

Yohel Olortegui¹, Julio Sagua², Jose Lima³, y Rolando Alvarado⁴

¹ Autor, Mina Cuajone, Moquegua, Perú (yolortegui@southernperu.com.pe)

² Coautor, Mina Cuajone, Moquegua, Perú (jsagua@southernperu.com.pe)

³ Coautor, Mina Cuajone, Moquegua, Perú (jlima@southernperu.com.pe)

⁴ Coautor, Mina Cuajone, Moquegua, Perú (ralvarador@southernperu.com.pe)

RESUMEN

La planificación estratégica de una operación minera debe estar en constante evolución para hacer frente a escenarios cambiantes, y en ocasiones atípicos, como variaciones agresivas en el precio de los metales, tecnologías emergentes, modificaciones a estándares y normas legales para desarrollar el negocio minero, entre otras.

Es entonces necesario implementar innovaciones revolucionarias, en lugar de solo mejoras constantes (Hammer, 2004). Lograr esta mencionada innovación operacional genera impactos de mayor magnitud en la cultura operativa, trayendo consigo la reducción de exposición a peligros (**seguridad**), incremento en uso de energías limpias y reducción de huella de carbono (**ambiente**), cambio en la estrategia de operación (**planeamiento**), reducción de costos operativos (**costos**).

Como resultado de esta innovación operacional en el transporte de mineral de mina a planta:

Se reduce a cero la exposición al peligro de los operadores de locomotoras y tolvas de transferencia (*hoppers*) en el transporte de mineral.

Se reduce en 50% la cantidad de gases (CO₂) emitidos por el consumo de combustible de las locomotoras.

Se reduce en 26% el costo de acarreo de mineral (8% al utilizar fajas transportadoras y 18% por la menor distancia de acarreo con los camiones mineros).

ABSTRACT

The strategic planning of a mining operation must be evolving constantly to face changing scenarios, and sometimes atypical ones, such as

aggressive variations in the commodity prices, emerging technologies, modifications to standards and legal regulations to develop the mining business, among others.

It is then necessary to implement revolutionary innovations, instead of just constant improvements (Hammer, 2004). Achieving this operational innovation cause greater impacts on the operational culture, bringing, with it a reduction in exposure to hazards (**safety**), an increase in the use of clean energy and reduction in the carbon footprint (**environment**), a change in the operation strategy (**planning**) and reduction of operating costs (**costs**).

As a result of this operational innovation in the transport of ore from mine to plant:

Hazard exposure for locomotive and hoppers operators in ore transport is reduced to zero.

The amount of gases (CO₂) emitted by the fuel consumption of the locomotives is reduced by 50%.

The ore hauling cost is reduced by 25% (8% when using conveyor belts and 18% due to the shorter hauling distance with mining trucks).

1. Introducción

En 1976, Cuajone inició operaciones, 8 años después de crearse el Ministerio de Energía y Minas, cuando aún no existía el Ministerio del Ambiente, ni OSINERGMIN, ni OEFA y los equipos mineros no tenían cabina. Con el paso del tiempo, Cuajone avanzó y se adaptó a los cambios, realizando mejoras en los procesos.

El transporte de mineral, desde mina a planta, se realizaba en dos partes: La primera, desde el fondo de mina hasta los *hoppers* ubicados en el nivel 3460 usando camiones mineros. La

segunda, desde los *hoppers* hasta la planta concentradora, por medio de locomotoras, cada locomotora impulsaba 17 vagones sobre los cuales el mineral era vertido a cada uno.

En el 2018, el sistema de transporte de mineral a planta se reemplazó por una chancadora ubicada dentro del tajo (*in-pit*) en el nivel 3295. Este proyecto de inversión (CAPEX) fue justificado mediante indicadores económicos, entre los cuales se cuantifica la reducción de costos operativos (OPEX) por reemplazar el petróleo de las locomotoras por energía eléctrica de la faja transportadora y el ahorro en tiempos de viaje de los camiones mineros ya que la chancadora *in-pit* está en un nivel inferior.

En ese mismo año, el Ministerio del Ambiente crea la iniciativa Huella de Carbono Perú, los operadores y mantenedores de: las locomotoras, las tolvas de transferencia y las líneas férreas, fueron entrenados y reubicados; el consumo de combustible se redujo y se determinaron los impactos positivos de haber implementado esta innovación operacional, lo cual se muestra en este estudio.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Cuantificar el impacto generado por el reemplazo de dos tolvas de transferencia de mineral (*hopper B* y *hopper C*) por una chancadora en el tajo (CH1), y el transporte de mineral que se realizaba con locomotoras por un sistema de fajas transportadoras.

Figura N°1

Acarreo de mineral con locomotoras.

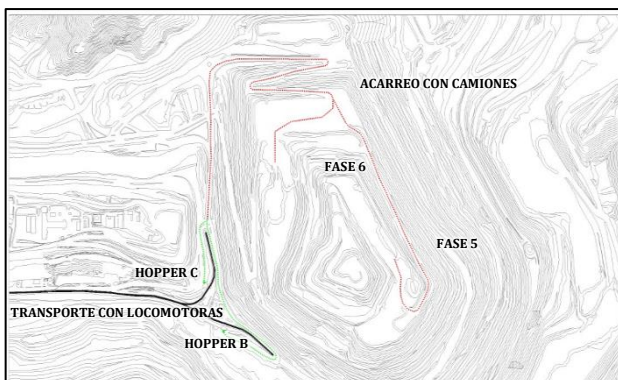
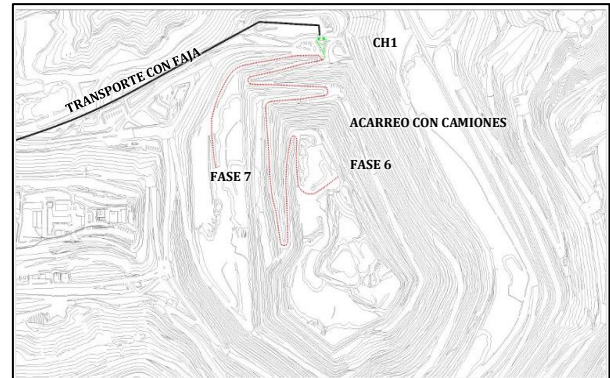


Figura N°2

Acarreo de mineral con fajas.



2.2. Objetivos específicos

- Cambiar el plan operativo en el transporte de mineral
- Lograr cero accidentes incapacitantes
- Reducir la huella de carbono
- Reducir los costos operativos

3. Planeamiento de minado

3.1. Planeamiento con tolvas de transferencias de mineral y locomotoras

El plan de minado consistía en acarrear el mineral con camiones mineros, que subían desde las fases de mineral hasta las tolvas de transferencias, ubicadas en el nivel 3460, luego el mineral se vertía en cada vagón de la locomotora (nivel 3430) y se transportaba hasta la chancadora primaria ubicada en Concentradora.

Un trabajador abría y cerraba la compuerta del Hopper para transferir el mineral a cada vagón en coordinación con el operador de la locomotora.

A medida que las fases profundizaban, el ciclo de acarreo con los camiones era mayor, esto demandaba mayor cantidad de camiones para mantener el mismo ritmo de producción en la concentradora.

Figura N°3

Hopper B y locomotora 59.



3.2. Planeamiento con chancadora en tajo y fajas transportadoras

El plan de minado en la actualidad consiste en acarrear el mineral con camiones mineros desde las fases de minado hasta la chancadora en tajo (CH1), ubicado en el nivel 3295. Luego el mineral es transportado mediante fajas hasta la concentradora.

Figura N°4



Chancadora en tajo (CH1).

Se reduce la cota de descarga de mineral de la cota 3460 a la cota 3295 (11 bancos) que significa una distancia menor de 3.3 km por cada ciclo por camión.

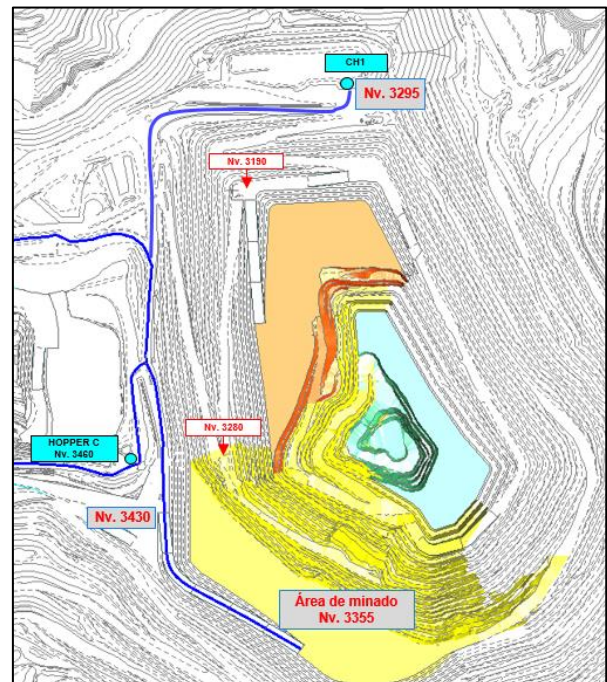
Adicionalmente al cambio del transporte del mineral, se realizaron cambios en el diseño de las fases de minado, orientando el acarreo de mineral hacia la chancadora (CH1) en lugar de la

ubicación de los *hoppers*. Las fases de extracción tenían como destino final el nivel 3460 y es así como el sistema de rampas es diseñado.

En la Figura N°5 se puede visualizar los perfiles de acarreo para ambos casos, cuando se realizó el diseño de la fase (color amarillo) se optimizó para tener una salida por el lado sur-oeste hacia el Hopper C, desde el área de minado con una pendiente positiva hasta el nivel 3430 y completarlo hasta el 3460. Sin embargo, la ubicación de la Chancadora en Tajo (CH1) con la configuración de la fase iba a requerir de un acarreo adicional desde el nivel 3430 hacia el nivel 3295 con una pendiente negativa.

Figura N°5

Diseño inicial de fase de mineral.

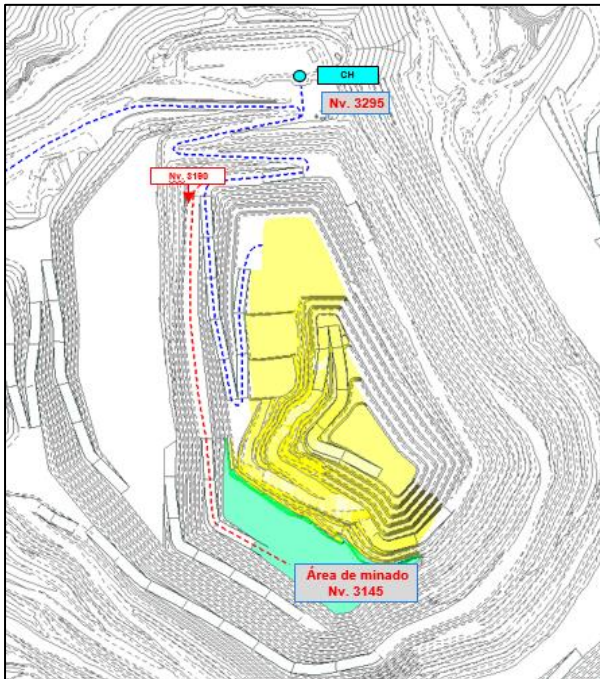


Esta situación nos llevó a realizar un análisis para no incurrir en un perfil de acarreo con camiones cargados en subida y bajada, por lo cual se integró un equipo multidisciplinario para la solución técnico-operativa, es así que mediante rampas temporales y minados angostos (40 m ancho) se logró una conexión por el nivel 3280 hacia el lado norte hasta llegar al nivel 3295, así se evitó subir hasta el nivel 3430.

En la Figura N°6 se muestra el rediseño de la fase notándose que a partir del nivel 3190 hacia

los niveles inferiores se tendría una configuración optimizada con ruta directa y una pendiente positiva.

Figura N°6



Rediseño de fase de mineral.

3.3. Flujo operativo del transporte de mineral

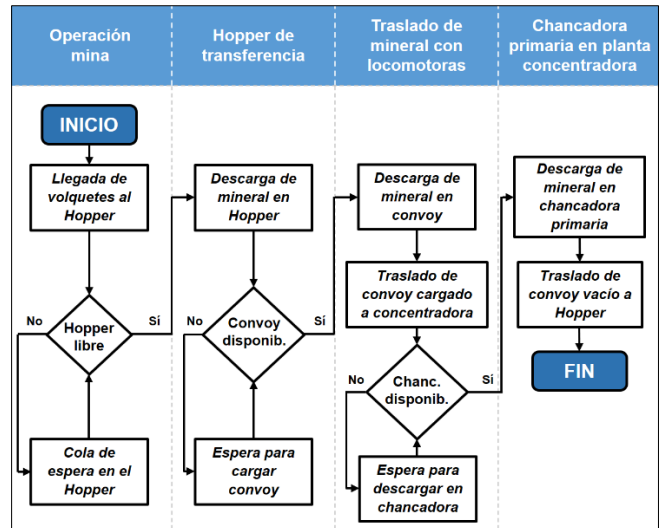
El flujo de trabajo con el sistema de transporte de mineral mediante locomotoras y vagones se muestra en la Figura N°7.

En dicho flujo se evidencia la discontinuidad operativa con respecto a las 3 estaciones o puntos de espera para tomar la decisión si el proceso continúa. Si en alguno de estos puntos no se tiene la disponibilidad del servidor, todo el proceso de envío de mineral a planta concentradora se ve interrumpido.

Adicionalmente, el retorno vacío del convoy hacia el *hopper* también implica un riesgo de discontinuidad operativa por algún evento de descarrilamiento.

Figura N°7

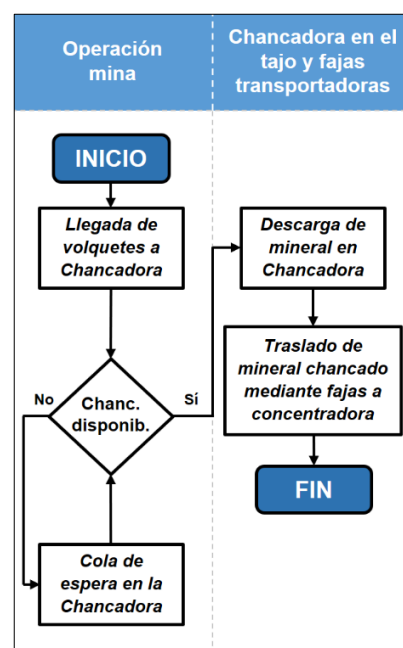
Diagrama de flujo del sistema de transporte de mineral mediante Hopper y locomotoras.



Como parte del cambio operacional en el proceso de enviar mineral a planta concentradora, el flujograma se ve reducido a 1 punto de decisión (Figura N°8). En este caso solo se espera si la chancadora primaria en el tajo puede recibir el mineral, una vez mostrada la luz verde para descargar, el mineral viaja hasta la planta. Lo conveniente del uso de fajas transportadoras es que el viaje de ida es al mismo tiempo el viaje de retorno, debido a que la faja envuelve la polea y genera 2 superficies, entregando plena continuidad operativa al proceso.

Figura N°8

Diagrama de flujo del sistema de transporte de mineral mediante chancadora en tajo y fajas.



4. Seguridad

4.1. Seguridad en el sistema de transporte de mineral por locomotoras

Este fue el sistema de acarreo de mineral desde el inicio de la operación en Cuajone hasta 2018, el cual demandaba un alto número de personal a cargo de los equipos por lo que el personal se encontraba más expuesto a los peligros de carga, descarga y transporte de mineral. Este sistema de acarreo requiere de operadores de tolva, locomotoras y rompedor de roca.

Cabe mencionar que este sistema de acarreo involucra al personal de manera directa cuando las máquinas se encuentran en movimiento, incrementando el riesgo de ocurrencia de un accidente. En la Tabla N°1 podemos apreciar el personal requerido para que el sistema de acarreo por locomotoras pueda realizarse.

Tabla N°1

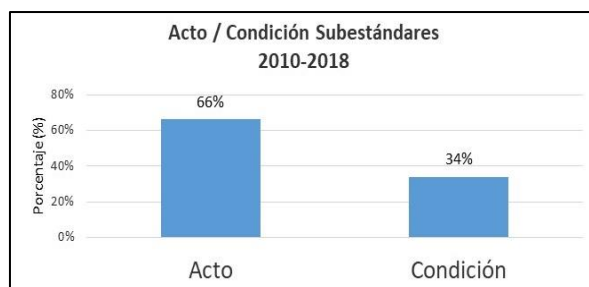
Personal para transporte de mineral con locomotoras.

Personal para:	Cantidad
1 Rompedor de roca	3
9 Locomotoras	27
2 Tolvas (<i>hopper</i> B y C)	6
TOTAL	36

Por otro lado, la estadística de accidentes entre los años 2010 al 2018 nos demuestran que la mayor cantidad de accidentes (en el sistema de acarreo por locomotoras) se dan por actos subestándares, como se puede apreciar en la Figura N°9, esto sucede porque el personal omitió las reglas; debido a ello podemos afirmar que mientras más trabajadores estén expuestos, mayor será el riesgo de ocurrencia de un accidente en el proceso. Dentro de la zona de ocurrencia de los accidentes se ha identificado que los operadores se encuentran cerca del área de influencia, pudiendo ser afectados.

Figura N°9

Proporción de accidentes según causas inmediatas en el sistema de transporte por locomotoras.



Según los datos históricos se ha logrado identificar que el 90% de los costos incurridos en el acarreo por locomotoras fueron ocasionados por actos subestándares, mientras que solo el 10% tuvieron su origen en alguna condición subestándar. Ver Figura N°10.

Figura N°10

Proporción de costos totales según causa inmediata en el sistema de transporte por locomotoras.



De los párrafos anteriores se concluye que el sistema de transporte de mineral por locomotoras expone al personal, además se ha determinado que los accidentes se deben en su mayoría a actos subestándares, esto hace que se recurra a sistemas automatizados.

4.2. Seguridad en el sistema de transporte de mineral con fajas

Con este sistema se reduce la exposición directa al peligro a los trabajadores, pues pasa a ser un proceso automatizado donde el personal que se requiere se encuentra en una sala de control con sistemas computarizados y cámaras de monitoreo, alejados de los equipos mineros.

La chancadora en tajo (CH1) en comparación a los *hoppers* B y C, se encuentra a menor distancia de las fases de mineral, reduciendo el

ciclo de acarreo y la cantidad de camiones mineros (incluido el personal).

El rompedor de roca es un equipo auxiliar que se usaba para reducir el tamaño de la roca con la finalidad de no atorar las tolvas de transferencias de mineral.

En la Tabla N°2 se puede apreciar la cantidad de personas para que este sistema se lleve a cabo.

La exposición de los operadores de locomotoras y *hoppers* se reduce por completo, ya que este personal fue reubicado. Aún se mantiene un 7% de personal expuesto, pero dentro de la sala de control.

Tabla N°2

Personal para acarreo de mineral con faja transportadora.

Personal para:	Cantidad
Sala de control	6
TOTAL	6

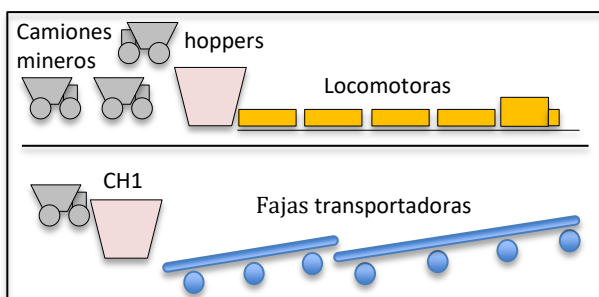
4.3. Comparativo en seguridad entre el sistema de transporte por locomotoras y por fajas

En la Figura N°11 se puede visualizar un diagrama esquemático donde se nota claramente la reducción de equipos con asistencia a bordo, siendo el principal las locomotoras que son reemplazados por un sistema de fajas transportadoras y sensores que lo monitorean.

Cabe destacar que los mantenimientos en las fajas transportadoras son tomadas por personas calificadas quienes realizan el bloqueo general del sistema, eliminando la exposición a equipos en movimiento.

Figura N°11

Esquemas de los sistemas de acarreo de mineral con locomotoras y fajas transportadoras.

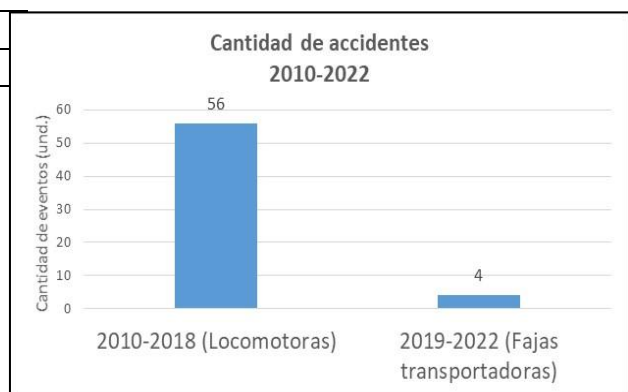


Se ha realizado la revisión histórica de los accidentes ocurridos en ambos sistemas de acarreo, obteniéndose que en el caso de locomotoras se tienen 6 accidentes por año en promedio (personas y equipos) y para el caso de fajas transportadoras es de 1 accidente por año en promedio (sólo equipo), esto hace que el sistema de acarreo por fajas transportadoras esté más alineado con los objetivos de la empresa en lo que respecta al cuidado de las personas en la operación, ver la Figura N°12.

Al aplicar el sistema de acarreo por fajas transportadoras y un adecuado mantenimiento preventivo, la cifra de accidentes de equipos se verá reducida drásticamente.

Figura N°12

Cantidad de accidentes por sistema de transporte.



Se concluye que el sistema de transporte de mineral por fajas demanda menor cantidad de personal para su funcionamiento, lo cual se refleja en menor exposición al peligro a diferencia del transporte por locomotoras.

5. Ambiente

5.1. Huella de carbono

Según Solorzano (2018), de todos los procesos mineros, el proceso de carguío y acarreo es el que más emisiones genera, representando el 51% del total de emisiones de gases de efecto invernadero de una mina, esto debido a la quema de combustibles de parte de vehículos pesados como: camiones mineros, cargadores, locomotoras, entre otros.

De acuerdo con la iniciativa del Ministerio del Ambiente “Huella de Carbono Perú” MINAM (2022), la huella de carbono es una herramienta que permite reconocer de manera estandarizada y oficial el grado de ambición en la gestión de la emisión de gases de efecto invernadero, efectuada por organizaciones privadas y públicas, a través de la medición de sus emisiones y las acciones para reducirlas.

Es decir, que utilizando la huella de carbono se puede medir y demostrar qué entidades contribuyen con la reducción de emisiones de efecto invernadero.

Los gases que usualmente son medidos son el Dióxido de carbono (CO₂), el Metano (CH₄) y el Óxido Nitroso (N₂O); estos tres gases los podemos encontrar como residuo de la combustión interna por la quema de petróleo, por lo que son un subproducto del acarreo que se realiza en la mina.

5.2. Con acarreo por locomotoras

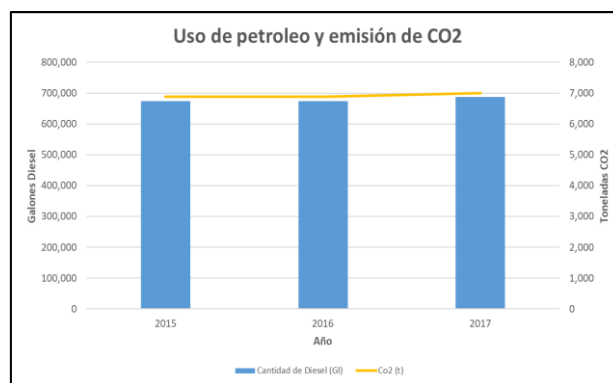
Consideramos el acarreo por locomotoras como una fuente directa de emisión de gases de efecto invernadero, dado que necesita de la quema de combustibles para su funcionamiento.

Previo al proyecto de la faja transportadora, eran necesarios para el acarreo 9 locomotoras que acarreaban el mineral durante todo el día. Además, los camiones mineros debían realizar un recorrido mayor, consumiendo mayor cantidad de combustible.

Observando la Figura N°13, podemos apreciar la cantidad de galones de petróleo consumidos por el acarreo ferroviario y la cantidad de toneladas de CO₂ que fueron emitidos al ambiente entre los años 2015 y 2017.

Figura N°13

Petróleo y emisiones de CO₂ – Sistema de acarreo por locomotoras.



A partir de la Figura N°13, observamos que, durante los años de utilización de ferrocarriles para acarreo, se mantiene un promedio de uso de 678,319 galones de petróleo por año, los cuales emiten 6,921 toneladas de CO₂ al ambiente.

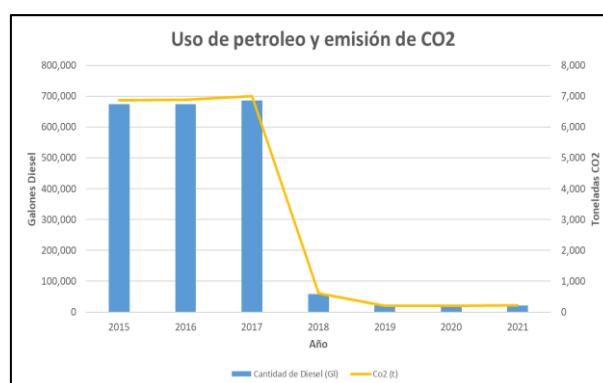
5.3. Con faja transportadora

Al dejar de utilizar el sistema de ferrocarriles para el acarreo de mineral, observamos una muy clara disminución en el uso de petróleo y por lo tanto en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la Figura N°14, podemos observar el consumo de petróleo y las emisiones de CO₂ entre los años 2015 y 2021.

Figura N°14

Petróleo y emisiones de CO₂ – Sistema de acarreo por faja transportadora.

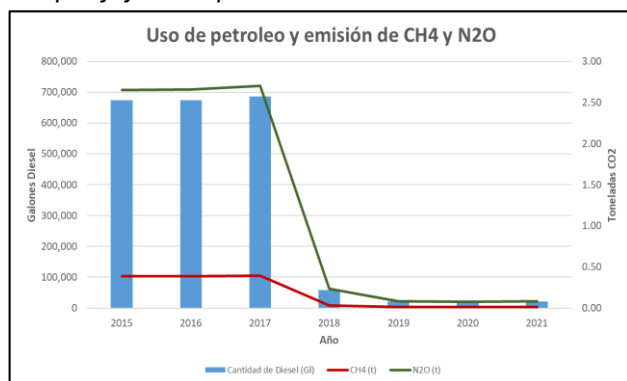


Como podemos observar en el gráfico, desde el año 2018, las emisiones de CO₂ se han reducido casi en su totalidad, quedando aún consumo de petróleo y emisión de gases de parte de 02 locomotoras que aún se encuentran en operación con fines de logística, como por ejemplo transporte de repuestos para

maquinaria, o neumáticos entre unidades operativas.

De igual manera en la Figura N°15 observamos la disminución en la emisión de CH₄ y N₂O.

Figura N°15
Emisiones de CH₄ y N₂O – Sistema de acarreo por faja transportadora.



En cuanto al consumo eléctrico de la planta concentradora, éste se vio elevado en un 6% aproximadamente.

A partir de la información presentada en los párrafos anteriores podemos concluir que mientras en los años previos al cambio de sistema de acarreo el consumo promedio de petróleo fue de 678,319 galones por año, para el 2018 fue de 59,108 galones y del 2019 en adelante de 20,796 galones por año. De la misma manera en la emisión de CO₂, el promedio de emisión anteriormente era de 6,921 toneladas por año, para el 2018 fue de 603 toneladas y del año 2019 en adelante de 212 toneladas por año.

Para poder observarlo de manera más clara, se puede observar la Tabla N°3.

Tabla N°3
Emisión de CO₂ por periodos.

	Petróleo (gal)	CO ₂ (t)
Prom. 2015-2017	678,319	6,921
Prom. 2018	59,108	603
Prom. 2019-2021	20,796	212

En cuanto al consumo eléctrico, el incremento de kW-h se vio justificado debido a que se

reemplazó la utilización de combustibles fósiles por energía renovable y limpia generada en su mayoría por hidroeléctricas, las cuales no representan mayor impacto con el medio ambiente.

Por ello consideramos que la emisión directa de gases de efecto invernadero producida por el acarreo de mineral se redujo en un 100%; además de reducir en un 97% el impacto de la huella de carbono que producían los ferrocarriles en general.

6. Costos

6.1. Costo de transporte de mineral

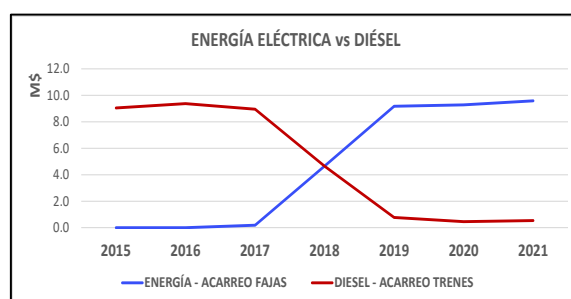
6.1.1. Diésel

En el 2018 cuándo se pone en marcha la innovación operacional en el transporte de mineral de mina a planta, se reduce el consumo de diésel en un 97% debido a la baja de locomotoras. No se retiraron dos locomotoras porque se utilizan para transportar materiales y combustible hacia el almacén de mina.

6.1.2. Costo de energía eléctrica vs Costo diésel

El costo de la energía eléctrica para el transporte de mineral con fajas vs el costo del diésel de las locomotoras, son muy similares como se aprecia en la Figura N°16.

Figura N°16
Energía eléctrica vs Diésel.



6.1.3. Acarreo y chancado de mineral

En la Figura N°17 se muestra el costo de acarreo con fajas más el chancado de mineral en el tajo se ha reducido en 8% respecto al uso de las tolvas de transferencia, acarreo con locomotoras y la chancadora primaria ubicada en la planta concentradora.

Figura N°17

Reducción en el costo de acarreo más chancado



de mineral.

6.2. Costo de acarreo de mineral.

La reducción en la cota (Del nivel 3460 al nivel 3295) para llegar a descargar con los volquetes implica disminuir el ciclo de acarreo de mineral y el ahorro de dos camiones mineros para mantener el mismo ritmo de producción de mineral que se envía a la concentradora.

Se reduce el costo de acarreo de mineral con camiones mineros en un 18%.

7. Conclusiones

Se reduce a cero la exposición de los operadores a los riesgos asociados con las locomotoras como choques y descarrilamientos en el sistema de acarreo de mineral.

Se reduce en 92% las emisiones de CO₂ y en 97% el consumo de petróleo.

Se incrementa en 6% el consumo de energía eléctrica (energía limpia respecto al petróleo).

Con esta innovación operacional se realiza un cambio en las fases de minado y planes a largo plazo.

Se reduce el requerimiento de camiones mineros.

Menor costo en acarreo con fajas transportadoras y chancadora en tajo vs locomotoras, tolvas de transferencias (*hoppers*) y chancadora primaria.

Menor costo en el acarreo de mineral con camiones mineros, debido a que la chancadora fue reubicada a una profundidad menor que las tolvas de transferencias.

Referencias

Espíndola, C. & Valderrama, J. 2012. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Información tecnológica, 23(1), 163-176.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>.

[Visitado: 20 de mayo de 2022]

Hammer, M. 2004. Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company. Harvard Business Review. En: <https://hbr.org/2004/04/deep-change-how-operational-innovation-can-transform-your-company>

[Visitado: 11 de abril de 2022]

Ministerio del ambiente. 2022. Huella de carbono Perú. <https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe/huellaperu/#/inicio>

[Visitado: 06 de mayo de 2022]

Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J. 2011. Carbon footprint: current methods of estimation. Environ Monit Assess 178, 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>

[Visitado: 06 de junio de 2022]

Solorzano, I. 2018. Estimación de la huella de carbono en la unidad minera Apumayo para el año 2017 y propuestas para su incorporación dentro del estudio de impacto ambiental detallado.

[Visitado: 28 de mayo de 2022]

Topf, A. 2017. In-pit crushing and conveying systems changing the way ore is moved. Mining dot com. En:

<https://www.mining.com/in-pit-crushing-systems-changing-the-way-ore-is-moved/>

[Visitado: 12 de abril de 2022]

Profesional Colegiado, 16 años de experiencia en minería superficial y subterránea, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería–UNI, maestría en gestión minera en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas-UPC 05 años de experiencia como docente Universitario, en la Universidad Nacional de Moquegua.

Yohel Olortegui Pacheco

Ingeniero senior planeamiento mina
Southern Peru – Mina Cuajone

yolortegui@southernperu.com.pe

990648900

Mina Cuajone

Profesional Colegiado con más de 20 años de experiencia en minería superficial y subterránea, egresado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann–UNJBG, maestría en dirección y gestión de empresas en la Universidad de Tarapacá – Chile y Maestría en administración de negocios de la Escuela de Negocios Neumann Bussines School.

Julio Sagua Canqui

Superintendente de planeamiento mina
Southern Peru – Mina Cuajone

jsagua@southernperu.com.pe

952922546

Mina Cuajone

Profesional colegiado, con 15 años de experiencia en minería superficial y subterránea, egresado de la Universidad Nacional San Agustín – UNSA, maestría en administración de empresas en CENTRUM-PUCP, master internacional en liderazgo en EADA (Barcelona).

José Lima Yanque

Ingeniero de planeamiento mina
Southern Peru – Mina Cuajone

JLima@SouthernPeru.com.pe

979717887

Mina Cuajone

Ingeniero de Minas CIP y miembro activo del IIMP con 7 años de experiencia en minería superficial y subterránea, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería – UNI, con diplomados en planificación minera y perforación & voladura. Creador de contenido digital con Audio Minero (YouTube). Ponente y maestro de ceremonias en eventos de minería.

Rolando Alvarado Rodriguez
Ingeniero de planeamiento mina
Southern Peru – Mina Cuajone

RALvaradoR@SouthernPeru.com.pe

944681787

Mina Cuajone

Agradecimientos

A la comisión organizadora PERUMIN 35 por promover estos encuentros y compartir nuestras experiencias.

A los ingenieros Marco Antonio Figueroa, Director de operaciones Cuajone, y Edgar Peña Valenzuela, Gerente de mina Cuajone, por permitir el desarrollo de este trabajo.

A Grupo Mexico-Southern Perú en especial a Unidad Cuajone y sus altos directivos por permitirnos dar a conocer nuestras experiencias y mejoras operacionales a nuestra distinguida comunidad.

A nuestros colegas más cercanos que de alguna manera colaboraron con la realización de este trabajo.