

# PERFORACIÓN DIRECCIONADA, LA PERFORACIÓN DEL FUTURO HOY

Jorge E. Gamarra Urrunaga<sup>1</sup>, Noe Vilcas Munive<sup>2</sup> y Peggy Silva Mayser<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gerente de Servicios Técnicos, Explomin del Perú, Lima, Perú ([jorge.gamarra@explomin.com](mailto:jorge.gamarra@explomin.com))

<sup>2</sup> CEO, Explomin del Perú, Lima, Perú ([nvilcas@explomin.com](mailto:nvilcas@explomin.com))

<sup>3</sup> Sub Gerente Comercial, Explomin del Perú, Lima, Perú ([peggy.silva@explomin.com](mailto:peggy.silva@explomin.com))

## 1. Abstract

La técnica de perforación direccionada tiene actualmente más de 100 años de uso. Los avances tecnológicos de las últimas décadas en la perforación direccionada permiten controlar o corregir la trayectoria predeterminada de un pozo hacia uno o varios objetivos subterráneos con un alto nivel de precisión, logrando asombrosas hazañas de ingeniería.

Debido al gran control de la desviación, permite obtener impactos con gran precisión incluso en zonas de hasta más de 1,000m de profundidad, favoreciendo la identificación de objetivos profundos y difíciles de acceder con los métodos tradicionales de perforación.

Explomin introdujo de forma exitosa esta tecnología para adaptarla a las exigencias y necesidades de la industria minera desde el 2013. Logrando excelentes resultados en la exploración y delineación de recursos minerales en Perú y Colombia.

**Palabras Clave:** Innovación, tecnología, exploración, minería, ingeniería.

## DIRECTIONAL DRILLING, THE DRILLING OF THE FUTURE TODAY

Directional drilling techniques have been employed for almost 100 years now. Over the past few decades, technological improvements in directional drilling allowed great control to correct and steer a borehole along a planned trajectory to one or multiple underground targets, with a high level of accuracy, achieving amazing feats of engineering.

This great control of deviation and steering, it allows to obtain impacts with great precision even in zones over 1,000m deep, favoring the identification

of deep targets which are difficult to access with traditional drilling methods.

Explomin successfully introduced this technology and adapted it to the demands and needs of the mining industry since 2013. Achieving excellent results in exploration and delineation of mining resources in Peru and Colombia.

**Key Words:** Innovation, technology, exploration, mining, engineering.

## 2. Introducción

La perforación direccionada es la ciencia que permite corregir o controlar la perforación de un pozo a lo largo de una trayectoria predeterminada hacia uno o varios objetivos subterráneos o puntos definidos por un desplazamiento horizontal y profundidad vertical real desde el punto de origen.

Estas técnicas forman parte integral de la industria del gas y petróleo desde los años 1920, permitiendo a los operadores mantener la verticalidad de los pozos, construir curvas (cambios en la inclinación o caídas) y mantener las tangentes en una dirección específica.

Las técnicas de la perforación direccionada fueron diseñadas para mejorar la mecánica de la desviación de pozos y así perforar múltiples pozos a partir de una misma ubicación con diferentes ángulos, mejorando los costos de perforación asociados y reduciendo el impacto ambiental.

Gracias a la evolución en la precisión de los métodos de medición de desviación de pozos desde las pruebas de ácido hasta el uso de giroscopios, en gran parte, como consecuencia de la exigencia de la industria y del desarrollo de esta tecnología, permitieron el desarrollo de la ciencia de la perforación direccionada controlada.

### 3. Perforación direccionada

#### 3.1. Parámetros Clave

El desarrollo tecnológico de los instrumentos de medición de desviación de pozos basados en instrumentos magnéticos y giroscopios de medición simple y múltiple contribuyó también al desarrollo de la perforación direccionada.

Estos métodos de medición de desviación más precisos permitieron: Desviar pozos intencionalmente a ubicaciones precisas en el fondo del pozo; restringir los pozos verticales a unos pocos grados de inclinación, finalmente restringir el desvío natural del pozo.

La perforación direccionada controla o corrige la trayectoria predeterminada de un pozo hacia uno o varios objetivos subterráneos o puntos definidos por un desplazamiento horizontal y profundidad vertical real desde el punto de origen con un rango de precisión de impacto de hasta 1% (Figura 1).



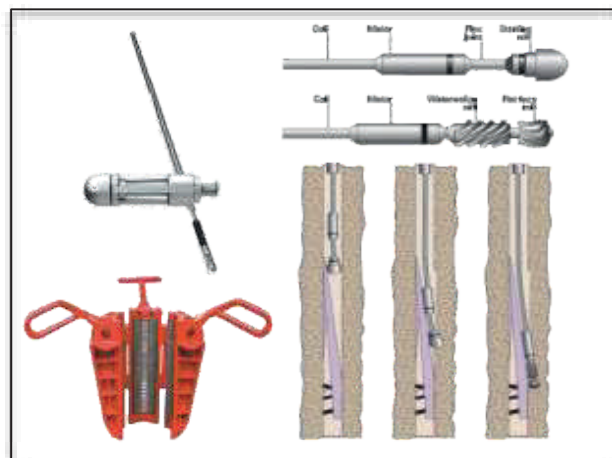
**Figura 1:** Parámetros clave en la perforación direccionada.

#### 3.2. Metodología

##### 3.2.1. Método Antiguo

Los primeros pozos perforados que fueron deliberadamente desviados datan de finales de 1920. Para lograr este objetivo, se usaron cuñas de madera dura con la finalidad de empujar la broca de perforación hacia un lado del pozo, generando el desvío de la trayectoria vertical del pozo hacia una dirección deseada. Posteriormente, estas cuñas

evolucionaron de ser de madera a materiales más resistentes (Figura 2, IADC, 2015, Silva, 2019).



**Figura 2:** Cuñas o "wedges"

##### 3.2.2. Método Moderno

La perforación direccionada usa herramientas de última generación y gran precisión en la medición de la desviación del pozo, las cuales toman registros continuos del pozo cada 10, 20 o 50m dependiendo del grado de precisión deseado. Esta información de los instrumentos de medición es procesada continuamente con el objetivo de seguir el trazo de la línea planeada para el sondaje (IADC, 2015, Silva, 2019).

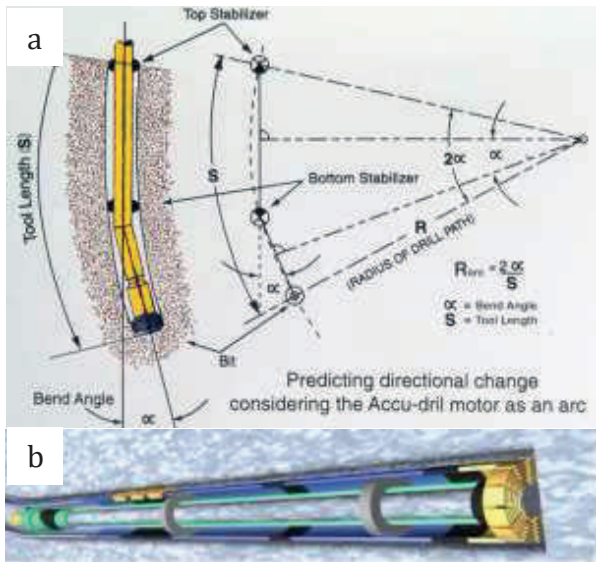
El método moderno integra un conjunto de instrumentos de perforación que van desde brocas de perforación especializadas con sensores que indican al perforista sobre peso externo, velocidad de rotación que pueden influir en la trayectoria del sondaje. Motores de lodo, próximos a las brocas de perforación, los que, mediante la inyección de lodo de perforación a presión, empujan la broca en un ángulo diferente a la trayectoria del eje del sondaje, haciendo rotar la broca, únicamente con la presión del fluido. Una vez que los sensores identifican que la broca está apuntando en la dirección correcta, toda la línea de perforación empieza a girar en la dirección hacia donde apunta la broca.

Adicionalmente, la perforación direccionada usa sistemas de rotación direccionables, los cuales permiten perforar y direccional el sondaje al mismo tiempo, permitiendo el ingreso a zonas consideradas anteriormente inaccesibles.

El método moderno incluye dos tecnologías, las que se diferencian en la recuperación de testigo en

la zona de curva o sección de construcción del sondaje (Figura 1).

La primera tecnología, sin recuperación de testigo en curva, emplea una broca ciega que destruye la muestra en la zona de curva o sección de construcción del sondaje; y la segunda tecnología, con una broca especializada, permite la recuperación de testigo en curva en un diámetro AQ (Figura 3, DEVICO, 2020, IADC, 2015, Silva, 2019).



**Figura 3:** a) Tecnología sin recuperación de testigo en curva, b) Tecnología con recuperación de muestra en curva.

## 4. Áreas de Aplicación

### 4.1. Exploración Geológica y Minera

#### 4.1.1. Zonas de Geología Compleja

La perforación direccionada permite gran precisión en zonas con alto riesgo de desviación. El gran control del direccionamiento del sondaje, permite ir corrigiendo la desviación para mantener el sondaje dentro de la traza planeada, favoreciendo la identificación de objetivos profundos con gran precisión.

#### 4.1.2. Perforación Controlada

La gran precisión en el control de desviación del sondaje permite la identificación de formaciones geológicas clave, así como fallas, vetas y cuerpos mineralizados. Así mismo, permite direccionar la perforación a fin de evitar estructuras que se quieran evitar durante la planificación del sondaje.

#### 4.1.3. Pozos múltiples

La posibilidad de realizar un pozo madre con ramificaciones permite la perforación de objetivos profundos con impactos múltiples de gran precisión. Logrando que los programas de recategorización de recursos en mallas tipo *infill* tengan una gran precisión, incluso en objetivos muy profundos (>1,000m).

#### 4.1.4. Objetivos múltiples

La perforación direccionada permite identificar objetivos múltiples con gran precisión a partir de un pozo madre. Incluso en objetivos de gran profundidad (>1,000m).

#### 4.1.5. Zonas de difícil acceso superficial

La perforación direccionada permite realizar perforaciones múltiples a partir de una misma ubicación, evitando así invadir zonas próximas a lagos, ríos, áreas ecológicas sensibles y zonas de operación minera como tajos u otro tipo de laboreo minero.

## 4.2. Otras áreas

#### 4.2.1. Geotecnia

La perforación direccionada permite realizar perforaciones para chimeneas y túneles asegurando la verticalidad y horizontalidad de los sondajes respectivamente.

#### 4.2.2. Geotermia e Hidrogeología

La perforación direccionada permite realizar perforaciones precisas para la identificación de formaciones clave (acuíferos).

#### 4.2.3. Petróleo y Gas

La perforación direccionada permite realizar perforaciones para identificar formaciones madre, realizando sondajes direccionados de modo que una mayor sección de la formación productora de hidrocarburos quede expuesta al pozo.

## 5. Ventajas de la Perforación Direccionada

Son múltiples los beneficios que brinda la perforación direccionada, tanto económicos como operativos, entre los cuales se puede citar:

- Ahorro en tiempo y costos indirectos: Este método de perforación reduce la cantidad de estaciones de perforación para habilitar, ya que permite la ejecución de pozos múltiples a partir de una sola estación.

- Reducción de metraje en zonas estériles: El método de perforación con un pozo madre con ramificaciones, permite reducir el metraje de testigos en zonas estériles, dando un mayor enfoque a las zonas de interés, logrando optimizar los programas de perforación.
- Perforación de objetivos profundos con gran precisión: Debido al gran control de la desviación, permite obtener impactos con gran precisión incluso en mallas reducidas tipo *infill* en zonas de hasta más de 1,000m de profundidad.
- Gran control de la desviación natural: La tecnología de la perforación direccional permite eliminar la desviación natural de la perforación, controlándola y corrigiéndola permitiendo que el eje del sondaje se mantenga dentro de la trayectoria planificada.
- Recuperación continua de testigos: Incluso en la zona de curva, la tecnología de perforación direccional permite la recuperación de testigos.
- Mitigación del impacto ambiental: La reducción significativa de las estaciones de perforación, permite un menor impacto al medio ambiente.

## 6. Casos de Éxito

### 6.1. Buritica, Continental Gold, Colombia

La perforación direccional permitió la exploración exitosa de vetas con mineralización en profundidad con sondajes de 600 a 1,200m de longitud y más de 1,000m de profundidad vertical.

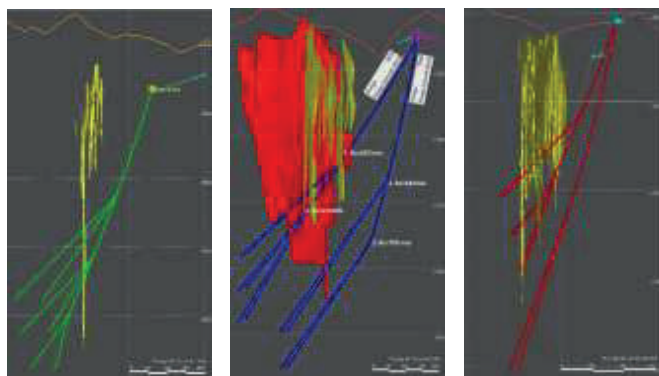


Figura 4: Secciones transversales en Buritica.

### 6.2. Antamina, Perú

La perforación direccional permitió la exploración exitosa de la continuidad de cuerpos mineralizados por debajo del pit en operación, con sondajes de 800 a 2,000m de longitud.

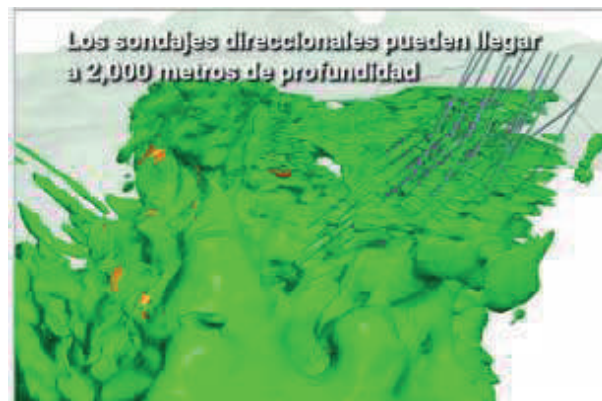


Figura 5: Modelo 3D de los cuerpos mineralizados con la traza de sondajes direccionados.

### 6.3. Quenamari, MINSUR, Perú

La perforación direccional permitió la exploración exitosa de la continuidad de vetas con mineralización profunda con gran precisión. El programa incluyó sondajes con longitudes entre 600 a 1,200m en mallas tipo *infill* para recategorización de recursos con una precisión de +/-5m en pozos de >1,000m de longitud.

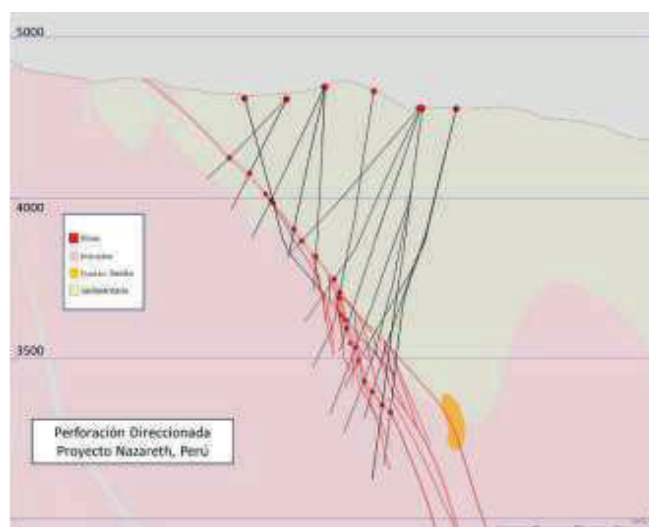
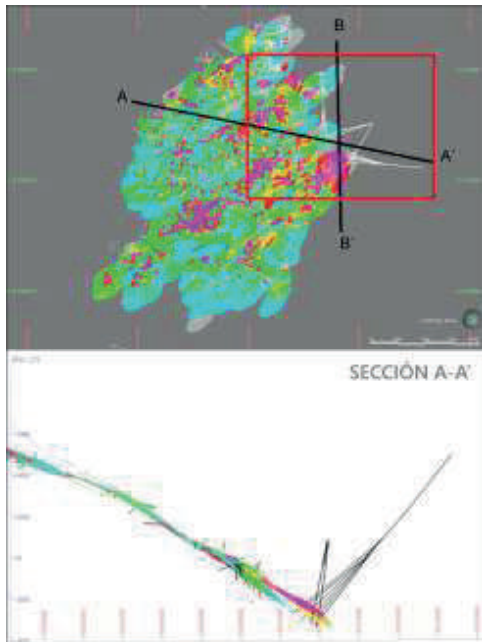


Figura 6: Sección transversal Veta Nazareth, con impactos de sondajes direccionados.



#### 6.4. Segovia, Gran Colombia, Colombia

La perforación direccionada permitió la exploración exitosa de la continuidad de vetas con mineralización profunda con gran precisión. El programa incluyó sondajes con longitudes entre 900 a 1,200m en mallas tipo *infill* para recategorización de recursos con una precisión de +/-5m en pozos de >1,000m de longitud.



**Figura 6:** Vista en Planta y Sección transversal de la veta El Silencio con las trazas de los sondajes direccionados.

#### 7. Conclusiones

La perforación direccionada es un método moderno con un gran control sobre la desviación del sondaje que hace posible que se tenga una alta precisión en la dirección planeada de los sondajes e impactos programados.

La perforación direccionada es el método idóneo para la perforación de objetivos profundos donde se requiere un alto nivel de precisión en los impactos, frecuentemente en programas de perforación tipo *infill* para recategorización de recursos.

La perforación direccionada representa un gran ahorro en tiempo y costos indirectos, ya que permite ejecutar diversos pozos ramificados a partir de un pozo madre. Reduciendo significativamente la cantidad de estaciones de perforación y optimiza

el metraje de testigo recuperado en zonas de mayor interés.

El hecho de perforar pozos múltiples a partir de una misma estación y con el uso de una sola máquina de perforación, minimiza también el impacto ambiental.

#### Agradecimientos

Los autores del presente artículo brindan un especial agradecimiento a nuestros valiosos clientes quienes amablemente autorizaron la publicación de las imágenes de secciones geológicas y modelos mostrados en el presente artículo. Así mismo, hacemos presente nuestro agradecimiento por compartir sus testimonios sobre la gran experiencia con la perforación direccionada en cada uno de sus proyectos. Nuestro agradecimiento a Miroslav Kalinaj, Gerente Corporativo de Exploraciones MINSUR y Luis Carlos Castaño, Superintendente de Exploración Gran Colombia Gold.

#### Referencias

- DEVICO, 2020. Directional Core Drilling, coring while steering. <https://www.devico.com/downloads-2/brochures/>.
- IADC, 2015. Drilling Manual, 12th ed. ISBN: 978-8-9915095-0-8
- Silva, Peggy, 2019. Perforación del Futuro, Hoy. Reporte Interno, v. 01, p. 001-039.