

Tecnología bajo tierra

Túneles mecanizados en proyectos hidroeléctricos

Peter Schmaeh

Miembro de la Junta Directiva, Business Unit Utility Tunnelling, Herrenknecht AG, Alemania

Fotos: Cortesía Herrenknecht AG



↑ La tecnología mecanizada incluye máquinas capaces de excavar a través de cualquier roca y en condiciones de suelos cambiantes, también bajo nivel freático y a cualquier profundidad, con mínimo impacto sobre el entorno.

La mayor parte de los proyectos de generación hidroeléctrica se encuentran en regiones montañosas, remotas o en zonas ambientalmente sensibles, lo cual crea desafíos para el acceso y la logística. Este artículo destaca la importancia de desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas y da un repaso general de las tecnologías disponibles para la construcción mecanizada de túneles. Una selección de casos reales dará una idea de las posibles aplicaciones en proyectos hidroeléctricos y de los retos superados en los últimos años de la mano con la tecnología de la construcción.

Introducción

La demanda de energía hidroeléctrica, como fuente de energía limpia, está ganando importancia en los últimos años en todo el Mundo, y en consecuencia se construyen nuevas plantas de generación, al tiempo que se planea renovar las ya existentes. Gestionar la conducción de agua y la posterior descarga necesaria para generar energía exige tecnologías innovadoras para excavar largos trayectos de túneles horizontales, inclinados, ascendentes o descendentes que incluyen revestimientos resistentes a ciertas presiones, según las necesidades del proyecto.

Hoy en día las plantas hidroeléctricas pequeñas y medianas reclaman el máximo interés, ya que estos proyectos tienden a ser ejecutados en plazos breves. Además, se utilizan para descentralizar el suministro de energía y no requieren de una extensa infraestructura eléctrica. Las plantas hidroeléctricas pequeñas exigen con frecuencia túneles cortos de diámetros pequeños, aunque, por lo general, los presupuestos de inversión son limitados. Por lo tanto, han de tenerse en cuenta tecnologías alternativas tanto para la excavación como para el revestimiento al escoger la solución más económica y eficiente de cada proyecto. Los argumentos más frecuentes contra el empleo de las máquinas de perforación continua o tuneladoras TBM (Tunnel boring machine) son la inversión inicial y el plazo de entrega, pero investigaciones detalladas en centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas demuestran que la relación entre el costo y el rendimiento que se obtiene con las soluciones mecanizadas es un factor digno de tener en cuenta.

Pequeñas centrales hidroeléctricas

No hay en la actualidad un consenso internacional sobre un índice para la clasificación técnica de las plantas hidroeléctricas pequeñas, medianas y grandes. El índice más común, utilizado en los países alpinos, considera una capacidad máxima de 10 MW para instalaciones hidroeléctricas pequeñas¹. Durante las últimas décadas del siglo XX, el foco de la generación hidroeléctrica fue el desarrollo técnico y la instalación de grandes centrales de más de 100 MW². Rara vez se consideró la posibilidad de utilizar pequeños caudales de agua para generar energía porque no parecía económicamente rentable. Sin embargo, desde principios de 1990 la búsqueda internacional de recursos energéticos alternativos se reorientó hacia las pequeñas centrales hidroeléctricas con tamaño de hasta 5 MW en proyectos que aprovechan las condiciones locales para generar energía. Estas plantas garantizan el suministro local y estable de electricidad, pero además se consideran como un precursor para el

crecimiento económico y el desarrollo social en regiones remotas. Las centrales hidroeléctricas pequeñas y descentralizadas son a menudo la única posibilidad de generar energía de bajo impacto ambiental para las viviendas y la industria en las regiones más aisladas, donde la conexión a la red de distribución eléctrica resulta excesivamente costosa. Esta energía también es una alternativa para alimentar la red pública. Muchos países industrializados están instalando pequeñas centrales hidroeléctricas, pues suponen un cambio eficiente y sostenible en la política energética en favor de las energías renovables. En los países en desarrollo, las pequeñas centrales hidroeléctricas representan una opción favorable para reemplazar centrales térmicas.

En la actualidad se utiliza tecnología de última generación en la construcción de centrales hidroeléctricas pequeñas. La experiencia obtenida de las grandes plantas, así como la investigación y desarrollo de la industria de energía hidroeléctrica han sido vitales para el desarrollo de pequeñas centrales. Mientras que las grandes centrales convierten la energía potencial de una masa de agua en energía eléctrica, las hidroeléctricas pequeñas están diseñadas principalmente con un esquema *run-of-river*, que no requiere un depósito grande de agua y los proyectos tienden a ser de escala más pequeña³. En un proyecto de este tipo, la generación de energía es física sencilla: la potencia viene de la energía que produce un caudal de agua que pasa a través de una turbina. La cantidad de energía generada depende del volumen y de la diferencia de altura entre el origen y el nivel de flujo de salida del agua. Por tanto, los proyectos *run-of-river* deben construirse a lo largo de un río con flujo constante y estable (generalmente natural).

La topografía del terreno determina el diseño de la planta hidroeléctrica y establece la alineación del túnel de aducción y la línea de descarga al río. En este caso, el diseño de la línea de transmisión no solo depende de la diferencia de altitud y de la pendiente, sino también del volumen de agua que fluye. Esto significa que un gran volumen de agua puede compensar una pequeña diferencia de altura y una inclinación mínima del túnel.

Túnel mecanizado vs. método convencional

En general, hay dos maneras de excavar túneles: mediante perforación y voladura, o utilizando tuneladoras. Frente a los métodos de perforación convencionales, las opciones mecanizadas tienen ventajas y –dependiendo de las condiciones del terreno– es posible utilizar tuneladoras con o sin escudo. Las tuneladoras con escudos ofrecen alto grado de flexibilidad: ante todo, son capaces de excavar a través de cualquier roca y en condiciones de suelos cambiantes, también bajo nivel freático y a cualquier profundidad, con mínimo impacto sobre el entorno. En segundo lugar, para

1. Platform Water Management in the Alps, 2011, Situation report on hydropower generation in the Alpine region focusing on small hydropower, Alpine Convention.

2. Giesecke, S. Heimerl, E. Mosonyi, 2014, Wasserkraftanlagen, Springer Verlag, p. 110, 127.

3. Y. Chen, R. Hardman, Cleantech Magazine, Canada, <http://www.cleantechinvestor.com/portal/renewable-energy/1777-the-run-of-river-energy-sector.html>

túneles largos ofrecen aumentar los beneficios económicos y los rendimientos. Y, por último, permiten planificar proyectos más confiables y aumentan la seguridad en el sitio. Por otra parte, y en comparación con el método convencional, en algunos casos las tuneladoras requieren una inversión inicial relativamente alta y el inicio de los trabajos de excavación puede retrasarse varios meses hasta cuando esté disponible en la obra una tuneladora. La tecnología actual en túneles mecanizados ofrece soluciones para realizar la mayor parte de los proyectos hidroeléctricos, así como diferentes posibilidades de revestimiento para garantizar la seguridad, incluso en condiciones cambiantes e inestables del suelo.

Tecnología sin zanja para la construcción de centrales hidroeléctricas

Casi todas las tecnologías mecanizadas de excavación de roca disponibles en la actualidad pueden aplicarse en la mayoría de los proyectos hidroeléctricos subterráneos. La necesidad de tecnologías de excavación en terrenos blandos es menos frecuente.

Inclinación del túnel

Debido a que la generación de energía hidroeléctrica se basa en la gravedad o diferencia de alturas, los túneles inclinados o pozos verticales son un elemento esencial de estos sistemas. Hasta una inclinación aproximada de 5% la solución mecanizada no será significativamente diferente a la que se aplica en túneles horizontales. El sistema de suministro de la TBM es adaptable a ángulos que varían entre 5% y 15%. Esto incluye los sistemas de

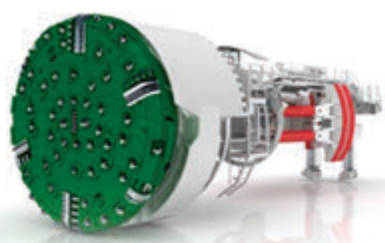
manipulación de materiales y grúas en la tuneladora, especialmente los sistemas de abastecimiento y evacuación de materiales en el túnel. Las necesidades que agregan las inclinaciones entre 15% y 25% se determinan con base en el proyecto y el diseño de la tuneladora. En estos casos no sólo varían el manejo y el modo de suministro de túnel, sino también el funcionamiento básico de la excavación y los sistemas primarios de evacuación de material de la TBM que deben reconsiderarse junto con pasarelas, acceso y estaciones de trabajo. Otros aspectos puramente técnicos de la tuneladora, tales como hidráulica, sistemas de lubricación, cargas sobre el rodamiento, etc., deben ser revisados y diseñados en detalle⁴.

Concepto de máquina tuneladora

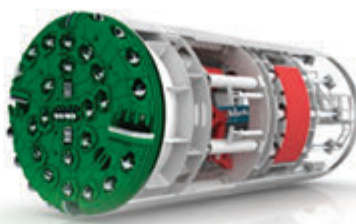
Las máquinas de perforación continua en roca dura son una opción mecanizada para las grandes centrales hidroeléctricas y ofrecen variados métodos de revestimiento del túnel adaptados a las necesidades específicas de cada proyecto. En centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas —que necesitan túneles de menor diámetro y a menudo también de corta longitud— es posible aplicar tecnologías alternativas como hincar tubería o utilizar la perforación horizontal dirigida PHD.

Entre estas opciones, la máquina más adecuada tiene que ser escogida en función de las condiciones del terreno, el diámetro de proyecto, la alineación y la longitud del túnel. Realizar las adaptaciones técnicas en

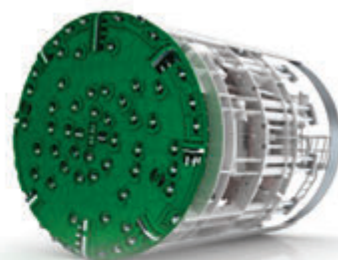
↓ Visión general de las máquinas para las líneas de conducción de agua.



► TBM con apoyo



► TBM de Doble Escudo



► TBM de Escudo Sencillo



► Máquina trituradora de conos (AVN)



► Máquina de perforación horizontal dirigida (HDD)

4. Brockway, J. 1983. Incline/decline Boring with Tunnel Boring Machines, Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings, p743-760

función de los requisitos específicos del proyecto –por ejemplo un diseño específico de la rueda de corte– asegura mejor rendimiento de la tecnología seleccionada.

Revestimiento del túnel

El revestimiento del túnel y las opciones de soporte dependen del tipo de máquina y del diámetro. El revestimiento tiene que cumplir su función en dos escenarios de carga: en roca inestable y suelos debe soportar la presión externa que le rodea; cuando se utiliza como un túnel a presión o tubería de carga, el revestimiento tiene que soportar altas presiones internas. Los tubos de hincapueden ser diseñados para cumplir con ambas condiciones de carga. También es posible utilizar dovelas de concreto con la ayuda de inyecciones de consolidación entre el sobre-corte y la roca circundante; el túnel revestido puede soportar presiones internas de hasta 20 bar⁵. En la siguiente tabla se encuentra un resumen de las diferentes opciones de revestimiento. Dado que la mayoría de los proyectos hidroeléctricos se lleva a cabo en condiciones de roca, hay un énfasis en el desarrollo de soportes y soluciones mecanizadas para roca. En la hincade tubería es posible utilizar diferentes tipos de tubería, como tubos de acero, fibra de vidrio de plástico reforzado (GRP) o tubos de concreto armado.

	Diámetro directriz	Hinca de tubos	Segmentos de revestimiento	Sin revestimiento	Con anclajes	Malla y viga	Concreto lanzado
TBM con apoyo	≥ 2800 mm			✓	✓	✓	✓
TBM de Doble escudo	≥ 3400 mm		✓	✓	✓	✓	✓
TBM de Escudo Sencillo	≥ 4200 mm	✓	✓				
Máquina trituradora de conos (AVN)	≥ 4200 mm	✓	✓				
Máquina de perforación horizontal dirigida (HDD)	≥ 1500 mm	Tubería de acero					

↑ Soporte de túneles en roca, según el tipo de máquina.

Tuneladoras diseñadas para ser flexibles

Cuando se considera una solución de túnel mecanizado para un proyecto hidroeléctrico pequeño, la inversión requerida en maquinaria y equipos es un factor decisivo. Especialmente en proyectos más pequeños, la tuneladora tiene que ser diseñada para un uso flexible que permita utilizarla en diferentes casos. La flexibilidad en la geología, la inclinación y longitud de tramo, por un lado, y unas cualidades técnicas adecuadas por otro, deben tenerse en cuenta para mantener los costos de inversión en el mínimo posible y para asegurar la eficiencia de la planta hidroeléctrica y la inversión. Una pauta común para calcular la inversión es un rango entre 2 a 4 millones de dólares por MW instalado, dependiendo de la ubicación y de las condiciones específicas del proyecto.

5. A. Vigl, R. Gerstner. 2009. Grouting in pressure tunnel construction, Geomechanics and Tunneling 2 (2009), no. 5



LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Noti

creto

METALDECK

El Sistema que cambió el concepto en la Construcción de Entrepisos

- ✓ Construcción más limpia y amigable con el medio ambiente.
- ✓ Gran resistencia y seguridad.
- ✓ Se instala más rápido que la losa tradicional.
- ✓ Se adapta a todo tipo de estructuras.
- ✓ Reduce el uso de concreto, sin desperdicios ni formaletas.
- ✓ Menor peso y espesor de la losa.
- ✓ Fabricado bajo norma NTC 5805.
- ✓ Acero 100% reciclable.
- ✓ Producto con Autodeclaración Ambiental.

ACESCO

Mejores Materiales. Mejores Obras.

SÍGUENOS EN:

f

in

018000 514 514

www.acesco.com



↑ Montaje del doble escudo TBM en obra.

Ejemplos en el mundo

Doble Escudo de Roca TBM, Proyecto Multifuncional Uma Oya, Sri Lanka

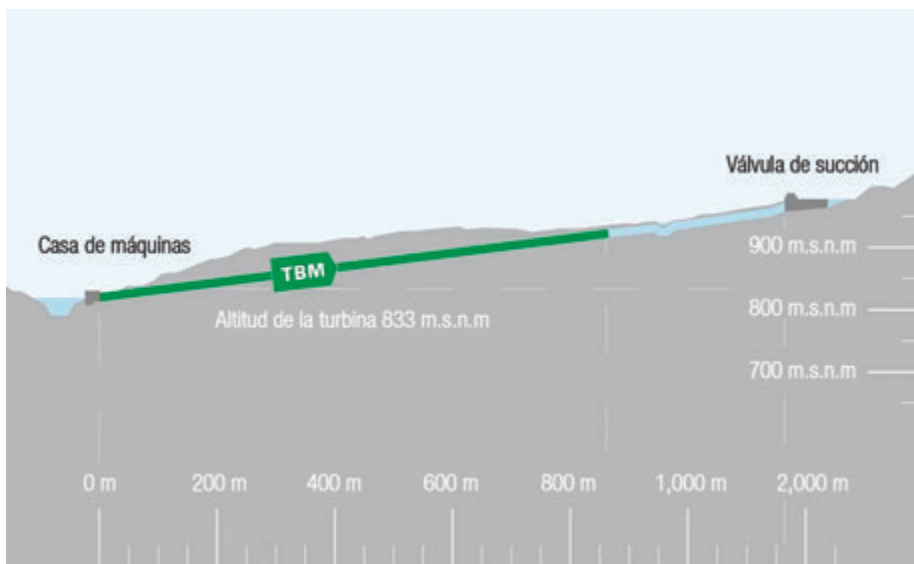
El proyecto de Uma Oya, que se realiza actualmente en Sri Lanka, es un proyecto multifuncional que incluye dos presas de concreto compactado con rodillo (RCC) y una planta hidroeléctrica subterránea con 134 MW de capacidad y unos 25 km de túnel subterráneo con revestimiento en concreto. El objetivo principal del proyecto es transportar agua del río Uma Oya a la región sur oriental de Sri Lanka y construir una planta de energía hidroeléctrica. Desde principios de 2014, dos máquinas de doble escudo de roca han estado en funcionamiento en un entorno exigente para excavar el túnel de descarga de 3,3 kilómetros de longitud y el túnel de aducción de 15,6 kilómetros, con diámetro máximo de 4,3 m. Hasta la fecha se ha requerido la utilización de un poco más de 2.000 m³ de concreto. Las máquinas han debido excavar en roca dura que alcanza resistencias a la compresión de hasta 250 MPa. El revestimiento del túnel con segmentos de concreto se realiza de forma segura en la parte trasera de la tuneladora. El diseño de las herramientas de corte se ha adaptado a las condiciones de dureza extrema de la roca. Para garantizar una producción alta en obras de este tipo, la logística y la gestión en obra han sido fundamentales, y la obra en general también ha exigido planear en detalle las afectaciones a los habitantes y al medio en el cual se construye el proyecto, puesto que es una zona de cultivos.



↑ Vista del túnel terminado, revestido con concreto.

AVN, Hinca de tubería para una central hidroeléctrica pequeña en Zillertal, Austria

Un total de 2.800 pequeñas centrales hidroeléctricas proporcionan electricidad a 1,7 millones de hogares en Austria, lo que representa un 9% de la demanda eléctrica del país. El Maerzenbach, en la región del valle del Ziller, albergará una planta hidroeléctrica más. Con un desnivel de 144 m, se espera una producción de 1,7 MW. Debido a las estrictas regulaciones ambientales, el túnel de presión de 863 m de largo sólo puede perforarse utilizando la tecnología mecanizada.



La instalación en la obra de los elementos en concreto, en un terreno inhóspito y con inclinación de 6° en condiciones de terreno difíciles están entre los principales retos que afrontó el equipo de la obra. La excavación del túnel de 863 m de largo posee una pendiente inicial de 11% en roca. El trazado termina en una curva casi paralela al arroyo. Se desarrolló un sistema especial de monitoreo que dio a esta obra una gestión de máxima calidad y facilitó identificar las sobrecargas críticas en los tubos de concreto durante su

↑ Trazado del túnel.

↓ Instalación en obra y puesta en marcha de la máquina de hincado de tubería donde se ubicará la futura casa de máquinas.

hincado en una fase temprana, ya que el sistema calculaba la fuerza de empuje máxima admisible en tiempo real y la mostraba en una cabina de control. Esto permitió que el equipo de construcción de túneles evitara sobrecargas críticas en las tuberías y así se lograra la construcción de estructuras duraderas y de alta calidad. Las obras se iniciaron en julio de 2008 y se concluyeron en tan solo seis meses. Entre el punto de inicio del túnel y el final hay un desnivel de 90 metros y un recubrimiento de hasta 80 metros.

Conclusiones

La disponibilidad y el uso de tecnologías de excavación mecanizada han abierto nuevas vías para la ejecución de proyectos hidroeléctricos. En cuanto a las centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas, existen diferentes alternativas de excavación mecanizada de túneles y variados tipos de revestimiento, de entre los cuales se puede elegir la solución más acertada para un proyecto específico. Para optimizar el uso del alto potencial de las energías renovables es esencial mejorar el desarrollo y la adaptación a las condiciones específicas del proyecto. Estas tecnologías de túneles serán finalmente capaces de proporcionar una alternativa mecanizada y sostenible a los métodos de perforación y voladura que se aplican hoy en algunas estructuras subterráneas complejas necesarias para los desarrollos hidroeléctricos.





Tomando en cuenta que las posibles ubicaciones de las grandes centrales hidroeléctricas ya son conocidas y utilizadas, todavía existe un gran potencial sin explotar para centrales hidroeléctricas pequeñas y medianas, especialmente en América Latina y Asia como también en Europa, donde se explota sólo la mitad del potencial. En 2010, en los 27 países de la UE había 21.800 pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad total instalada superior a 13.000 MW, que generaban 41.000 GWh de electricidad al año. Para elevar estas cifras y aumentar la participación de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el mix energético, se necesita diseñar pequeños proyectos hidroeléctricos con el fin de cumplir con los requisitos ambientales locales para aprovechar el potencial aún disponible⁶.

Referencias

1. "Platform Water Management in the Alps, 2011", Situation report on hydropower generation in the Alpine region focusing on small hydropower, Alpine Convention.

↑ Solución especial de transporte para los equipos y tuberías de concreto a la obra.

2. J. Giesecke, S. Heimerl, E. Mosonyi, 2014, Wasserkraftanlagen, Springer Verlag: p. 110, 127
3. Y. Chen, R. Hardman, Cleantech Magazine, Canada, <http://www.cleantechinvestor.com/portal/renewable-energy/1777-the-run-of-river-energy-sector.html>
4. "Double Power" Project, Switzerland, 2015, <http://www.doppelpower.ch/projekt/beschreibung/>
5. Brockway, J. 1983. Incline/Decline Boring With Tunnel Boring Machines, Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings, p743-760
6. Burger, W. 2012. Mechanized excavation for Hydropower Projects, Montreal TAC 2012
7. A. Vigl, R. Gerstner. 2009. "Grouting in pressure tunnel construction", Geomechanics and Tunneling 2 (2009), no. 5
8. ESHA – European Small Hydropower Association, 2009-2012, Small Hydropower Roadmap for EU-27 

6. ESHA – European Small Hydropower Association, 2009-2012, Small Hydropower Roadmap for EU-27

ESTRENAMOS AÑO, **ESTRENANDO IMAGEN.**



Ahora los empaques de Argos tienen una nueva imagen para seguir dándole Luz Verde a tus obras.

Reconoce el Cemento Blanco y Gris Uso General por su color verde y el Cemento Uso Estructural por su color kraft.

Argos. Luz Verde.

