto de inicio del vector de desplazamiento, y desde él se proyectan los vectores P'1 a P'3, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyos datos se sintetizan en la tabla 5.

Tabla 5.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	58°	Normal Izquierdo
2	90°	Normal
3	122°	Normal Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 49.

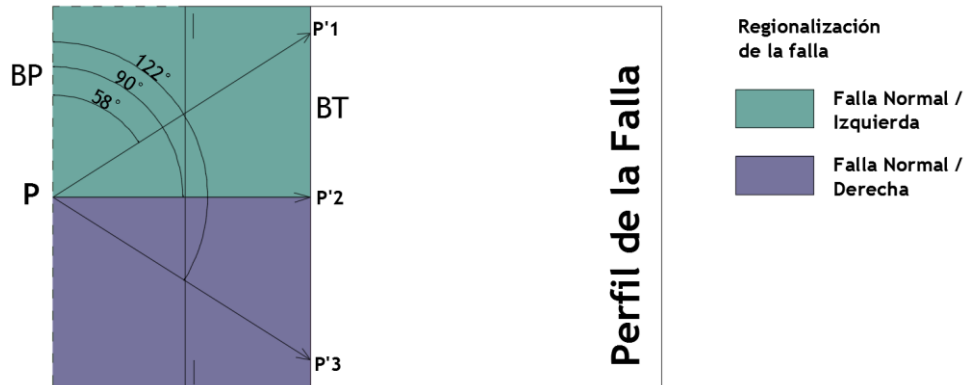


Figura 49.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch). Un caso especial cuando K es igual a 90°, el desplazamiento es puramente normal.

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E / \text{Sen}(k)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E = La separación perpendicular entre los contactos en los bloques de techo y de piso (figura 50), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

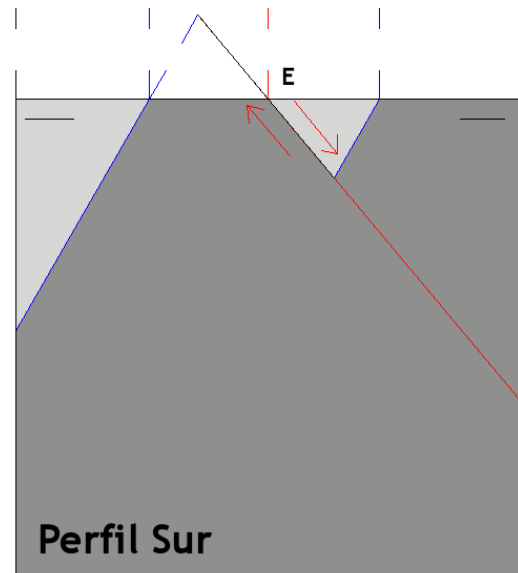


Figura 50.- Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación normal entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E.

Al utilizar la misma ecuación que en el Caso 3 previamente analizado, llegamos a los mismos corolarios discutidos anteriormente acerca de los posibles valores de kappa, así como sus límites y sus implicaciones en el valor real del vector de desplazamiento D.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 51. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

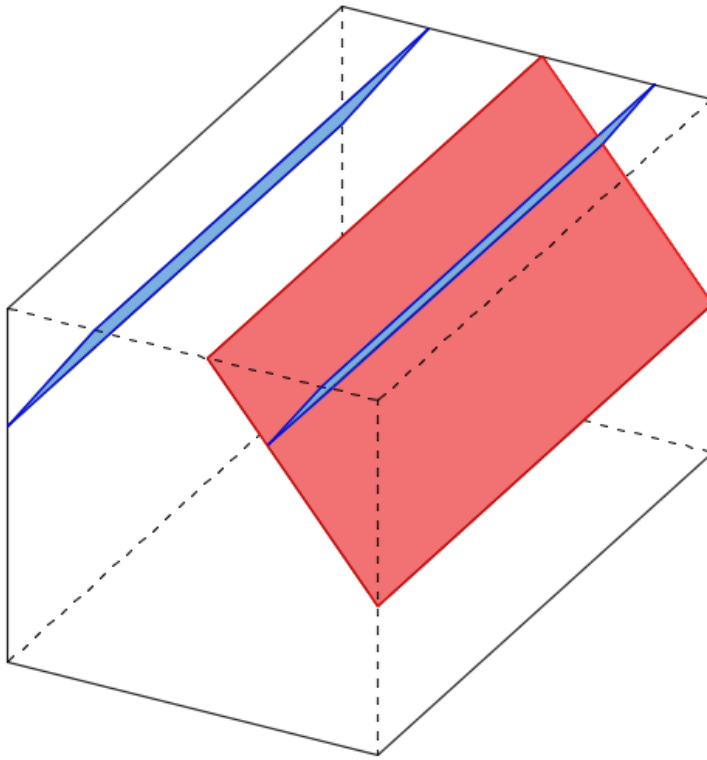


Figura 51.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.2.2 Caso 6 (Echados Opuestos - Separación Inversa)

En el mapa una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, produce ausencia del contacto entre las dos unidades (N-S / 60° W), en el bloque del oeste.

Aquí no se muestra una separación aparente, sino ausencia de una de las unidades estratigráficas, mientras que en el perfil del sur se observan los echados verdaderos de la falla y el de ambas unidades, así como una separación aparente inversa. En el perfil Este aparece la traza de la falla con un echado aparente horizontal, y repetición de la unidad inferior arriba y abajo del plano de falla. En el perfil Oeste solo aflora la unidad más joven y por encima de la línea de tierra, la traza del plano de falla con un echado aparente horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 52.

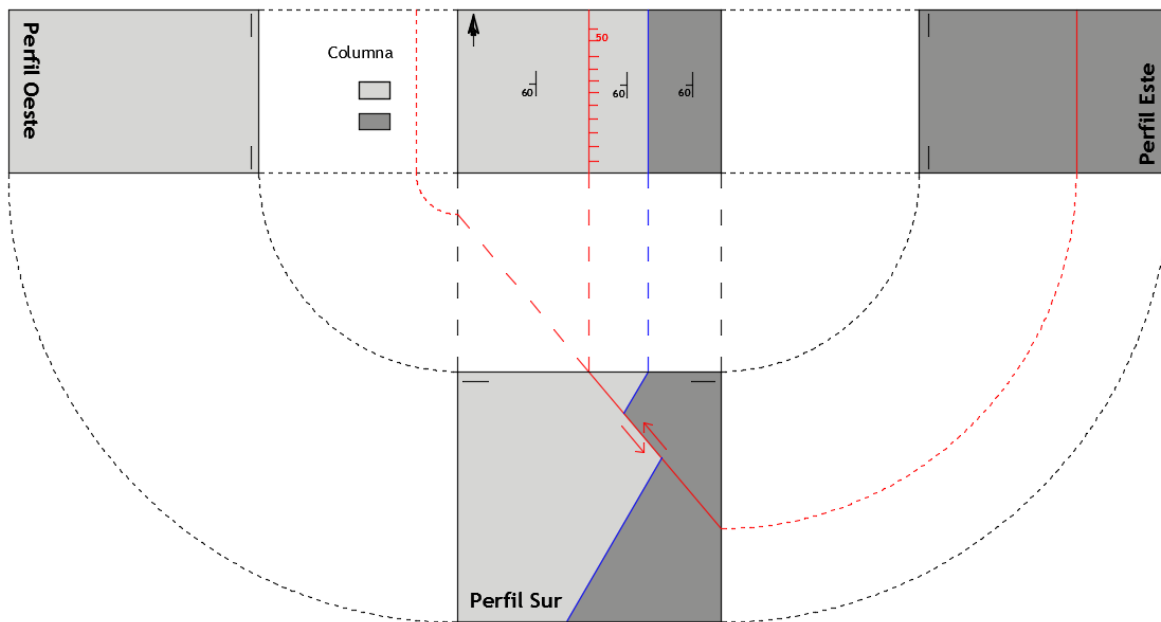


Figura 52.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Una En el mapa se muestra la falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, y la ausencia repetición del contacto entre las dos unidades (N-S / 60° W). El mapa No muestra una separación aparente, en contraste, el perfil del sur, perpendicular a la falla muestra una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 53.

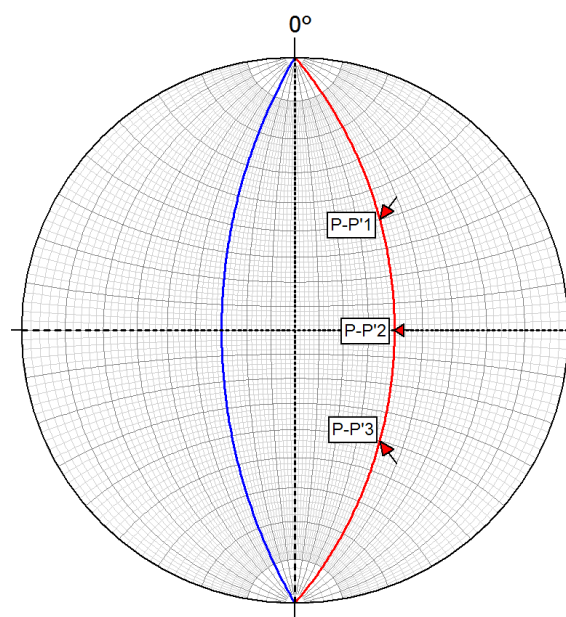


Figura 53.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 52.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 54. En línea continua de color amarillo se ha proyectado la traza del contacto en el bloque del techo (BT), y en línea discontinua en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

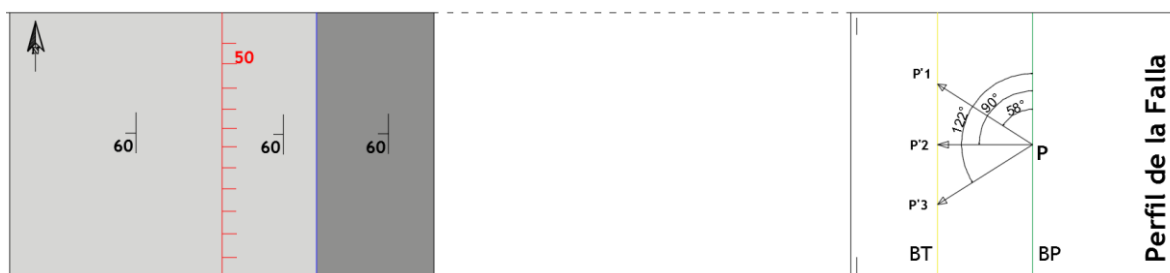


Figura 54.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), con línea color verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 6), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto (P) a la mitad de la traza del contacto desplazado en el bloque del piso, como punto de inicio del vector de desplazamiento, y desde él se proyectan los vectores P'1 a P'3, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 6.

Tabla 6.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	58°	Inverso Izquierdo
2	90°	Inverso
3	122°	Inverso Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del mismo, como se muestra en la figura 55.

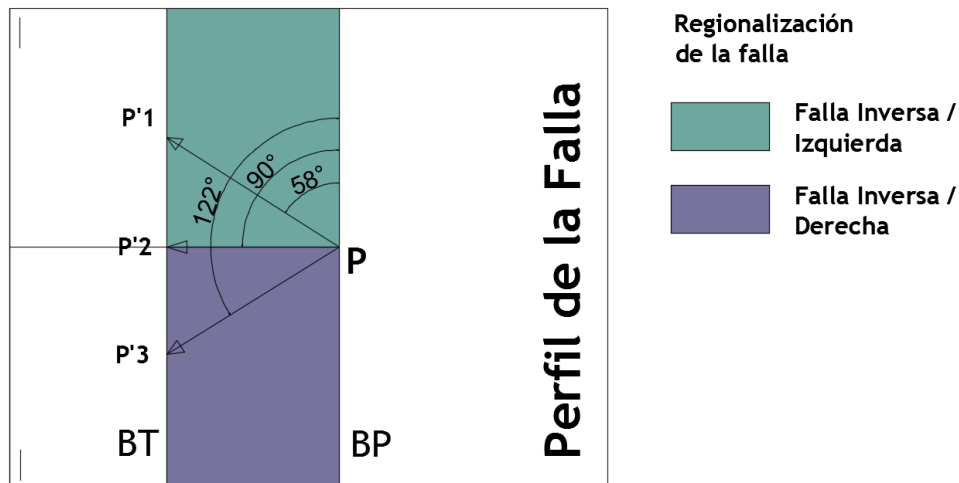


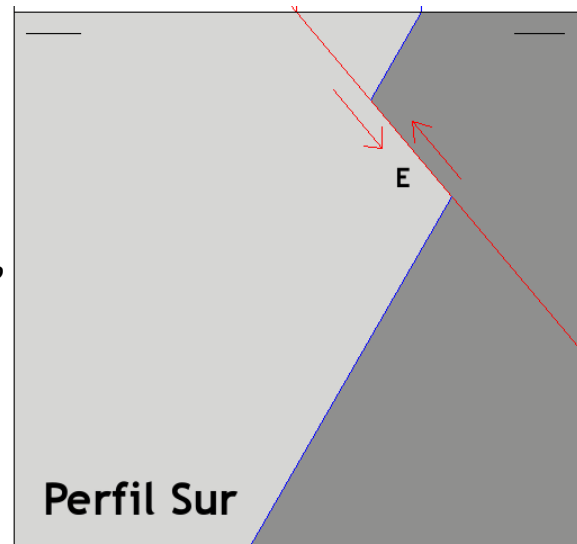
Figura 55.- Perfil de la falla regionalizado, mostrando el sentido del desplazamiento entre los bloques de piso y techo, en función de la orientación del vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E/\text{Sen}(k)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E = La separación perpendicular entre los contactos en los bloques de techo y de piso (figura 56), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Figura 56.- Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación inversa entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E.



Al utilizar la misma ecuación que en el Caso 3 previamente analizado, llegamos a los mismos corolarios discutidos anteriormente acerca de los posibles valores de kappa, así como sus límites y sus implicaciones en el valor real del vector de desplazamiento D.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 57. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

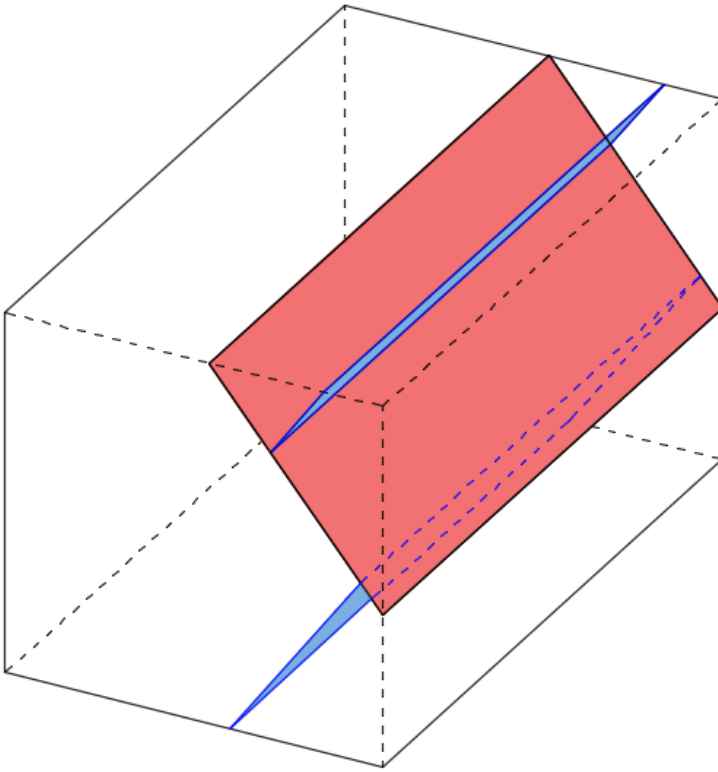


Figura 57.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.2.3 Caso 7 (Echados en la Misma Dirección - Separación Normal)

Una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, produce una repetición del contacto entre dos unidades de rumbo N-S / 75° E.

El mapa no muestra una separación aparente sino una repetición de las unidades, mientras que en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y del contacto, así como una separación aparente normal. En el perfil Este, aparece la traza de la falla con un echado aparente horizontal y la unidad superior en ambos bloques, y en el perfil Oeste solo se observa la unidad inferior y la traza de la falla por encima de la línea de tierra. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 58.

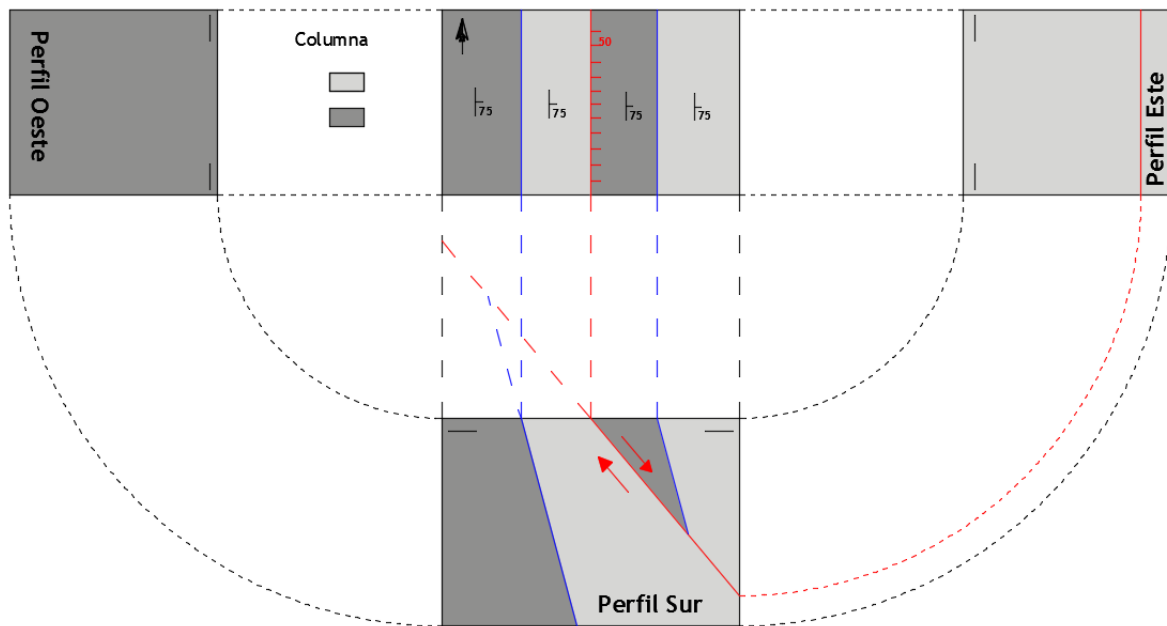


Figura 58.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), donde se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, y la repetición del contacto entre las dos unidades de rumbo N-S / 75° E. El mapa No muestra una separación aparente, en cambio el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 59.

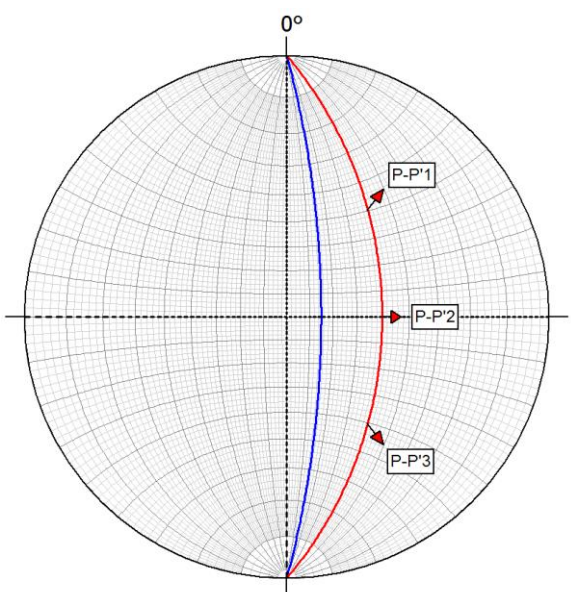


Figura 59.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 58.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatido este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 60. En línea continua de color amarillo se ha proyectado la traza del contacto en el bloque del techo (BT), y en línea discontinua en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

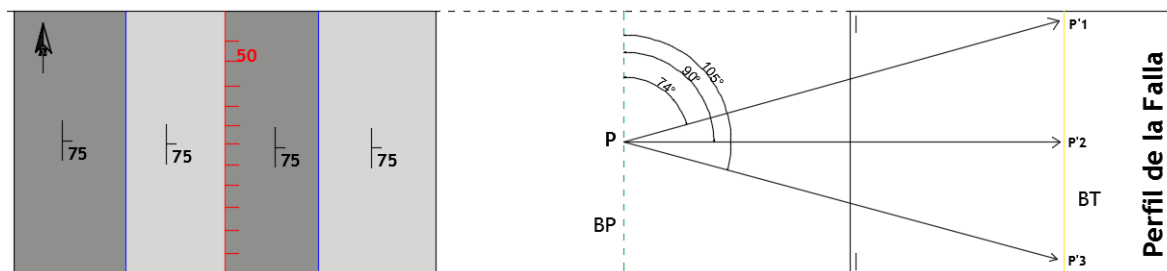


Figura 60.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en línea discontinua verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 7), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto (P) a la mitad de la traza del contacto desplazado en el bloque del piso, como punto de inicio del vector de desplazamiento, y desde él se proyectan los vectores P'1 a P'3, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 7.

Tabla 7.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	74°	Normal Izquierdo
2	90°	Normal
3	105°	Normal Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 61.

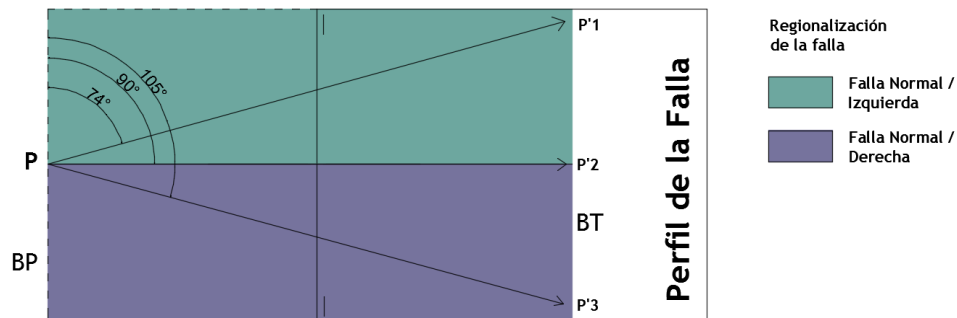


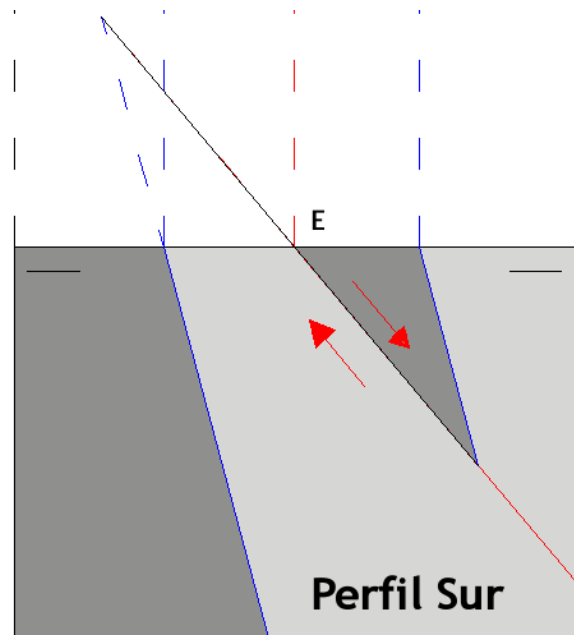
Figura 61.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E/\text{Sen}(k)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E = La separación perpendicular entre los contactos en los bloques de techo y de piso (figura 62), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Figura 62.- Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación inversa entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E.



Al utilizar la misma ecuación que en el Caso 3 previamente analizado, llegamos a los mismos corolarios discutidos anteriormente acerca de los posibles valores de kappa, así como sus límites y sus implicaciones en el valor real del vector de desplazamiento D.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 63. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

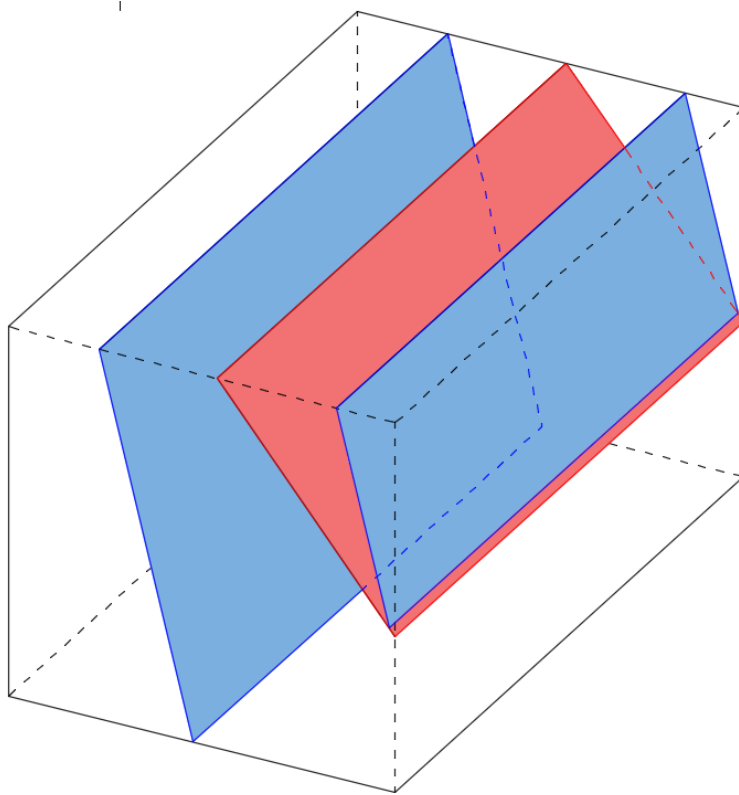


Figura 63.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades. Se omite a propósito la litología para simplificar la visualización de los elementos estructurales descritos.

V.2.4 Caso 8 (Echados en la Misma Dirección - Separación Inversa)

Una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, produce una repetición del contacto entre dos unidades de rumbo N-S / 30° E, cuando el echado del contacto es menor que el echado de la falla.

El mapa no muestra una separación aparente sino una repetición de las unidades, mientras que en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y el de ambas unidades, así como una separación aparente inversa. En el perfil Este, aparece el contacto entre las unidades con un echado aparente horizontal, así como la unidad inferior por encima y debajo de la traza de la falla. En el perfil Oeste solo se observa la unidad inferior. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 64.

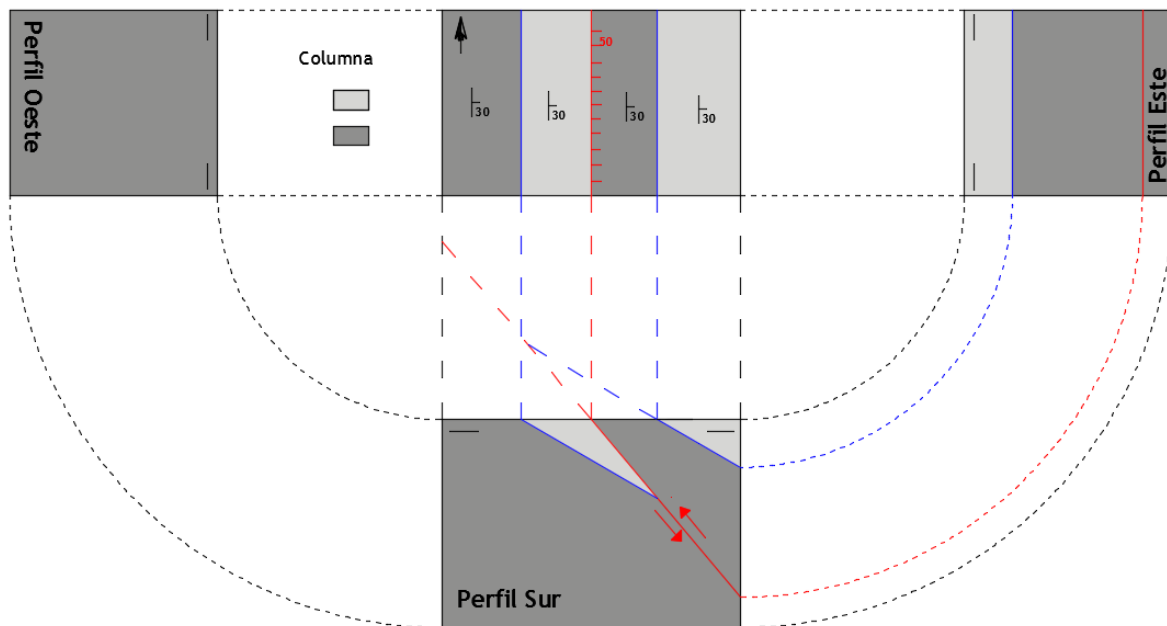


Figura 64.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste). Se muestra una falla de rumbo N-S y echado de 50° al Este, y la repetición del contacto entre dos unidades de rumbo N-S / 30° E en los bloques del este y del oeste. El mapa No muestra una separación aparente, en cambio el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del mismo, o del ángulo de pitch de ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 65.

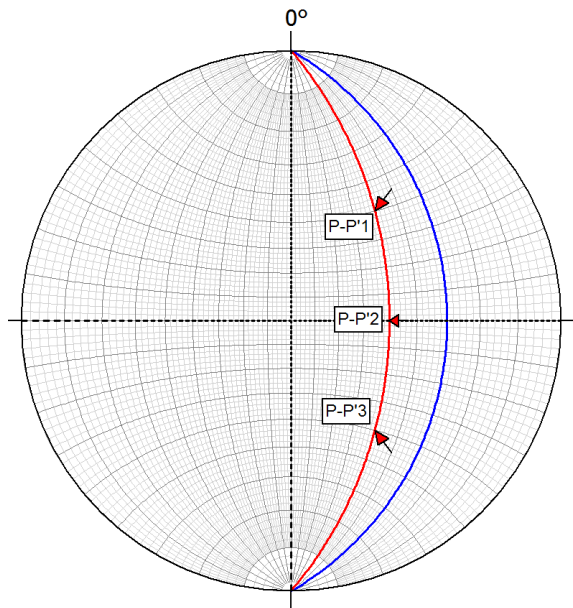


Figura 65.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 64.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 66. En línea continua de color amarillo se ha proyectado la traza del contacto en el bloque del techo (BT), y en línea discontinua en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

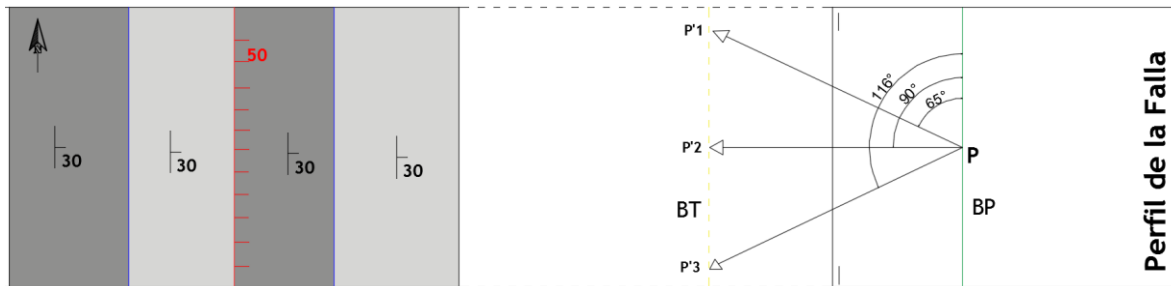


Figura 66.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En línea discontinua color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'3, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 8), como se explica en el texto.

Se localiza arbitrariamente un punto (P) a la mitad de la traza del contacto desplazado en el bloque del piso, como punto de inicio del vector de desplazamiento, y desde él se proyectan los vectores P'1 a P'3, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 8.

Tabla 8.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	65°	Inverso Izquierdo
2	90°	Inverso
3	115°	Inverso Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 67.

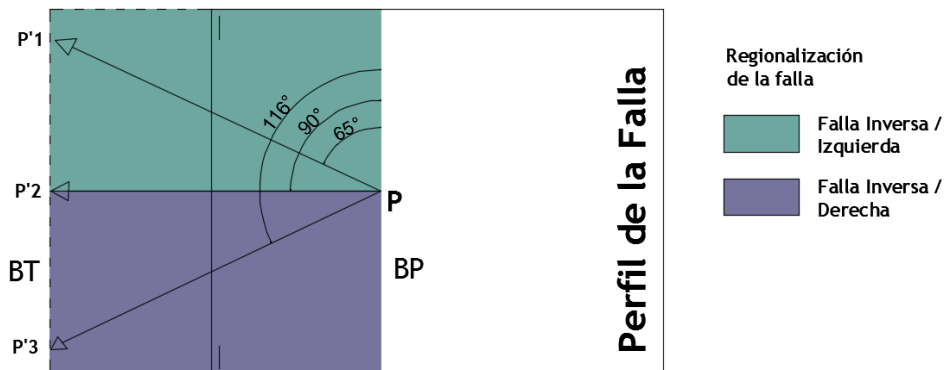


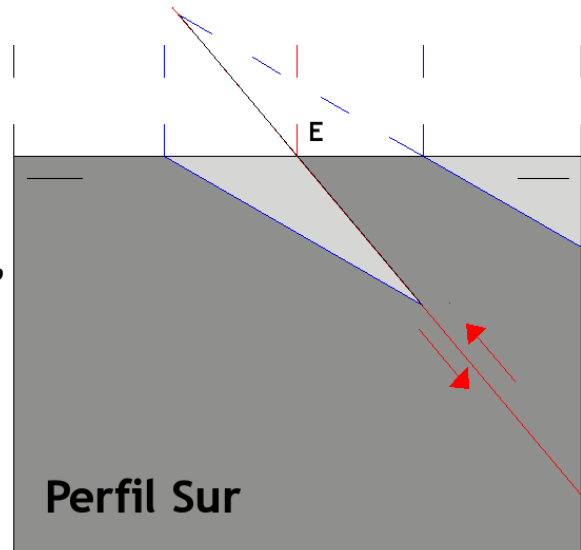
Figura 67.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula utilizando la relación

$$D = E/\text{Sen}(k)$$

Donde D es la magnitud del vector de desplazamiento, E = La separación perpendicular entre los contactos en los bloques de techo y de piso (figura 68), y K es el ángulo de pitch del vector de desplazamiento.

Figura 68.- Perfil Vertical perpendicular al rumbo de la falla, donde se observa una separación inversa entre el contacto de las unidades (color azul) y un desplazamiento aparente a lo largo de la traza de la falla (color rojo) de magnitud E.



Al utilizar la misma ecuación que en el Caso 3 previamente analizado, llegamos a los mismos corolarios discutidos anteriormente acerca de los posibles valores de kappa, así como sus límites y sus implicaciones en el valor real del vector de desplazamiento D.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 69. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

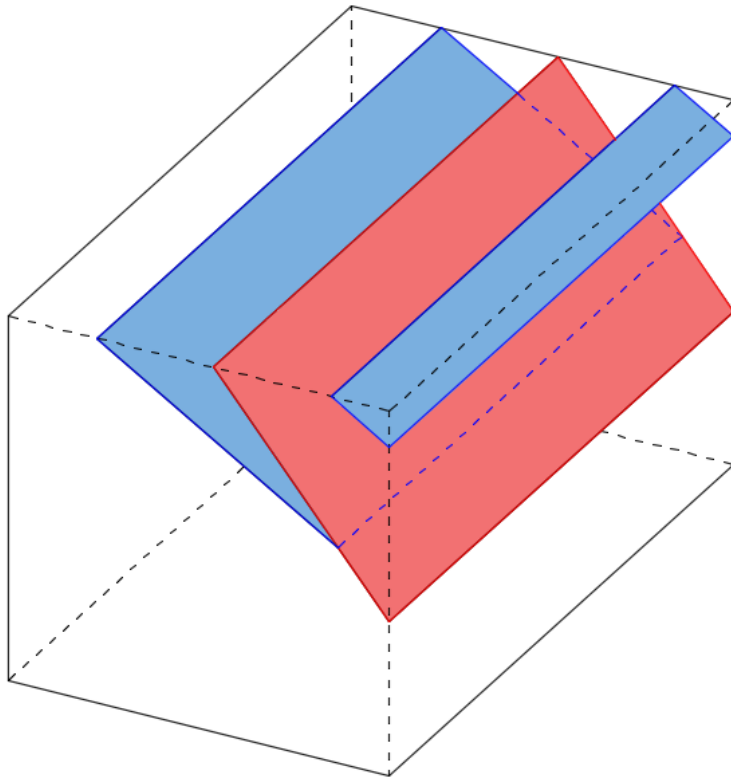


Figura 69.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3 PLANOS ESTRUCTURALES INCLINADOS TRUNCADOS POR FALLAS INCLINADAS DE RUMBOS ORTOGONALES

V.3.1 Caso 9

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al este, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° S.

El mapa muestra una separación aparente izquierda, y el perfil del sur una separación aparente normal con el echado verdadero de la falla mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con su echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 70.

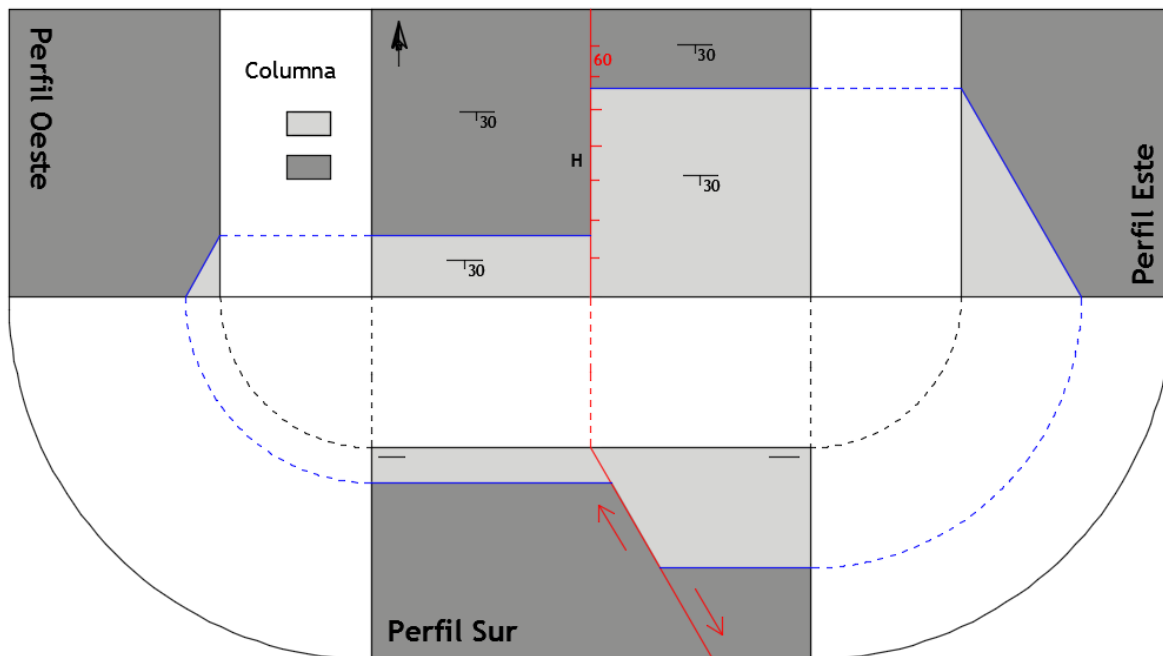


Figura 70.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Este, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° S. El mapa muestra una separación aparente (H) izquierda y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 71.

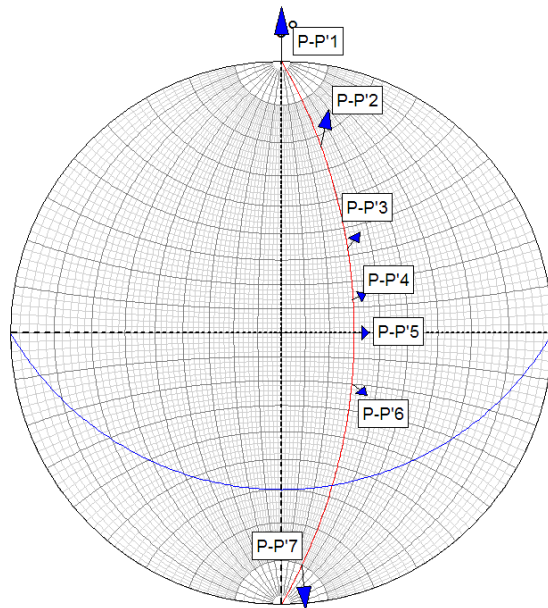


Figura 71.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 70.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 72. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

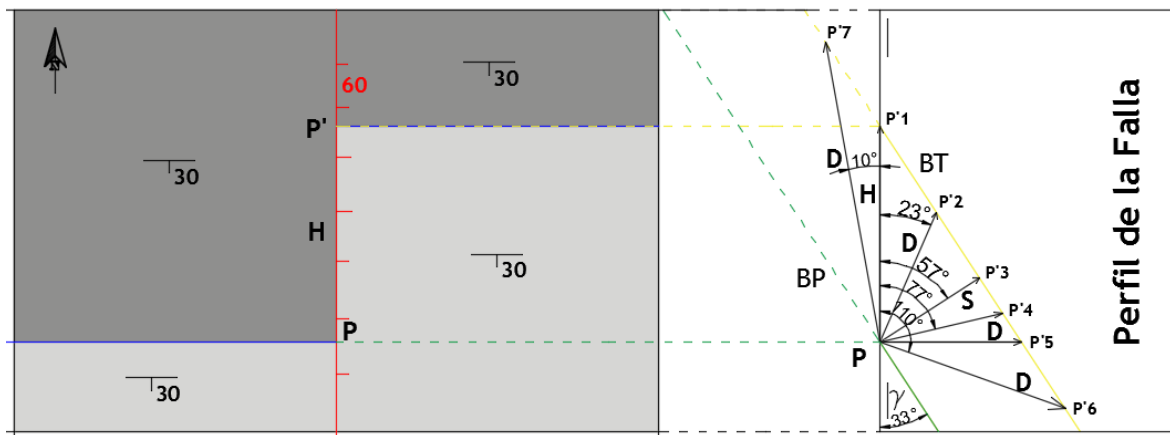


Figura 72.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 9), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“*piercing point*”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 9.

Tabla 9.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Izquierdo
2	23°	Normal Izquierdo
3	57°	Normal Izquierdo
4	77°	Normal Izquierdo
5	90°	Normal
6	110°	Normal Derecho
7	350°	Inverso Izquierdo

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 73.

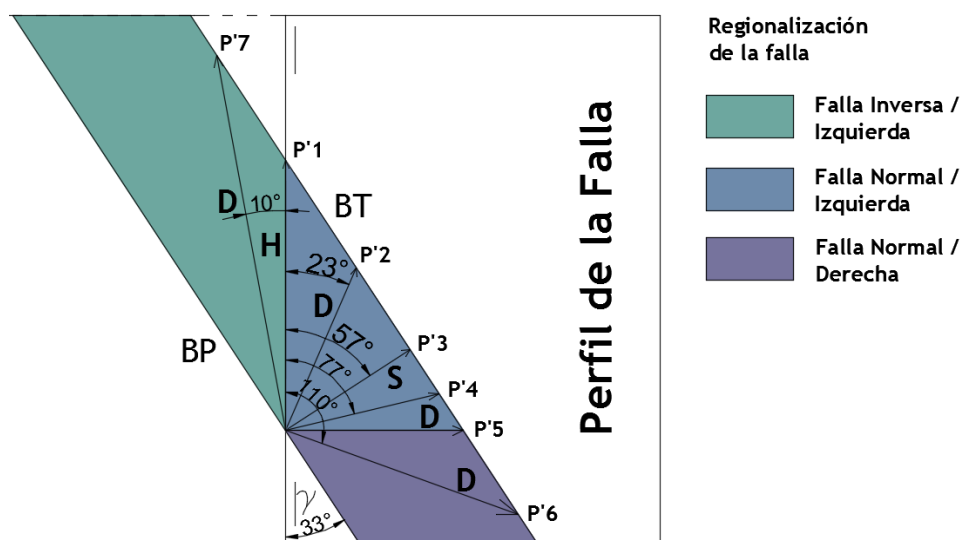


Figura 73.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 74. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

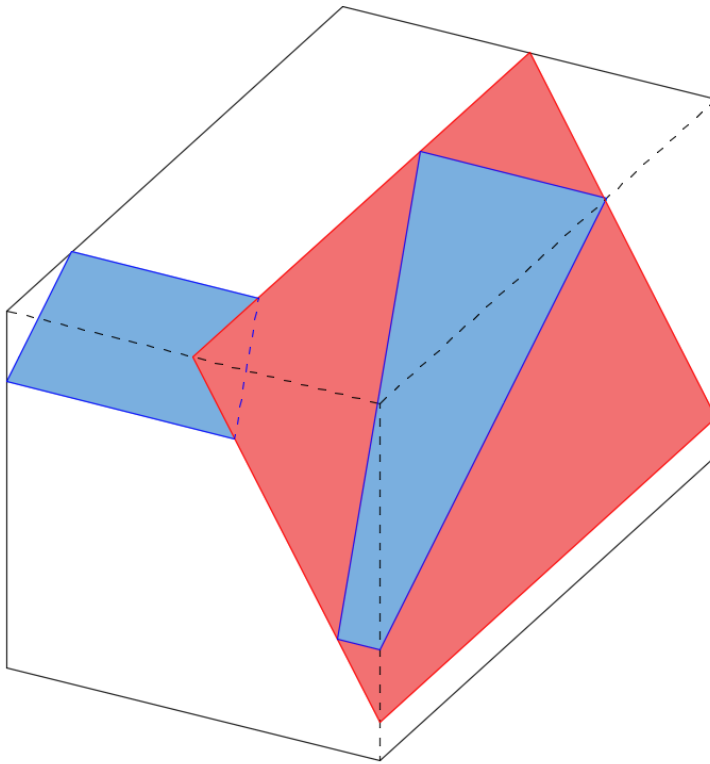


Figura 74.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.2 Caso 10

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al este, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° S.

El mapa muestra una separación aparente derecha, y el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente inversa, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con el echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 75.

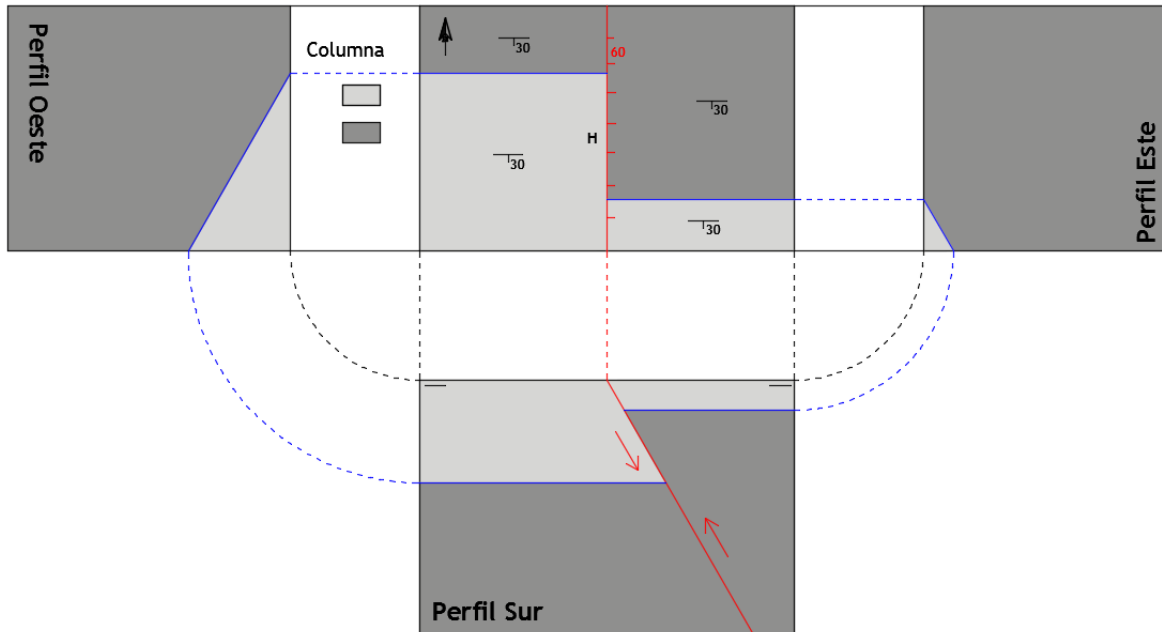


Figura 75.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Este, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° S. El mapa muestra una separación aparente (H) derecha y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 76.

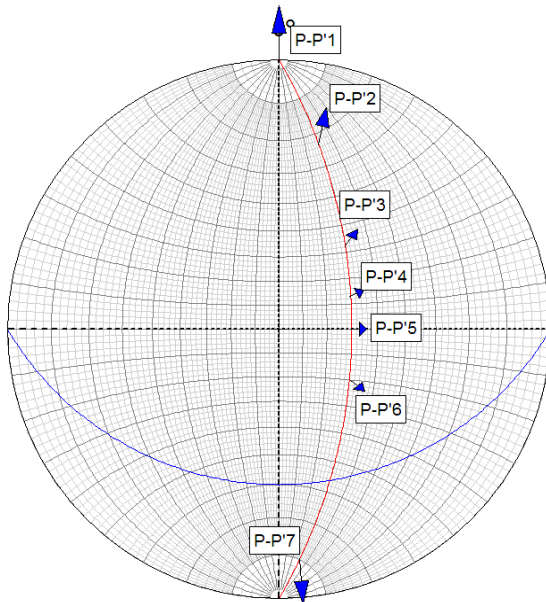


Figura 76.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 75.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 77. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

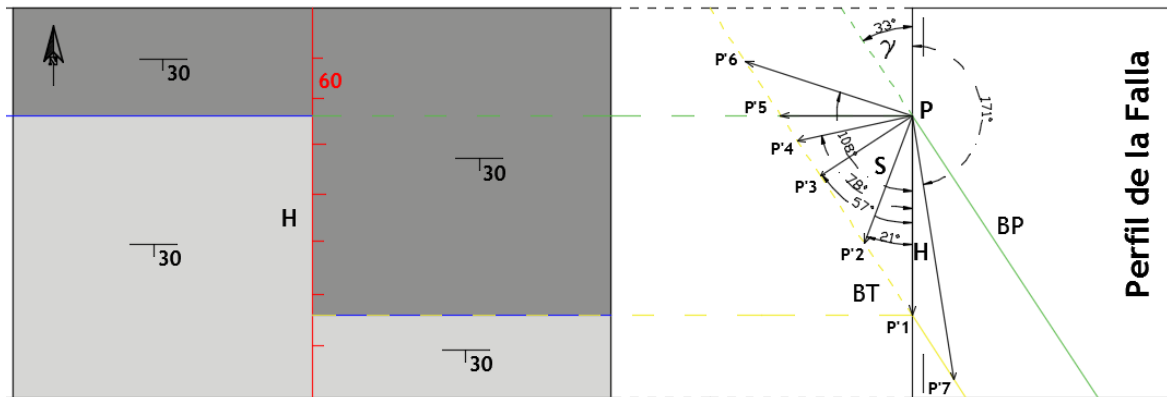


Figura 77.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 10), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“*piercing point*”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 10.

Tabla 10.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Derecho
2	21°	Inverso Derecho
3	57°	Inverso Derecho
4	78°	Inverso Derecho
5	90°	Inverso
6	108°	Inverso Izquierdo
7	351°	Normal Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 78.

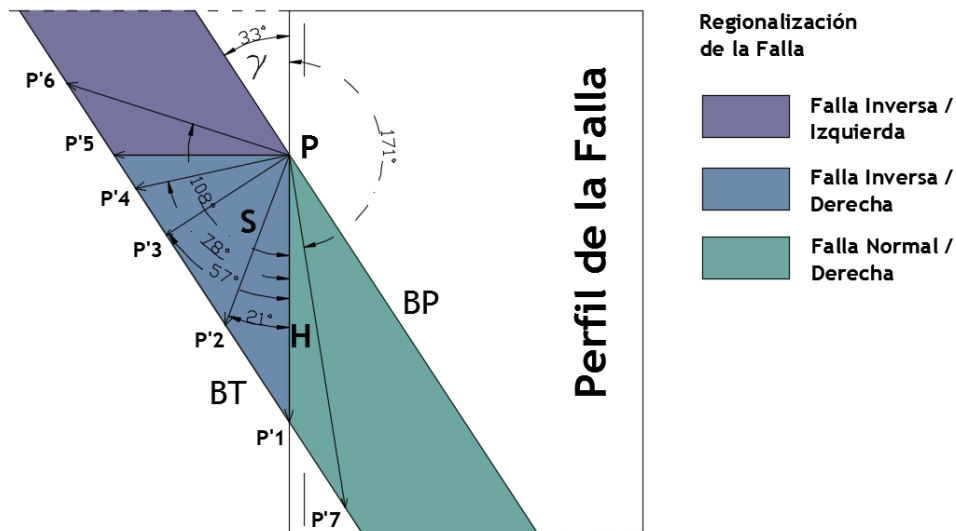


Figura 78.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 79. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

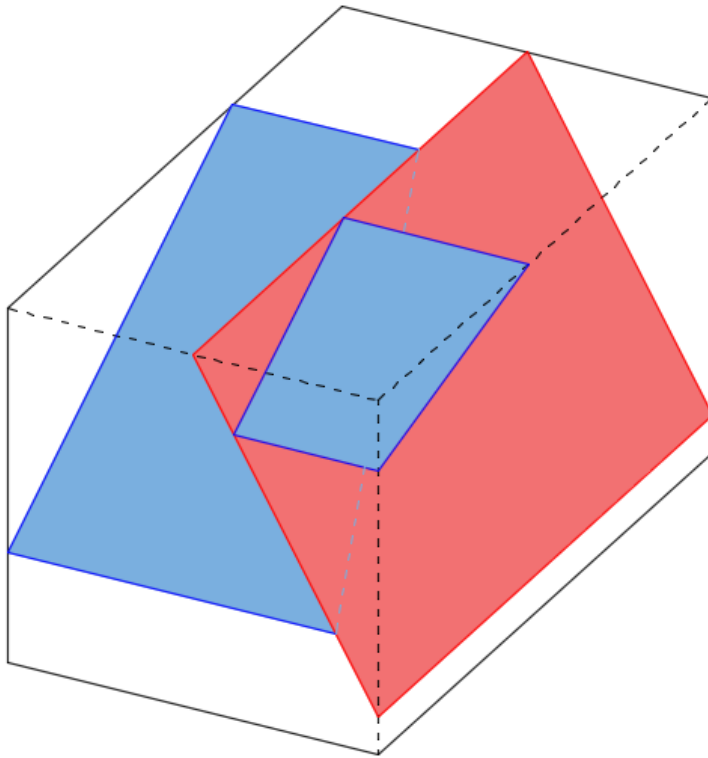


Figura 79.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.3 Caso 11

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al este, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° N.

El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente inversa por encima de la línea de tierra, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con su echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 80.

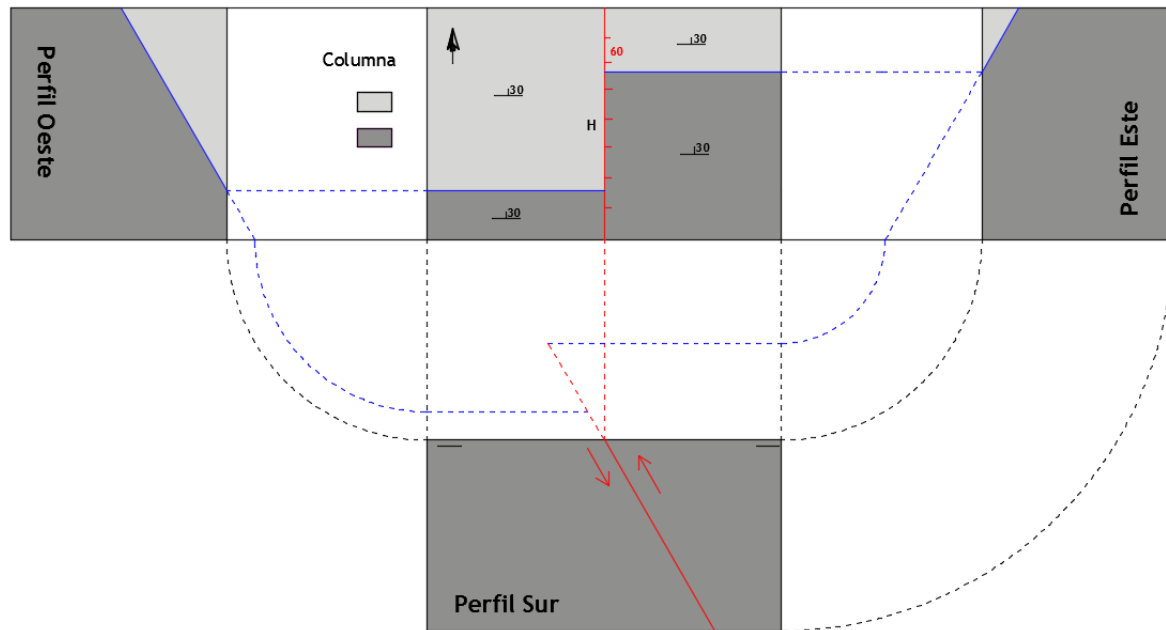


Figura 80.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Este, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° N. El mapa muestra una separación aparente (H) izquierda y el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 81.

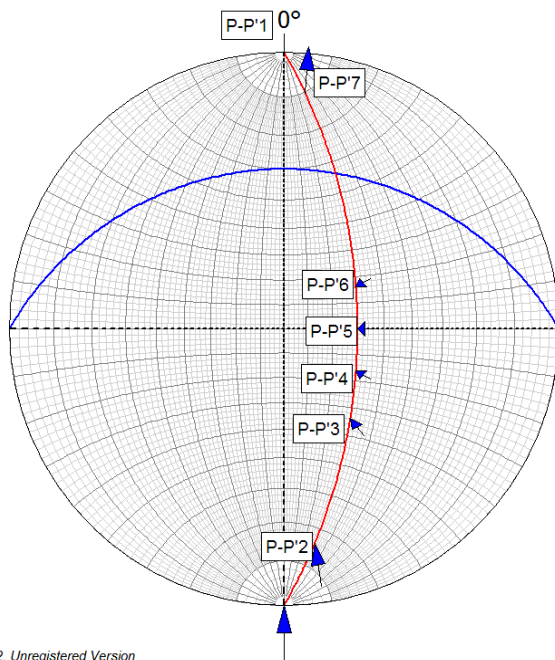


Figura 81.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 80.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 82. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

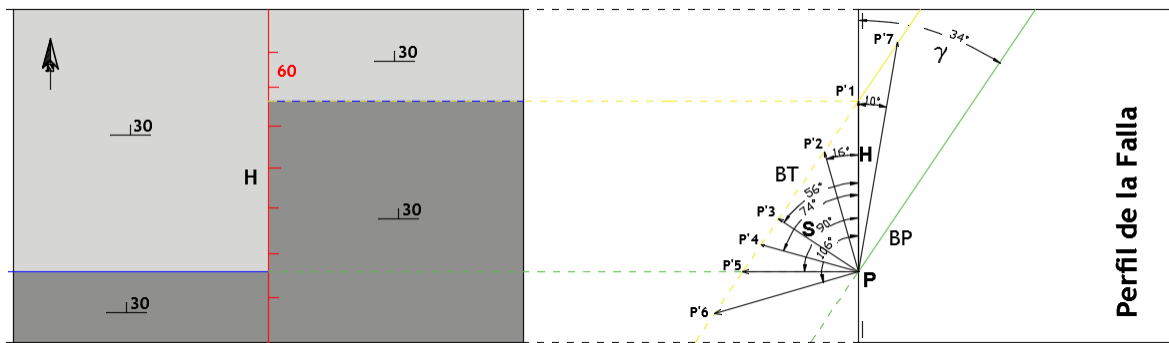


Figura 82.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (Tabla 1), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“*piercing point*”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 11.

Tabla 11.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Izquierdo
2	16°	Inverso Izquierdo
3	56°	Inverso Izquierdo
4	74°	Inverso Izquierdo
5	90°	Inverso
6	106°	Inverso Derecho
7	350°	Normal Izquierdo

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 83.

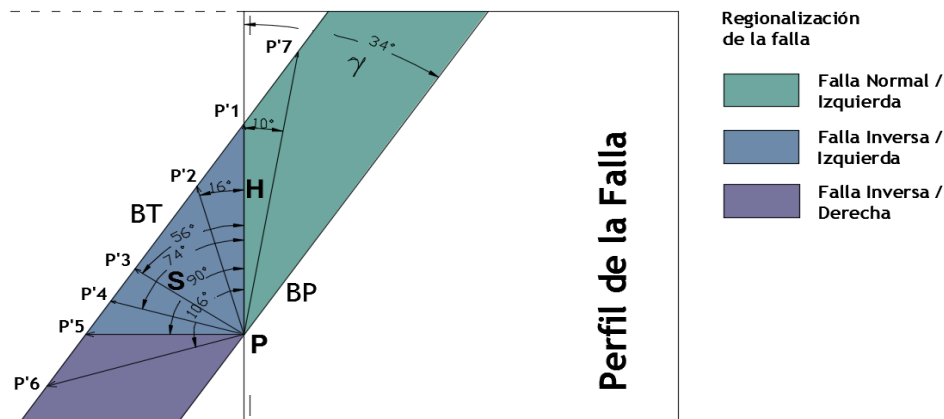


Figura 83.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 84. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

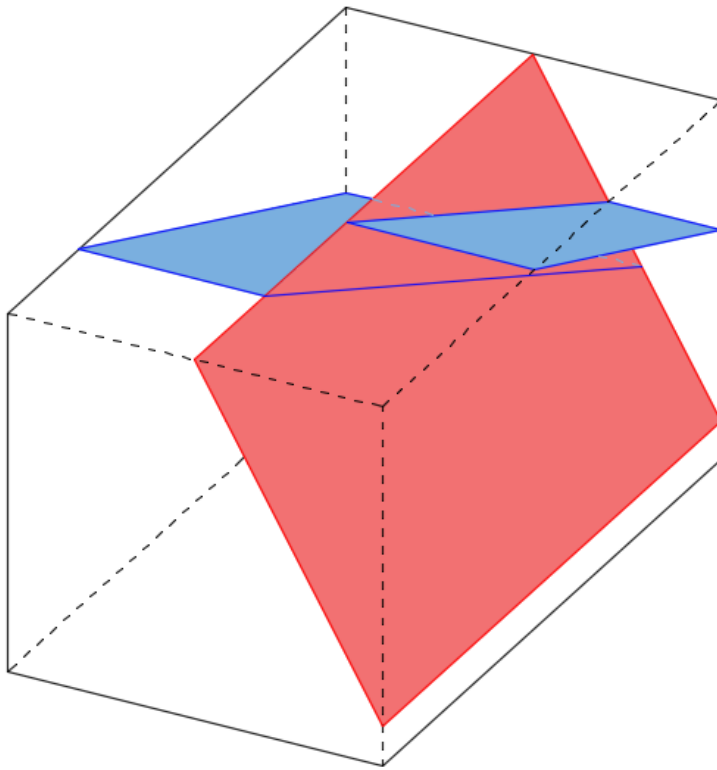


Figura 84.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.4 Caso 12

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al este, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° N.

El mapa muestra una separación aparente derecha, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente normal por encima de la línea de tierra, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con el echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 85.

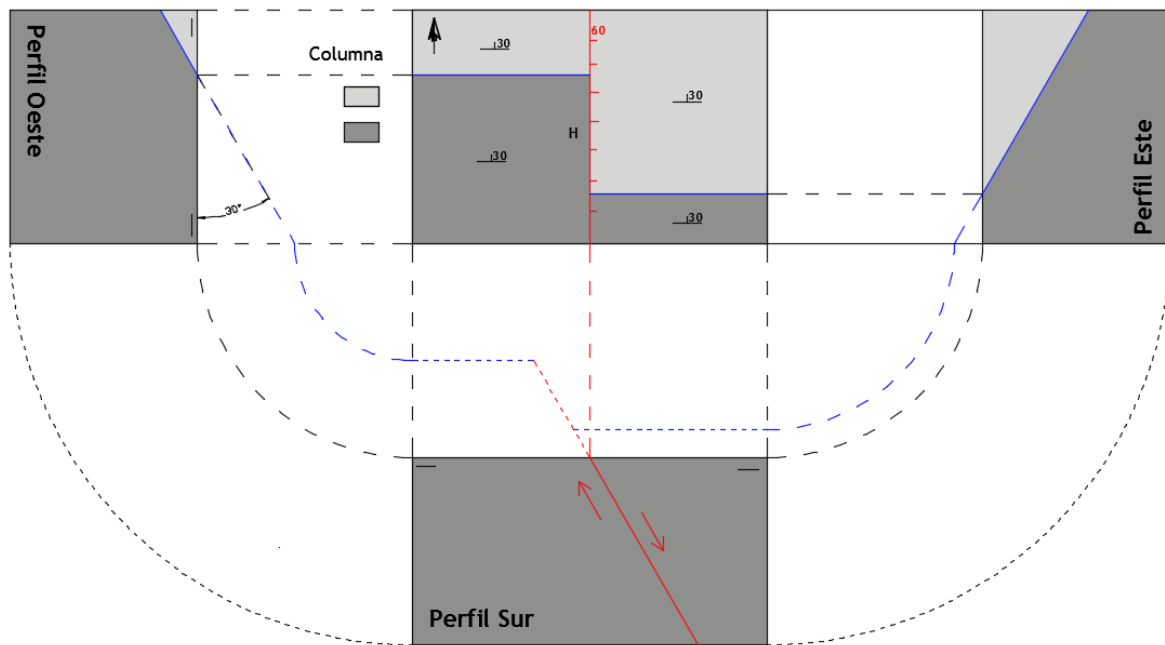


Figura 85.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Este, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° N. El mapa muestra una separación aparente (H) derecha y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente normal por encima de la línea de tierra.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 86.

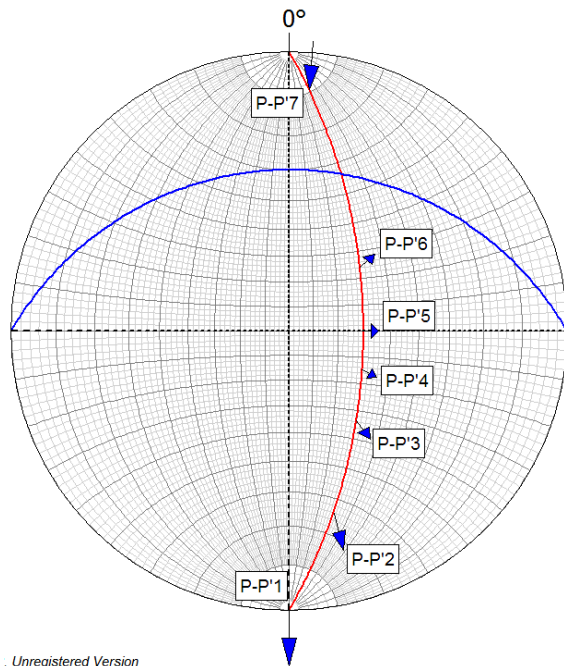


Figura 86.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 85.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 87. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

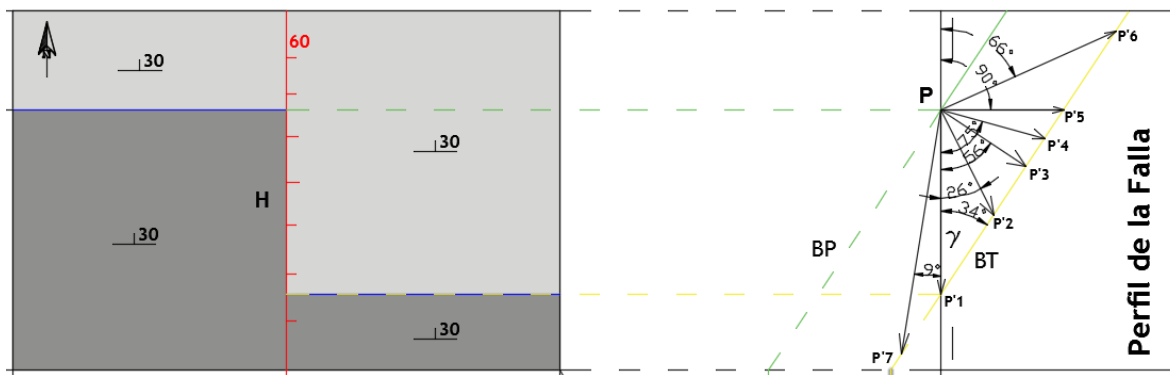


Figura 87.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 12), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“piercing point”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 12.

Tabla 12.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Derecho
2	26°	Normal Derecho
3	56°	Normal Derecho
4	75°	Normal Derecho
5	90°	Normal
6	114°	Normal Izquierdo
7	351°	Inverso Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 88.

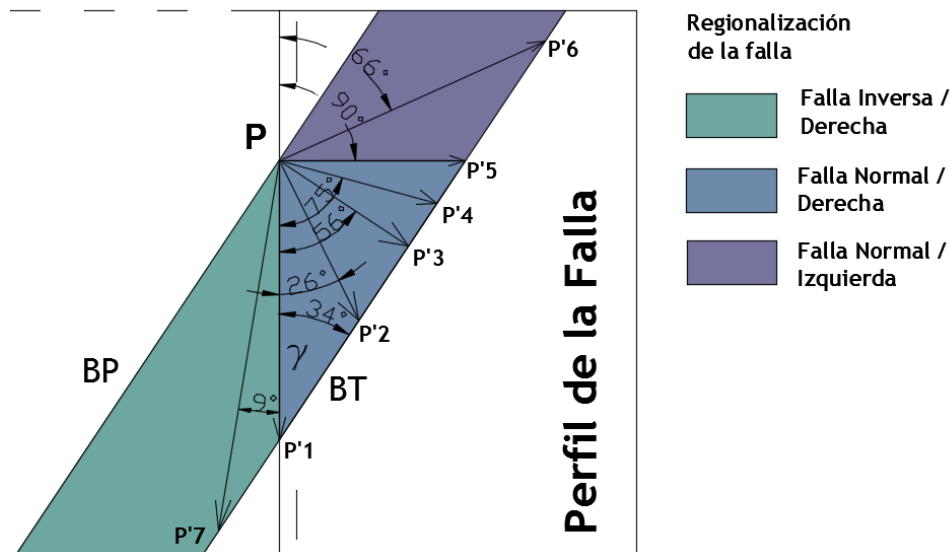


Figura 88.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (γ), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (κ). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 89. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

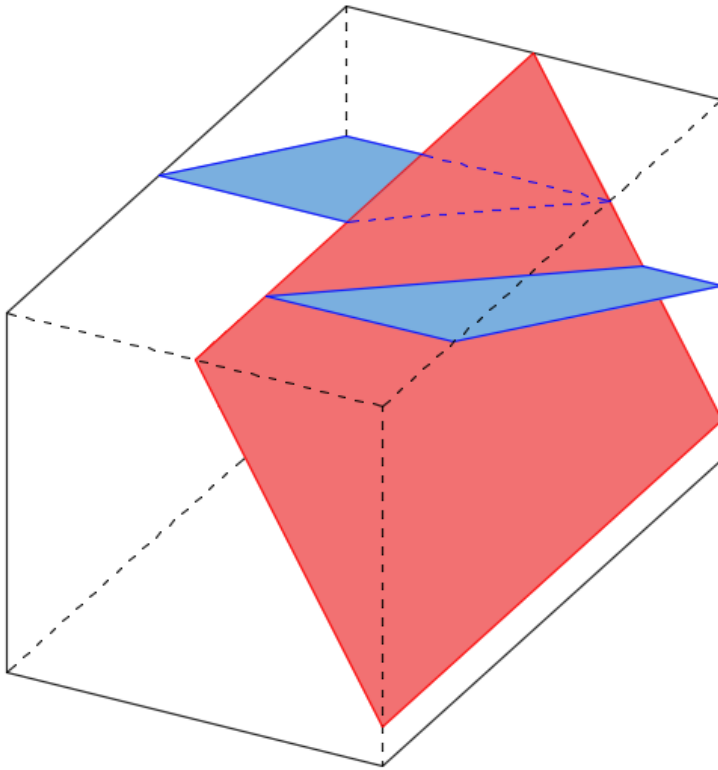


Figura 89.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.5 Caso 13

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al oeste, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° S.

El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente inversa, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con su echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 90.

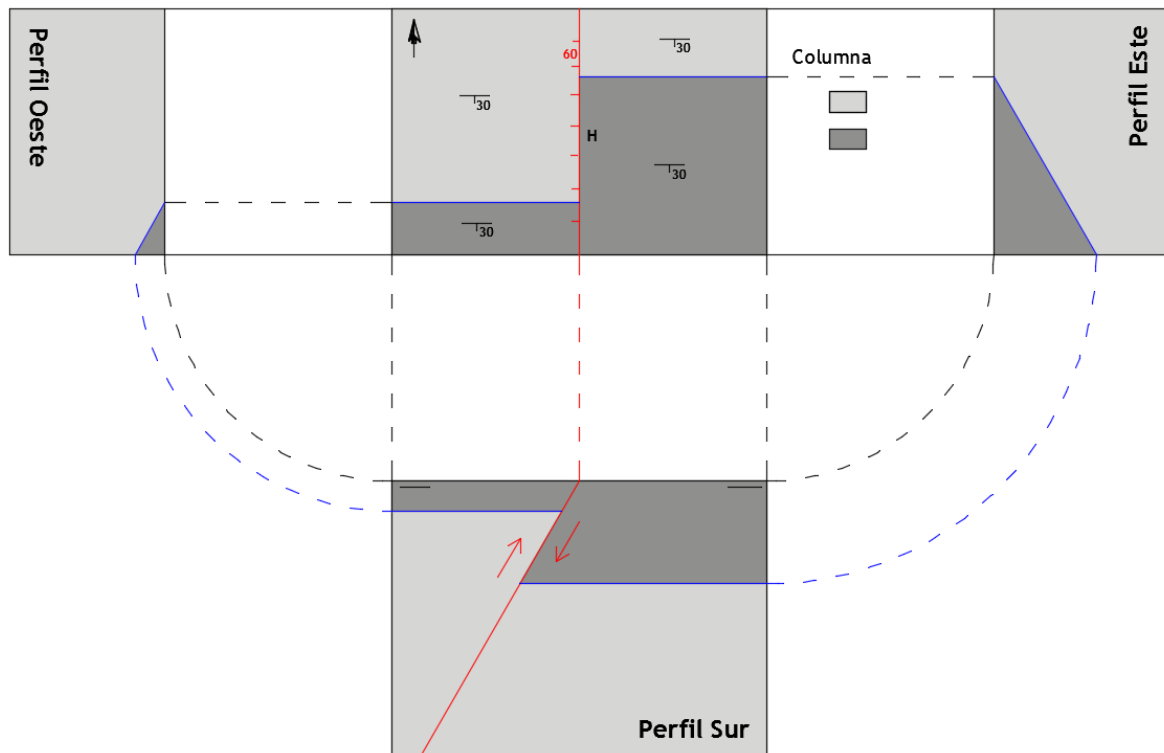


Figura 90.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Oeste, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° S. El mapa muestra una separación aparente (H) izquierda y el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente inversa.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 91.

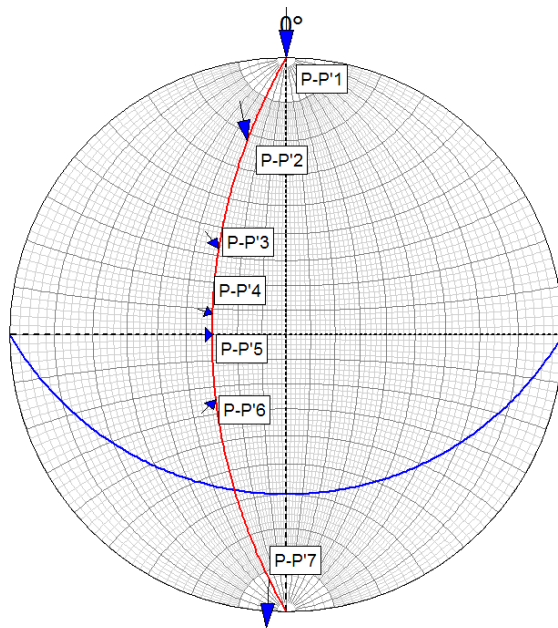


Figura 91.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 90.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 92. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

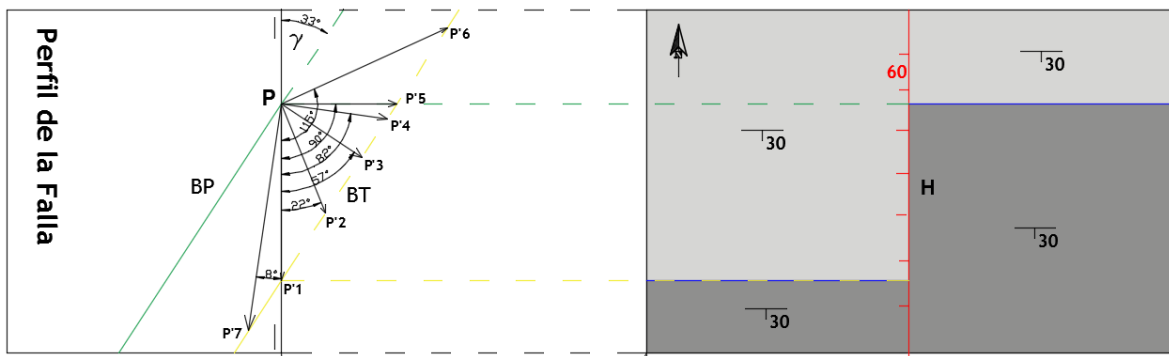


Figura 92.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (Tabla 1), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“piercing point”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 13.

Tabla 13.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Izquierdo
2	22°	Inverso Izquierdo
3	57°	Inverso Izquierdo
4	82°	Inverso Izquierdo
5	90°	Inversa
6	115°	Inverso Derecho
7	352°	Normal Izquierdo

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 93.

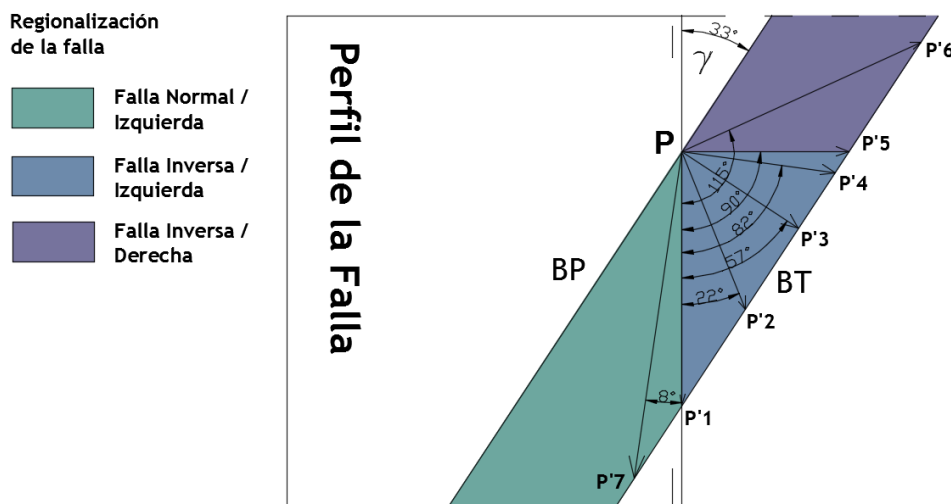


Figura 93.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 94. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

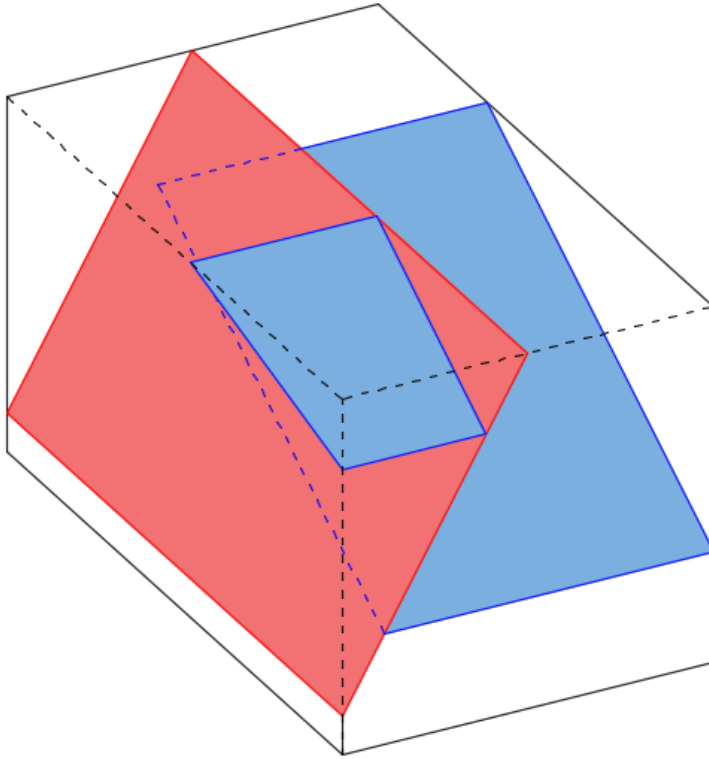


Figura 94.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.6 Caso 14

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Oeste, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° S.

El mapa muestra una separación aparente derecha, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente normal, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con el echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 95.

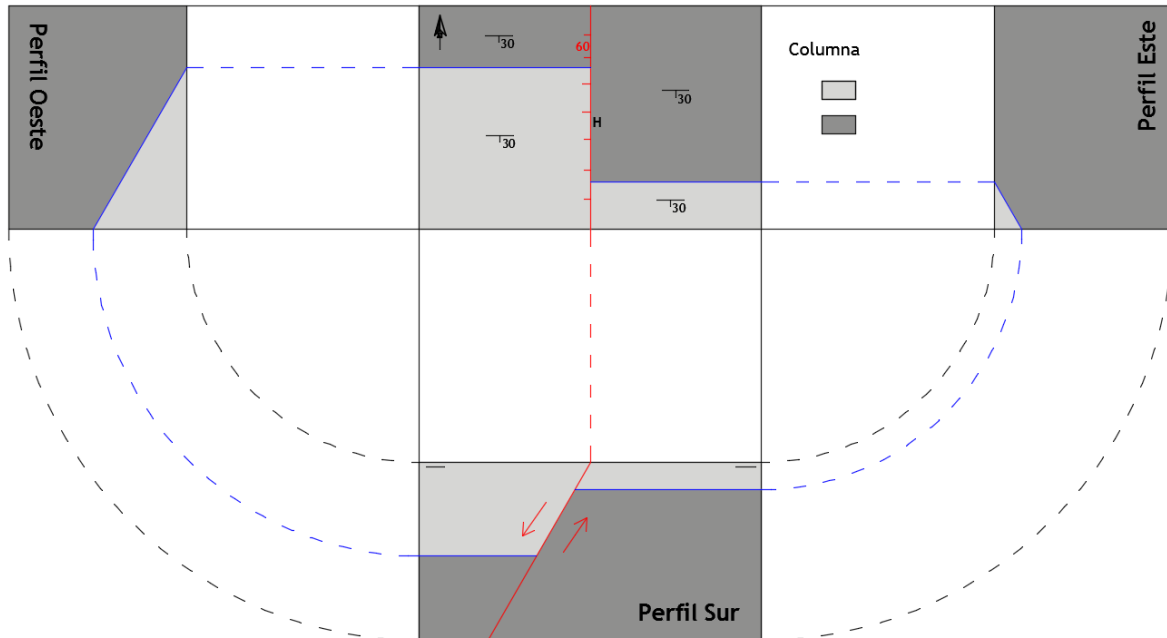


Figura 95.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Oeste, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° S. El mapa muestra una separación aparente (H) derecha y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 96.

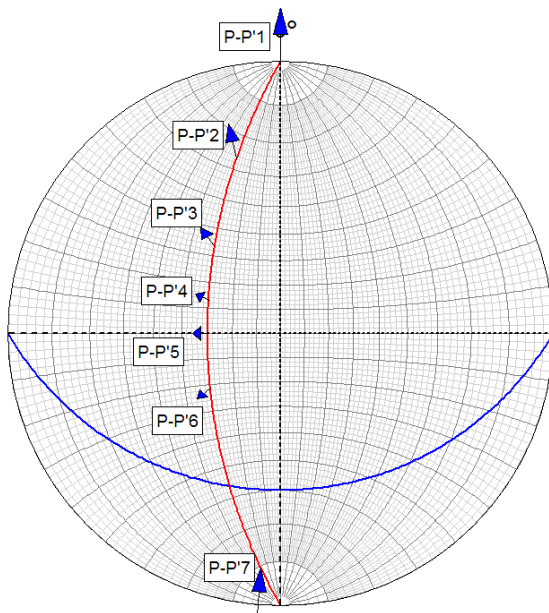


Figura 96.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 95.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 97. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

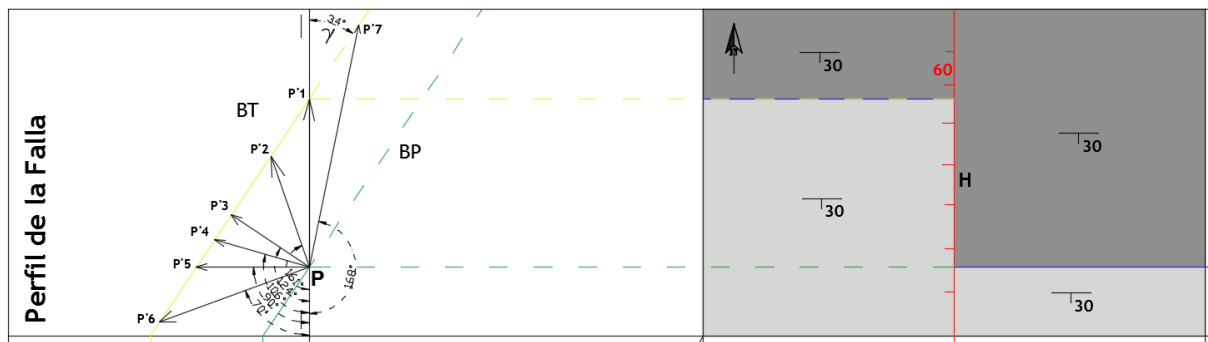


Figura 97.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 14), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“piercing point”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 14.

Tabla 14.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Derecho
2	19°	Normal Derecho
3	56°	Normal Derecho
4	74°	Normal Derecho
5	90°	Normal
6	120°	Normal Izquierdo
7	348°	Inverso Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 98.

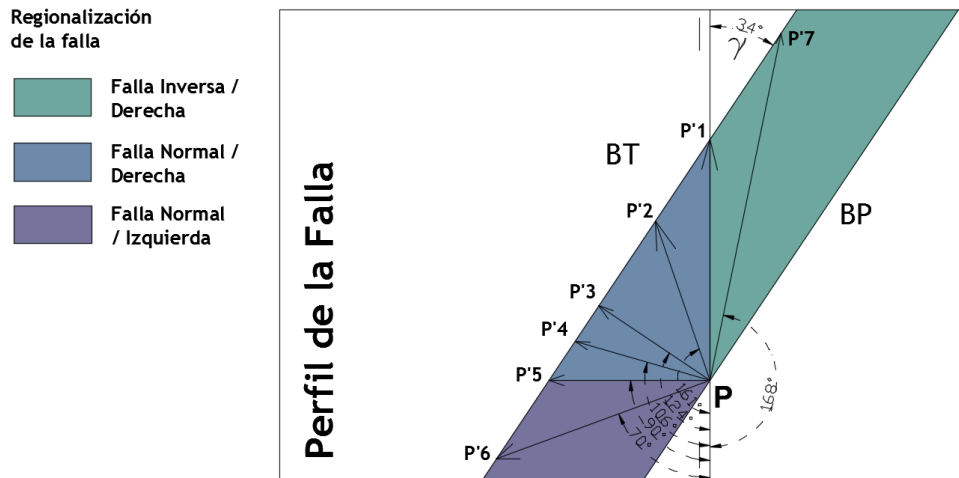


Figura 98.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 99. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

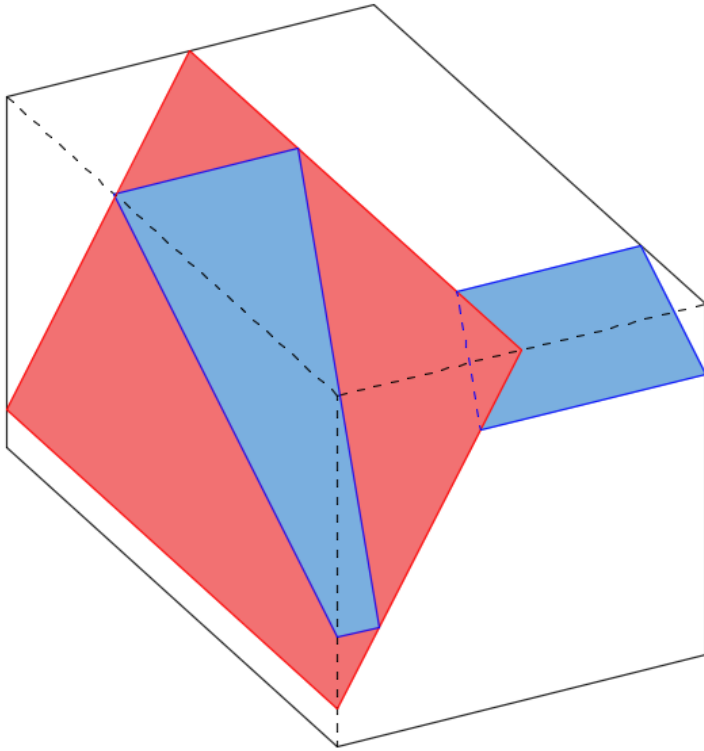


Figura 99.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.7 Caso 15

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Oeste, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° N.

El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente normal por encima de la línea de tierra, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con su echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 100.

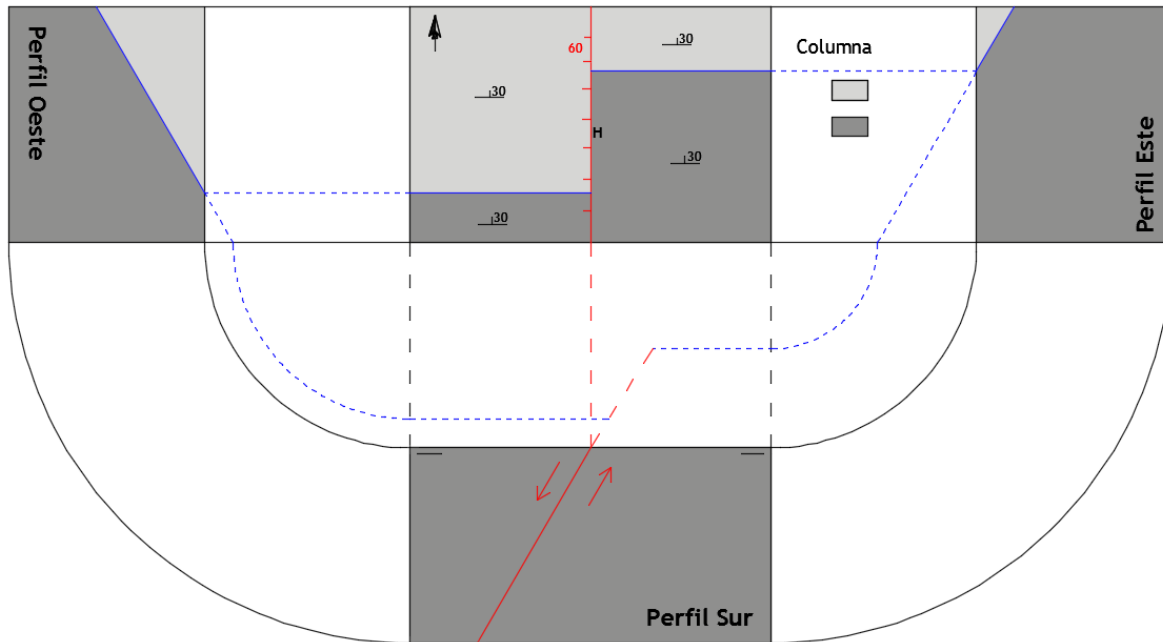


Figura 100.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Oeste, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° N. El mapa muestra una separación aparente (H) izquierda y el perfil del sur perpendicular a la falla muestra una separación aparente normal por encima de la línea de tierra.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 101.

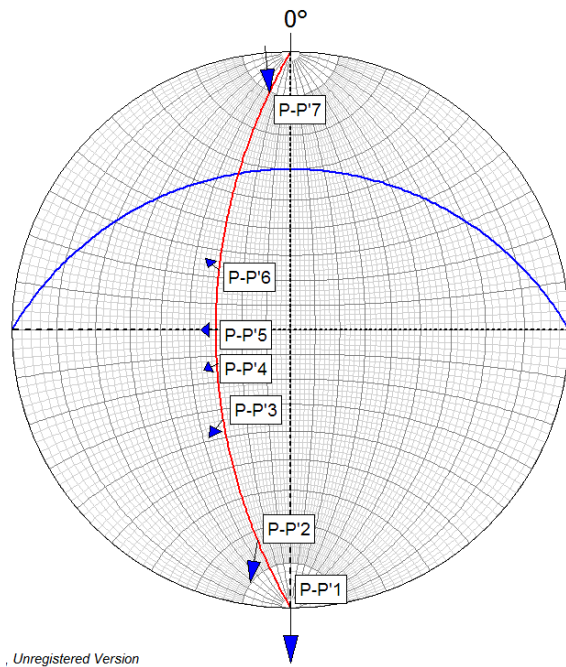


Figura 101.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 100.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 102. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

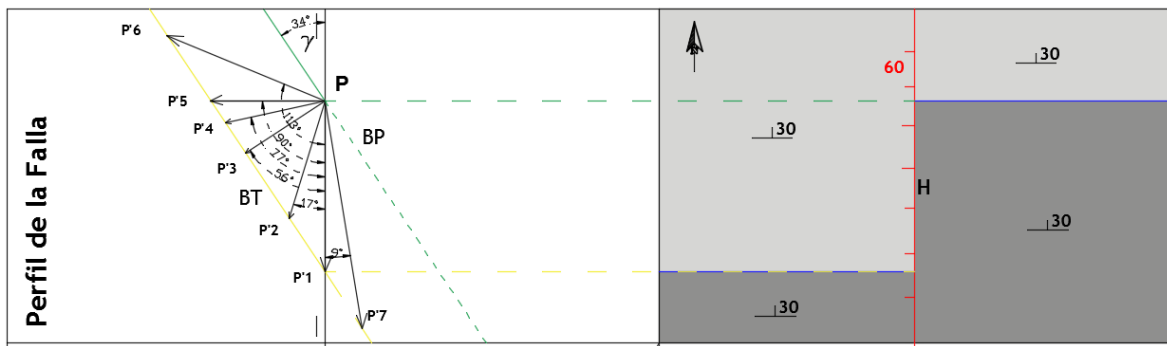


Figura 102.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 15), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“piercing point”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 15.

Tabla 15.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Izquierdo
2	17°	Normal Izquierdo
3	56°	Normal Izquierdo
4	77°	Normal Izquierdo
5	90°	Normal
6	113°	Normal Derecho
7	351°	Inverso Izquierdo

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 103.

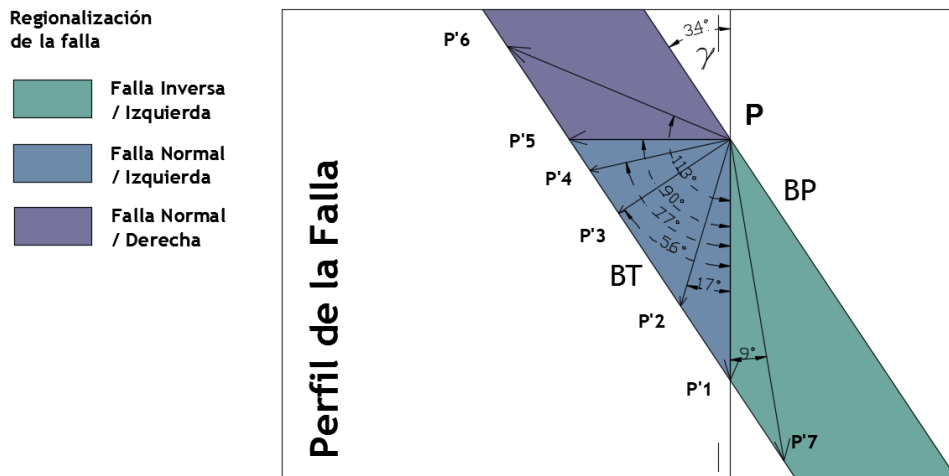


Figura 103.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 104. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

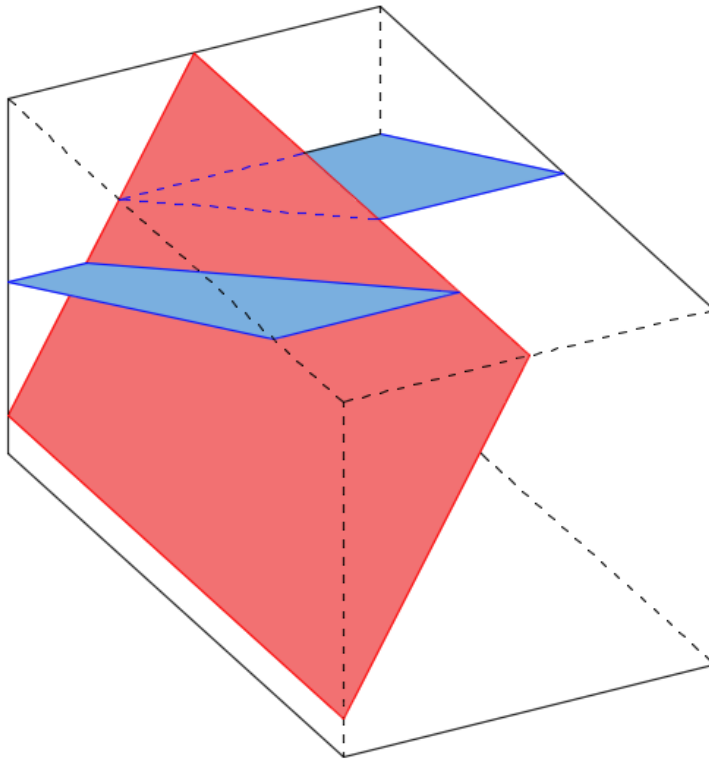


Figura 104.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.3.8 Caso 16

Una falla de rumbo N-S y echado de 60° al Oeste, corta el contacto entre dos unidades de rumbo E-W / 30° N.

El mapa muestra una separación aparente derecha, y en el perfil del sur se observa el echado verdadero de la falla y una separación aparente inversa por encima de la línea de tierra, mientras que en los perfiles este y oeste se observa el contacto de las unidades con el echado verdadero. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 105.

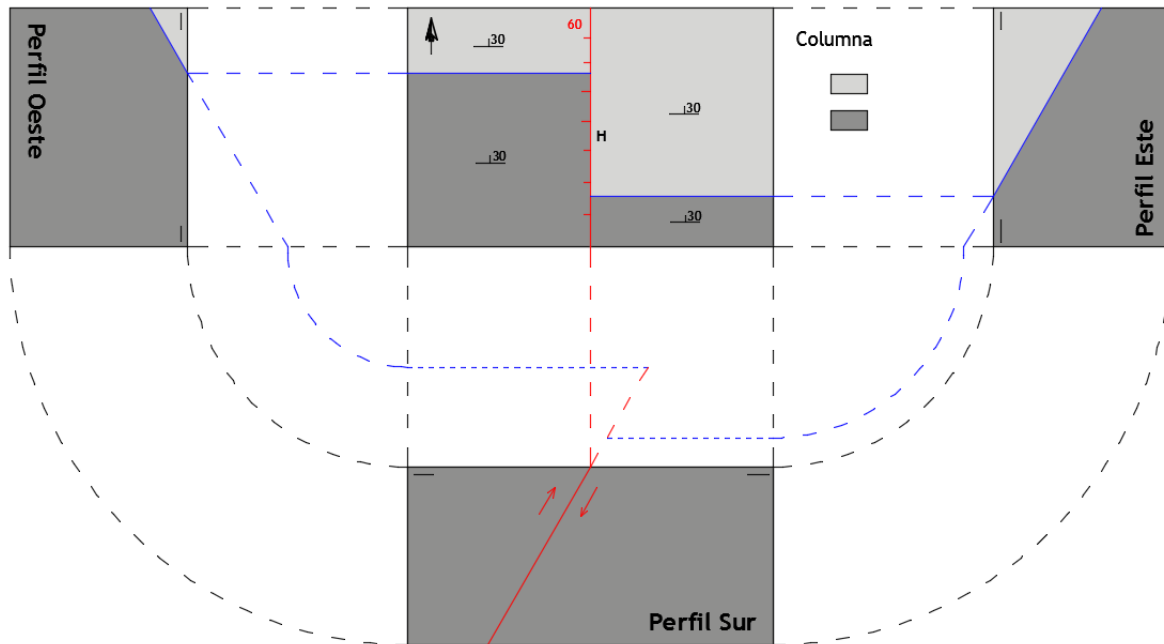


Figura 105.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Oeste), de una falla N-S con echado de 60° al Oeste, que trunca el contacto entre dos unidades con una orientación E-W / 30° N. El mapa muestra una separación aparente (H) derecha y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente inversa por encima de la línea de tierra.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 106.

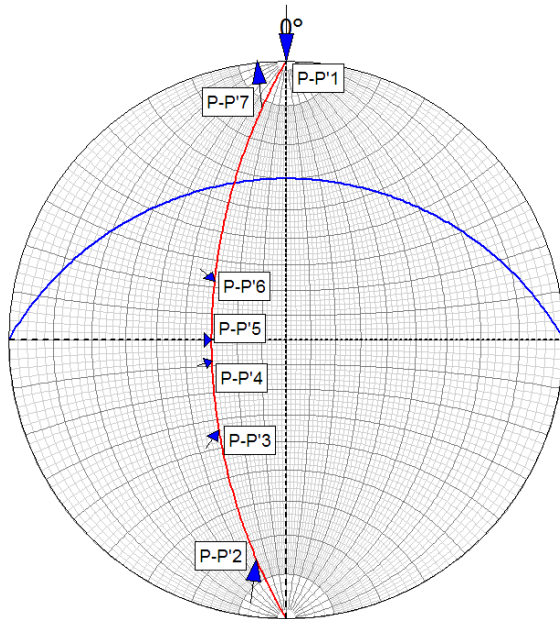


Figura 106.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. Las flechas sobre el plano de falla, indican posibles orientaciones del vector de desplazamiento. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 105.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 107. En color amarillo se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en verde esa traza en el bloque del piso (BP).

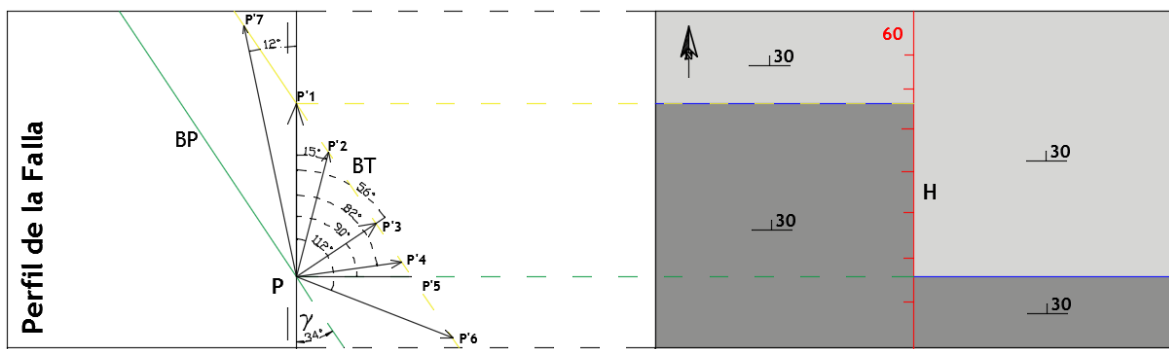


Figura 107.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color amarillo se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en verde la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'7, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 16), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“piercing point”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 16.

Tabla 16.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral Derecho
2	15°	Inverso Derecho
3	56°	Inverso Derecho
4	82°	Inverso Derecho
5	90°	Inverso
6	112°	Inverso Izquierdo
7	348°	Normal Derecho

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 108.

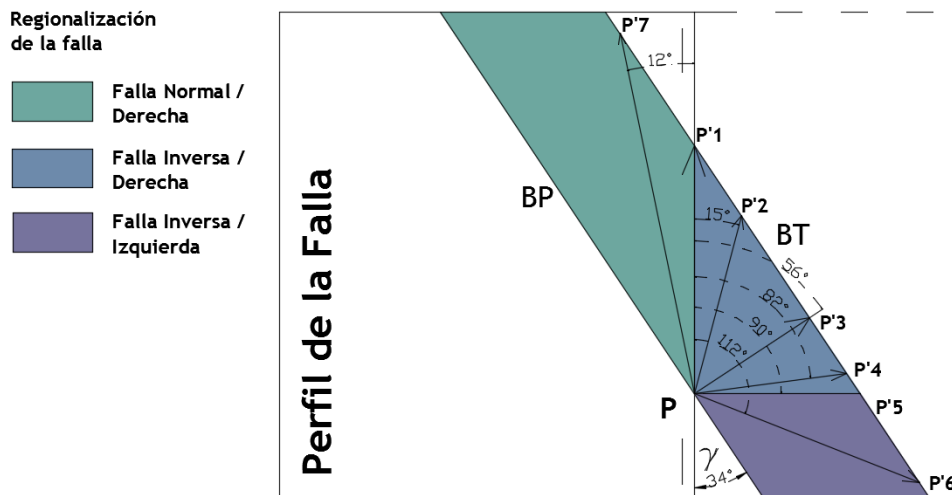


Figura 108.- Mapa y perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es decir, con la ecuación:

$$D = H * (\text{sen}(\gamma) / \text{sen}(|\kappa \pm \gamma|))$$

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 109. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

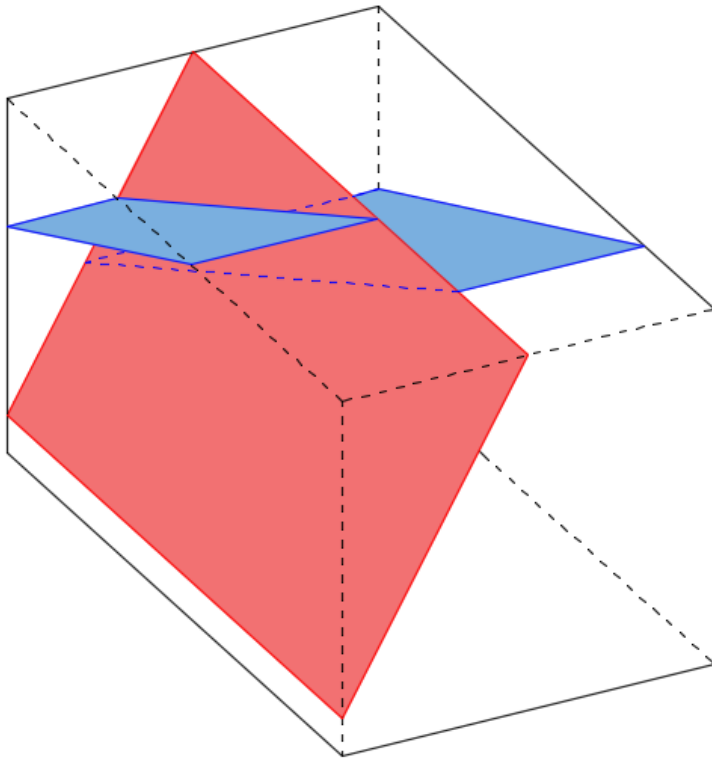


Figura 109.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.4 PLANOS ESTRUCTURALES INCLINADOS TRUNCADOS POR FALLAS INCLINADAS CON RUMBOS OBLICUOS

V.4.1 Caso 17 (Gama > 90°)

Una falla de rumbo N-S y echado de 45° al este, corta el contacto entre dos unidades, orientado N20°E / 30°SE. El mapa muestra una separación aparente izquierda, y el perfil del sur una separación aparente normal mientras que en el perfil del norte el contacto no es cortado por la falla. En contraste en el perfil del Este, el contacto entre las formaciones se proyecta con un echado aparente suave, y la falla se proyecta con un echado aparente horizontal. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 110.

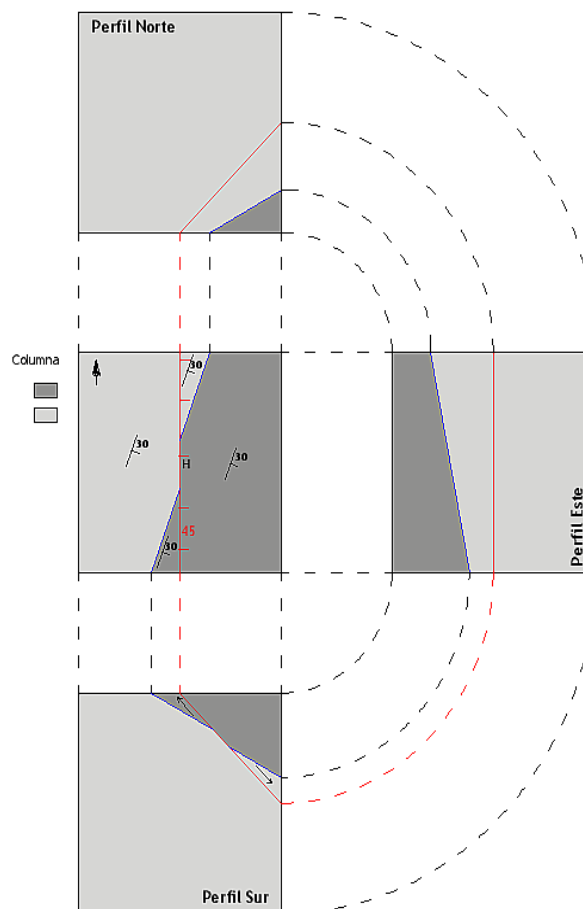


Figura 110.- Mapa geológico y perfiles laterales (Sur, Este y Norte), de una falla N-S con echado de 45° al Este, que trunca el contacto entre dos unidades, con una orientación N20°E / 30°SE. El mapa muestra una separación aparente (H) izquierda, y el perfil del sur perpendicular a la falla muestran una separación aparente normal.

Para poder evaluar las distintas posibilidades del desplazamiento entre los dos bloques, es condición necesaria conocer la orientación del vector de desplazamiento, y el sentido de ese desplazamiento.

La orientación del vector se define en términos de la dirección y buzamiento del vector, o del ángulo de pitch que ese vector en el plano de falla. Se analizarán las posibles orientaciones del vector de desplazamiento sobre el plano de falla.

Los datos estructurales del problema se presentan en la figura 111.

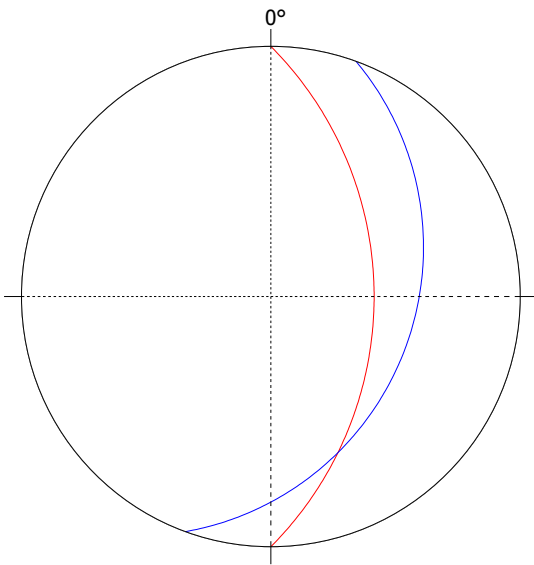


Figura 111.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul al contacto inclinado. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del sur y norte y el perfil del este, utilizados en la figura 110.

Se procede ahora a construir el perfil de la falla, abatiendo este plano hasta que sea horizontal, y proyectando en él, las trazas de intersección de los contactos desplazados en los bloques de techo y de piso respectivamente. Dicho perfil se muestra en la figura 112. En color verde se ha proyectado la traza en el plano de falla del contacto en el bloque del techo (BT), y en amarillo esa traza en el bloque del piso (BP).

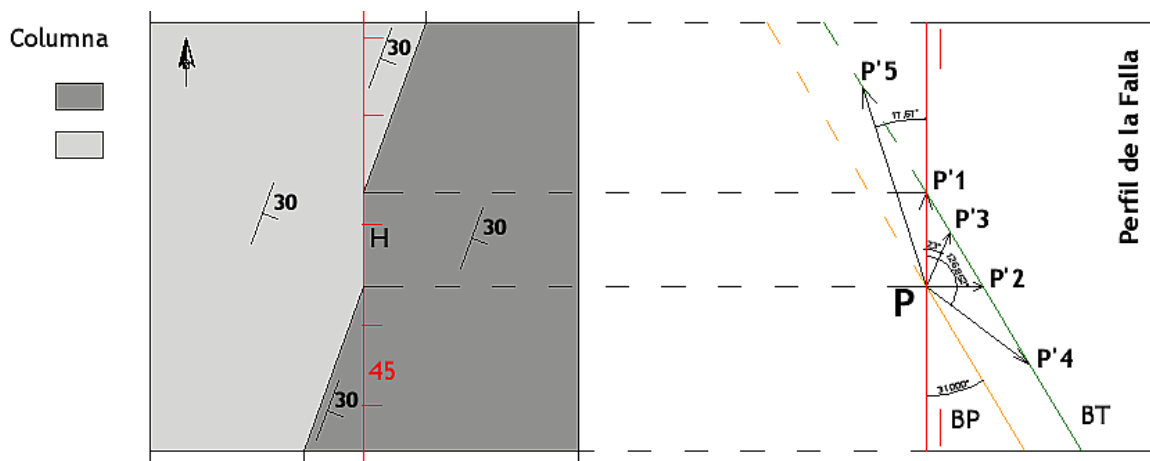


Figura 112.- Mapa y perfil de la falla, mostrando el perfil del plano de falla abatido hasta la horizontal. En color verde se proyecta la traza del contacto en el bloque del techo (BT), en amarillo la traza del contacto en el bloque del piso (BP). Los vectores P'1 a P'5, ejemplifican las posibles orientaciones del vector de desplazamiento (tabla 1), como se explica en el texto.

Utilizando como punto de perforación de arete (“*piercing point*”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 17.

Tabla 17.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral izquierdo
2	90°	Normal
3	23°	Izquierdo normal
4	127°	Normal derecho
5	18°	Izquierdo inverso

Estos ejemplos de orientación de vectores, sirven para ejemplificar las diferentes zonas en que se puede dividir al plano de falla y que permiten por lo tanto obtener una regionalización del plano de falla como se muestra en la figura 113.

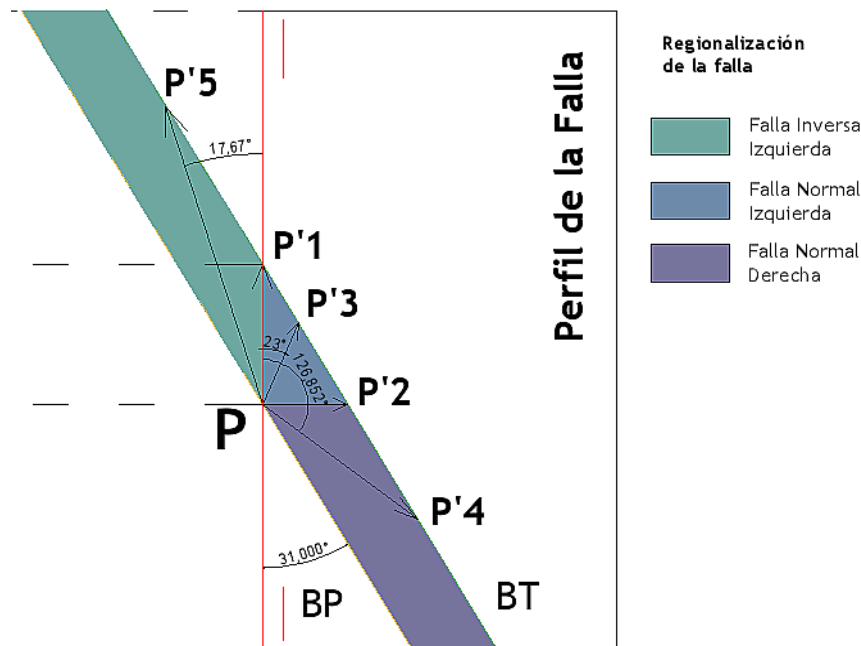


Figura 113.- Perfil de la falla donde se regionaliza al plano de falla, para mostrar el sentido del desplazamiento entre los bloques de la falla en función de la orientación que tenga el vector de desplazamiento (i.e. el ángulo de pitch).

La magnitud del vector o desplazamiento neto se calcula con el algoritmo deducido anteriormente, que depende del desplazamiento aparente H en el plano horizontal, el ángulo de pitch que forma el contacto en el plano de falla (gama), y el ángulo de pitch que forma el vector de desplazamiento en el plano de falla (kappa). Es necesario resaltar que en este caso el ángulo gama es mayor de 90°, pues se mide sobre el plano de falla desde el Norte. El contraste con los otros ejemplos se discutirá más adelante.

La representación tridimensional de los elementos estructurales discutidos se presenta en la figura 114. En el cubo diagramático en color rojo se proyecta el plano de falla y en color azul se el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

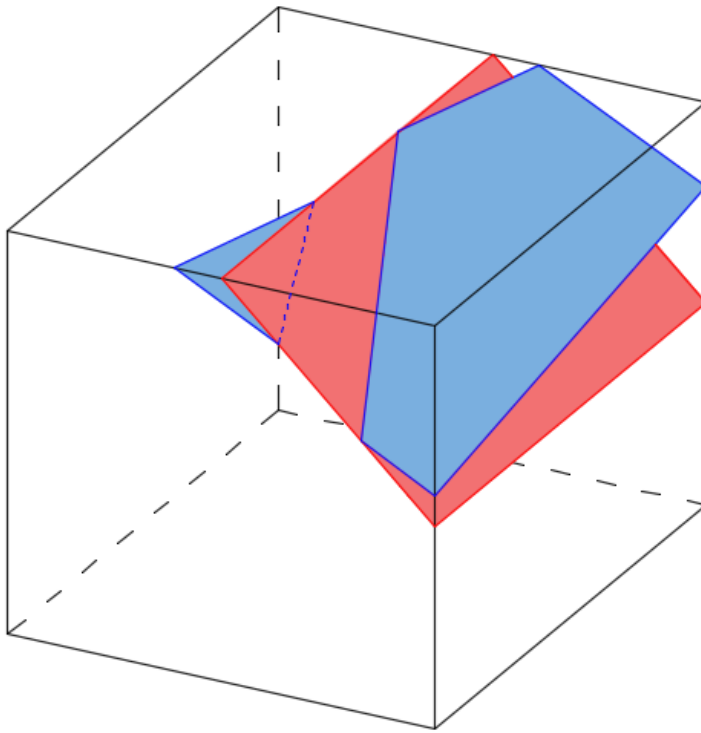


Figura 114.- Bloque diagramático, mostrando el plano del contacto, truncado por el plano de falla. En color rojo, se presenta al plano de falla, y en azul el plano del contacto entre las unidades.

V.4.2 Caso 18 (Gama < 90°)

Una falla de rumbo N-S y echado de 45° al este, corta el contacto entre dos unidades, orientado N20°E/65°SE. El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del norte se observa una separación aparente normal. En contraste en el perfil del este, la falla se proyecta con un echado aparente horizontal, y el plano del contacto en el bloque del piso se proyecta con un echado aparente, suave de 26° S, sin poderse establecer la dirección del desplazamiento. Se observa, sin embargo, que el bloque del techo se ha deslizado sobre el bloque del piso. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 115.

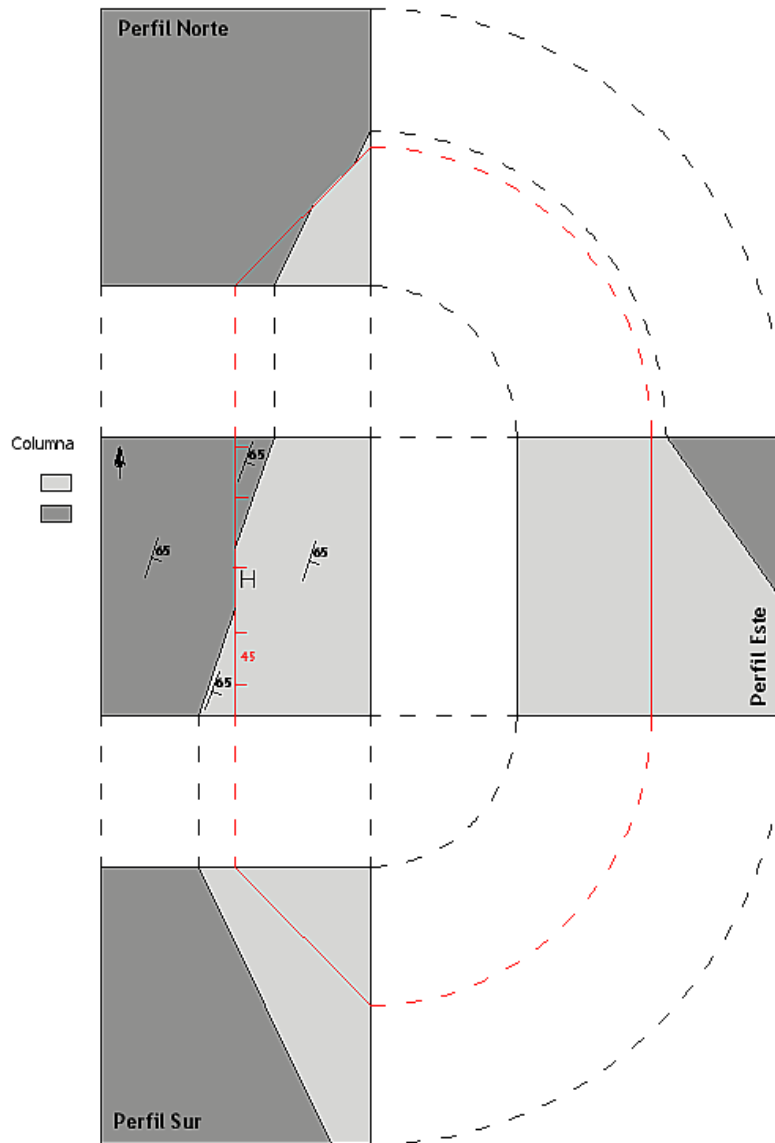


Figura 115. Mapa y perfiles laterales del Sur, Este y Norte. En el perfil del sur, no se aprecia la separación aparente, pero en el perfil del norte se aprecia una separación aparente normal. En el perfil del este, la falla se proyecta con un echado aparente horizontal, mientras que las trazas del contacto se proyectan con un echado aparente de 26° S, y no es posible discernir el desplazamiento aparente. Se observa, sin embargo, un desplazamiento del bloque del techo sobre el bloque del piso por una distancia indeterminada.

Los elementos estructurales se muestran en la figura 116.

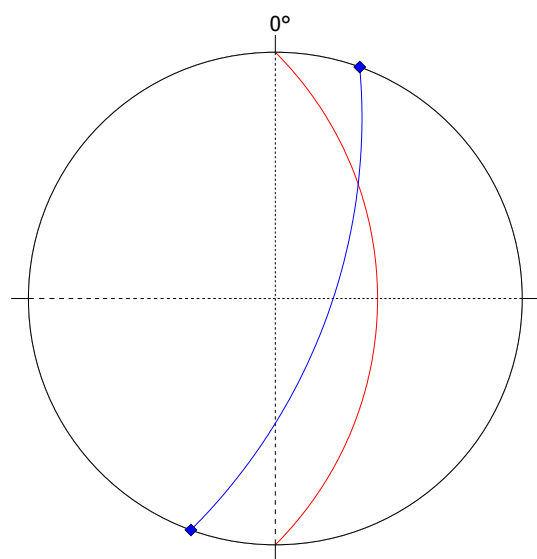


Figura 116.- Los datos del problema se presentan en una red estereográfica de Wulff. En color rojo se proyecta la falla, y en azul el contacto. En líneas discontinuas de color negro se proyectan los perfiles del norte-sur y este-oeste, utilizados en la figura 115.

La sección X-Y, muestra echados aparentes de ángulo bajo para la falla y el contacto, y una separación aparente normal (Figura 117).

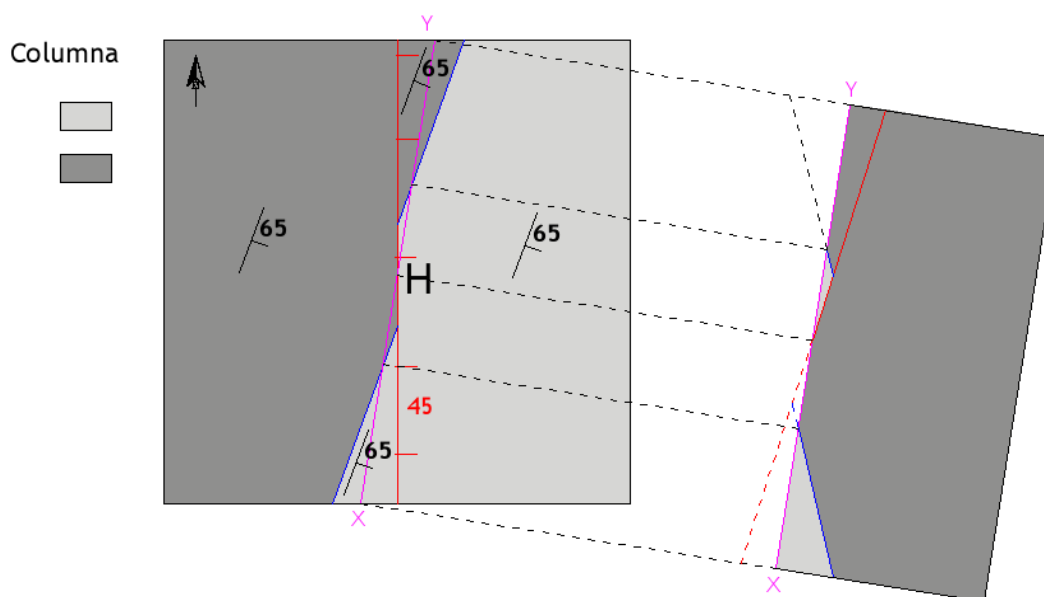


Figura 117. Sección X-Y según se muestra en el mapa, proyectada afuera del área. En la sección se observa una separación aparente normal donde sin embargo los echados aparentes de la falla y del contacto desplazado se proyectan con echados aparentes de ángulo bajo, debido a la cercanía del rumbo de la sección con los rumbos de la falla y del contacto en ambos bloques.

El desplazamiento real entre los bloques solo se puede determinar si se conoce la orientación del vector de desplazamiento. En la figura 118 que muestra el perfil de la falla, se han proyectado como ejemplos 5 vectores orientados arbitrariamente que satisfacen las separaciones observadas en el mapa, los perfiles y secciones discutidas, a pesar de producir soluciones aparentemente contradictorias.

En contraste con el Caso 17, la traza del plano truncado, ahora tiene un ángulo de pitch que se inclina en una dirección opuesta a la registrada en la figura correspondiente. Esto implica que ahora los vectores de desplazamiento, tienen componentes principalmente inversas, y solo en una zona los vectores tienen componente horizontal. También se hace notar que ahora el ángulo gama del plano truncado es menor de 90° .

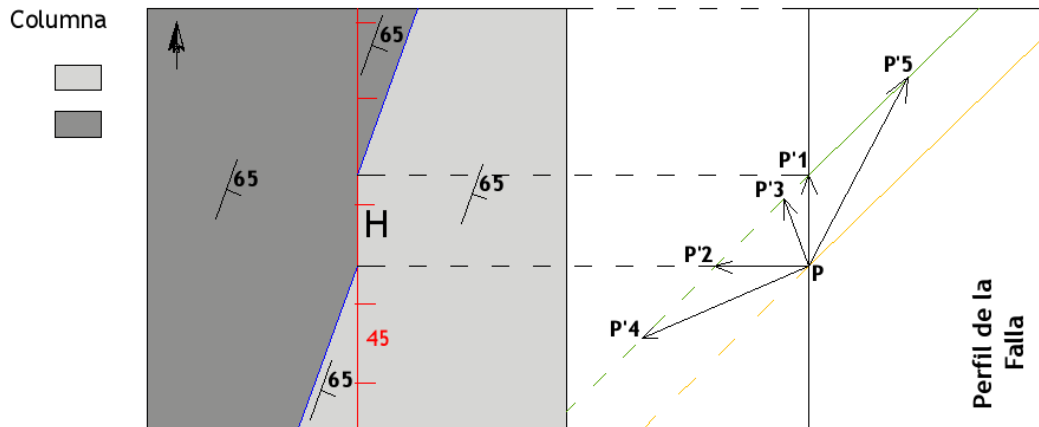


Figura 118. Mapa y perfil de la falla: En el perfil, se han proyectado las trazas de la intersección del plano del contacto con el plano de falla (Trazas del truncamiento de plano truncado = “cut off line”). La traza del bloque del piso (TBP) se proyectó en color negro, y la traza del bloque del techo en azul, de acuerdo a sus respectivos ángulos de pitch. Los vectores de deslizamiento se inician en el punto O, y se proyectan en el plano de falla como vectores: 1, 2, 3, 4 y 5.

Utilizando como punto de perforación de arete (“*piercing point*”), a la intersección de la traza del plano desplazado (i.e del contacto) con el plano horizontal que representa al mapa, se proyectan los vectores 1 a 5, para mostrar ejemplos de vectores de desplazamiento con diferentes ángulos de pitch, cuyas magnitudes se sintetizan en la tabla 18.

Tabla 18.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral izquierdo
2	90°	Inverso
3	23°	Izquierdo Inverso
4	127°	Derecho Inverso
5	18°	Izquierdo Normal

Cada uno de ellos ilustra diferentes tipos de fallamiento oblicuo (vectores 3, 4 y 5), y los casos especiales de los vectores 1 (deslizamiento izquierdo, puramente lateral, i.e. Pitch = 0°) y 2 (deslizamiento puramente inverso, i.e. pitch = 90°). La orientación de estos dos últimos sirve para delimitar zonas del plano de falla que indican regímenes transpresivos y/o transtensivos con componentes oblicuas. La síntesis de estas zonas se presenta, en el perfil regionalizado del plano de falla mostrado en la figura 119.

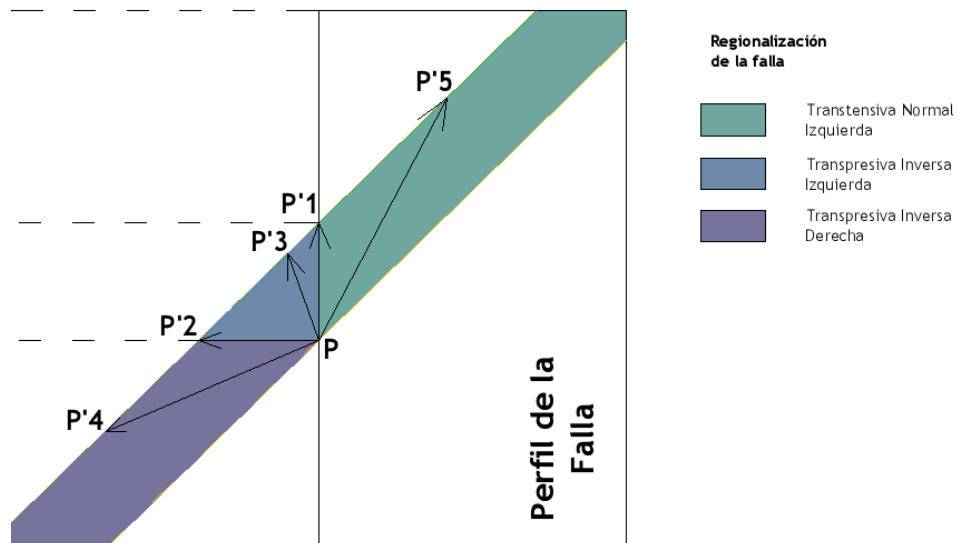


Figura 119. Mapa y perfil de la falla regionalizado. Con colores se ilustran las zonas de fallamiento oblicuo. La zona 1, corresponde con un fallamiento transpresivo inverso derecho. La zona 2 corresponde con un fallamiento transpresivo inverso izquierdo. Y la zona 3 con un fallamiento transtensivo normal izquierdo. Casos especiales lo representan los vectores 1 horizontal con un ángulo de pitch de 0° y desplazamiento lateral izquierdo (left lateral strike slip), y el vector 2, con un ángulo de pitch de 90° , con desplazamiento puramente inverso en la dirección del echado (inverse dip slip).

Estas relaciones estructurales entre bloques y las proyecciones en los perfiles verticales y sobre el perfil de la falla, se aprecian en el bloque diagramático de la figura 120. En el cubo diagramático en color rojo pálido se proyecta el plano de falla y en color azul pálido se el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

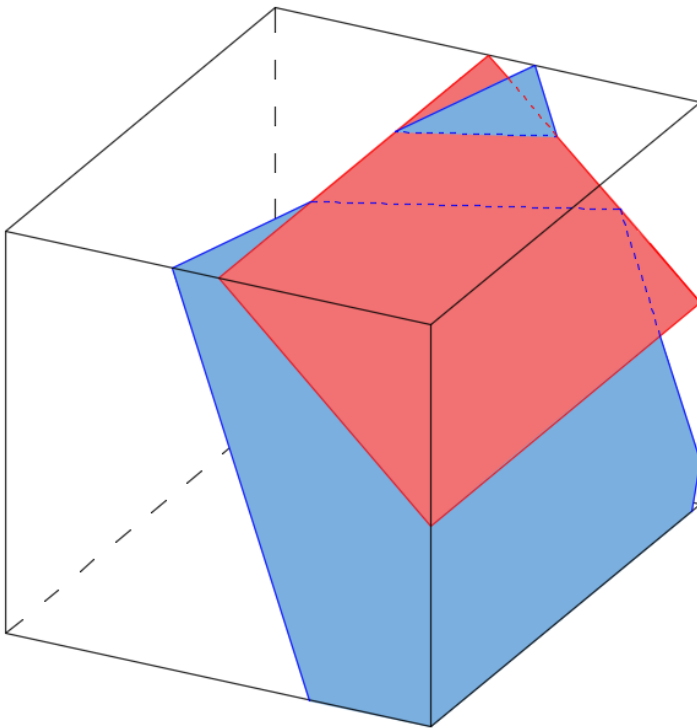


Figura 120. Esquema diagramático en 3D simplificado de los elementos estructurales del problema. En color azul pálido se representa al plano truncado del contacto. En color rojo se representa al plano de falla.

V.4.3 Caso 19 (Gama = 90°)

Una falla de rumbo N-S y echado de 45° al este, corta el contacto entre dos unidades, orientado N20°E/47°SE. El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del sur no se puede establecer una separación porque el echado verdadero de la falla y el echado aparente del contacto son paralelos (i.e. se proyectan con el mismo valor de 45° E); lo mismo se observa en el perfil del norte. En contraste en el perfil del Este, la falla se proyecta con un echado aparente horizontal, y el plano del contacto se proyecta con un echado aparente suave de 20° S y un desplazamiento aparente horizontal del bloque del techo sobre el bloque del piso. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 121.

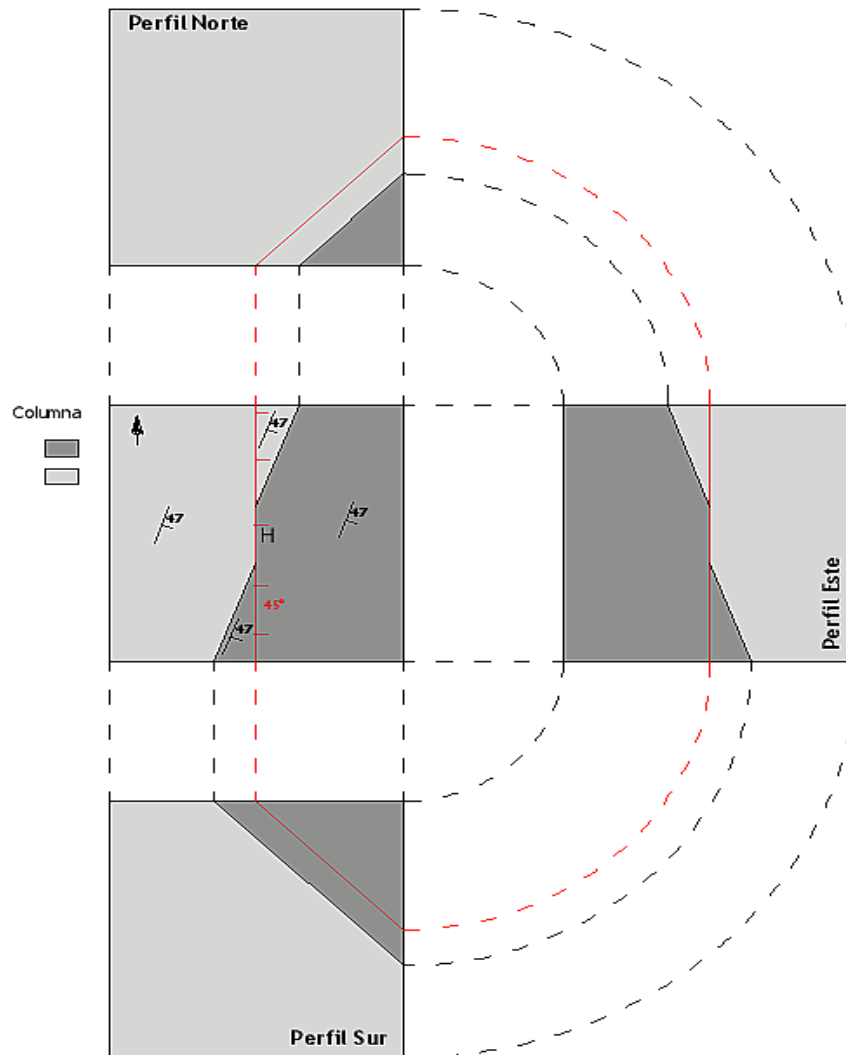


Figura 121. El contacto en el mapa, muestra una separación izquierda. En el perfil del sur, la falla se proyecta con su echado verdadero (45° E). Y el contacto se proyecta con un echado aparente también de 45° E, coincidente con el de la falla, lo mismo se observa en el perfil Norte, esto se deduce en la proyección estereográfica mostrada en la figura 2. En el perfil del Este, la falla se proyecta con un echado horizontal, porque el perfil tiene un rumbo paralelo al rumbo de la falla. Mientras que el contacto muestra un echado aparente de 20° S, y un desplazamiento aparente del bloque del techo deslizándose horizontalmente hacia el N sobre el bloque del piso.

Las orientaciones de los elementos estructurales del mapa se presentan en la figura 122.

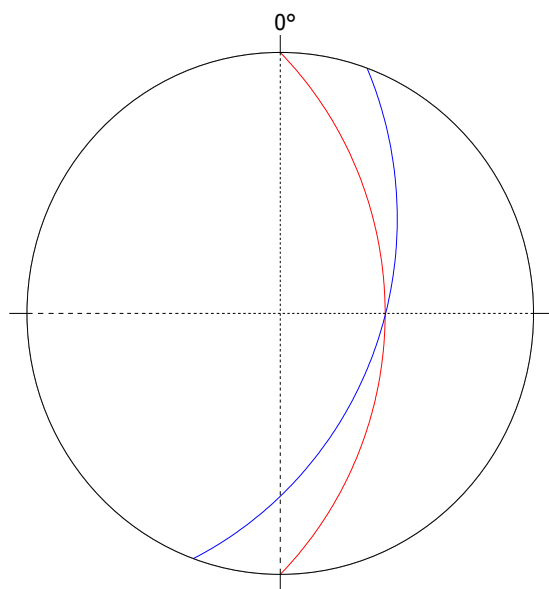


Figura 122. Proyección estereográfica de los elementos estructurales del problema. Plano de falla en rojo, y en azul el contacto. En línea discontinua, se proyectan los planos verticales de los perfiles laterales. Nótese que en los perfiles E-W, el echado aparente del contacto coincide con el echado verdadero de la falla (i.e. 45° E). En el perfil N-S, el echado aparente de la falla es 0° , y del contacto 20° al Sur.

El perfil de la falla mostrado en la figura 123 muestra en contraste, que las trazas del contacto en el bloque del piso y en el bloque del techo (es decir el ángulo gama), se proyectan con un ángulo de pitch de 90° , como se ilustra en la red estereográfica de la figura 2.

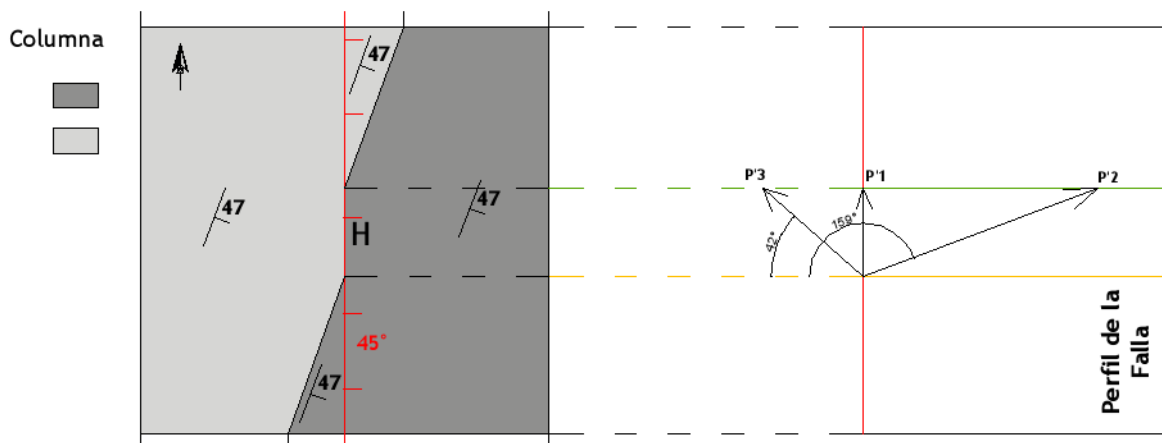


Figura 123. Mapa y perfil de la falla. En el perfil de la falla las trazas de intersección del contacto del bloque del piso (en naranja) y del bloque del techo (en verde), muestran un ángulo de pitch de 90° , congruente con lo mostrado en la figura 2. Se ilustran a manera de ejemplo la orientación de tres posibles vectores de desplazamiento, que producirían el mismo patrón de afloramiento en el mapa y el perfil de la falla (i.e vectores 1, 2 y 3), como se discute en el texto.

Esta coincidencia entre el echado aparente del contacto y el echado verdadero de la falla, resulta de tener en el plano del contacto un echado verdadero tal que su intersección con el plano de falla cuando se proyecta en el perfil de la falla se orienta en la dirección de la línea de máxima pendiente de la esta.

Para ilustrar el efecto que puede tener el desplazamiento del bloque del techo sobre el bloque del piso, se han proyectado al azar tres vectores que ejemplifican las diferentes trayectorias de desplazamiento compatibles con el modelo.

La orientación de estos vectores en el plano de falla y la magnitud del desplazamiento se sintetizan en la tabla 19.

Tabla 19.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral izquierdo.
2	159°	Oblicuo normal izquierdo.
3	42°	Oblicuo inverso izquierdo.

El desplazamiento total o salto neto, corresponde con la magnitud del vector correspondiente y se obtiene del algoritmo discutido con anterioridad. El sentido del desplazamiento entre los bloques se deduce del movimiento relativo del bloque del techo con respecto al bloque del piso manteniendo arbitrariamente fijo. Estos vectores nos sirven para regionalizar (i.e. mapear), el plano de falla en áreas que muestran las posibles trayectorias de desplazamiento, ilustrados en la figura 124.

El vector 1 representa un sentido de desplazamiento puramente lateral izquierdo con un ángulo de pitch de 0°. El vector 2, representa un sentido de desplazamiento oblicuo normal izquierdo, con un ángulo de pitch de 159°. El vector 3, representa un sentido de desplazamiento oblicuo inverso izquierdo, con un ángulo de pitch de 42°.

De los vectores propuestos en la tabla 1, el vector 1 es un caso especial donde el ángulo de pitch es de 0°, y por lo tanto el movimiento es puramente horizontal, y coincide con la línea de tierra. Esta línea sirve de frontera entre las dos regiones mostradas en la figura 124.

La orientación de los vectores está controlada por el ángulo de pitch, para el cual se adopta la siguiente convención: este ángulo se mide desde la derecha (i.e. la orientación del plano de falla se orienta de tal manera que el plano se incline hacia el observador).

Los ángulos medidos hacia debajo de la línea de tierra se consideran con signo negativo, y los medidos hacia arriba de la línea de tierra con signo positivo.

En otras palabras, los vectores cuya orientación comprenda un ángulo de pitch con signo negativo implica una componente normal, y aquellos con signo positivo implican una componente inversa.

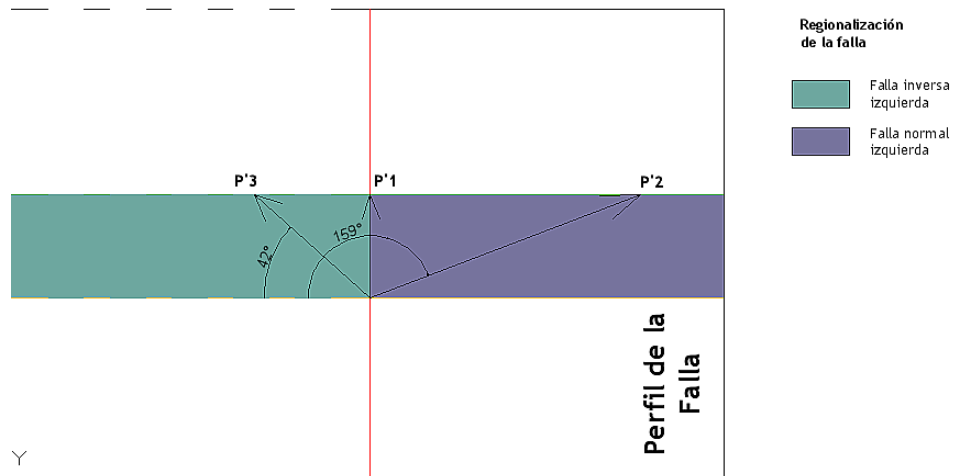


Figura 124. Perfil de la falla regionalizado. Las regiones mostradas con color, muestran las áreas que podría albergar a los vectores para producir los sentidos de desplazamiento descritos en el texto. Nótese que los ejemplos mostrados ilustran solo algunas posibilidades entre muchísimas que producirían el mismo patrón de afloramiento en el mapa, perfiles laterales y en el perfil de la falla. Ver discusión en el texto.

Estas relaciones estructurales entre bloques y las proyecciones en los perfiles verticales y sobre el perfil de la falla, se aprecian en el bloque diagramático de la figura 125. En el cubo diagramático en color rojo pálido se proyecta el plano de falla y en color azul pálido se el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

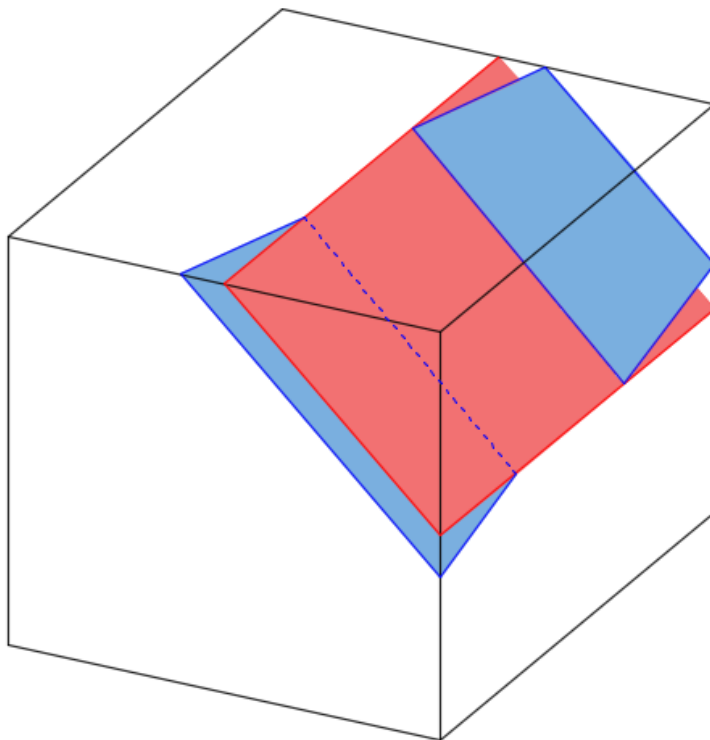


Figura 125. Esquema diagramático en 3D simplificado de los elementos estructurales del problema. En color azul pálido se representa al plano truncado del contacto. En color rojo con se representa al plano de falla. En la figura se puede apreciar como la línea de intersección del plano truncado en el plano de falla forma un ángulo de pitch de 90°. Ver discusión en el texto.

V.4.3 Caso 20

Una falla de rumbo N30E y echado de 60° al SE, corta el contacto entre dos unidades con orientación S60°W/30°NW. El mapa muestra una separación aparente izquierda, y en el perfil del Sur, perpendicular al rumbo de la Falla, se observa una separación aparente inversa. El mapa y los perfiles laterales se presentan en la figura 126.

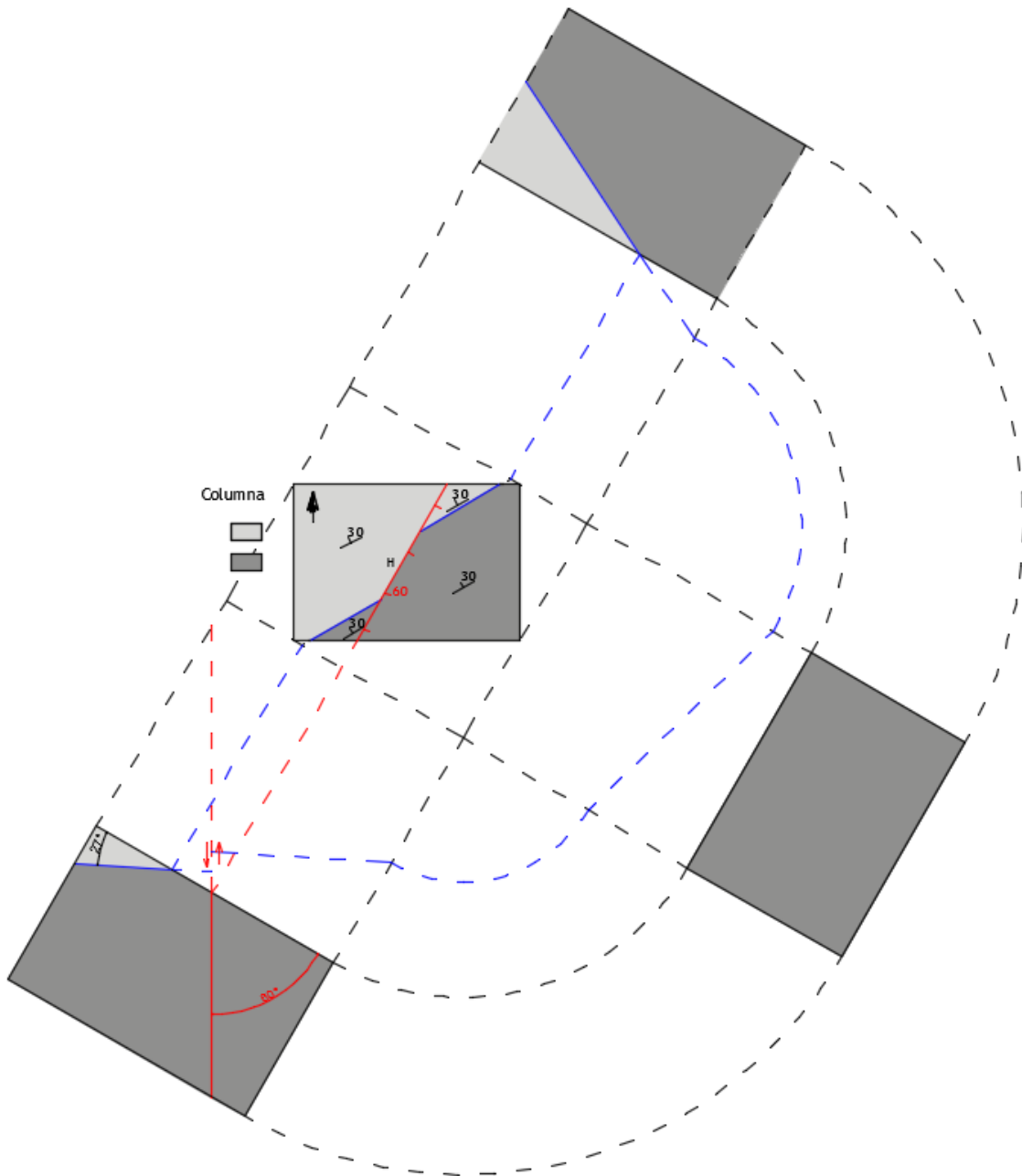


Figura 126. El contacto en el mapa, muestra una separación izquierda. En el perfil del sur, la falla se proyecta con su echado verdadero (60° SE). Y el contacto se proyecta con un echado aparente de 27° NW donde también se observa un desplazamiento aparente inverso.

Las orientaciones de los elementos estructurales del mapa se presentan en la figura 127.

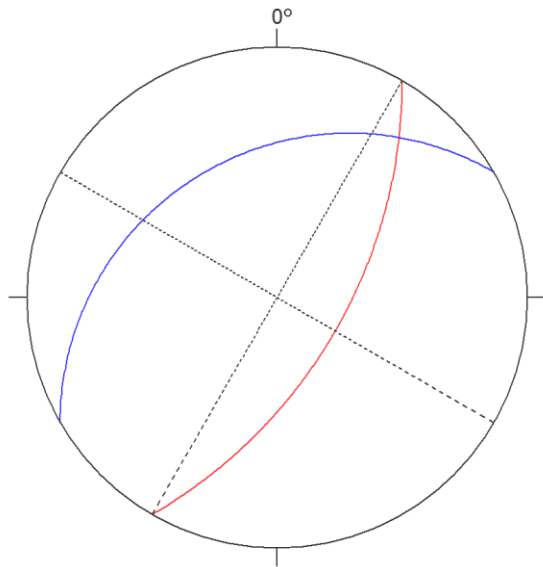


Figura 127. Proyección estereográfica de los elementos estructurales del problema. Plano de falla en rojo, y en azul el contacto. En línea discontinua, se proyectan los planos verticales de los perfiles laterales.

El perfil de la falla mostrado en la figura 128 muestra las trazas del contacto en el bloque del piso (BP) y en el bloque del techo (BT), así como las posibles trayectorias del vector de desplazamiento (P-P'1 a P'5).

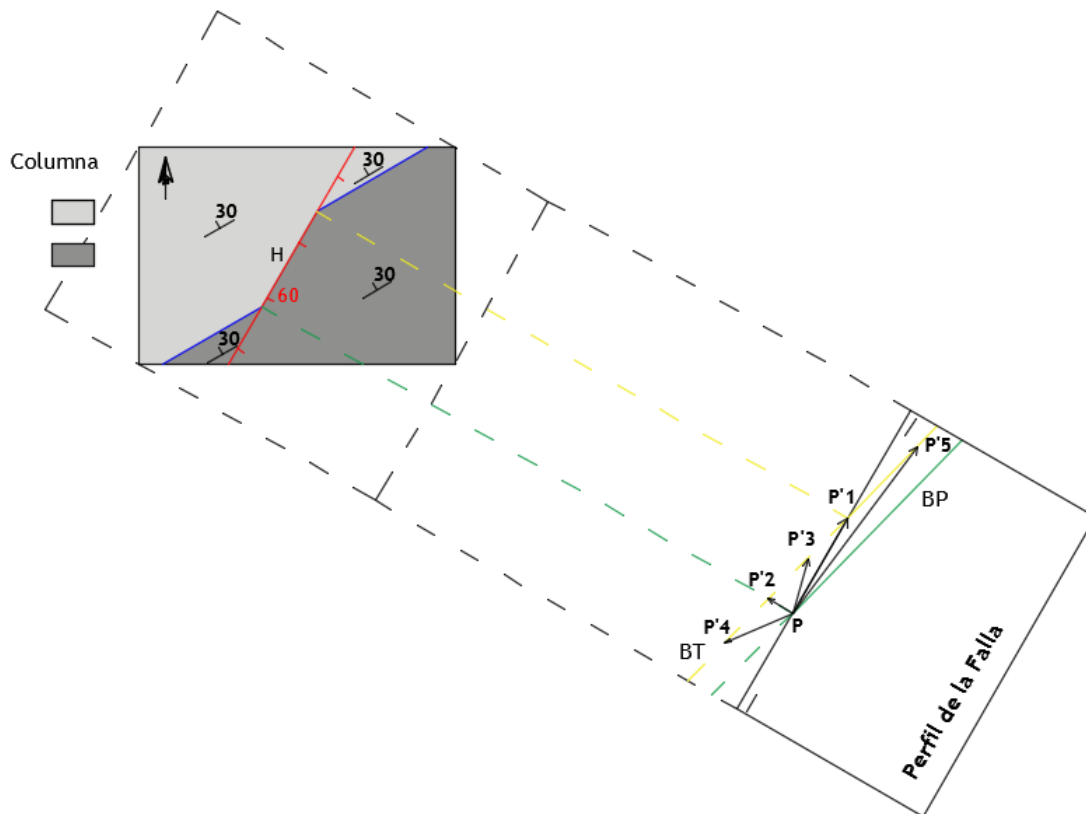


Figura 128. Mapa y perfil de la falla donde se muestran las trazas de intersección del contacto del bloque del piso (BP en verde) y del bloque del techo (BT en amarillo, también se ilustran la orientación de posibles vectores de desplazamiento.

Para ilustrar el efecto que puede tener el desplazamiento del bloque del techo sobre el bloque del piso, se han proyectado al azar cinco vectores que ejemplifican las diferentes trayectorias de desplazamiento compatibles con el modelo.

La orientación de estos vectores en el plano de falla y la magnitud del desplazamiento se sintetizan en la tabla 20.

Tabla 20.

Vector	Pitch	Sentido del desplazamiento
1	0°	Lateral izquierdo
2	90°	Inverso
3	23°	Izquierdo Inverso
4	127°	Derecho Inverso
5	18°	Izquierdo Normal

El desplazamiento total o salto neto, corresponde con la magnitud del vector correspondiente y se obtiene del algoritmo discutido con anterioridad. El sentido del desplazamiento entre los bloques se deduce del movimiento relativo del bloque del techo con respecto al bloque del piso manteniendo arbitrariamente fijo. Estos vectores nos sirven para regionalizar (i.e. mapear), el plano de falla en áreas que muestran las posibles trayectorias de desplazamiento, ilustrados en la figura 129.

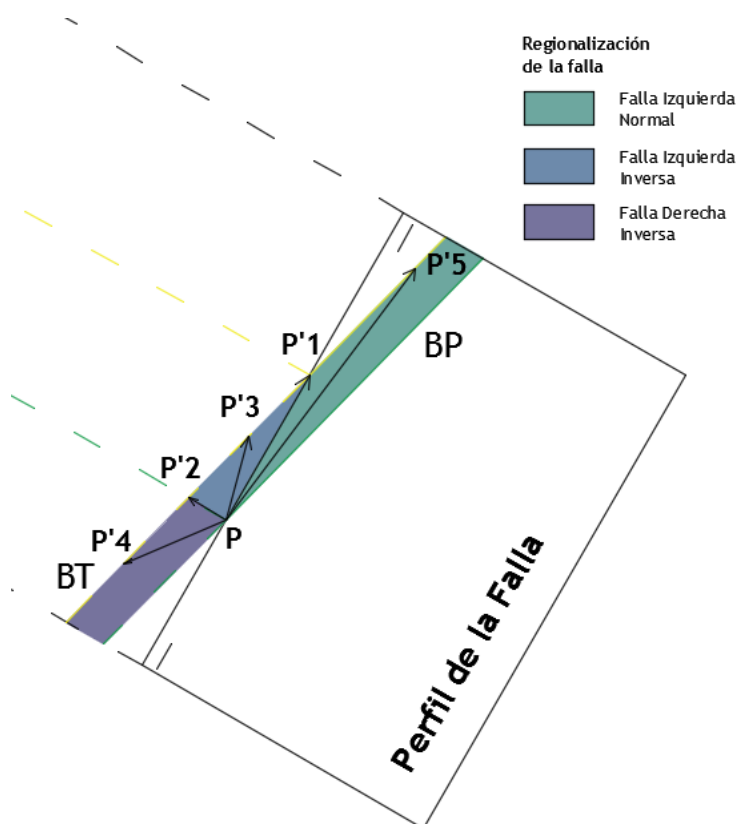


Figura 129. Perfil de la falla regionalizado. Las regiones mostradas con color, muestran las áreas que podría albergar a los vectores para producir los sentidos de desplazamiento descritos en el texto. Nótese que los ejemplos mostrados ilustran solo algunas posibilidades entre muchísimas que producirían el mismo patrón de afloramiento en el mapa, perfiles laterales y en el perfil de la falla. Ver discusión en el texto.

Estas relaciones estructurales entre bloques y las proyecciones en los perfiles verticales y sobre el perfil de la falla, se aprecian en el bloque diagramático de la figura 130. En el cubo diagramático en color rojo pálido se proyecta el plano de falla y en color azul pálido se el plano del contacto entre las formaciones descritas, truncado por el plano de falla.

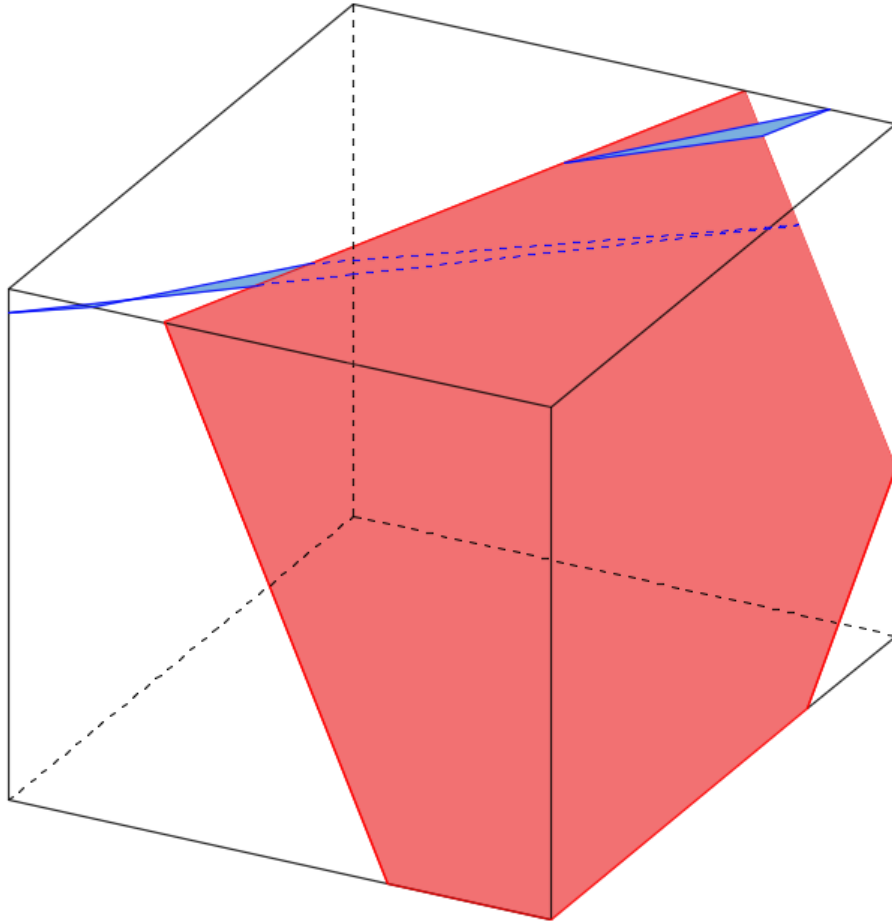


Figura 130. Esquema diagramático en 3D simplificado de los elementos estructurales del problema. En color azul pálido se representa al plano truncado del contacto. En color rojo se representa al plano de falla.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Arellano Gil, Javier [y otros.], 2002. Ejercicios de geología estructural, UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Beckwith, R.H., 1941. Trace-slip Faults. American Association of Petroleum Geologist Bulletin 25, 2181-2193.
- Belousov, V. V. (Vladimir Vladimirovich), 1979. Geología Estructural, Moscu
- Billings, Marland Pratt, 1942. Structural Geology. Prentice Hall.
- Dennis, John G., 1972. Structural Geology, Ronald Press.
- Fossen, Haakon, 1961. Structural Geology, Cambridge University Press.
- Hatcher, Robert D., 1940. Laboratory manual for Structural Geology, Prentice Hall.
- Hatcher, Robert D., 1940. Structural Geology: Principles, Concepts, and Problems, Prentice Hall.
- Hills, Edwin Sherbon, 1963. Elements of Structural Geology, Methuen.
- Jaroszewski, Wojcieck, 1984. Fault and Fold Tectonics, E. Horwood.
- Lisle, Richard J., 1988. Geological Structures and Maps: A Practical Guide, Pergamon Press.
- Marshak, Stephen 1988. Basic Methods of Structural Geology, Prentice Hall.
- Okla, 1988-1989. Structural Concepts and Techniques: American Association of Petroleum Geologists.
- Padilla y Sánchez, Ricardo José, 2013. Geología estructural, Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México.
- Padilla y Sánchez, Ricardo José, Elementos de Geología estructural
- Park, R. Graham, 1997. Foundations of Structural Geology, S. Thorne
- Pollard, David D., 2005. Fundamentals of Structural Geology, Cambridge University Press.
- Price, Neville J., 1990. Analysis of Geological Structures, Cambridge University Press.
- Ragan, Donal M., 1985. Structural Geology: An introduction to geometrical techniques, J. Wiley.
- Ramsay, John G., Huber, Martín I., 1983. The techniques of modern structural geology, Academic.
- Rios, J. M., 1990. Curso de geología estructural: En preparación, Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros de minas.
- Rowland, Stephen M., 1994. Structural analysis and synthesis: a laboratory course in structural geology Blackwell Scientific.
- Sitter, Lamoral Ulbo De, 1974, Geología estructural, Omega.
- Tar buck, Edward J., 1999. Earth: an introduction to physical geology, Prentice Hall.
- Twiss, Robert J., 1992. Structural geology, W. H. Freeman.
- Van der Pluijm, Ben A., 1955. Earth structure: an introduction to structural geology and tectonics, W. W. Norton.

APÉNDICE I. TERMINOLOGÍA

Las siguientes definiciones han sido tomadas de distintos libros los cuales están citados en la Bibliografía.

Rumbo. (Strike).

Dirección de la línea de intersección entre un plano inclinado y uno horizontal.

Echado. (Dip).

Ángulo de Inclinación de un plano por debajo de la horizontal. Rumbo y Echado se utilizan para definir Planos.

Pitch.

Se define como el ángulo formado entre una línea y el rumbo del plano en donde se encuentra el elemento lineal (i.e estría, veta, dique, contacto) medido sobre el plano.

Dirección. (Trend).

Dirección de un plano vertical que contiene a una línea de interés.

Buzamiento. (Plunge).

Es el ángulo de inclinación de una línea por debajo de la horizontal. Dirección y Buzamiento se utilizan para definir Líneas.

Falla. (Fault).

Superficie o zona de fractura a lo largo de la cual ha habido desplazamiento apreciable. Es un fenómeno donde la continuidad de las rocas ha sido interrumpida y las partes separadas muestran un desplazamiento relativo a lo largo de esa superficie. En la práctica el termino falla se usa como sinónimo de superficie de falla.

Superficie de Falla. (Fault Surface).

Es la superficie hipotética a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento. Comúnmente la superficie no es estrictamente plana, incluso el término superficie de falla es solo una aproximación, debido a que el desplazamiento ocurre en una franja de muchas fallas menores. Cuando ese cinturón es de un tamaño considerable se le llama zona de falla.

Bloques de Falla. (Fault Sides).

Son los bloques de roca que han sido separadas por la superficie de falla. En la práctica, el concepto de bloques de falla, está confinado a regiones en la vecindad de la superficie de falla.

Bloque de Piso. (Floor Wall).

Bloque inferior de un cuerpo rocoso separado por una falla horizontal o inclinada.

Bloque de Techo. (Hanging Wall).

Bloque superior de un cuerpo rocoso separado por una falla horizontal o inclinada.

Traza de Falla. (Fault Line).

Traza de intersección del plano de falla con la topografía o el plano considerado (planta o perfil). En los mapas o en el campo, las fallas se observan como trazas en la superficie del terreno. Estas trazas pueden ser observables con métodos de percepción remota o en fotos aéreas como alineamientos, muchos de estos rasgos pueden deberse a estructuras diferentes de las fallas (por ejemplo: escarpes provocados por cambios de facies litológicas, accidentes geomorfológicos, discordancias, etc.). Resulta por lo tanto importante hacer una distinción de estos rasgos y profundizar en su comprensión.

Throw.

Es la componente vertical del desplazamiento relativo de los bloques de falla, medida sobre un plano vertical perpendicular al rumbo de la falla.

Heave.

Es la componente horizontal del desplazamiento relativo de los bloques de falla, medida sobre un plano vertical perpendicular al rumbo de la falla.

Separación (Separation).

Distancia perpendicular entre las dos trazas de un plano guía desplazado medida en el plano de falla. Las componentes de la separación se pueden medir en varias direcciones específicas. Dos de ellas se usan muy comúnmente: la separación según la dirección (medida paralelamente a la dirección de la falla) y la separación según el buzamiento (medida paralelamente al buzamiento de la falla).

El sentido de la separación del plano desplazado, puede ser normal o inversa en una sección, o derecha o izquierda en un mapa. Con frecuencia el desplazamiento es oblicuo, presentándose desplazamientos con componentes combinados de las separaciones descritas. Por ejemplo, normal derecha, normal izquierda, etc...

Usualmente para la representación de elementos estructurales en mapas (proyecciones horizontales), secciones (proyecciones verticales) y perfiles inclinados, como los perfiles de pliegues o de falla, se establece una terminología para describir la separación aparente. En esos planos se establece el sentido del vector con adjetivos de separaciones aparentes derechas o izquierdas en mapas, o bien normales o inversas.

Adicionalmente cuando la separación aparente es nula o cero, se puede demostrar que corresponde con un deslizamiento >0 , cuyo vector de deslizamiento tiene un ángulo de pitch idéntico al de la línea de intersección del plano truncado en el plano de falla.

Separación Aparente.

Se refiere a la separación observada en una planta o mapa, o en una sección vertical perpendicular rumbo del plano de falla (donde se observa el echado verdadero del plano de falla).

Mientras no se establezca la dirección del vector de desplazamiento (i.e. la orientación de la estría), la separación no representará el salto neto.

En el mapa o planta, la separación podrá ser derecha, izquierda o nula. La separación según el rumbo (Dip separation), implica desplazamiento paralelo al rumbo de la falla.

En la sección perpendicular al rumbo de la falla, la separación podrá ser normal, inversa o nula. La separación en la dirección del echado (dip separation), implica un desplazamiento paralelo al echado de la falla.

La orientación del vector de desplazamiento en la dirección del rumbo, (i.e. con un ángulo de pitch de 0°), representa un caso especial de desplazamiento puramente lateral (derecho o izquierdo).

La orientación del vector de desplazamiento en la dirección del echado (con ángulo de pitch de 90°), representa el caso especial de desplazamiento en la dirección del echado puramente normal, o puramente inverso.

En la generalidad de los demás casos, estaremos en presencia de desplazamientos oblicuos, en los cuales existirán componentes derechos o izquierdos y normales o inversos.

Consecuentemente la orientación del vector de deslizamiento representa la variable esencial para caracterizar una falla.

Separación en la dirección del Rumbo. (Strike Separation).

El desplazamiento aparente de las trazas de la capa en un plano horizontal, medido a lo largo del rumbo.

Separación en la dirección del Echado. (Dip Separation).

El desplazamiento aparente de las trazas de la capa en un plano vertical perpendicular a la línea de rumbo medido sobre la traza de la falla en ese plano vertical.

Separación Vertical. (Vertical Separation).

El desplazamiento de las capas medido verticalmente.

Separación Horizontal. (Horizontal Separation).

El desplazamiento de las capas medido horizontalmente.

Separación Perpendicular. (Perpendicular Separation).

El desplazamiento de las capas medido perpendicularmente una a otra.

(Throw or Throw Separation).

La componente vertical de la Separación en la dirección del Echado.

(Heave or Heave Separation).

La componente horizontal de la Separación en la dirección del Echado.

Desplazamiento o Salto. (Slip).

Término que describe el desplazamiento acumulado durante el período activo de la falla. También representa la variación de la posición de un marcador desplazado por el movimiento en la falla. El deslizamiento, sinónimo de desplazamiento representa la traslación entre dos puntos originalmente contiguos a ambos lados de la falla.

Movimiento relativo de bloques sobre el plano de falla, definido como el desplazamiento de puntos anteriormente adyacentes.

Desplazamiento Aparente.

La separación por falla representa un desplazamiento aparente de un marcador orientado según una línea dada.

En el mapa

En la sección perpendicular al rumbo de la falla

En el perfil de la falla.

Desplazamiento Verdadero o Salto Neto. (Net Slip).

Componentes del vector de desplazamiento en el plano de falla, en la dirección del rumbo, y en la dirección del echado.

Componentes del vector de desplazamiento sobre el plano vertical que contiene a ese vector.

Corresponde al desplazamiento en el plano falla de dos puntos originalmente contiguos. Estos puntos pueden ser virtuales, por ejemplo, líneas de intersección de dos planos no paralelos, y que atraviesan el plano de falla (piercing points) en dos sitios diferentes en los bloques de techo y de piso.

El Salto Total es dependiente de la separación aparente en mapas y secciones.

Salto en la dirección del Rumbo (Strike Slip).

La componente horizontal del desplazamiento de los bloques de falla (en fallas con desplazamiento en dirección del rumbo, esto es igual al salto neto)

Salto en la dirección del Echado. (Dip Slip).

La componente del desplazamiento de los bloques de falla paralela al echado de la superficie de falla (en fallas con desplazamiento en dirección del echado de la superficie de falla, esto es igual al salto neto).

Salto en dirección de la traza. (Trace Slip).

La componente del desplazamiento de los bloques de falla, paralelo a la traza de la capa en la superficie de la falla.

Salto Perpendicular. (Perpendicular Slip).

El desplazamiento perpendicular de las trazas de una capa en una superficie de falla medida en esa superficie

Salto Vertical. (Vertical Slip or Throw Slip).

La componente vertical del Salto en Dirección del Echado.

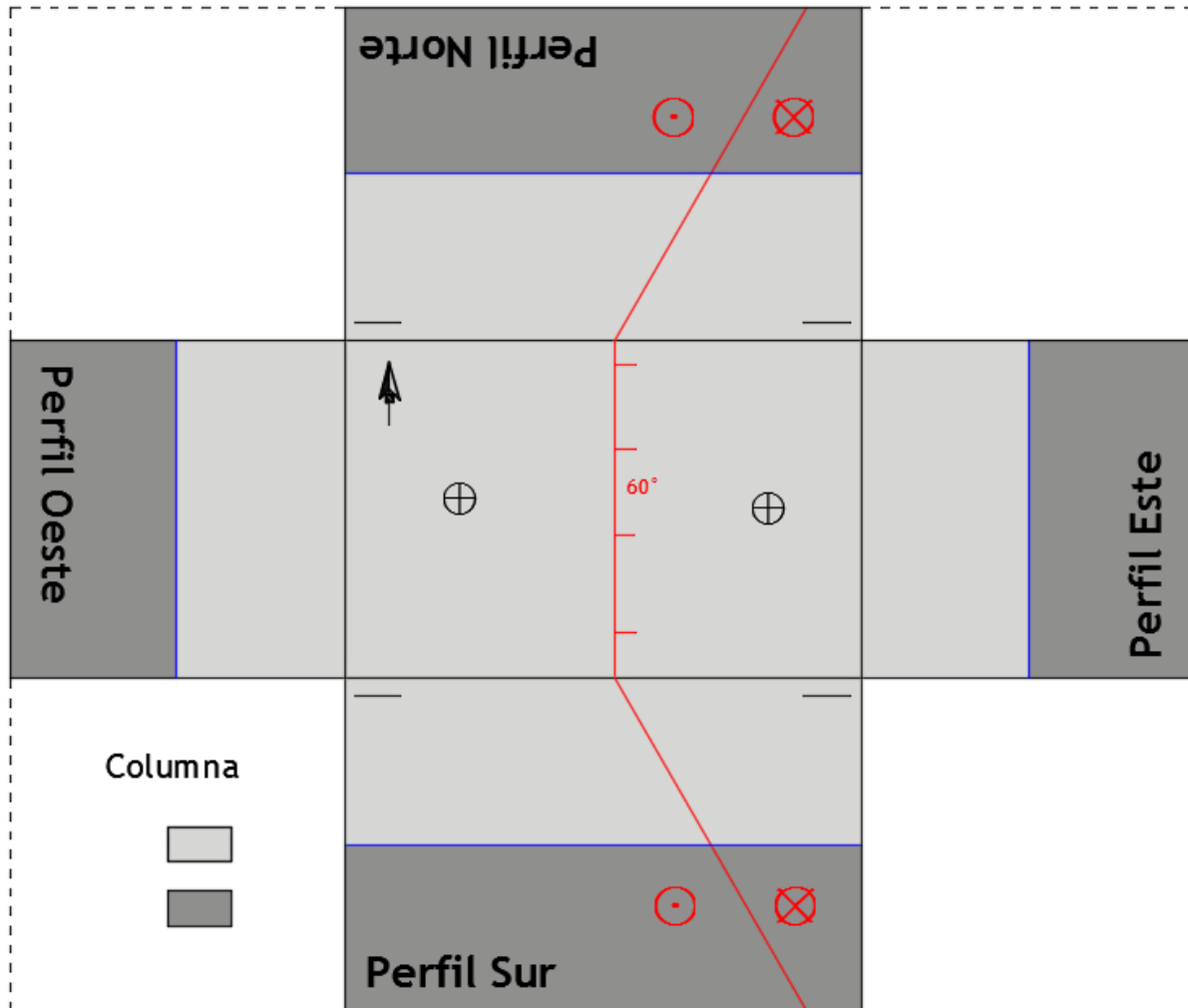
Salto Horizontal. (Horizontal Dip Slip or Heave Slip).

La componente horizontal del Salto en Dirección del Echado.

APÉNDICE II. MODELOS ARMABLES

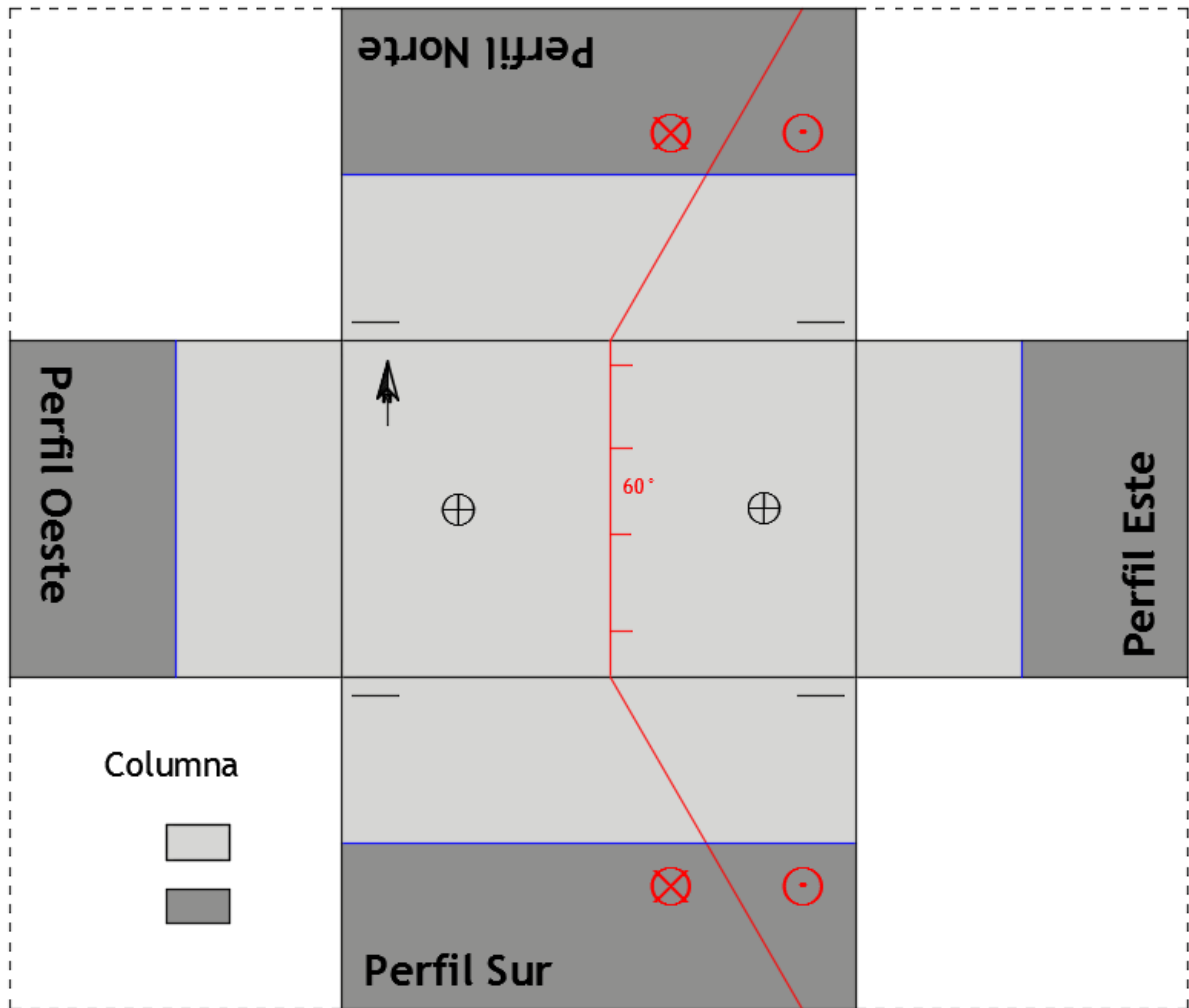
Planos Estructurales Horizontales truncados por Fallas

Desplazamiento Lateral Izquierdo



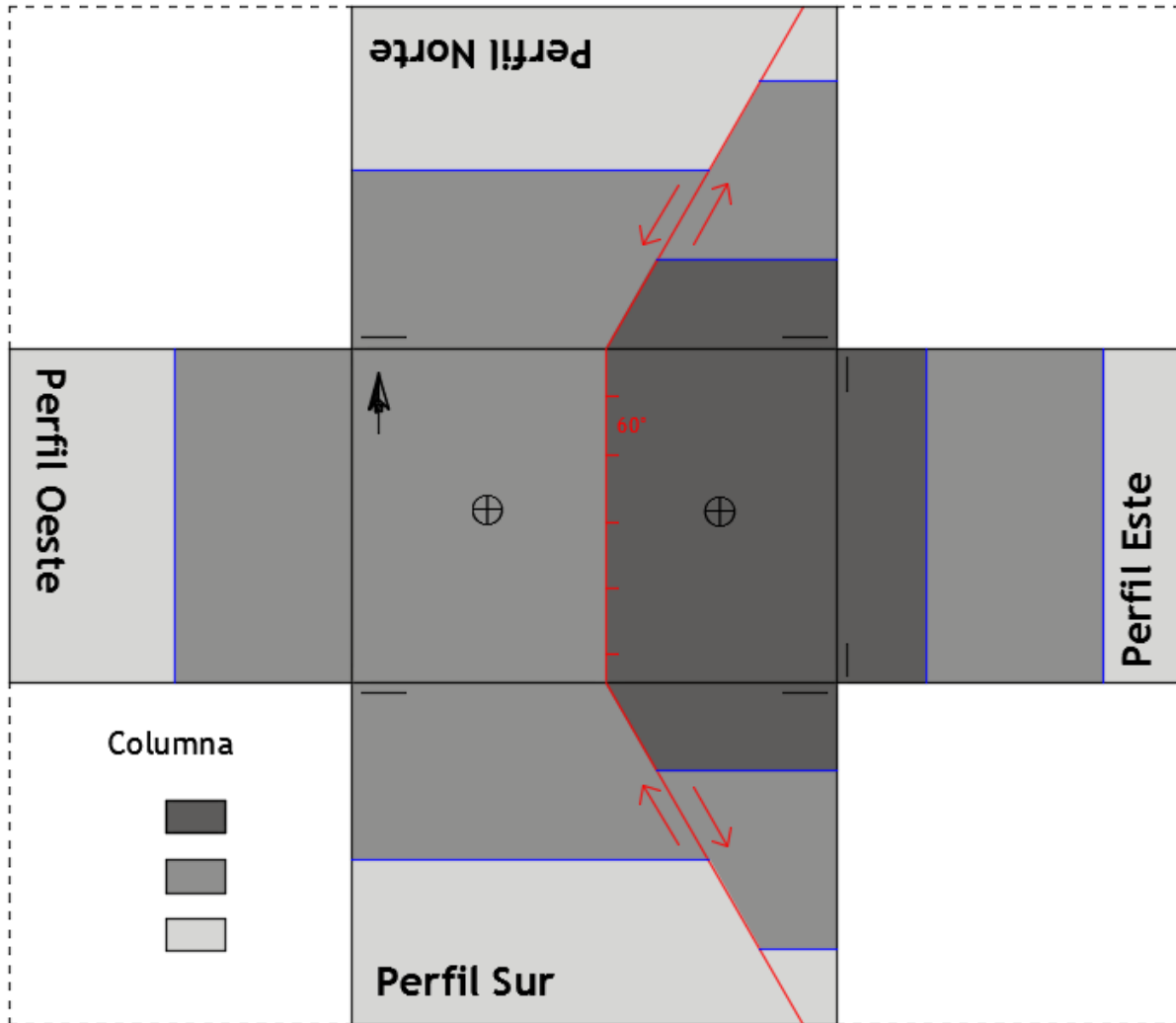
Planos Estructurales Horizontales truncados por Fallas

Desplazamiento Lateral Derecho



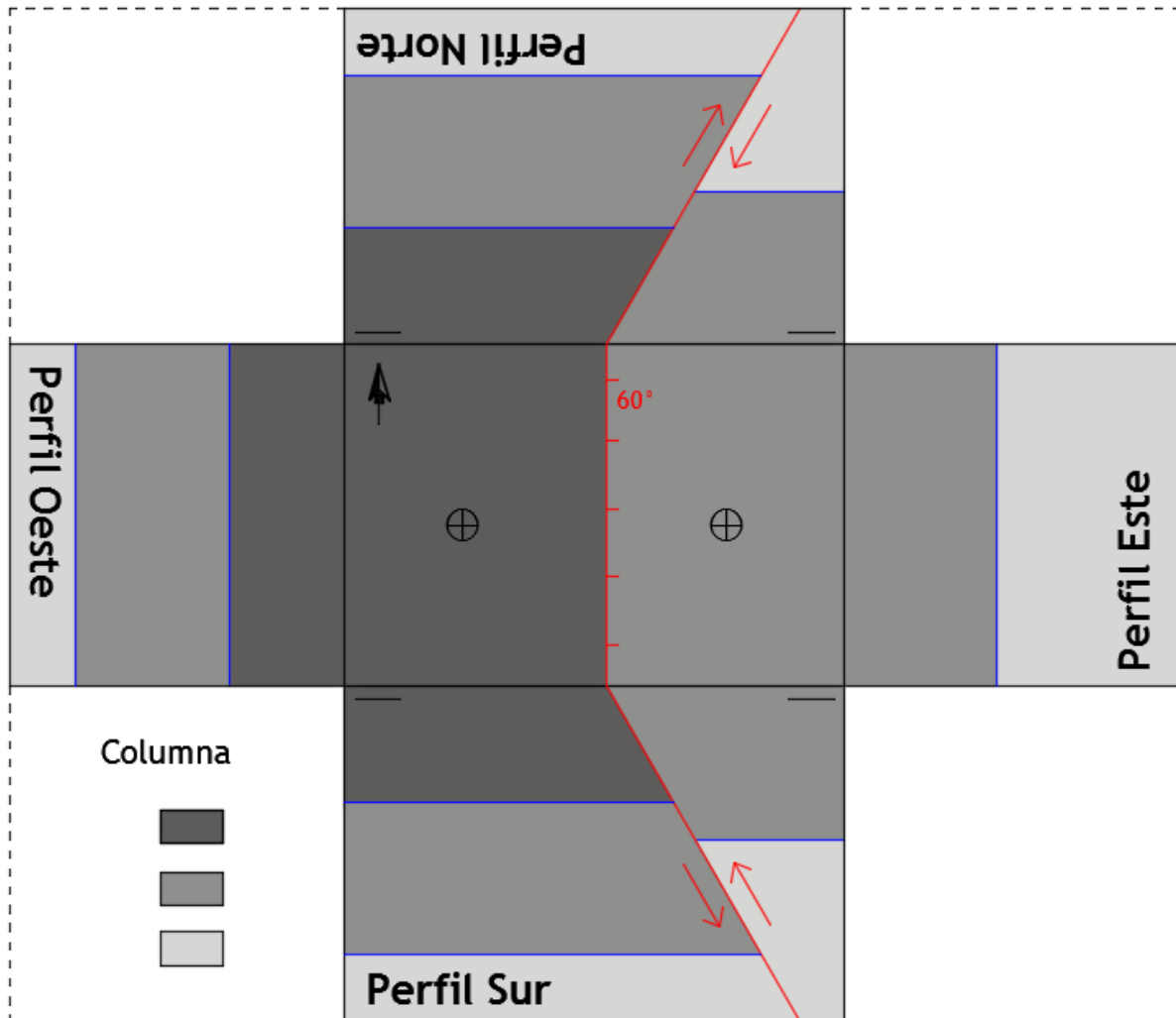
Planos Estructurales Horizontales truncados por Fallas

Desplazamiento en Dirección del Echado, Aparente Normal



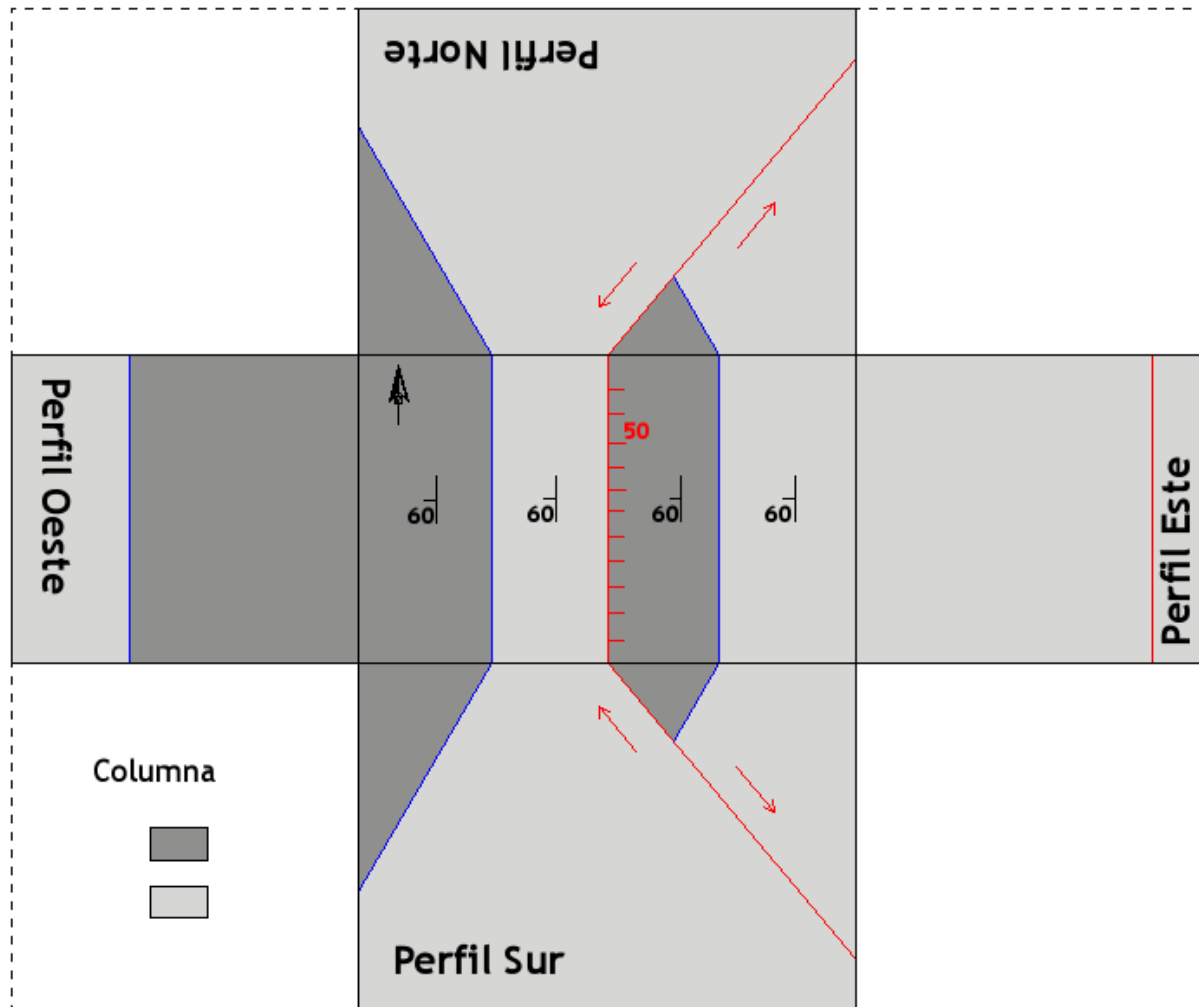
Planos Estructurales Horizontales truncados por Fallas

Desplazamiento en Dirección del Echado, Aparente Inverso



Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Paralelos

Echados Opuestos, Desplazamiento aparente Normal

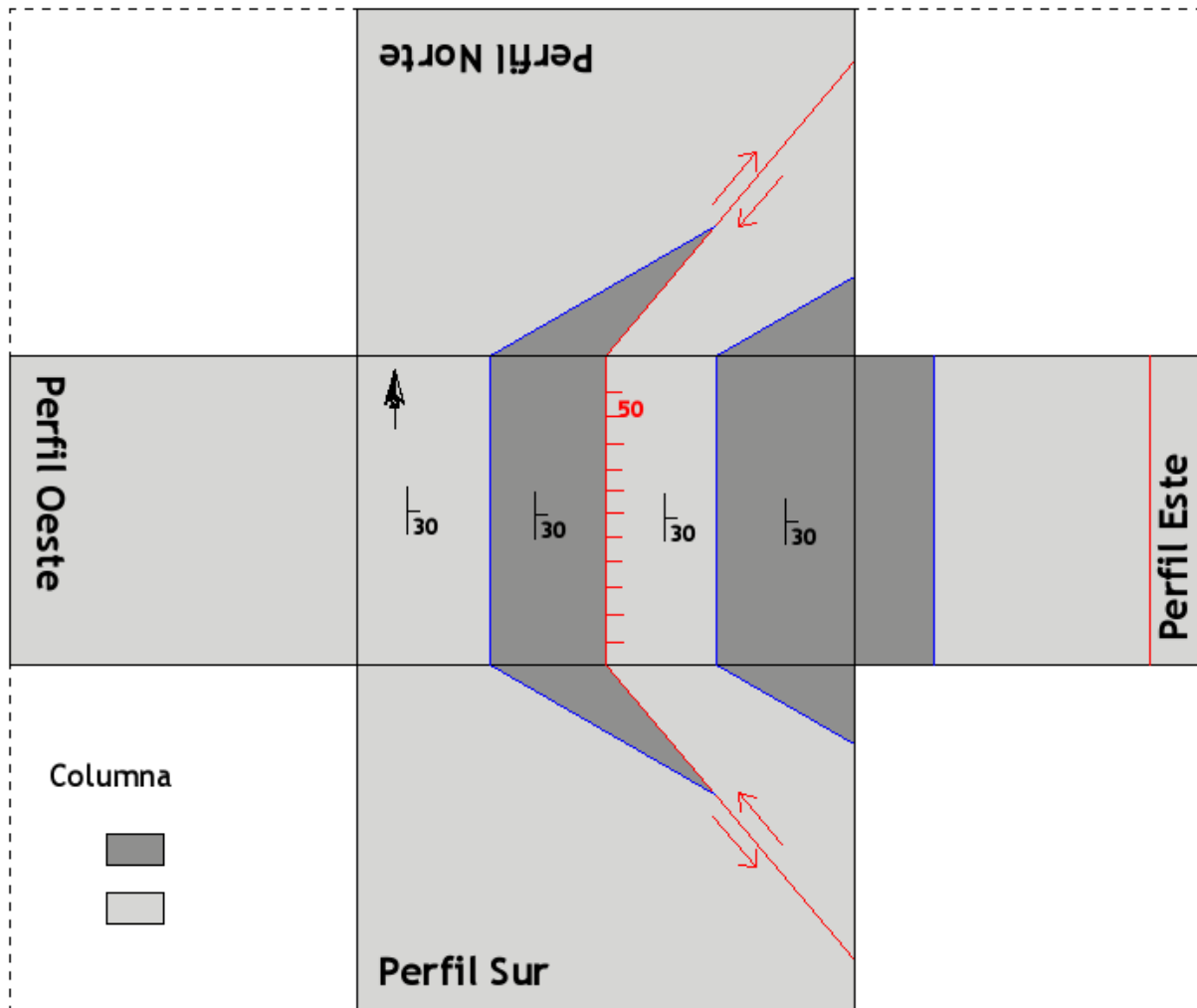


Echados Opuestos, Desplazamiento aparente Inverso



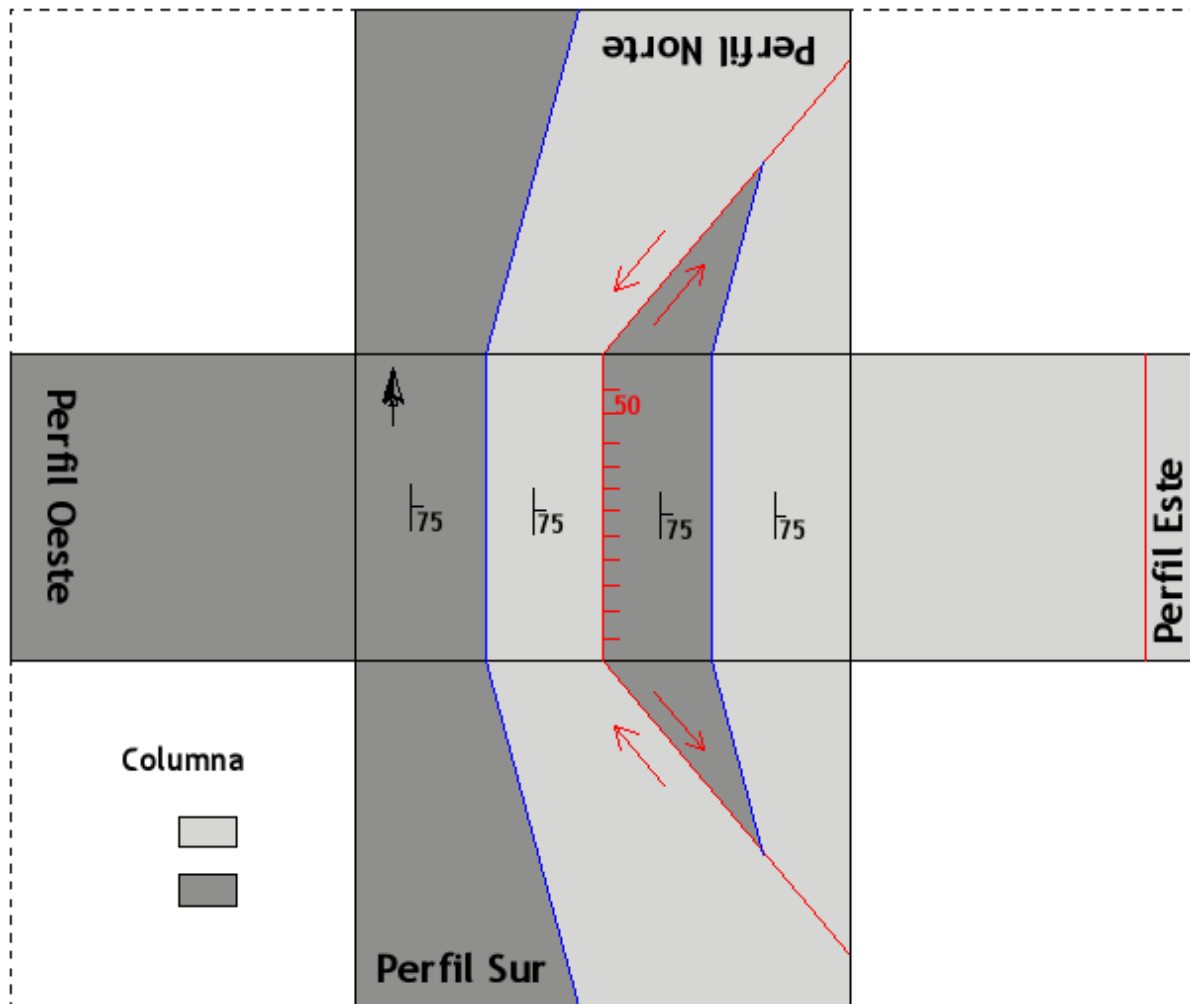
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Paralelos

Echados en la Misma Dirección, Echado del Contacto menor al de la Falla



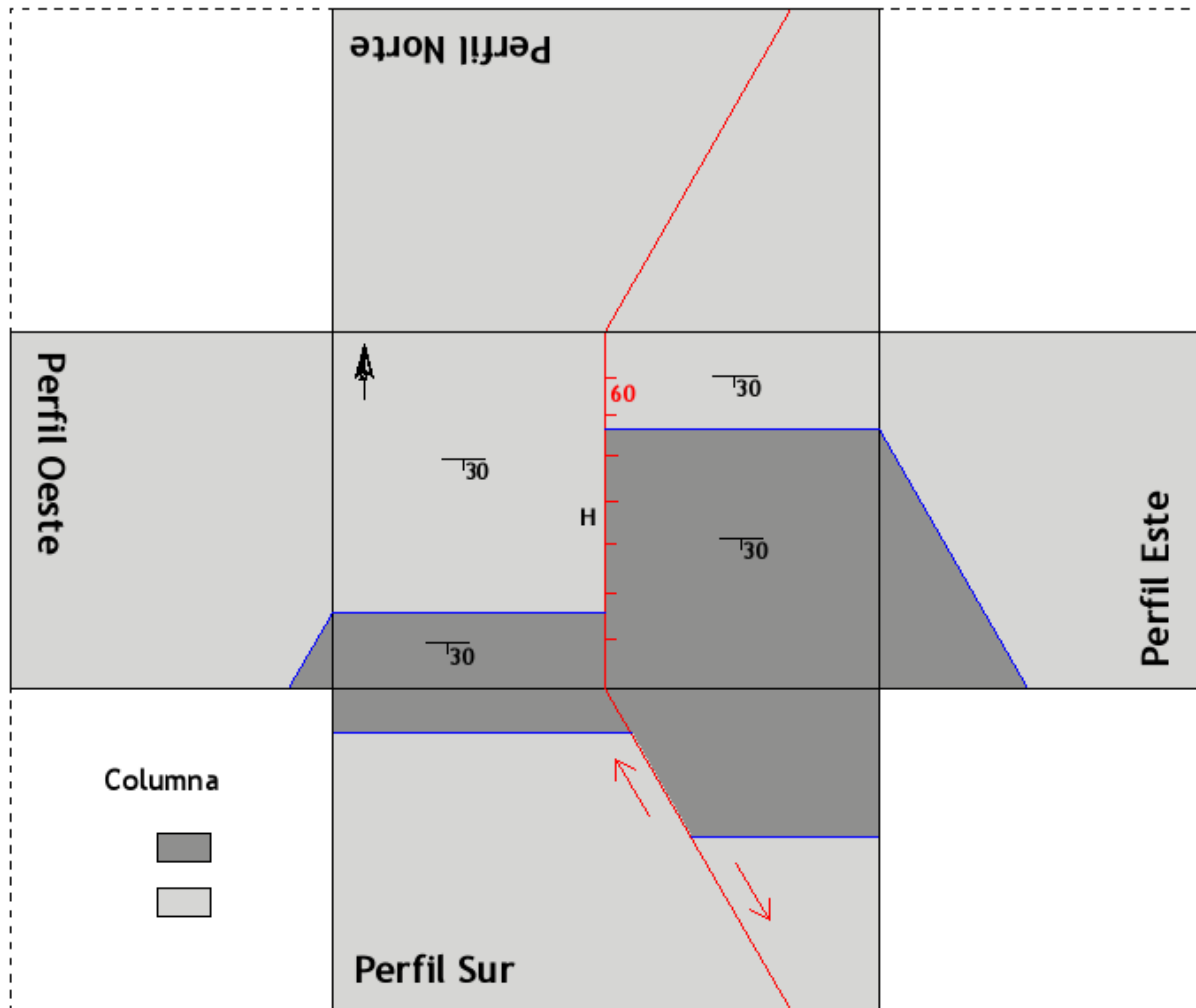
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Paralelos

Echados en la Misma Dirección, Echado del Contacto mayor al de la Falla



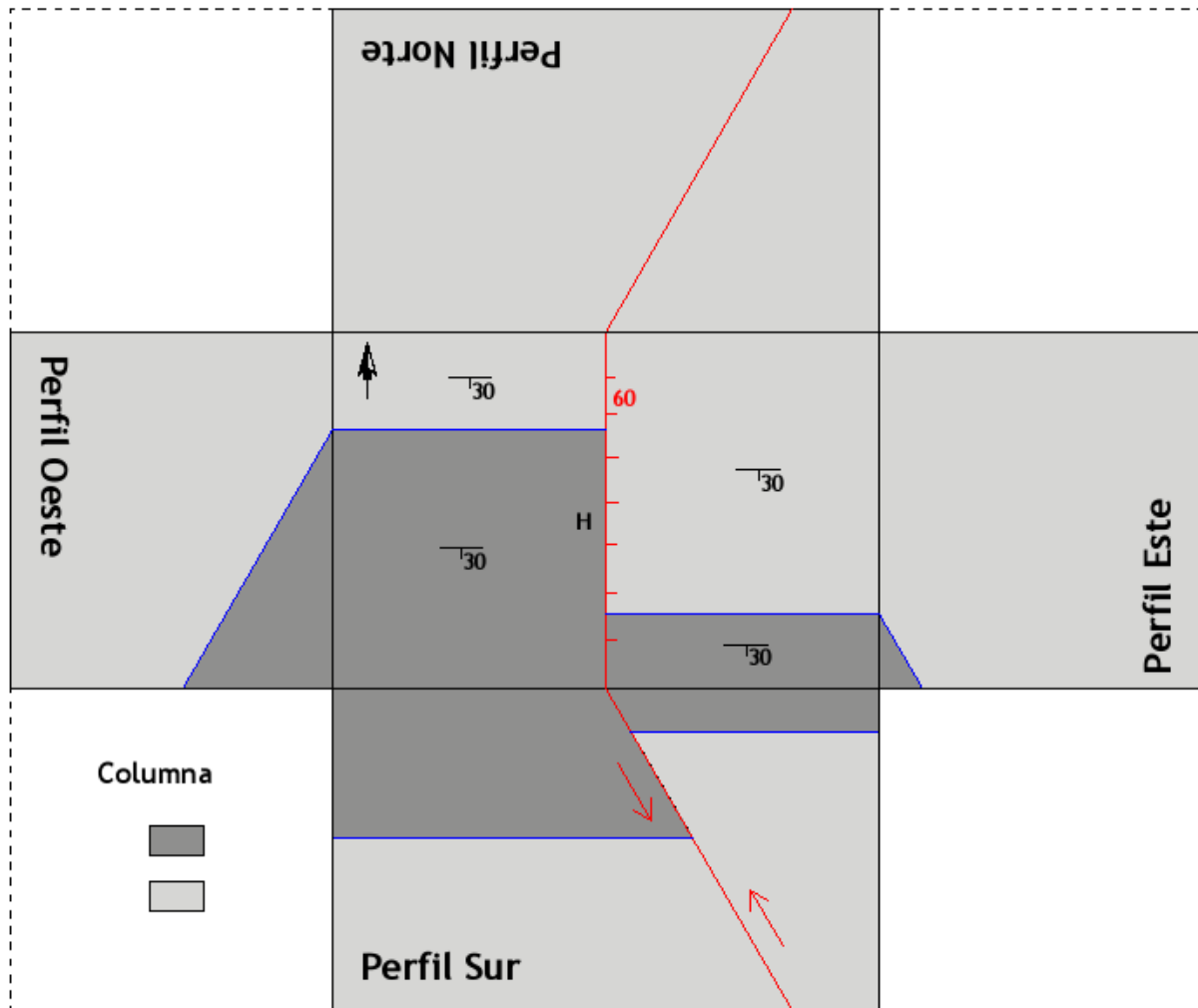
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° E, Contacto E-W/ 30° S, Separación Izquierda



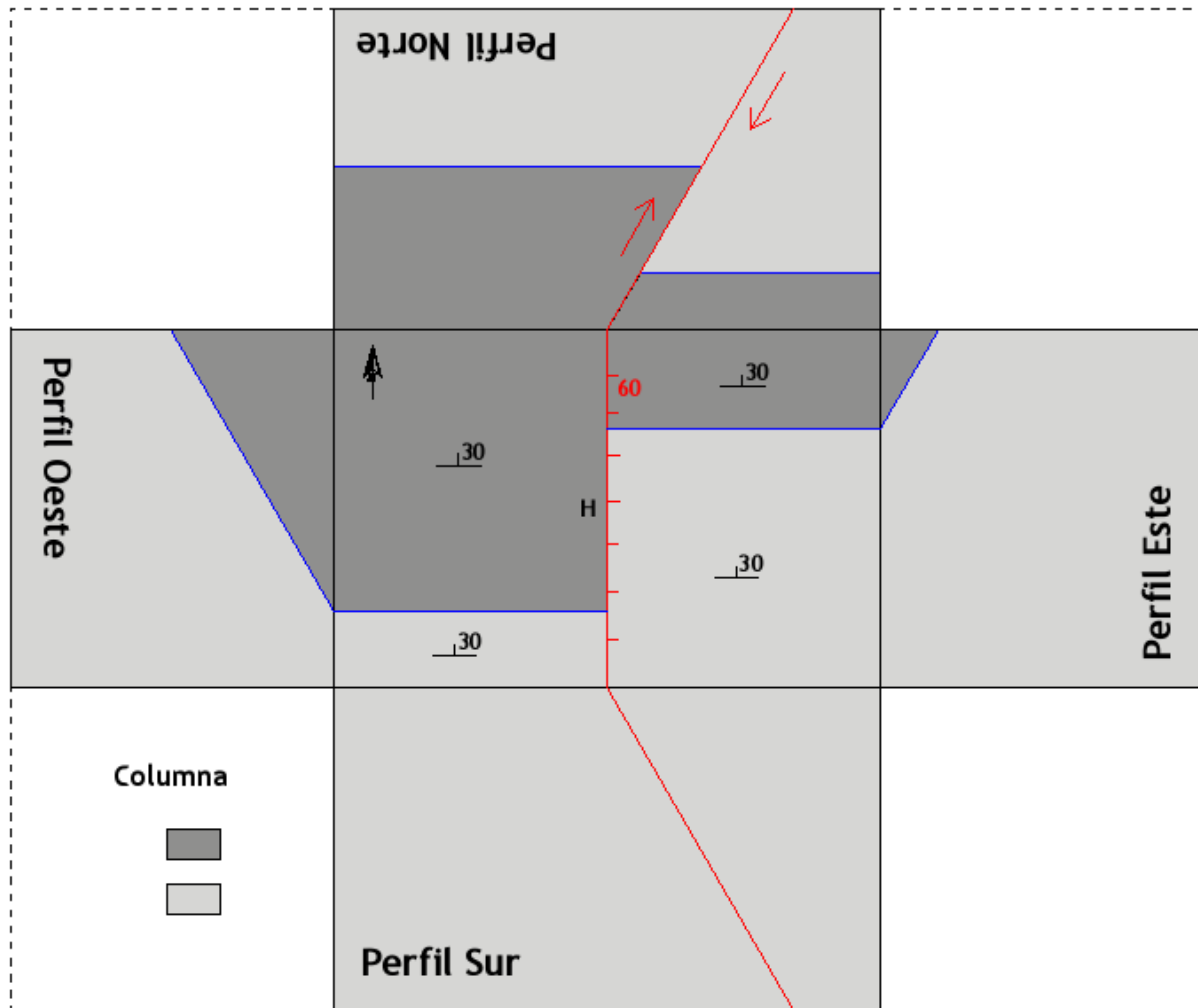
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° E, Contacto E-W/ 30° S, Separación Derecha



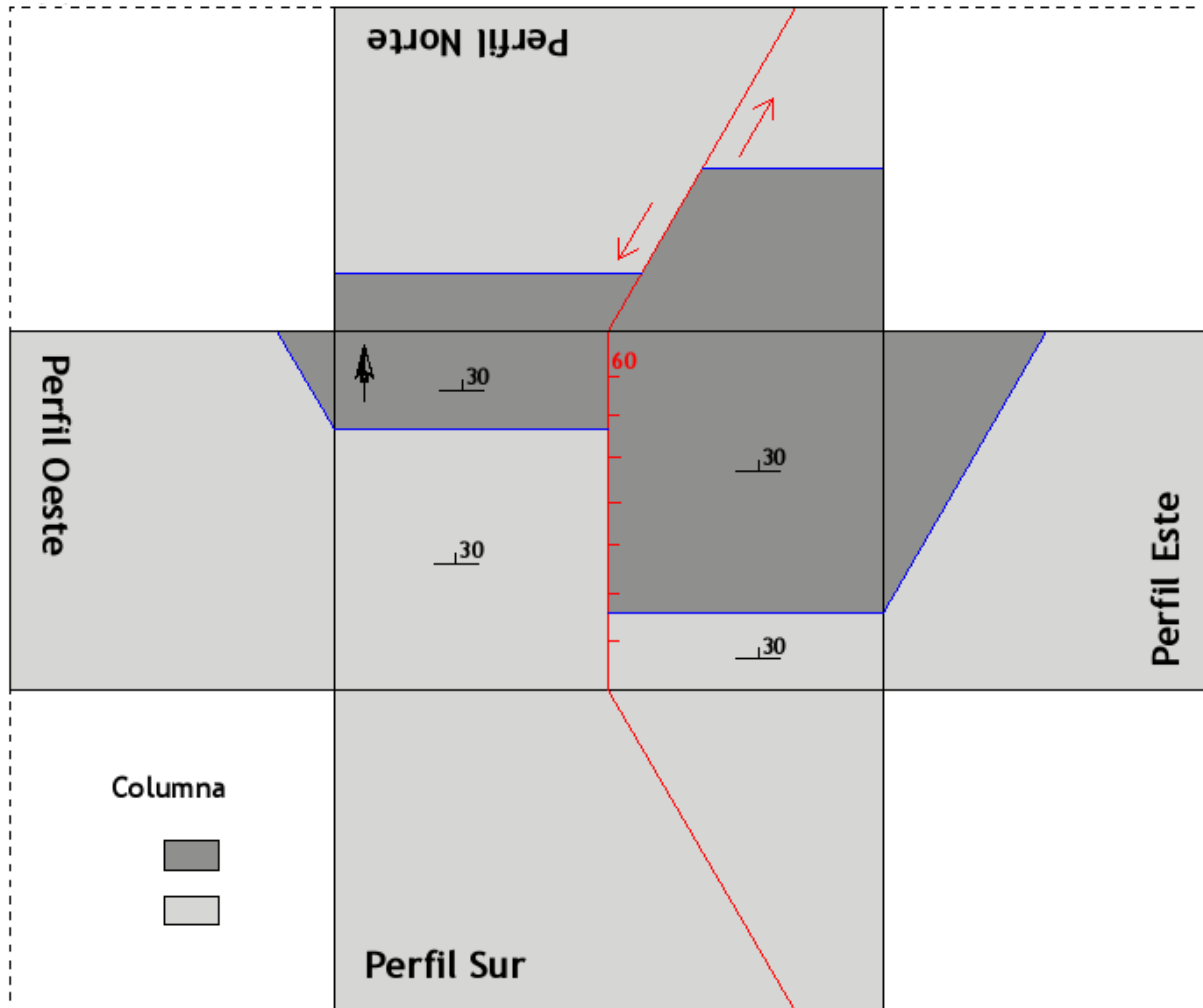
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° E, Contacto E-W/ 30° N, Separación Izquierda



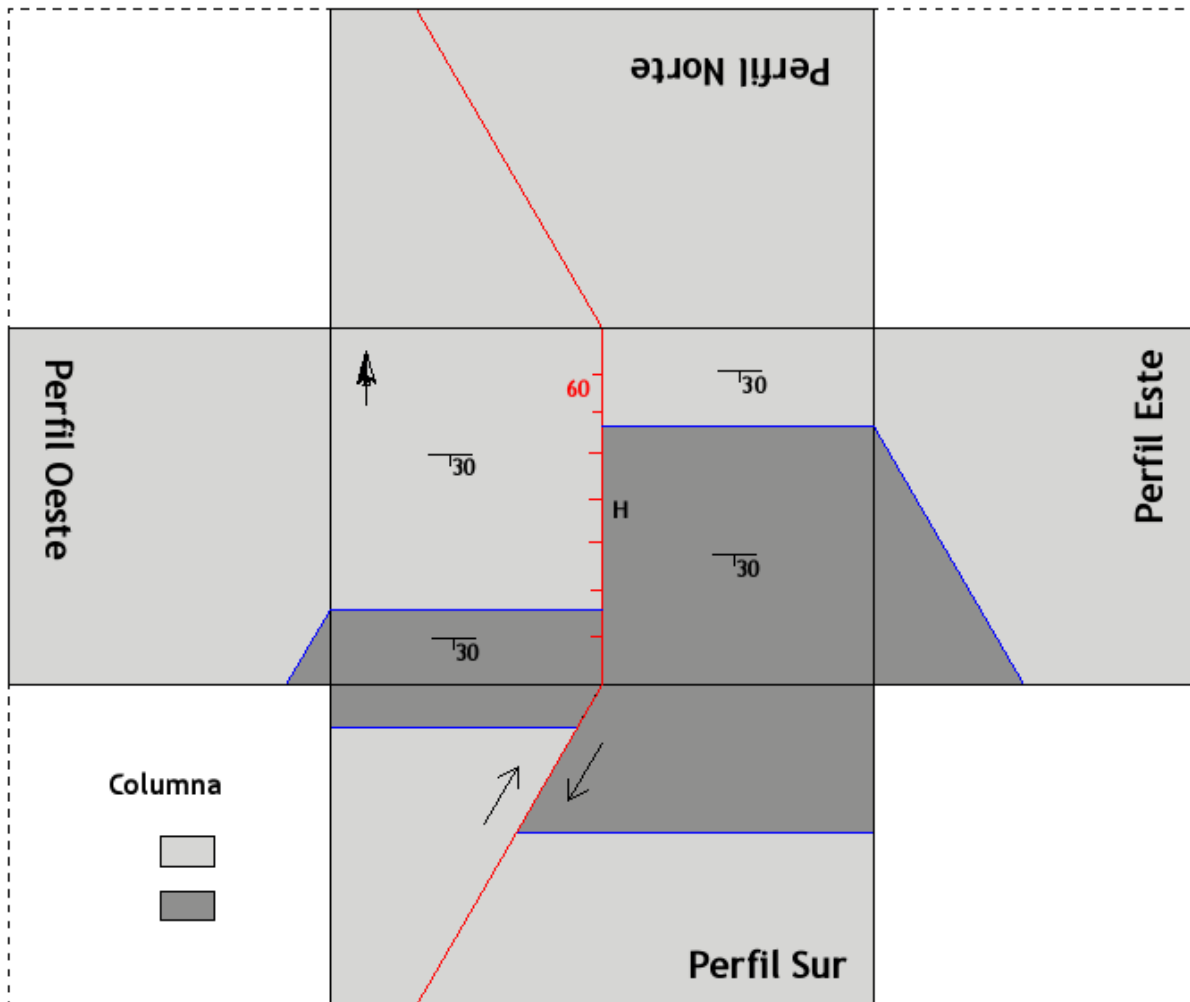
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° E, Contacto E-W/ 30° N, Separación Derecha



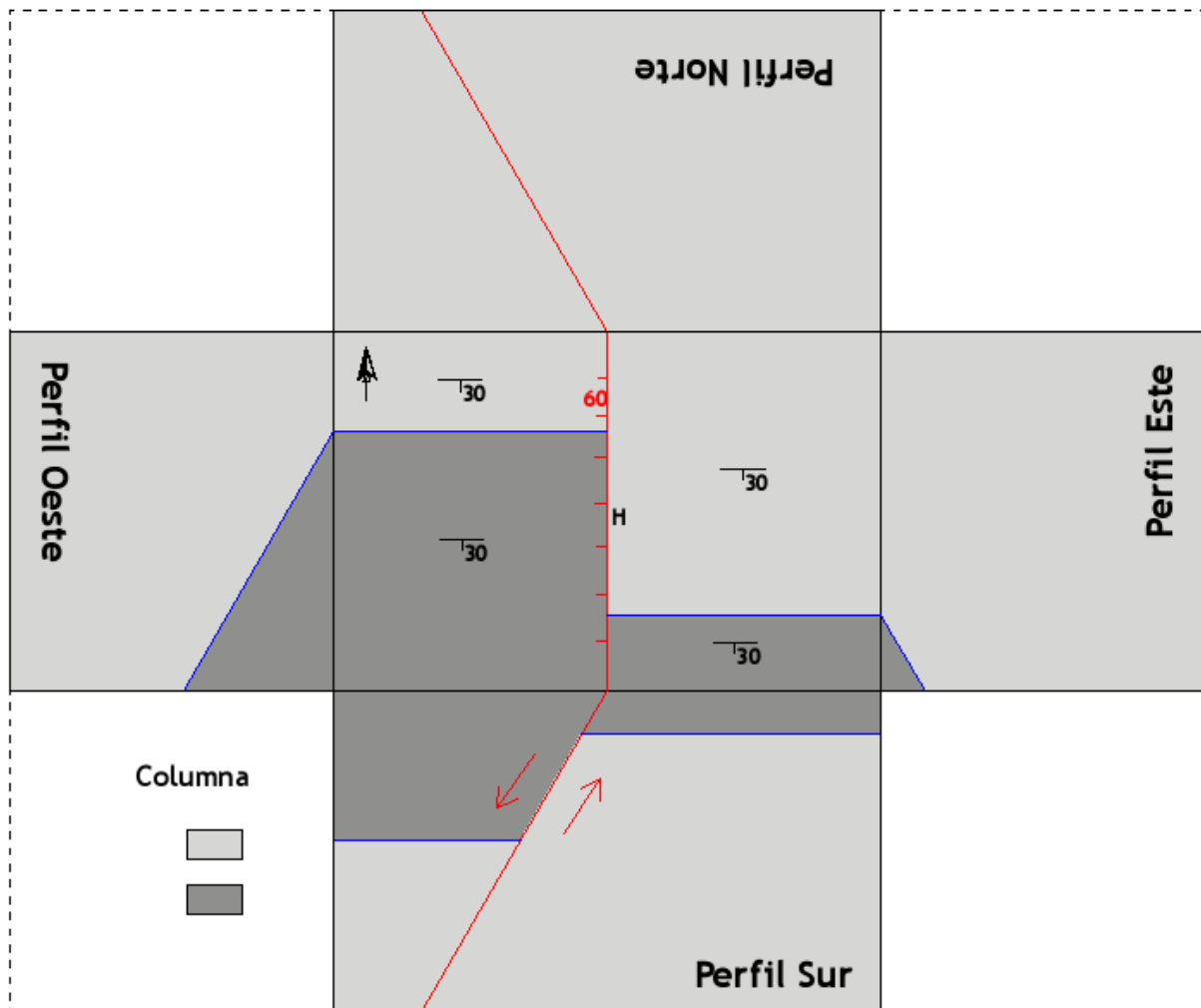
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° W, Contacto E-W/ 30° S, Separación Izquierda



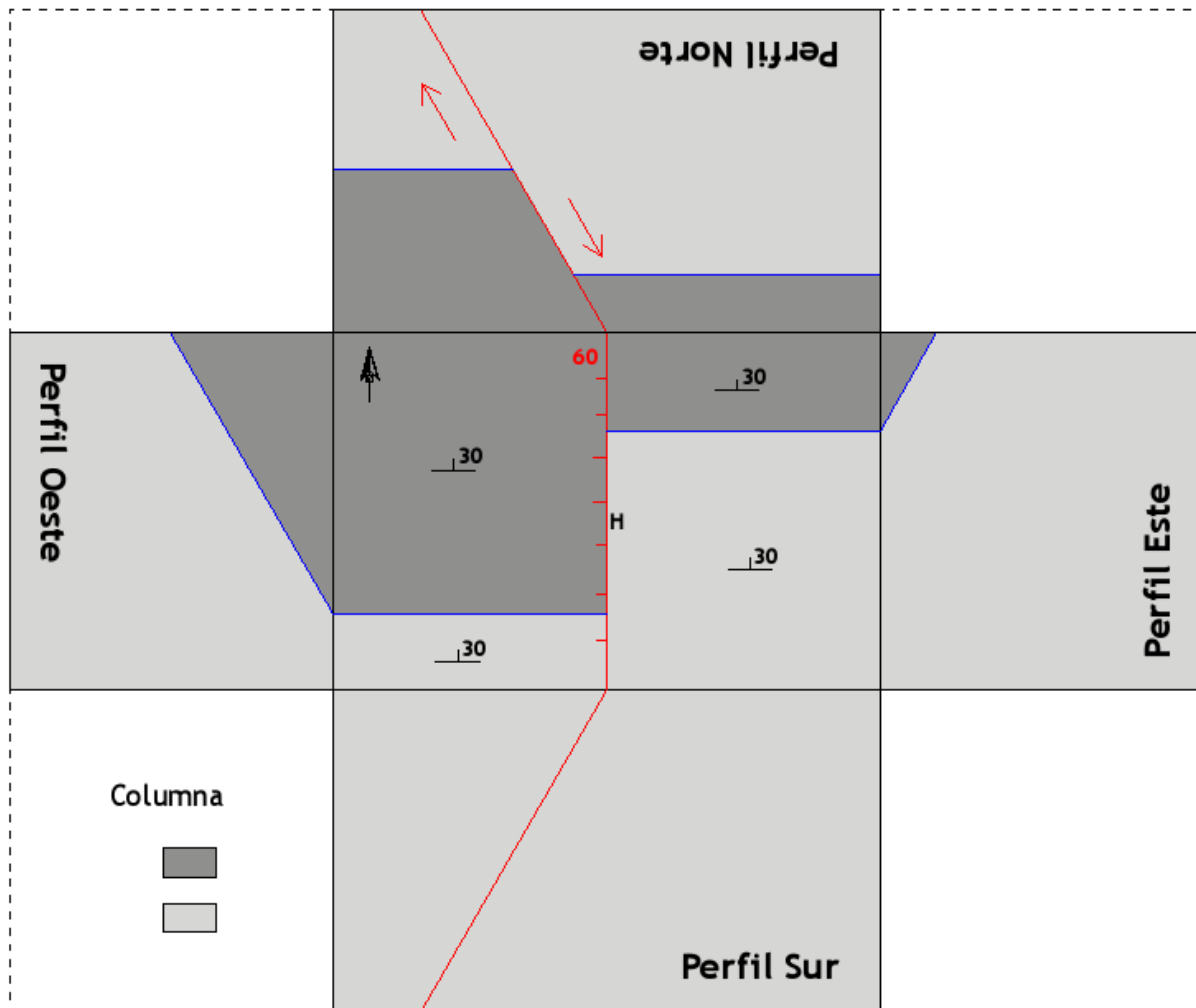
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° W, Contacto E-W/ 30° S, Separación Derecha



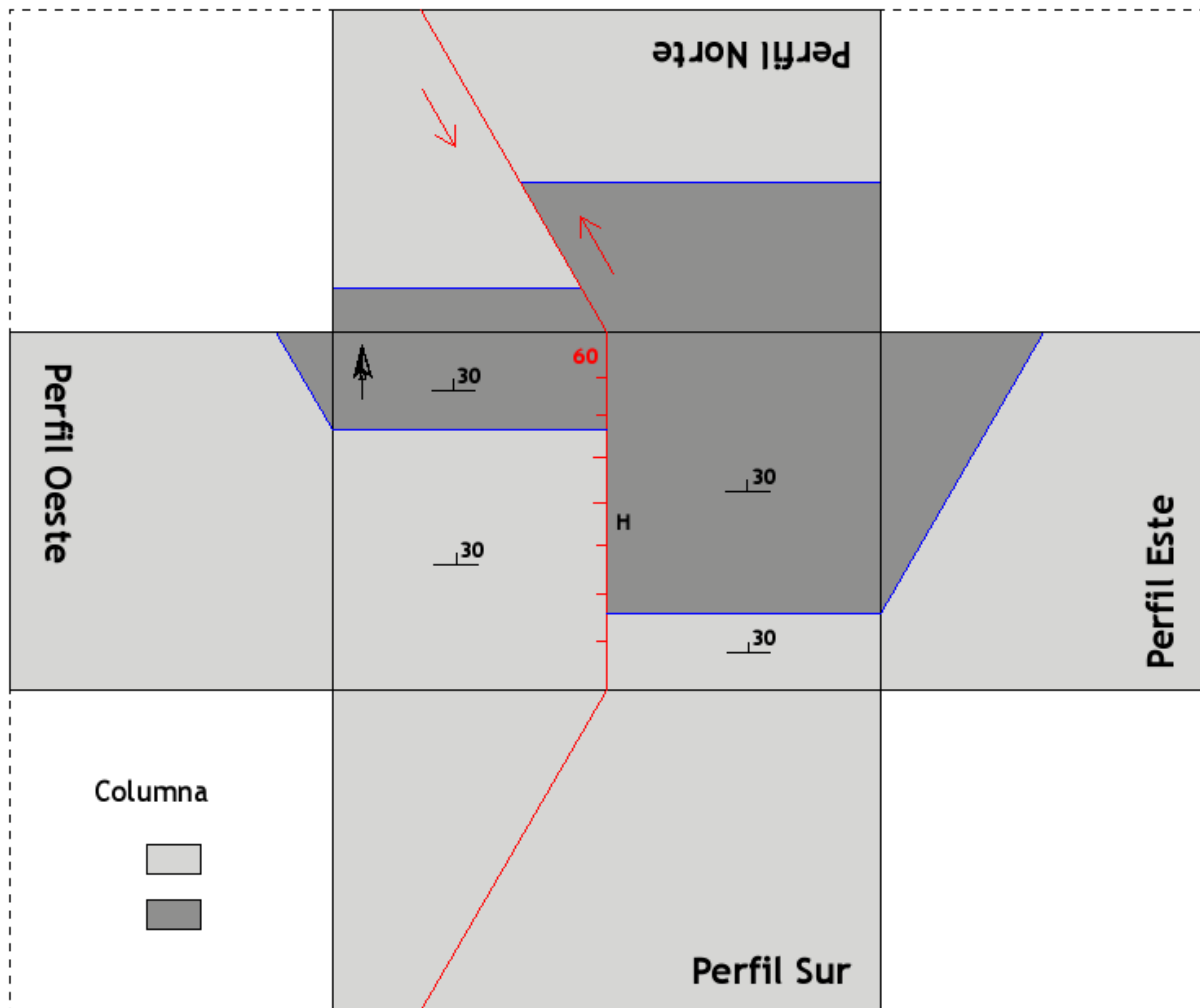
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° W, Contacto E-W/ 30° N, Separación Izquierda



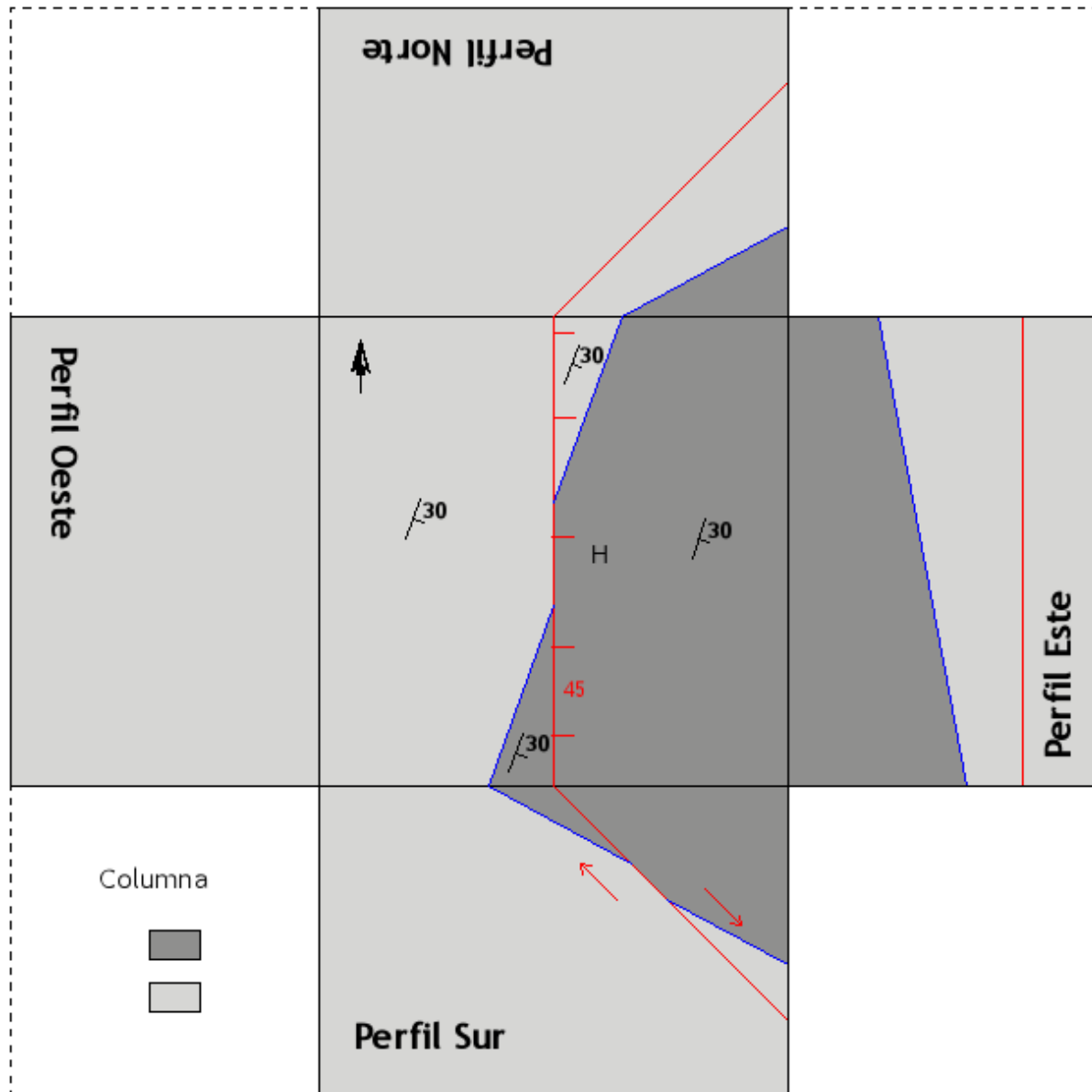
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Perpendiculares

Falla N-S/ 60° W, Contacto E-W/ 30° N, Separación Derecha



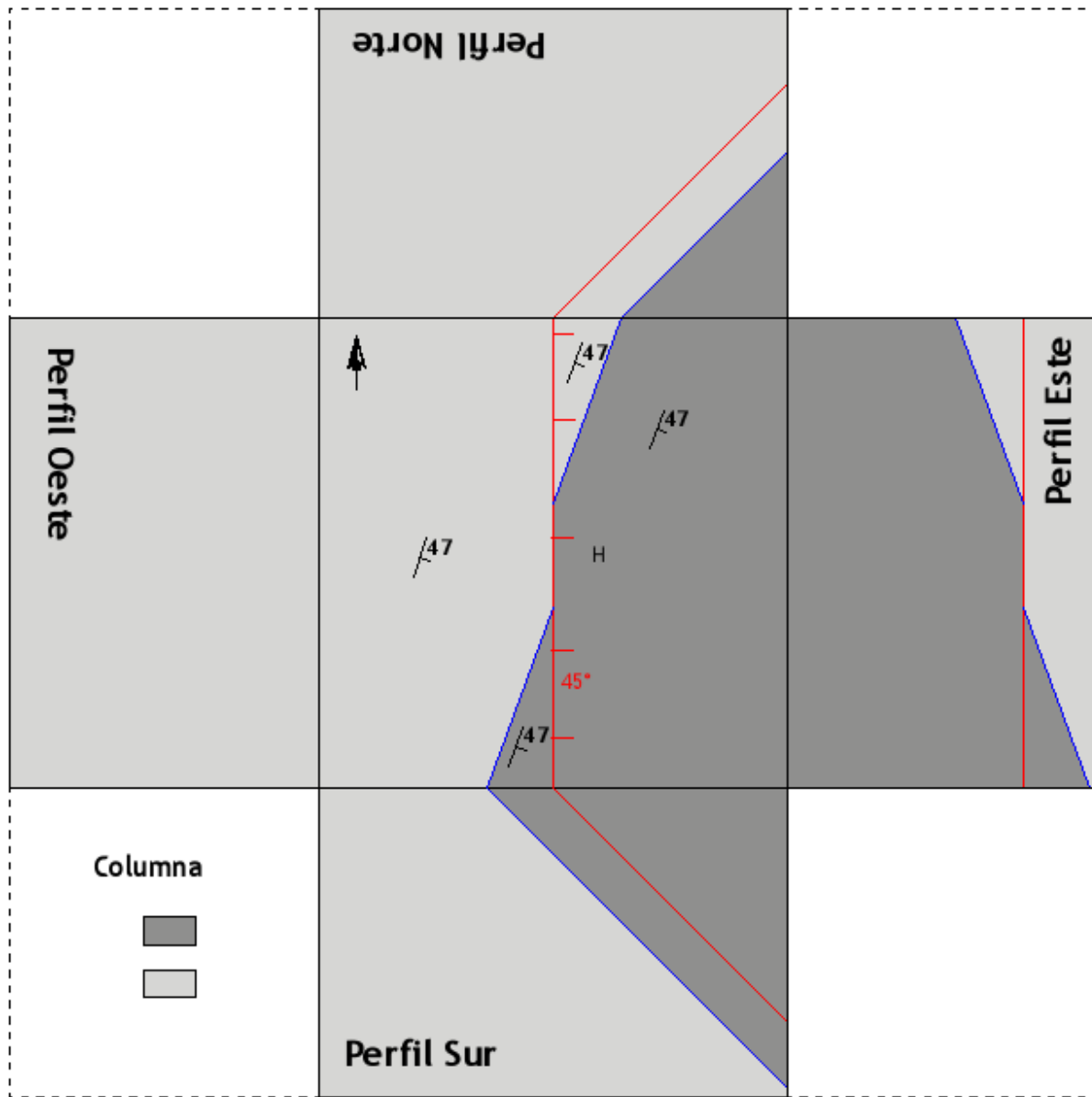
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Oblicuos

Falla N-S/45° E, Contacto N20° E/30° SE



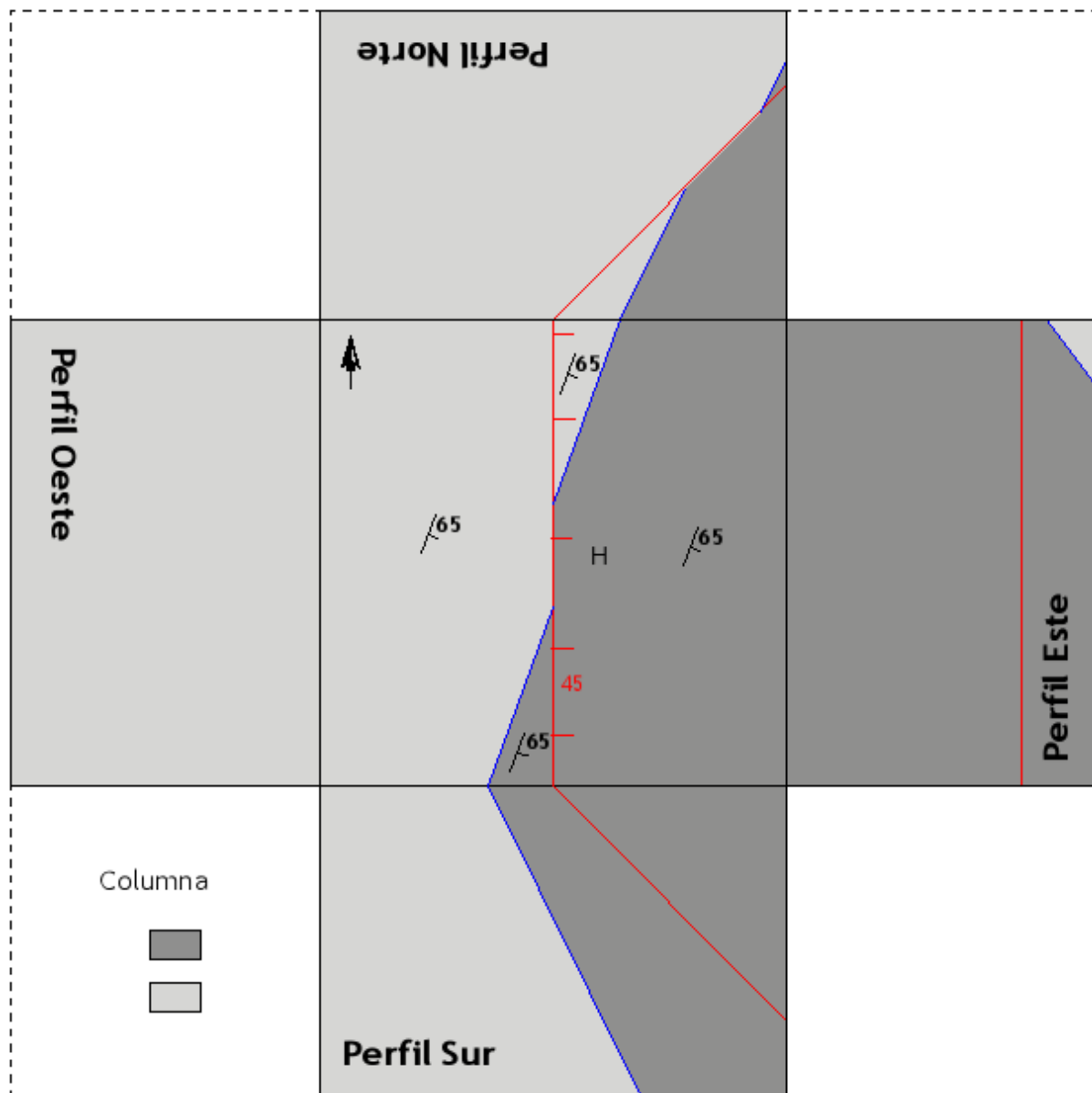
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Oblicuos

Falla N-S/ 45° E, Contacto N 20° E/ 47° SE



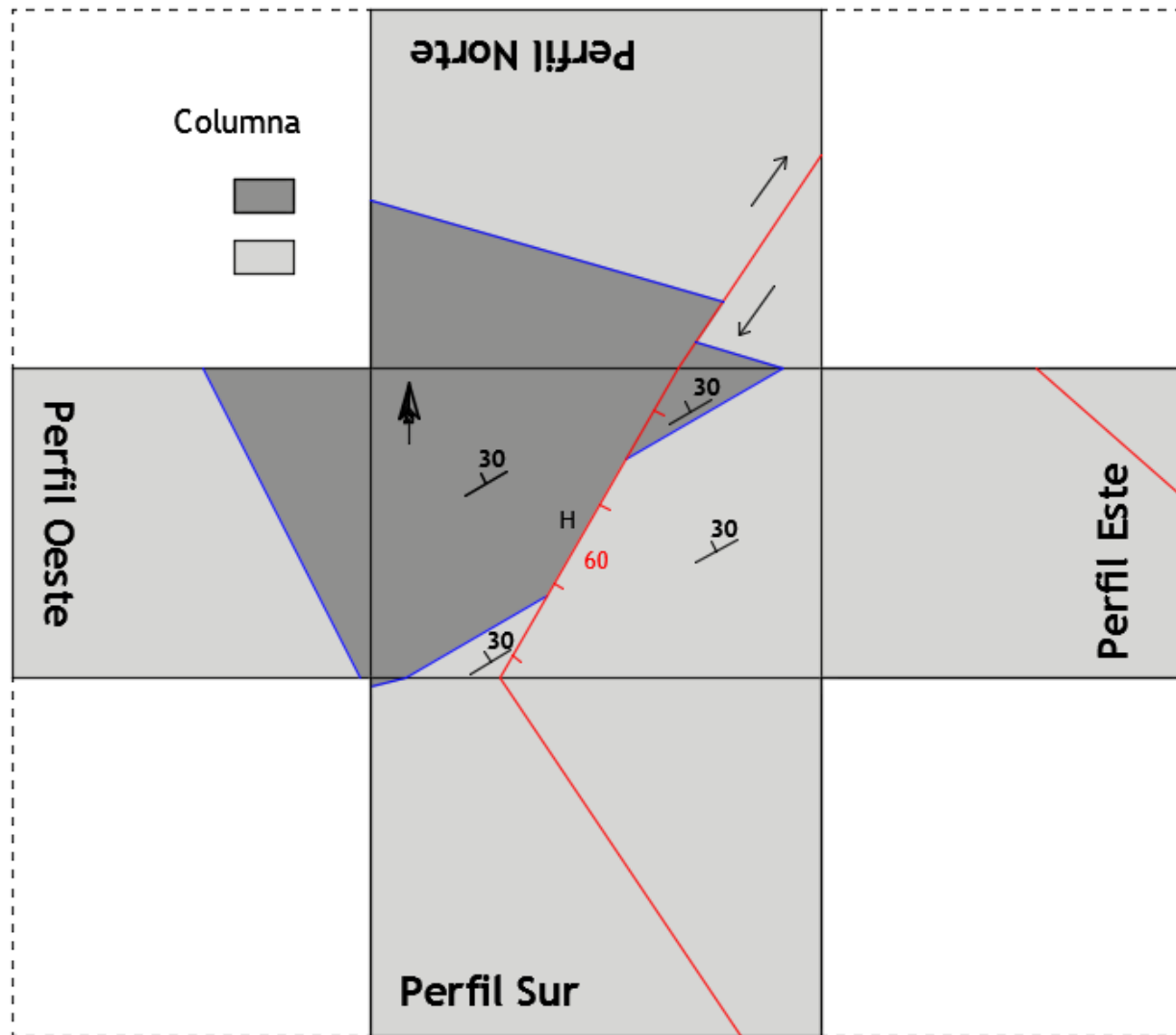
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Oblicuos

Falla N-S/45° E, Contacto N20° E/65° SE



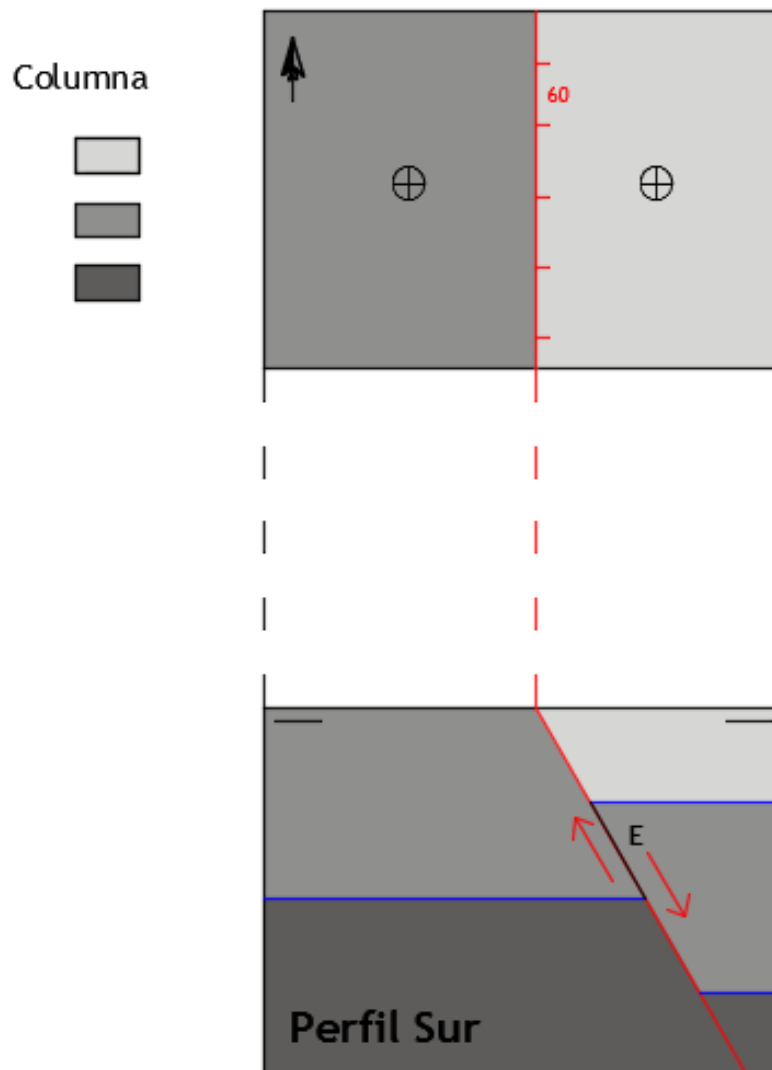
Fallas y Planos Estructurales truncados con Rumbos Oblicuos

Falla N30° E/60° SE, Contacto N60° E/30° NW



APÉNDICE III. EJERCICIOS

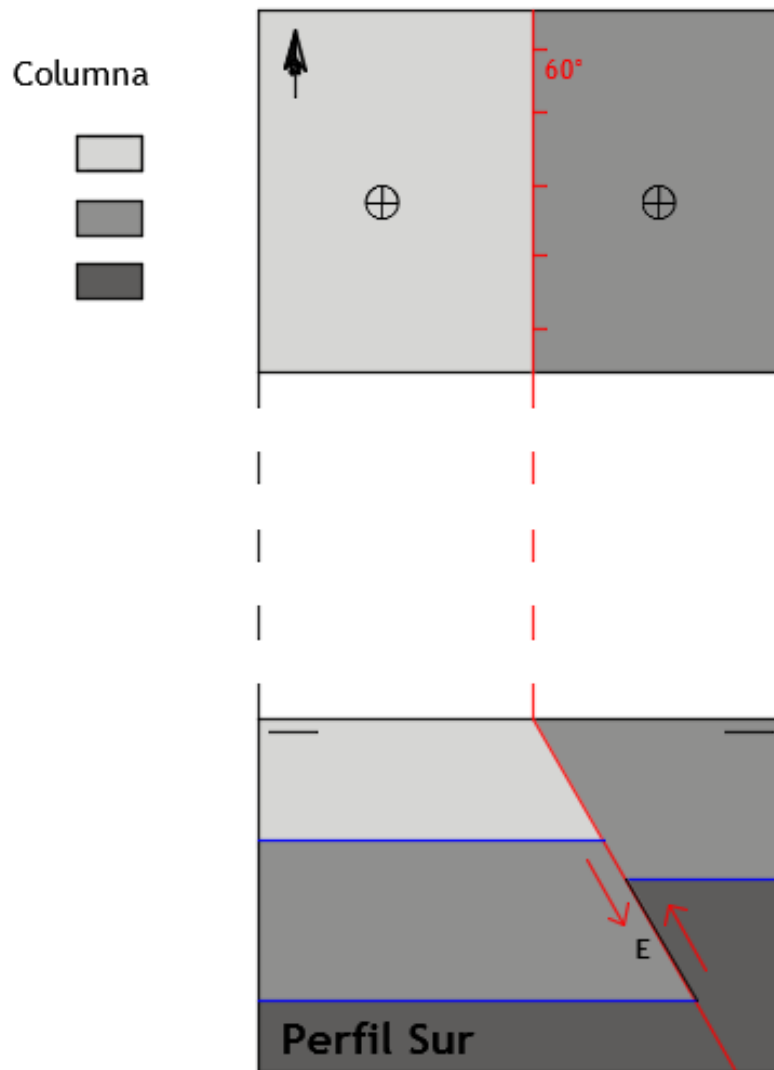
- 1 A continuación, se muestra un mapa de dos unidades horizontales, que han sido puestas en contacto por una falla de Rumbo N-S y echado de 60° E. En el perfil Sur, perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente Normal, en una distancia (E) de 120 m.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 40° NE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 186.68m, Normal Izquierda

- 2 A continuación, se muestra un mapa de dos unidades horizontales, que han sido puestas en contacto por una falla de Rumbo N-S y echado de 60° E. En el perfil Sur, perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente Inversa, en una distancia (E) de 120 m.

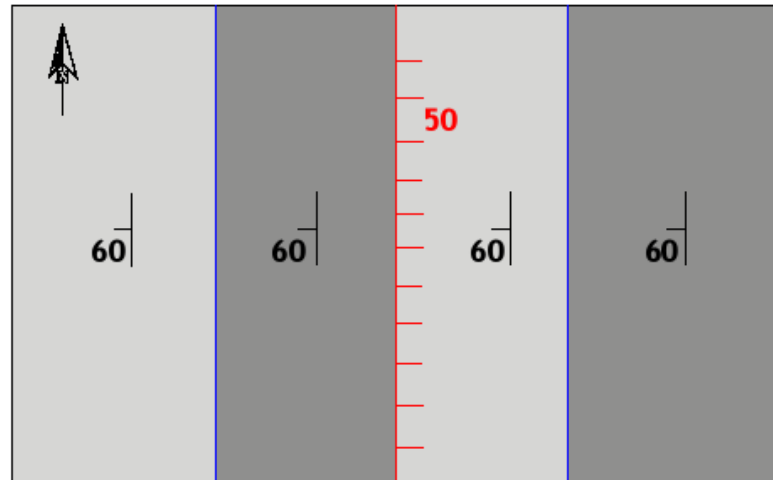


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 70° SE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 127.70m, Inversa Derecha

- 3 A continuación, se muestra un mapa de dos unidades con rumbo N-S y echado de 60° W, que son cortadas por una falla de Rumbo paralelo al contacto N-S y echado de 50° E, la cual produce una repetición del contacto entre las unidades en ambos bloques de falla. En el perfil Sur, perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente Normal, en una distancia E de 120m.

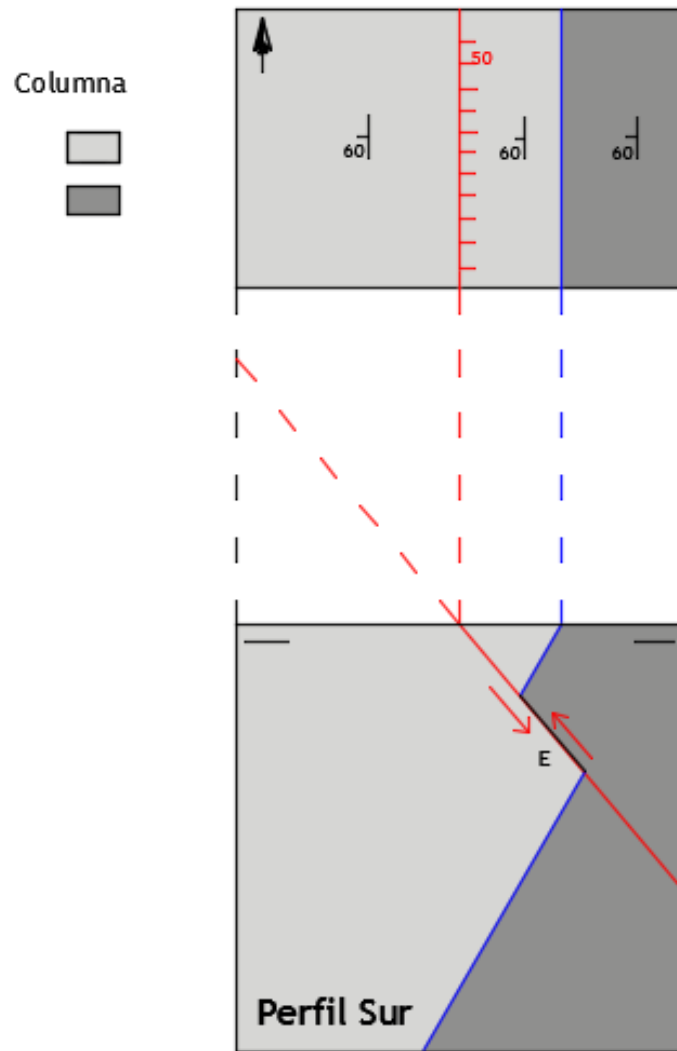
Columna



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 35° NE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 209.21m, Izquierda Normal

- 4 A continuación, se muestra un mapa de dos unidades con rumbo N-S y echado de 60° W, que son cortadas por una falla de Rumbo paralelo al contacto N-S y echado de 50° E, la cual produce la ausencia del contacto en el bloque de piso. También se muestra el perfil perpendicular al rumbo de las unidades, donde se observa una separación aparente inversa con una distancia (E) de 120 m.

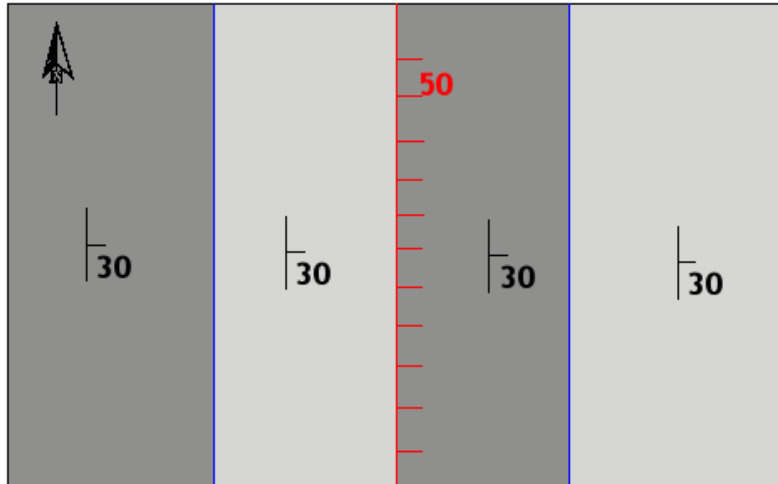


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 65° SE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 132.40m, Derecha Inversa

- 5 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo N-S y echado de 30° E, que son cortadas por una falla de Rumbo paralelo al contacto N-S y echado de 50° E, la cual produce una repetición del contacto entre las unidades en ambos bloques de falla. En el perfil Sur, perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente Inversa, en una distancia E de 250m.

Columna

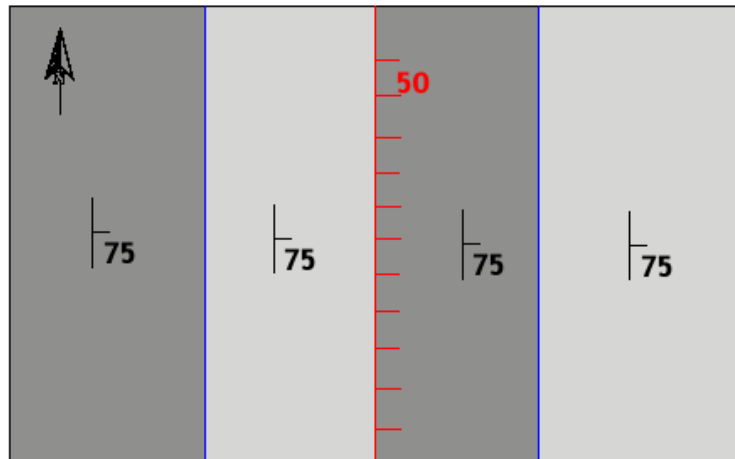


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 55° SE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 305.19m, Inversa Derecha

- 6 A continuación, se muestra un mapa de dos unidades con rumbo N-S y echado de 75° E, que son cortadas por una falla de Rumbo paralelo al contacto N-S y echado de 50° E, la cual produce una repetición del contacto entre las unidades en ambos bloques de falla. En el perfil Sur, perpendicular al rumbo de la falla, se observa una separación aparente Normal, en una distancia E de 230m.

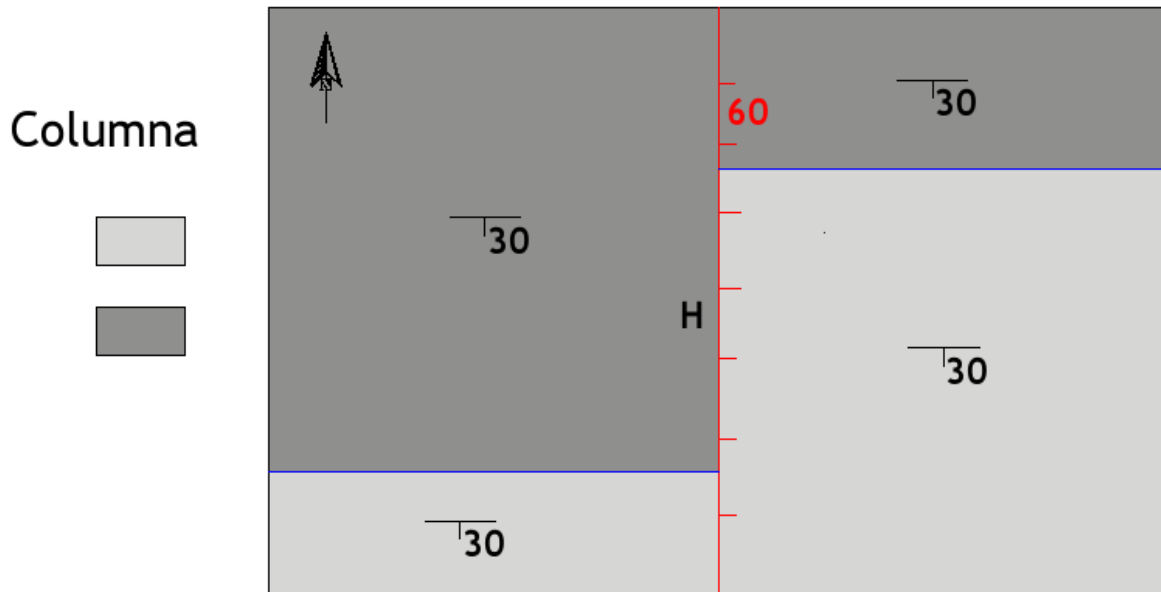
Columna



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 35° SE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 400.99m, Derecha Normal

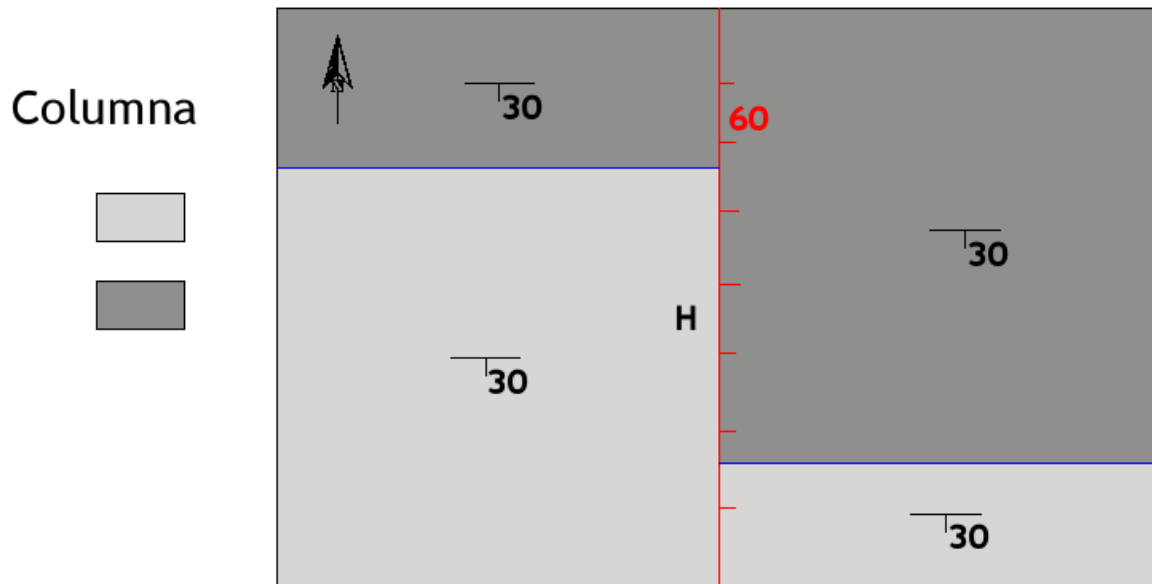
- 7 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° S, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° E, la cual produce una separación aparente H de 200m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 35° NE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 110.33m, Izquierda Normal

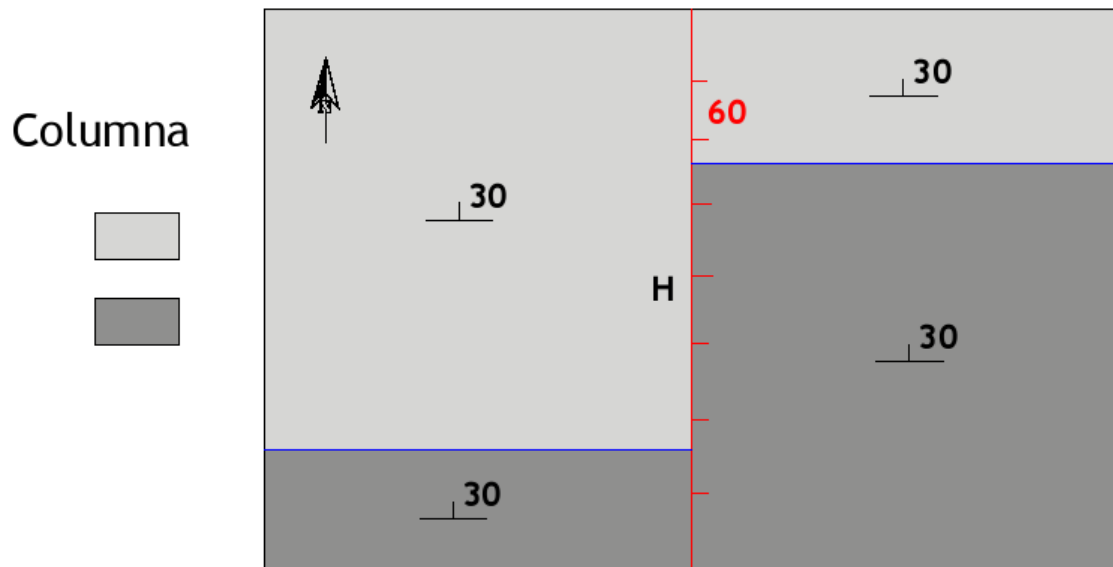
- 8 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° S, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° E, la cual produce una separación aparente H de 160m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 40° SW. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 106.41m, Inversa Derecha

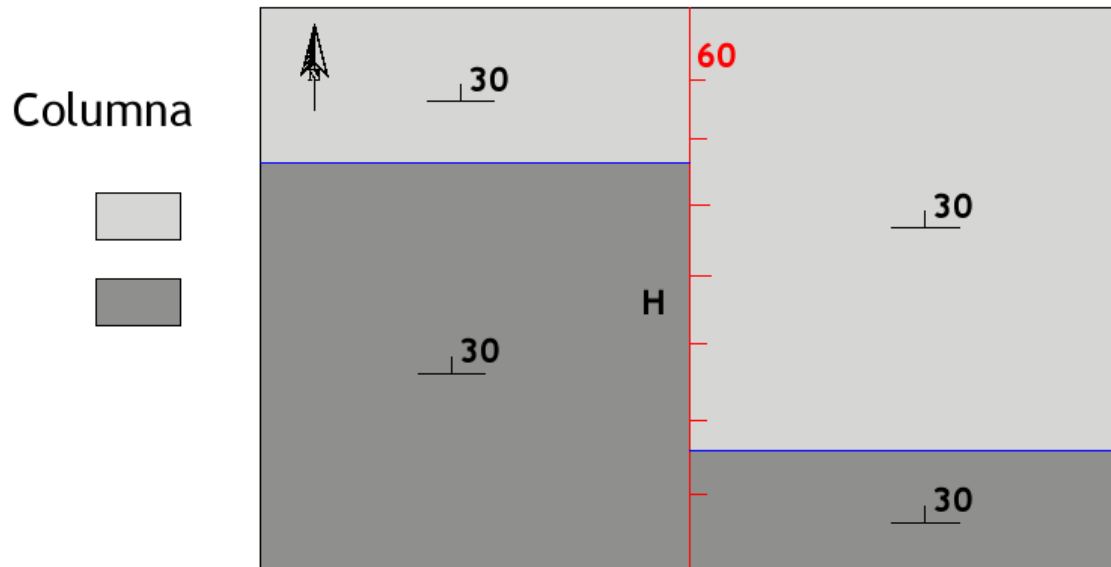
- 9 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° N, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° E, la cual produce una separación aparente H de 210m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 15° NE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 405.68m, Normal Izquierda

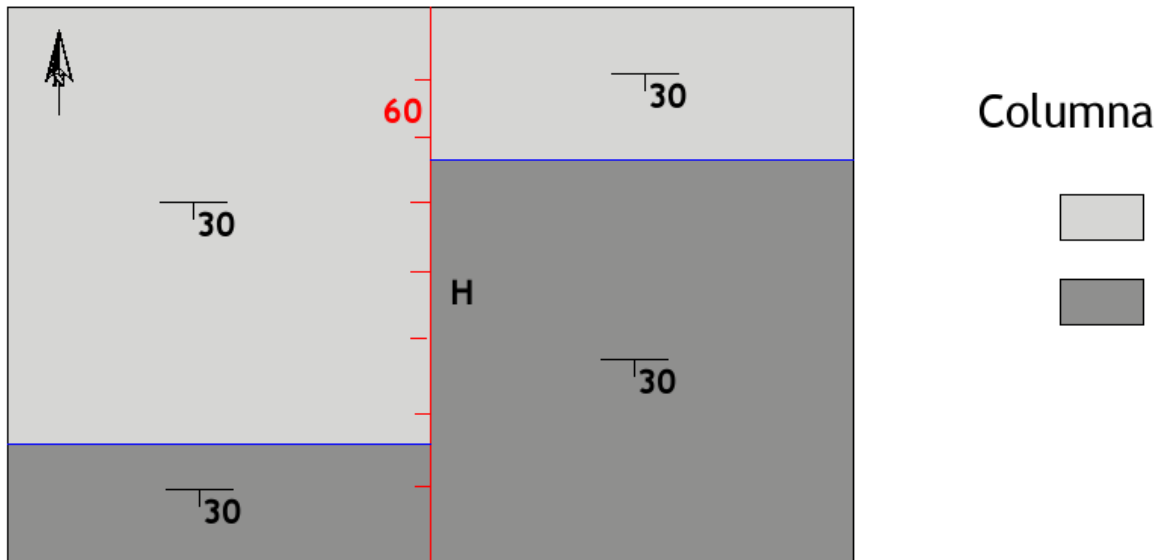
- 10 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° N, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° E, la cual produce una separación aparente H de 180m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 60° NE. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 180m, Normal Izquierda

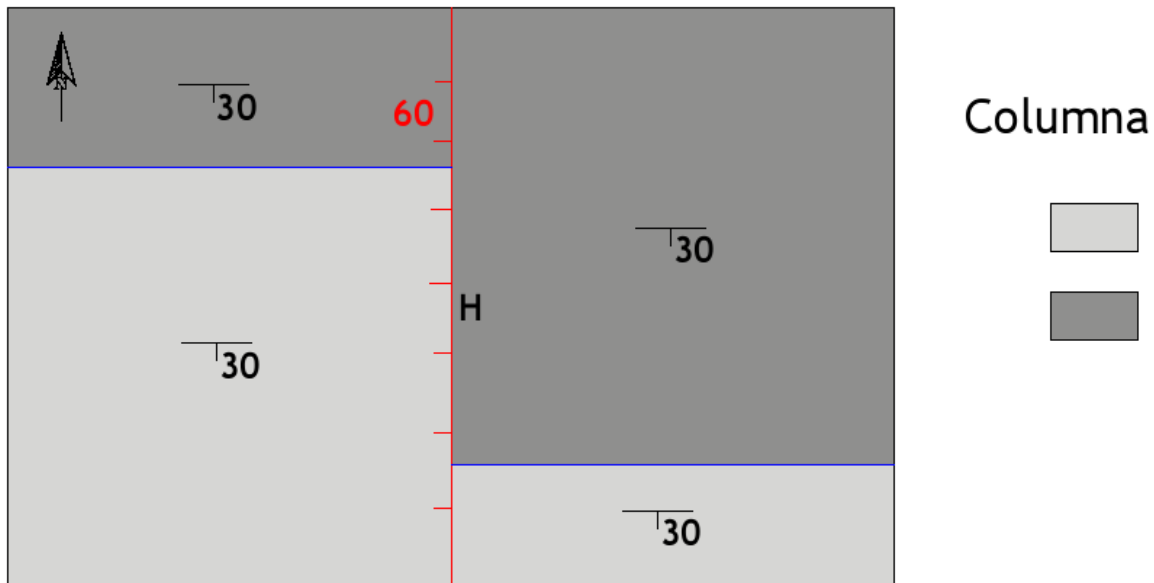
- 11 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° S, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° W, la cual produce una separación aparente H de 240m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 90° E. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 138.56m, Inversa Pura

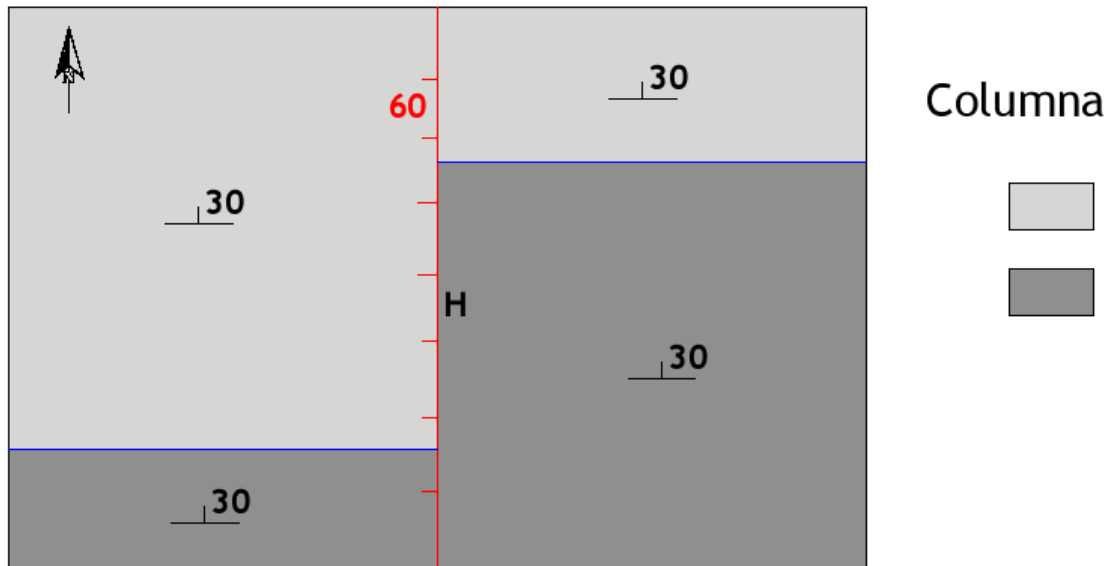
- 12 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° S, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° W, la cual produce una separación aparente H de 300m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 5° NW. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 261.51m, Normal Derecha

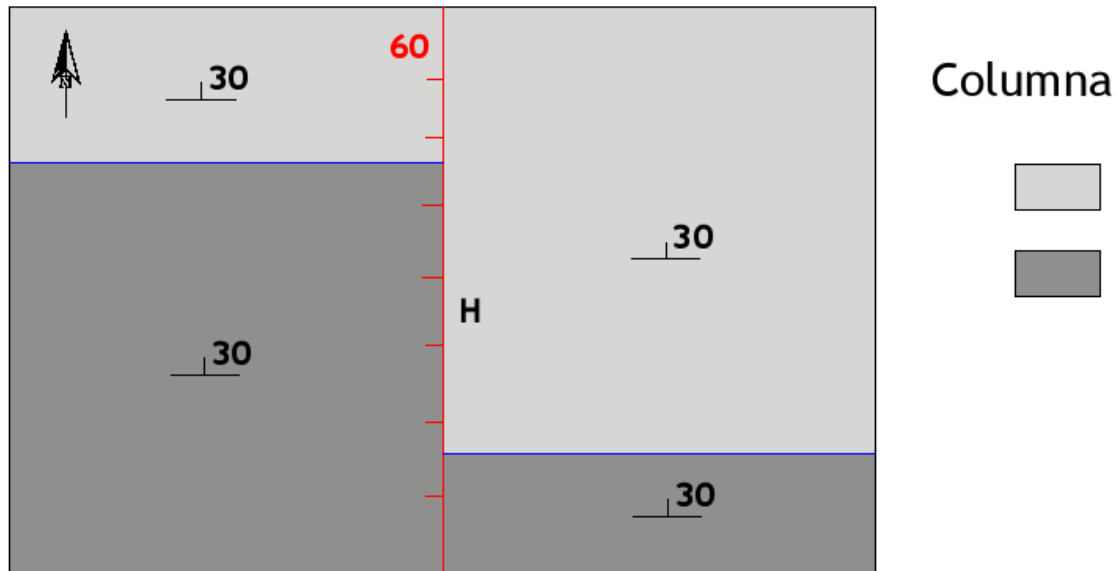
- 13 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° N, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° W, la cual produce una separación aparente H de 220m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 80° NW. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 143.59m, Normal Derecha

- 14 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo E-W y echado de 30° N, que son cortadas por una falla de rumbo perpendicular al contacto, es decir N-S y echado de 60° W, la cual produce una separación aparente H de 250m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.

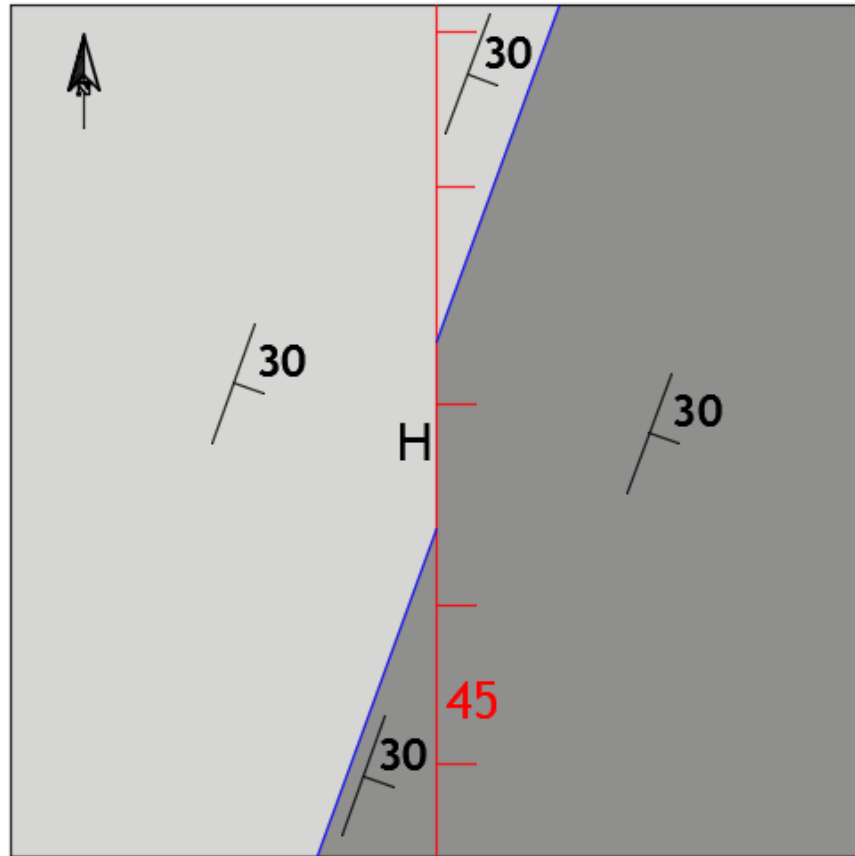


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de 10° NW. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 365.47m, Normal Derecha

- 15 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo $N20^\circ E$ y echado de $30^\circ SE$, que son cortadas por una falla de rumbo $N-S$ y echado de $45^\circ E$, la cual produce una separación aparente de 200 m. en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.

Columna

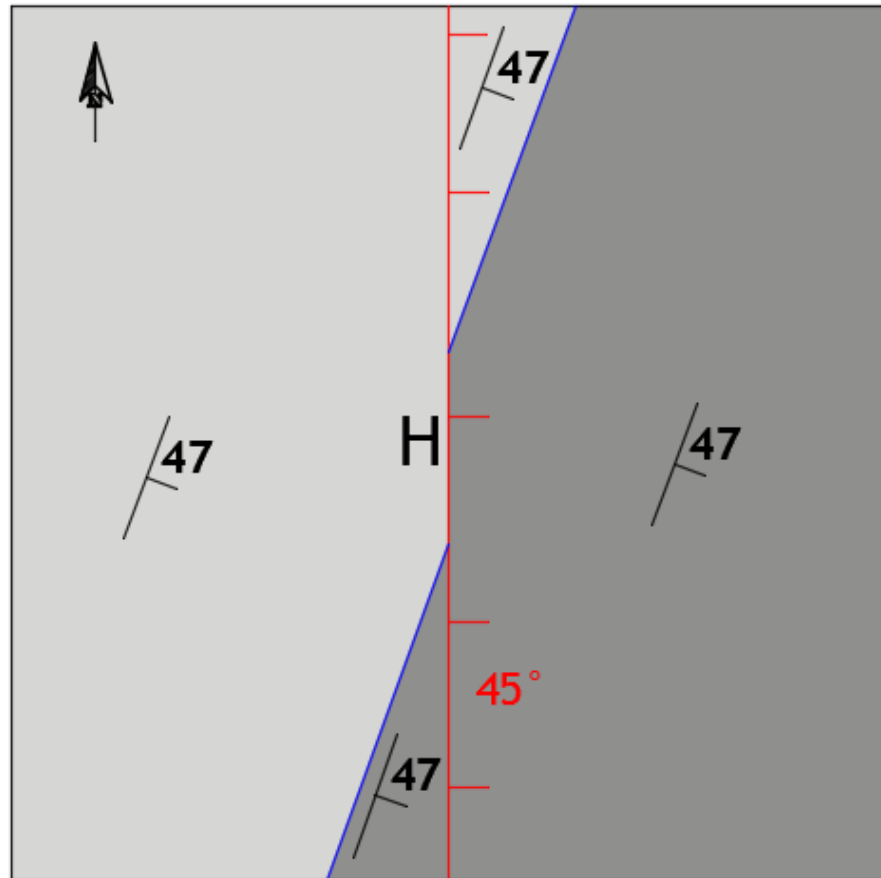


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de $35^\circ NE$. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento D . También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 110.33m, Izquierda Normal

- 16 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo $N20^{\circ}E$ y echado de $47^{\circ}SE$, que son cortadas por una falla de rumbo N-S y echado de $45^{\circ}E$, la cual produce una separación aparente H de 350m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.

Columna

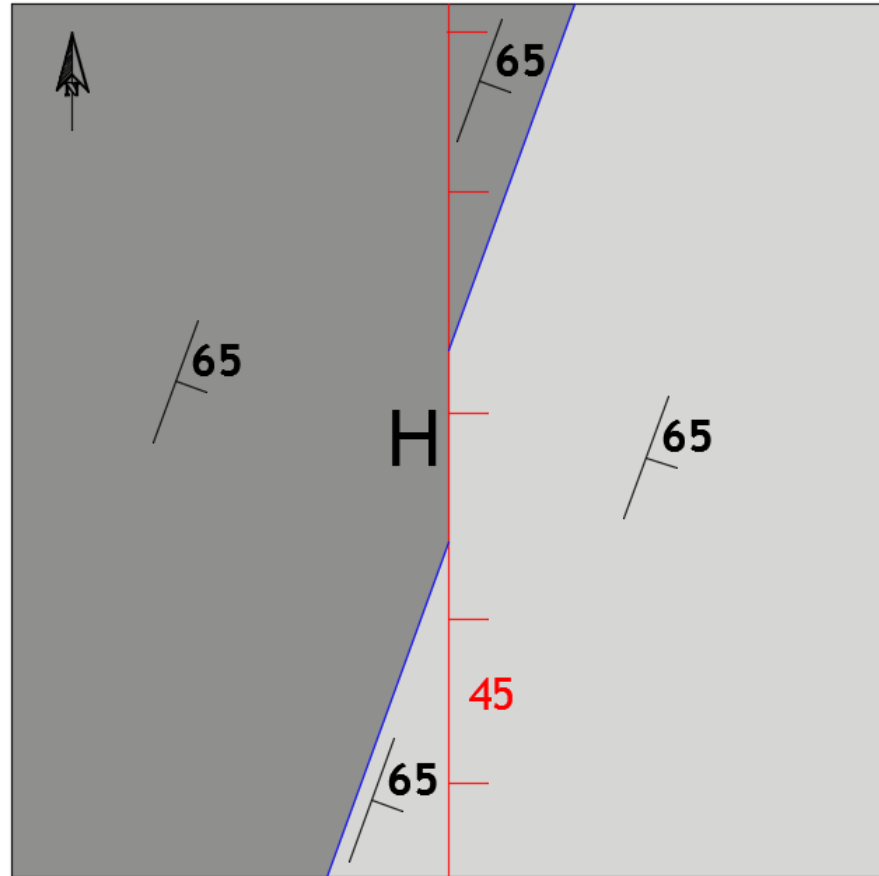


Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de $35^{\circ}NE$. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento D . También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 258.48m, Izquierda Normal

- 17 A continuación, se muestra un mapa donde se observan dos unidades con rumbo $N20^\circ E$ y echado de $65^\circ SE$, que son cortadas por una falla de rumbo N-S y echado de $45^\circ E$, la cual produce una separación aparente H de 100m en el mapa, entre la traza del contacto en ambos bloques.

Columna



Se sabe que, sobre el plano de falla, las estrías de falla forman un ángulo de pitch con la horizontal de $35^\circ NE$. Calcule la magnitud del vector de desplazamiento **D**. También indique en qué dirección se da el desplazamiento.

Respuesta: 92.03m, Izquierda Normal

