

## RELEVANCIA DE LA TRONADURA:

# El impacto de los detonadores electrónicos en el proceso minero

No obstante su mayor costo, el uso de estos sistemas permite generar importantes beneficios en todo el conjunto del proceso minero.

**L**a tronadura, como primera etapa del proceso de conminución de la roca, tiene como misión el pre-acondicionamiento o preparación de ésta para su posterior procesamiento, a fin de obtener un producto comercializable, en la forma más económica.

El desafío, entonces, es transferir la energía del explosivo en la forma más eficiente para iniciar este proceso, propendiendo a que las etapas siguientes se vean favorecidas.

El enfoque tradicional de la tronadura, sin embargo, ha sido el de minimizar sus propios costos: una óptima gestión implicaba cumplir con los presupuestos pre-establecidos para esta área, sin considerarla como una parte del proceso de agregación de valor.

Por el contrario, si se considera la tronadura como una etapa de la cadena de valor, el objetivo primordial es fragmentar, pero no buscando la tonelada quebrada más barata, sino la más económica, es decir, la que cumpla con los requerimientos del proceso global.

Esto implica no sólo definir los requerimientos de el o los productos generados por ella, sino también las características de los insumos. Hoy se sabe que empleando explosivos adecuados y sistemas de iniciación de alta precisión se puede impactar sobre aspectos relevantes, como la eficiencia de la lixiviación.

De esta forma, una de las tecnologías que cada día adquiere más relevancia y mayor presencia lo constituyen los detonadores de retardo electrónico, especialmente por las presiones de diversa índole que actualmente enfrenta la industria minera. Y si bien el uso de estos sistemas implica un mayor costo y un cuidado especial, su inversión genera beneficios.

Al respecto, un reciente estudio de Claude Cunningham ("Los detonadores electrónicos: éxito creciente en la transformación de la fragmentación de roca") presentando el marco de las Jornadas de Tronadura 2004, precisa que un requisito básico de la minería moderna es reducir el consumo de energía y dos vías para lograrlo son: (a) mejorar la productividad del equipo de minería mediante el mejoramiento de la facilidad de excavación, facilitar el chancado, la trituración, y el ritmo de producción de un tonelaje determinado; (b) reducir el uso de explosivo sin comprometer las operaciones aguas abajo. El balance correcto entre estas opciones potencialmente conflictivas requiere de un alto nivel de conocimiento de la conexión en toda la operación.

Asimismo, es vital controlar el daño posterior, puesto que es muy costoso remediar la roca dañada y afecta no sólo la seguridad sino también la relación lastre/ mineral, la que a su vez tiene grandes consecuencias de viabilidad.

En términos del impacto humano, es necesario contener los niveles de vibración y golpe de aire, lo que normalmente significa un control estrecho sobre las operaciones de tronadura.

Por otro lado, -añade- debido a las restricciones de rendimiento de planta y una tendencia a subestimar el poder del diseño de tronadura de cambiar las propiedades de flujo de roca desde la mina, existe una tendencia general a aumentar la escala de inversión en los circuitos convencionales de chancado y trituración. Los costos de capital, alimentación y mantenimiento para tales instalaciones hacen parecer pequeño cualquier gasto que asegure una fragmentación más fina del mineral tronado (como sería la inversión en los detonadores electrónicos).

De todo lo anterior se desprende que un requisito claro es el mejor control sobre las operaciones de tronadura a un costo razonable, y Cunningham sostiene que la llegada de sistemas de detonadores electrónicos confiables y fáciles de usar representa una solución para abordar la mayoría de estos



*Los detonadores electrónicos aumentan el desempeño de la tronadura porque virtualmente elimina la dispersión de tiempo.*

aspectos, si no todos ellos.

La adopción general de sistemas electrónicos desempeña un papel importante, mejorando la capacidad de monitoreo y control sobre las operaciones. Esto a su vez posibilita un mayor rendimiento técnico y mejor generación de informes y análisis.

Al proporcionar control electrónico y retroalimentación de desempeño al equipo de operación, ha sido posible mejorar enormemente la eficiencia y los costos de operación. Por ejemplo, la tecnología GPS (Satélite de Posicionamiento Global) está revolucionando el despliegue de equipo en minería, permitiendo que se mantengan cualidades de piso hasta ahora raras en las operaciones de excavación por bancos, al indicar a las perforadoras y excavadoras la profundidad de perforación y excavación. Los sistemas de monitoreo de motor extienden la vida y reducen el mantenimiento, y las plantas de procesamiento funcionan más eficientemente.

El rol particular de los sistemas de detonador electrónicos de cerrar el ciclo con estas tecnologías es crucial, afirma.

### Condiciones

Es necesario precisar, también, que algunas operaciones de tronadura simplemente no tienen probabilidad de obtener beneficios de los sistemas de detonadores electrónicos, y es mejor identificarlas desde el comienzo. Algunas de las consideraciones clave, son:

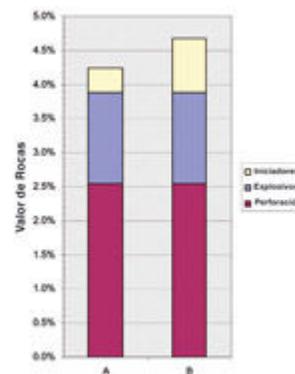
-Si el terreno tronado en realidad es sensible a las pequeñas diferencias de tiempo: las formaciones débiles, con cribado de cavidades no son un buen candidato.

-Si los equipos en terreno comprenden el cuidado que necesitan los procesos de cableado y diagnóstico.

Esto depende de la facilidad de usar el sistema que se está considerando y de la identificación general del personal con los resultados.

-Si el control sobre las operaciones de extracción y fragmentación de roca es razonable. Si la perforación, el primado y el carguío son de mala calidad y el equipo está a menudo fuera de servicio, es difícil que los detonadores electrónicos tengan éxito hasta que se establezca un mejor control.

-Si el usuario se beneficiará o perjudicará con los resultados mejorados: un contratista de perforación y tronadura pagado por pozo puede sentirse perjudicado si los resultados de fragmentación mejoran, pero la cantidad de pozos perforados se reduce seriamente, mientras que su costo por detonador aumenta. En este punto el propietario de la faena necesita asegurar que no renuncia a mejoramientos técnicos debido a contratos estrechos de miras.



### Aplicación

Un concepto erróneo común es que no hay razón para usar los diagramas de tiempo de tubos de choque en las aplicaciones de detonador electrónico, un error relacionado es pensar que una manera económica es usarlos para determinar el "tiempo óptimo" para la tronadura, y luego aplicar el tiempo usando las unidades de tubos de choque. De esta forma se desconoce el hecho que los detonadores electrónicos aumentan el desempeño de la tronadura porque eliminan virtualmente la dispersión de tiempo; resulta ilógico esperar resultados de fragmentación de roca idénticos con el mismo tiempo nominal.

Por lo general, la evolución de los diagramas de tiempo pirotécnicos ha ocurrido con buena justificación técnica, y las mejoras del tiempo electrónico de precisión han surgido de: (a) la eliminación de pequeñas pero importantes cantidades de desviaciones considerables, que generan inconsistencias inoportunas en el resultado de la tronadura, y (b) incapacidad de ajustarse a las condiciones cambiantes a causa de la naturaleza fija de un stock de retardos pirotécnicos. Cuando los detonadores electrónicos reemplazan a los retardos pirotécnicos existe una caída en la sobredimensión, estallido y vibración, que podría haber sido el resultado de intervalos imprecisos: el resultado completo de la tronadura se vuelve más uniforme y existe mayor uniformidad entre tronaduras.

Por lo tanto, el primer paso es establecer el beneficio de la precisión por sí sola (en oposición al valor de los nuevos retardos), utilizando la misma distribución de tronadura y tiempo que antes.

En una conversión reciente de una cantera de granito en Sudáfrica -ejemplifica Cunningham- sólo se cambió el sistema detonador, el tiempo permaneció en 17/25 ms en cuatro filas de pozos de 105 mm., con un factor de carga de 1,1 kg/m<sup>3</sup>. La producción de la planta aumentó inmediatamente en 30%, cuando anteriormente habían tenido retardos de chancado de hasta dos horas al día causados por derivación en la chancadora. Las tasas de alimentación aumentaron a 9 camiones por hora en vez de 7 y los factores de llenado de camiones aumentaron en 3,8%. Este tipo de mejora potencia inmediatamente la fuerza económica y niega cualquier idea acerca de un iniciador más costoso.

Una vez que se ha establecido el éxito del tiempo preciso y que el grupo de trabajo se sienta cómodo con

el sistema, por lo general, se explorará el efecto del tiempo. Frecuentemente esto lleva a intervalos entre filas más cortos, lo que entrega una fragmentación más fina y huellas de vibración mejoradas.

**Beneficios**

Gran parte de la resistencia a los detonadores electrónicos -plantea el especialista- surge del franco aumento del costo, no relacionado con la apreciación del valor que entregan. Esto se puede abordar recurriendo a modelos simples pero verdaderos que reflejen la relación entre costos de tronadura y beneficios totales. En la cantera mencionada anteriormente, si el precio promedio que se recibe por roca se asigna a un pozo, y el costo extraordinario del detonador electrónico de retardo sobre una unidad de tubo de choque (la diferencia de costo es aproximadamente tres veces) se compara, el porcentaje del aumento frente a beneficios totales es de aproximadamente 0,4% antes de permitir cualquier mejoramiento en la productividad.

La Figura 1 indica cuan pequeños son los costos de tronadura en relación a los beneficios, siendo los iniciadores el componente más pequeño de la tronadura. El efecto en los costos de la operación completa es insignificante, lo que implica que incluso los pequeños aumentos de productividad justificarán el gasto. Es bastante común cubrir el costo mediante el simple aumento de la malla de perforación.