

LA PROYECCION ORTOGRAFICA EN PROBLEMAS
DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL

José Sellés Martínez

F.C.E. Y N.

UBA

INDICE

Determinación de la posición de líneas y planos en el espacio.....	Pág.	1
Metodología para la determinación de actitudes.....	"	3
Abatimiento de planos según ejes horizontales.....	"	7
Cálculo del rumbo e inclinación verdadera a partir de dos inclinaciones aparentes.....	"	9
Cálculo de la actitud de un plano a partir del rumbo y de una inclinación aparente.....	"	12
Cálculo de la inclinación aparente de un plano en una dirección determinada.....	"	12
Cálculo de la actitud de la línea de intersección de dos planos.....	"	16
Cálculo de la actitud de líneas contenidas en planos	"	18
Cálculo de espesores de estratos.....	"	19
Cálculo del espesor verdadero de un estrato conociendo su actitud y el espesor vertical.....	"	22
Cálculo del espesor verdadero conociendo la actitud del estrato y su espesor aparente en una dirección...	"	22
Cálculo de la actitud y espesor verdadero de un estrato conociendo dos inclinaciones y el espesor aparentes en direcciones determinadas.....	"	23
Cálculo del espesor verdadero de un estrato a partir de su actitud y del ancho de afloramiento aparente...	"	25
Cálculo de los desplazamientos sobre planos de fallas	"	28
Reconstrucción de afloramientos conociendo el desplazamiento sobre el plano de falla.....	"	30

Cálculo del hundimiento de una línea sobre un plano..	Pág.	35
Reconstrucción de afloramientos desplazados por fallas cuyo plano es inclinado.....	"	39
Cálculo de los desplazamientos sobre el plano de una falla inclinada.....	"	45

DETERMINACION DE LA POSICION DE LINEAS Y PLANOS EN EL ESPACIO

El sistema de referencia que se utiliza es el definido por el apartamiento con respecto a la dirección norte (Az 0) y a la horizontal, quedando así determinados la orientación y la inclinación de los elementos que se consideren. El conjunto de datos que definen unívocamente la posición espacial de una línea o de un plano conforman la actitud del mismo. Así. por ejemplo, la actitud de una línea queda definida por su dirección (proyección de dicha línea sobre el círculo acímatal) y su buzamiento (ángulo comprendido entre la misma y la horizontal, medido sobre un plano vertical que contiene a la línea). Para el caso de un plano su actitud queda definida por la orientación de la línea de intersección de dicho plano con una superficie horizontal, que recibe el nombre de contorno estructural (CE) o línea de rumbo, y por su inclinación. Esta última corresponde al ángulo medido entre dicho plano y la horizontal sobre un plano vertical perpendicular al contorno estructural del plano en cuestión. Los contornos estructurales se identifican por la cota de la superficie horizontal intersecante, (véase Fig 1).

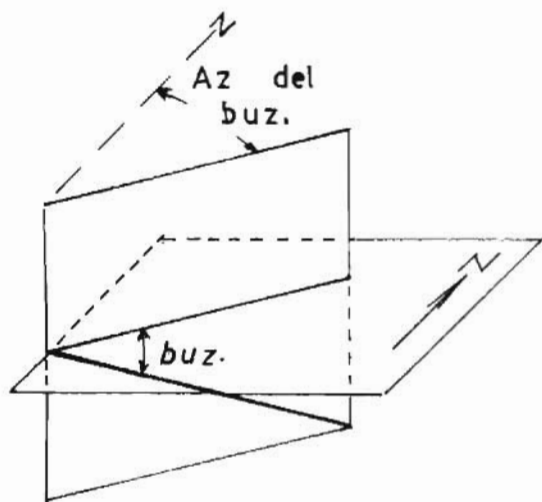
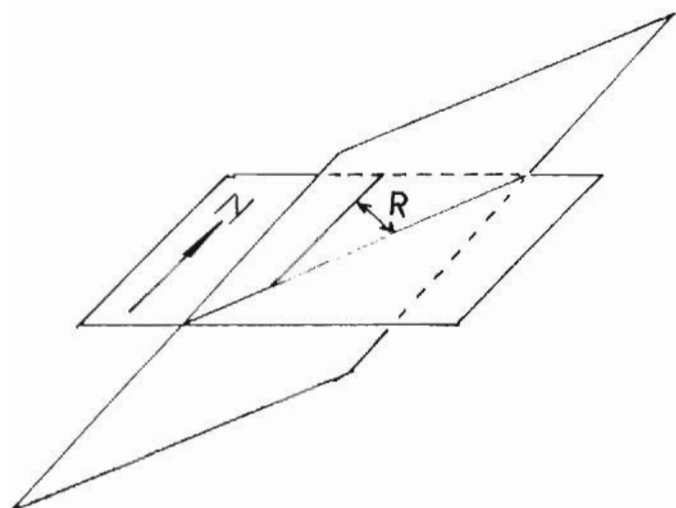
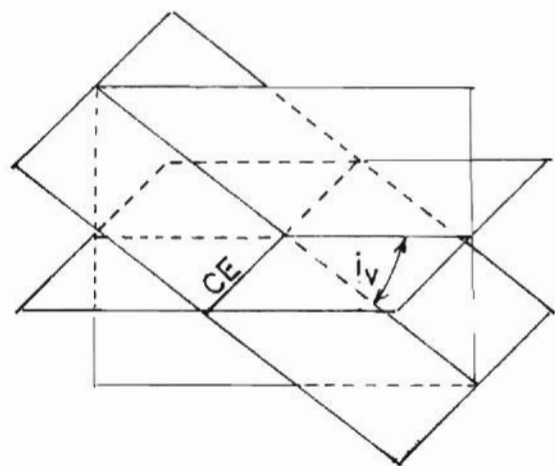


FIG 1

METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE ACTITUDES

Así como la actitud de una línea queda definida por la posición de dos puntos que le pertenecen, la de un plano puede especificarse mediante:

- a) Tres puntos que le pertenecen.
- b) Un punto y una línea inscriptos en él.
- c) Dos líneas contenidas en el mismo.

Estos tres casos permiten abordar el problema de la determinación espacial de estructuras geológicas asimilables a líneas y planos desde diferentes puntos de vista y teniendo en cuenta la posibilidad de recoger determinados datos de campo y no otros.

En el primer caso mencionado (a) se origina el denominado "método de los tres puntos". En el mismo se conoce la posición del plano en tres puntos acotados y localizados sobre un mapa, o bien, separados a distancias conocidas. En el ejemplo de la Fig 2 son los puntos A, B y C, cuyas cotas son: 30m; 70m y 120m respectivamente. El punto A se encuentra a 180m al Norte de B, y C se encuentra a 250m de B en dirección 120°. Para resolver este problema lo primero que debe hacerse es ubicar a escala los tres puntos, luego se colocan las cotas respectivas. Se traza una recta que pase por los puntos que presentan las cotas extremas (A y C en el ejemplo). Sobre este segmento se marca la posición del punto D correspondiente a una cota igual a la del punto B (70m), para ello se divide el segmento AC en tantas partes como unidades de diferencia de cota corresponden, en el ej.

$$\text{Cota de C} - \text{Cota de A} = 90\text{m}$$

Uniendo los dos puntos del plano que se encuentran a cota 70m

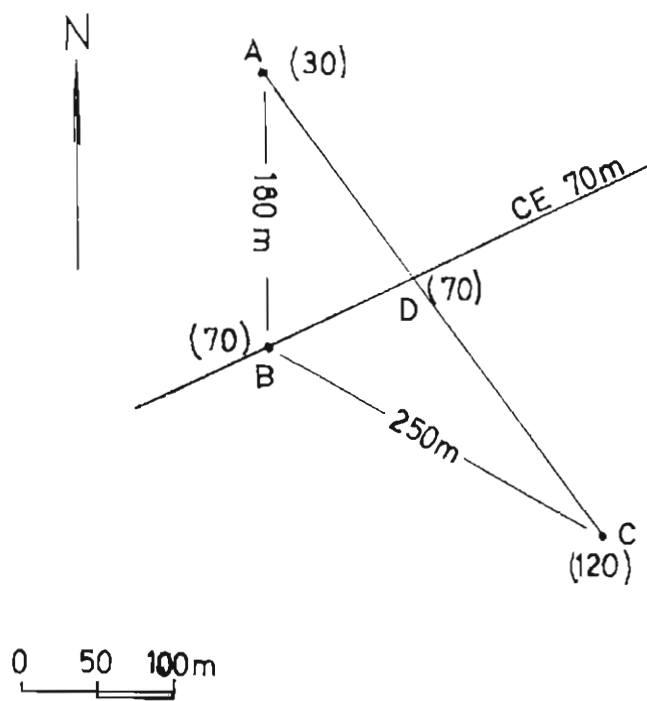


FIG 2



FIG 3

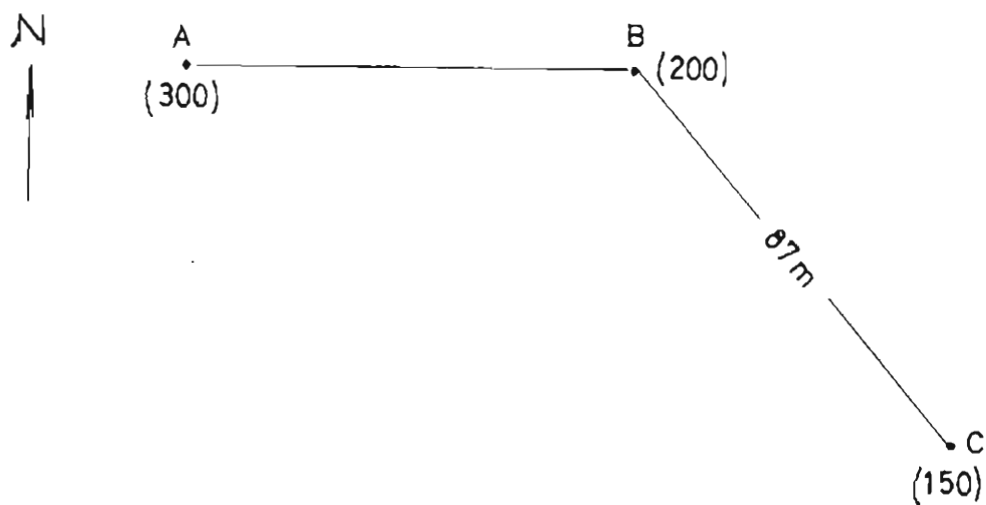


FIG 4

es decir los puntos A y D, habremos determinado la traza del contorno estructural de 70m (CE 70m) para el plano en estudio. El cálculo de la inclinación del mismo se efectúa según un procedimiento que se explicará más adelante.

En el segundo caso (b) pueden presentarse dos alternativas. Si la recta corresponde a un contorno estructural, sólo resta conocer la inclinación del plano; si no corresponde a un CE la misma sólo nos permite conocer la inclinación aparente del plano en una dirección determinada. El problema se resuelve de la siguiente forma:

Sea un punto A a cota 300m, a 80m de dicho punto y hacia el Este en un punto B a cota 200m se observa la traza del plano sobre una pared vertical orientada según el Az 140° inclinando 30° hacia el Sur; esto equivaldría a decir que el plano en cuestión presenta una inclinación aparente de 30° en dirección 140° . Sobre el mapa tendríamos la situación ilustrada en la Fig. 3. Por trigonometría sabemos que la tangente de la inclinación es igual al cociente entre la diferencia de cotas y la distancia horizontal. A partir de la Fig. 4 podemos determinar la posición en el mapa del punto C en el que el plano se encuentra a una cota arbitraria dada (por ej. a 50m por debajo de B).

$$\begin{aligned}\text{Distancia } x &= \frac{\text{Diferencia de cotas}}{\text{tg } i} \\ &= 50\text{m} / \text{tg } 30^\circ \\ &= 87\text{m}\end{aligned}$$

De esta manera sabemos que C se encuentra a 87m de B en dirección 140° . Marcando este punto sobre el mapa y encontrando la posición de un cuarto punto D sobre la recta AC el problema queda re-

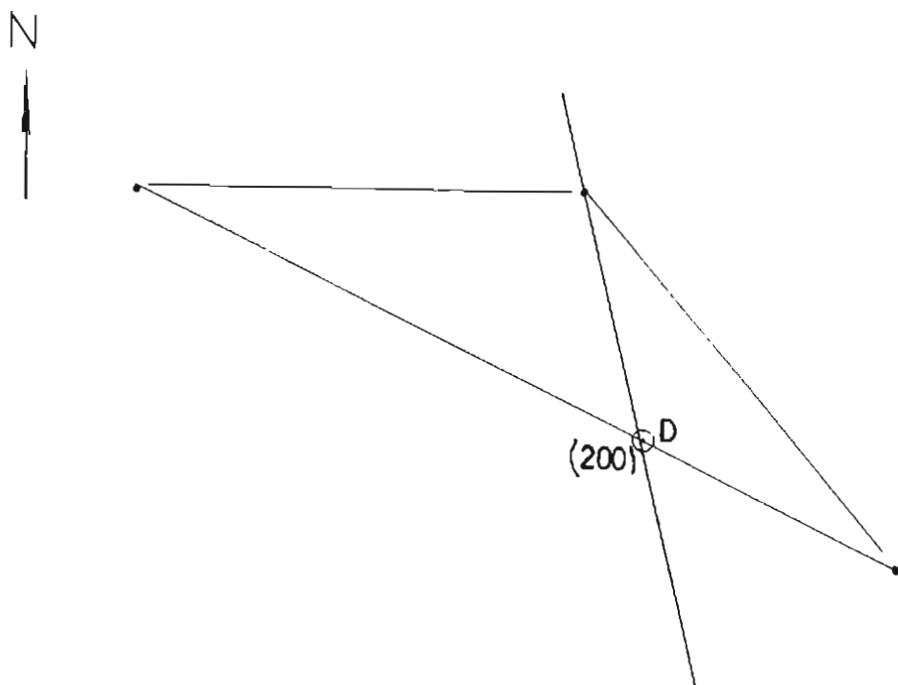


FIG 5

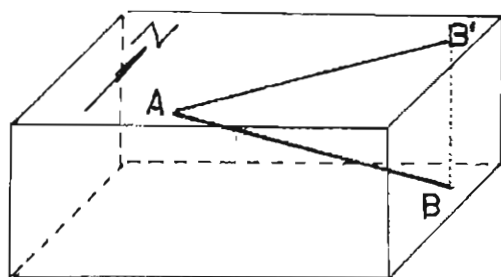


FIG 6

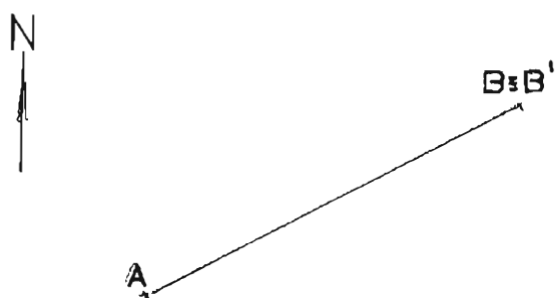


FIG 7

ducido al caso anterior de los tres puntos (véase la Fig. 5).

Para el caso c), cuando se conocen dos direcciones de inclinación del plano y se conoce la cota de un punto en cada una de ellas el problema se reduce a, una vez trazadas las líneas y los puntos acotados, encontrar en cualquiera de ellas un tercer punto según el esquema anteriormente dado y finalmente, al problema inicial de los tres puntos.

ABATIMIENTOS DE PLANOS SEGUN EJES HORIZONTALES

Esta técnica gráfica nos permite resolver los problemas anteriores y otros que se verán más adelante sin necesidad de recurrir a cálculos trigonométricos. Sea el caso de una línea AB cuya actitud es: Buzamiento 30° en dirección 30° . Representada sobre el plano se obtendría la recta AB' de la Fig. 6. Si queremos que la línea AB aparezca representada con su verdadera inclinación debemos dibujar el plano vertical que la contiene. Ello se logra mediante un sencillo proedimiento gráfico. Sabiendo que la recta buza en dirección 30° sabemos que la cota de A será mayor que la de B, entonces elegimos como cota de la superficie horizontal de referencia la de A, ya que por conveniencia en este tipo de trabajos llevamos a la horizontal el semiplano inferior. Esto se ilustra en la Fig. 7.

Volviendo al problema digamos que el eje de abatimiento tiene la dirección 30° por lo cual es coincidente (necesariamente) con la dirección de la recta y también con la del plano vertical que la contiene (plano β de la Fig. 8). Si rotamos este plano según el eje AB', en sentido contrario al giro de las agujas del reloj (el sentido de giro sólo depende de nuestra conveniencia en cuanto

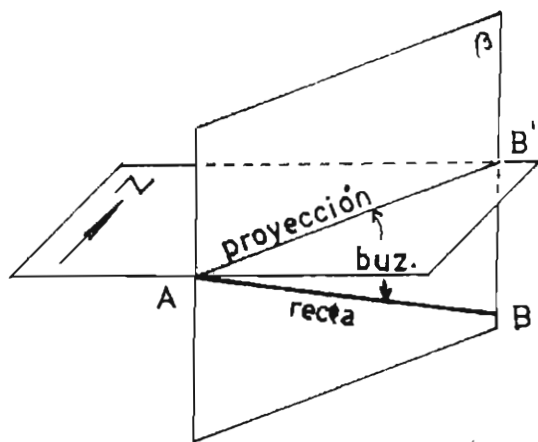


FIG 8

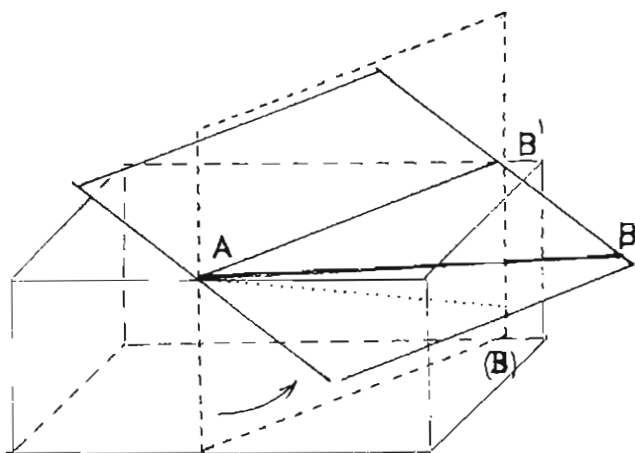


FIG 9

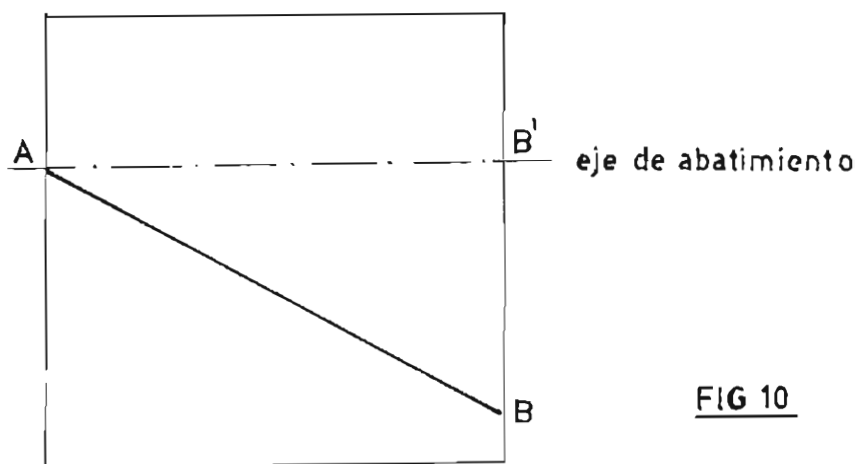
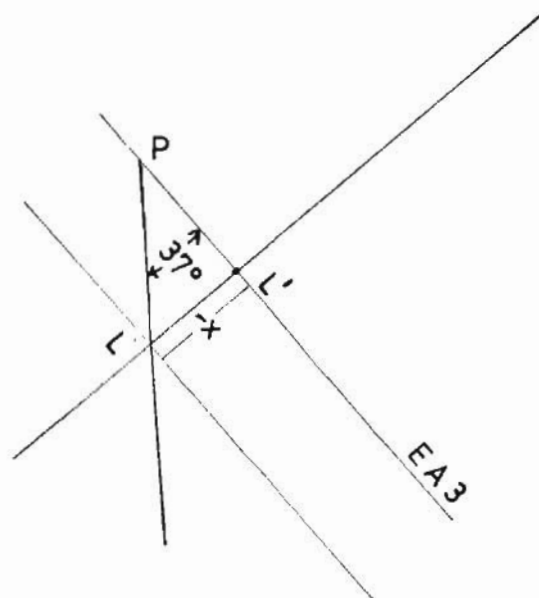
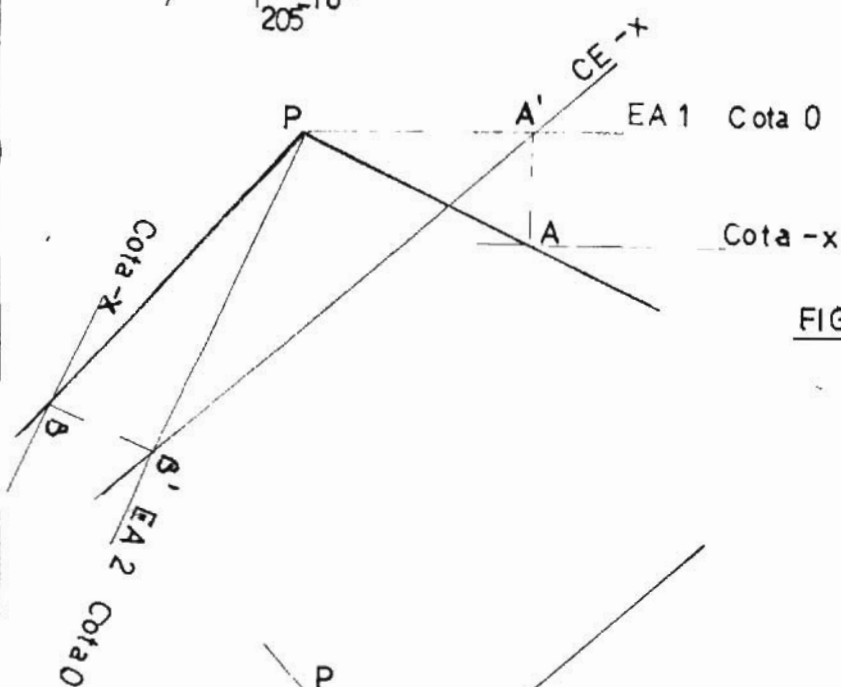
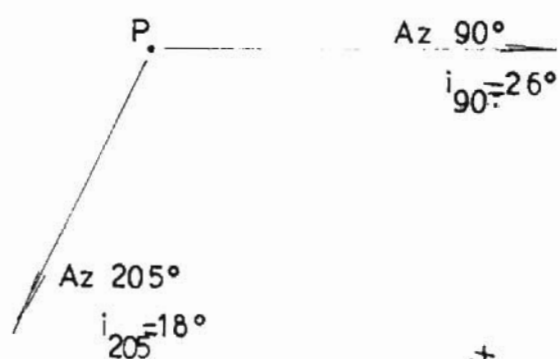


FIG 10

a la claridad del dibujo), nos encontramos con el esquema de la Fig. 9, intermedio entre el anterior y el de la Fig. 10 en el que se presenta el caso resuelto. Esta figura ha sido construída de la siguiente manera: habiéndose decidido que el abatimiento se realizaría en sentido contrario al giro de las agujas del reloj, el semiplano inferior aparece a la derecha del eje de abatimiento en el dibujo. Quedan entonces definidos dos sectores, uno que corresponde al plano horizontal y otro al plano vertical abatido. A partir del punto A y del lado del semiplano vertical abatido se miden los 30° correspondientes al buzamiento de la línea y se traza una recta perpendicular que pasa por B y que corta a la traza de la línea en B'. Midiendo la distancia BB' (correspondiente a la diferencia de cota entre ambos puntos a la escala del dibujo) puede calcularse la cota de B. Recuérdese que dado que AB, el eje de abatimiento es horizontal, cualquier línea perpendicular al mismo en el plano del dibujo corresponde a una línea vertical en la realidad.

CALCULO DEL RUMBO E INCLINACION VERDADERA A PARTIR DE DOS INCLINACIONES APARENTES.

Sea el caso de un plano del cual se conoce el valor de la inclinación en dos direcciones; según el Az 90° la misma es de 26° ; y según el Az 205° de 18° . Dado que se trata de un problema que no involucra medición de distancias no es necesario un mapa para la resolución del mismo. A partir de un punto cualquiera (P en el ej. de la Fig. 11) se trazan las rectas correspondientes a las dos direcciones en las que se conoce el valor de la inclinación. Utilizando cada una de estas direcciones como eje de abatimiento (EA1 y EA2) se trazan las inclinaciones aparentes (estas líneas de i_{90°



e i_{205° corresponden a las intersecciones del plano en cuestión con sendos planos verticales cuya orientación es 90° y 205° respectivamente. Estas inclinaciones aparentes se indican con las líneas PA y PB en la Fig. 12. Las letras de las figuras han sido colocadas de forma tal que en los planos abatidos su posición sería vertical. Esta práctica, si bien al principio parece confundir el dibujo, permite, una vez adquirido el hábito una más rápida interpretación de los esquemas, ya que todas las letras que tienen la misma orientación pertenecen al mismo plano. Tenemos entonces construídos dos perfiles donde aparece la traza del plano incógnita. Podemos ahora determinar dos puntos en los cuales este se encuentra a una cota arbitraria que en el ejemplo denominamos -x, y que en el dibujo se ha hecho coincidir con los puntos A y B. Uniendo los puntos correspondientes a la proyección de estos a la superficie, es decir los señalados como A' y B', que nos indican el lugar por donde pasa el contorno estructural de -x, tenemos definida la traza de dicho contorno. Debe destacarse que los puntos a unir son los que corresponden a la proyección de los puntos en profundidad hasta la superficie, ya que los primeros no pueden ser relacionados porque pertenecen a perfiles diferentes y han sido desplazados de su posición real. El rumbo determinado para el plano del problema es según la construcción realizada 50° .

Para el cálculo de la inclinación verdadera se debe construir un perfil en la dirección perpendicular al CE determinado. Para ello se procede de la siguiente forma: Por el punto P se traza una perpendicular a CE-x (véase la Fig. 13), a la que se utilizará como nuevo eje de abatimiento (EA3), sabemos que por el punto L' de dicha

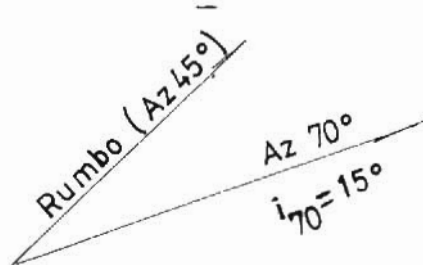


FIG 14

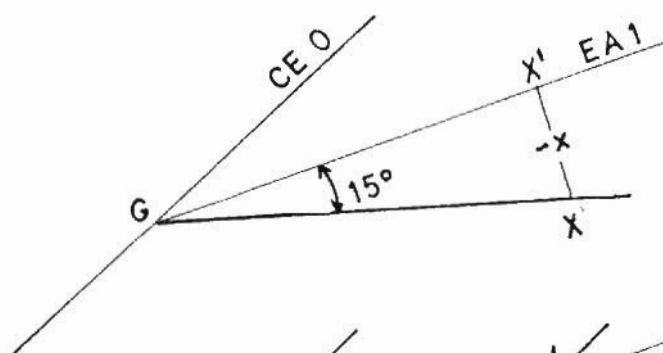


FIG 15

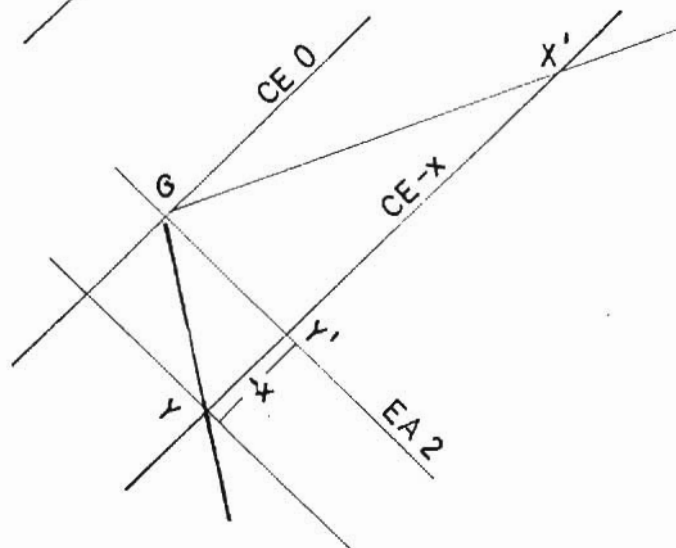


FIG 16

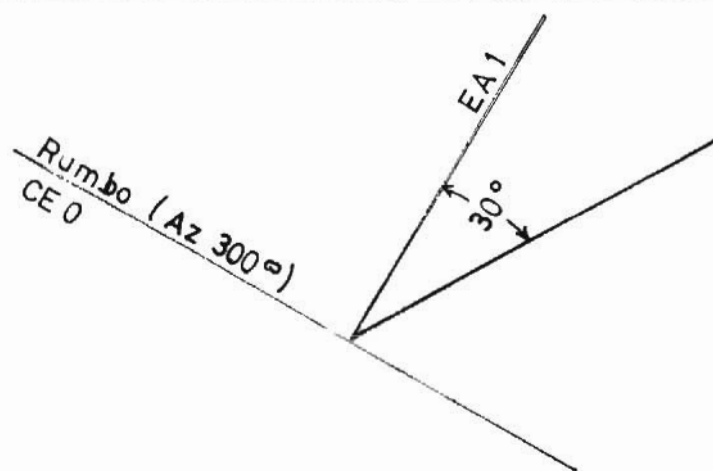


FIG 17

figura pasa el CE-x, por lo tanto si proyectamos la distancia vertical -x a partir de ese punto podemos determinar la posición del punto L. Midiendo el ángulo LOL' conocemos la inclinación verdadera del plano, es decir 37° en el ejemplo.

CALCULO DE LA ACTITUD DE UN PLANO A PARTIR DEL RUMBO Y DE UNA INCLINACION APARENTE.

Este caso es más sencillo. Tomemos por ejemplo un plano cuyo rumbo es 45° y del cual se sabe que su inclinación aparente en dirección 70° es 15° ; estos datos han sido representados en la fig. 14. Una vez trazado el CE0, pasando por un punto cualquiera G, trazamos desde este la dirección en la cual se conoce la inclinación aparente, (véase la Fig. 15). Se toma entonces esta dirección como eje de abatimiento y se traza el ángulo de inclinación correspondiente. Por un punto cualquiera X' se traza una perpendicular al EA1 la que corta a la traza del plano a una cota -x en el punto X. Por el punto X' se traza el CE-x paralelo al CE0. El punto Y' corresponde a la intersección del CE-x con la dirección perpendicular al rumbo del plano y tomando esta dirección como EA2 se realiza un nuevo perfil, ilustrado en la Fig. 16. Perpendicularmente a EA2, desde el punto Y' se marca Y (correspondiente a la posición en profundidad del punto Y', la distancia entre X y X' es obviamente igual a la distancia entre Y e Y'). El ángulo entre la línea que une G con Y y la horizontal EA2, nos da la inclinación verdadera del plano, que en el caso del ejemplo es de 30° .

CALCULO DE LA INCLINACIÓN APARENTE DE UN PLANO EN UNA DIRECCION DETERMINADA.

Sea un plano cuyo rumbo es 300° y su inclinación 30° al NE. Se

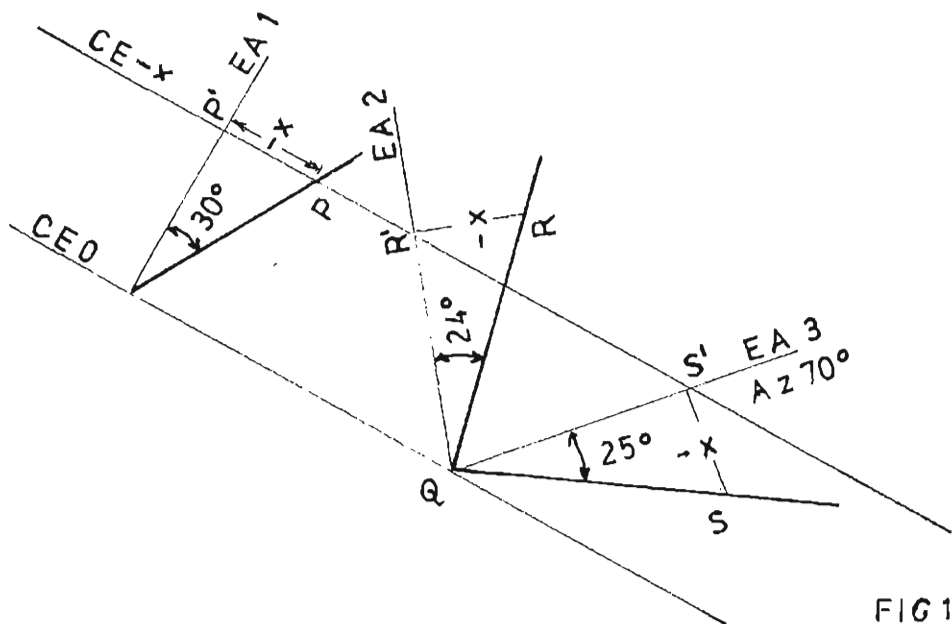
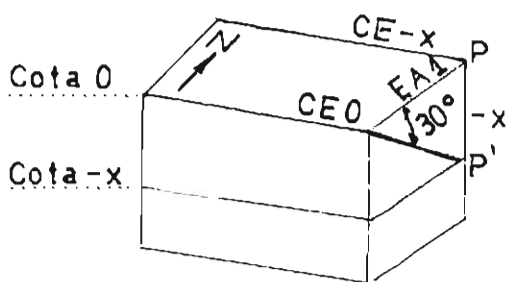
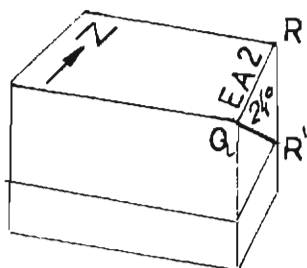


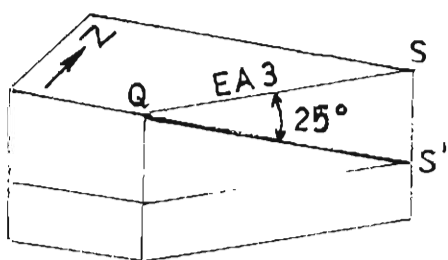
FIG 18



(a)



(b)



(c)

FIG 19

desea conocer el valor de la inclinación aparente en la dirección 350° y en la dirección 70° . Se traza en principio una línea que representará el contorno estructural de cota cero y perpendicularmente a ella el eje de abatimiento EA1 que utilizaremos para representar la inclinación verdadera del plano, tal como se observa en la Fig. 17. A partir de este dibujo trazamos un CE correspondiente a un valor cualquiera que como de costumbre denominaremos $-x$, (véase la Fig. 18). Para ello elegimos el punto P sobre la traza del estrato y perpendicularmente al EA1 lo proyectamos hasta dicho eje, originando el punto P'. Por este hacemos pasar entonces la línea correspondiente al CE- x , naturalmente paralelo al CE0.

A continuación a partir de un punto cualquiera Q cuya posición elegiremos en función de la claridad del dibujo trazamos una recta en dirección 350° , a la que utilizaremos como EA2 y que nos permitirá conocer la inclinación aparente del estrato en esa dirección como se ilustra en la Fig. 18. Para ello en el punto R donde el CE- x interseca al EA2 y perpendicularmente a éste trazamos un punto R' a una distancia igual a $-x$. Uniendo este punto R' con el punto Q tenemos dibujada la traza del plano en esa dirección, el ángulo entre la misma y el eje de abatimiento nos da el valor de la inclinación aparente. Es importante tener en cuenta que la distancia $-x$ puede ser tomada tanto hacia la izquierda como hacia la derecha del EA, cambiando por lo tanto la posición relativa del punto R hacia un lado o hacia el otro. Esto no introduce modificación en el resultado; la selección de la dirección de rotación del EA, pues de esto se trata, debe hacerse

teniendo en cuenta la claridad del dibujo. El valor de la inclinación aparente obtenido para el ejemplo es de 24° .

Para calcular la inclinación aparente en dirección 70° procedemos en forma similar a la anterior. Trazamos desde Q el EA3 en dirección 70° , (véase la Fig. 18), desde el punto S, perpendicularmente al EA3 y a una distancia -x marcamos S. Uniendo Q con S tenemos definida la traza del plano en la dirección 70° . El valor de la inclinación medido es de 25° . Si tenemos en cuenta que ambas direcciones se apartan un valor igual con respecto a la de inclinación verdadera es de esperar que los valores obtenidos para las inclinaciones aparentes sean iguales. Las diferencias que se obtienen permiten valorar la magnitud de los errores cometidos inherentes a la prolijidad con que se ha realizado la construcción. En la Fig. 19 se han representado los bloques diagramas correspondientes a las distintas construcciones y operaciones descritas en este ítem. Debemos recordar que lo que hasta aquí ha sido denominado CE-x en las construcciones corresponde en realidad a la proyección vertical de dicho CE, tal como puede observarse en la Fig. 19.

CALCULO DE LA ACTITUD DE LA LINEA DE INTERSECCION DE DOS PLANOS

A veces es necesario conocer la actitud de la línea de intersección de dos planos, ya sea porque la misma define la posición de un clavo mineralizado o bien, si ambos planos representan los flancos de un pliegue, porque se desea conocer la actitud del eje del mismo, etc. Para ello se procede de la siguiente manera: sea por ejemplo el caso de los planos α y β cuyas actitudes son

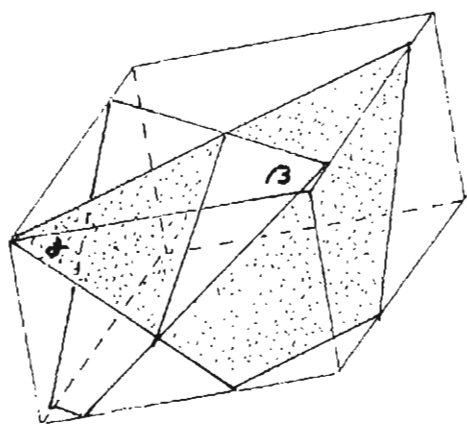


FIG 20

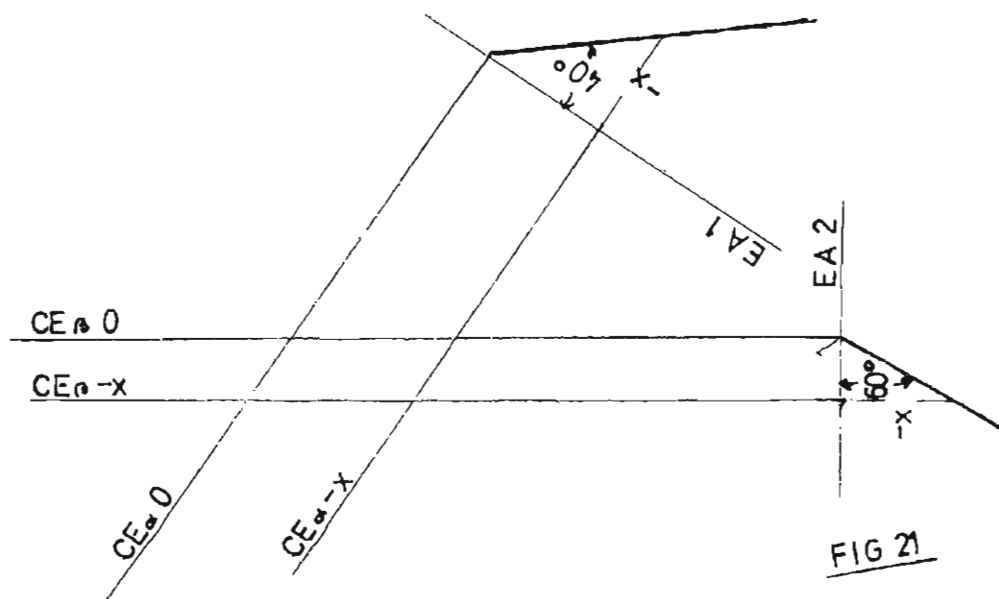


FIG 21

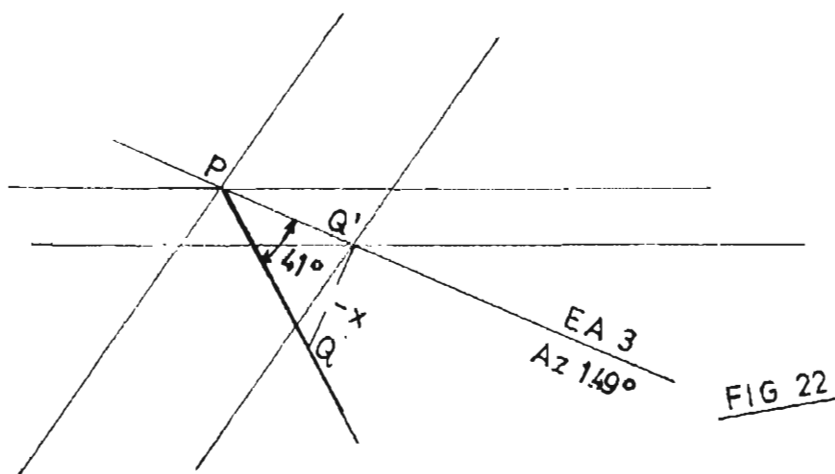


FIG 22

para α Rumbo 45° e inclinación 40° al SE y para β Rumbo 280° e inclinación 60° al SO, tales como los representados en la Fig. 20.

Se trazan los contornos estructurales de cota 0 y cota $-x$ de ambos planos en la forma ya descripta, es decir se traza una perpendicular a los CE de cada uno de los planos y, utilizando la misma como eje de abatimiento se traza la inclinación correspondiente. Se marca una profundidad $-x$ en cada uno de los perfiles, véase la Fig. 21, y se trazan los CE de $-x$ correspondientes. Luego se marcan los puntos P y Q', que señalan las intersecciones de las líneas de CEO y CE- x de ambos planos entre si, obteniéndose el esquema de la Fig. 22. Tenemos así definido el Rumbo de la línea de intersección de ambos por la recta que une los puntos señalados como P y Q', el valor obtenido en el ejemplo es de 149° . Para conocer el buzamiento debemos realizar un perfil en la misma dirección de la línea. Utilizaremos entonces la dirección 149° como línea de abatimiento.

Las cotas de P y Q son conocidas, por lo tanto podemos marcar la posición del punto Q (a una profundidad $-x$ debajo de Q') y uniendo P con Q tenemos la traza de la línea. El ángulo QPQ' nos da el valor del buzamiento de la línea de intersección. La actitud de la línea puede describirse entonces como Rumbo 149° y buzamiento 41° .

Como se recordará la actitud de una línea queda definida por el valor y la dirección del buzamiento de la misma, es por esto que debe utilizarse el Az 149° y no el Az 329° dado que la línea buza hacia el SE.

CALCULO DE LA ACTITUD DE LINEAS CONTENIDAS EN PLANOS

Si queremos conocer la actitud de, por ejemplo, una galería realizada sobre un filón o cuerpo semejante debemos aplicar las

técnicas anteriormente descriptas para el cálculo de inclinaciones aparentes, ya que el buzamiento de una línea contenida en un plano corresponde a la inclinación aparente del plano en la dirección de buzamiento de aquella.

CALCULO DE ESPESORES DE ESTRATOS

Antes de explicar las técnicas correspondientes es necesario definir el significado de términos como espesor verdadero, espesor aparente, ancho de afloramiento, etc. El espesor verdadero es el espesor medido perpendicularmente a los planos de techo y base del estrato. Cuando se lo mide sobre un perfil este debe ser perpendicular al rumbo del estrato. Si la medición se realiza según una dirección no perpendicular a los planos de techo y base se obtiene un espesor aparente, el cual es siempre mayor que el verdadero. El espesor vertical tal como su nombre lo indica es aquel que se mide sobre una línea vertical que atraviesa el estrato. Este espesor vertical es de gran importancia práctica pues es un valor constante cualquiera sea el punto donde se realice la medición e independiente de la orientación del perfil sobre el que se mida. En la Figura 23 se han ilustrado estos elementos mediante un bloque diagrama. El ancho de afloramiento es un valor muy variable, ya que está influido tanto por la dirección en la que se lo mide, como por la relación entre la inclinación de la superficie topográfica y la del estrato. El ancho de afloramiento en sentido estricto corresponde a la distancia entre los afloramientos de techo y base medidos en la dirección perpendicular al rumbo y sobre un plano horizontal. Todo otro valor de ancho de afloramiento ya sea medido en otra dirección o sobre una topografía inclinada recibe el nom-

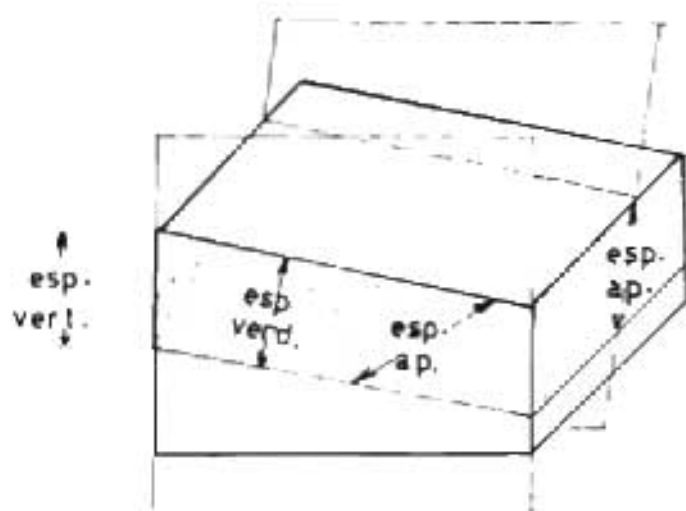


FIG 23

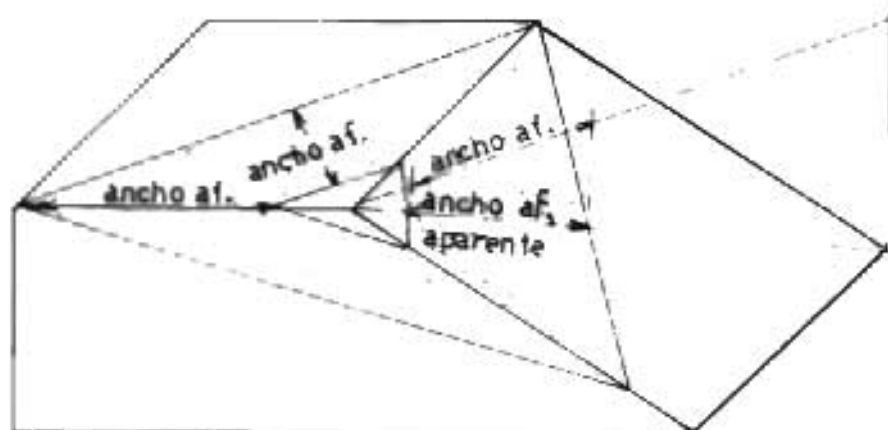


FIG 24

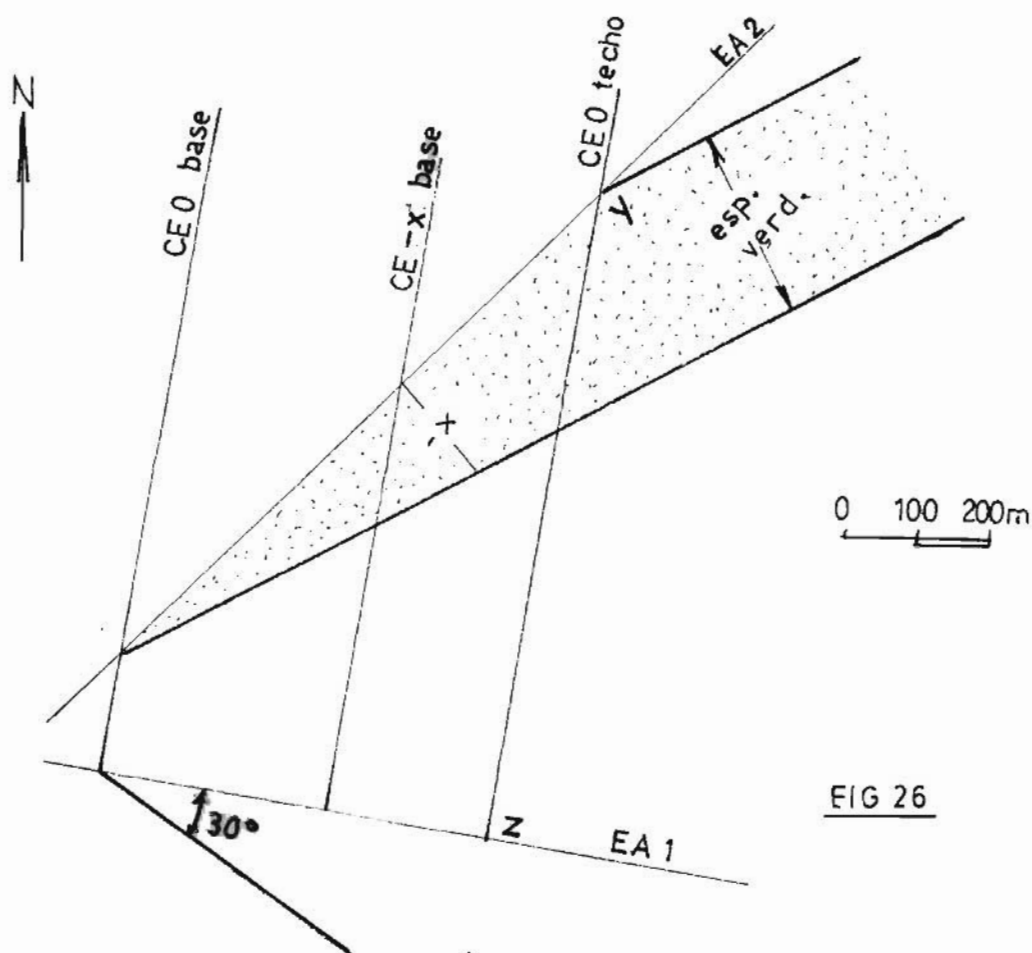
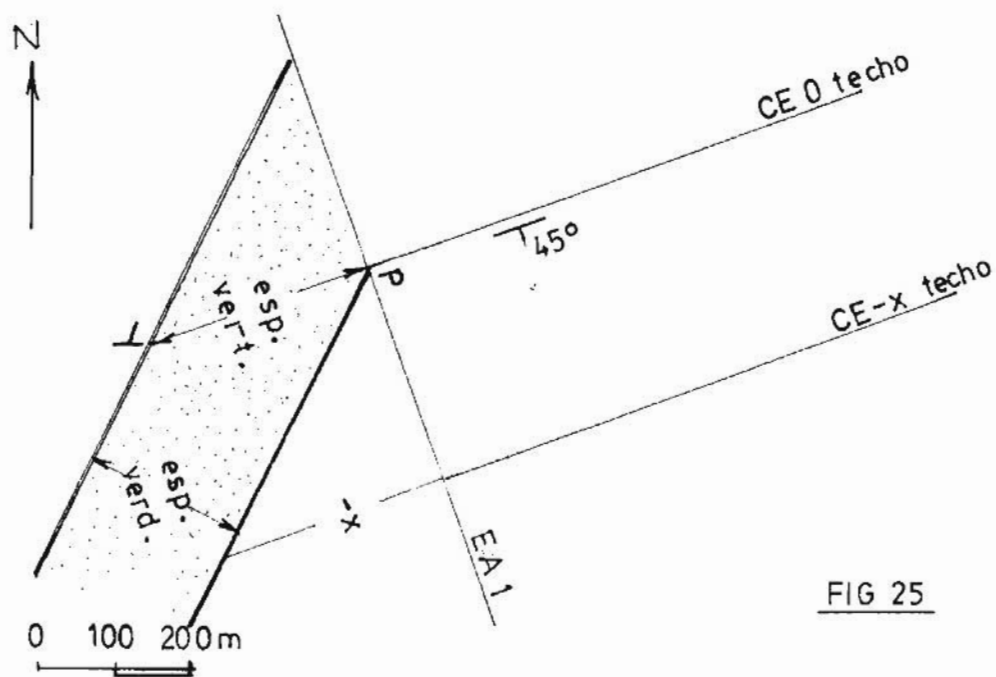
bre de ancho de afloramiento aparente y deben especificarse claramente las condiciones en que se ha medido el mismo al utilizarlo.

CALCULO DEL ESPESOR VERDADERO DE UN ESTRATO CONOCIENDO SU ACTITUD Y EL ESPESOR VERTICAL

Sea el caso de un estrato de Rumbo 70° e inclinación 45° al SE, cuyo espesor verdadero se desconoce y del cual, en una perforación vertical se atravesaron 300m de techo a base. Para resolver este problema representamos los CE para una superficie cualquiera del estrato, en la Figura 25 se ha elegido el techo. Mediante un perfil perpendicular al rumbo, según el EA1 representamos la inclinación; perpendicularmente a dicho EA1 y a partir de la traza del estrato (punto P) hacia abajo representamos el espesor vertical medido en la escala correspondiente (Punto Y). Luego hacemos pasar por Y una paralela a la traza del techo para construir la traza de la base. Dibujamos luego una perpendicular a ambas y sobre ella medimos el espesor verdadero, que en el caso del ejemplo es de 210m.

CALCULO DEL ESPESOR VERDADERO CONOCIENDO LA ACTITUD DEL ESTRATO Y SU ESPESOR APARENTE EN UNA DIRECCIÓN

Un estrato de Rumbo 10° e $i=30^\circ$ al E presenta un espesor aparente de 250m en un corte de camino realizado en dirección 45° . Para conocer el espesor verdadero debe procederse de la siguiente forma: Dibujamos el Rumbo del estrato y construimos el perfil perpendicular al mismo en el que representamos su inclinación verdadera, tal como se ilustra en la Figura 26. Se determina así la posición de los CE0 y CE-x. Se traza luego la dirección 45° . Se toma la misma como EA2 y en función del CE-x dibujamos la traza



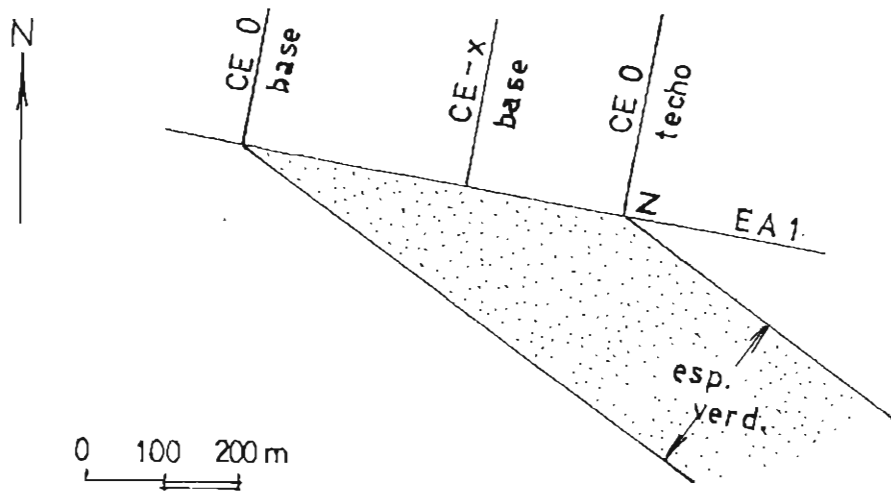


FIG 27

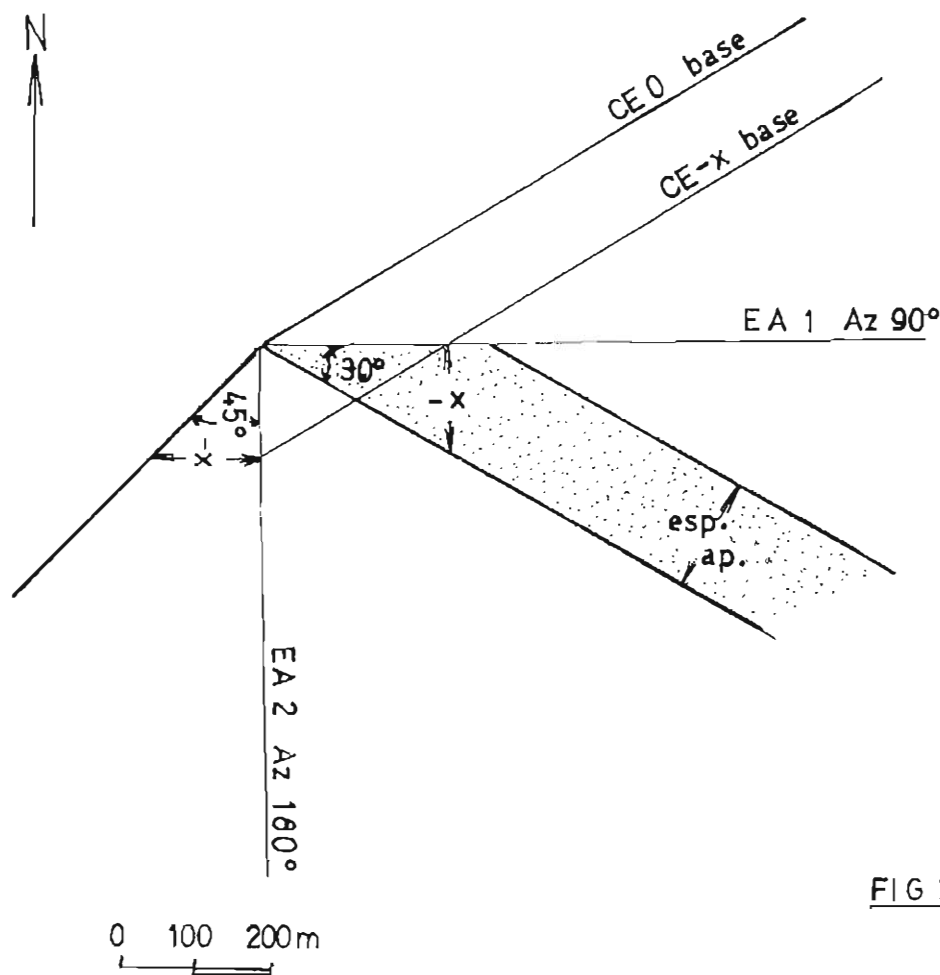


FIG 28

en esa dirección. Perpendicularmente a ella se marcan los 250m correspondientes al espesor del estrato (aparente) y por ese punto hacemos pasar la traza de la otra superficie del estrato, techo o base según corresponda. Continuamos dicha traza hasta su intersección con el EA2 (punto Y) y paralelamente al CE0 de la superficie inicial hacemos pasar por el el contorno estructural de cero correspondiente a la segunda superficie. Desde el punto donde este segundo CE0 interseca al EA1 (punto Z) trazamos una paralela a la otra traza que había sido ya dibujada en este perfil, tal como se ilustra en la figura 27. Perpendicularmente a estas trazas representativas del techo y la base se mide el espesor verdadero, obteniéndose para el caso del ejemplo un valor de 180m.

Si además de conocer el espesor aparente en la dirección 45° conocemos también la inclinación aparente del estrato en esa dirección no es necesario realizar la primera construcción para hallar el CE-x. La segunda parte del problema se resuelve en forma igual.

CALCULO DE LA ACTITUD Y ESPESOR VERDADERO DE UN ESTRATO

CONOCIENDO DOS INCLINACIONES Y EL ESPESOR APARENTES EN

DIRECCIONES DETERMINADAS

Este es un caso que puede presentarse frecuentemente. Un banco determinado presenta sobre un frente de cantera con una orientación Az 90° una inclinación aparente de 30° al E y un espesor aparente de 15m. En otro frente cuya orientación es Az 180° la inclinación medida es de 45° al S. Para calcular la actitud realizamos, tal como fuera explicado oportunamente, dos perfiles en las direcciones mencionadas, obteniéndose así la Figura 28, sobre la que se trazan las inclinaciones correspondientes. Se dibuja luego el espesor apa-

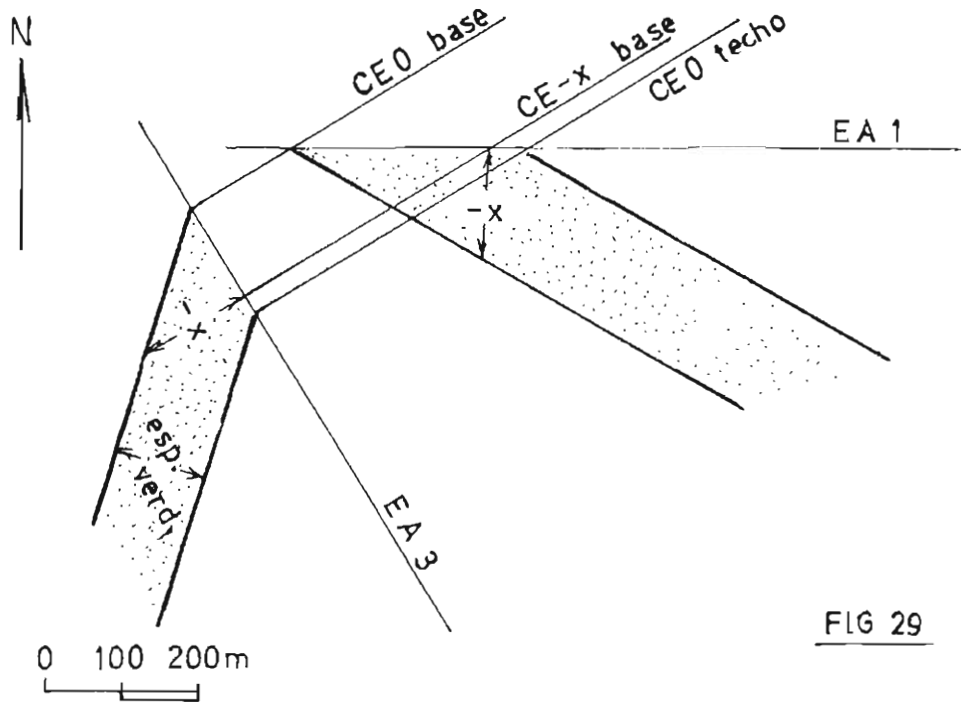


FIG 29

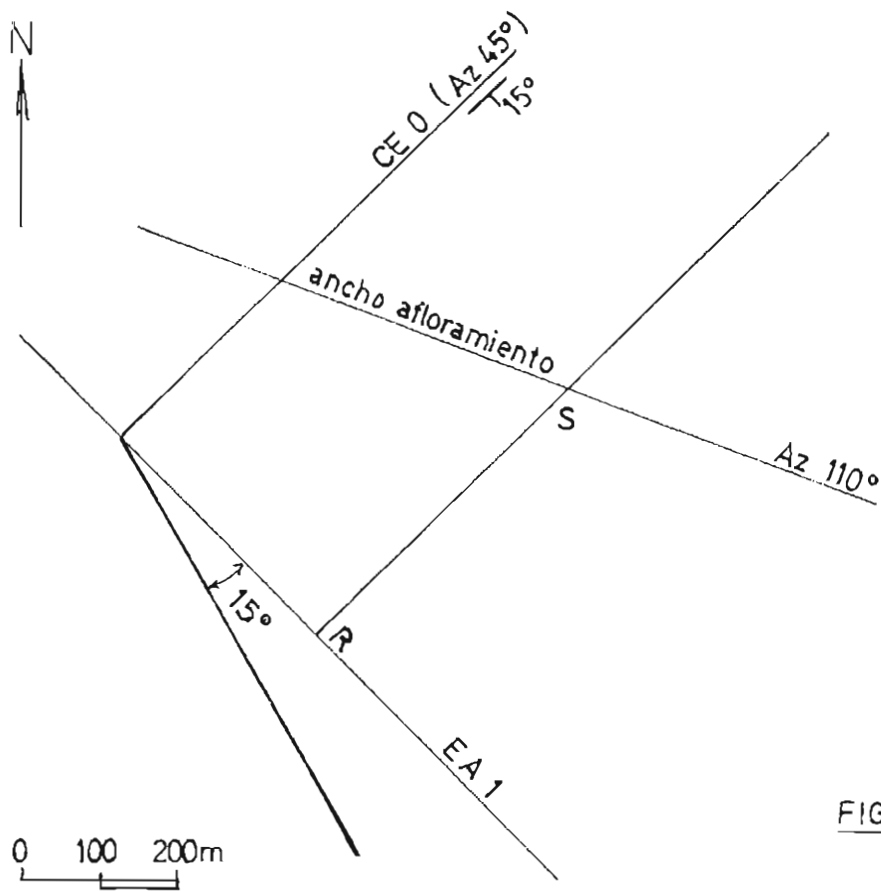


FIG 30

rente y se traza la otra superficie del estrato hasta su intersección con el eje de abatimiento. Luego se marca en ambos perfiles un punto a cota $-x$ que nos permitirá calcular la actitud del estrato. A partir de aquí la resolución continúa como en el caso anterior, teniendo en cuenta que utilizaremos el dato de espesor vertical que podemos medir sobre uno de los perfiles para transportar la traza al otro. La construcción final es la que se muestra en la Figura 29.

CALCULO DEL ESPESOR VERDADERO DE UN ESTRATO A PARTIR DE SU ACTITUD Y DEL ANCHO DE AFLORAMIENTO APARENTE

Se desea conocer el espesor verdadero de un estrato de Rumbo 45° e $i=15^\circ$ al SE, que presenta un ancho de afloramiento de 400m en dirección 110° . La resolución de este problema comienza con la representación del rumbo del estrato y la construcción de un perfil perpendicular al mismo en el cual se traza la inclinación. Luego, desde un punto cualquiera en la línea de rumbo iniciamos un segmento en la dirección en la cual se conoce el ancho de afloramiento, tal como se ilustra en la Figura 30. Trazamos una paralela al CEO a una distancia del origen igual al ancho de afloramiento, siempre en la escala correspondiente. Queda así definido el punto S en la Figura 30. La línea que pasa por S corta al EA1 en el punto R, desde este trazamos una paralela a la traza del estrato. Queda así representado el estrato en ese perfil. El espesor verdadero se mide como ya se ha dicho perpendicularmente a las dos superficies trazadas, para el ejemplo el valor del mismo es de 100m; el espesor vertical se mide perpendicularmente al EA1 y es de 110m (Fig. 31).

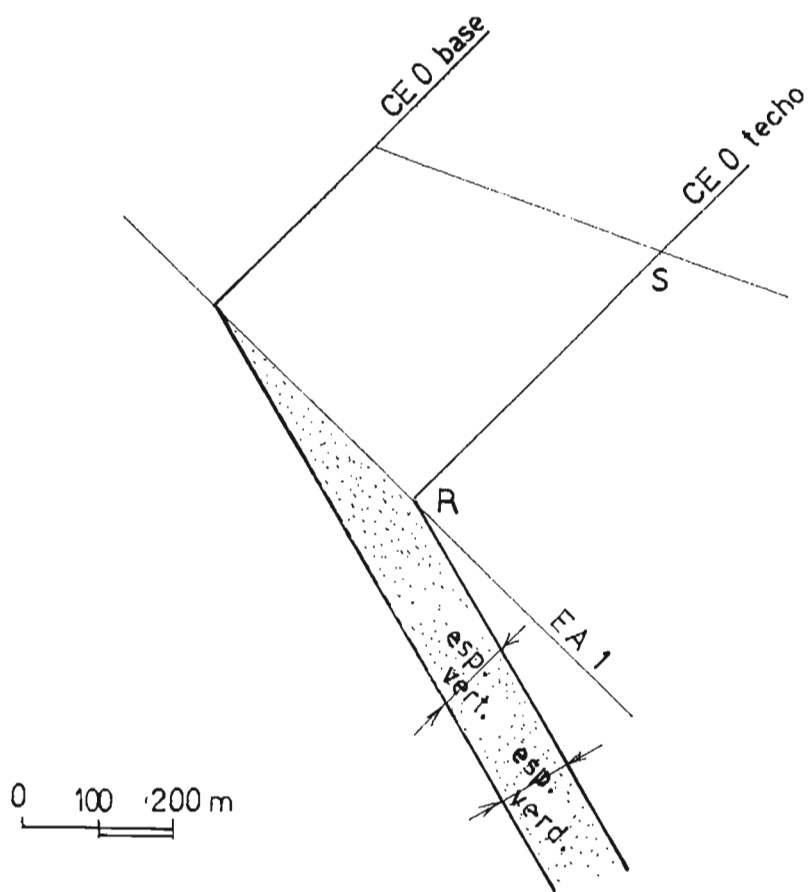


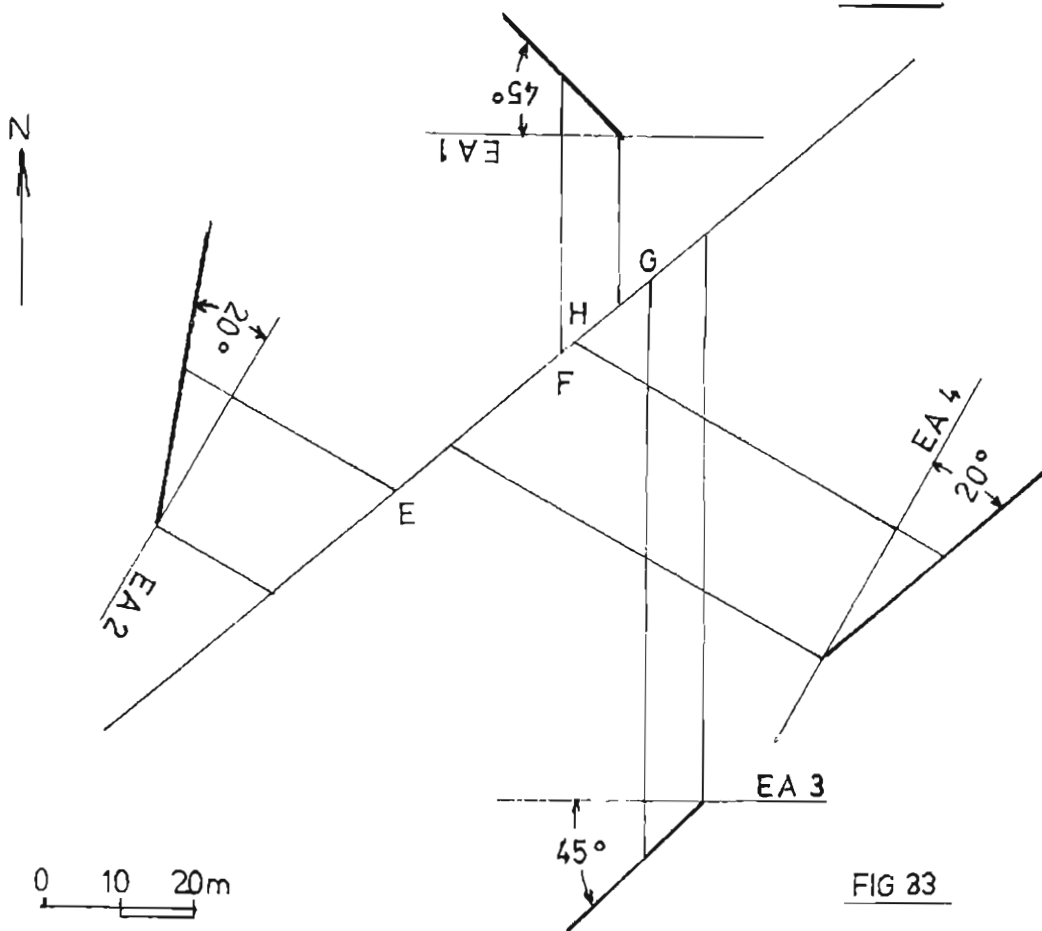
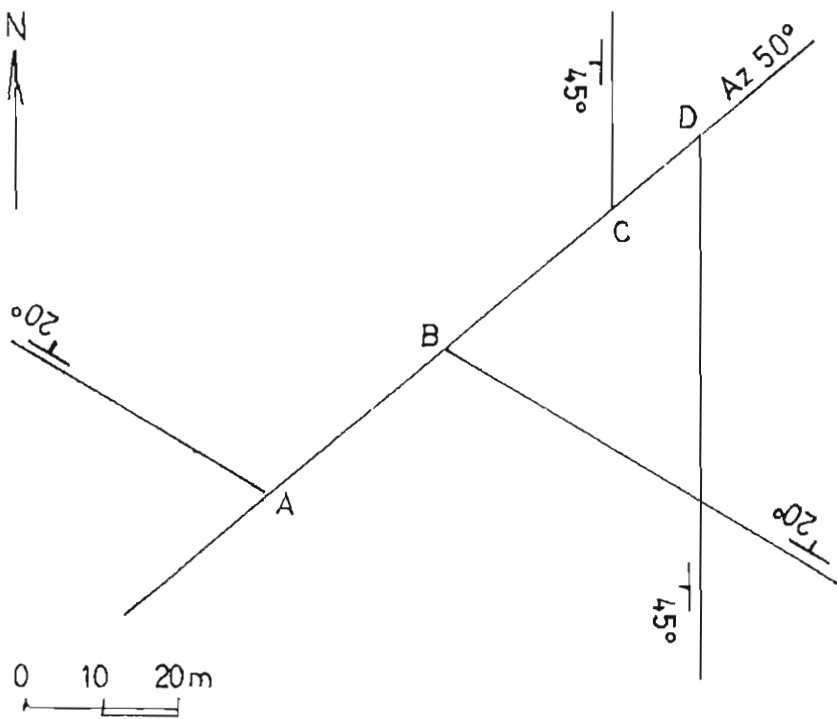
FIG 31

CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS SOBRE PLANOS DE FALLA

En base a datos de afloramientos puede calcularse el desplazamiento que ha tenido lugar sobre un plano de falla. Trataremos primero sólo las fallas cuyo plano es vertical, las fallas según planos inclinados requieren métodos que incluyan abatimientos dobles y serán tratadas posteriormente.

El método se basa en dibujar el plano de falla y sobre este las trazas de elementos geológicos tales como estratos, diques, etc. Para poder realizar mediciones confiables necesitamos tener identificados puntos homólogos de uno y otro lado del plano de falla, para ello se utilizan las intersecciones de elementos como los antes mencionados. El proceso de reconstrucción de las trazas es igual al del cálculo de inclinaciones aparentes en una dirección determinada la que en este caso corresponde al rumbo del plano de falla.

Expondremos el método mediante el ejemplo que se ha representado en la Fig. 32. En la misma encontramos una falla vertical de Rumbo 50° y sobre el bloque norte afloran un estrato cuya actitud es Rumbo 300° e $i=20^\circ$ al NE y un filón de Rumbo 180° e $i=45^\circ$ al O. Los mismos elementos afloran en el bloque sur y la relación entre los afloramientos de uno y otro lado está señalada, siendo la distancia AB igual a 30m. la BC a 30m y la CD a 15m. La resolución del problema comienza con el trazado de los contornos estructurales tal como se ilustra en la Figura 33. Se trazan perpendiculares a los mismos y utilizándolas como ejes de abatimientos se marcan las inclinaciones correspondientes. Luego marcamos una cota arbitraria -x en los cuatro perfiles y trazamos los contornos estructurales de -x correspondientes. A estos últimos los interrumpimos en el punto



en que intersecan la traza de la falla. Utilizamos luego la traza de la falla como eje de abatimiento a cota 0, marcamos la cota -x a la distancia correspondiente y, perpendicularmente al denominado EA5 desde los puntos E' , F' , G' y H' definimos la posición de los puntos E, F, G y H'. Los puntos E' , F' , G' y H' corresponden a la intersección de los CE-x con la línea de abatimiento; los E', F, G y H a la posición real de los mismos en el perfil. Uniendo A con E', B con H', C con F' y D con G' tenemos trazadas las inclinaciones aparentes del estrato y del filón sobre el plano de falla tal como puede verse en la Figura 34. Marcamos luego la intersección de los dos elementos del bloque norte (punto N) y la de los del bloque sur (punto S). Si no hubiera habido desplazamiento ambos puntos deberían coincidir, por lo tanto la distancia entre ellos corresponde al desplazamiento neto de la falla, la proyección de este sobre la horizontal es el desplazamiento de rumbo (también denominado "componente de rumbo"); su proyección sobre el plano vertical es el desplazamiento vertical, (también denominado "componente vertical"). En la Figura 35 están representados estos valores del desplazamiento y sus componentes. Algunos autores utilizan el término "rechazo" para referirse a los desplazamientos. Para el problema enunciado los valores obtenidos son: Desplazamiento neto 20,25m; desplazamiento vertical 3m; desplazamiento de rumbo 20m.

RECONSTRUCCION DE AFLORAMIENTOS CONOCIENDO EL DESPLAZAMIENTO SOBRE EL PLANO DE FALLA

Este caso es complementario del anterior, siendo ahora los datos correspondientes a los afloramientos en uno de los bloques y el valor de los desplazamientos en el plano de falla. Tomemos como

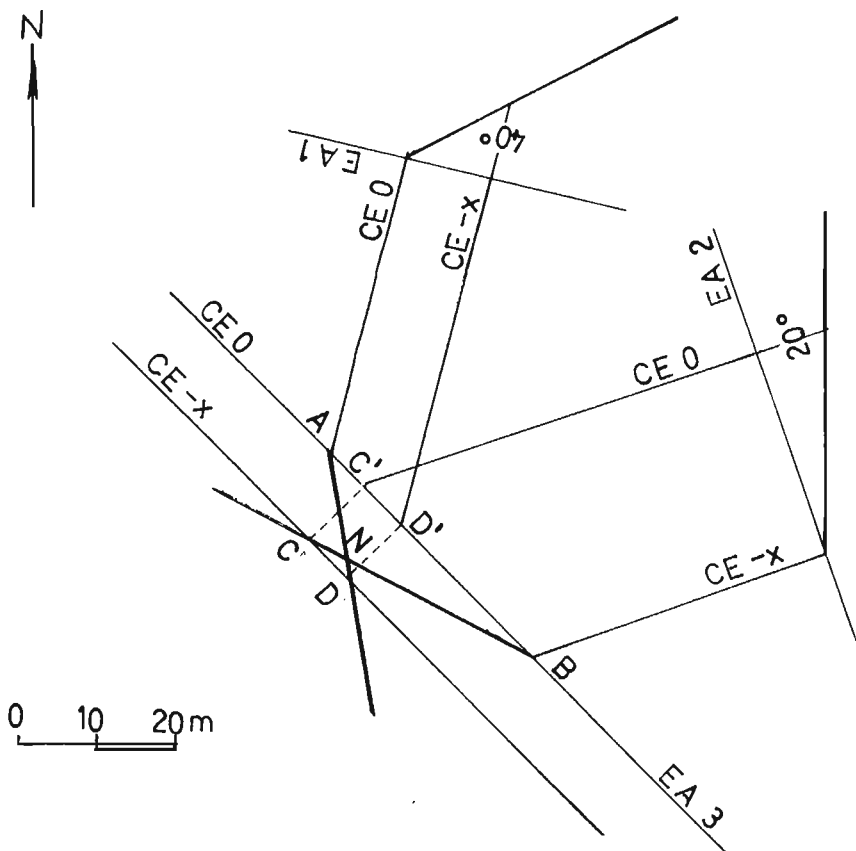


FIG 37

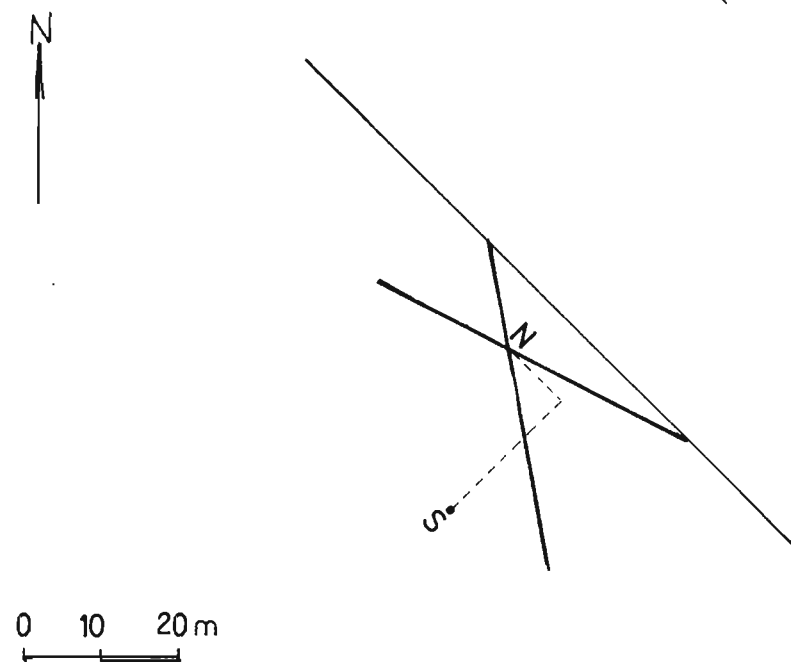


FIG 38

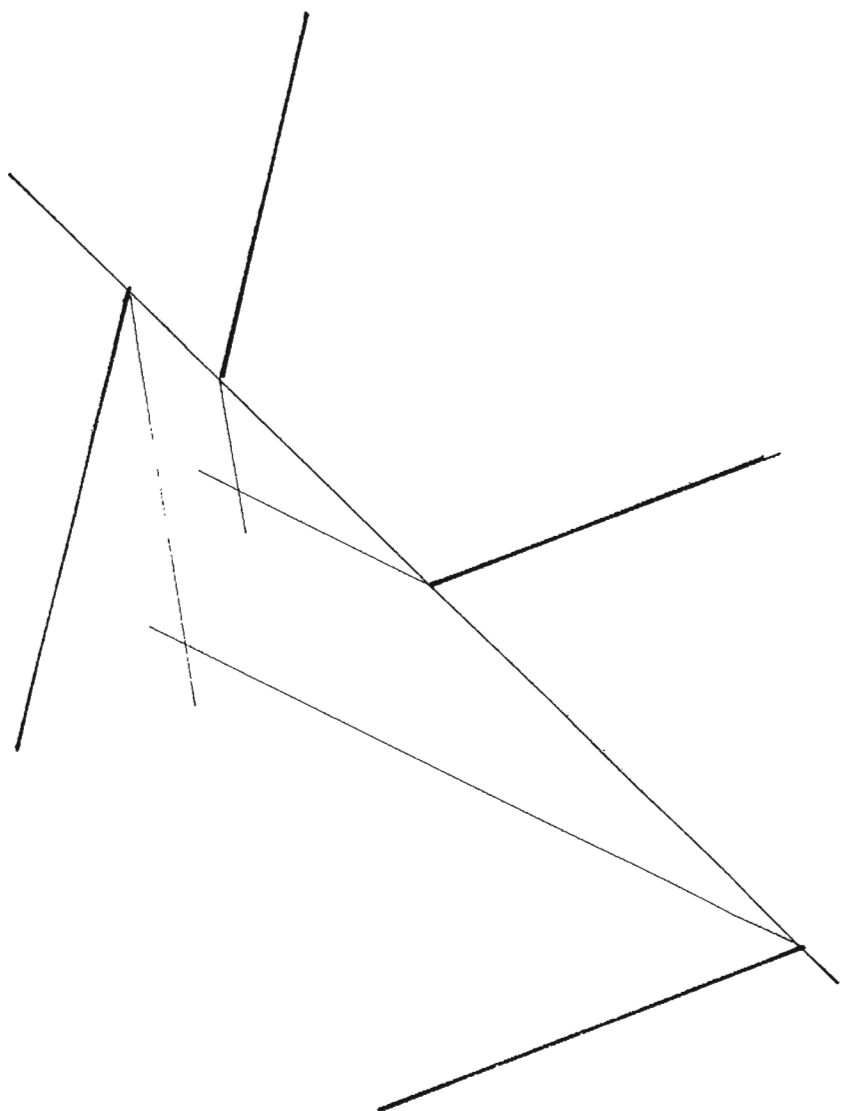


FIG 39

ejemplo el caso de la Figura 36. En el bloque NE afloran: un estrato cuya actitud es Rumbo 15° e $i=40^{\circ}$ al E y un dique de Rumbo 70° e $i=20^{\circ}$ al NO, el afloramiento de este último se encuentra a 40m al SE del primero sobre la traza de la falla en un área donde la topografía es sensiblemente horizontal. La falla tiene un Rumbo 135° su plano es vertical y presenta un rechazo de 10m en la horizontal y de 20m en la vertical. El bloque sur es el que se ha hundido y la falla es desplazamiento izquierdo.

Podemos reconstruir los afloramientos en la siguiente forma: Trazamos las perpendiculares al estrato y al dique (EA1 y EA2 respectivamente) y marcamos las inclinaciones verdaderas correspondientes. Luego con un -x cualquiera trazamos los CE-x hasta su intersección con el plano de la falla. Tomamos luego esta como EA3 y trazamos la línea correspondiente a la cota -x. Dibujamos las trazas de ambos planos sobre el plano de falla uniendo los puntos A con D' y B con C' como puede verse en la Figura 37. Queda así determinada la posición del punto de intersección correspondiente al bloque norte por la intersección de ambas trazas. Sabemos que la falla es desplazamiento izquierdo por lo tanto el punto S correspondiente a su homólogo en el bloque sur debe quedar a la derecha del punto N, y como el labio o bloque hundido es el sur el punto S estará a una cota inferior a la de N. Medimos entonces los rechazos correspondientes y los representamos en la forma indicada en la Figura 38. Por el punto S se hacen pasar paralelas a las trazas del estrato y el dique hasta su intersección con el EA3 y desde allí se dibujan los CE0 correspondientes paralelamente a los equivalentes en el bloque norte. Se obtiene así el diagrama de la Figura 39.

CALCULO DEL HUNDIMIENTO DE UNA LINEA SOBRE UN PLANO

Se define como "hundimiento" de una línea al ángulo comprendido entre la horizontal y dicha línea medido sobre el plano que la contiene. Este parámetro se ilustra en la Figura 40. Cuando el plano que contiene a la línea es vertical el valor del hundimiento es coincidente con el del buzamiento.

Para poder medir el valor del hundimiento es necesario transportar el plano inclinado a la horizontal por rotación. El procedimiento es el siguiente: Sea una línea que buza en dirección 90° , cuyo hundimiento sobre el plano que la contiene se desea conocer. La actitud de este plano es Rumbo 30° e $i=40^\circ$ al SE. En la Figura 41 se han representado ambos elementos. Se destaca que para la resolución de este tipo de problemas no es necesario conocer el valor del buzamiento de la línea, ya que el mismo es coincidente con el de la inclinación aparente del plano en la dirección de buzamiento de la misma. Sobre el esquema de la Figura 41 se traza el CE-x correspondiente al plano según las técnicas ya explicadas. El CE hallado corta a la línea en el punto Z' (Figura 42). Con centro en el punto A hacemos girar B' hasta B. Esto equivale a llevar el plano a la horizontal utilizando el CEO como eje de giro o bisagra (Véase la Figura 43). En forma equivalente el punto Z' pasa a la posición Z, la que queda determinada por la intersección del CE-x abatido y una perpendicular al CEO que pasa por Z' (Figura 44). El punto origen de la recta no se ha desplazado (punto X de las figuras 41 a 44) por lo tanto si unimos este con el punto recién determinado reconstruimos la traza de la recta sobre el plano. En la Figura 45 se muestra cual es el ángulo de hundimiento.

h : hundimiento

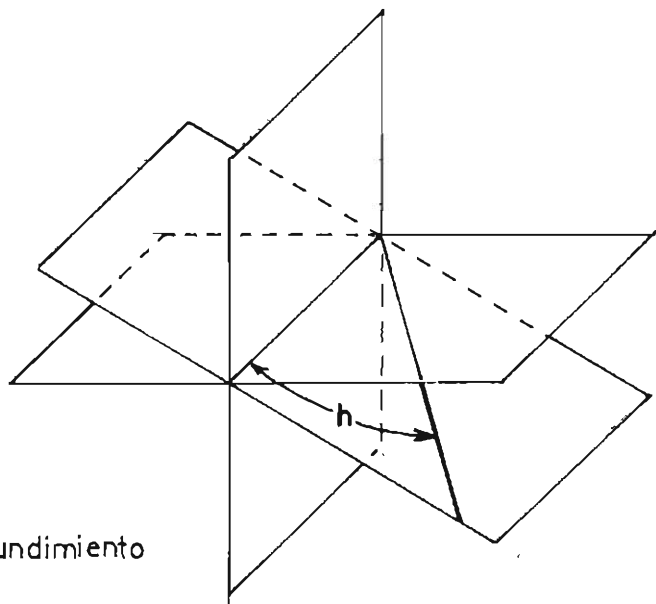


FIG 40

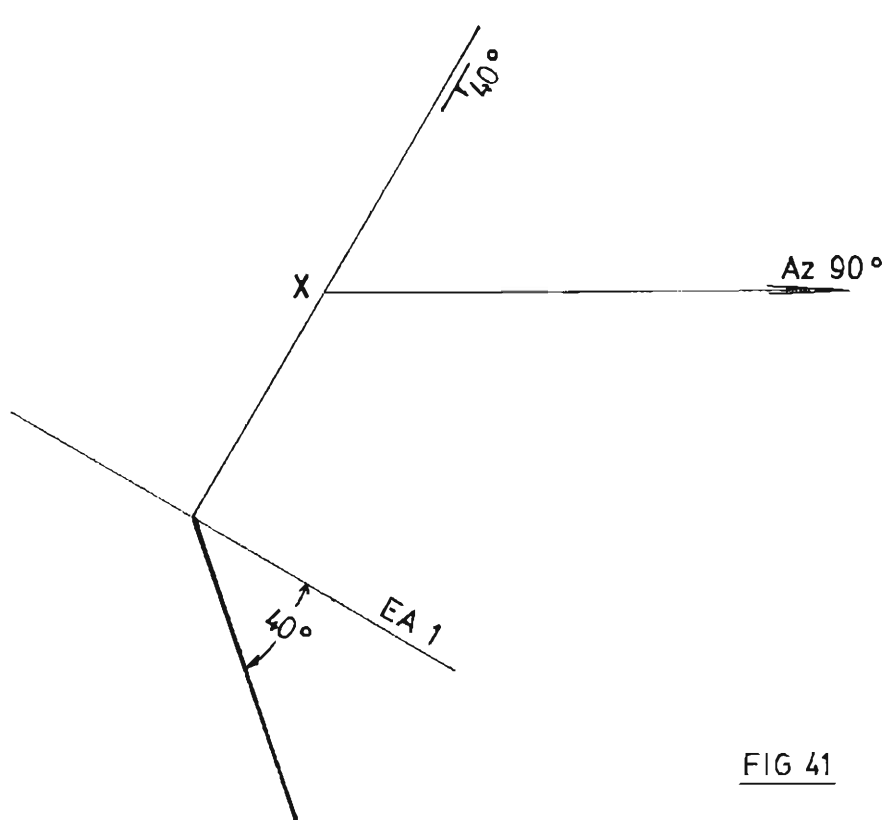
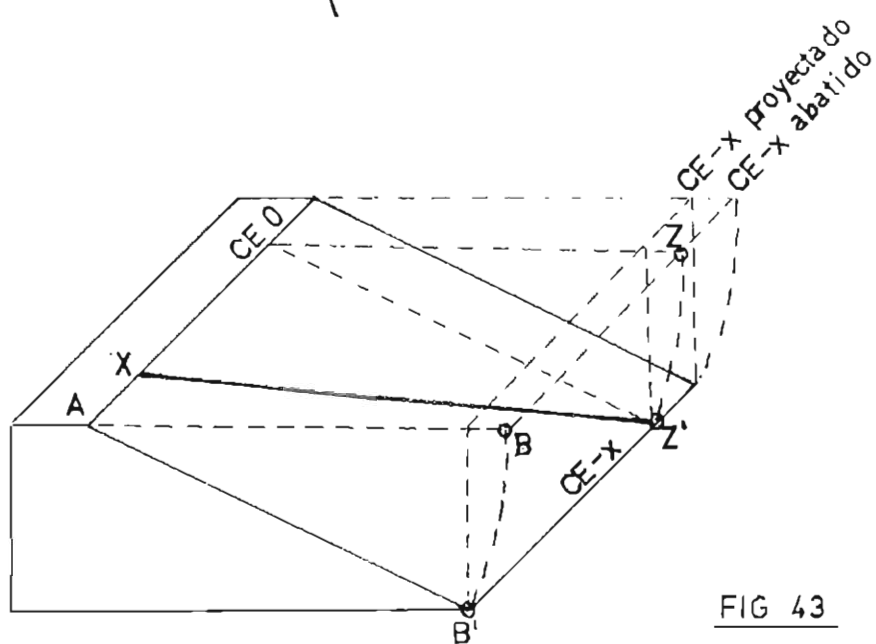
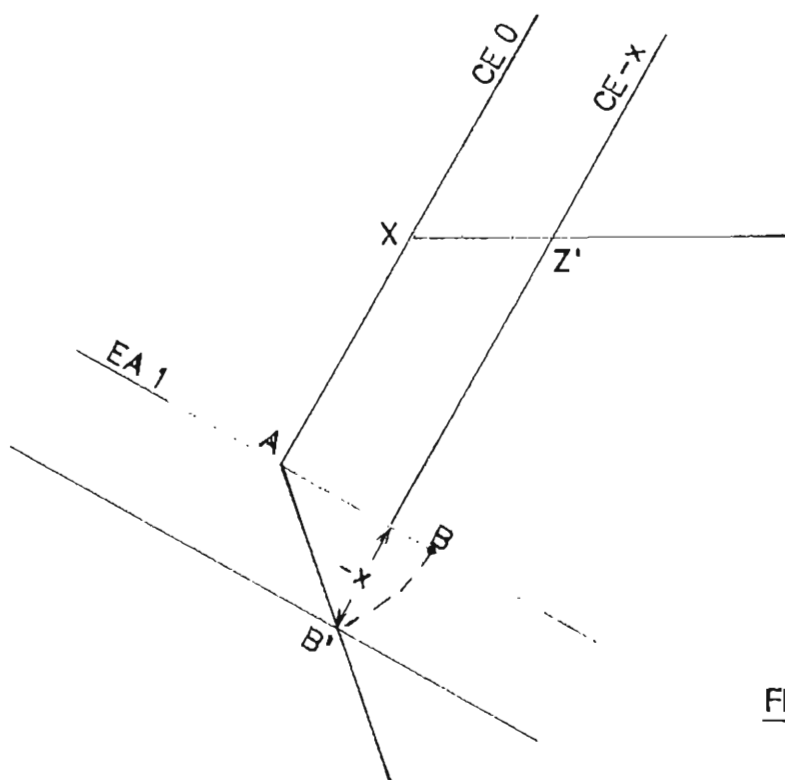


FIG 41



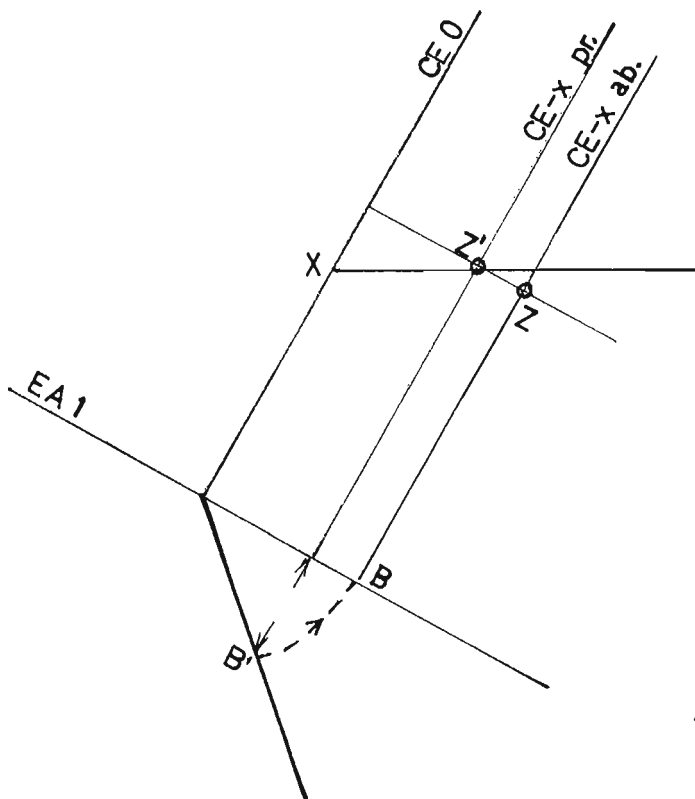


FIG 44

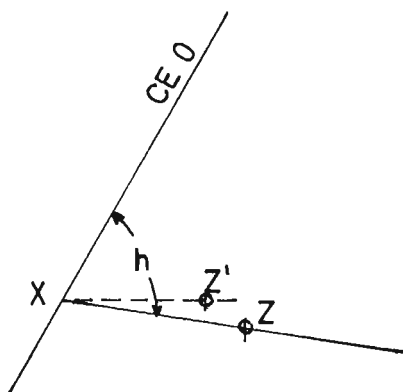


FIG 45

Debe advertirse especialmente que de la observación de las figuras se desprende claramente que el valor del hundimiento NO es igual a la diferencia de acimutes entre el rumbo del plano y la dirección de buzamiento de la recta. Esto es sólo cierto cuando la recta es perpendicular a los CE del plano, por lo tanto el hundimiento es igual a 90° y la diferencia de acimutes es también 90° , mientras el buzamiento será igual a la inclinación verdadera del plano. En todos los otros casos el hundimiento es siempre mayor que la diferencia de acimutes y función de la inclinación del plano.

RECONSTRUCCION DE AFLORAMIENTOS DESPLAZADOS POR FALLAS

CUYO PLANO ES INCLINADO

Tomemos como ejemplo el caso de una falla de Rumbo Este-Oeste cuyo plano inclina 30° hacia el Sur. En el bloque norte afloran dos diques (puntos A y B) cuyas actitudes son: para A Rumbo 10° e $i=60^\circ$ al E y para B Rumbo 225° e $i=45^\circ$ al O. Ambos afloramientos se ubican junto a la traza del plano de falla y separados por una distancia horizontal de 80m. La presencia de estriaciones sobre el plano de falla permite saber que el desplazamiento neto (de un valor de 30m) se ha producido a lo largo de una línea que hunde 40° hacia el este sobre el mencionado plano de falla. La falla es de tipo directo y se sabe que el bloque norte es que ha ascendido relativamente. Se quiere conocer cuál es la traza de los afloramientos en el bloque sur. Al dibujar los datos obtenemos la Figura 46, a partir de ella trazamos los CE-x correspondientes a los diques y a la falla. Identificamos el punto de intersección del CE-x del dique A con el CE-x de la falla como A' y el de la intersección del CE-x de B con el equivalente de la falla como B' (Figura 47).

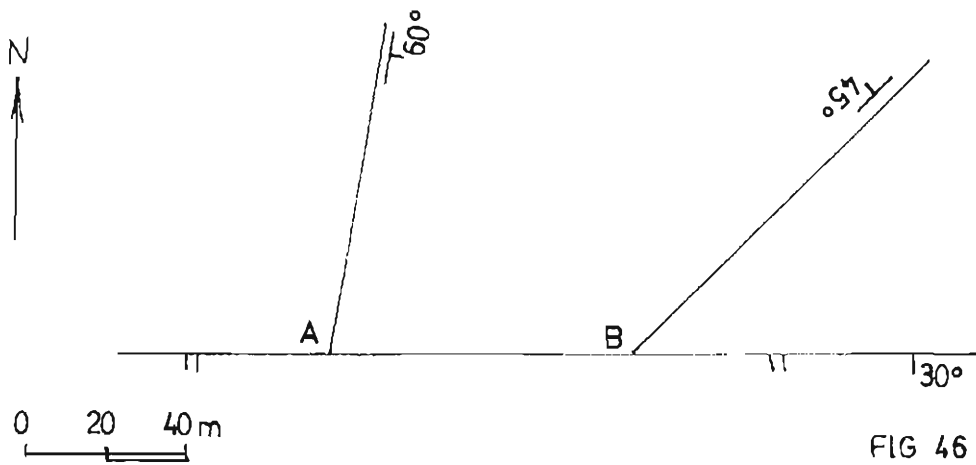


FIG 46

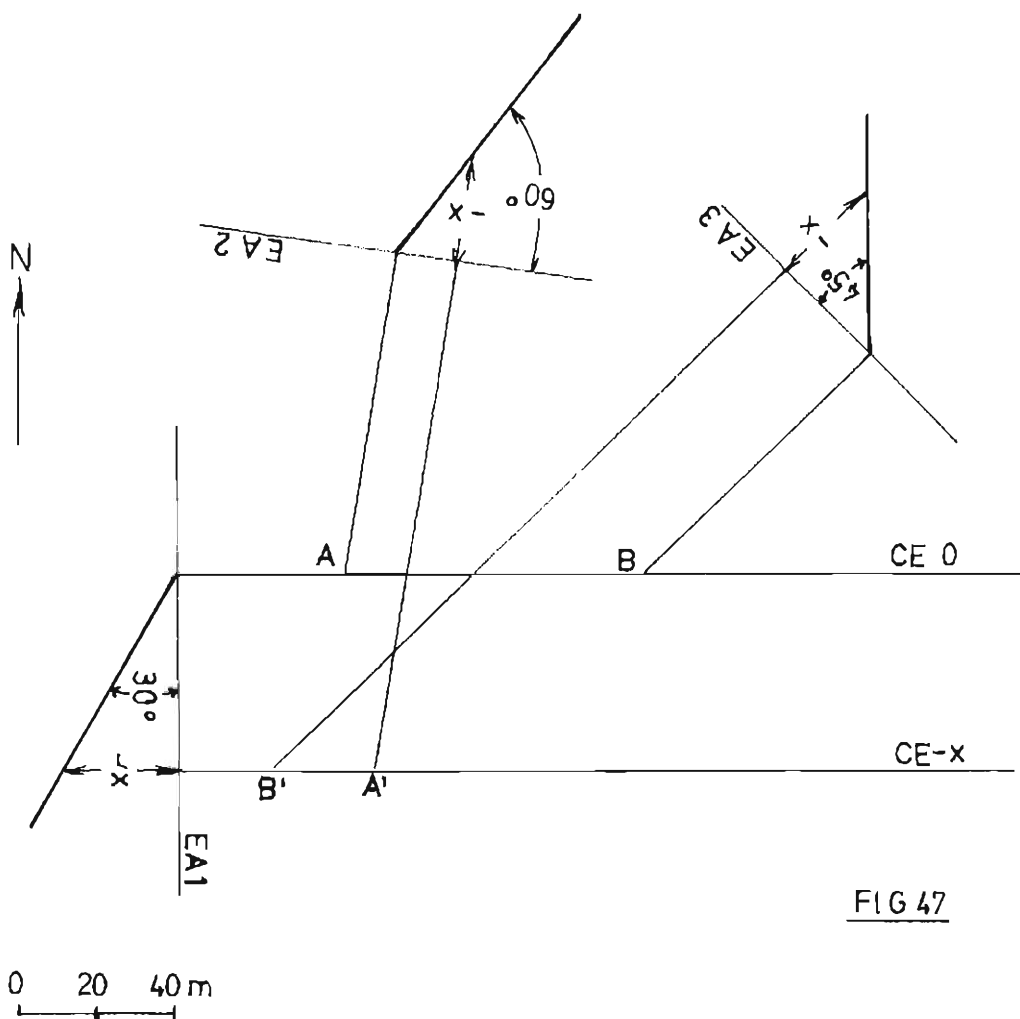
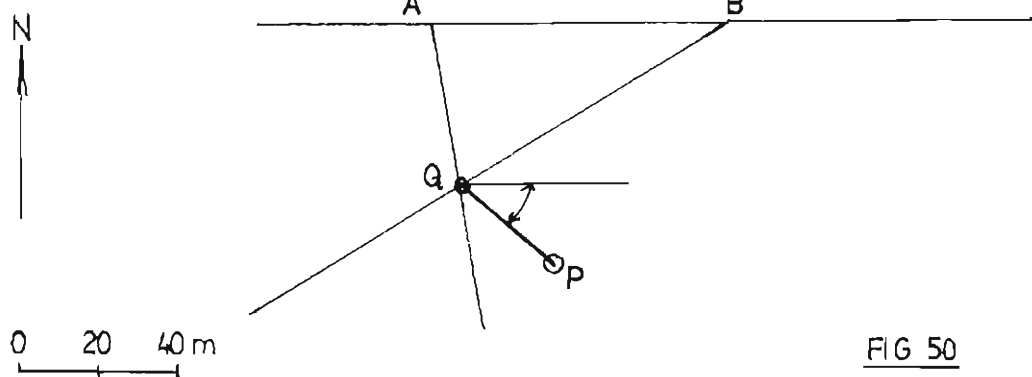
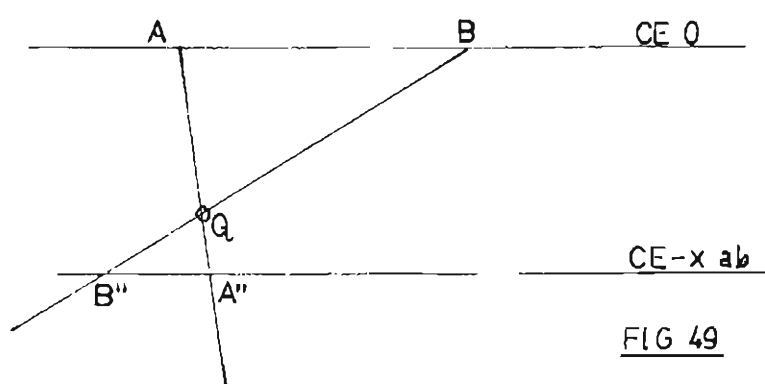
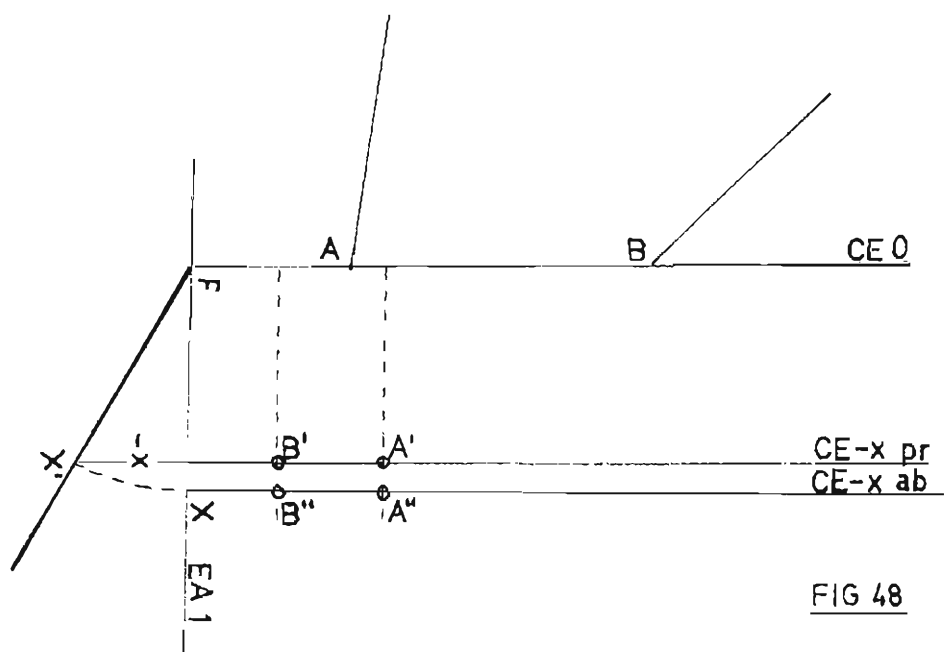
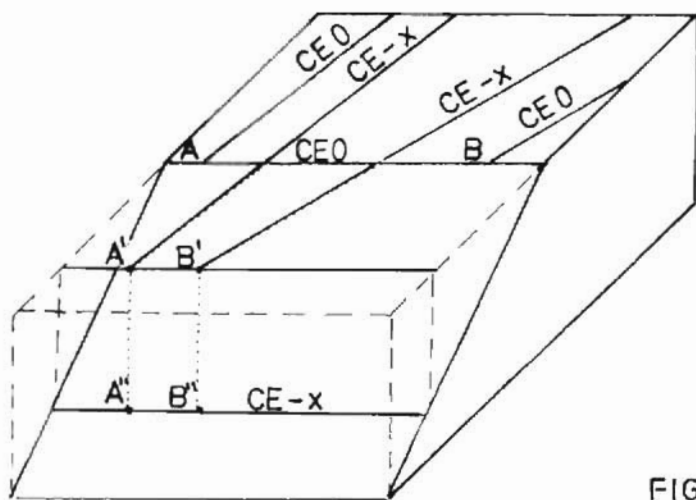
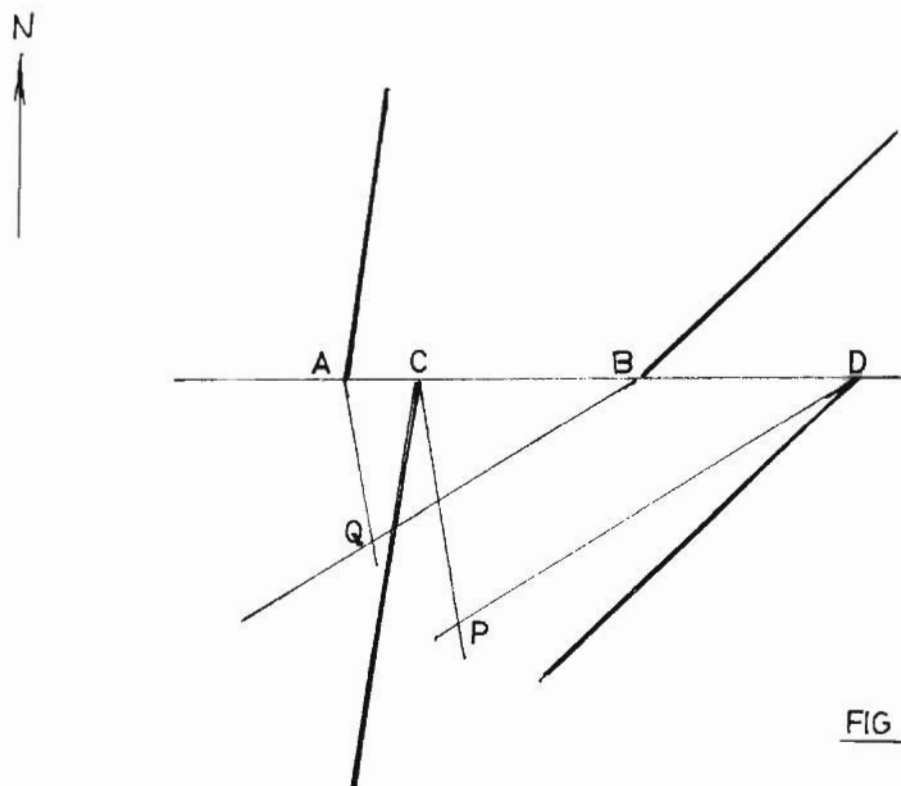


FIG 47



Para dibujar las trazas de la intersección de cada dique con el plano de falla necesitamos llevar este a la horizontal. Con centro en el punto F de la Figura 48 llevamos X' a X , con lo que logramos rotar el plano tomando la dirección Este-Oeste como eje de giro. Uniendo los puntos A con A' y B con B' representamos las trazas buscadas. Tengamos en cuenta que los puntos A' y B' se han desplazado a A'' y B'' sobre direcciones perpendiculares al eje de giro. La intersección obtenida en el punto Q nos permitirá disponer del elemento cuyo homólogo sobre el bloque restante será la clave para la reconstrucción de los afloramientos. Si unieramos directamente A con A' y B con B' lo que en realidad estaríamos trazando sería la proyección de las trazas a la horizontal y no las trazas como tales. En la Figura 49 se ilustra la posición del punto Q.

Sabemos que el hundimiento del desplazamiento neto sobre el plano de falla es de 40° hacia el Este y que el bloque hundido es el austral (ya que la falla es de tipo gravitacional o directo), por lo tanto, a partir de Q y formando un ángulo de 40° con la horizontal (dirección de los CE del plano de falla en el perfil) trazamos un segmento de recta cuya longitud corresponde al valor del desplazamiento neto (30m en este caso) quedando así fijada la posición del punto P (Figura 50). A partir de aquí, trazamos desde P paralelas a AQ y a BQ que corresponden a las trazas de ambos diques sobre la pared del bloque sur hasta que las mismas intersecan el CEO de la falla. A partir de estos puntos C y D y paralelamente a las trazas en el bloque norte dibujamos los afloramientos en el bloque sur tal como se ilustra en la Figura 51. En la Figura 52 se ilustra mediante bloques diagrama el procedimiento seguido.



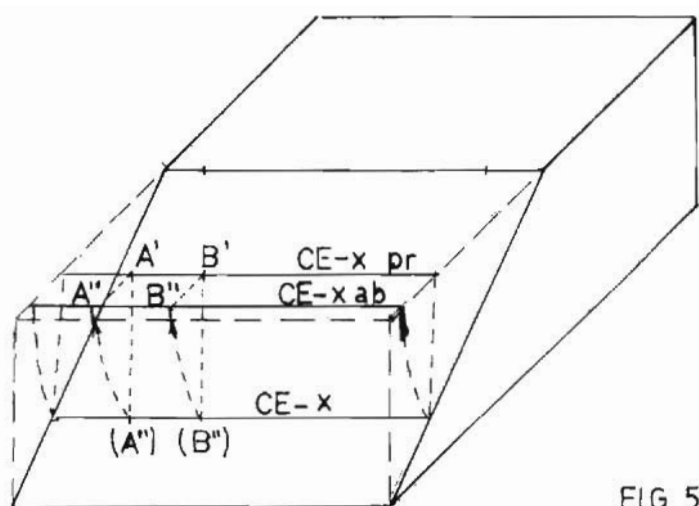


FIG 52b

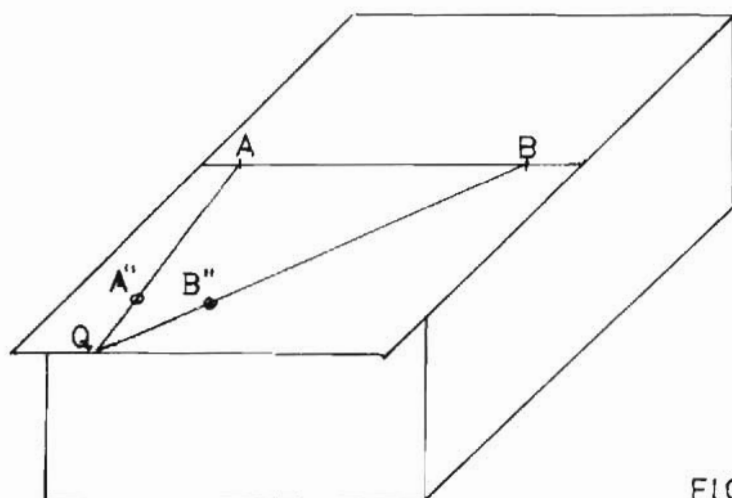


FIG 52c

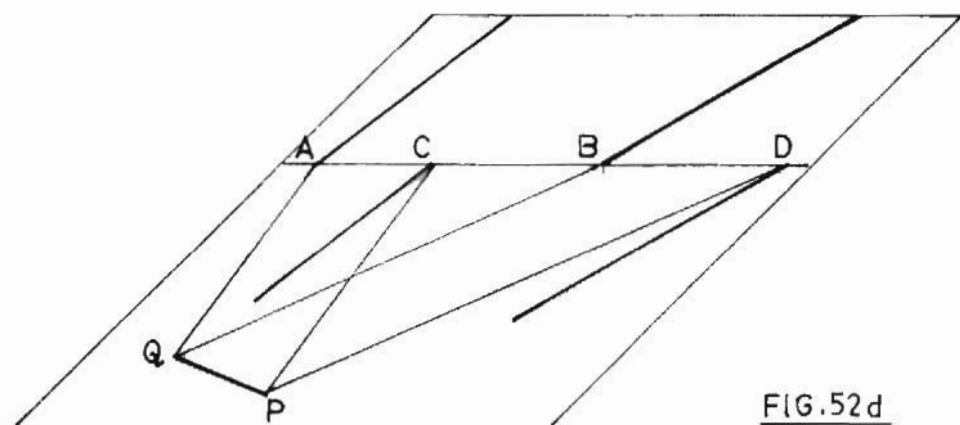


FIG.52d

CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS SOBRE EL PLANO DE UNA FALLA

INCLINADA

Antes de desarrollar este punto se definirán los distintos componentes del desplazamiento neto que pueden identificarse en fallas inclinadas. Estos elementos se ilustran en la Figura 53.

- AB desplazamiento neto
- AC desplazamiento de rumbo
- AE desplazamiento de inclinación
- AD componente vertical del desplazamiento neto
- DB componente horizontal del desplazamiento neto
- AD Componente vertical del desplazamiento de inclinación
- DE componente horizontal del desplazamiento de inclinación
- \angle
ACB hundimiento del rechazo neto

El método será ilustrado con el ejemplo de la Figura 54. En el mismo se muestran los afloramientos de un dique M y de un banco guía S a ambos lados de la traza del afloramiento de una falla cuya actitud es Rumbo 45° e $i=60^\circ$ al SE. Las distancias entre los afloramientos a ambos lados de la traza de la falla están indicadas en la misma Figura.

Se desea conocer el valor de los desplazamientos e identificar el bloque hundido para lo cual como primer paso se dibujan los contornos estructurales de -x de todos los elementos aflorantes tal como se explicó anteriormente, obteniéndose así el esquema de la Figura 55. Quedan determinados los puntos A', B', C' y D' correspondientes a las intersecciones de los CE-x del dique y la estratificación con el CE-x de la falla. Los puntos A' y B' corresponden al bloque austral, los C' y D' al septentrional. Uniendo A con A'

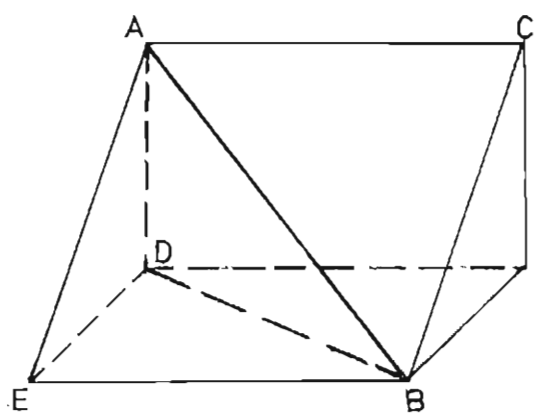


FIG 53

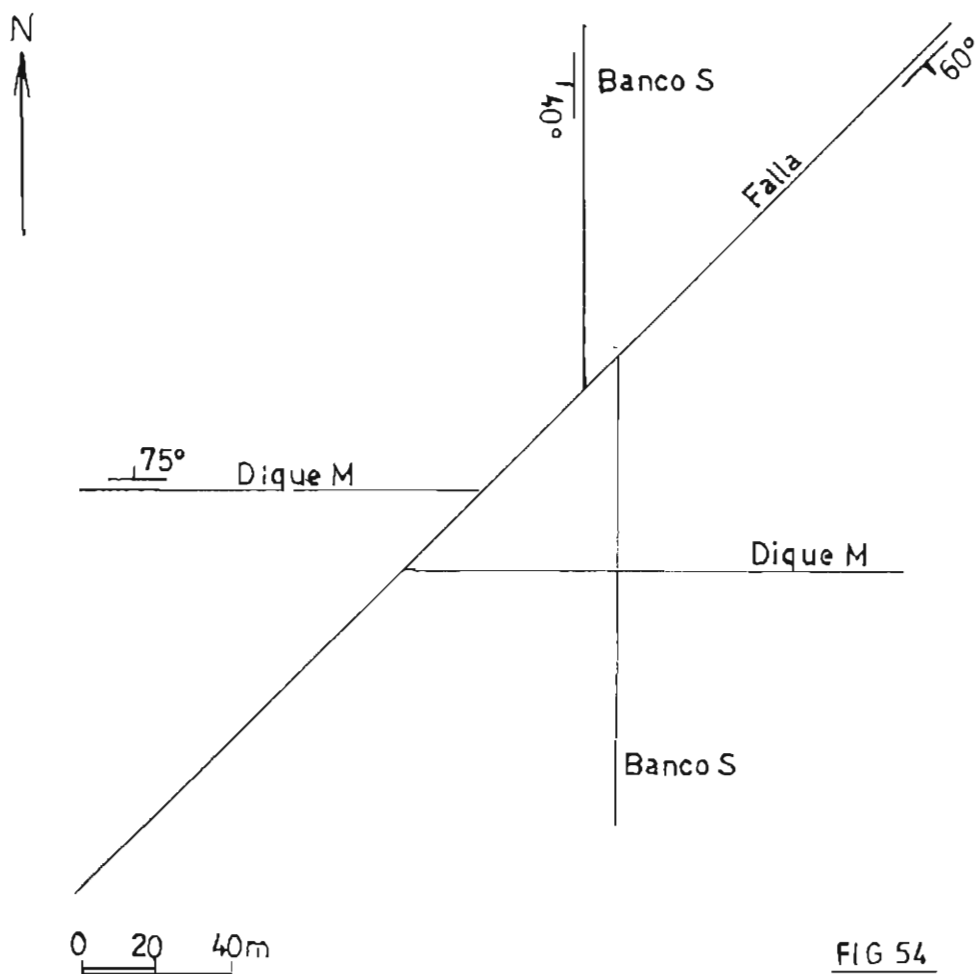


FIG 54

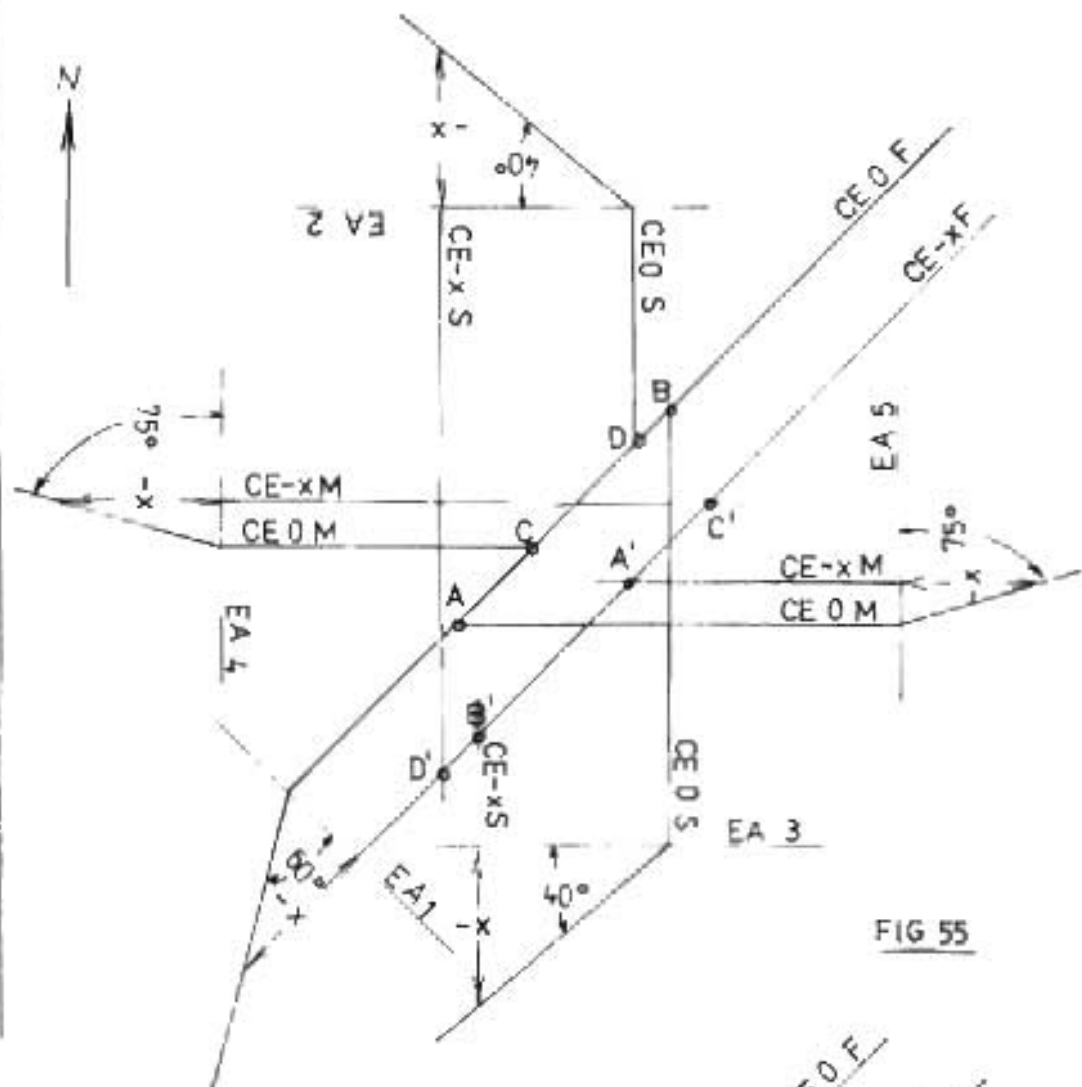


FIG 55

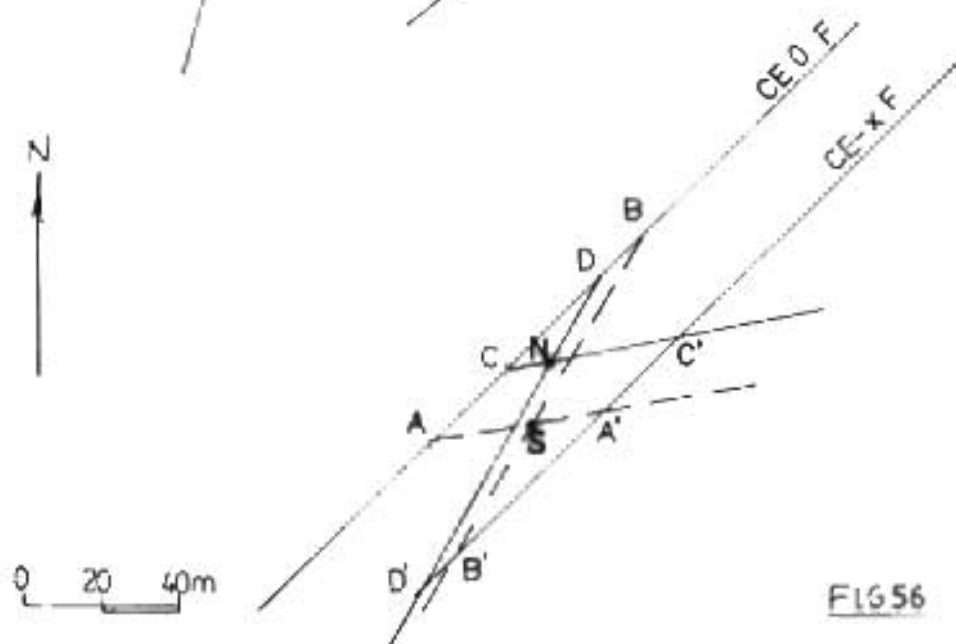


FIG 56

B con B', C con C' y D con D' se determinan los puntos homólogos N y S que definirán la magnitud del desplazamiento neto y sus componentes, tal como se ilustra en la Figura 56. De esta pueden obtenerse algunos de los datos solicitados: (véase Figura 57)

Componente horizontal del desplazamiento neto= NS

Desplazamiento de rumbo= N'S'

Componente horizontal del desp. de inclinación= TS

El ángulo entre la dirección Norte y la línea NS nos da el acimut del desplazamiento neto. Podemos decir también que la falla es de tipo directo, ya que el punto S se encuentra a una cota inferior a la del punto N, desplazado hacia abajo sobre el plano de falla.

Todos los otros datos deben obtenerse a partir del abatimiento del plano de falla, el que se realiza de la manera siguiente: con centro en el punto X de la Figura 58 hacemos rotar el punto Y hasta su intersección con el eje EA1 (punto Y') llevando de esta manera el plano a la horizontal. Los puntos N y S se desplazan de la manera siguiente: se trasladan ambos puntos paralelamente al CEO de la falla hasta el EA1 y luego perpendicularmente a este hasta la traza del plano sobre el perfil (puntos N^2 y S^2) y con centro en el punto X se los rota hasta N^3 y S^3 . A partir de estos puntos se trazan nuevas paralelas al CEO de la falla. Se trazan además perpendiculares al CEO de la falla que pasen por N y S. En la Figura 59 se han identificado como N'' y S'' los puntos correspondientes a la intersección. Uniendo ambos se obtiene la traza del desplazamiento neto, la medición a escala de la distancia N''S'' nos da la magnitud del mismo y la medición de los restantes componentes se indica en la Figuras

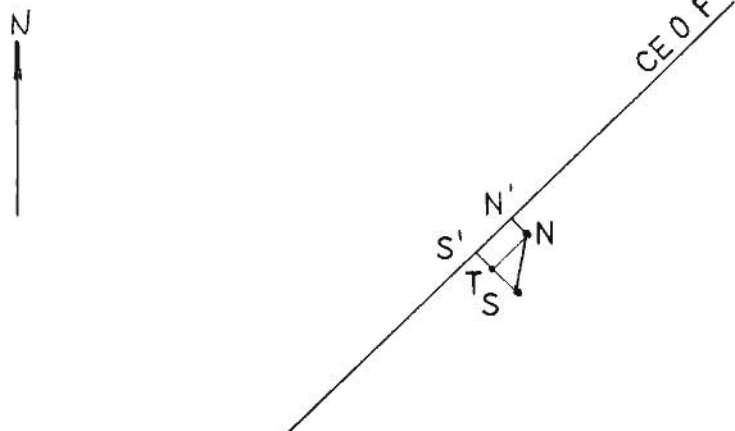


FIG 57

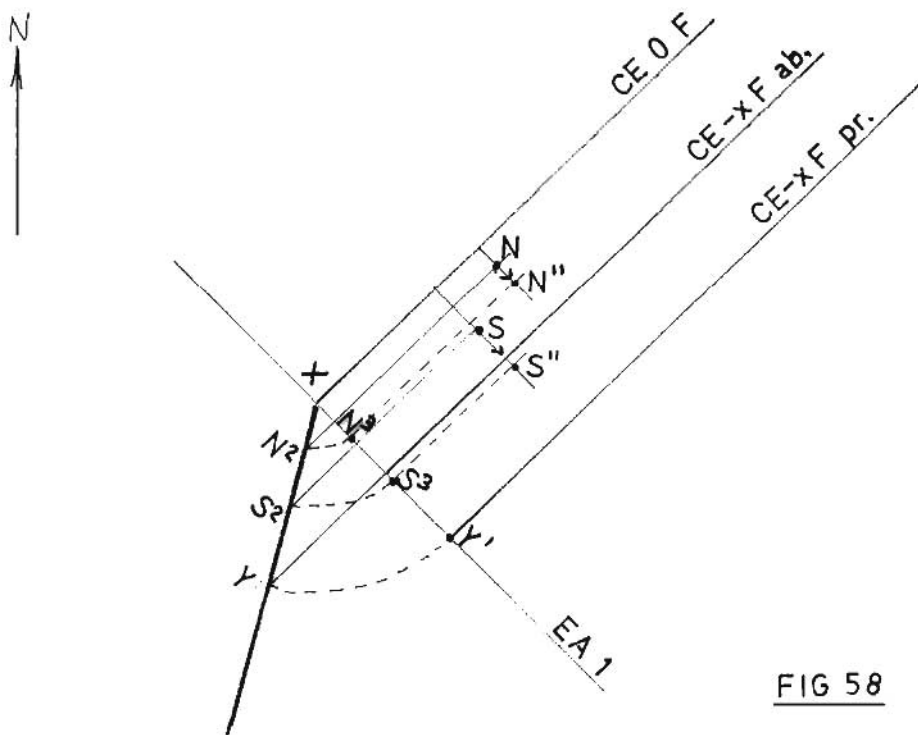


FIG 58

60 y 61.

Desplazamiento neto= $N'S''$

Desplazamiento de inclinación= $T'S''$

Hundimiento del desplazamiento neto= $T'N'S''$

Componente vertical del desplazamiento neto= N^2V

Componente horizontal del desplazamiento de inclinación= S^2V

La componente vertical del desplazamiento neto es igual a la componente vertical del desplazamiento de inclinación y la componente horizontal del desplazamiento de inclinación que es también igual a TS no debe ser confundida con la componente horizontal del desplazamiento neto que es NS .

Resumiendo podemos decir que se trata de una falla directa con desplazamiento derecho (el punto N está a la derecha de S). Como se habrá podido observar hasta que no se han identificado los puntos homólogos no se puede definir el sentido de desplazamiento, pues el mismo es hacia la derecha para el dique, pero hacia la izquierda para la estratificación.

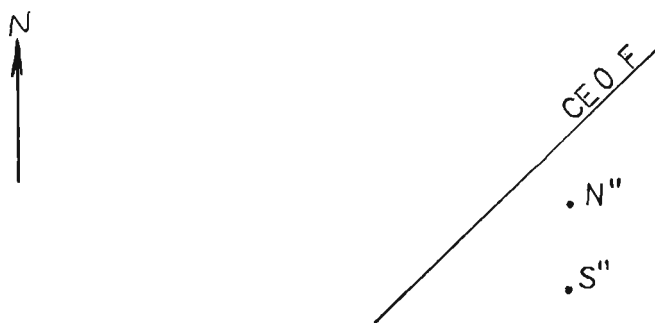


FIG 59

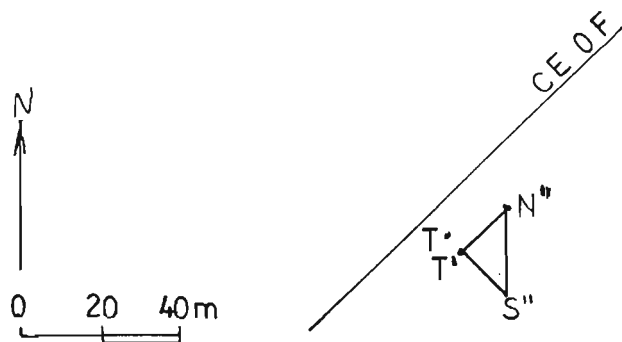


FIG 60

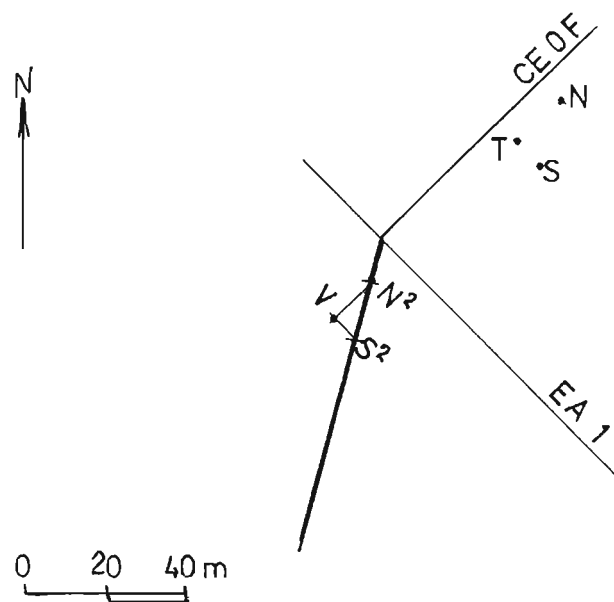


FIG 61