



ESPECIAL TÉCNICO

Foto: Elyssa Monnar digital, Fabián Irujo

## VEHÍCULOS LIVIANOS PARA MINERÍA: **SIN LÍMITES AL TRANSPORTE DESCARBONIZADO**

Las innovaciones en el segmento liviano han sido contundentes logrando un empate con los equipos de alto tonelaje. ¿Cuál es el tope?, la infraestructura de carga que exigen los vehículos eléctricos y los elevados costos. *Por Marina Parisi*

Grandes y modernos camiones eléctricos de alto tonelaje que dejan de emitir varias toneladas de CO<sub>2</sub> al año y vehículos a hidrógeno (H<sub>2</sub>) de más de 7 metros de altura y 320 toneladas de capacidad de carga garantizada. ¿Le suena?, la escena minera se ha acostumbrado a esta seguidilla de innovadores lanzamientos y pareciera que el segmento más pequeño, el de los vehículos livianos, ha quedado en el olvido.

Lo cierto es que éstos últimos, cuyo peso bruto es inferior a 2.700 Kg pudiendo ser utilizados para fines comerciales o para transporte de trabajadores, también han sido foco de novedosos adelantos tecnológicos.

“La transición hacia vehículos livianos eléctricos o híbridos ha sido una de las principales innovaciones”, asevera Cristián Cavieres, director de Carreras de Escuela de Ingeniería y Recursos Naturales del Duoc UC. “Los motores eléctricos ofrecen varias ventajas competitivas, como menor emisión de gases contaminantes, menor ruido y menores costos operativos, gracias al reducido consumo de combustible y la mínima actividad de mantenimiento”.

Para Williams R. Calderón Muñoz, director del Departamento de Ingeniería Mecánica (DIMEC) de la Universidad de Chile, todo lo anterior se resume en el desarrollo de nuevas tecnologías para descarbonizar el proceso de transporte. “Sin duda, los esfuerzos están concentrados en desarrollar combustibles y motores más eficientes y menos contaminantes, junto con determinar técnicamente cuando es viable la incorporación de soluciones de electromovilidad en operaciones de determinados servicios en minería”.

Dentro de la evolución que ha experimentado esta línea de vehículos, Cavieres además pone énfasis en el desarrollo de sistemas autónomos y de automatización, “que permiten operar sin la intervención directa del conductor, reduciendo los costos de mano de obra, aumentando la eficiencia operativa y mejorando la seguridad, tanto en yacimientos subterráneos como en minas a rajo abierto”.

En este sentido, las nuevas tecnologías de seguridad incorporadas por los fabricantes, es otro tema que destaca

el experto, precisando que los dispositivos de detección de proximidad; cámaras de 360 grados; y alertas de colisión, entre otras tecnologías, "han contribuido a mejorar la seguridad en el entorno minero, donde el riesgo de accidentabilidad es elevado".

A lo anterior Cavieres suma la adopción de herramientas de telemetría y análisis de datos, todo lo cual posibilita el monitoreo en tiempo real del rendimiento del vehículo, además de poder supervisar el consumo de energía, la ubicación y otros parámetros claves. "De hecho, los datos recopilados se pueden utilizar para optimizar el mantenimiento, mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de inactividad".

Finalmente, el uso de materiales más ligeros pero más resistentes como aleaciones avanzadas y compuestos, describe Cavieres, ha permitido mejorar la durabilidad y eficiencia del combustible.

### OBSTÁCULOS A SUPERAR

Hasta aquí los vehículos livianos no tienen nada que envidiar a la revolución que han experimentado los equipos de alto tonelaje. Sin embargo, hay ciertos obstáculos en el camino que hay que evaluar y superar para seguir avanzando con éxito.

"Uno de los principales desafíos que enfrentan estos equipos livianos son el acceso a materias primas y la producción de nuevos combustibles", sostiene Calderón, "como también el conocimiento en torno al desempeño de los motores con el uso de estos combustibles alternativos".

En lo relacionado a la electromovilidad, acota, es necesario resolver el acceso y almacenamiento de energía, "además de la confiabilidad y utilización de la infraestructura de carga; el dimensionamiento de las baterías requeridas; y eventualmente el rediseño de la operación".

En este punto Cavieres no podía estar más de acuerdo, planteando que la infraestructura de carga (electrolineras)



Foto: Duoc UC

■ **Cristián Cavieres,**  
 director de Carreras de Escuela de  
 Ingeniería y Recursos Naturales del  
 Duoc UC.



Foto: Ude Chile

■ **Williams R. Calderón Muñoz,**  
 director del Departamento de Ingeniería  
 Mecánica (Dimec) de la Universidad de  
 Chile.

para los vehículos eléctricos, se torna especialmente compleja y escasa en ubicaciones remotas.

"Si bien la electromovilidad ha sido un gran paso que ha dado la industria, la transición completa hacia equipos eléctricos también implica altos costos iniciales de adquisición y adaptación de la infraestructura existente", advierte el experto. "Además, las baterías deben ser suficientemente robustas para soportar largas jornadas de trabajo y lograr ser recargadas rápidamente. En resumen, aunque la electromovilidad es un reto significativo dados los problemas de infraestructura de carga, costos y tecnología existentes, no es el único".

Mantener la seguridad de los operadores es uno de los principales y permanentes desafíos, subraya Cavieres. "A pesar de las mejoras en los sistemas de seguridad de los vehículos livianos, el entorno minero siempre presenta riesgos relevantes ante lo cual hay que estar muy bien preparados".

La resistencia del equipo es otro aspecto que sigue poniendo a prueba a los fabricantes, indica el experto, considerando que el vehículo opera en ambientes con temperaturas extremas, polvo, humedad y terrenos muy irregulares. "Todo ello exige equipos cada vez más robustos y confiables, que puedan soportar estas condiciones sin un mantenimiento frecuente".

■ **"La electromovilidad es un reto significativo dados los problemas de infraestructura, costos y tecnología, pero no es el único", sostiene Cristián Cavieres del Duoc UC.**



Foto: AgenciaSE

Entre los desafíos que enfrentan los vehículos livianos está el acceso a materias primas y la producción de nuevos combustibles. En lo relacionado a la electromovilidad, es necesario resolver el acceso y almacenamiento de energía.

“El diseño e implementación de pilotos debería ser un esfuerzo conjunto entre Universidades, OEMs, operadores y faenas mineras”, enfatiza William R. Calderón de la Universidad de Chile.

Otra importante valla es el costo de las nuevas tecnologías, asegura Cavieres, “debido a que no todas las empresas mineras tienen la capacidad financiera o la infraestructura para implementar en forma inmediata innovaciones, como la automatización, la telemetría y la electromovilidad”.

#### IMPLEMENTACIÓN DE PILOTOS

Si bien las limitantes son considerables, es posible seguir avanzando en la eficiencia y sostenibilidad de este segmento de vehículos, opina Calderón. “Para lograrlo es fundamental el conocimiento aplicado, el diseño y desarrollo e implementación de pilotos en terreno, para identificar oportunidades de

mejora en el desempeño y autonomía del equipo y en condiciones agresivas reales”, grafica el académico. “Así, se podrán determinar beneficios, costos y modelos de negocio que permitan habilitar eficientes procesos de descarbonización”.

Calderón va aún más lejos y enfatiza que “es de relevancia estratégica diseñar pilotos y este diseño e implementación de pilotos debería ser un esfuerzo conjunto entre Universidades, OEMs, operadores y faenas mineras”. Mientras tanto, Cavieres apunta a una mayor inversión en tecnologías de avanzada, tales como sistemas de monitoreo en tiempo real, automatización y análisis de datos, para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos. “La digitalización y el uso de IA (Inteligencia Artificial) pueden prevenir fallas y optimizar las rutas”.

Pero no todo depende de la tecnología, repara el experto. La capacitación y formación del personal también son gravitantes y garantizan la seguridad en la operación del vehículo. “Ello no solo mejora la seguridad, sino que también maximiza la eficiencia y reduce el desgaste del equipo”.

De igual forma, Cavieres afirma que es necesario fomentar la colaboración entre fabricantes, proveedores y faenas mineras, a fin de desarrollar soluciones personalizadas que respondan a las necesidades específicas de cada proyecto minero. “Esta colaboración podría dar como resultado vehículos personalizados, nuevos o mejorados sistemas de automatización y eficientes plataformas para el mantenimiento predictivo”.

Otra estrategia a seguir es la de la sostenibilidad, subraya Cavieres, lo que implica que las compañías mineras adopten planes para minimizar la huella de carbono, mediante el uso de vehículos livianos eléctricos. Pero, una vez más, esta opción sí o sí requiere de “más inversión en infraestructura de carga, además de eficientes sistemas de gestión de energía y desarrollo de baterías más eficientes y de larga duración”.