

Peso sobre el trépano (WOB) en pozos horizontales

Por *Gabino Velasco*

Una sencilla explicación sobre cómo se genera, en la perforación de pozos horizontales, el empuje para que el trépano perforo la roca de manera horizontal, ya que carece del peso de los portamechas: con barras de sondeo extrapesadas.



La primera incógnita que surge cuando se habla de la perforación de pozos horizontales consiste en conocer como se genera el empuje necesario para que el trépano logre perforar la roca en forma horizontal, dicha fuerza que en los pozos verticales es suministrada por el peso de parte de los portamechas que componen el conjunto de fondo de la columna perforadora, no es aplicable a los pozos horizontales.

Para poder perforar con el trépano en el tramo horizontal la técnica usual es reemplazar los portamechas con una cantidad equivalente en peso de barras de sondeo extrapesadas (*Heavy Weight Drill Pipe*) que no irán directamente sobre el trépano como los portamechas, sino que trabajarán ubicadas entre el extremo inferior del pozo vertical y comienzo de la curva de transición y que suministrarán el empuje necesario a las barras posicionadas en el pozo horizontal en el extremo de las cuales irá colocado el trépano, según se observa en la figura 1.

El peso unitario para la barra de sondeo extrapesada de 4" es de 29,92 lbs/pié debido al mayor espesor de la pared del tubo *versus* los 17,71 lbs/pié correspondientes a las barras de sondeo normal para la misma medida.

De acuerdo con la disminución progresiva del peso sobre el trépano a medida que va avanzando la perforación horizontal debido a la penetración de las barras extrapesadas en el tramo horizontal del pozo, cuando este llegue al valor límite mínimo se

deberá sacar el sondeo hasta el extremo inferior de las barras extrapesadas y sobre la última barra del tramo horizontal se agregará la longitud necesaria de barras para volver a posicionar la columna de barras extrapesadas entre el extremo inferior del pozo vertical y comienzo de la curva de transición, con el trépano en el fondo.

En la figura 2 se muestra un pozo horizontal compuesto por su correspondiente tramo previo vertical, la curva de transición y el tramo horizontal.

En la figura 2a el sondeo se encuentra alejado del fondo del pozo y es empujado hacia el fondo, las fuerzas de rozamiento están actuando contra la tendencia del movimiento del sondeo. Las barras de sondeo y el trépano que se encuentran en el tramo horizontal son empujadas por las barras extrapesadas y el rozamiento axial al que están sometidas está generado por su peso normalmente apoyado en el área de contacto con el pozo, sumándose al mismo el rozamiento debido al pandeo helicoidal generado por el esfuerzo de compresión. En este escenario el esfuerzo de compresión en la sección curva deberá superar ambos rozamientos para lograr llevar el trépano al fondo del pozo.

Por encima del punto neutro, el sondeo estará sometido a la tracción y la fuerza de rozamiento axial dependerá de la fuerza normal y la fuerza de tracción para cada elemento.

La ecuación del peso para cada uno de los n elementos que componen la columna perforadora será:

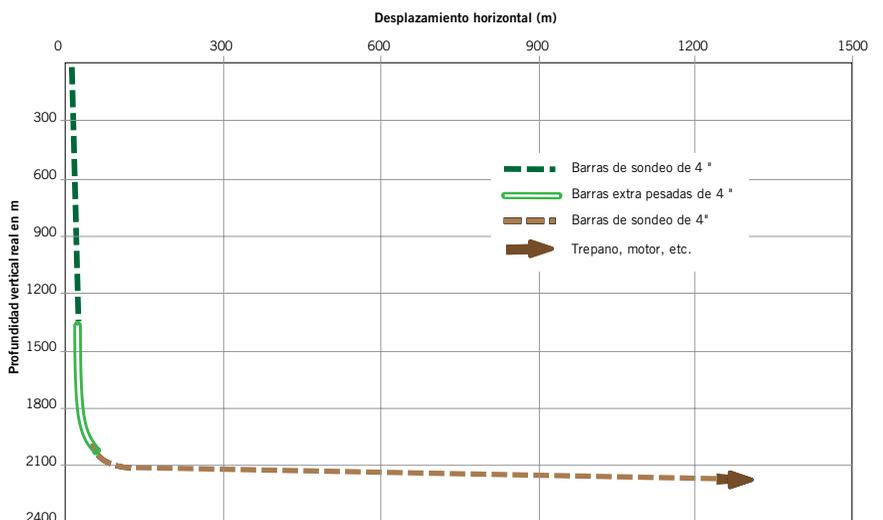


Figura 1. Configuración de la columna perforadora para un pozo horizontal.

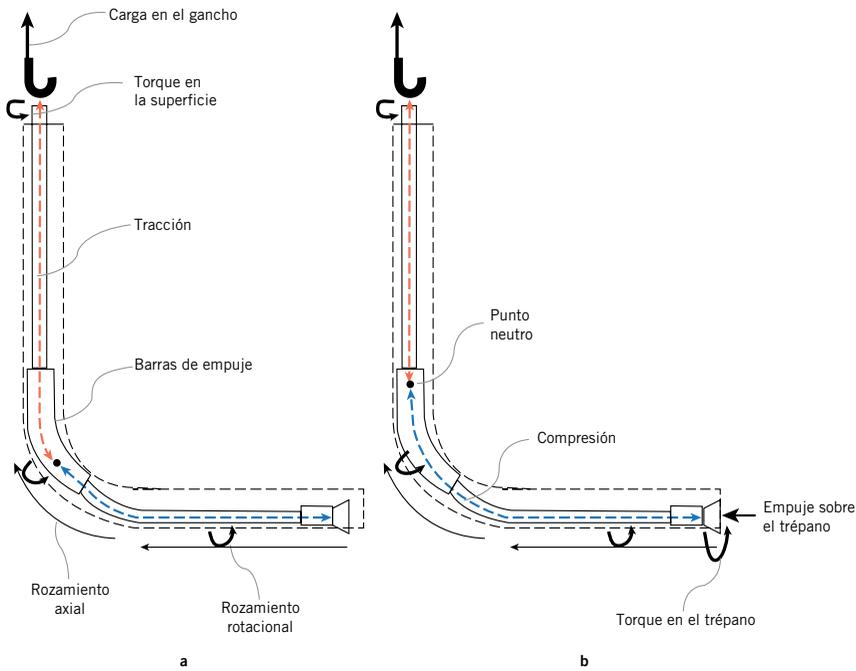


Figura 2. Sondeo avanzando en la perforación de un pozo horizontal.

$$F_{top} = F_{bottom} + W - \text{Friction weight} - (\text{Friction tension or } 0 \text{ or Friction Helical)} - DWOB$$

Donde:
F_{top} = Esfuerzo en el extremo superior del elemento con el trépano perforando.

- F_{bottom}** = Esfuerzo en el extremo inferior del elemento.
- W** = Peso del elemento restado el empuje por flotación.
- Friction weight** = incremento del peso del elemento debido al rozamiento rotacional generado por la rotación del sondeo durante la perforación.
- Friction tensión** = Esfuerzo de tracción generado por el rozamiento axial del elemento con las paredes del pozo.
- 0** = Para la sección vertical del pozo.
- Friction helical** = Esfuerzo de tracción generado por el rozamiento del elemento debido al pandeo helicoidal del elemento (tramos curvo y horizontal del pozo, solamente).
- DWOB** = Peso sobre el trépano perforando.

En la figura 2b la aplicación del peso de las barras extrapesadas sobre el trépano provoca una reducción en el esfuerzo de tracción a lo largo de toda la columna perforadora que afecta el valor de la fuerza de rozamiento

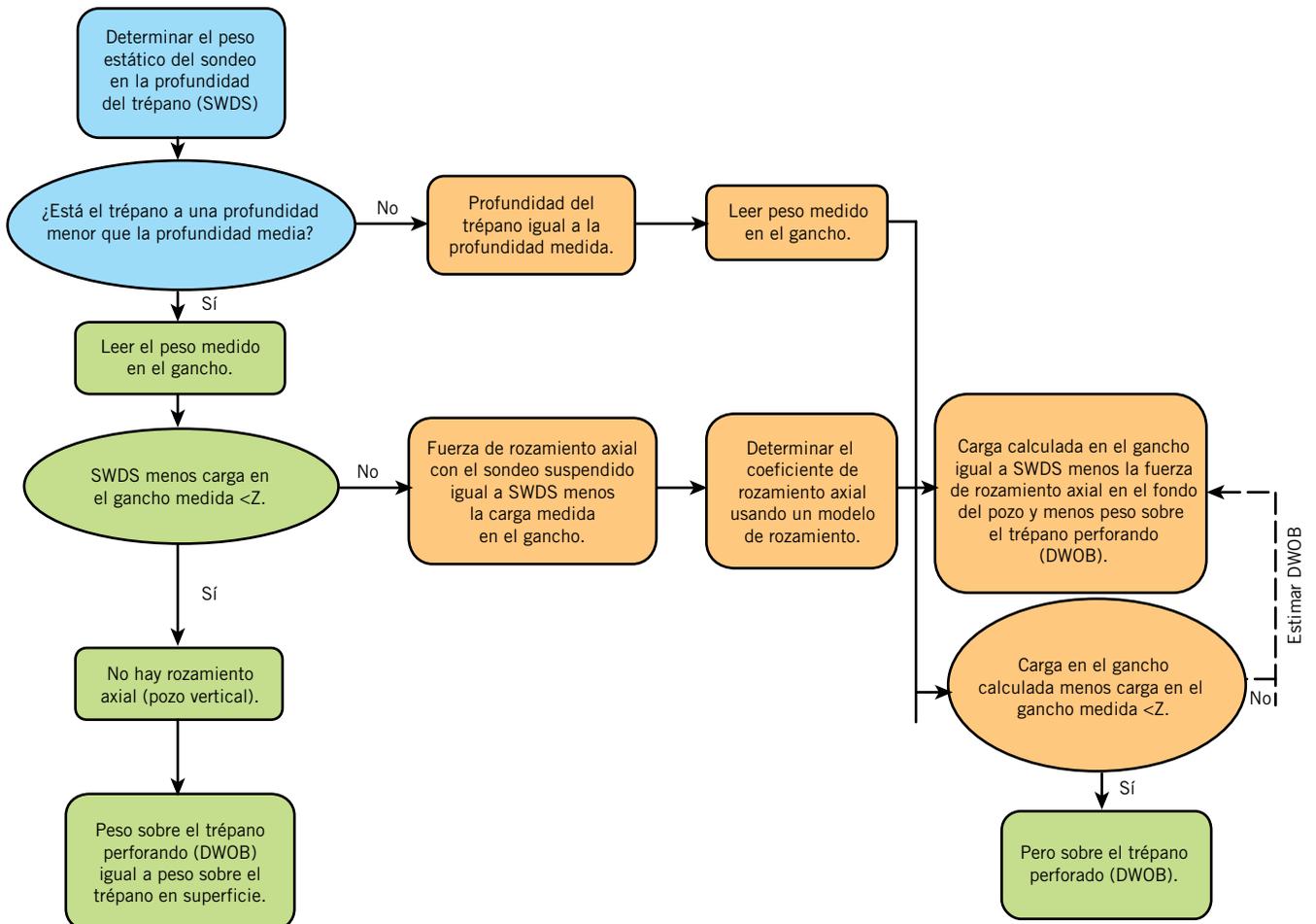


Figura 3. Diagrama de flujo mostrando los pasos para calcular el peso sobre el trépano en el fondo en base a mediciones de carga en el gancho.

rotacional en la sección curva. Esta última deberá ser determinada en base a las mediciones de torque obtenidas en la superficie usando el sistema que se describe a continuación.

En la figura 3 se encuentra el diagrama de flujo con los pasos para la estimación del empuje sobre el trépano (WOB) a través de las mediciones efectuadas en superficie. El primer paso consiste en determinar el peso estático de la columna perforadora (SWDS).

La carga en el gancho que muestra el Indicador de Peso de un equipo de perforación se obtiene a través de un sensor instalado en el anclaje de la línea muerta del cable de aparejo, razón por la cual, no es una medición exacta debido al hecho de que ignora el rozamiento generado por el cable y las poleas de la corona y el motón del aparejo, por lo tanto, para obtener el valor exacto de la carga en el gancho esta deberá calcularse considerando ese rozamiento.

Generalmente, en la industria de la perforación este déficit de carga en el gancho es considerado como carga sobre el trépano.

Para el cálculo del peso estático del sondeo en cualquier profundidad se requiere la siguiente información:

- Inclinación del pozo (obtenida de las mediciones del MWD).
- Peso unitario de cada uno de los componentes del sondeo.
- Densidad del lodo de perforación para calcular el coeficiente de flotación.

Existen ecuaciones estándares para el cálculo del peso estático del sondeo; por ejemplo, para un pozo horizontal podría ser la siguiente:

$$T = 0,981 \times 10^{-3} (LdpPdp1 + LhwPhw + LdpPdp2) K$$

Donde:

T = Carga sumergida por debajo del extremo superior de este tramo de barras de sondeo.

LdpPdpV= Longitud de la barras de sondeo del pozo vertical x su peso unitario.

LhwPhw= Longitud de las barras de sondeo extrapesadas x su peso unitario.

LdpPdpH= Longitud de la barras de sondeo del pozo horizontal x su peso unitario.

K= Coeficiente de flotación.

Para el cálculo del coeficiente de flotación K de la columna perforadora se utiliza el principio de Arquímedes que dice que la fuerza de flotación en un cuerpo sumergido en un fluido es igual al peso del fluido que desplaza, Aadnoy demostró que el esfuerzo de tracción en un sondeo sumergido en el interior de un pozo lleno de lodo de perforación es igual al peso unitario de las barras w multiplicado por el coeficiente de flotación β. Es válido para pozos verticales y dirigidos si dentro y fuera de la barra de sondeo

se encuentra sumergida en el mismo fluido.

$$\beta = 1 - \frac{\rho(\text{Lodo})}{\rho(\text{Barra})}$$

Donde:

β = Coeficiente de flotación

ρ (Lodo) = Densidad del lodo en kg/m³

ρ (Barra) = Densidad de las barras de sondeo en kg/m³

La ecuación precedente brinda una buena estimación del coeficiente

de flotación para fluidos de perforación no compresibles y para aquellos en los cuales el efecto de la temperatura y la concentración de *cuttings* puedan ser ignorados.

Para agregar una barra al sondeo durante la perforación se levanta el trépano y luego se vuelve a bajar cambiando la posición de los otros componentes de la columna, por esta razón cuando el trépano llega al fondo nuevamente para seguir perforando es necesario recalcular el peso estático de la columna perforadora, asimismo en la perforación en desbalance (UBD) la densidad del lodo es variable, por lo tanto, el coeficiente de flotación no será constante y deberá ser calculado en forma individual para cada elemento agregado.

El segundo paso es determinar si el trépano está en el fondo del pozo o no. Durante la perforación el monitor de los parámetros de perforación (*Rig Display*) lleva registro de toda la información operativa necesaria. La profundidad del pozo medida y la profundidad del trépano serán utilizadas para determinar si el trépano está en el fondo o alejado del mismo, así como también si está ascendiendo o descendiendo en el pozo. La profundidad medida coincide con la profundidad final alcanzada por la perforación. Cuando el trépano está alejado del fondo del pozo y el sondeo se encuentra descendiendo, la medición de carga en el gancho se puede comparar con el peso estático del sondeo. Si la diferencia entre ambos valores fuera despreciable ello significa que no existe fuerza de rozamiento axial y la geometría del pozo es vertical. Cuando el trépano toca fondo, algo de peso estará apoyado sobre el trépano y se observará una disminución de la carga en el gancho. La reducción de la carga en el gancho es asumida como carga sobre el trépano en el fondo del pozo, consecuentemente el peso sobre el trépano en el fondo del pozo para un pozo vertical puede ser calculado directamente en superficie a través de las lecturas en el indicador de peso en el gancho con el sondeo suspendido y con el trépano en el fondo.

Si la diferencia entre la medición de carga en el gancho y el peso estático del sondeo no fuera despreciable, la diferencia entre ambos valores es la fuerza de fricción existente entre la columna perforadora y la pared del



pozo. La elección de la mejor medición de carga en el gancho antes de llegar con el trépano al fondo del pozo es crítica en razón de que el valor del coeficiente de rozamiento axial estará basado en esa medición. Considerando que el coeficiente de rozamiento axial estimado será utilizado para estimar el peso sobre el trépano en el fondo del pozo, en los casos en que el pozo este desviado y exista una fuerza de rozamiento axial considerable entre el sondeo y el pozo, para seleccionar la mejor medición de carga en el gancho antes de llegar con el

trépano al fondo deberá considerarse lo siguiente:

- La carga en el gancho es elegida cuando el trépano está bajando y se encuentra muy próximo de llegar al fondo del pozo. En esta maniobra el movimiento del sondeo será muy lento, similar a la situación sobre el fondo cuando el trépano está penetrando la formación.
- La velocidad de rotación del sondeo y el caudal de circulación son los mismos que los previstos para cuando el trépano reinicia la perforación. El efecto de la rotación del sondeo deberá ser incluido en el coeficiente de rozamiento axial.

Conociendo la fuerza de rozamiento axial y teniendo un modelo confiable de rozamiento, se deberá estimar el coeficiente de rozamiento axial (que incluye el efecto de rotación del sondeo). Este coeficiente de rozamiento será utilizado para la estimación del peso sobre el trépano en el fondo cuando este reinicie la perforación.

Cuando la profundidad a la cual se encuentra el trépano y la profundidad medida son iguales significa que el trépano está en el fondo. En esta situación se conoce la carga en el gancho medida y también se puede calcular. Asimismo, se tendrá información para calcular la carga en el gancho, el peso estático de la columna perforadora, el rozamiento axial y el peso sobre el trépano. Según lo expresado precedentemente el peso estático del sondeo se puede obtener directamente de las ecuaciones estándares mencionadas. El peso sobre el trépano en el fondo se puede estimar y el rozamiento axial será calculado en base al peso sobre el trépano en el fondo. Para conseguir el mejor valor de peso sobre el trépano, se deberán estimar valores cercanos al peso sobre el trépano leídos en superficie y aplicarlas al modelo de rozamiento para verificar su efecto sobre el valor de fuerza de rozamiento axial. Si la diferencia de carga en el gancho entre la medida y la calculada fuera despreciable, entonces el valor estimado es el correcto, si no fuera así elegir otro valor y repetir el cálculo. Este procedimiento deberá repetirse hasta que la diferencia entre el valor calculado y el medido sea despreciable. ■