

Giancarlo Guzman¹, Juan Manuel Ramirez²

¹ Autor: Antapaccay, Espinar, Cusco, Perú (Giancarlo.guzman@glencore.com.pe – 959390889)

² Coautor 1: Transportes Linea, Trujillo, La Libertad, Perú (jramirez@linea.pe – 970874083)

RESUMEN

El presente proyecto representa un avance estratégico hacia la sostenibilidad operativa y la eficiencia energética en el sector minero. A través de la incorporación de una flota de buses eléctricos para el transporte de personal, Compañía Minera Antapaccay ha reemplazado su flota tradicional de vehículos diésel por vehículos eléctricos en condiciones mineras de alta exigencia geográfica, reduciendo de forma significativa las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI). Esta transición no solo disminuye la dependencia de combustibles fósiles, sino que también refuerza el compromiso de la empresa con la neutralidad de carbono. La implementación de esta tecnología de cero emisiones marca un hito en la transformación del transporte en minería, aportando beneficios ambientales, operativos y sociales, y consolidando una hoja de ruta replicable para otras operaciones del sector.

1. Introducción

La minería en Perú representa una parte fundamental de la economía, contribuyendo con una proporción significativa al Producto Bruto Interno (PBI) del país. Sin embargo, la minería también es un sector con un gran impacto ambiental, especialmente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de sus operaciones, donde el transporte de personal y equipos es una de las principales fuentes de estas emisiones. Las flotas de vehículos diésel utilizadas para el transporte interno de personal en las minas contribuyen directamente a la contaminación del aire, el ruido y la generación de residuos peligrosos.

Antapaccay, una de las minas más representativas de la región sur de Perú, ha decidido dar un paso importante hacia la sostenibilidad con la incorporación de buses eléctricos en su flota de transporte. Este cambio no solo responde a un imperativo ambiental, sino también a la necesidad de reducir costos operativos, fortalecer la resiliencia frente a bloqueos sociales (que afectan el

suministro de combustibles fósiles) y mejorar las condiciones de trabajo para los empleados.

Este proyecto se alinea con las políticas de descarbonización de Glencore con el objetivo a largo plazo para el 2050 de cero emisiones netas, así mismo, las políticas nacionales e internacionales de reducción de emisiones, como el Acuerdo de París, y con los compromisos de responsabilidad social de la empresa, que busca mejorar la calidad de vida de las comunidades cercanas a la mina, así como de sus empleados.

Justificación Técnica:

El uso de vehículos eléctricos en minería representa una solución innovadora a los desafíos de sostenibilidad. En el contexto de Antapaccay, la implementación de buses eléctricos tiene el potencial de transformar la operación del transporte de personal, no solo reduciendo la huella de carbono, sino también optimizando los costos asociados al transporte, como los derivados del combustible y el mantenimiento. La capacidad de estos vehículos para operar en condiciones extremas, como las altas altitudes y las pendientes, representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías limpias en entornos mineros.

Brecha Técnica:

A pesar de los avances, la adopción de tecnología eléctrica en el transporte de personal minero sigue siendo una novedad. Existen barreras técnicas relacionadas con la infraestructura de carga, la autonomía de los vehículos y la adaptación de estos a las condiciones específicas de la minería, como el clima adverso, la altitud, las pendientes pronunciadas y las rutas complejas.

En este contexto, se ha realizado un análisis técnico exhaustivo para superar estas barreras. La experiencia obtenida de visitas a otras minas en Chile, y la implementación del programa piloto en Antapaccay, ha permitido validar las condiciones de operación y optimizar las soluciones técnicas necesarias para el despliegue exitoso de los buses eléctricos.

Relevancia Técnica:

Este proyecto no solo responde a una necesidad ambiental urgente, sino que también establece un precedente técnico para la electrificación del transporte minero en el país, reduciendo la huella de carbono de la minería peruana y mejorando la calidad del aire en las comunidades cercanas. Además, el uso de buses eléctricos elimina la dependencia de combustibles fósiles, lo que aumenta la resiliencia operativa en situaciones de contingencia por bloqueos sociales

2. Objetivos

Objetivo Principal:

- Demostrar la viabilidad técnica y operativa del uso de buses eléctricos en entornos mineros, validando su rendimiento en condiciones extremas y logrando la eliminación de emisiones directas de CO₂, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono en Antapaccay.

Objetivos Específicos:

- Validar la operatividad de los buses eléctricos para operar eficientemente en el entorno minero de Antapaccay.
- Demostrar la reducción de contaminantes atmosféricos.
- Lograr una disminución significativa de la energía sonora emitida por los vehículos, contribuyendo al bienestar de trabajadores y comunidades cercanas.
- Eliminación de dependencia y riesgo por derrames de combustibles fósiles
- Reducción de costos operativos relacionados con el uso de combustibles fósiles.
- Fortalecer los compromisos sociales con las comunidades ofreciendo un transporte limpio y silencioso.

3. Compilación de Datos y Desarrollo del Trabajo

Visitas Técnicas a Chile:

Como parte de la fase de investigación para la implementación de la flota eléctrica, se realizaron visitas a Chile en conjunto con los principales proveedores de buses eléctricos, Yutong y King Long, quienes presentaron sus vehículos junto a clientes chilenos que ya cuentan con esta tecnología. Estas visitas sirvieron para aprender de las experiencias previas, tanto en lo que respecta a la infraestructura de carga como a los aspectos operativos de los vehículos eléctricos en minas. Se observaron las soluciones adoptadas para superar

los desafíos de autonomía y rendimiento en terrenos difíciles.

Programa Piloto en Antapaccay:

El programa piloto inicio en julio 2023 y finalizo en agosto 2023, con el fin de evaluar la viabilidad de los buses eléctricos en el entorno específico de Antapaccay, se llevó a cabo en coordinación con la empresa Enel y BYD, utilizando un bus eléctrico modelo C9 de 46 pasajeros y un cargador eléctrico de 60 kW. Este programa se diseñó para validar el rendimiento de los vehículos en condiciones reales de operación en Antapaccay, considerando factores como la pendiente, la autonomía de los vehículos, la velocidad de recarga y el impacto en la operación general de la mina.

Figura 1

Programa piloto en Antapaccay vista 1.



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Figura 2
Programa piloto en Antapaccay vista 2.



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Figura 3
Programa piloto en Antapaccay vista 3.

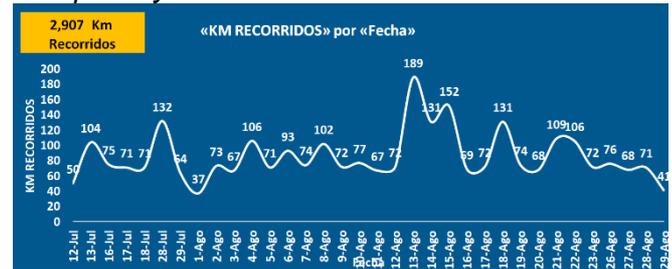


Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Resultados del Piloto:

Recorrido: El bus eléctrico recorrido 2,907 km mostró una autonomía promedio de 180 km con una sola carga, superando las expectativas iniciales, considerando que los recorridos diarios de transporte de personal no superan los 100 km.

Figura 4
Kilómetros recorridos durante programa piloto en Antapaccay



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Pasajeros Transportados:

Durante el periodo del piloto se trasladaron 6,766 pasajeros en diferentes servicios internos

Figura 5
Pasajeros transportados durante programa piloto en Antapaccay



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Viajes:

Durante el periodo del piloto se realizaron 226 viajes en diferentes servicios internos

Figura 6
Servicios realizados por día durante programa piloto en Antapaccay

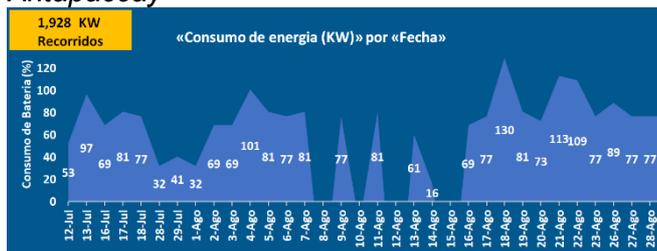


Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Consumo de energía:

Durante el periodo del piloto se consumio 1,928 kw.h.

Figura 7
Consumo de energía durante programa piloto en Antapaccay



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Rendimiento:

El rendimiento promedio fue de 1.23 kwh/km.

Condiciones de Terreno: En las pendientes más pronunciadas y a altitudes superiores a los 4,000 msnm, el bus mantuvo un rendimiento satisfactorio, sin mostrar signos de sobrecalentamiento o pérdida de potencia,

Tiempo de Recarga: La recarga del bus se realizó en aproximadamente 4.6 horas con cargador de 60 kWh considerando una carga inicial de 50% hasta el 95% de carga final, lo que permitió mantener una rotación eficiente en el servicio de transporte.

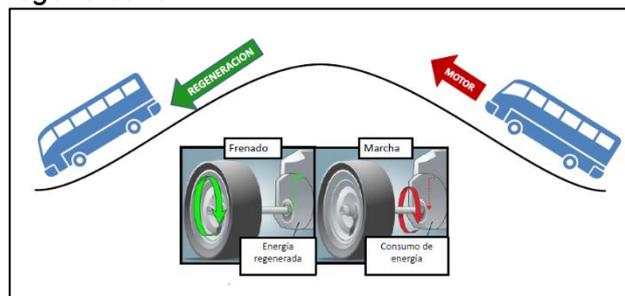
Tabla 1
Tiempos de carga de Batería

TABLA DE CARGA DE BATERIA				
% de Carga	Minutos	Horas	% de Batería antes de la Carga	% de Batería después de la Carga
27%	150	2.5	72%	95%
50%	278	4.6	49%	95%
70%	389	6.5	29%	95%
75%	417	7.0	24%	99%

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

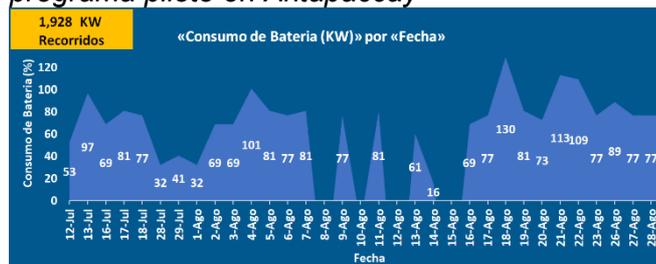
La carga del bus se realizaba al 95% debido a que cuenta con la tecnología del freno regenerativo lo cual según el recorrido y pendientes era de 5%, lo cual le permite recuperar la energía que se genera durante el proceso de frenado. En lugar de convertir esta energía en calor (como ocurre con los frenos tradicionales), el sistema la convierte en energía eléctrica y la almacena en las baterías del bus para su uso posterior. Esto se traduce en una mayor autonomía para los buses eléctricos.

Figura 8
Principio de funcionamiento del freno regenerativo



Impacto Ambiental: Durante el piloto el bus eléctrico eliminó de manera inmediata las emisiones directas de 3,762 kg de CO2, cumpliendo con los objetivos de sostenibilidad de la empresa. Además, no se reportaron derrames de combustibles fósiles, lo que minimizó los riesgos ambientales.

Figura 9
Consumo de estado de carga de batería durante programa piloto en Antapaccay



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Proceso de implementación:

En base en los resultados obtenidos durante el programa piloto de buses eléctricos, Antapaccay ha decidido proceder con la renovación total de la flota de transporte interno de personal, reemplazando el 100% de los buses diésel por buses eléctricos. En diciembre de 2023, se inició el proceso de licitación para el servicio de transporte, asegurando la transición a una flota 100% eléctrica. La implementación de la nueva flota de 17 vehículos eléctricos y la infraestructura de recarga eléctrica inicio oficialmente en enero de 2025 con nuestro proveedor Transportes Línea.

Datos de la nueva flota de vehículos eléctricos:

Buses Eléctricos:

- Cantidad: 13 buses eléctricos.
- Capacidad: 44 pasajeros.

Minibuses Eléctricos:

- Cantidad: 4 minibuses eléctricos.
- Capacidad: 26 pasajeros.

Los buses eléctricos seleccionados son de la marca King Long, y son representados localmente por la empresa Cambio Soluciones SAC. los cuales cumplieron con las especificaciones solicitadas en las bases y términos de la licitación, garantizando que el nuevo sistema de transporte interno cumpla con las exigencias operativas de la mina, en cuanto a seguridad, rendimiento y adaptabilidad a condiciones extremas como las que presenta Antapaccay (altitud, pendientes y clima adverso).

Estación de Carga Eléctrica:

La construcción de las electrolineras en base a las siguientes características

- Cantidad de Cargadores: 4
- Capacidad de Carga por Cargador: 160 KW
- Tipo de Conector de Carga: CCS2 (estándar de carga rápida para vehículos eléctricos).

Actualmente la estación de carga se encuentra en construcción con un monto de inversión de 800,000 USD y será finalizada a finales de setiembre 2025, para dar continuidad operativa al proyecto se instalaron:

- 02 cargadores de 80 Kw en alquiler.

La estación de carga eléctrica está diseñada para asegurar que los 17 vehículos eléctricos puedan ser recargados rápida y eficientemente durante las pausas operativas, asegurando que la flota esté disponible durante todos los turnos de trabajo. Estos cargadores de 160 kW permitirán realizar recargas rápidas, lo que optimiza el tiempo de inactividad de los vehículos y mejora la eficiencia operativa.

Certificación de los Vehículos Eléctricos:

Los buses eléctricos utilizados en este programa piloto cumplen con regulaciones internacionales exigentes, como las establecidas por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). Estas normas, reconocidas globalmente, garantizan la seguridad y confiabilidad de los vehículos en distintas condiciones operativas.

Los vehículos cumplen las siguientes normas:

- UNECE R66.02: Certifica la resistencia estructural del vehículo frente a vuelcos. Requiere que la estructura mantenga un espacio de supervivencia para los ocupantes en caso de volcadura, siendo especialmente relevante para vehículos de gran capacidad como los buses.

- UNECE R100: Define requisitos específicos de seguridad para vehículos eléctricos, incluyendo aislamiento eléctrico, protección contra descargas, estabilidad del sistema de alto voltaje y procedimientos ante colisiones o fallas térmicas de las baterías.
- UNECE R107: Establece requisitos para la construcción de vehículos destinados al transporte de pasajeros, incluyendo condiciones de estabilidad en inclinaciones laterales menores a 28°, sistemas de accesibilidad, salidas de emergencia, disposición interior y señalización.

Por otro lado, los buses King Long disponen de accesorios adicionales cuyo fin es mejorar la seguridad de los pasajeros en todo ámbito posible, como lo son:

- Frenado AEBS: Freno automático cuando el bus detecta posible colisión delantera.
- Sistema antifatiga: Alerta cuando detecta que el conductor presenta signos de cansancio o distracción al conducir.
- TPMS: Alerta al conductor cuando la presión o temperatura de un neumático esta fuera de sus parámetros normales.
- Alcohohest: Alerta cuando el equipo detecta signos de alcohol en el conductor al ser testeado.
- Mobileye: Sistema de alertas mediante visión artificial sobre posibles colisiones o mal habito de manejo.

Proceso de Licitación:

- Fecha de Inicio del Proceso de Licitación: Diciembre 2023.
- Objetivo de la Licitación: Seleccionar al proveedor encargado del servicio de transporte interno de personal con buses eléctricos para reemplazar por completo la flota de buses diésel.
- Número de Vehículos: 17 vehículos eléctricos (13 buses y 4 minibuses).

El proceso de licitación inició con el objetivo de elegir al proveedor adecuado que pueda garantizar la operación continua de la flota eléctrica.

La infraestructura de recarga fue diseñada y es asumida por Antapaccay.

Inicio del proyecto:

- Fecha de Implementación: Enero 2025.
- Flota Total: 17 vehículos eléctricos (13 buses y 4 minibuses).
- Infraestructura de Carga: 4 cargadores de 160 kW.

El inicio de operaciones fue en enero de 2025, donde se comenzó a operar la nueva flota eléctrica en su totalidad. En este periodo se finalizará la transición de los buses diésel a buses eléctricos capacitando a los conductores referente a la operación y recarga de los vehículos eléctricos, asegurando que el transporte de personal en la mina se realice de manera más sostenible, eficiente, seguro y respetuosa con el medio ambiente.

Impactos Esperados de la Implementación:

Reducción de Emisiones:

- La flota eléctrica eliminará las emisiones de CO₂ derivadas de los buses diésel, contribuyendo de manera significativa a la reducción de la huella de carbono en la operación minera.

Mejoras en la Eficiencia Operativa:

- La infraestructura de carga de cargadores rápidos garantizará una recarga eficiente, lo que permitirá mantener la disponibilidad continua de los vehículos sin interrupciones operativas.

Reducción de Costos Operativos:

- Ahorro en combustible: La transición a energía eléctrica reducirá los costos operativos de combustible en un 90% aproximadamente.
- Ahorro en mantenimiento: Los buses eléctricos requieren menos mantenimiento que los vehículos diésel, lo que contribuirá a una reducción adicional de costos operativos.

Beneficios Sociales:

- Reducción de contaminantes y ruido, mejorando la calidad del aire y el bienestar de los trabajadores y las comunidades cercanas.
- Mayor confort para los trabajadores, quienes disfrutarán de un transporte más limpio, silencioso y seguro.

Tabla 2

Datos técnicos del proyecto

Elemento	Datos
Buses Eléctricos (King Long)	13 buses, capacidad de 44 pasajeros cada uno
Minibuses Eléctricos (King Long)	4 minibuses, capacidad de 26 pasajeros cada uno
Estación de Carga	4 cargadores de 160 kW con conector CCS2
Certificación de Vehículos	Certificación R100 (seguridad eléctrica en baterías) Certificación R66 (seguridad estructural)
Fecha de Licitación	Diciembre 2023
Fecha de Inicio	Enero 2025

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

4. Presentación y discusión de resultados

Cero Emisiones de CO₂:

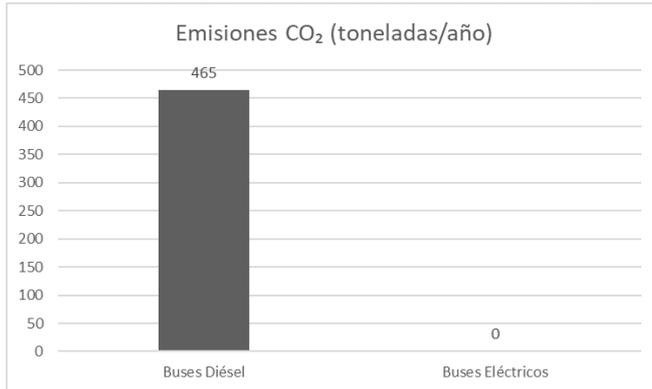
Uno de los logros más significativos de la implementación de los buses eléctricos en Antapaccay ha sido la eliminación de emisiones directas de dióxido de carbono (CO₂). Los buses diésel, que anteriormente se utilizaban para el transporte interno de personal, emitían grandes cantidades de CO₂ debido a la quema de combustibles fósiles. Con la transición a una flota eléctrica, se ha logrado una reducción del 100% en las emisiones directas de CO₂ de este servicio.

El CO₂ evitado mensual a la fecha se muestra en el Anexo 1. En enero, durante la fase inicial de implementación, se evitó 11,117 kg. Desde febrero, el sistema mantiene reducciones mensuales entre 39,095 kg, dependiendo de los turnos y distancias recorridas. Las cifras se basan en el consumo de diésel evitado, aplicando el factor de emisión del GHG Protocol (10.21 kg CO/galón).

Proyectando esta tendencia hacia diciembre de 2030, se estima un ahorro acumulado de aproximadamente 2,789 toneladas de CO₂ evitado en emisiones directas de fuentes de combustión móviles, con un ahorro anual promedio de 465 toneladas de CO₂ al año.

Figura 10

Emisiones de CO₂ al año diésel vs. eléctricos



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

El cambio hacia buses eléctricos ha sido un paso decisivo en el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad de la empresa, alineándose con las metas globales para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, esta acción contribuye directamente a la disminución de la huella de carbono de la operación minera, mejorando la percepción pública de la industria minera peruana.

Reducción de Contaminantes Atmosféricos:

El impacto ambiental de los buses eléctricos también se extiende a la calidad del aire local. Los vehículos diésel emiten contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM) e hidrocarburos (HC), que tienen efectos adversos tanto para la salud de los trabajadores como para las comunidades cercanas.

Con la introducción de los buses eléctricos, se ha logrado una notable reducción en la emisión de estos contaminantes:

- Monóxido de Carbono (CO): Reducción del 100%.
- Óxidos de Nitrógeno (NOx): Reducción del 100%.
- Material Particulado (PM): Reducción del 100%.
- Hidrocarburos (HC): Reducción del 100%.

Este cambio no solo mejora la calidad del aire en la mina, sino que también reduce la exposición de los trabajadores a estos contaminantes tóxicos. Las comunidades cercanas, que anteriormente podían verse afectadas por la polución, ahora disfrutan de un aire más limpio, lo que refuerza el compromiso social de Antapaccay con su entorno.

Reducción de Ruido:

Otro de los impactos clave de los buses eléctricos es la significativa reducción de la contaminación acústica. Los vehículos diésel generan un nivel elevado de ruido debido al motor de combustión, lo que afecta tanto a los trabajadores como a las comunidades cercanas, y contribuye a la fatiga y el estrés.

Las mediciones acústicas evidencian una reducción significativa de los niveles de ruido tanto en condiciones estacionarias como en movimiento para las unidades eléctricas.

- Con el vehículo detenido, las mediciones en el interior del bus eléctrico muestran hasta 16 dB menos en comparación con el diésel, lo cual representa una mejora sustancial en la experiencia de los pasajeros y del conductor.
- En movimiento, la reducción del ruido percibido desde el exterior llega a ser de 12 dB menos, lo cual contribuye a un entorno urbano más silencioso y amigable.

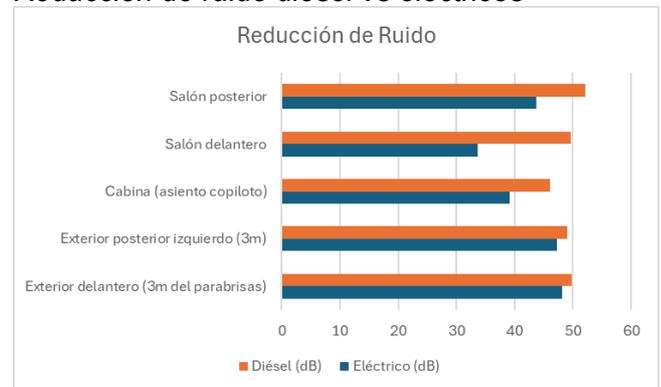
Esta mejora no solo eleva el confort, sino que también contribuye a reducir la contaminación acústica en entornos sensibles como zonas residenciales, hospitales o escuelas.

Esta mejora en el entorno acústico tiene implicaciones positivas tanto para la salud de los trabajadores como para la fauna local, ya que el menor ruido contribuye a la preservación de los ecosistemas cercanos a la mina.

En el anexo 2, se puede visualizar a detalle las mediciones realizadas para evidenciar la reducción de ruido.

Figura 11

Reducción de ruido diésel vs eléctricos



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Eliminación de Derrames de Combustibles Fósiles:

Los buses eléctricos eliminan por completo el riesgo de derrames de combustibles fósiles y lubricantes, un problema frecuente en las operaciones mineras con vehículos de combustión interna. Los derrames de combustible no solo representan un peligro ambiental inmediato, sino que también conllevan costos de limpieza y posible daño a los ecosistemas cercanos.

Con la transición a vehículos eléctricos, Antapaccay ha eliminado este riesgo por completo, lo que contribuye a la protección del entorno natural. Además, esto reduce los costos asociados con la gestión de residuos peligrosos, como el combustible y los aceites usados.

Dependencia de Combustibles Fósiles en el Uso de Vehículos Eléctricos

Uno de los aspectos más destacados del proyecto ha sido la eliminación de la dependencia de combustibles fósiles en el servicio de transporte interno de personal en la mina. Los buses eléctricos, a diferencia de los vehículos diésel, no requieren de gasóleo ni de otros combustibles fósiles para su operación. Este cambio tiene implicaciones significativas tanto a nivel económico como estratégico, y marca una diferencia crucial en la resiliencia de la operación minera, especialmente en contextos de bloqueos sociales o interrupciones en el suministro de combustible.

Impacto en la Resiliencia Operativa:

Uno de los beneficios más inmediatos de la adopción de buses eléctricos es la independencia de fuentes de combustible externas, como el diésel, que pueden verse afectadas por factores como bloqueos en las rutas de suministro, huelgas en las refinerías o cambios en las políticas gubernamentales. En el pasado, las interrupciones en el suministro de combustible fósil afectaban la continuidad operativa del transporte de personal en las minas, especialmente durante situaciones de crisis social en Perú, como bloqueos o protestas en las comunidades cercanas a las operaciones.

Con los buses eléctricos, la mina ha logrado minimizar su vulnerabilidad a estos riesgos, ya que los vehículos no dependen de las infraestructuras externas de suministro de combustible. En lugar de depender de la disponibilidad de diésel, la mina ahora depende de cargadores eléctricos y de una red de infraestructura de recarga interna, lo que le permite mantener la operatividad del servicio de transporte de personal, incluso en situaciones de contingencia.

Impacto Económico y Eficiencia Operativa:

A nivel económico, la independencia de los combustibles fósiles también se traduce en ahorros significativos en los costos operativos. En comparación con los buses diésel, que consumen una cantidad considerable de combustible mensual, el uso de energía eléctrica es mucho más barato, lo que se refleja en una reducción de hasta un 90% en los costos de combustible.

Además, los buses eléctricos tienen menores costos de mantenimiento que los vehículos diésel. Los vehículos eléctricos tienen menos piezas móviles y no requieren de cambios de aceite, filtros de combustible ni de sistemas de escape complejos. Esto reduce tanto el gasto en mantenimiento preventivo como en reparaciones a largo plazo, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa.

Reducción de Costos a Largo Plazo:

La dependencia de combustibles fósiles genera incertidumbre económica, ya que los precios del petróleo y del gas diésel fluctúan constantemente debido a factores globales como la oferta y la demanda, así como los conflictos geopolíticos. Estos precios pueden dispararse repentinamente, afectando los presupuestos operativos y los márgenes de rentabilidad de las minas.

Con la adopción de buses eléctricos, la mina ha reducido significativamente esta vulnerabilidad económica, ya que los costos de electricidad son más estables y previsibles. Al tener una infraestructura interna de recarga, el costo de la electricidad es más controlable y la mina puede optimizar el uso de energías renovables (si se incorporan a la red eléctrica local), lo que puede contribuir aún más a la reducción de su huella de carbono y a la mejora de la sostenibilidad económica.

Impacto en la Sostenibilidad y la Imagen Corporativa:

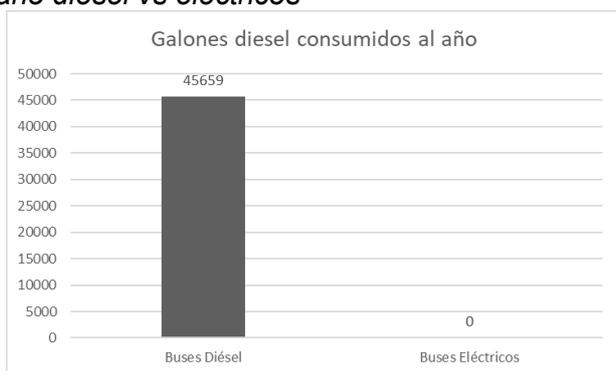
En términos de sostenibilidad, el uso de vehículos eléctricos marca un compromiso claro de Antapaccay hacia la reducción de la huella de carbono y la descarbonización de sus operaciones. Al reducir la dependencia de combustibles fósiles, el proyecto no solo ayuda a la mina a cumplir con sus metas de sostenibilidad y los acuerdos internacionales sobre cambio climático, sino que también mejora la percepción pública de la empresa, posicionándola como un líder en innovación tecnológica y responsabilidad social en la minería peruana.

En el anexo 3, se muestran los resultados respecto a galones de combustible fosil no consumidos como resultado de la implementación del proyecto.

Desde el inicio del proyecto en enero 2025 hasta diciembre 2030, se proyecta una reducción acumulada de aproximadamente 273,956 galones de diésel, con un ahorro promedio anual estimado de 45,659 galones. Esta reducción contribuye directamente a disminuir la dependencia de combustibles fósiles en el transporte de personal.

Figura 12

Dependencia de combustible fosil en galones al año diesel vs eléctricos



Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Fortalecimiento de Compromisos Sociales:

La transición a buses eléctricos no solo ha tenido un impacto ambiental positivo, sino que también ha contribuido al fortalecimiento de los compromisos sociales de Antapaccay. El transporte limpio y cómodo ha mejorado la experiencia de los trabajadores y las comunidades cercanas, al ofrecerles una opción de transporte más eficiente, silenciosa y libre de emisiones.

Este cambio en el transporte también contribuye a la mejora de la percepción de la industria minera ante el público, al demostrar un compromiso con la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades. Además, la reducción de la dependencia de combustibles fósiles fortalece la resiliencia operativa de la mina, especialmente en situaciones de bloqueos sociales que puedan interrumpir el suministro de combustible.

Beneficios Sociales Directos:

Mejora de la calidad de vida de los trabajadores al ofrecer un transporte más cómodo.

Reducción de los impactos negativos del transporte sobre las comunidades cercanas.

Generación de un ambiente de trabajo más saludable debido a la reducción de contaminantes y ruido.

5. Conclusiones

Viabilidad Técnica y Operativa:

El proyecto ha demostrado que los buses eléctricos son viables y operativos en las extremas condiciones de Antapaccay. Los vehículos han operado de manera eficiente a altitudes superiores a los 4,000 msnm y en pendientes pronunciadas, sin pérdida de potencia ni autonomía. La infraestructura de recarga instalada ha asegurado la continuidad operativa sin interrupciones, validando que esta tecnología es adaptable y escalable a largo plazo.

Reducción de Contaminantes Atmosféricos:

La eliminación total de emisiones de CO₂ y otros contaminantes (como NO_x, CO, PM) ha mejorado significativamente la calidad del aire local. Esta transición a buses eléctricos ha reducido el impacto ambiental de la operación, mejorando la salud de los trabajadores y comunidades cercanas y posicionando a Antapaccay como líder en sostenibilidad en el sector minero.

Disminución de la Energía Sonora Emitida:

Los resultados confirman que la tecnología eléctrica ofrece beneficios significativos en la mitigación del ruido, tanto hacia el exterior del vehículo como en el interior del habitáculo.

En condiciones estacionarias, los buses eléctricos presentan reducciones de hasta 16 dB en el interior (por ejemplo, en el salón delantero: 33.6 dB eléctrico vs. 49.6 dB diésel).

En movimiento, la medición realizada desde la vereda durante el paso del bus, mostró una disminución de 12 dB (60 dB eléctrico vs. 72 dB diésel).

Esta característica, sumada a la reducción de emisiones, hace que el bus eléctrico sea una opción más sostenible, confortable y adecuada para operaciones urbanas y periurbanas donde el impacto acústico es un factor crítico para la salud ocupacional, la seguridad y el entorno comunitario.

Eliminación de Dependencia y Riesgo por Derrames de Combustibles Fósiles:

Al eliminar la dependencia de diésel, los buses eléctricos han eliminado los riesgos ambientales asociados a los derrames de combustibles fósiles. Además, esta independencia energética ha mejorado la resiliencia operativa, garantizando el transporte de personal, incluso durante bloqueos sociales o crisis de suministros.

Reducción de Costos Operativos:

Los buses eléctricos han permitido una reducción de costos operativos de hasta el 80% en combustible. También, los costos de mantenimiento han disminuido, lo que mejora la rentabilidad de la operación minera a largo plazo.

Fortalecimiento de los Compromisos Sociales:

La transición a buses eléctricos ha fortalecido los compromisos sociales de Antapaccay, proporcionando un transporte más limpio y silencioso para los trabajadores. Esto ha mejorado la experiencia laboral y beneficiado a las comunidades cercanas, mostrando el compromiso de la empresa con el bienestar social y ambiental.

Conclusión Final:

El proyecto ha cumplido con éxito los objetivos planteados, demostrando que los buses eléctricos son una solución viable y rentable para la minería. La transición ha generado beneficios ambientales, económicos y sociales, eliminando la dependencia de combustibles fósiles, reduciendo los costos operativos y reforzando los compromisos sociales de la empresa. Este proyecto establece un precedente en la minería peruana, mostrando el potencial de la electromovilidad para transformar el sector hacia una minería más sostenible.

6. Anexos

Anexo 1

Emisiones de CO2 evitadas durante el proyecto a la fecha:

Tabla 3

Emisiones de CO2 evitadas durante el proyecto a la fecha:

Mes	CO2 Evitado (kg)
Enero 2025	11,117
Febrero 2025	37,335
Marzo 2025	40,091
Abril 2025	36,823
Mayo 2025	40,584
Junio 2025	40,641

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Anexo 2

Mediciones de nivel de ruido

Las mediciones se realizaron utilizando un sonómetro calibrado, considerando tres escenarios operativos distintos:

Tabla 4

Mediciones de ruido con vehículo detenido y encendido

Posición de medición	Eléctrico	Diesel
	Promedio (dB)	Promedio (dB)
Exterior delantero (3m)	48.2	49.8
Exterior posterior izquierdo (3m)	47.3	49.1
Cabina copiloto	39.2	46.1
Salón delantero	33.6	49.6
Salón posterior	43.7	52.1

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Tabla 5

Mediciones de ruido con vehículo en movimiento, medición desde el exterior

Tipo de unidad	Ubicación del sonómetro	Nivel Máximo (dB)
Eléctrico	Vereda adyacente (bus pasando)	60
Diésel	Vereda adyacente (bus pasando)	72

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Anexo 3

Galones diésel no consumidos

Tabla 6

Galones diésel no consumidos

Mes	Galones Diesel No Consumidos
Enero	1,088
Febrero	3,656
Marzo	3,926
Abril	3,606
Mayo	3,974
Junio	3,980

Nota. Elaboración propia a partir de registros operativos.

Anexo 4 Certificación UNECE R100



Kraftfahrt-Bundesamt
DE-24932 Flensburg

E1

Mitteilung
ausgestellt von:
Kraftfahrt-Bundesamt

über die Erteilung einer Genehmigung eines REESS-Typs als Bauteil nach der Regelung Nr. 100 einschließlich Änderung Nr. 02 Ergänzung 04

Communication

issued by:
Kraftfahrt-Bundesamt

concerning the granting of an approval of a REESS type as component pursuant to Regulation No. 100 including amendment No. 02 supplement 04

Genehmigungsnummer: **E1*100R02/04*0173*00**
Approval number:

1. Fabrik- oder Handelsmarke des REESS:
Trade name or mark of the REESS:
CATL
2. Typ des REESS:
Type of REESS:
CATL350.07kWh_L604Ah_2P180S
3. Name und Anschrift des Herstellers:
Manufacturer's name and address:
**Contemporary Amperex Technology Co., Limited
CN-Ningde City, Fujian 352100**
4. Name und Anschrift des Vertreters des Herstellers (gegebenenfalls):
Name and address of manufacturer's representative (if any):
**Entfällt
Not applicable**
5. Beschreibung des REESS:
Description of the REESS:
**Siehe Punkt 1.5 des Beschreibungsbogens
See item 1.5 of the information document**

R100 E1*100R02/04*0173*00

Anexo 6 Certificación UNECE R107

R107 信息 information

1. Type of the vehicle: XMQ6130EYWE5
2. Name and address of manufacturer:
Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd.
No.9, Jinlong Road,
Jimei District,
Xiamen,
Fujian Province,
P. R. China
3. Assembly plant:
Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd.
No.9, Jinlong Road,
Jimei District,
Xiamen,
Fujian Province,
P. R. China
4. 车长 Length: 12600 mm
5. 车宽 Width: 2600 mm
6. 车高 Height: 3690 mm
7. 前悬/后悬 Front/rear overhang: 2740/3430 mm
8. 运行质量 Mass in running order (MIR): 14140kg
- 8.1 运行质量状态前后轴质量分配 Distribution of MIR:
Front: 9130 kg Rear: 5010 kg
9. 最小离地高度 Height of Deck from Ground: 150mm
10. 侧翻状态质量及轴荷分配目标值 Target test mass and its axle distribution:
Total: 17414kg; front/rear: 6394/11020 kg
11. 实际测试状态质量及轴荷分配: Actual test mass and its axle distribution:
Total: 17520 ; front/rear: 6500/11020 kg
12. 满载质量 GVW: 18100kg



Anexo 5 Certificación UNECE R66.02



THE UNITED KINGDOM VEHICLE APPROVAL AUTHORITY

COMMUNICATION CONCERNING APPROVAL GRANTED ⁽¹⁾ / APPROVAL EXTENDED ⁽²⁾ /
APPROVAL REFUSED ⁽³⁾ / APPROVAL WITHDRAWN ⁽⁴⁾ / PRODUCTION DEFINITELY
DISCONTINUED ⁽⁵⁾ OF A VEHICLE TYPE WITH REGARD TO THE STRENGTH OF ITS
SUPERSTRUCTURE PURSUANT TO REGULATION NO 66.02

E11

Approval No: E11*66R02/00*1090*00

1. Trade name or mark of the vehicle type: KINGLONG
2. Vehicle type: XMQ6130EYWE5
3. Vehicle category/class: ⁽²⁾ M3, Class III and Class B
4. Manufacturer's name and address:
Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd.
No.9, Jinlong Road
Jimei District
Xiamen
Fujian Province
People's Republic of China
5. If applicable, name and address of the manufacturer's representative: Not applicable
6. Brief summary of description of the superstructure in respect of paragraph 3.2.2.2. of this Regulation and Annex 4: See manufacture document
7. Reference number of detailed drawing showing the residual space used in the approval procedure:
See in test report
8. Unladen kerb mass (kg): 14140, and associated axle loads (kg): F/R: 5010/9130

CSU445307

An executive agency of the Department for Transport
December 2017 Revision 6
Page 1 of 3



7. Referencias bibliográficas

Carter, J. (2020). Electric vehicles in mining: Trends and opportunities for sustainable operations. Journal of Sustainable Mining, 18(4), 230-240.

<https://doi.org/10.1016/j.iosum.2020.08.004>

International Energy Agency (IEA). (2021). The future of electric vehicles in transport and mining. International Energy Agency.

<https://www.iea.org/reports/the-future-of-electric-vehicles-in-transport-and-mining>

World Bank. (2020). Electrification of transport in mining industries: Challenges and opportunities. World Bank Group.

<https://www.worldbank.org/en/publication/electrification-of-mining-transport>

Ministerio del Ambiente del Perú. (2021). Plan Nacional de Acción para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2021-2030. Gobierno del Perú.

<https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/3283-plan-nacional-de-accion>

Zhang, X., & Zhang, L. (2021). Technological innovations in electric vehicles for mining

operations: Impact on sustainability and efficiency. Journal of Cleaner Production, 275, 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123104>

García, M., & López, D. (2019). La implementación de buses eléctricos en sectores industriales: Un enfoque hacia la descarbonización. Revista de Energías Renovables, 14(2), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.reer.2019.04.002>

Codelco. (2020). Electrificación del transporte en minería: Un camino hacia la sostenibilidad. Codelco. <https://www.codelco.com/sostenibilidad/electromovilidad-minera>

OECD. (2020). Electromobility in mining and transport: An opportunity for cleaner industry. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/environment/electromobility-in-mining/>

8. Ilustraciones / Imágenes / Tablas

Figura 13



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Figura 14

Parada de buses eléctricos en zona de bahías



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Figura 15

Proceso de carga bus eléctrico



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

Figura 16

Estación de carga Evinka de 80kw de potencia



Nota. Fotografía propia tomada en campo.

9. Videos

Videos Antapaccay – buses eléctricos [Video]. (2025). Google Drive.

<https://drive.google.com/drive/folders/1kJxGiM9hCx4EXbkC5iagovkDmdY5MUJ?usp=sharing>

Autor:

Giancarlo Guzmán Carranza
Ingeniero Industrial, CIP 161533 con 13 años de experiencia en compañías mineras liderando equipos de Transportes, especialista en mejora de procesos por ESAN, actualmente se desempeña como Coordinador de Servicios a las Personas en Compañía Minera Antapaccay con experiencia relevante en los sectores finanzas, automotriz, industrial y minero.

Coautor:

Juan Manuel Ramírez Pérez
Ingeniero Industrial, CIP 188597. Especialista en Electromovilidad y Transición Energética por la Pontificia Universidad Católica de Chile, y en Gestión de Proyectos por ESAN. Actualmente se desempeña como Jefe de Electromovilidad en Transportes Línea S.A., con experiencia relevante en los sectores automotriz, minero e industrial.

AUTORIZACIÓN DE PARTICIPACIÓN

Yo Giancarlo Roberto Guzman Carranza, Coordinador de Servicios a las Personas, Antapaccay; autorizo que el trabajo titulado “Revolución verde sobre ruedas: Buses eléctricos que transforman la minería en Antapaccay” presentado por el autor Giancarlo Roberto Guzman Carranza y coautores Juan Manuel Ramirez sea presentado en el concurso del Premio Nacional de Minería del evento PERUMIN 37 Convención Minera en las fechas del 22 al 26 de setiembre del 2025 en la ciudad de Arequipa.



Firma

DNI: 42595692

Fecha: 17/07/2025

Nota:

Esta autorización se entrega solo en el caso de que el participante se presente de manera independiente y el trabajo implique el desarrollo en el marco de una empresa o institución. La indicada autorización deberá ser entregada en hoja membretada.