

# "CÁLCULOS PERFORACIÓN DIRECCIONAL".

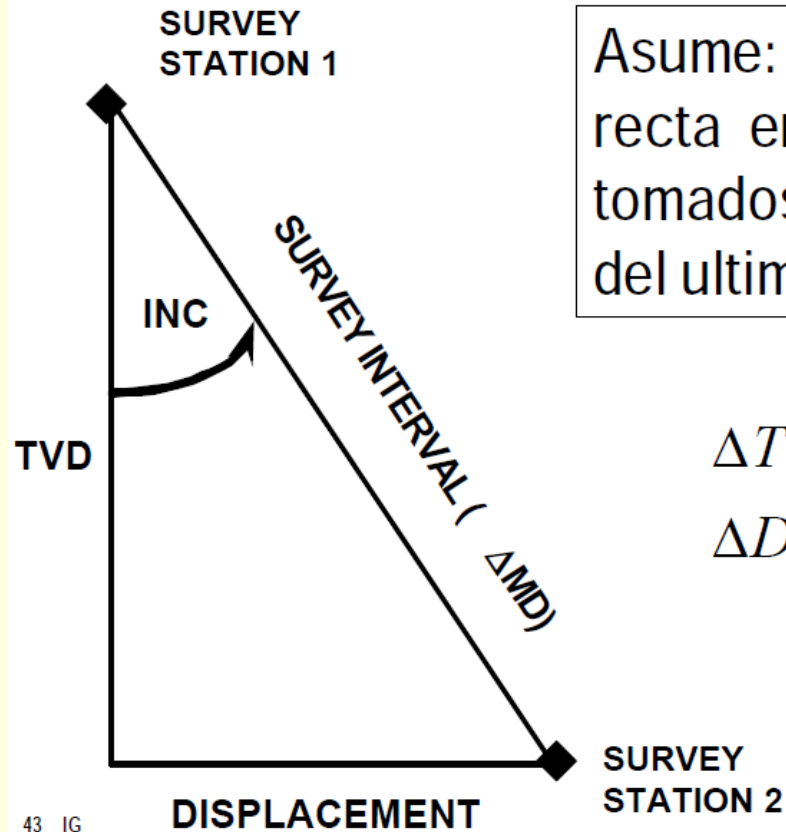


ING. JOSE CARLOS REYES HERNÁNDEZ

Existen 6 métodos para determinar la trayectoria de un pozo en el espacio. Es necesario realizar un cálculo en base a los survey tomados. Como resultado obtenemos la TVD, NS, EW, desplazamiento, Distancia al Cierre (Closure), Sección Vertical y Severidad.

Los métodos son: **Tangencial**, Tangencial Balanceado, Mercury, Angulo promedio, Radio de Curvatura, Mínima Curvatura.

## Metodo 1: Tangencial



Asume: La trayectoria es una linea recta entre los dos ultimos surveys tomados. Toma la inclinacion y Azm del ultimo survey

$$\Delta TVD = \Delta MD \times \cos(inc)$$

$$\Delta Displacement = \Delta MD \times \sin(inc)$$

*Metodo Tangencial*

$$North_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot (\sin I_2) \cdot (\cos A_2) \right] + North_1$$

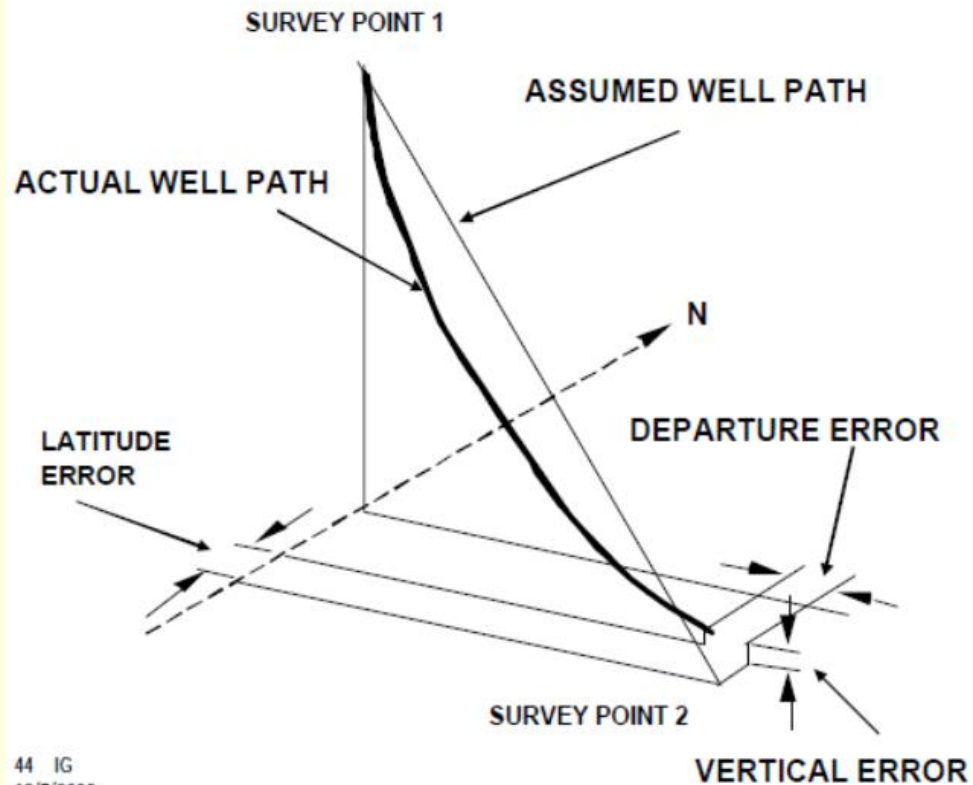
$$East_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot (\sin I_2) \cdot (\sin A_2) \right] + East_1$$

$$TVD_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot (\cos I_2) \right] + TVD_1$$



Existen 6 métodos para determinar la trayectoria de un pozo en el espacio. Es necesario realizar un cálculo en base a los survey tomados. Como resultado obtenemos la TVD, NS, EW, desplazamiento, Distancia al Cierre (Closure), Sección Vertical y Severidad. Los métodos son: Tangencial, Tangencial Balanceado, Mercury, **Angulo promedio**, Radio de Curvatura, Mínima Curvatura.

## Metodo 2: Angulo Average



Asume: la trayectoria en un alineamiento recta calculando el promedio de inclinación y azimuth del survey actual y el survey anterior.

*Metodo del Angulo promedio*

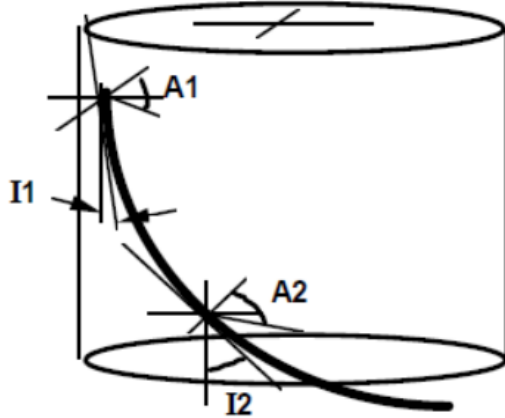
$$North_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot \sin\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \right] + North_1$$

$$East_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot \sin\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \right] + East_1$$

$$TVD_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot \cos\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \right] + TVD_1$$

Existen 6 métodos para determinar la trayectoria de un pozo en el espacio. Es necesario realizar un cálculo en base a los survey tomados. Como resultado obtenemos la TVD, NS, EW, desplazamiento, Distancia al Cierre (Closure), Sección Vertical y Severidad. Los métodos son: Tangencial, Tangencial Balanceado, Mercury, Angulo promedio, **Radio de Curvatura**, Mínima Curvatura.

## Metodo 3: Radio de Curvatura



Asume: La trayectoria es una curva suave que puede ser fajustada a la superficie de un cilindro con un radio específico

- Mejora la exactitud

*Metodo del Radio de Curvatura*

$$North_2 = \left[ \frac{(MD_2 - MD_1) \cdot (\cos I_1 - \cos I_2) \cdot (\sin A_2 - \sin A_1)}{(I_2 - I_1) \cdot (A_2 - A_1)} \right] + North_1$$

$$East_2 = \left[ \frac{(MD_2 - MD_1) \cdot (\cos I_1 - \cos I_2) \cdot (\cos A_1 - \cos A_2)}{(I_2 - I_1) \cdot (A_2 - A_1)} \right] + East_1$$

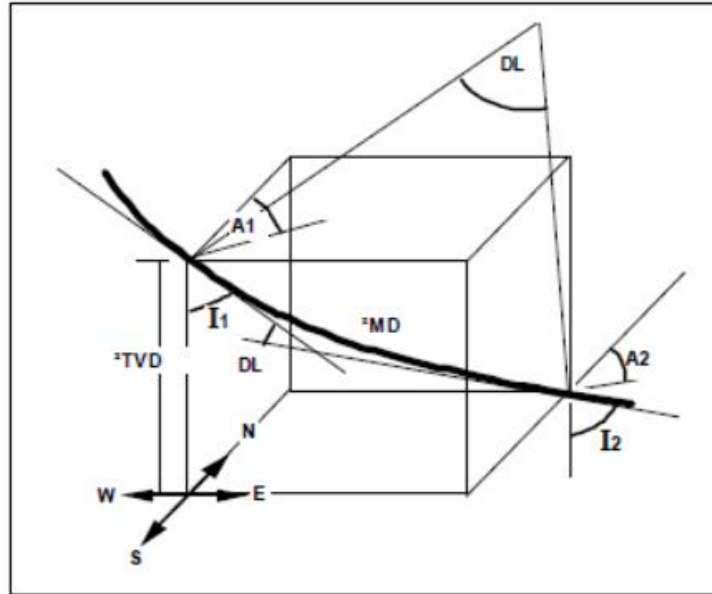
$$TVD_2 = \left[ \frac{(MD_2 - MD_1) \cdot (\sin I_2 - \sin I_1)}{(I_2 - I_1)} \right] + TVD_1$$

Existen 6 métodos para determinar la trayectoria de un pozo en el espacio. Es necesario realizar un cálculo en base a los survey tomados. Como resultado obtenemos la TVD, NS, EW, desplazamiento, Distancia al Cierre (Closure), Sección Vertical y Severidad. Los métodos son: Tangencial, Tangencial Balanceado, Mercury, Angulo promedio, Radio de Curvatura, **Mínima Curvatura**.

## Metodo 4: Minimo Curvatura

Asume: La trayectoria es una curva suave que puede ser ajustada a la superficie de una esfera con un radio específico.

- Mejora la exactitud de calculos
- Muy similar a Radio curvatura
- Preferido por la industria



*Metodo de Minima Curvatura*

$$North_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot ((\sin I_1 \cos A_1) + (\sin I_2 \cos A_2)) \cdot RF \right] + North_1$$

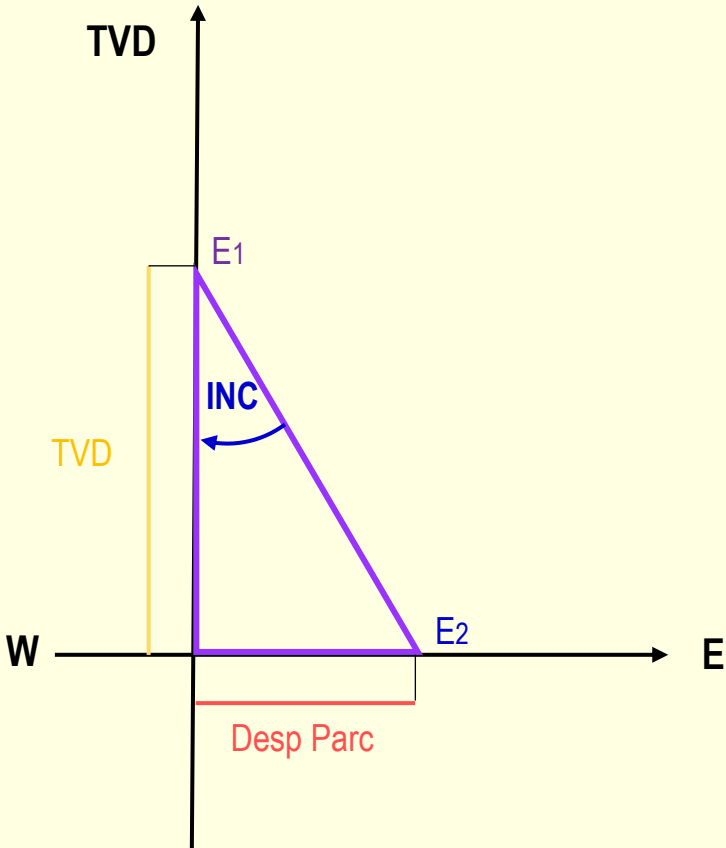
$$East_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot ((\sin I_1 \sin A_1) + (\sin I_2 \sin A_2)) \cdot RF \right] + East_1$$

$$TVD_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot (\cos I_1 + \cos I_2) \cdot RF \right]$$

$$RF = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{2}{DLS} \tan \left( \frac{DLS}{2} \right); \text{ if } DLS = 0, RF = 1$$

Para el pozo Balam-47 en la estación a 4305 md, partiendo de los datos de MD, Incl (°) y Azimuth(°), calcular la TVD (m), Desplazamiento (m), N/S (m), E/W (m), Severidad(°/30 m), Distancia al Cierre (CD), Azimuth de Cierre(CAZ) y Sección Vertical (m). Considere un  $AZ_{vs} = 60.91^\circ$ . Aplique el método de Mínima Curvatura.

MD	Incl (°)	Azi (°)
4275	38.85	35.56
4305	43.08	37.16



Angulo Promedio

$$TVD_2 = \left[ (MD_2 - MD_1) \cdot (\cos I_2) \right] + TVD_1$$

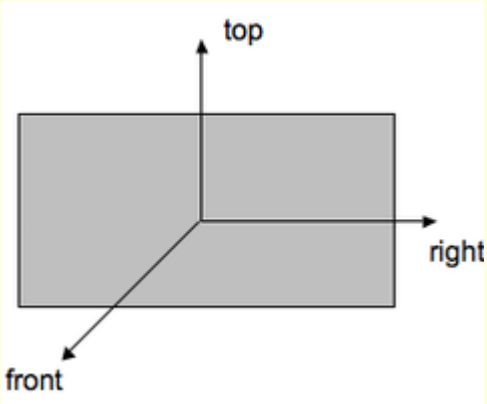
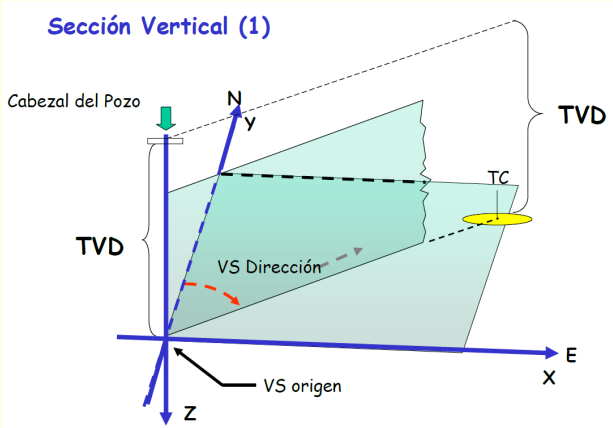
$$Desp\_Parc = (MD_2 - MD_1) * \sin(inc)$$

$$Desp\_Tot = (MD_2 - MD_1) * \sin(inc) + Desp\_Parc(E_1)$$

$$Desp\_Parc = (MD_2 - MD_1) * \sin(inc) = (4305 - 4275) * \sin(43.08)$$

$$Desp\_Parc = 20.49\ m$$

$$TVD_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot (\cos I_1 + \cos I_2) \cdot RF \right] + TVD_1$$



Para el pozo Balam-47 en la estación a 4305 md, partiendo de los datos de MD, Incl (°) y Azimuth(°), calcular la TVD (m), Desplazamiento (m), N/S (m), E/W (m), Severidad(°/30 m), Distancia al Cierre (CD), Azimuth de Cierre(CAZ) y Sección Vertical (m). Considere un  $AZ_{vs} = 60.91^\circ$ . Aplique el método de Mínima Curvatura.

The ratio of dividing the straight line section (Eq. 6 and 7) with the curved section (Eq. 4 and 5) respectively, defines the ratio factor, RF:

$$RF = A_1B / A_1Q = BA_2 / QA_2 = \tan(\beta/2) / \beta/2 \quad (8)$$

$$RF = A_1B / A_1Q = BA_2 / QA_2 = \tan(\beta/2) / \beta/2 \quad (9)$$

$$RF = 2 / \beta_i \tan(\beta_i / 2) \quad (10)$$

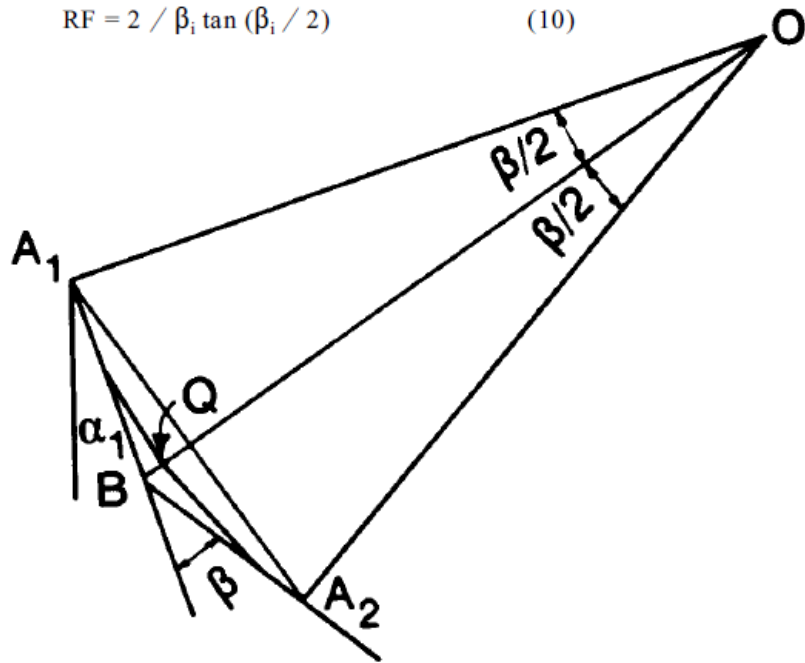


Fig. 8.21—Representation of minimum curvature ratio factor,  $F$ .

$$DLS = a \cos \left[ \cos(I_2 - I_1) - (\sin I_1 \cdot \sin I_2 \cdot (1 - \cos(A_2 - A_1))) \right]$$

$$DLS = a \cos \left[ \cos(43.08 - 38.85) - (\sin(38.85) \cdot \sin(43.08) \cdot (1 - \cos(37.16 - 35.56))) \right]$$

$$DLS = 4.36 \text{ (}^\circ/30 m\text{)}$$

$$RF = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{2}{DLS} \tan \left( \frac{DLS}{2} \right); \text{ if } DLS = 0, RF = 1$$

$$RF = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{2}{4.36} \tan \left( \frac{4.36}{2} \right) = 1.00048$$

$$TVD_2 = \left[ \left( \frac{4305 - 4275}{2} \right) \cdot (\cos(38.85) + \cos(43.08)) \cdot 1.00048 \right] + 4194.37$$

$$TVD_2 = 4217.11 \text{ m}$$

Para el pozo Balam-47 en la estación a 4305 md, partiendo de los datos de MD, Incl (°) y Azimuth(°), calcular la TVD (m), Desplazamiento (m), N/S (m), E/W (m), Severidad(°/30 m), Distancia al Cierre (CD), Azimuth de Cierre(CAZ) y Sección Vertical (m). Considere un  $AZ_{vs} = 60.91^\circ$ . Aplique el método de Mínima Curvatura.

MD	Incl (°)	Azi (°)
4275	38.85	35.56
<b>4305</b>	<b>43.08</b>	<b>37.16</b>

$$North_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot \left( (\sin I_1 \cos A_1) + (\sin I_2 \cos A_2) \right) \cdot RF \right] + North$$

$$North_2 = \left[ \left( \frac{4305 - 4275}{2} \right) \cdot \left( (\sin(38.85) \cos(35.56)) + (\sin(43.08) \cos(37.16)) \right) \cdot 1.00048 \right] + (-400.27)$$

$$North_2 = \left[ (15) \cdot \left( (\sin(38.85) \cos(35.56)) + (\sin(43.08) \cos(37.16)) \right) \cdot 1.00048 \right] + (-400.27)$$

$$North_2 = \left[ (15) \cdot (0.5099 + 0.5443) \cdot 1.00048 \right] + (-400.27)$$

$$North_2 = 15.82 - 416.1 = -400.27$$



Para el pozo Balam-47 en la estación a 4305 md, partiendo de los datos de MD, Incl (°) y Azimuth(°), calcular la TVD (m), Desplazamiento (m), N/S (m), E/W (m), Severidad(°/30 m), Distancia al Cierre (CD), Azimuth de Cierre(CAZ) y Sección Vertical (m). Considere un  $AZ_{vs} = 60.91^\circ$ . Aplique el método de Mínima Curvatura.

MD	Incl (°)	Azi (°)
4275	38.85	35.56
4305	43.08	37.16

$$East_2 = \left[ \left( \frac{MD_2 - MD_1}{2} \right) \cdot \left( (\sin I_1 \sin A_1) + (\sin I_2 \sin A_2) \right) \cdot RF \right] + East_1$$

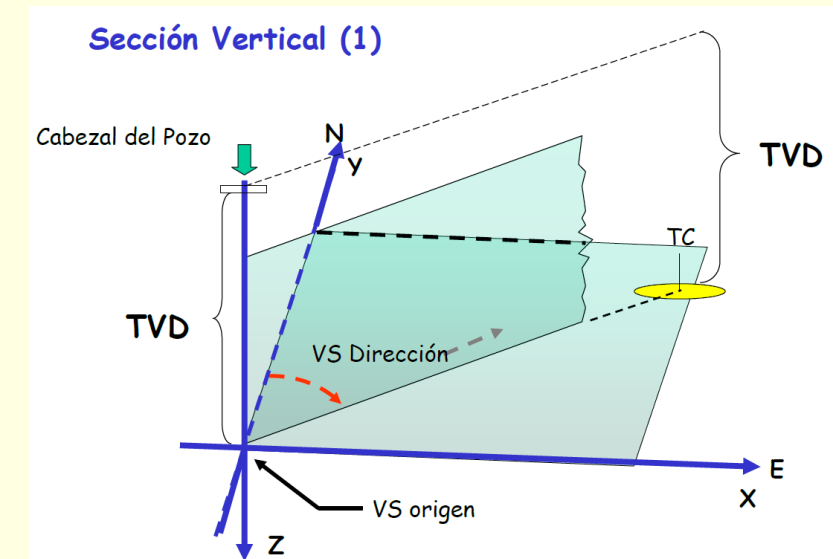
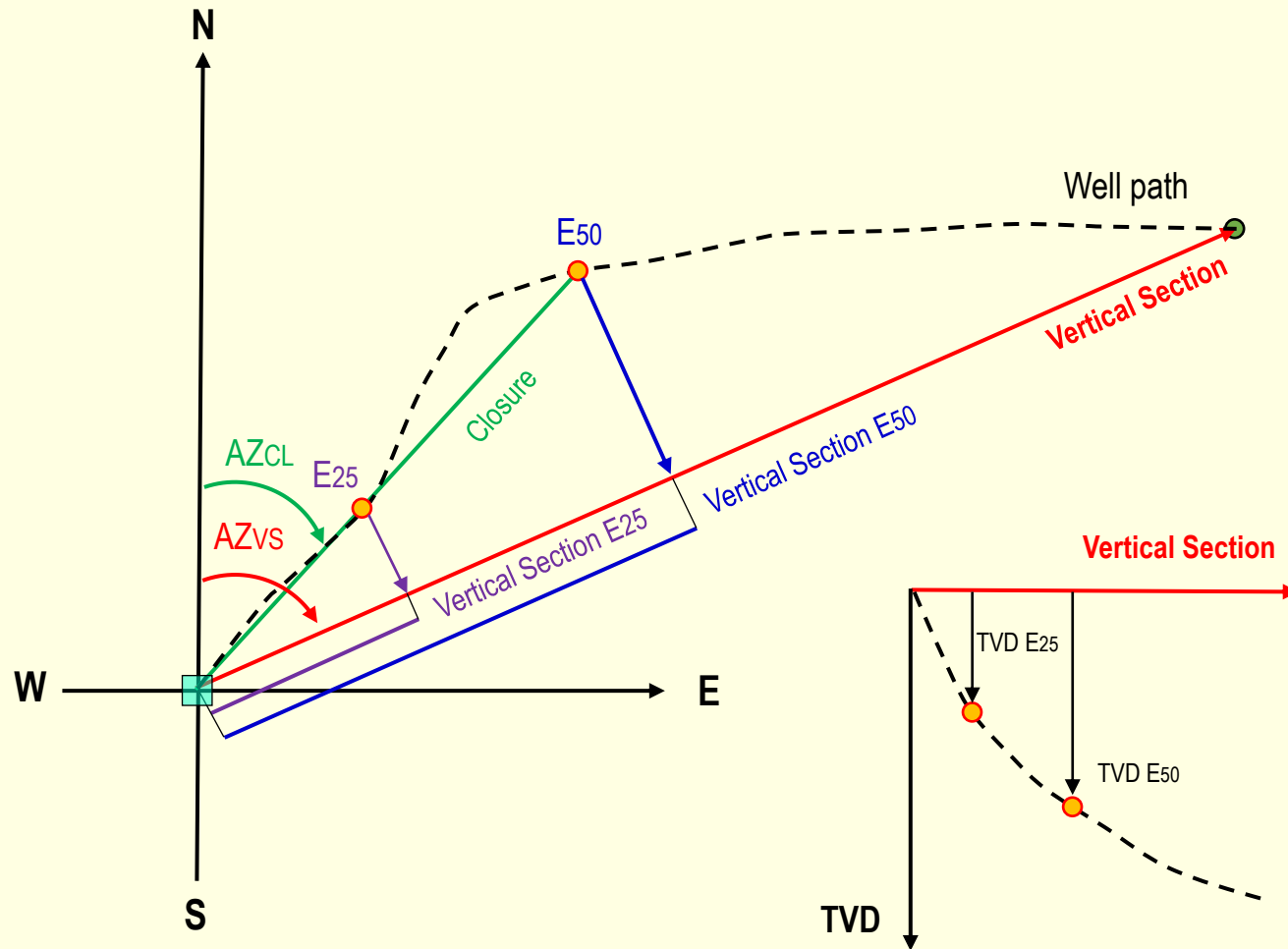
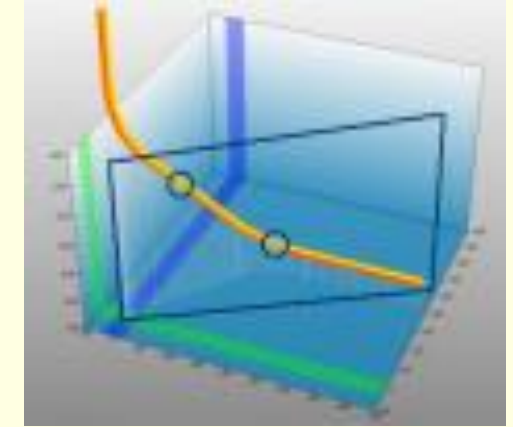
$$East_2 = \left[ \left( \frac{4305 - 4275}{2} \right) \cdot \left( (\sin(38.85) \sin(35.56)) + (\sin(43.08) \sin(37.16)) \right) \cdot 1.00048 \right] + 17.38$$

$$East_2 = \left[ (15) \cdot (0.3648 + 0.4125) \cdot 1.00048 \right] + 17.38$$

$$East_2 = 29.09$$

El Azimuth de la Sección Vertical se refiere al ángulo medido desde el Norte y hacia el plano de sección vertical, se define de manera arbitraria. La longitud de la Sección Vertical es la proyección del desplazamiento horizontal en la Estación del Survey de interés (E50 o E25) sobre el plano de Sección Vertical.

Para describir la posición de un punto en la trayectoria, es posible hacerlo imaginándolo como coordenadas polares, con su distancia al origen (Cierre o Closure), su dirección (Closure Azimuth) y su profundidad TVD.



Para determinar la sección vertical a una profundidad dada, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_s(m) = \cos(AZ_{VS} - AZ_{CL}) \cdot CD$$

Donde:

CD - Closure Distance (Longitud del Cierre).

AZ<sub>VS</sub> - Azimuth del plano de Sección Vertical (dato arbitrario).

AZ<sub>CL</sub> - Azimuth de Cierre (Dirección del Cierre).

Para el caso del primer cuadrante, la distancia de cierre podemos calcularla mediante (como si fuesen coordenadas polares):

$$CD = \sqrt{(E/W)^2 + (N/S)^2}$$

El Azimuth de Cierre se calcula mediante:

$$AZ_{CL} = \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

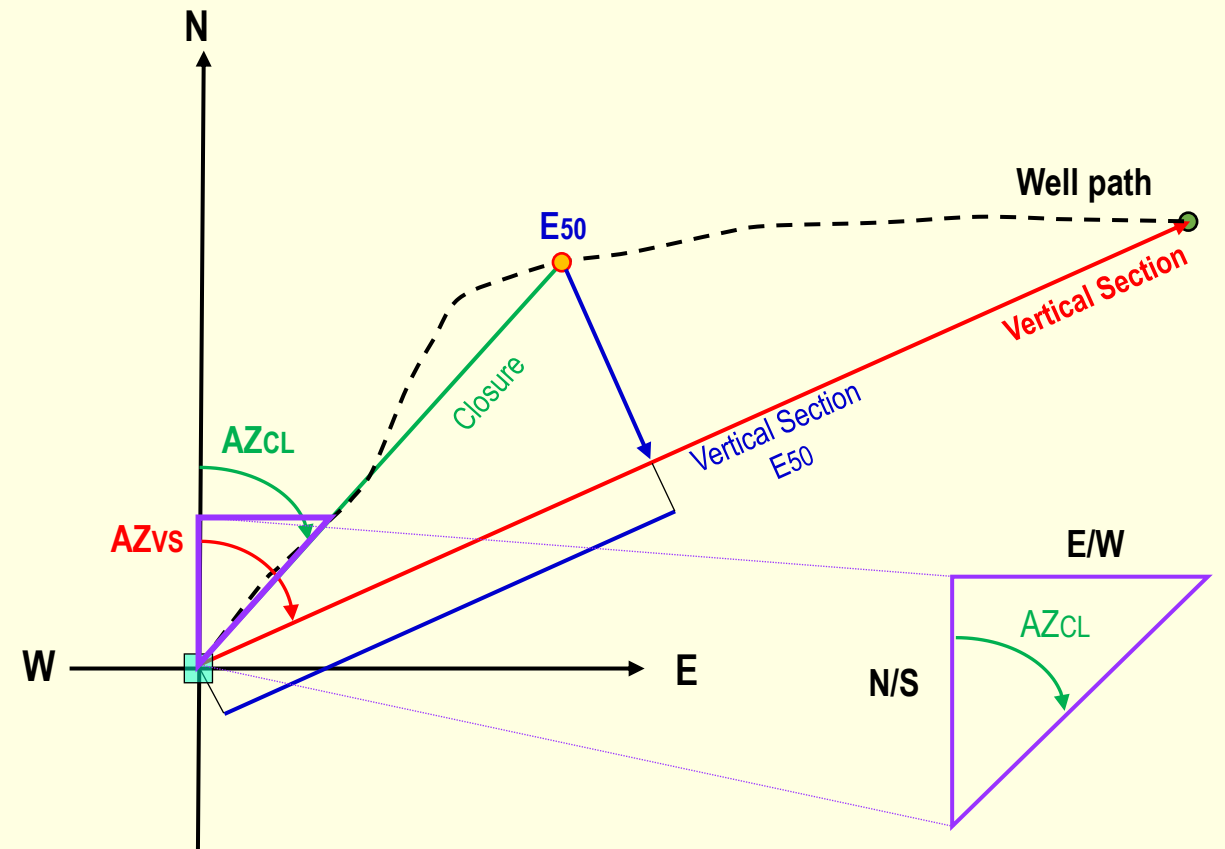
En función del cuadrante donde estemos ubicados, tenemos:

$$0^\circ - 90^\circ, AZ_{CL} = \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

$$90^\circ - 180^\circ, AZ_{CL} = 180^\circ - \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

$$180^\circ - 270^\circ, AZ_{CL} = 180^\circ + \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

$$270^\circ - 360^\circ, AZ_{CL} = 360^\circ - \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

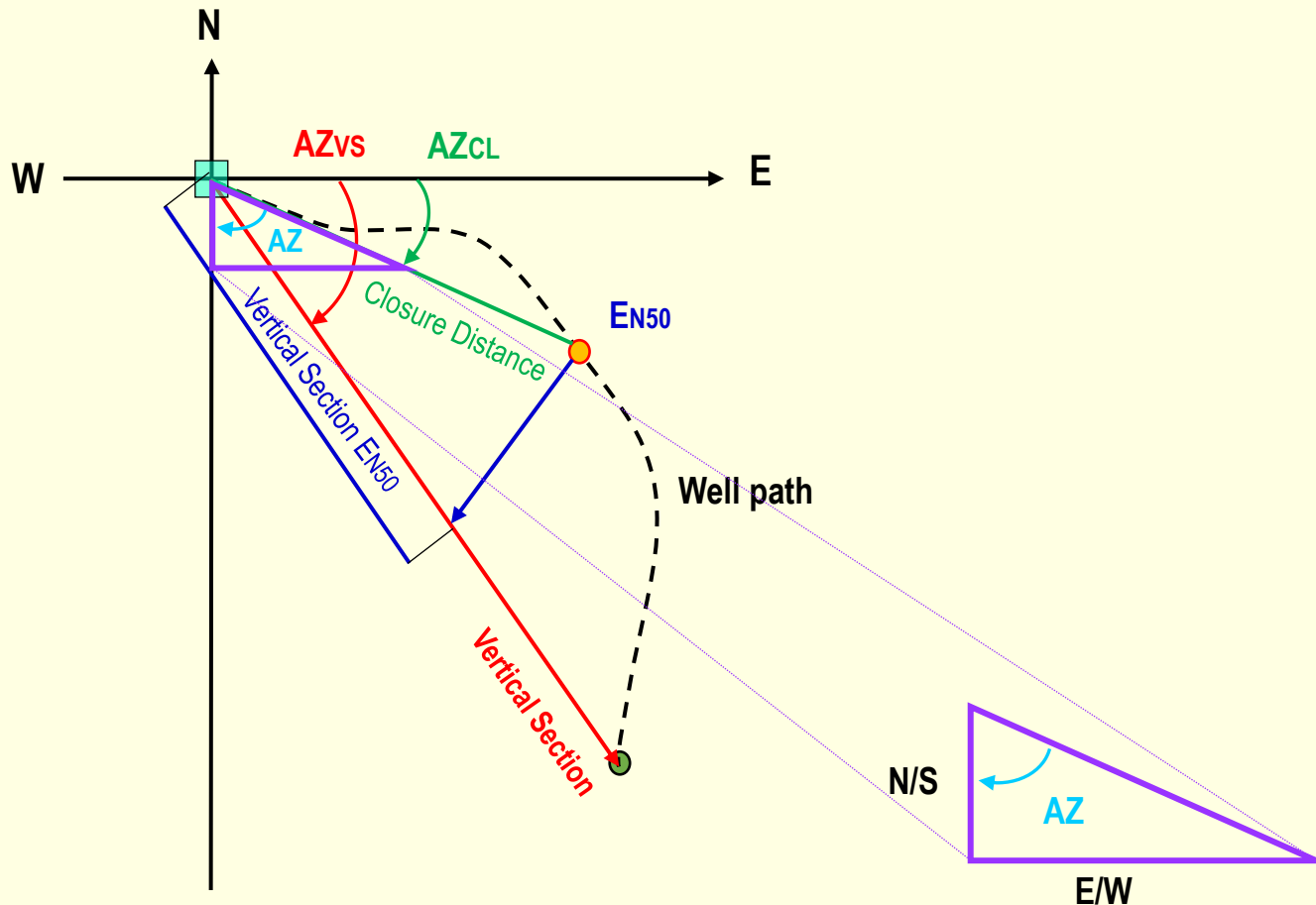


## Segundo Cuadrante:

Para el pozo Balam-47, en la estación 4305 md, se tienen los datos siguientes:

N/S = -400.64 m, E/W = 29.71 m,  $AZ_{vs} = 60.91^\circ$ .

Calcule el Cierre (Closure Distance), Azimuth de Cierre ( $AZ_{CL}$ ) y la Sección Vertical (Vs).



Calculamos el Cierre:

$$CD = \sqrt{(29.71)^2 + (-400.64)^2}$$
$$CD = 401.74 \text{ (m)}$$

Calculamos el Azimuth de Cierre:

$$90^\circ - 180^\circ, AZ_{CL} = 180^\circ - \arctan\left(\frac{E/W}{N/S}\right)$$

$$AZ_{CL} = 180^\circ - \arctan\left(\frac{(29.71)}{(400.64)}\right)$$

$$AZ_{CL} = 175.76^\circ$$

Por último, obtenemos la Sección Vertical:

$$V_s(m) = \cos(60.91 - 175.76) \cdot 401.74$$

$$V_s(m) = -168.83 \text{ (m)}$$