

# ESCUELA DE POSTGRADO NEUMANN

## MAESTRÍA EN GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



### **“Gestión minera en mantenimiento de vías de acceso en Mina Cerro Verde utilizando el Big Data”**

**Trabajo de Investigación  
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en  
Gestión Minera y Ambiental

**Autores:**

Ing. Herrada Villarreal, Juan Orlando  
Bach. Quispe Mamani, Marleny Jessica

**Docente Guía:**

Mg. Moscoso Zegarra, Giomar Walter

**TACNA – PERÚ  
2020**

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del (los) auto (es)”

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa Ruth, con su apoyo y constante ánimo para poder lograr y alcanzar mis metas, a mis adoradas hijas Gabriela y Valeria que con su cariño y amor que me han brindado me han fortalecido, a mis padres Joel y Isidora y hermanos con su inquebrantable amor han hecho posible lograr mis metas profesionales y personales.

Dedico a mi querida familia, que con tanta paciencia y afecto nunca dudaron de mi crecimiento profesional, dándome la motivación necesaria para que nunca desfallezca en el camino del éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien es el quien guía mi destino. Dios mío, padre celestial, porque te siento en cada momento y paso de mi vida.

A Dios por guiarme en el camino de la vida.

A mi madre por darme todo el afecto y confianza para seguir volando.

A la escuela de postgrado NEUMANM, a los docentes y administrativos por permitirme continuar creciendo como profesional.

## INDICE

Resumen	12
Introducción	13
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	14
1.1. Título del Tema: Gestión minera en mantenimiento de vías de acceso en mina Cerro Verde utilizando el Big Data	14
1.2. Planteamiento del Problema:	14
1.3. Objetivos de la Investigación (general y específico):	18
1.4. Justificación:	20
1.5. Metodología:	22
1.6. Definiciones:	23
1.7. Alcances y limitaciones:	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	26
2.1. Definiciones sobre gestión minera en mantenimiento de vías	26
2.1.1. Normatividad Peruana	26
2.1.2. Minería Superficial	30
2.2. Definiciones sobre la gestión con Big Data	35
2.2.1. Norma internacional ISO 9001 2015.-	38
2.2.2. Análisis FODA.-	40
2.2.3. Sistema de Gestión Integrado.-	41
2.3. Análisis de investigaciones similares	41

2.4. Análisis crítico y comparativo sobre la literatura revisada	42
CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL	44
3.1. Reseña Histórica	45
3.1.1. Operaciones Mina Cerro Verde	46
3.1.2. Geología de la mina Cerro Verde	51
3.1.3. Diseño de las vías y accesos en mina Cerro Verde	52
3.1.4. Mantenimiento de vías en mina Cerro Verde	52
3.1.5. Capacitación de los operadores de los equipos en Cerro Verde	53
3.2. Filosofía organizacional	54
3.2.1. Liderazgo en la supervisión	55
3.3. Diseño organizacional del Big Data en Cerro Verde	57
3.3.1. Equipo Big Data en Cerro Verde	58
3.3.2. Recursos Humanos del equipo Big Data	58
3.3.3. Organigrama Big Data	60
3.3.4. Influencia del Big Data en Cerro Verde	60
3.4. Ventajas del Big Data en Cerro Verde	61
3.4.1. Que debe lograr el Big Data en Cerro Verde:	61
3.4.2. Que hace diferente al Big Data	61
3.4.3. Oportunidades encontradas con el Big Data	62
3.5. Diagnóstico organizacional en Cerro Verde	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	67
4.1. Uso del Big Data	67

4.2. Costos del Big Data	69
4.3. Cálculo del Beneficio/Costos del Big Data.	71
4.4. Vías en la mina Cerro Verde	72
4.5. Plan de mantenimiento de vías día 21 al 24 de diciembre del 2019	73
4.5.1. Cuidado de las llantas en las vías de acarreo.	85
4.5.2. Mejora de la eficiencia en el acarreo empleando el Big Data y el Delta C.	88
4.6. Análisis de los viajes en camiones de acarreo minas de Freeport Mc Moran	90
4.7. Calidad de las vías minas Freeport Mc Moran	92
4.8. Reportes de las vías en Cerro Verde para el uso del Big Data	97
4.9. Conclusiones	98
4.10. Mejora con el Big Data para los supervisores y operadores	98
4.11. Aplicación en la mina Cerro Verde	98
4.12. Control del mantenimiento de vías	99
CAPÍTULO V	100
5.1. Sugerencias	100
5.2. Conclusiones	103
Bibliografía:	105

## Índice de Tablas

Tabla 1. Cronograma de implementación del Big Data.	25
Tabla 2. Producción de cobre en el mundo	44
Tabla 3. Flota de equipos proyectado en mina 2020 al 2045.	48
Tabla 4. Evolución de producción tonelaje movido x día.	49
Tabla 5. Costo unitario por tonelada minada. Fuente Cerro Verde.	50
Tabla 6. Costo unitario por tonelada minada. Fuente Cerro Verde.	50
Tabla 7. Capacitación a operadores de equipo auxiliar para mantenimiento de vías	53
Tabla 8. Organigrama de Operaciones Mina Cerro Verde	56
Tabla 9. Oportunidad de ahorros inactividad excesiva y combustible. Fuentes propios.	69
Tabla 10. Inversión en Tecnología.	70
Tabla 11. Inversión en consultoría y entrenamiento.	70
Tabla 12. Gasto por año en personas expertas.	70
Tabla 13. Resumen de ahorro e inversión en primer año.	70
Tabla 14. Flujo de caja para la vida de la mina. Fuentes propios.	71
Tabla 15. Resumen de flujo de caja considerando 25 años de vida de mina.	71
Tabla 16. % resultados del mantenimiento de vía mina Cerro Verde la mejor por ahora. Fuente Cerro Verde.	72
Tabla 17. Puntos malos en las rutas por día. Fuentes propios.	77
Tabla 18. Puntos malos en las rutas por semana. Fuentes propios.	78
Tabla 19. Eventos de llantas en las vías año 2019/2020. Fuentes propios.	87
Tabla 20. Eventos operacionales de llantas en las vías año 2019/2020. Fuentes propios.	87



Tabla 21. Delta C por mes año 2018/2019. Fuente Cerro Verde.	89
Tabla 22. Análisis de los viajes de camiones de acarreo. Fuente Cerro Verde.	90
Tabla 23. % de vías en mal estado mina Chino. Fuentes propios.	95
Tabla 24. %Distribución de la amplitud mina Chino. Fuente Cerro Verde.	96

## Índice de Gráficos

Figura 1. Ubicación de la mina Fuente Cerro Verde	15
Figura 2. Método de minado a cielo abierto Fuente Cerro Verde	17
Figura 3. Observaciones en las vías de la mina para la identificación de puntos negativos Fuente Cerro Verde	19
Figura 4. Análisis de los viajes para los camiones Fuente Cerro Verde	20
Figura 5. Zonificación para el mantenimiento de vías con el Big Data Fuente Cerro Verde	21
Figura 6. Camión con descarga trasera. Fuente Libro Victor Lopez.	33
Figura 7. Motoniveladora Caterpillar modelo 24H (Caterpillar, Inc.) Fuente libro Victor Lopez.	35
Figura 8. Arequipa lidera producción de cobre en el Perú Fuente Ministerio Energía y Minas	45
Figura 9. Geología mina Cerro Verde	51
Figura 10. Sección típica de una vía Fuente Cerro Verde	52
Figura 11. Organigrama del equipo Big Data Fuente Cerro Verde	60
Figura 12. Big Data en Cerro Verde Fuente Cerro Verde	60
Figura 13. Big Data en Cerro Verde Fuente Cerro Verde	63
Figura 14. Vista de operaciones integradas Fuente Cerro Verde	65
Figura 15. Plan de trabajo semana del 21 al 24 de dic 2019 Fuente Cerro Verde	73
Figura 16. Plan de trabajo de anchos de vías de acarreo Fuente Cerro Verde	74
Figura 17. Plano Big Data Fuente Cerro Verde	75
Figura 18. Plano del número de eventos y su prioridad Fuente Cerro Verde	75
Figura 19. Trabajos pendientes Cerro Verde fases 5 y 6 Fuente Cerro Verde	79

Figura 20. Trabajos pendientes Santa Rosa fase 7 Fuente Cerro Verde	80
Figura 21. Trabajos pendientes SR fase 7 Fuente Cerro Verde	80
Figura 22. Trabajos pendientes Santa Rosa fases 5 y 6 Fuente Cerro Verde	81
Figura 23. Trabajos pendientes Cerro Negro Fuente Cerro Verde	82
Figura 24. Trabajos pendientes de limpieza de vías Fuente Cerro Verde	83
Figura 25. Avance y pendiente del plan de lastrado Fuente Cerro Verde	83
Figura 26. Mantenimiento de vías en curvas cerradas Fuente Cerro Verde	84
Figura 27. Limpieza de pie de muro Fuente Cerro Verde	85
Figura 28. Cuidado de llantas Fuente Cerro Verde	85
Figura 29. Cuidado de llantas Fuente Cerro Verde	86
Figura 30. El Delta C Fuente Cerro Verde	88
Figura 31. Nuevas formas de análisis tecnológico Fuente Cerro Verde	91
Figura 32. Identificando ineficiencia Fuente Cerro Verde	92
Figura 33. Analizando amplitud en la suspensión de los camiones Fuente Cerro Verde	93
Figura 34. Calidad de las vías Fuente Cerro Verde	94
Figura 35. Calidad de las vías mina Chino Fuente Cerro Verde	95

## Resumen

El avance tecnológico surge por la necesidad de tener herramientas para hacer un trabajo más eficiente y simple, por lo tanto va de la mano con el desarrollo en las comunicaciones, satélites, y demás está decirlo en el GPS o ubicación mediante posicionamiento.

En el presente siglo se requiere revolucionar al realizar minería, y esto es debido básicamente al desarrollo tecnológico que nos va a permitir la disposición de sistemas altamente sofisticados, desarrollados y confiables para nuestro control de los procesos.

Por esa exclusiva razón y para mantenernos competitivos nos obliga a hacer uso de la tecnología, y esto es determinante para que las empresas empiecen a trabajar de manera creativa y práctica para esto debemos procesar gran cantidad de información y sobre todo procesarlos para una acción oportuna, motivo para cuando nos referimos a entender y conocer a la tecnología que ayude a los procesos. Las consecuentes preguntas que brotan son: ¿cuáles son estos sistemas? ¿Cómo es que puede ayudar el uso de la tecnología y de qué forma ayudaría en la rentabilidad de la empresa? las empresas ya están invirtiendo en tecnología de punta el cual está relacionado a aumentar la producción al menor costo posible.

Actualmente el precio del cobre tiende más a bajar. Es el reto entonces de hacer trabajos que resulten en mayor producción a costos bajos. Big Data, nos va a demostrar ser muy eficiente en el apoyo de las operaciones mineras.

Esto va a suceder en el día a día dado que las exigencias del objetivo final estén claramente vinculados con el planeamiento y programación de las operaciones mineras unitarias, es a lo que llamamos tecnología para el uso de las operaciones mineras a esto llamaremos el Big Data para el mantenimiento de vías.

## **Introducción**

Hoy en día en la minería peruana está cambiando la manera de trabajar, el avance de la tecnología va de la mano con la disposición de sistemas que hagan altamente desarrollados para poder encontrar soluciones en los procesos mineros. Para poder mantenernos eficientes y competitivos ya no solo debemos de trabajar fuertemente sino utilizar herramientas obligando a la empresas a trabajar utilizando por ejemplo el Big Data, que no es otra cosa que el uso de una gran cantidad de datos, procesados y utilizar toda la cantidad necesaria de información para la toma de decisiones de forma oportuna e inmediata, es por esto que es muy importante comprender a que nos referimos con tecnología y base de datos Big Data, ya que esto va a incidir en el mejor mantenimiento de vías para los camiones de la Mina.

El presente trabajo tiene por objetivo mostrar como Big Data nos va a apoyar en la toma de decisiones y va a ser parte fundamental en el transporte minero basado en la toma de datos de la suspensión y su ubicación mediante GPS de los camiones de manera oportuna, debido a que una vía en buen estado hará que no se pierda tiempo en espera que es un error en las operaciones debido a que principalmente el costo de transporte es el más alto en las operaciones mineras.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

### **1.1. Título del Tema:**

Gestión minera en mantenimiento de vías de acceso en mina Cerro Verde utilizando el Big Data

### **1.2. Planteamiento del Problema:**

En la minería moderna se está llevando a cabo una revolución en la manera de asumir los retos ya sea con la mano de los avances tecnológicos, todo esto para un óptimo control de los procesos, de manera particular es el Big Data que será empleado para el mejoramiento de vías.

Para el logro de los objetivos en mina hace falta el uso de la tecnología que resuelva de forma inmediata los problemas en operaciones mina de forma de procesar y utilizar la gran cantidad de datos para poder tomar las decisiones inmediatas, por esta razón es que nos apoyamos del Big Data que no es otra cosa que la utilización o empleo del almacenamiento de datos para mantener nuestras vías en excelente estado que es lo que se requiere para una mejor gestión en las operaciones mineras. Ya las empresas mineras están invirtiendo en tecnología de punta que les resuelva los innumerables problemas que surgen cuando están en proceso de producción, buscando el menor costo posible. Actualmente los precios de los metales van variando constantemente, entonces lo que se busca es producir más a menor costo para poder tener continuidad en la minería, recordemos también que han existido empresas mineras que se han visto obligados a cerrar sus operaciones porque ya no obtienen ganancias.

La Empresa Sociedad Minera Cerro Verde S.A.C. empresa productora de cobre y molibdeno que explota por el método a tajo abierto, está ubicado en el distrito de Uchumayo, en la provincia y departamento de Arequipa, en el Perú, la

mina está conformada por los siguientes tajos Santa Rosa, Cerro Verde y Cerro Negro.



Figura 1. Ubicación de la mina Fuente Cerro Verde

Esta empresa es la principal productora de cobre del país actualmente, sus operaciones han crecido debido al incremento de su producción en el año 2016, Siendo las operaciones unitarias: perforación, voladura, carguío y acarreo, adicionalmente se usan equipos auxiliares para el logro de los objetivos de producción. Para el proceso de acarreo se usan camiones mineros de gran tonelaje (240 Tn y 320 Tn) los cuales transportan los siguientes materiales a los distintos destinos, desmonte al botadero, mineral de baja ley al pad y mineral de alta ley a las chancadoras en este caso se tiene dos chancadoras C1 y C2.

En las operaciones mineras el costo más relevante e importante es el de acarreo (52%) quiere decir que el costo que incluye en el uso de los camiones mineros en minería a tajo abierto es el que debemos de tener mayor control y observación por parte de los que conformamos el equipo de profesionales, los que estamos en el control de los costos ya sea en el costo que representa el uso de los camiones mineros, así como las llantas, sus repuestos, el combustible, estamos hablando en un porcentaje del 52 % del costo total de minado, es por esta razón que se plantea este trabajo de investigación, el objetivo de este trabajo de investigación es mejorar las vías de acarreo y accesos a la mina, empleando el Big Data para mejorar las condiciones de las vías por donde transitan los camiones, de manera tal que obtengamos una alta utilización de los camiones mineros y también una alta productividad por parte de ellos. Se debe adicionar que las vías se malgastan o maltratan constantemente por el tránsito constante de los equipos sea camiones mineros, equipos auxiliares, equipo liviano, etc. generándose baches, huecos en las vías, deformaciones naturales, desniveles etc. es por esta razón que debemos de realizar el mantenimiento de vías de forma permanente y constante.

El manejo del Big Data es en base al mejoramiento continuo de las operaciones mineras y sirve como una herramienta de gestión minera combinado a una gran cantidad de datos (eventos) y su ubicación mediante GPS, vale recalcar que los eventos son datos de las suspensiones de los camiones mineros.

La gestión en la flota de camiones en las vías de acarreo es muy importante debido a que se requiere disminuir el tiempo de espera de los camiones mineros en las vías, maximizar su utilización y como parte adicional disminuir el consumo de llantas gigantes, sus repuestos y el consumo de combustible.



Freeport Mc Moran Inc. dueña de la mina Cerro Verde cree que es prioridad invertir en procesos y sistemas que brindan la información requerida para administrar un negocio basado en datos. Esto ha establecido una ventaja competitiva al unir la tecnología con los recursos que son de clase mundial. Los nuevos avances tecnológicos han brindado la oportunidad de obtener información sobre este negocio e impulsar nuevas eficiencias. Las soluciones de Big Data se caracterizan por procesar grandes volúmenes de datos que tienen una amplia variedad de tipos de datos y deben procesarse a alta velocidad. Estos tipos de datos no pueden procesarse por métodos tradicionales y requieren un enfoque diferente. La estrategia de Big Data incluye desarrollar e implementar la solución técnica combinada con la integración con las operaciones mineras para poder lograr mejores resultados en las operaciones.

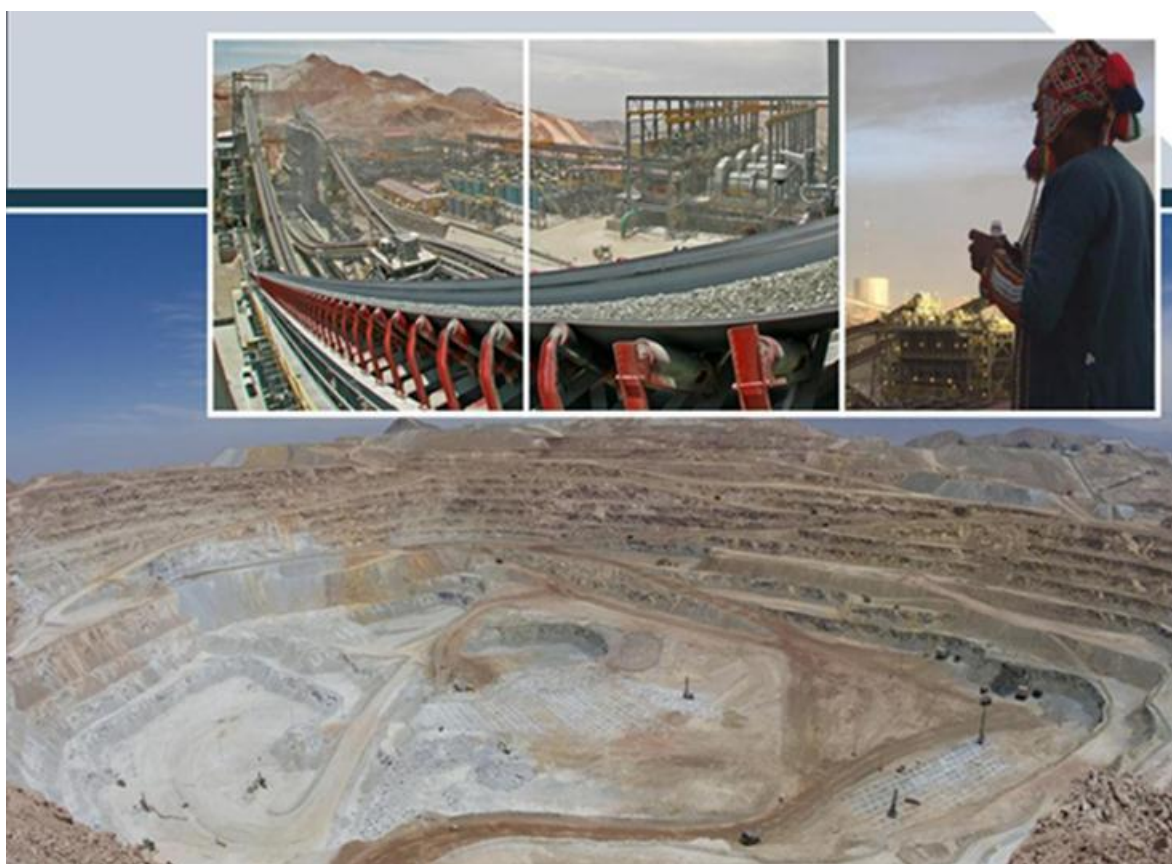


Figura 2. Método de *minado a cielo abierto* Fuente Cerro Verde

### **Los valores en la Mina Cerro Verde:**

- Seguridad
- Integridad
- Compromiso
- Excelencia
- Respeto

### **4 Principios de seguridad en la mina Cerro Verde:**

1. Cada persona es responsable por su seguridad personal y también por la seguridad de sus compañeros de trabajo.
2. Sigue las reglas establecidas.
3. Toma el tiempo necesario para hacer el trabajo correcto y seguro.
4. Si no huele bien, no se ve bien, no suena bien, no parece bien, entonces NO ESTÁ BIEN. ¡¡Detente!!

### **1.3. Objetivos de la Investigación (general y específico):**

**Objetivo General.** – Al realizar el diagnóstico en la Mina por las vías en mal estado por consecuencia del tránsito constante de los camiones de acarreo, el clima (lluvias), tránsito de los equipos auxiliares, calidad de la roca y en consecuencia vamos a tener vías en mal estado se sugiere implementar el uso del Big Data como apoyo para poder optimizar el tiempo de espera de camiones de acarreo en las vías, mejorar los puntos llamados críticos en las vías, así como también incrementar la vida útil de las llantas de los camiones mineros, para luego tener un beneficio en los costos en las operaciones mineras, para lo cual se propone el uso del Big Data.

La propuesta de mejora en las vías de acarreo nos permitirá aprovechar por mayor tiempo el más alto desempeño de los equipos en las vías, la mejora se

medirá mediante el Big Data, para el mecanismo de control de la propuesta de mejora se tendrán reportes diarios del avance con el uso del Big Data.

El costo de implementar el Big Data es de \$3.3 Millones de Dólares en el primer año y ya puesto en marcha de \$1.0 Millones de Dólares cada año, el beneficio será del ahorro por los camiones en las operaciones mineras de \$5.072,760 Millones en 01 año y de 405,820 dólares de ahorro en combustible en un año.

▪ Observaciones en terreno para identificar puntos negativos



Figura 3. Observaciones en las vías de la mina para la identificación de puntos negativos Fuente Cerro Verde

En la figura se puede observar que es posible determinar y encontrar vías en mal estado de manera visual, pero sería más efectivo si estos datos almacenados en un servidor se puedan procesar y emplearlos de forma más rápida.

**Objetivo Específico.** – Lograr rebajar el tiempo sin uso de un camión en las vías, así mismo incrementar la vida útil de las llantas de los camiones mineros, en las vías por encontrarse en mal estado por lo que merecen especial atención por parte de los que conformamos el área de operaciones mina. Todo esto involucra desde, el planeamiento, las operaciones mineras, el mantenimiento constante de las

vías de acarreo y por consecuencia debemos reducir el tiempo de inactividad del camión en las vías, Big Data nos permite tomar grandes volúmenes de datos diversos, ponerlos en un solo lugar y analizarlos de manera rápida y eficiente, para nuestro caso solo usaremos los datos que corresponden a las vías de acarreo de la mina Cerro Verde. Big Data es vital para mantener la ventaja competitiva y maximizar los recursos para ser una operación de clase mundial.

#### 1.4. Justificación:

Se va a realizar un análisis correspondiente al mantenimiento de vías de acarreo ya que es fundamental en las operaciones mineras de la mina Cerro Verde esto se da a consecuencia del alto costo que representa en las operaciones mineras y por consecuencia se debe disminuir estos tiempos muertos quiere decir que los camiones deben estar en constante movimiento, con este análisis podemos identificar y determinar las oportunidades de mejora en las vías de acarreo en el área de operaciones mina para el cumplimiento de los programas de producción establecidos por el área de Planeamiento Mina.



Figura 4. Análisis de los viajes para los camiones Fuente Cerro Verde

En la figura se va a realizar el análisis de los viajes de los camiones en las vías de la mina.

### Calidad de las vías de acceso – Manejo de información

- Datos: presión de suspensión, latitud y longitud.
- Filtro aplicado: Camión cargado, localización GPS con al menos 20 mediciones.

### Metodología:

- Identificar los mínimos y máximos contiguos (valles y picos)
- Medir la amplitud de cada pico y valle.
- Promediar la amplitud por localización GPS
- Medición: Amplitud > 500 es Mala, < 80 es Buena

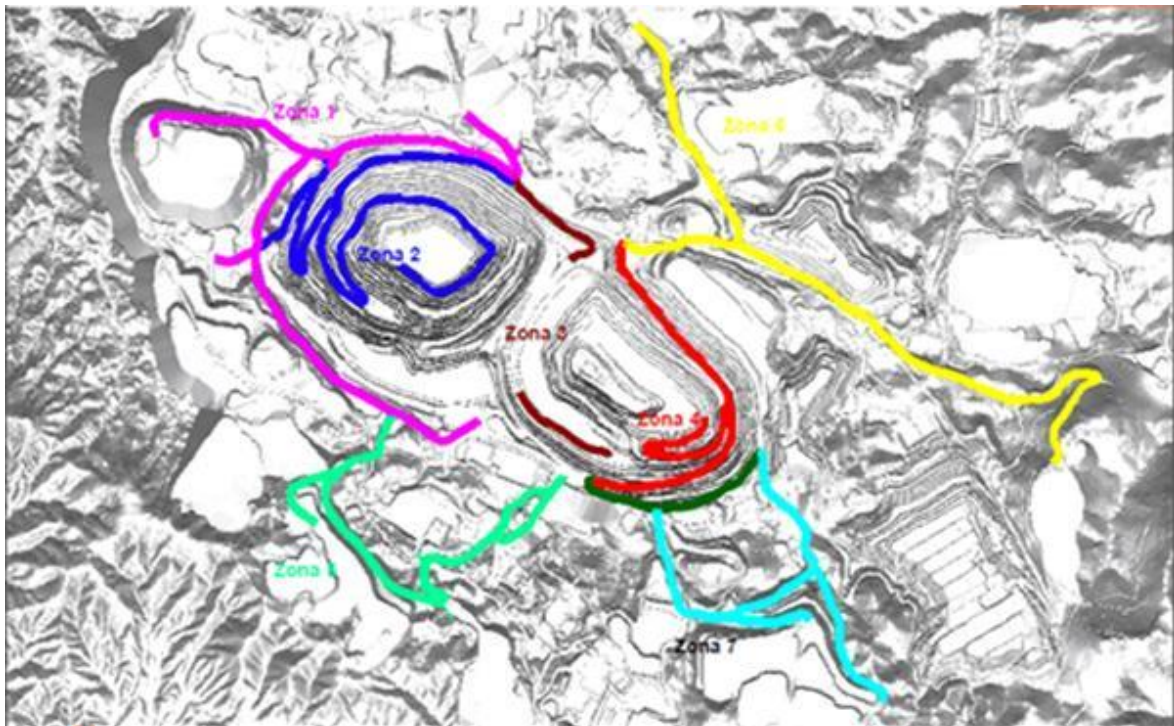


Figura 5. Zonificación para el mantenimiento de vías con el Big Data Fuente Cerro Verde

En la figura con el uso del Big Data nos va a permitir zonificar en áreas, y hacer un plan de mantenimiento de vías.

## **1.5. Metodología:**

### **Tipo de Investigación**

La investigación desarrollada lo hemos definido como una investigación aplicada porque el propósito es dar solución al problema generado por la gran cantidad de camiones que forma parte de las operaciones de la mina Cerro Verde, los cuales transitan por las vías de acarreo actualmente transitan por las vías de la Mina Cerro Verde 132 camiones mineros (93 camiones Caterpillar 793 y 39 camiones Komatsu 930) estos datos fueron tomados de una base de datos almacenados en un servidor, para poder resolver los problemas generados en las vías por el mal estado en que se encuentran y en la búsqueda de solución hemos dado por conveniente el empleo del Big Data para la solución precisa e inmediata y el mejor desarrollo de las operaciones mineras y su óptimo resultado.

### **Diseño de investigación**

En la investigación en desarrollo se usa el Big Data como una alternativa de solución más rápida y precisa que nos ubique exactamente donde se encuentra el problema para esto requerimos un procesador que nos identifique de forma rápida y exacta los puntos malos en las vías y por consiguiente el empleo de los equipos mineros necesarios para su rápida solución.

### **Técnica e instrumentos de recolección de datos**

Para esta investigación se empleó datos tomados de mina, como planos, datos del Big Data que incluye los eventos que dan las suspensiones de los camiones y su ubicación mediante GPS, todos estos datos son plasmados en un plano de la Mina, el cuál identifica los puntos llamados puntos malos ó críticos los cuales son ordenados de acuerdo a puntos con mayor prioridad a puntos de menor prioridad, todo esto da respuestas el Big Data el cual como resultado final se obtiene

un plano con los puntos identificados el cual son entregados a los supervisores y operadores especializados en estos temas, directamente para que pueden ser dirigidos, orientados y su solución inmediata, para de esta manera mejorar en los ciclos de acarreo en las vías de los camiones mineros.

#### **1.6. Definiciones:**

**Big Data.** - Es una combinación de tecnologías, personas expertas y técnicas para crear una visión completa de los problemas críticos del negocio, permitiendo así desbloquear conocimientos claves que generan un valor significativo para el negocio.

**Gestión.-** Este hace la referencia a un acto y sus consecuencias de administrar o gestionar alguna actividad. Debido a esto es que se lleva diferentes diligencias para poder hacer realidad una operación minera o un objetivo cualquiera.

**Empresa Minera.-** Comprende una empresa o industria que se dedica a la extracción de un mineral determinado. Para nuestro estudio la empresa minera Cerro Verde produce Cobre y Molibdeno.

**Mantenimiento de vías.** – Proceso en el cuál se da arreglos en las vías, donde se usan equipos auxiliares como Motoniveladora, Tractor de Oruga, Rodillo para poder obtener una vía en mejor estado particularmente para nuestro caso en las operaciones mineras. Estas pueden ser en Vías de acarreo y Vías auxiliares y también por su vida útil donde pueden ser permanentes y temporales.

**Botadero.-** Un lugar apropiado donde se transporta y almacena material estéril de una mina quiere decir material sin valor económico.

**Evento.-** Es el que se refiere a un acontecimiento. Para nuestro estudio el evento de la suspensión de la amplitud de un camión el cuál se activa cuando su amplitud es mayor a 500 (términos de presión).

**Bache.-** Es un desnivel producido en el suelo o en la vía producido por la pérdida o el hundimiento de una capa de la superficie.

**Dispatch.-** Es un sistema informático que administra las flotas de equipo minero. Se enfoca fundamentalmente en realizar asignaciones óptimas y automáticas para los camiones.

**Asignación.-** Es una orden que le indica al operador del camión a donde debe dirigirse.

**Delta C.-** Es la diferencia en minutos entre el ciclo real y el ciclo óptimo medidos en una flota de camiones mineros.

**SMCV.-** Sociedad Minera Cerro Verde.

### **1.7. Alcances y limitaciones:**

Este estudio se basó para dar soporte a los supervisores de campo y los operadores que actúan directamente en la operación mina, demostrar que se puede hacer un trabajo de calidad con el apoyo de las innovaciones tecnológicas, que actualmente se han desarrollado, las personas que están en operaciones no necesitamos recorrer toda la mina para encontrar fallas, sino tener a la mano una herramienta que nos ayude a identificar donde me dirijo de manera rápida y oportuna y resolver un problema.

#### **Limitación temporal**

Este estudio se basa en toma de datos en este presente año 2019, con datos reales de mina.

#### **Limitación espacial**

Este estudio se ha realizado en la mina Cerro Verde, que se encuentra en la ciudad de Arequipa – Perú.

#### **Limitación Sectorial**

Este estudio está dentro del sector minero, en las operaciones mineras de mina Cerro verde.



## Cronograma:

Tabla 1. Cronograma de implementación del Big Data.

Actividades/Tiempo	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Implementación del Big Data en FCX minas en EEUU (Junio)		■				
Implementación del Big Data en El Abra - Chile (Mayo)				■		
Implementación del Big Data en Cerro Verde (Enero)					■	

Fuente datos recopilados entre los años 2014 y 2019

En junio del 2014, Se pone en marcha y se innova el Big Data en Freeport Mc Moran y sus minas en EEUU.

En mayo del 2017, se implementa en la mina el Abra – Chile, incidiendo en el diseño de las vías de acceso, como también identificar condiciones adversas.

En enero del 2018, se implementa en la mina Cerro Verde realizándose plan de mantenimiento de vías, observándose e identificándose puntos negativos en las vías.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definiciones sobre gestión minera en mantenimiento de vías

**Gestión.-** Según F. Taylor (1994), considerado padre de la administración, y con base en sus principios de la organización científica del trabajo desarrollados en 1911, “la gestión es el arte de saber lo que se quiere hacer y a continuación, hacerlo de la mejor manera y por el camino más eficiente” esta noción instrumental es propia de la sociedad industrial que, determinada por la productividad y la tecnología, se apoya en disciplinas que le permitan optimizar recursos de una manera práctica con énfasis en la racionalización del trabajo.

**Gestión minera.-** Según el Ing. Eduardo Jofré (2017) consiste en la evolución de la medición del éxito, considerando el objetivo en incrementar la producción y la disminución de costos, de tres factores básicos de sostenibilidad que son:

- Eficiencia económica-financiera.
- Gestión ambiental-seguridad.
- Gestión ético-social.

El cuál trae los siguientes beneficios:

- Actividades mineras más seguras y menos contaminantes.
- Dar confianza a los colaboradores que la minería es compatible con el desarrollo sostenible.
- Control de residuos.
- Competividad del sector minero.
- Prevención de accidentes en la operación minera.

#### 2.1.1. Normatividad Peruana

**Mantenimiento de vías.** - Según MTC del Perú el “mantenimiento de vías”, en general, es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen

estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro. En los sistemas tercerizados de mantenimiento de vías, también se incluyen actividades socio-ambientales, de atención de emergencias viales y de cuidado y vigilancia de la vía.

**Gestión de conservación vías.-** Según MTC comprende la realización de un conjunto de actividades integradas tales como la definición de políticas, la planificación, la organización, el financiamiento, la ejecución, el control y la operación, para lograr una conservación vial que asegure la economía, la fluidez, la seguridad y la comodidad de los usuarios viales.

**Objetivos de mantenimiento de vías.-** Según MTC con el propósito de desarrollar la política de mantenimiento vial establecida por el Gobierno Regional se definen los siguientes objetivos de mantenimiento con el fin de asegurar la calidad del servicio vial:

- i) Preservar las inversiones efectuadas en la construcción, el mejoramiento, la rehabilitación y el mantenimiento periódico de los caminos.
- ii) Garantizar la transitabilidad permanentemente para que los usuarios puedan circular diariamente por las vías; es decir, que las interrupciones para su movilización sean mínimas durante el año.
- iii) Proporcionar comodidad, seguridad y economía en la circulación de los vehículos que utilizan los caminos.
- iv) Hacer un uso eficiente y eficaz de los limitados recursos destinados al mantenimiento vial.
- v) Atender las demandas de los usuarios viales y demás partes interesadas.

- vi) Promover una mayor movilización de bienes y de personas en la región.
- vii) Mejorar continuamente los instrumentos y las técnicas de mantenimiento vial.

**Cultura preventiva para el mantenimiento de vías.-** Según MTC la base conceptual para lograr un mantenimiento de vías que conserve las condiciones físicas del camino y, en consecuencia, sea satisfactorio para los usuarios, está centrada en la aplicación de una gestión que privilegie el actuar con criterio preventivo. Se trata de un cambio en la práctica tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado por el de actuar para evitar que se dañe. En otras palabras, se trata de ir modificando paulatinamente el quehacer institucional actual en el que prevalecen las acciones correctivas por el que prevalezcan las acciones preventivas. En la práctica, se trata de realizar el mantenimiento rutinario con intervenciones diarias con el propósito de preservar las condiciones de los elementos del camino y de evitar que se produzca su deterioro prematuro. Asimismo, efectuar el mantenimiento periódico, en forma cíclica, con operaciones oportunas para recuperar las condiciones viales afectadas por el uso. Esto quiere decir, que se deben mantener siempre limpias las obras de drenaje y los cauces para conservar la capacidad hidráulica de las obras; estabilizar y proteger los taludes; cuidar y cortar la vegetación permanentemente, mantener adecuadamente las señales, cuidar las estructuras viales, reponer periódicamente los afirmados y corregir los defectos que se presenten en la plataforma, entre otras.

Procediendo de la manera anterior, se tendrá que después de construida, rehabilitada o reconstruida una vía y que, por lo tanto, se encuentra en buenas condiciones, ella debe ser atendida permanentemente mediante el mantenimiento rutinario y cuando se hayan cambiado sus condiciones de bueno a un estado

regular, realizar entonces el manteniendo periódico para volver a unas condiciones similares a las iniciales. Al respecto, es de mencionar que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional-IRI1- para definir cuándo se deben implementar la intervención de mantenimiento periódico.

**D.S. 024-2016-EM Reglamento de seguridad y salud ocupacional Energía y Minas define:**

**Acarreo.-** Traslado de materiales hacia un destino señalado.

**Muro de Seguridad.-** Es una pila o acumulación de material o de concreto armado, cuyo propósito es evitar que un vehículo se salga del camino, pista o vía, o se salga del borde de los botaderos o cámaras de carguío, causando daños personales y/o materiales a terceros.

**Carretera de Alivio o Rampa de Emergencia.-** Vía o carril adicional que se construye para ayudar a la reducción de la velocidad de la maquinaria y controlarla hasta detenerla en una situación de emergencia.

**Artículo 262.-** En las etapas de exploración y explotación, incluyendo la preparación y desarrollo de la mina, los titulares de actividad minera deberán cumplir con:

b) Que en las vías principales (rampas, accesos o zigzags) las gradientes no sean mayores al doce por ciento (12 %).

c) Construir rampas o vías amplias de no menos tres (3) veces el ancho del vehículo más grande de la mina en vías de doble sentido y no menos de dos (2) veces de ancho en vías de un solo sentido. Si la evaluación de mecánica de rocas determina terrenos incompetentes, el titular de actividad minera debe construir vías del ancho de la maquinaria más grande de la mina, más veinte por ciento (20 %) de espacio para la cuneta.

- d) Disponer de bermas de seguridad para dar pase a la maquinaria o vehículos que circulen en sentido contrario; manteniendo el sector señalizado con material reflexivo de alta intensidad, cuando el uso de la vía es permanente.
- e) Construir el muro de seguridad, el que no debe ser menor de  $\frac{3}{4}$  partes de la altura de la llanta más grande de los vehículos que circulan por los caminos, rampas y/o zigzag lateralmente libres.
- f) Que las carreteras se mantengan permanentemente regadas y las cunetas limpias.
- g) Señalizar las vías de circulación con material reflexivo de alta intensidad, especialmente en las curvas.
- h) Construir Carreteras de Alivio o Rampas de Emergencia en las vías principales existentes (accesos y zigzags) con gradientes positivas, como producto de la identificación de peligros, evaluación y control de los riesgos. Estas carreteras de alivio ayudan a la reducción de la velocidad de la maquinaria para controlarla hasta detenerla en una situación de emergencia.”

### **2.1.2. Minería Superficial**

**Método minado Tajo Abierto.**- Según Claudio Reygada (2018) una mina a tajo abierto es una excavación superficial, cuyo objetivo es la extracción de mineral económico. Para alcanzar este tipo de mineral, usualmente es necesario excavar además, grandes cantidades de roca estéril. La selección de los parámetros de diseño, las condiciones de este mineral y la extracción de estéril, son decisiones bastante complejas desde el punto de vista de la ingeniería, ya que implica una considerable importancia en el ámbito económico.

**Diseño de accesos.**- Claudio Reygada (2018) dependiendo de la configuración del yacimiento a minar a mayor profundidad. El diseño de un camino adecuado es un aspecto importante para el diseño de una mina, ya que al mejorar el diseño de ésta, aumentará considerablemente su grado de productividad y, por lo tanto, los costos generales de operación se verán finalmente reducidos. Camiones pueden transitar por terrenos escarpados con pendientes de 2% a 12%.

**Vía.**- Mauricio (2015) es un espacio delimitado especialmente dispuesto y diseñado para que puedan transitar camiones, camionetas, etc. estas vías están unidas entre sí con el objetivo de unir la mina con los diferentes destinos como son las chancadoras, botaderos, etc. los criterios que se deben tener en cuenta para el diseño de una vía son: La pendiente, el ancho, peralte, drenaje, muros de seguridad, y su cuneta.

**Camino de acarreo.**- Víctor López (2012) uno de los costos más elevados en el acarreo son los neumáticos, por lo que se debe tener un cuidado especial en el diseño y mantenimiento de los caminos para prolongar la vida de los neumáticos, del motor y de los principales componentes mecánicos del camión, incluyendo la estructura y chasis de la unidad. En el diseño de los caminos de acarreo se debe buscar:

- Minimizar la distancia del acarreo.
- Minimizar la pendiente de los segmentos del camino.
- Mantener un ancho operativo en los caminos.
- Diseñar radios de curva y peraltes adecuados.
- Reducir la resistencia al rodamiento, y mantener buenas superficies en los caminos.

**Peralte.-** Jairo (2017) Inclinación transversal de la vía en tramos curvos del alineamiento horizontal para contrarrestar la fuerza centrífuga y evitar que los vehículos se salgan de esta.

**Drenaje.-** Las vías deben de tener sus drenajes estrictamente definidos con la finalidad de resumir la cantidad máxima posible de agua que de alguna manera llegan a las vías y se debe evacuar lo más rápido posible.

**Cuneta.-** Es una zanja pegada al talud de la vía que tiene la finalidad de recibir y conducir el agua producido por las lluvias o del bombeo de la mina.

**Camiones con descarga trasera.-** Víctor López (2012) en estas unidades, tanto la caja como los componentes mecánicos y eléctricos, están montados sobre un chasis y la descarga se hace por medio de pistones hidráulicos de levante que vienen instalados en el vehículo como equipo estándar. Los camiones con descarga trasera vienen en presentaciones de dos y tres ejes. Los de dos ejes llevan cuatro ruedas con tracción en el eje trasero y dos ruedas direccionales en el delantero. A solicitud del cliente los pueden surtir con tracción en las seis ruedas. En los vehículos de tres ejes, los dos traseros tienen tracción con cuatro ruedas cada uno y en el eje delantero dos ruedas direccionales.

Las características más importantes son:

- Pueden acarrear todo tipo de material
- Tienen buena velocidad en pendientes
- Poseen buena tracción (debido a que más del 65 % del peso está en el eje de tracción)
- Son buenos aun en caminos malos
- Tienen un alto grado de maniobrabilidad debido a su menor radio de giro
- Son resistentes al impacto de cargado



- Buenos para descargar en áreas reducidas
- Son buenos en las minas donde se requiere de flexibilidad en el equipo de acarreo
- La capacidad de carga viva es menor de 318 toneladas
- No son muy recomendables para distancias mayores de 4.5 km y en pendientes mayores del 10 % con carga, ya sea ascendente o descendente, sobre todo en trayectos largos



*Figura 6. Camión con descarga trasera. Fuente Libro Victor Lopez.*

**Neumáticos para camiones.**- Víctor López (2012) los neumáticos son los elementos de más alto costo en las operaciones de acarreo, tal y como se ha podido apreciar antes, razón por la cual se debe usar un neumático resistente al calor y a las cortaduras.

**Tiempo de ciclo de un camión:** Víctor López (2012) = Tiempo carguío + tiempo viaje cargado a los puntos de descarga (Chancadora, Botadero, Stock) + retorno vacío a la pala + maniobra en la pala y en la descarga.

**Delta.**- Isidro Moyano (1974) define que es la diferencia contada en pasos, entre dos actualizaciones sucesivas, es el tiempo en segundos, que media entre dos actualizaciones sucesivas, 01 paso equivale a 3 segundos.

**Inactividad de un camión minero.**- Valeria Gonzales (2018) el tiempo de inactividad corresponde al tiempo en que el camión se encuentra en estado operativo, pero no lo está haciendo efectivamente por ejemplo, camiones esperando en el chancado mientras otro está descargando.

**Motoniveladora.**- Víctor López (2012) la motoniveladora es una máquina utilizada fundamentalmente en la conformación y acabado de caminos y pistas de rodamiento dentro de una operación minera a tajo abierto. Aunque se pueden utilizar tractores de oruga o de llanta para realizar el conformado de los caminos, se obtienen mejores resultados utilizando una motoniveladora. Las motoniveladoras pueden especificarse por la potencia del motor (100 HP en adelante), por la longitud de la cuchilla y por el número de ejes motrices (uno para cada eje y en tándem para dos). Algunas motoniveladoras están equipadas con dientes escarificadores ajustables, colocados delante de la cuchilla, cuya función será la de aflojar la tierra antes de conformarla.

- La cuchilla es ajustable y puede colocarse a la profundidad que se desee y girar a cualquier posición requerida para empujar la tierra hacia delante o hacia un lado. Las conformadoras pueden tener de tres a seis velocidades hacia delante y una de reversa. La velocidad de operación de la máquina varia de 2 a 20 mph (3.2 a 32.2 km/h). Las velocidades más bajas se utilizan para operaciones de conformación, mientras que las más altas se utilizan para los desplazamientos de un lugar a otro.

- La estructura de una motoniveladora consta fundamentalmente, de un bastidor formado por dos travesaños contraventeados que soportan el motor y la sección de control, los cuales convergen hasta formar una viga sencilla curva que termina en el eje frontal. El impulso se efectúa a través de ruedas en tándem localizadas en la parte posterior del aparato. La cuchilla conformadora está sujeta a un anillo que está colgado del bastidor superior el cual jala una barra de tiro sujeta al frente del mismo bastidor.



*Figura 7. Motoniveladora Caterpillar modelo 24H (Caterpillar, Inc.) Fuente libro Victor Lopez.*

## **2.2. Definiciones sobre la gestión con Big Data**

**Big Data.-** Una de las aproximaciones más completas de Big Data es la facilitada por Gartner (2012): “Son activos de información caracterizados por su alto volumen, velocidad y variedad, que demandan soluciones innovadoras y eficientes de procesado para la mejora del conocimiento y toma de decisiones en las organizaciones.”

**Uso del Big Data en una empresa.-** Según Guerra (2018) los programas tradicionales de almacenamiento de datos se han quedado obsoletos debido al

incremento de datos e información y el 80% de estos datos se encuentran desordenados de manera que no son fácilmente gestionables ni aprovechables para que sean útiles y la empresa no puede sacar demasiado provecho. Con la implementación de soluciones tecnológicas Big Data este volumen de datos pueden ser gestionados con mayor facilidad, retenidos, clasificados, analizados de una manera mucho más precisa, interpretados y convertidos en herramientas de provecho para la empresa. Estos datos correctamente gestionados se convierten en herramientas útiles que ayudan a la toma de decisiones estratégicas en las empresas para aumentar sus beneficios.

Aplicando estas nuevas herramientas tecnológicas se consigue agilizar los sistemas de información, lo que permitirá a la empresa ser más ágil en la toma de decisiones y prever la demanda de manera más ajustada, de manera que tendrá más capacidad de reacción y podrá hacer frente más rápidamente a esta.

**Reto de gestionar el Big Data.**- Según Power Data (2015) Big Data es una realidad que las organizaciones no pueden obviar a la hora de sacar partido de los datos, uno de los principales activos del negocio. Pero la adopción de tecnologías que satisfagan esa necesidad no es una cuestión sencilla y, entre otros retos, implica el de gestionar datos estructurados y no estructurados, dar el salto al nuevo contexto creado por la revolución digital significa abordar la cuestión de los sistemas híbridos. Si el Business Intelligence se centra en analizar la causa de un resultado basándose en fuentes estructuradas de información, pongamos por caso, las tecnologías que sacan partido de los grandes datos se basan en la analítica predictiva. Confirmación frente a hallazgo de lo oculto, y en ambos casos el análisis de datos de distinto tipo es la clave de la inteligencia empresarial con el fin de mejorar tanto la productividad como la toma de decisiones para ser más

competitivos. Ambos sistemas conviven y deben integrarse siguiendo un diseño ad hoc, que facilite el cumplimiento de las expectativas empresariales. Idealmente, desde un enfoque data driven, apoyado en un cambio cultural y tecnológico de la organización, así como en un adecuado gobierno de los datos para su análisis y uso inteligente.

**Big Data en minería.**- Hugo Aguirre Mayorga publicó en su libro Minería de procesos: Fundamentos y metodología de aplicación (2016), en los últimos tiempos se ha ido posicionando el término Big Data para referirse al análisis de grandes volúmenes de datos con diferentes propósitos. Este tema lo han impulsado organizaciones, consultores y proveedores de tecnología que hacen alarde de la capacidad con que se cuenta actualmente para analizar estos datos, por lo tanto, la minería de procesos hace parte de este concepto (Big Data), puesto que puede usar grandes volúmenes de datos de ejecución de los procesos para generar valor a través del análisis y mejora de los procesos.

“Durante los últimos años la actividad de extracción de minerales ha crecido de manera significativa en el mundo” (Tanaka, Heber, Revezs, Diez, Ricard, & De Echavez, 2007). De igual forma el volumen de datos generados por aquella actividad. En Chile han implementado los avances tecnológicos, y están en busca de crecer a través de Big Data. “Teniendo las herramientas al alcance de la mano, han decidido aplicarlas en sus procesos para obtener mejoras que no sólo aumentarán y optimizarán la producción de cobre, sino además, cooperarán a la economía a nivel país.” (Espíndola, 2018).

**RAMP (Remote Asset Monitoring Process).**- Significa proceso de monitoreo remoto de activos, este servicio consiste en un diseño de tecnología especializada que fue preparado para ayudar a las operaciones mineras para poder obtener un

mejor uso de sus equipos y la oportuna toma de decisiones que se va a traducir en un aumento de la productividad y aumento en los ahorros.

**GPS.-** Sánchez (2013) Sistema de posicionamiento global, es un sistema de navegación basado en las señales de 24 satélites puesto en órbita por el departamento de estado de EE.UU. a partir del año 1970. Fue 100% operacional a partir del año 1994.

**Presión de suspensión en los camiones.-** Nos mide la presión en sí que ejerce las llantas traseras sobre la superficie por donde transita un camión minero.

**Ralentí.-** Se denomina ralentí en las zonas o rutas donde el motor se encuentra con freno del camión minero, específicamente el camión se encuentra frenado.

### **2.2.1. Norma internacional ISO 9001 2015.-**

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). Esta norma internacional se basa en los principios de la gestión de la calidad descritos en la norma ISO 9000, el cuál detalla:

#### **Liderazgo.-**

##### **Generalidades**

La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto al sistema de gestión de la calidad:

- a) asumiendo la responsabilidad y obligación de rendir cuentas con relación a la eficacia del sistema de gestión de la calidad;
- b) asegurándose de que se establezcan la política de la calidad y los objetivos de la calidad para el sistema de gestión de la calidad, y que éstos sean compatibles con el contexto y la dirección estratégica de la organización;

- c) asegurándose de la integración de los requisitos del sistema de gestión de la calidad en los procesos de negocio de la organización;
- d) promoviendo el uso del enfoque a procesos y el pensamiento basado en riesgos;
- e) asegurándose de que los recursos necesarios para el sistema de gestión de la calidad estén disponibles;
- f) comunicando la importancia de una gestión de la calidad eficaz y conforme con los requisitos del sistema de gestión de la calidad;
- g) asegurándose de que el sistema de gestión de la calidad logre los resultados previstos;
- h) comprometiendo, dirigiendo y apoyando a las personas, para contribuir a la eficacia del sistema de gestión de la calidad;
- i) promoviendo la mejora;
- j) apoyando otros roles pertinentes de la dirección, para demostrar su liderazgo en la forma en la que aplique a sus áreas de responsabilidad.

### **Mejora.-**

#### **Generalidades**

La organización debe determinar y seleccionar las oportunidades de mejora e implementar cualquier acción necesaria para cumplir los requisitos del cliente y aumentar la satisfacción del cliente.

Éstas deben incluir:

- a) mejorar los productos y servicios para cumplir los requisitos, así como considerar las necesidades y expectativas futuras;
- b) corregir, prevenir o reducir los efectos no deseados;
- c) mejorar el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

**Mejora continua.-** La organización debe mejorar continuamente la conveniencia, adecuación y eficacia del sistema de gestión de la calidad. La organización debe considerar los resultados del análisis y la evaluación, y las salidas de la revisión por la dirección, para determinar si hay necesidades u oportunidades que deben considerarse como parte de la mejora continua.

### **2.2.2. Análisis FODA.-**

El ingeniero estadounidense Albert S. Humphrey es señalado como el creador del análisis FODA, en el año 1970, el análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual de la empresa u organización, permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permita en función de ello tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados.

**Fortalezas:** son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y por los que cuenta con una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.

**Oportunidades:** son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.

**Debilidades:** son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia. Recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.

**Amenazas:** son aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atentar incluso contra la permanencia de la organización.



### **2.2.3. Sistema de Gestión Integrado.-**

Según Chara (2016) un sistema de gestión integrado supone la combinación de varios sistemas con el fin de reducir documentación, facilitar la gestión y disminuir costos para la empresa en nuestro país, es un sistema obligatorio por ley las empresas lo adquieren de modo opcional debido a sus ventajas. Es una realidad y una tendencia en las empresas actuales.

### **2.3. Análisis de investigaciones similares**

En el estudio de Espíndola (2018) hace referencia a Chile como uno de los países principales en América Latina en aplicar el Big Data en minería, debido también a que ha crecido bastante su extracción de minerales a nivel mundial (cobre) de la misma forma se ha incrementado su nivel de datos que se han generado por esta actividad, Chile ha adoptado esta tecnología y está buscando crecer a través del Big Data y ellos han decidido poder aplicarlos en sus procesos para poder obtener mejoras y mejorar también su productividad, de esta manera van a cooperar con la economía de su país.

En el estudio de Gil (2012) hace énfasis en la minería que es una actividad que genera una enorme cantidad de datos derivados de las múltiples actividades en minería, como por ejemplo la prospección geológica quién almacena datos geológicos acerca de sus componentes de los suelos y de la producción mina donde detalla su funcionalidad.

Rivera (2014) hace un estudio, de todas estas situaciones hacen que la minería ocupe un lugar preponderante en la economía nacional de los países y también considera que es una de las áreas con mayor generación de datos de donde se podría recoger, la inmensa cantidad de sensores que están sistemáticamente interconectados, estos van a dar infinitas posibilidades de datos,

con el que se podría aprovechar para bajar los costos, repotenciar sus procesos, entre otras importantes decisiones, debido a que contar con bastante información se puede analizar y procesar para poder marcar las diferencias significativas en la minería.

El trabajo que realizó Álvarez (2016), considera procesos que son importantes para una empresa minera, es decir que la gestión que se realiza va a medir la importancia de cuánto va a costar invertir para que pueda ser productivo y rentable, considerando el proceso de transporte de camiones el de mayor importancia en las operaciones mina debido a que representa el de mayor costo en el proceso de minado, debido también a que está involucrado el costo del combustible y los neumáticos, de allí la importancia de las vías.

Isidro Moyano (1974), en su estudio modelo matemático para la simulación de la carga y transporte en una mina a cielo abierto, hace referencia definiendo el delta para los camiones, este término es usado actualmente para medir la productividad de los camiones mineros.

Valeria Gonzales (2018), en su estudio hace mención la importancia de analizar la inactividad de los camiones, que también está relacionado al Big Data para nuestro estudio.

#### **2.4. Análisis crítico y comparativo sobre la literatura revisada**

Hemos optado por analizar cuadros estadísticos de Cerro Verde y de las otras minas de Freeport Mc Moran donde se ha implementado el Big Data para poder hacer comparativos como herramientas para el análisis de las variables como resultado de la gestión minera en mantenimiento de vías, el análisis del Delta definido por Isidro Moyano (1974) de los camiones mineros, ya que este parámetro nos va a permitir comparar entre un ciclo real vs. el ciclo óptimo en las vías y

determinar la eficiencia de los camiones, la inactividad de los camiones en las operaciones mineras definido por Valeria Gonzales (2018) que está relacionado al Big Data debido a que un camión operativo este encendido sin producir hará que aumenten los costos en la operación, así como también el porcentaje de puntos malos comparado con los puntos llamados buenos en las vías de accesos en la mina (datos estadísticos de modo comparativo), también nos va a servir el análisis de los neumáticos de los camiones que están relacionados con el mantenimiento de vías, vías en buen estado van a incrementar la vida útil de los camiones y poder llevar un registro de los eventos en las vías, esto al analizar dichos eventos nos va a permitir encontrar la causa raíz de los problemas en las vías, con el objetivo de corregirse.

Es importante mantener y cumplir con los estándares exigidos por la normativa peruana, las vías van a ser más seguras (ancho, pendiente, muros de seguridad, etc.) si se cumple con las exigencias del **D.S. 024-2016-EM**.

Va ser importante tener el liderazgo y los conceptos claros del ISO 9001 2015 como mejora continua por parte del equipo que cree y pueda aprovechar estas oportunidades, para así establecer una ventaja competitiva al lograr unir la tecnología con los recursos que ya están en la empresa y así poder dar impulso a nuevas eficiencias el cual incluye poder implementar y desarrollar una solución técnica combinada con la integración de las operaciones mineras, este equipo requiere de un gran compromiso de tiempo, dedicación y esfuerzo, ya que va a participar de forma activa, ya que no solo es implementar la tecnología sino desarrollar el proceso, las personas y los modos de participación que asegurarán un cambio positivo duradero.

## CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL

### Minería peruana en la actualidad

El Perú cuenta con una diversa variedad de recursos minerales entre las cuales se encuentra el cobre y el molibdeno. La minería en el país es de gran relevancia por su activa participación en el desarrollo económico, dado a su producción y su potencial, la minería peruana ocupa lugares trascendentes en Latinoamérica y el mundo. El estado peruano cumple un rol importante en la minería peruana ya que a través de la legislación actual busca un equilibrio mediante su política minera: económico, social y ambiental. Así mismo el estado peruano promulga y ejecuta normas para poder controlar la contaminación ambiental que se origina en la actividad minera, el estado peruano busca no afectar la fauna y la naturaleza peruana, además de preservar la sanidad de nuestro medio ambiente y el agua.

*Tabla 2. Producción de cobre en el mundo*

#### PROYECCIÓN 2019-2020 – PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE MINA

Miles de toneladas de cobre fino

	2018	2019 F			2020 F		
	Ktmf	Ktmf	var. %	Dif.	Ktmf	var. %	Dif.
Chile	5.832	5.832	0,0%	0	6.022	3,3%	190
Perú	2.437	2.508	2,9%	71	2.433	-3,0%	-75
China	1.507	1.484	-1,5%	-23	1.543	4,0%	59
RD Congo	1.225	1.397	14,0%	172	1.460	4,5%	63
EE.UU	1.216	1.234	1,5%	18	1.284	4,0%	49
Zambia	980	980	0,0%	0	1.098	12,0%	118
Australia	998	1.063	6,5%	65	1.085	2,0%	21
Indonesia	800	480	-40,0%	-320	336	-30,0%	-144
kasajastán	744	796	7,0%	52	764	-4,0%	-32
Rusia	735	735	0,0%	0	749	2,0%	15
México	827	786	-5,0%	-41	817	4,0%	31
Canadá	543	538	-1,0%	-5	527	-2,0%	-11
Otros	3.083	3.021	-2,0%	-62	3.051	1,0%	30
<b>Mundo</b>	<b>20.927</b>	<b>20.853</b>	<b>-0,4%</b>	<b>-74</b>	<b>21.168</b>	<b>1,5%</b>	<b>315</b>

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

En la tabla observamos a Perú como segundo productor de cobre en el mundo detrás de Chile.



*Figura 8. Arequipa lidera producción de cobre en el Perú Fuente Ministerio Energía y Minas*

En la figura observamos a Arequipa liderando la producción de cobre en el Perú, debido a que la mina Cerro Verde ha entrado en producción con su nueva planta concentradora C2 desde el año 2016.

### 3.1. Reseña Histórica

El yacimiento de pórfidos de cobre de Cerro Verde es uno de los primeros que se conocieron en Sudamérica. Fue descubierto en 1800 y se realizaron operaciones a pequeña escala intermitentemente hasta 1970 cuando el yacimiento pasó a ser propiedad de Minero Perú S.A. (de propiedad del Estado). Minero Perú S.A. inició la extracción y procesamiento de las reservas de óxidos en 1972 e instaló una planta de L-SX-EW y una concentradora en 1976. Minero Perú S.A. vendió Cerro Verde a Cyprus Climax Metals en 1994. Cyprus fue adquirido por Phelps Dodge en 1999. Freeport Mc Moran adquirió Phelps Dodge en el año 2007.

A lo largo de los años se realizaron diversos estudios relacionados a la justificación económica de la producción de recursos de sulfuros primarios que subyacían a los depósitos de óxidos. Ninguno de ellos ha resultado económicamente viable o satisfactorio a excepción de un estudio de factibilidad realizado por Phelps Dodge y SMCV en el año 2004, conduciendo al desarrollo de la primera expansión de la unidad de producción Cerro Verde, al incluirse en ella la planta concentradora (C1) para el tratamiento de los sulfuros primarios con inicio de sus operaciones en el año 2006.

En el año 2010 se hace el estudio de factibilidad de la expansión de la unidad de producción de Cerro Verde y ejecutándose el 2012, culminándose en el año 2016, año en el que inicia a trabajar la unidad de expansión C2, este estudio de factibilidad ha sido una herramienta referencial de planificación de la expansión en términos de análisis económicos y técnicos. Se reconoce que ésta expansión ha sido posible gracias al desarrollo y explotación alcanzados al momento por la unidad de producción Cerro Verde y considerando que las operaciones mineras están evolucionando de forma permanente principalmente con el desarrollo de la tecnología, y se van a requerir inversiones de acuerdo al desarrollo tecnológico y sus implementaciones las que ayuden a una mejora continua de las operaciones mineras.

### **3.1.1. Operaciones Mina Cerro Verde**

Actualmente, SMCV explota sus reservas mineras conformadas por sulfuros primarios y secundarios, a través del tajo abierto Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro a un ritmo promedio de 1, 000, 000 toneladas métricas diarias (TMD) considerando entre mineral y desmonte las cuales están conformadas en cuatro etapas: perforación, voladura, carguío y transporte o acarreo, además de las

operaciones auxiliares que se realizan. Los camiones mineros son los que llevan los distintos tipos de material a sus correspondientes destinos: desmonte al botadero, mineral de baja ley directamente de la mina al pad de lixiviación y el mineral de alta ley a las Chancadoras C1 y C2, por lo que están las vías de acarreo sistemáticamente unidas entre sí para el transporte de los distintos materiales de la mina hacia sus destinos.

SMCV cuenta actualmente con la siguiente flota de quipos mineros para sus operaciones de carguío y acarreo:

- 93 Camiones CAT 793 de 240 TM.
- 39 Camiones KOM 930 de 320 TM.
- 09 Palas Eléctricas P&H 4100.
- 03 Palas Eléctricas P&H 2800.
- 02 Pala Hidráulicas O&K RH200.
- 03 Cargadores frontales CAT 994.
- 13 Perforadoras PV 270.
- 05 Perforadoras Rock Drill SmartRocD65.
- 08 Motoniveladoras 24 M CAT.
- 04 Motoniveladoras 16 H CAT.

Número de trabajadores en Cerro Verde: 5000

Tabla 3. Flota de equipos proyectado en mina 2020 al 2045.

AÑO	Pala 4100	Pala 2800	Camión Acarreo 793	Camión Acarreo KOM 930	Moto-Niveladora 24 M	Moto-Niveladora 16M	Tractor de Ruedas 834 y 824	Tractor Oruga D11T	Tractor Oruga D10T	Cisterna Agua 777	Cisterna Agua 789	Perforador a Primaria Pit Viper 271	Perforador a Secundaria Rock Drill
2020	9	3	93	39	8	4	13	5	18	5	8	13	5
2021	9	1	104	39	8	8	13	5	18	5	8	10	5
2022	9	1	110	39	8	8	13	5	18	5	8	10	5
2023	9	1	119	39	8	10	13	5	18	5	10	10	5
2024-2028	10	1	130	39	8	11	14	5	19	4	11	11	5
2029-2033	10	1	145	39	8	13	13	5	19		18	11	4
2034-2038	9	-	151	29	8	14	11	4	17		18	10	4
2039-2043	8	-	113	19	8	9	8	3	10		13	7	4
2044-2045	5	-	99	-	8	5	7	3	8		10	5	3

Fuente datos proyectados entre los años 2020 y 2045 Cerro Verde

En la tabla observamos los equipos a ser usados desde el año 2020 hasta el 2045 que es el tiempo estimado de vida de la mina, esto para efecto de cálculos y dimensionamiento de la mina.



## Evolución de la producción mina por día en Cerro Verde 2012 - 2019

Tabla 4. Evolución de producción tonelaje movido x día.



En la tabla observamos la evolución de producción por día llegando a minarse 1,065,000 TMD en octubre del 2019. Fuente Cerro Verde.

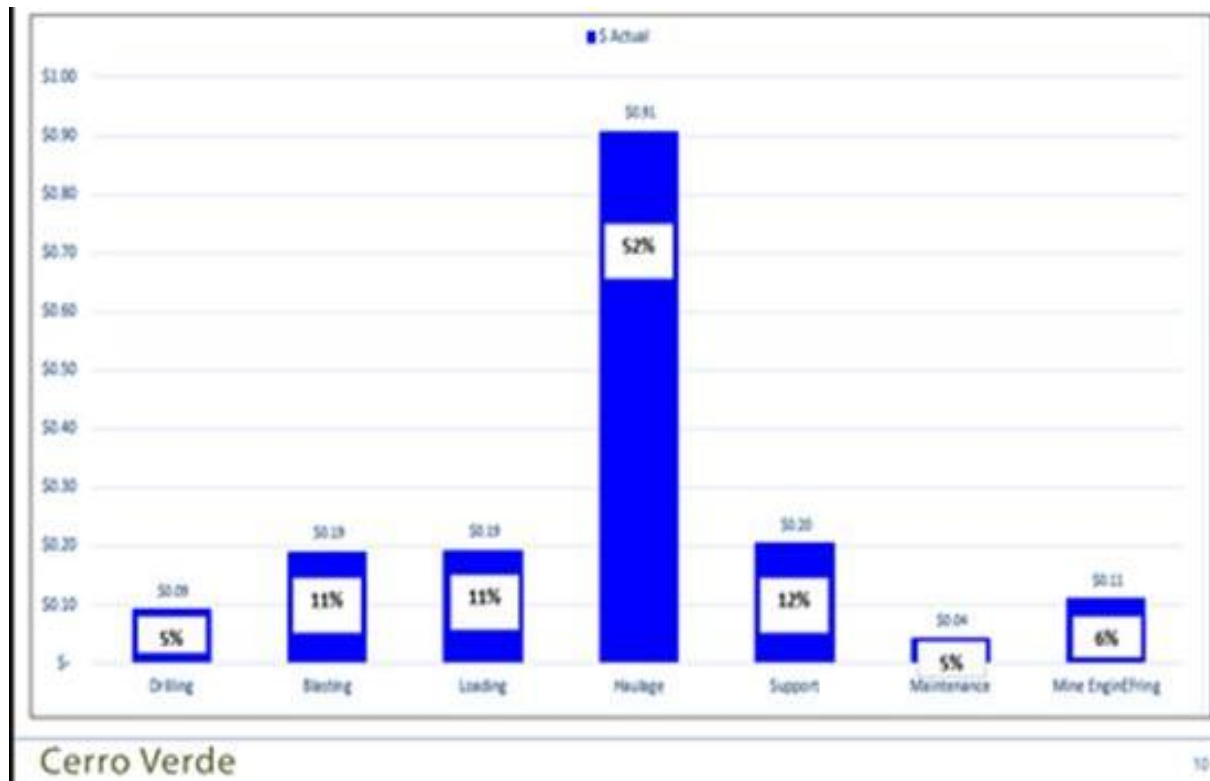
## Evolución de los Costos unitarios por tonelada minada mina Cerro Verde 2012 - 2019

Tabla 5. Costo unitario por tonelada minada. Fuente Cerro Verde.



En Cerro Verde el costo actual de minado es de 1.74 US/TM (noviembre del 2019), con este costo podemos cuantificar los gasto en operaciones mina, teniendo en cuenta que la producción x día es de aproximadamente 1,000,000 TMD.

Tabla 6. Costo unitario por tonelada minada. Fuente Cerro Verde.



En la tabla el costo por concepto de transporte minero o acarreo representa el 52 % del costo total de minado, que es el más relevante en operaciones mina.

### **3.1.2. Geología de la mina Cerro Verde**

Los tajos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro están ubicados en el departamento de Arequipa a una altitud promedio de 2,600 metros sobre el nivel del mar a unos 30 kilómetros de la ciudad de Arequipa entre los distritos de Tiabaya y Yarabamba. Está emplazado regionalmente en un área constituida por diversos tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas con edades geológicas comprendidas entre el precámbrico y el cuaternario reciente. El basamento en el área de Cerro Verde está constituido por las unidades lito estratigráficas, Gneis Charcani, conglomerado Tinajones, volcánico chocolate, formación Socosani y el grupo Yura, las cuales se encuentran cortadas por las super unidades granodiorita Tiabaya y granodiorita Yarabamba, rocas intrusivas del complejo la caldera.



*Figura 9. Geología mina Cerro Verde*

En la figura observamos la geología de la mina Cerro Verde en este caso mineral de alta ley se puede notar su color verdoso que se transportará hacia las chancadoras C1 y C2.

### 3.1.3. Diseño de las vías y accesos en mina Cerro Verde

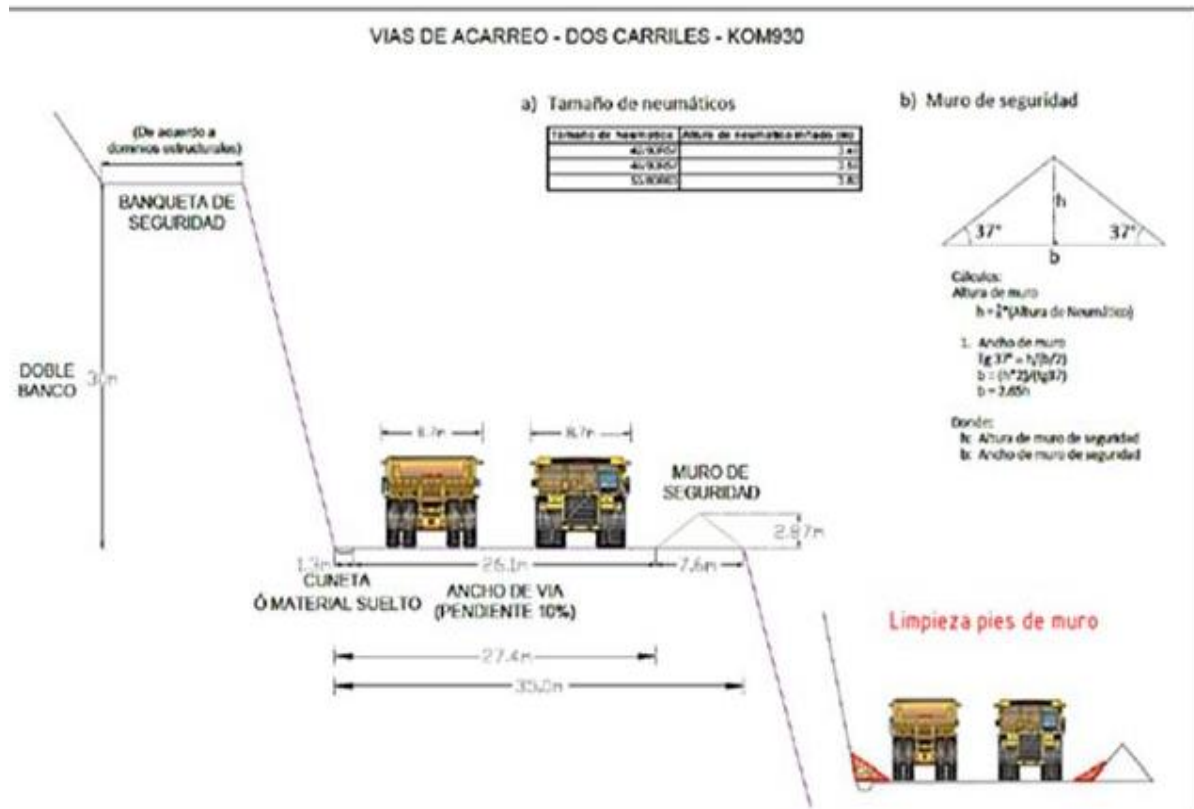


Figura 10. Sección típica de una vía Fuente Cerro Verde

En la figura podemos ver la sección típica de una vía en Cerro Verde, que consiste en su ancho, pendiente, cuneta, muro de seguridad, etc.

### 3.1.4. Mantenimiento de vías en mina Cerro Verde

El mantenimiento de vías consiste en arreglar las vías en mal estado debido a condiciones como son: tránsito de equipos, clima (lluvias), desniveles, subsidencia, hendiduras, tipo de material, etc. y esto es realizado de forma constante y permanente para lo cual se cuenta con los siguientes equipos:

- Motoniveladora CAT 24M

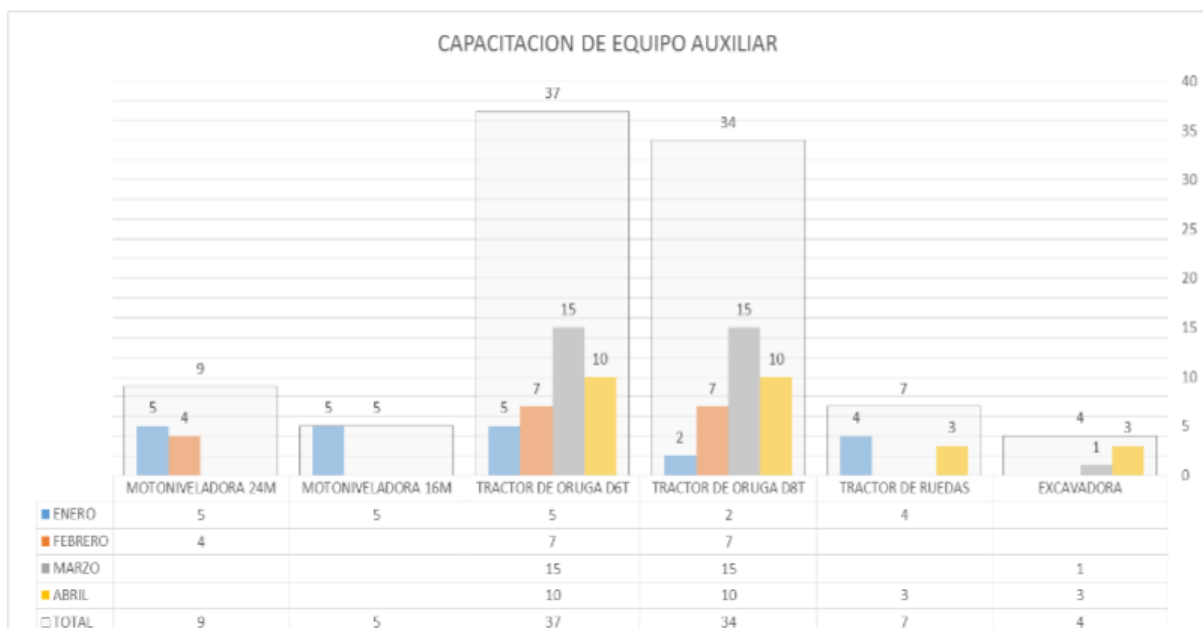
- Tractor de oruga y de ruedas 834 y 824
- Motoniveladora CAT 16H
- Excavadora CAT 390D
- Cisternas de agua 777 y 789
- Rodillos compactadores

### 3.1.5. Capacitación de los operadores de los equipos en Cerro Verde

Es de suma importancia la capacitación por la magnitud de la mina y todas sus vías debemos de contar con un área de entrenadores y su seguimiento en las operaciones mineras de los siguientes equipos:

- Tractores de orugas y de llantas
- Motoniveladoras
- Cisternas de agua 777 y 789
- Rodillos
- Excavadora

Tabla 7. Capacitación a operadores de equipo auxiliar para mantenimiento de vías.



Fuente Cerro Verde.

En el presente cuadro se puede observar la capacitación a los operadores de equipo auxiliar realizado entre los meses de enero a abril del 2019 quienes realizarán mantenimiento de vías en la mina.

### **3.2. Filosofía organizacional**

**Misión.-** Ser el líder de producción segura en minería de cobre de baja ley.

**Visión.-** Lograremos nuestra visión a través de:

- Excelencia en seguridad y medio ambiente.
- Excelencia en las personas
- Excelencia operacional
- Gestión de costos
- Responsabilidad social y de grupos de interés

**Certificaciones de la mina Cerro Verde.-** ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2007

**Política de calidad.-** Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es una empresa minero metalúrgica dedicada a la producción de cátodos de cobre, y concentrados de cobre y molibdeno, que asume los siguientes compromisos inspirados en la filosofía de mejora continua de sus operaciones:

- **Cumplir con los requisitos de nuestros clientes:** Buscando continuamente la satisfacción de nuestros clientes y atendiendo sus requerimientos asociados a la calidad de nuestros productos.
- **Mejorar continuamente nuestro proceso de producción:** Impulsando mejores prácticas operativas que influyan en la eficiencia de nuestros procesos de producción, fomentando la motivación en los trabajadores.
- **Mantener y revisar nuestro Sistema de Gestión de Calidad acorde a los lineamientos de la Norma ISO 9001:** Cumpliendo con los

requerimientos establecidos en la norma ISO 9001, con la finalidad de dar valor agregado a nuestros procesos productivos.

- **Difundir esta política a todos nuestros trabajadores:** Fomentando la participación de cada uno de los trabajadores con el entendimiento de nuestra política.

### **3.2.1. Liderazgo en la supervisión**

El área de operaciones mina está conformado por el siguiente personal:

Gerente General: Tomas Gonzales Paihua

Tabla 8. Organigrama de Operaciones Mina Cerro Verde

 <b>ORGANIGRAMA OPERACIONES MINA</b>							
TAPIA ECHEGARAY, FRANK		TORRES OLIVA, OSCAR ROBERTO		MEZA VILLACORTA, WILLY			
Operaciones Mina Carguio		Operaciones Mina Acarreo		Operaciones Mina Perforación y Voladura			
X2	TAPIA CHIPANA, JOSE LUIS	X1		B1	DIAZ VALDIVIA, HECTOR		
X4	TAPIA DIAZ, JOSE LUIS	X3	CONTRERAS ACUÑA, ALFREDO	XB1	LLEALLA TINTAYA, ENRIQUE		
X8	MOLINA ZAVALAGA, PABLO EDMUNDO	X5	COLQUE CHOQUE, JULIO CESAR	B5	HUMAN ZEGARRA, LIBALDO ABAD		
GRUPOS - OPERACIONES MINA							
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
01	ALCAZAR VALDIVIA, HUGO FELIPE	01	ACDO QUIROZ, FADIAN ANDRES	01	FLOREZ CABALLERO, BOCCO	01	ALVAREZ RAMOS, LUIS EDUARDO
0X	COLQUI HUMAN, CARLOS ALBERTO	0X	FOLLANO SUAREZ, JAVIER	0X	TENORIO ENCISO, ANDRES CARLOS ALBERTO	0X	GALLARDO SALAS, OSCAR YONATHAN
02	CASTRO ESPINOZA, JUAN	02	ESCOBEDO PAUCA, MARCO ANTONIO	02	DIOS HIDALGO, DARIO MIGUEL	02	LAZO CORZO, ARTURO DOMINGO
03	ROJAS RAMIREZ, LEVIN	03	PALACIOS MATAMET, MALIK DANTE	03	ALVAREZ GOMEZ, LUIS ENRIQUE	03	RAMIREZ MAZA, OMAR SANTIAGO
04	MUÑEZ RAMIREZ, ROSENDO JUAN	04	PAUCA PERALTA, JOSE MANUEL	04	GUERRA SALAZAR HUBERT	04	GARCIA AVILES, LUIS MIGUEL
05	VILCA PAUCAR, CHRISTIAN ANDRES	05	VARGAS CABANILLAS, NESTOR MIGUEL	05		05	PONCE DE LEON TELLEZ, JUAN JOSE
06	VARGAS CONCHA, CLEVER JORGE	06	CARDENAS SEGOVIA, JAVIER CRISTOFER	06	GUICAFIO ALMANZA, JUAN DE LA CRUZ	06	RAMOS HIDALGO, COCHON ISAAC
06T	URDAY ZUÑIGA, RICHARD ALEXANDER	06T	CALDERON AYMA, VICTOR GUILLERMO	06T	MUÑEZ CASTRO, JESUS TEOPILO	06T	SANCHEZ ZEGARRA, MIGUEL ANGEL
07	GOMEZ VILLANES, WALTER DAVEDO	07	MENDOZA TRUJILLO, FREDY	07	DEL CARPIO BUENO, JEFFRY YASMIR FAED	07	VEGA LEARRAGA, VICTOR LUIS
07T	AVALOS MOLINA, GONZALO JULIO	07T	MUÑEZ AGUILAR, MARCO ANTONIO	07T	TORRES JAUREGUI, PAULO CESAR	07T	ARIAS PALOMINO, WILLARD ACRAY



El liderazgo de la supervisión actúa de forma:

- Creación de auto seguridad, por la manera de crear la mejora continua por parte de los trabajadores.
- Fomentando los valores, dando confianza entre los trabajadores.
- Conformar relaciones sólidas y de cooperación, creando y fortaleciendo la moral en el centro laboral.
- Resolviendo desacuerdos y la toma de decisiones forjando la participación de las ideas de los trabajadores.
- Fomentar y promover el comportamiento para el logro de los objetivos de la empresa.

### **3.3. Diseño organizacional del Big Data en Cerro Verde**

Big Data es un viaje no un destino, según Kurt Lewin un científico socialista expreso “si quieres entender algo intenta cambiarlo” la necesidad de cambio debe de exceder a la resistencia, el resultado deseado del cambio debe ser claro, legítimo, ampliamente comprendido y sobre todo compartido la visión debe ser suficientemente convincente como para crear acción, definiendo el estado futuro con suficiente claridad para que las personas lo comprendan y sobre todo hacer que este cambio dure, una vez que se inicia el cambio perdure, florezca y los aprendizajes se transfieran a toda la organización.

El equipo tiene una definición preliminar del proyecto y debe estar de acuerdo en que son el grupo adecuado para defender el esfuerzo del cambio, el líder del equipo ha acordado los roles y las responsabilidades, el equipo debe tener una comprensión compartida de cómo desean trabajar juntos, estos esfuerzos definirán el modelo para aprovechar Big Data para garantizar una ventaja competitiva

continúa, a través del Big Data buscamos un reconocimiento compartido tanto para el equipo como por los componentes de la necesidad y la lógica.

### **3.3.1. Equipo Big Data en Cerro Verde**

Es importante asegurar que el equipo tenga las habilidades técnicas, analíticas, operativas y los procesos de apoyo necesarios para aprovechar de manera efectiva la tecnología, este equipo debe implementar el hardware y software de Big Data que consiste en Hortonworks, Hadoop y Revolution R, así como la creación de un equipo científico de Big Data que se asociará con la empresa para crear e implementar prácticas operativas modificadas.

### **3.3.2. Recursos Humanos del equipo Big Data**

#### **Recursos humanos para las operaciones mineras:**

#### **Equipo de la ciencia de datos**

- **01 científico principal**, es el cerebro del equipo, el líder conoce todo el alcance del proyecto Big Data, es el que define y documenta los requisitos del Big Data, gestiona y entrega, coordina con las partes involucradas y hace el desarrollo de presentaciones y gestión de equipos, traduce oportunidades comerciales en problemas matemáticos, así como va construyendo los modelos analíticos.
- **02 analistas de datos**, que serán los líderes de calidad, serán los que traducen las oportunidades comerciales en problemas matemáticos, así como la normalización de datos y herramientas de visualización construyendo modelos analíticos.

## **Recursos humanos gestión de sistemas de información (MIS):**

### **Gestión de Infraestructura**

- **01 arquitecto del Big Data**, quien va a tratar y analizar grandes volúmenes de datos, construye modelos analíticos, supervisa los proyectos operativos del Big Data, incluido el almacén de datos y la descarga de ETL, hace soporte de migración de datos, transformación y carga de datos.
- **02 desarrolladores Hadoop**, Hadoop es una estructura de software para almacenar datos, será quien configure y optimice los archivos del software (Hadoop, Sql, Columnar), hace mantenimiento y escalamiento de soluciones de producción para los clientes, ve también la automatización del ETL.
- **02 desarrolladores de ETL**, ETL es un término que se usa con referencia al movimiento y transformación de datos, que proviene de las siglas en inglés (extract - extraer, transform - transformar, load - cargar), será quién supervise los proyectos operativos del Big Data, incluido el almacén de datos y la descarga de ETL, así como el soporte de migración de datos y su transferencia y extracción.
- **01 ingeniero de infraestructura**, será quién diseñe, y está a cargo de la configuración del hardware, especificaciones, almacén y cableado de la infraestructura del hardware (computación, red y almacenamiento).

### 3.3.3. Organigrama Big Data

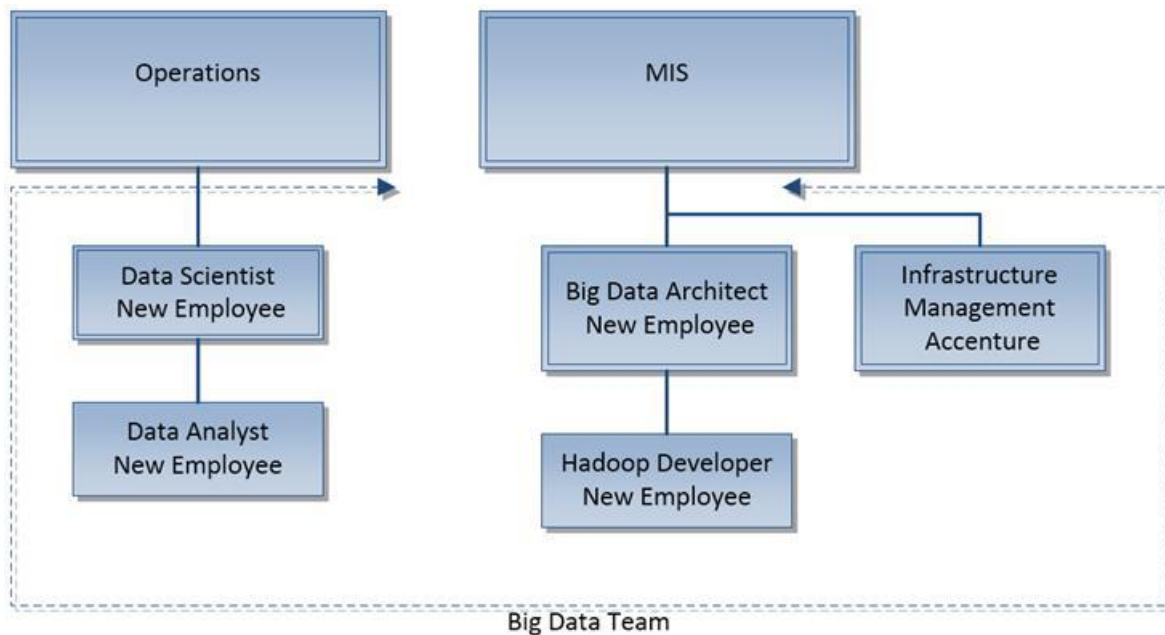


Figura 11. Organigrama del equipo Big Data Fuente Cerro Verde

En la figura observamos el organigrama del Big Data, con los recursos humanos mencionados, MIS es sinónimo de gestión de sistemas de información.

### 3.3.4. Influencia del Big Data en Cerro Verde

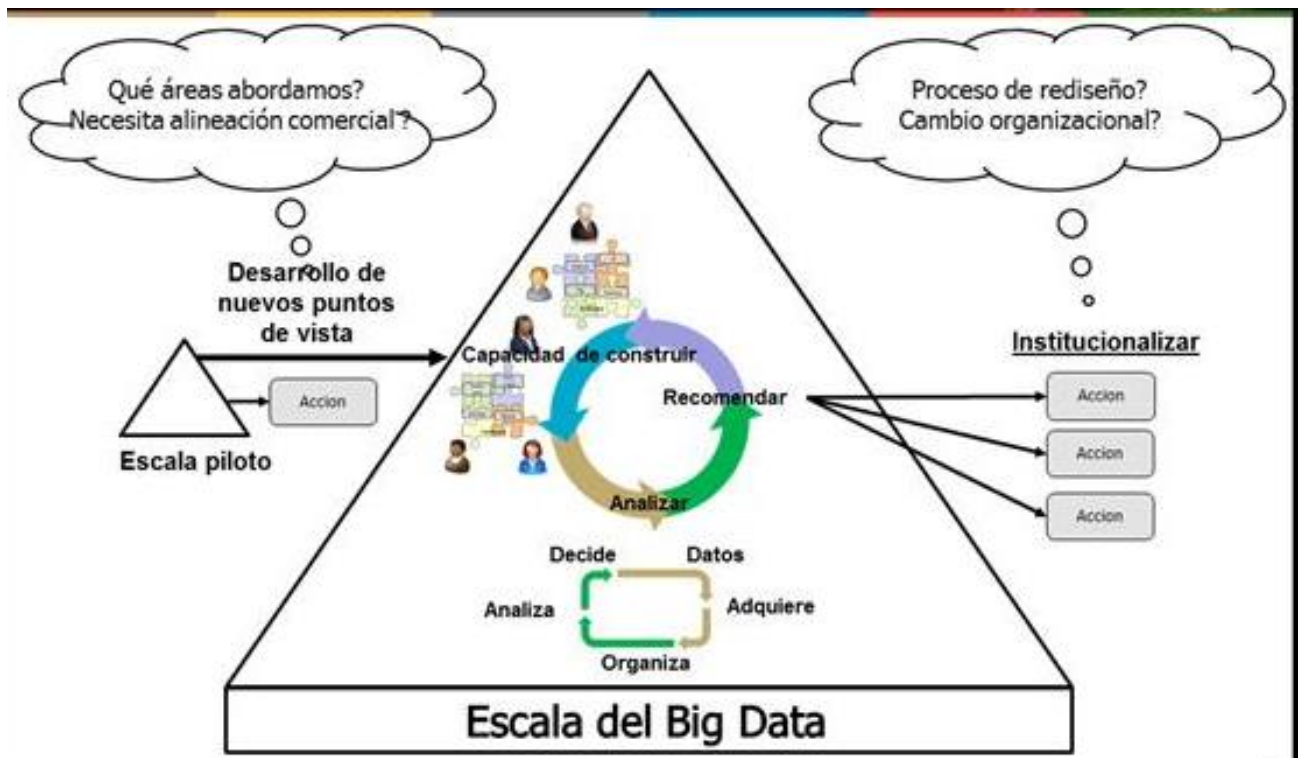


Figura 12. Big Data en Cerro Verde Fuente Cerro Verde

En la figura observamos cómo interactúa Big Data, con la finalidad de tomar acción de manera institucional, y poder tener una alineación comercial desarrollando varios puntos de vista y su capacidad para poder construir y recomendar al analizar datos, para luego culminar en la acción.

### **3.4. Ventajas del Big Data en Cerro Verde**

Para nuestro negocio minero hacer este cambio nos daría las siguientes ventajas: tendríamos una ventaja competitiva con respecto a otras empresas como es eliminar los puntos malos en las vías, ahorro de dinero, reducir la flota de camiones, la construcción de credibilidad, reducir costo del combustible, y sobre todo las decisiones son basadas en datos, y hacerlo nos daría la oportunidad de revigorizar una gran cantidad de oportunidades.

#### **3.4.1. Que debe lograr el Big Data en Cerro Verde:**

- Disminuir los puntos llamados malos en las vías de acarreo.
- Desarrollar e implementar una solución que reduzca el promedio de Delta C en las operaciones mineras.
- Implementar una solución que reduzca la inactividad excesiva en las operaciones mina, de manera tal que se mueva los datos a un modelo analítico a largo plazo y desarrolle informes que impulsen la acción.
- Implementar un método para predecir motores con riesgo de falla, y su revisión del enfoque analítico para mejorar las capacidades predictivas.

#### **3.4.2. Que hace diferente al Big Data**

La producción de datos se está expandiendo a una velocidad asombrosa, los controladores incluyen el cambio de tecnologías analógicas a digitales y la creación de datos estructurados y no estructurados por individuos y empresas a través de las redes sociales y la web, debido a su volumen, variedad, velocidad y veracidad.

ejemplos datos de sensores, internet, google earth, agencias gubernamentales, videos, audios, imágenes, transmisión de datos, instrumentación en tiempo real, datos de equipos inalámbricos, lecturas, observaciones, etc.

### **3.4.3. Oportunidades encontradas con el Big Data**

**Costo real del ciclo de transporte**, nos va a permitir analizar el ciclo de los camiones de acarreo visto desde un punto del Delta C, agregando a este si está operativo o inoperativo por mantenimiento, e investigar más a fondo los problemas relacionados con el motor, refrigerante, turbo, etc.

**Datos físicos**, consiste en el análisis de la presión de la suspensión de los camiones, velocidad de los camiones, así como también su temperatura del freno.

**Puntos llamados cuello de botella**, ubicar y analizar zonas donde operativamente se les llama embudo o cuello de botella en las vías de acceso y acarreo, considerando la velocidad del camión minero.

**Sistema de frenos**, debido a que nos permitirá predecir la vida útil del freno y la transmisión final al predecir y prevenir fallas.

### **3.5. Diagnóstico organizacional en Cerro Verde**

Según Edward Deming “sin datos, solo eres otra persona dando su opinión” en Cerro Verde se viene aplicando la gestión integrada para poder medir la eficacia y la eficiencia de los procesos, teniendo en claro sus objetivos y sus políticas siendo base del sistema de gestión integrado, teniendo como columnas vertebrales a: ISO 14001, ISO 9001, OHSAS 18001, las cuales están integradas para el logro del éxito sostenible.

Respecto al liderazgo y compromiso es importante poder destacar el nivel de concientización del personal respecto a los requisitos del sistema de gestión de la calidad, demostrando su participación en todos los niveles en la elaboración, implementación y mantenimiento del sistema.

Se mantiene el enfoque de gestión para el mejoramiento continuo de los procesos, lo cual queda demostrado a través de la revisión aleatoria de las principales mejoras realizadas de manera continua:



*Figura 13. Big Data en Cerro Verde Fuente Cerro Verde*

Haciendo el análisis FODA se encontró lo siguiente:

Fortalezas:

- 1.- Personal con experiencia, comprometido y competente para el proceso.
- 2.- Procedimientos establecidos y controlados.
- 3.- El sistema de gestión de integrado complementa al sistema de gestión de calidad porque se tiene una buena gestión de los riesgos de seguridad y medioambientales.
- 4.- Existe baja rotación del personal.
- 5.- Manejo eficiente de los recursos.
- 6.- Aseguramiento de la calidad sostenida en el tiempo.
- 7.- Bajo consumo de agua en el proceso.

Valoración = 7

Oportunidades:

- 1.- Reforzamiento de programas de mejora continua.
- 2.- Involucramiento a la supervisión en el mantenimiento de la nueva versión de la norma ISO 9001:2015.
- 3.- Continuar con actividades para mejora del clima organizacional.
- 4.- Implementar herramientas informáticas utilizadas en el seguimiento al desempeño de la gestión de la calidad.
- 5.- Implementación oportuna de mejoras de acuerdo al seguimiento de las partes interesadas.

Valoración = 5

Debilidades:

- 1.- Información redundante en algunos formatos.
- 2.- Antigüedad de equipos.
- 3.- Necesidad de reforzar la actitud del personal nuevo.

Valoración = 3

Amenazas:

- 1.- Variación del precio del cobre.
- 2.- Conflictos sociales, laborales.
- 3.- Seguridad informática de información sensible del sistema de gestión de la calidad.

Valoración = 3

El resultado de liderar el cambio es visible, activo, dispuesto a tomar iniciativas de cambios, así como la claridad en los roles para poder lograr este cambio, el líder es conocido como un defensor del cambio, para poder liderar este cambio hay que dominar el proceso muy bien para acelerar el cambio, se debe



administrar tiempo, energía y enfoque y poder demostrar competencias de liderazgo requeridas para el cambio, la razón para cambiar ya sea impulsada por una amenaza u oportunidad, se inculca dentro de la organización y ampliamente compartido a través de datos, demostración, demanda o diagnóstico, la necesidad de cambio siempre debe exceder a la resistencia, recordemos que la comunicación de un propósito claro ayuda a superar la resistencia al cambio, al tener una visión clara de los objetivos ayuda a los miembros del equipo a practicar y enmarcar la necesidad de articular la visión de una manera clara, simple y significativa, proporcionando información se reduce la incertidumbre y ayuda a decidir entre alternativas, este equipo interfuncional del Big Data va a analizar datos para identificar oportunidades de causa raíz que van a mejorar el proceso minero, Big Data es vital para mantener la ventaja competitiva y se maximice los recursos que son de clase mundial.



Figura 14. Vista de operaciones integradas Fuente Cerro Verde

En la figura observamos que a largo plazo Big Data va a dar impulso a una mayor comprensión de las operaciones cada vez más centrado e integrado en la tecnología (software minero).

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. Uso del Big Data**

Freeport Mac Moran ha apostado de manera continua en ser una prioridad invertir en procesos y sistemas que brinden la información requerida para poder administrar un negocio basado en datos, se ha establecido una ventaja competitiva al unir la tecnología con los recursos que cuentan las operaciones mineras, este avance tecnológico ha brindado la oportunidad de obtener información sobre el negocio minero e impulsar nuevas eficiencias. Las soluciones del Big Data se caracterizan por procesar grandes volúmenes de datos que tienen una amplia variedad de tipos de datos y deben procesarse a alta velocidad. Estos tipos de datos no pueden procesarse por medios tradicionales y requieren de un enfoque diferente. La estrategia de Big Data incluye desarrollar e implementar la solución técnica combinada con la integración con las operaciones mineras para lograr resultados óptimos, dada la tremenda oportunidad que se nos presenta, hemos formado un equipo que aprovechará estas capacidades para acelerar el cambio en las áreas operativas.

#### **Proceso de implementación del Big Data**

1. Implementar el hardware y software Big Data, incluidos Hortonworks, Hadoop, y Revolution R.
2. Crear un equipo científico de Big Data que se asocie con todas las fases del negocio minero para poder resolver problemas mineros críticos.
3. Desarrollar e implemente una solución que reduzca el promedio de Delta C en 0.25 minutos en las operaciones mineras, considerando que actualmente el Delta C en la mina es de 7.5 minutos.
4. Implementar una solución que reduzca la inactividad excesiva en un 25% en las operaciones y se genere ahorros para la empresa.

Completar este trabajo con éxito requiere de un gran compromiso en tiempo y esfuerzo, para esto se requiere que todos los involucrados deben de participar activamente y de forma proactiva, no solo implementar la tecnología, sino que se debe desarrollar los procesos, las personas y los modelos de participación que aseguran un cambio positivo duradero y exitoso.

## 4.2. Costos del Big Data

Tabla 9. Oportunidad de ahorros inactividad excesiva y combustible. Fuentes propios.

Mes	Días	Numero Camiones Cerro Verde	Prom. de Inactividad camión (Hr)	Inactividad Excesiva	350 US\$ x Horas	25% oportunidad de ahorro	Consumo Galones (8 GPH)	Ahorro en combustible	25% oportunidad de ahorro
Enero	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Febrero	29	132	1.2	4593.6	1607760	401940	36748.8	128620.8	32155.2
Marzo	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Abril	30	132	1.2	4752	1663200	415800	38016	133056	33264
Mayo	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Junio	30	132	1.2	4752	1663200	415800	38016	133056	33264
Julio	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Agosto	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Septiembre	30	132	1.2	4752	1663200	415800	38016	133056	33264
Octubre	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Noviembre	30	132	1.2	4752	1663200	415800	38016	133056	33264
Diciembre	31	132	1.2	4910.4	1718640	429660	39283.2	137491.2	34372.8
Total			1.2	57974.4	20291040	5072760	463795.2	1623283.2	405820.8

En la tabla observamos que se puede hacer un ahorro de hasta 5 millones de dólares por año y ahorro en combustible un promedio de 400,000 dólares al año.

Tabla 10. Inversión en Tecnología.

<b>Tecnología</b>	
<b>Item</b>	<b>Cantidad (US\$)</b>
Hardware	\$300,000.00
Software	\$200,000.00
<b>Total</b>	<b>\$500,000.00</b>

Fuentes propios

La inversión en tecnología (software y hardware) sería de 500,000 dólares.

Tabla 11. Inversión en consultoría y entrenamiento.

<b>Consultoría/Entrenamiento</b>	
<b>Item</b>	<b>Cantidad (US\$)</b>
WWT	\$1,800,000.00

Fuentes propios

La inversión en consultoría y entrenamiento sería de 1,800,000.0 dólares.

Tabla 12. Gasto por año en personas expertas.

<b>Personas</b>	
<b>Rol</b>	<b>Gasto Anual (US\$)</b>
Científico de datos	\$200,000.00
Arquitecto de datos	\$200,000.00
Analista de datos (2)	\$200,000.00
ETL Desarrollador (2)	\$200,000.00
Hadoop DBA	\$100,000.00
Ingeniero de Infraestructura	\$100,000.00
<b>Total</b>	<b>\$1,000,000.00</b>
<b>Año 1</b>	<b>\$3,300,000.00</b>
<b>En marcha</b>	<b>\$1,000,000.00</b>

Fuentes propios

El gasto por año en personal experto en Big Data es de 1,000,000.0 dólares x año, en el primer año es de 3,300,000.0 dólares por la inversión.

Tabla 13. Resumen de ahorro e inversión en primer año.

<b>Item Resumen</b>	<b>US\$</b>
Ahorro x año	\$5,478,580.80
Inversión año 1	\$3,300,000.00
Gasto en marcha	\$1,000,000.00

En la tabla se puede observar en resumen el ahorro x año por concepto de inactividad excesiva y combustible es de 5,478,580.0 dólares.

### 4.3. Cálculo del Beneficio/Costos del Big Data.

Tabla 14. Flujo de caja para la vida de la mina. Fuentes propios.

FLUJO DE CAJA			
Años	Inversión (US\$)	Ahorros (US\$)	Gasto en Marcha (US\$)
2019	\$3,300,000.00	0	0
2020		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2021		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2022		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2023		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2024		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2025		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2026		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2027		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2028		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2029		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2030		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2031		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2032		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2033		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2034		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2035		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2036		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2037		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2038		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2039		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2040		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2041		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2042		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2043		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00
2044		\$5,478,580.80	\$1,000,000.00

Esto considerando la vida en años de la mina = 25 años (según reservas geológicas)

Tasa de descuento = 10 % (para efectos de cálculo)

Tabla 15. Resumen de flujo de caja considerando 25 años de vida de mina.

SUMA DE AHORROS	\$49,729,297.16
SUMA DE GASTOS	\$9,077,040.02
GASTO-INVERSION	\$12,377,040.02
B/C	4.02

B/C = 4.02, por lo tanto se recomienda la inversión debido a que existen beneficios, por lo que los ahorros es mayor a los gastos y costos, los ahorros son superiores a los gastos, resulta muy atractivo por que por cada dólar invertido se tendrá 4.02 dólares en ahorros.

#### 4.4. Vías en la mina Cerro Verde

Tabla 16. % resultados del mantenimiento de vía mina Cerro Verde la mejor por ahora. Fuente Cerro Verde.



En la tabla podemos observar que se ha logrado que las vías de Cerro Verde han llegado hasta el 98.5% en excelentes condiciones, el reto para adelante es poder mantener estos resultados y en todo caso mejorarlo.



#### 4.5. Plan de mantenimiento de vías día 21 al 24 de diciembre del 2019

Para efecto de nuestro estudio los siguientes cuadros y figuras son del plan de mantenimiento de vías de los días 21 al 24-12-2019, el cual es objeto de este presente estudio.

1. Se envía el siguiente Plan de Trabajo para Mantenimiento de Vías para su cumplimiento desde el 21 de Diciembre al 24 de Diciembre.
2. Se debe aprovechar las paradas de las palas por PM o paradas no programadas prolongadas durante estos días y buscar oportunidades para poder aprovechar el mantenimiento de vías hacia estos equipos y la evaluación de la correcta ubicación de puentes aéreos y cables eléctricos. Nuestro objetivo será mantener pendientes con un máximo del 10% y anchos de vías mínimo de 26.1 m. en todas nuestras rutas de acarreo.
  - **Sábado 21:** Pala 06 por reparación de fisura en el tambor por 24 horas.
  - **Domingo 22:** Pala 20 tiene PM por 14 horas.
  - **Lunes 23:** No se tiene PM programado por traslados de Pala 15 y Pala 19.
  - **Martes 24:** Pala 16 tiene PM por 14 horas.
3. Se envía el plano del Big Data, según eventos en la suspensión de los camiones de acarreo, evaluarlos y corregirlos, en especial en las zonas de descarga en botaderos.
4. Se debe continuar conversando con los operadores de tractor de ruedas y operadores de motoniveladora sobre la expectativa que tenemos para con su trabajo en el mantenimiento de vías.
5. En coordinación con la Superintendencia de Carga se asigna trabajos de mantenimiento de vías para todas las fases y botaderos, se deben de cumplir con estos planes en su totalidad.
6. Se adjunta plan de Lastrado de vías, debemos evaluar las rutas a lastrar, según la mejor oportunidad para darle continuidad a este trabajo.

---

*Figura 15. Plan de trabajo semana del 21 al 24 de dic 2019 Fuente Cerro Verde*

En la figura el supervisor senior de Big Data presenta el plan de mantenimiento de vías para los días del 21 al 24 de diciembre del 2019, donde se incide en la búsqueda de oportunidades de mejora donde involucre la interacción que se va a tener con otras áreas como por ejemplo mantenimiento mecánico, personal de cables eléctricos, y se incide en la construcción de vías y rampas tengan un ancho mínimo de 26.1 metros y 10% de pendiente máxima, también se resalta la importancia de la proactividad y del liderazgo visible que son necesarios para mantener los estándares de calidad exigidos por la operación minera.

## ANCHOS DE VÍAS DE ACARREO

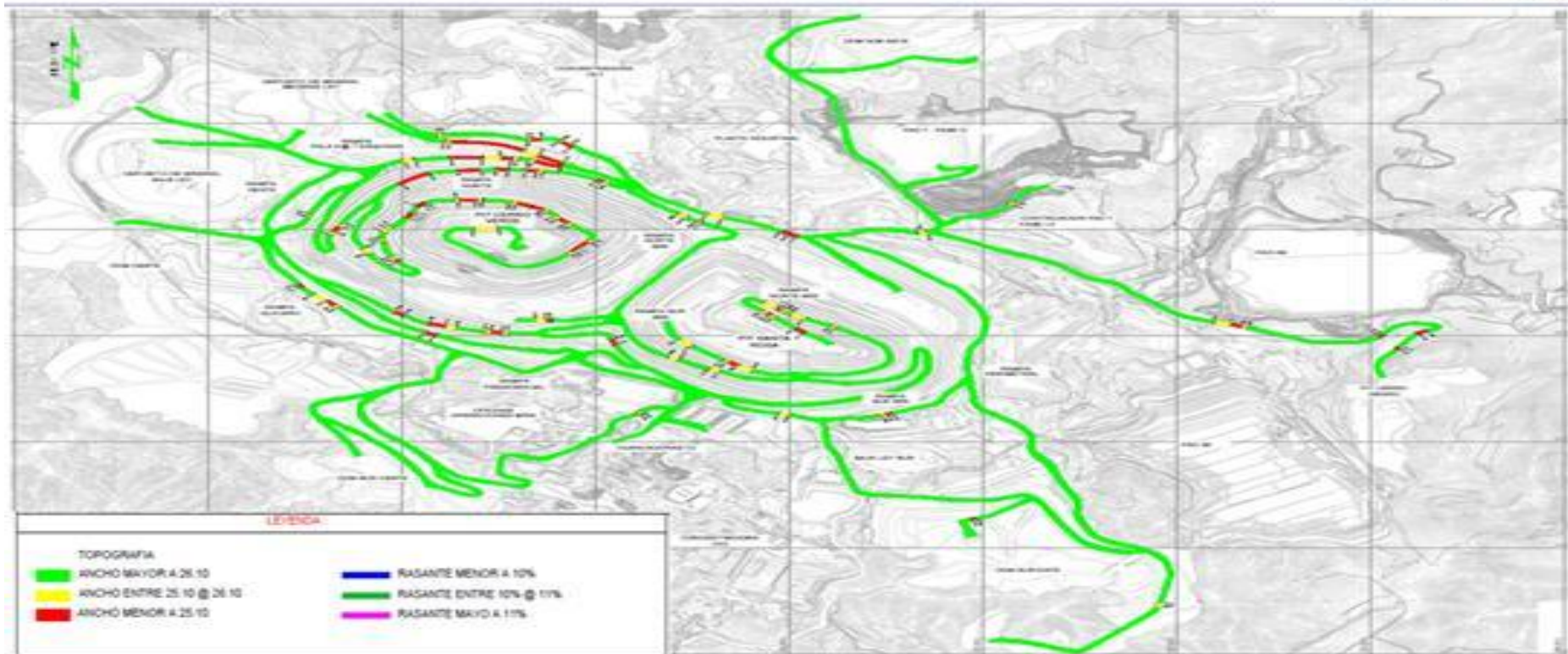


Figura 16. Plan de trabajo de anchos de vías de acarreo Fuente Cerro Verde

En la figura podemos observar el plano de la mina con sus respectivos anchos en toda su longitud de color verde está de acuerdo al estándar, existiendo zonas en color rojo que falta corregir y ensanchar, que deben ser tomados en cuenta por las operaciones mina.

## PLANO DEL BIG DATA

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE.

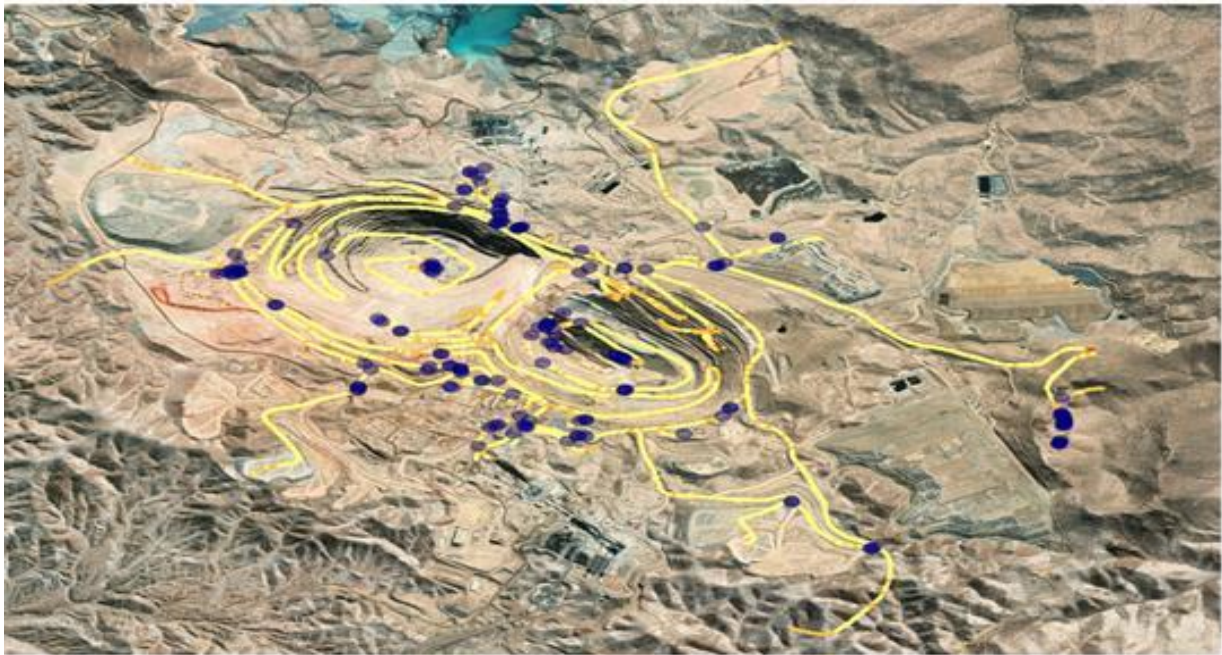


Figura 17. Plano Big Data Fuente Cerro Verde

En la figura observamos el plano Big Data de la mina, donde se identifican los puntos en las vías a corregirse en forma de un color diferente (azules) a las vías, para poder ser identificados y poder corregirse.

## PLANO DEL NUMERO DE EVENTOS

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE.



Figura 18. Plano del número de eventos y su prioridad Fuente Cerro Verde

En la figura podemos observar los puntos a corregirse de acuerdo a prioridades y también facilita su identificación dando la alternativa de poder evaluarlo, y poder ser corregidos para alcanzar su máxima productividad de los camiones.

Tabla 17. Puntos malos en las rutas por día. Fuentes propios.

## PUNTOS MALOS EN LA RUTA POR DIA

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE

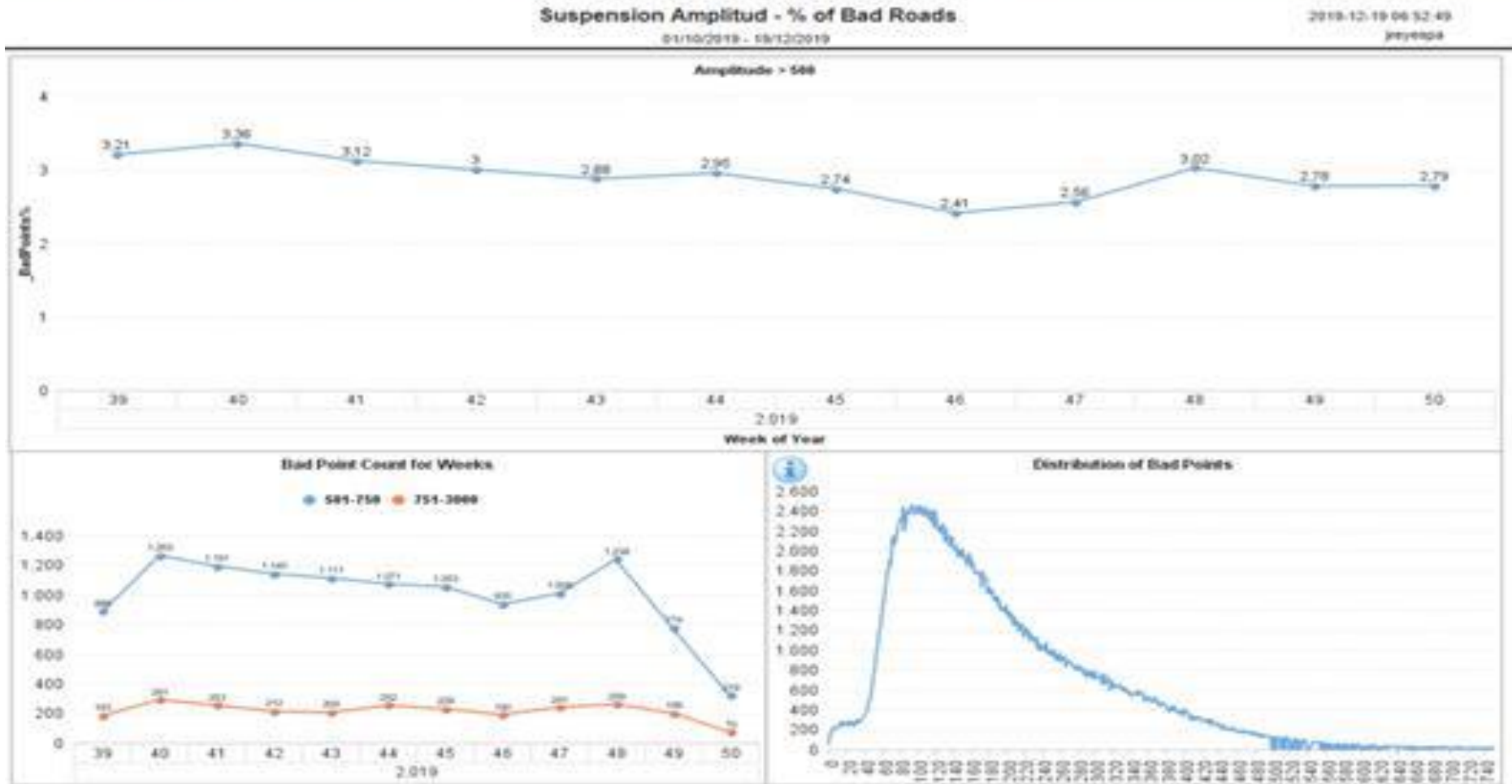


En el cuadro podemos identificar los puntos malos por día, de los días anteriores al programado por ejemplo el día 12-diciembre se tiene 201 puntos malos.

Tabla 18. Puntos malos en las rutas por semana. Fuentes propios.

# PUNTOS MALOS EN LA RUTA POR SEMANA

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE.



En la tabla podemos observar que en la semana 39 del año 2019 se tiene 3.21 % de puntos malos, y así sucesivamente se tiene el control x semana, esto es considerando el porcentaje de vías en mal estado empleando como amplitud la suspensión de los camiones, también podemos observar la distribución normal sesgada a la izquierda de los puntos llamados buenos, esto con la finalidad de ir trabajando y poder bajar este porcentaje de puntos malos en las vías, como entendemos este representa el porcentaje de puntos a corregirse en las vías de la mina.

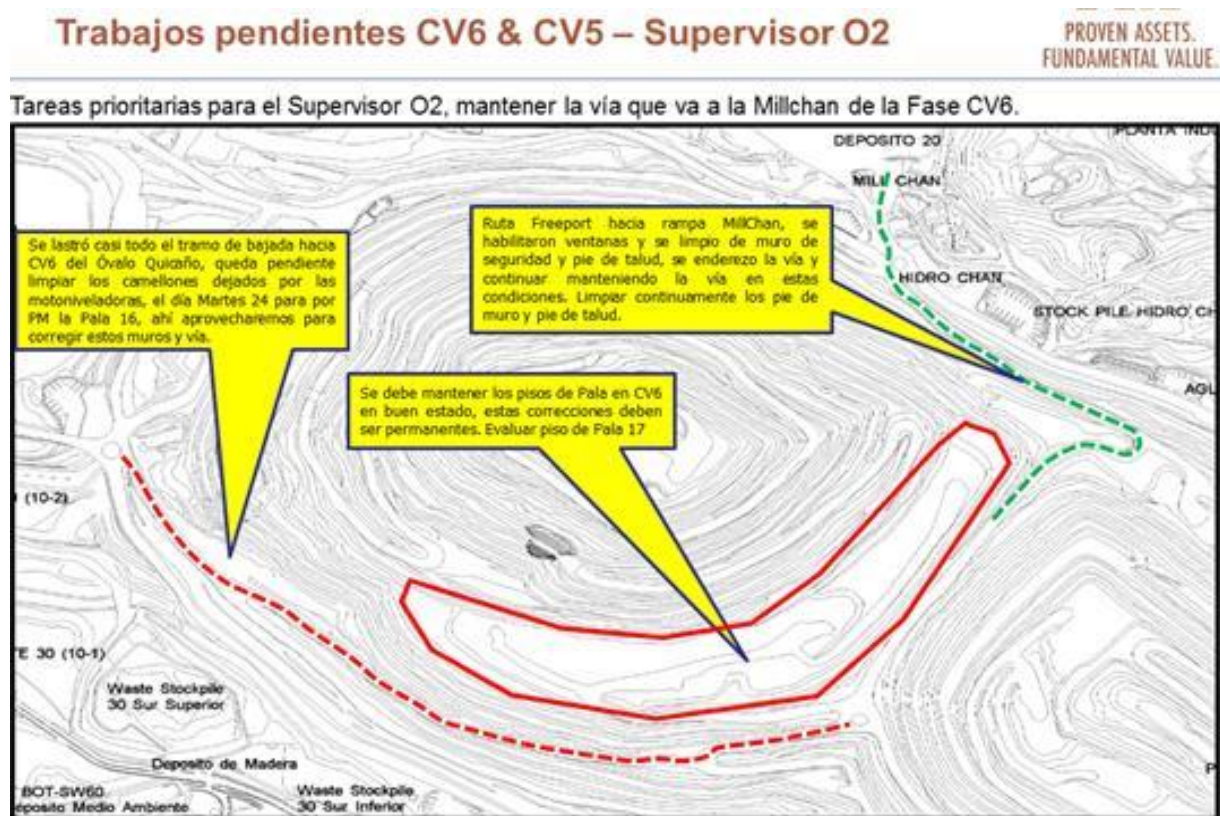


Figura 19. Trabajos pendientes Cerro Verde fases 5 y 6 Fuente Cerro Verde

En la figura observamos los trabajos a realizarse como prioridad en una de las fases, prioridad nos indica que es urgente realizarlo para el tránsito de los camiones.

## Trabajos en SR7 – Supervisor O3

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE

Tareas prioritarias para el Supervisor O3, la rampa de diseño se debe limpiar continuamente los pie de muro y pie de talud al igual que las ventanas donde se deposita este material, adicional se debe mantener los pisos de todas las palas de esta fase. Se lastró las rampas hacia esta fase, tanto por el lado Norte como por el lado Sur, se debe continuar con este trabajo constante.

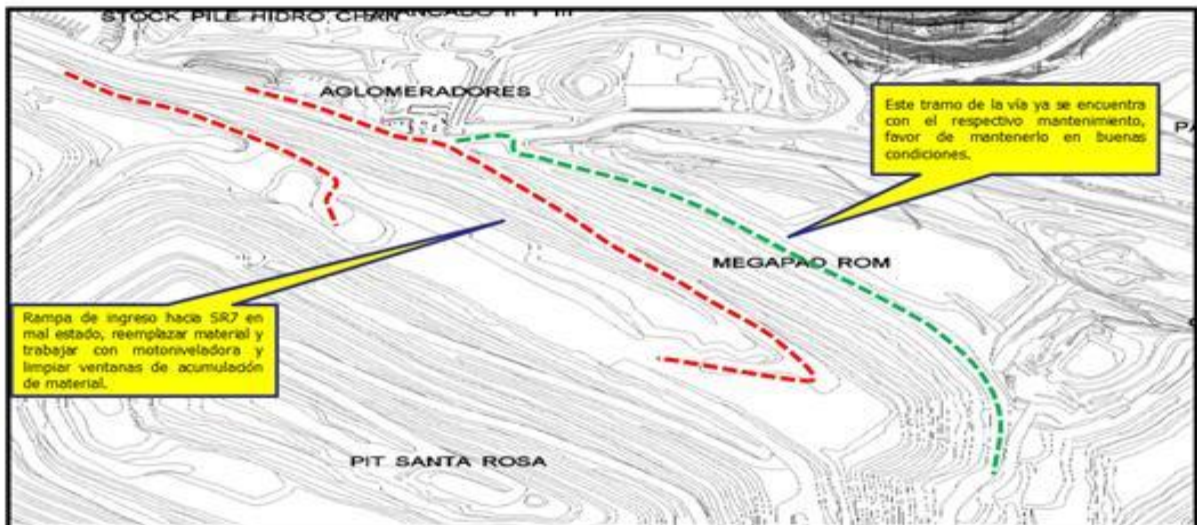


Figura 20. Trabajos pendientes Santa Rosa fase 7 Fuente Cerro Verde

En la figura observamos que es necesaria la constante limpieza en las vías debido a que no cumple con el ancho estándar de las vías de la mina, y por consecuencia va a causar retraso en el tránsito de los camiones.

## Trabajos en SR7 – Supervisor O3

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALU

Tareas prioritarias para el Supervisor O3, mantener pisos y rutas de ingreso y salida hacia la Pala 11 y Pala 21.

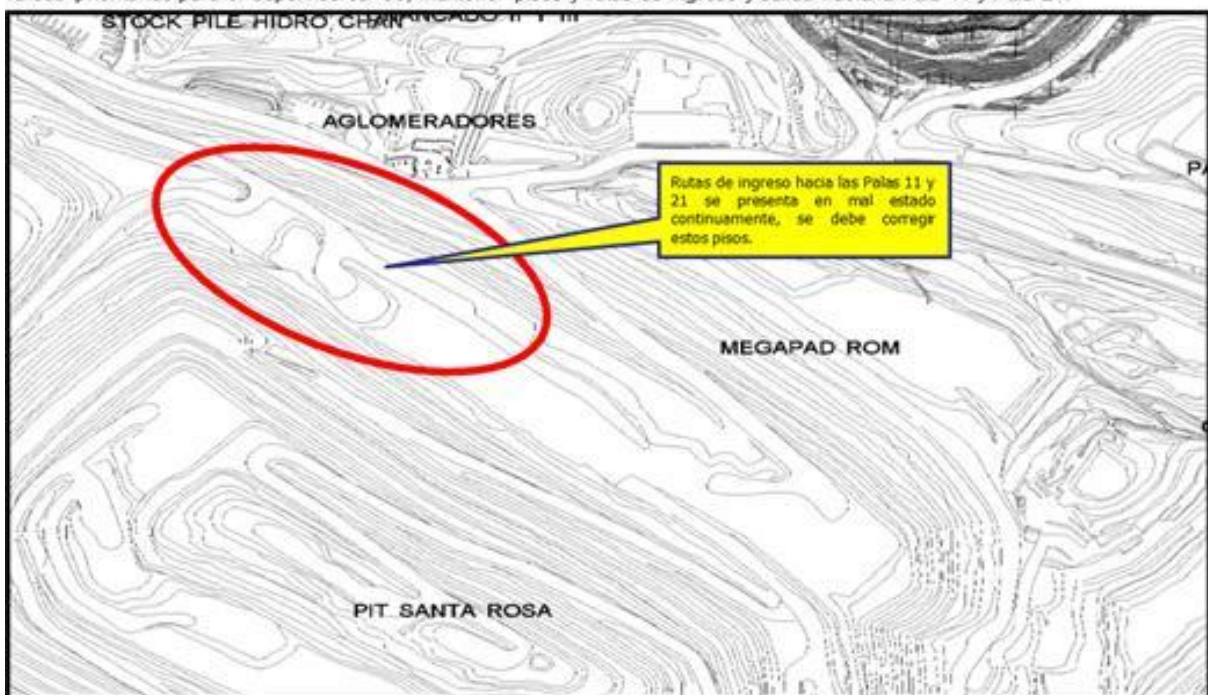


Figura 21. Trabajos pendientes SR fase 7 Fuente Cerro Verde



En la figura observamos de la misma manera una ruta en mal estado para poder corregirse, generalmente estos trabajos tienen que hacerse de inmediato.

## Trabajos SR5 & SR6 – Supervisor O4

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALU

Tareas prioritarias que deben cumplir los Supervisores O4, mantener la vía que sube del Óvalo de SR6 hacia el Óvalo de CV6, se tienen ventanas en esta zona, en el último tramo de la vía hacia el piso de las palas buscar el momento para continuar limpiando pies de muro de seguridad. Se debe limpiar continuamente los pie de muro y pie de talud en esta fase, se llena fácilmente sino se hace la limpieza continua con el tractor de ruedas.

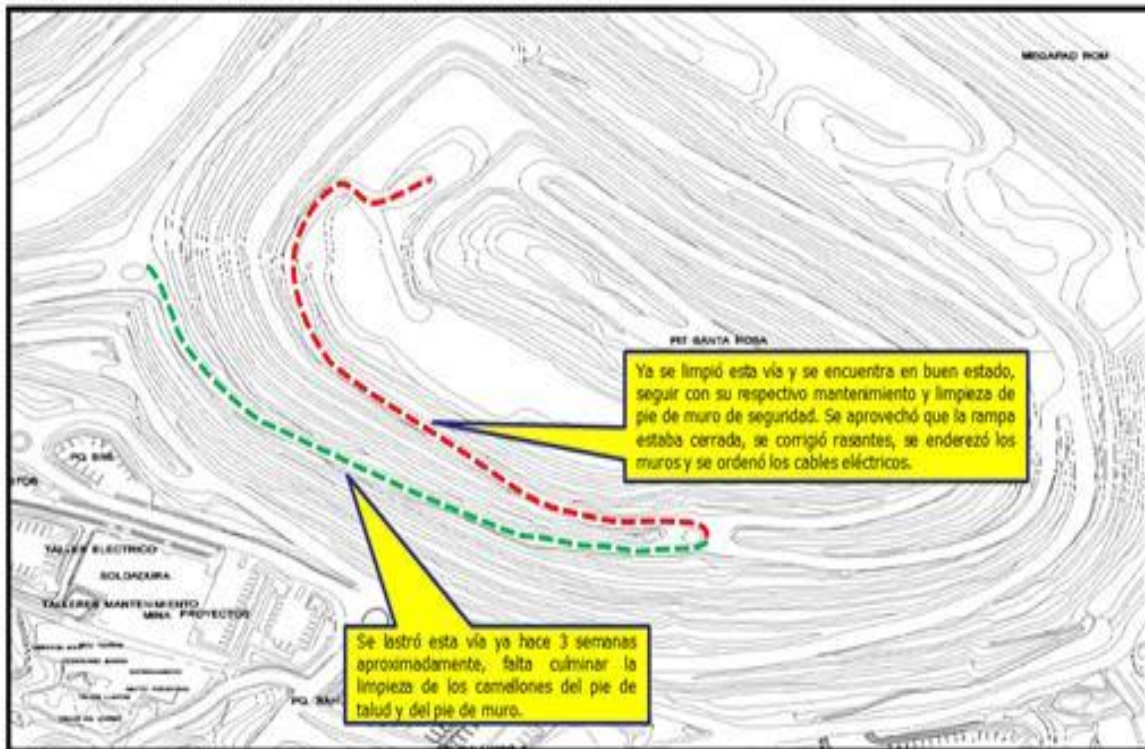
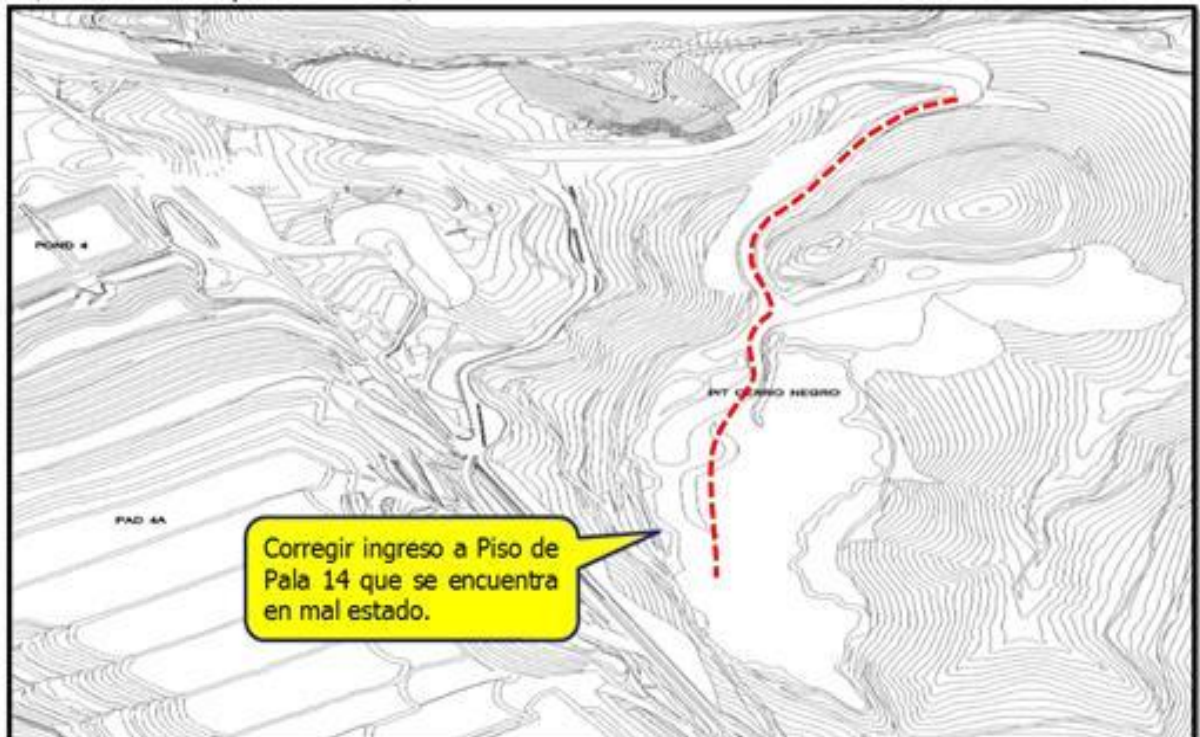


Figura 22. Trabajos pendientes Santa Rosa fases 5 y 6 Fuente Cerro Verde

En la figura se observa que aún falta culminar el lastrado de un tramo de la vía y nos anticipa de las irregularidades que existe en esta zona, y pone énfasis en cumplir al ancho mínimo de la vía y también solicita apoyo de un tractor de rueda para cumplir este objetivo.

Tareas prioritarias que debe cumplir el Supervisor O5 de turno, corregir ingreso y piso de Pala 14 en mal estado, evaluar también piso de Pala 07, esta debe ser una iniciativa constante.



*Figura 23. Trabajos pendientes Cerro Negro Fuente Cerro Verde*

En la figura nos indica la existencia del inadecuado ingreso hacia el piso de una pala en mal estado por lo que se requiere de la corrección del mal estado de la vía.

## Trabajos Pendientes de limpieza en las vías.

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE

- Limpieza pie de muros hacia el Culvert 4



- Limpieza pie de muros y talud de CV6 hacia la ruta del Culvert 3.



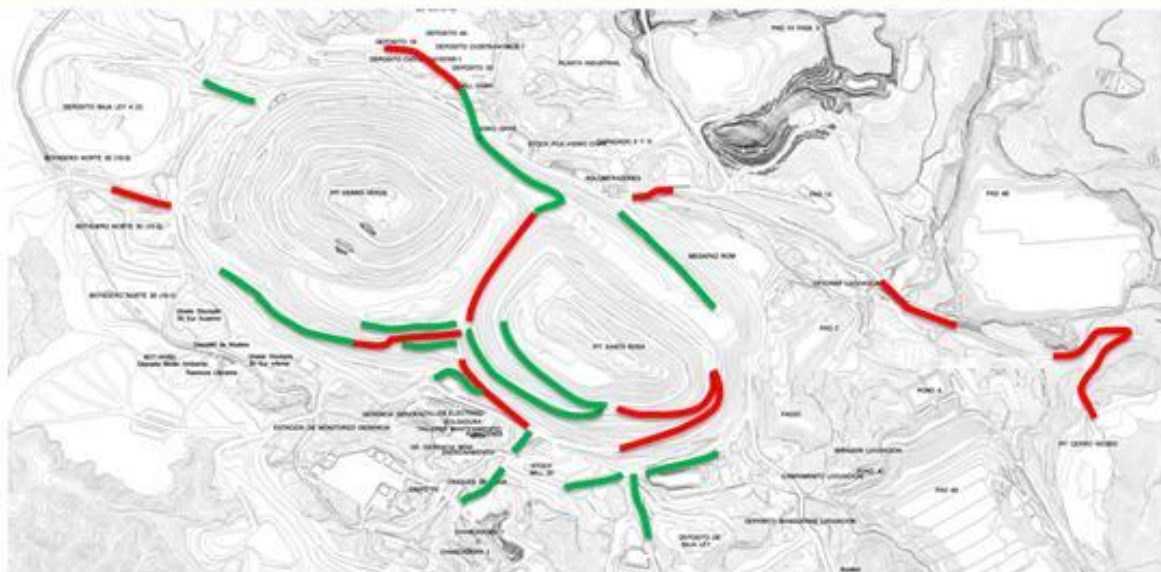
- Continuar limpiando en todas las rutas de la mina los pie de muro y pie de talud, adicional limpiar las ventanas donde se acumula este material.

*Figura 24. Trabajos pendientes de limpieza de vías Fuente Cerro Verde*

En la figura se han realizado trabajos en un turno que faltan concluirlos de manera tal que se continúa en el siguiente turno para el mejor traslado de los camiones x la vía.

## AVANCE DE PLAN DE LASTRADO

PROVEN ASSETS.  
FUNDAMENTAL VALUE



Tramos Lastrados

Tramos por Lastrar

*Figura 25. Avance y pendiente del plan de lastrado Fuente Cerro Verde*

En la figura nos muestra de forma clara y didáctica las zonas que aún falta lastrar o arreglar la vía, quiere decir corregir la vía con un material adecuado, granulado y óptimo de la mina para el tránsito de camiones.



*Figura 26. Mantenimiento de vías en curvas cerradas Fuente Cerro Verde*

En la figura podemos observar que una de las prácticas común e importante para las vías es el mantenimiento en las curvas cerradas, quiere decir donde los camiones giran provocando una fuerza centrífuga al transitar por estas curvas, estas deben de estar rellenas y tener un peralte adecuado, con material adecuado y compacto y su adecuado mantenimiento nos ayudará en optimizar el ciclo de acarreo de camiones.

## LIMPIEZA DE PIE DE MUROS



Figura 27. Limpieza de pie de muro Fuente Cerro Verde

En la figura otra de las prácticas imprescindibles en la operación minera es la limpieza del pie de muro de seguridad, debido a que estas constantemente se llenan de rocas, producto también de la caída de rocas de la tolva de los camiones y material inadecuado para las vías, etc. entonces es muy buena práctica el de limpiar los pies de muro de forma constante.

### 4.5.1. Cuidado de las llantas en las vías de acarreo.



Figura 28. Cuidado de llantas Fuente Cerro Verde

Al mantener un adecuado mantenimiento de vías y por consiguiente se va a incrementar la vida útil de las llantas de los camiones, evitando hacer contacto directo y golpes con las rocas en las vías, deformaciones, badenes, etc. para esta situación es oportuno los reportes de los operadores de camión hacia los supervisores para poder ser corregidos de inmediato.

## CUIDADO DE LLANTAS

FSV  
PROVEN ASSETS  
FUNDAMENTAL VAL



**!NO PISAR ZONAS CON LODO!**

- Puede existir presencia de rocas ocultas y dañar las llantas.



**Uso de la tiza**

- Utilizar las tizas proporcionadas para marcar los daños u observaciones en las llantas de los equipos.



**NOTA:** Recordemos que el llenado del IPERC electrónico es realizado por cada camión que tomemos en el turno

Figura 29. Cuidado de llantas Fuente Cerro Verde

Una vía en buen estado va a disminuir los daños a las llantas de los camiones y el constante chequeo e identificación por parte de los operadores de camión.

Tabla 19. Eventos de llantas en las vías año 2019/2020. Fuentes propios.

## Eventos de Llantas



Mes	Reventones CAT	Reventones KOM	No Reventones	Total de Eventos
Jan-19	5		3	8
Feb-19	5		2	7
Mar-19	3		0	3
Apr-19	8		5	13
May-19	10		8	18
Jun-19	11		6	17
Jul-19	10		5	15
Aug-19	13		7	20
Sep-19	10		5	15
Oct-19	7		3	10
Nov-19	4	2	12	18
Dec-19	7	3	18	28
Jan-20	4	2	6	12

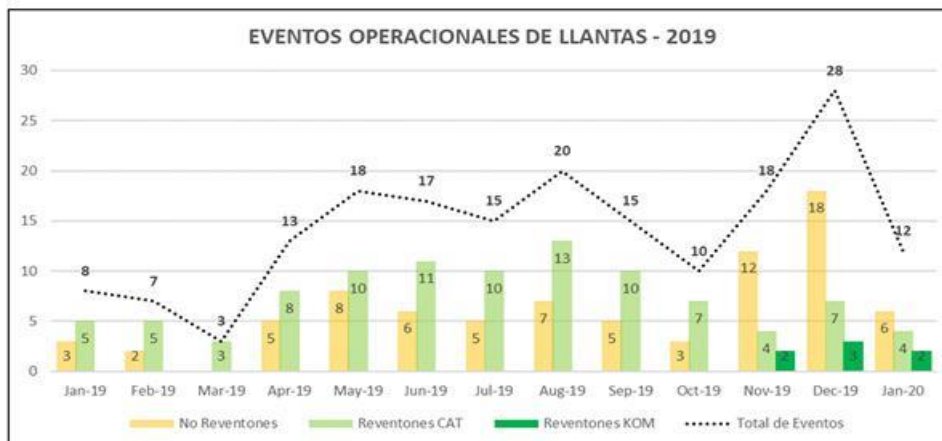
Cerro Verde

2

Llevar un reporte de los eventos de las llantas nos ayudará a tener un mejor control de estos.

Tabla 20. Eventos operacionales de llantas en las vías año 2019/2020. Fuentes propios.

## Resumen



Cerro Verde

3

Analizar los eventos operacionales de las llantas nos ayudará a encontrar la causa raíz del evento y nos ayudará al mejor cuidado de las vías.

#### 4.5.2. Mejora de la eficiencia en el acarreo empleando el Big Data y el Delta C.

**Concepto Delta C** Es la diferencia entre el tiempo real ciclo ideal de carguío y transporte y el tiempo del ciclo real, ejemplo:

- Ciclo ideal para Cat 42 desde pala a Chancadora 1 = 35 min
- Ciclo real para Cat 42 desde pala a Chancadora 1 = 38 min
- Delta C = 03 min



*Figura 30. El Delta C Fuente Cerro Verde*

En la figura observamos el concepto del Delta C y la importancia para su disminución conjunta con el mantenimiento de vías, que va a hacer posible una operación más barata, con el apoyo en la gestión del Delta C y el mantenimiento de vías la operación se hace más eficiente y viable en medida que disminuimos el Delta C, se debe mencionar que se hace más barato transportar una tonelada de mineral con un Delta C más bajo. Los grandes beneficios que se obtienen por la implementación de Delta C y el buen mantenimiento de vías es permitir la disminución del costo de minado, identificar las condiciones y oportunidades son claves de la seguridad y el entrenamiento, que provee un sistema de medición estándar del ciclo de acarreo.



Tabla 21. Delta C por mes año 2018/2019. Fuente Cerro Verde.



En la tabla observamos el control del Delta C por cada mes, esto para tener un concepto claro de lo importante que es el mantenimiento de vías, para que los camiones puedan disminuir el Delta C de forma global.

### Que se logra con el Delta “C” y el mantenimiento de vías:

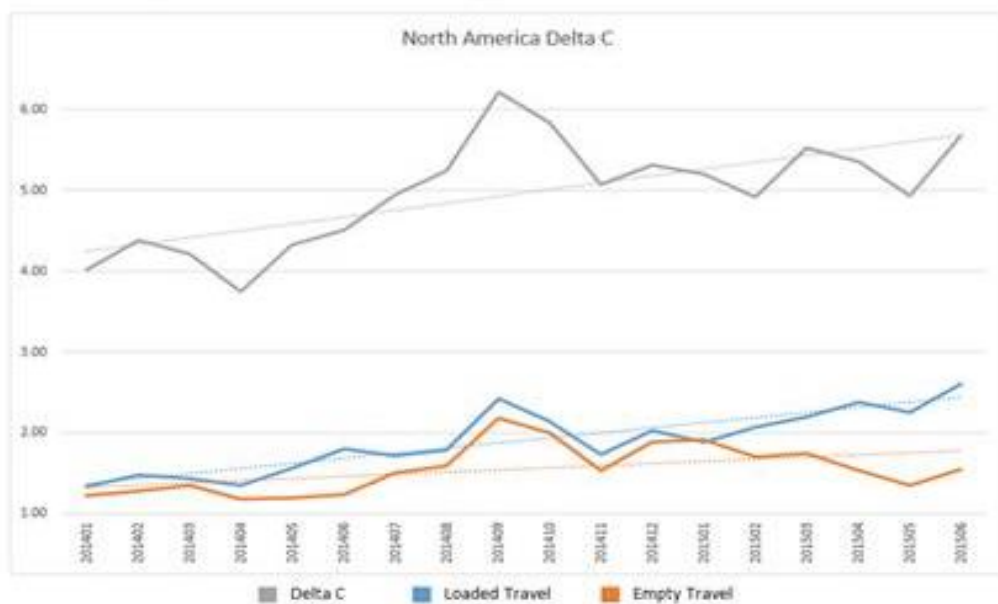
Es el compromiso de la mejora continua que nos va dar el Delta C y el mantenimiento de vías, cuando se calcula el número de camiones usando Delta C y las vías en buen estado, posibilita poner en stand by algunos camiones de la ruta ya que se mejora la performance en el ciclo de acarreo y teniendo vías en muy buenas condiciones, podemos reducir la flota actual de camiones mineros, siendo este una disminución en el costo de acarreo, participan en el Delta C, todos sin excepción todos los que trabajan en la operación mina, el Delta C planificado en Cerro Verde para el 2020 es de 7.5 minutos.

#### 4.6. Análisis de los viajes en camiones de acarreo minas de Freeport Mc Moran

En los años 2014 y 2015, el Delta C general, específicamente en los viajes cargados y vacíos, aumentó de manera constante en las minas de EE.UU de Freeport Mc Moran. El objetivo es comprender la causa raíz y poder revertir y cambiar estas tendencias.

Tabla 22. Análisis de los viajes de camiones de acarreo. Fuente Cerro Verde.

Entre enero de 2014 y junio de 2015, el Delta C general, específicamente los viajes cargados y vacíos, aumentó constantemente. El objetivo de Haul Truck Travel Analytics era comprender la causa raíz y revertir estas tendencias.



En el entorno del Big Data, se realizó análisis de los viajes, análisis de las vías de acarreo, y también se tomó en cuenta los datos del equipo (sensores, GPS), para poder identificar la causa raíz, la combinación de los datos de los camiones (RAMP) con sistemas tecnológicos nos brinda una visión de las operaciones de los camiones de acarreo.

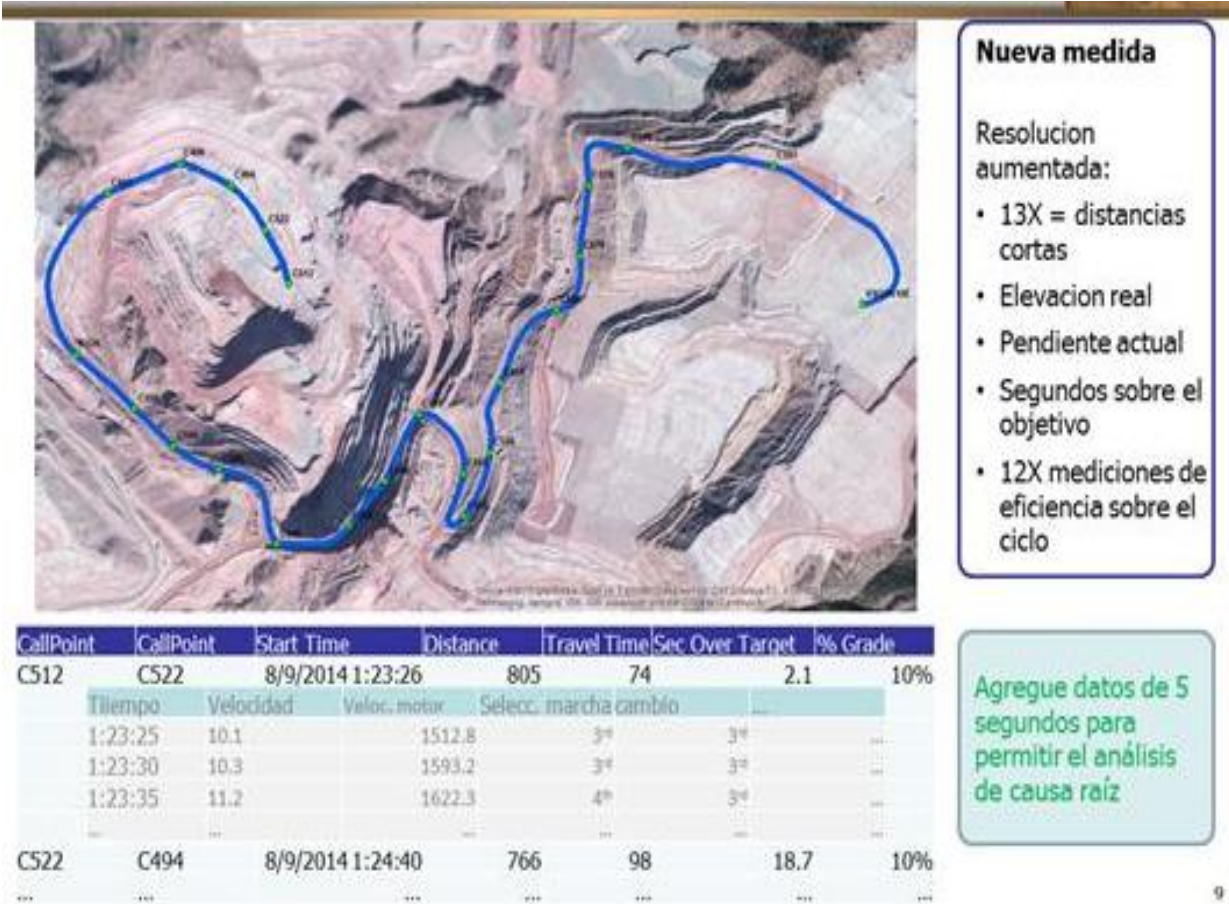


Figura 31. Nuevas formas de análisis tecnológico Fuente Cerro Verde

En la figura nos muestra una resolución aumentada, su elevación real, las pendientes, muestra las mediciones de las eficiencias de los ciclos de los camiones, para poder encontrar la causa raíz de su ineficiencia.



El mapa de calor SOT se genera cada mañana a las 4:30 a.m. del día anterior

*Figura 32. Identificando ineficiencia Fuente Cerro Verde*

En la figura nos señala zonas de ineficiencia a través de sus velocidades, estas podrían tratarse de las malas condiciones en las vías, un diseño inadecuado, pendientes excesivas, rocas en las vías, zonas angostas de forma tal que inciden en la velocidad de los camiones y su baja productividad, camiones con baja eficiencia, también debido a un problema mecánico y por último podría también tratarse de la falta de destreza del operador para operar un camión, esto con el objetivo de encontrar la causa raíz del problema.

#### **4.7. Calidad de las vías minas Freeport Mc Moran**

Para poder tener una mejor calidad en las vías se van a usar los datos de los sensores y GPS para medir la calidad de la vía y poder identificar condiciones adversas, el trabajo que se realizó en el lugar se observaron las malas condiciones

de la vía y también se fueron observando el comportamiento de los camiones como ejemplo de las minas Chino y Sierrita, de propiedad de Freeport Mc Moran.

Se analizó las presiones en las suspensiones de los camiones y también se desarrolló una medición de la amplitud para poder identificar condiciones adversas, al combinar datos de amplitud y GPS se pudo visualizar los hallazgos usando tecnologías geoespaciales.

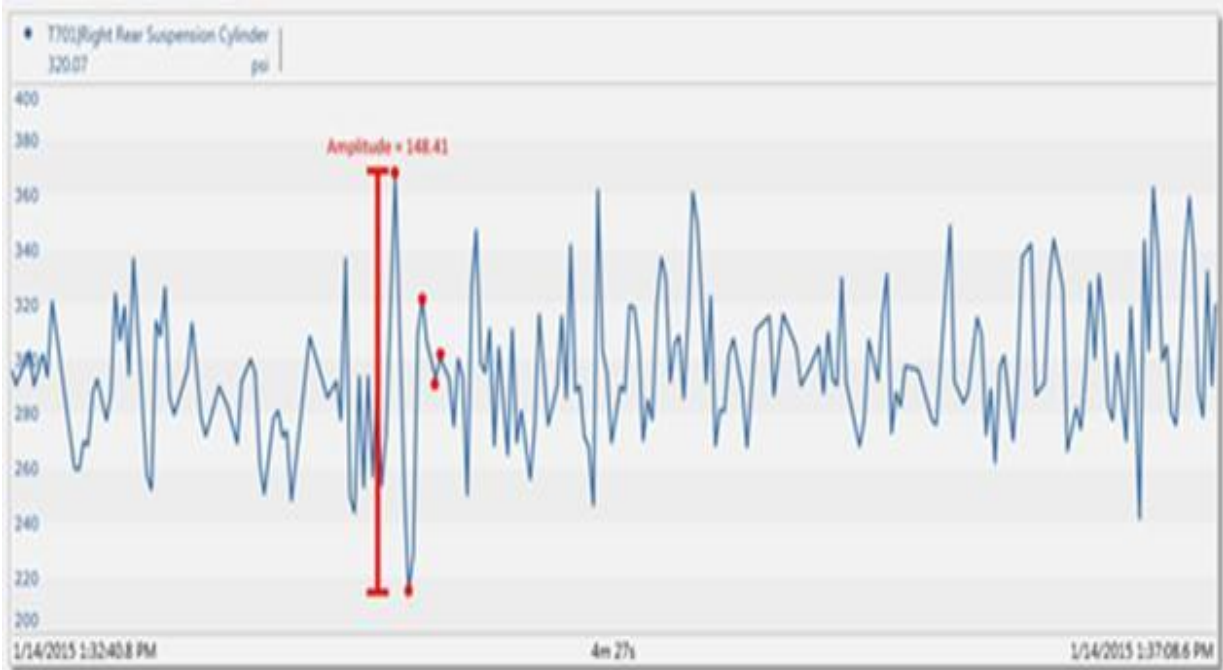


Figura 33. Analizando amplitud en la suspensión de los camiones Fuente Cerro Verde

Este análisis nos permite ubicar de forma exacta donde están ubicados los puntos malos en las vías, mediante el criterio de la amplitud de la suspensión de los camiones que transitan x las vías, hay que resaltar también que los huecos en las vías y zonas hundidas harán que se golpee más la suspensión de los camiones y por consecuencia dará una mayor amplitud en la suspensión.

## Calidad de la vía - Observaciones manuales

- Utilizamos observaciones de campo para identificar puntos malos en el camino



*Figura 34. Calidad de las vías Fuente Cerro Verde*

En el análisis de la calidad de las vías, en las minas Chino y Sierrita se tomaron datos de campo y también del sistema, por lo que los datos fueron: Presión de suspensión trasero lado derecho, latitud, longitud y los filtros aplicados viaje cargado, y las ubicaciones GPS con al menos 20 mediciones, por lo que se procedió a identificar mínimos y máximos locales (valles y picos), se mide la ampliación de cada valle y pico y el promedio de la amplitud dada por la ubicación GPS, esto se ha trabajado de la siguiente forma: amplitud mayor a 500 es Malo y menor a 80 es punto bueno, consideramos que la presión de suspensión esta en unidades psi.

## Calidad de la vía: basada en datos

### Rutas de camiones de acarreo Chino con Amplitud Heat Map

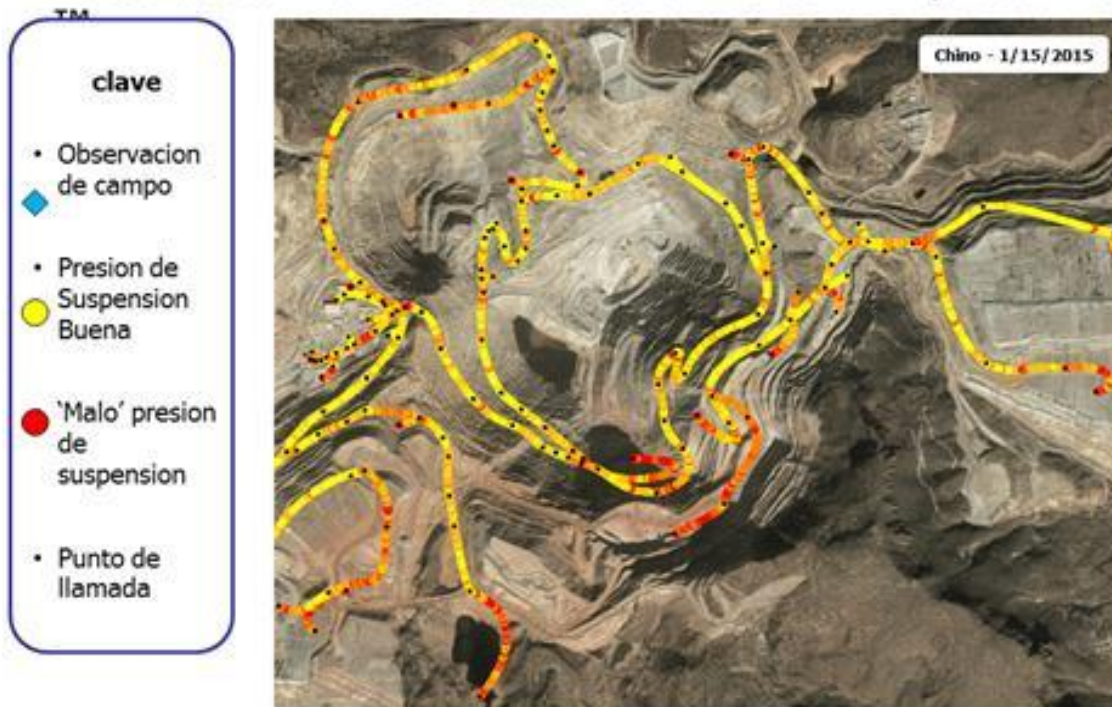


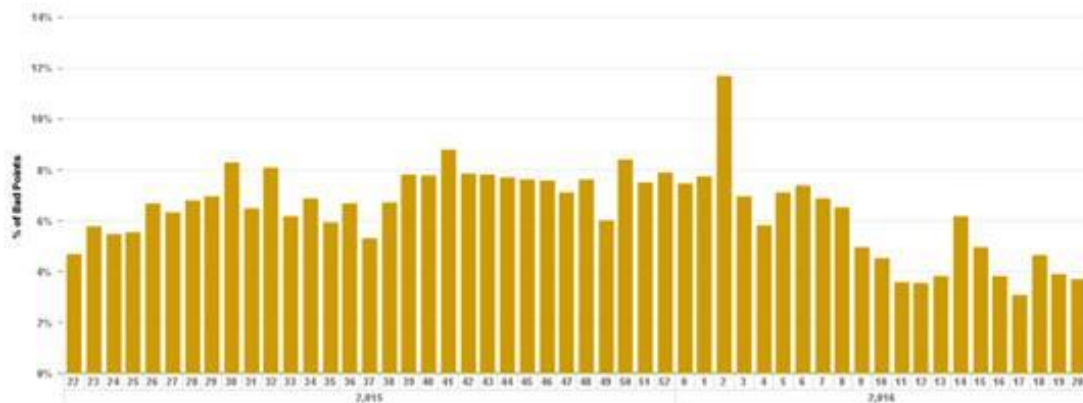
Figura 35. Calidad de las vías mina Chino Fuente Cerro Verde

En la figura podemos observar claramente en color celeste los puntos de observación, los puntos amarillos son de suspensión buena, los puntos rojos son los puntos llamados malos.

Tabla 23. % de vías en mal estado mina Chino. Fuentes propios.

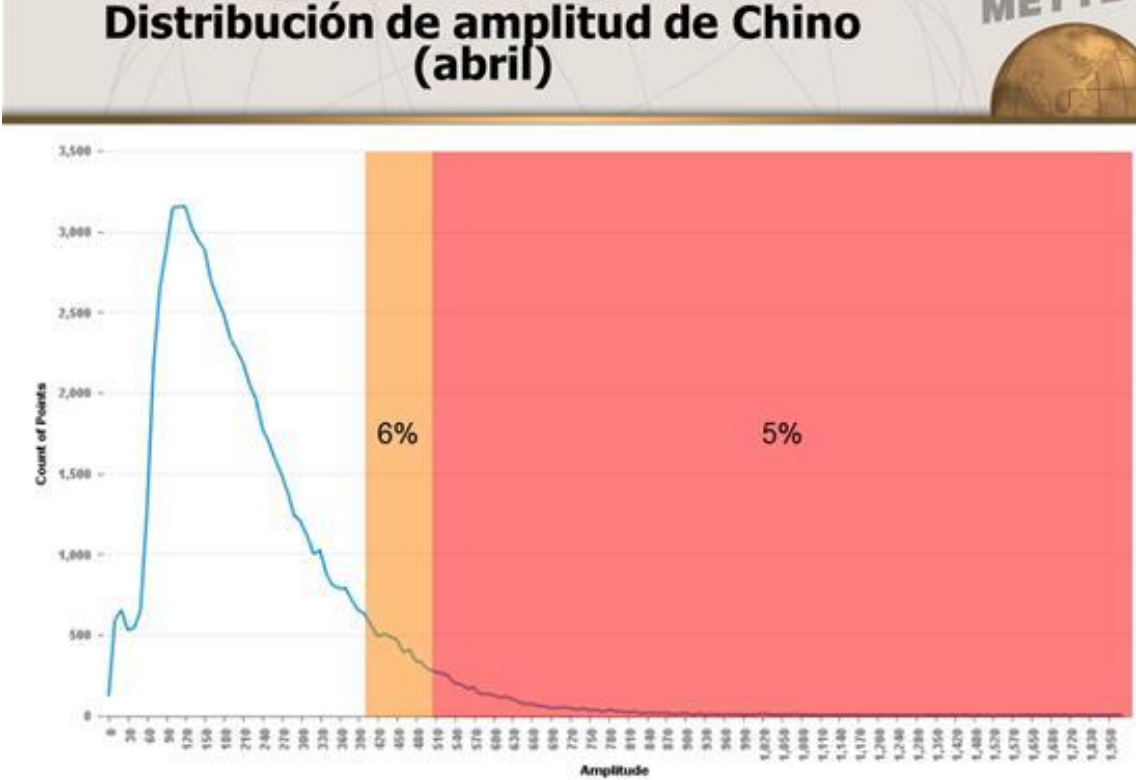
### Chino % de malas carreteras con el tiempo

Una vía en mal estado tiene una amplitud > 500



En la tabla observamos que una vía en mal estado va a tener una amplitud mayor o igual a 500, que en promedio es de 5 %. Para la mina Chino.

Tabla 24. %Distribución de la amplitud mina Chino. Fuente Cerro Verde.



En la tabla podemos observar que aproximadamente un 5% están en malas condiciones quiere decir con una amplitud mayor a 500, debemos de considerar que por condiciones climáticas esta porcentaje tiende a subir como por ejemplo las lluvias que van a afectar las vías.

El nuevo enfoque para poder analizar porque un camión es más lento que otros es el de utilizar los datos del sensor para identificar camiones con problemas mecánicos serios, que afectan el tiempo de viaje, analizándose en todo el viaje del porque se tienen algunos camiones más rápidos que otros entonces es vital los indicadores que van a ser claves, así como las condiciones del motor todo esto con la finalidad de encontrar la causa raíz y que pueda ser un problema mecánico u



operativo, para así dar a un costado el enfoque tradicional que solo es culpar al operador del camión del problema del camión.

Utilizando técnicas de Big Data se puede cuantificar, cuándo y dónde ocurren las condiciones inactivas en las operaciones:

Condición de ralentí = velocidad del motor > 100 RPM y freno de estacionamiento = activado y selección de marcha = neutral, si bien la inactividad es una parte natural del ciclo de producción, se puede evitar el ralentí excesivo cuando el camión no está en producción, el exceso de inactividad como condición de Inactivo de un camión > 30 minutos, obteniéndose en todas las minas de Freeport Mc Moran en Estados Unidos un promedio de 1.2 horas de inactividad excesiva por camión, por día, se consume combustible en grandes cantidades por año mientras se está en un estado inactivo excesivo, cuando no está en producción un camión, un camión inactivo en exceso podría también provocar sobreenfriamiento en el camión y su posible deterioro y contaminación del aceite.

#### **4.8. Reportes de las vías en Cerro Verde para el uso del Big Data**

De acuerdo a las vías en las minas van a saltar preguntas como:

Como el diseño de la vía impacta en el transporte del camión, si hacemos un diseño adecuado sea en rampa o plano, deben de cumplir con los estándares para un adecuado tránsito, por ejemplo la gradiente que debe ser como máximo 10%, el ancho que debe cumplir el triple del ancho del camión más ancho de la mina que en este caso es de 26.1 m, el muro de seguridad las 2/3 partes de la llanta del camión más grande de la mina, para el caso de Cero verde es de 3.5 metros, otro de los factores importantes en las vías es poder encontrar condiciones adversas como son huecos, desniveles, baches, subsidencia, ondulaciones, peralte inadecuado, etc. esto debe ser constantemente supervisado por el personal de campo, y es también

muy importante las señalizaciones en las vías para que estas puedan ayudar en la visibilidad del operador del camión, otro de los factores a tomar en cuenta es poder tomar en cuenta los camiones con menor o diferente desempeño de los demás, las prácticas operativas de los operadores deben ser monitoreados constantemente por los supervisores para encontrar e identificar como es que inciden en el ciclo del camión, y cabe resaltar la importancia de tener y poder identificar los rendimientos que tienen los operadores tanto para los turnos de día y de noche.

#### **4.9. Conclusiones**

Se tiene un panorama de toda la mina para hacer los trabajos de mantenimiento de vías, eliminar nuestra inactividad excesiva de nuestros camiones en un porcentaje aceptable aprovechando el RAMP existente tomando medidas en tiempo real, llevando un conteo y control día a día y detectando en qué fase de la operación se produce la inactividad excesiva.

#### **4.10. Mejora con el Big Data para los supervisores y operadores**

Los supervisores y operadores de la mina, consideran el gran aporte y soporte por parte del Big Data, haciéndose fácil su empleo, debido a que está plasmado en un plano las condiciones inadecuadas en las vías, para poder resolverlas y están plenamente identificados.

#### **4.11. Aplicación en la mina Cerro Verde**

El desarrollo del sistema Big Data como herramienta oficial de la solución en las vías de la mina satisface los siguientes requerimientos:

- Ubicación exacta de los puntos llamados malos a corregir.
- Es un método sencillo y fácil uso en las operaciones mineras.
- También es un método donde se puede leer de forma clara los reportes diarios.

- Es portable tanto para los supervisores y operadores de la mina.
- Tiene un plan y continuidad para poder así hacerle seguimiento a las tareas.

**Productividad**, la productividad va a estar constantemente monitoreado por los valores del porcentaje de los puntos malos en la mina.

#### **4.12. Control del mantenimiento de vías**

Va a comprender el monitoreo del mantenimiento de vías, tanto para los operadores de camión y supervisores, aquí también están involucrados los operadores de equipo auxiliar, conocer nuestro porcentaje de puntos malos diario, así como el estado en que se encuentran las vías.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1. Sugerencias**

La principal sugerencia para que el Big Data trabaje eficientemente, es asegurar que se cuente con el personal capacitado para el uso y el empleo del Big Data en las operaciones mineras, que este sumamente comprometido con la mejora continua en las operaciones, que brinde oportunidades de cambio para así apuntar hacia una sola dirección en los objetivos planeados por la empresa, el Big Data debe estar operativamente apto en sus condiciones, para poder ser empleado, la capacitación debe ser permanente en lo relacionado al Big Data por parte de todas las personas que están involucrados, absolutamente todos los que van a conformar el equipo de mantenimiento de vías, las capacitaciones deben de ser dinámicas y de alto involucramiento para así poder asegurar el buen uso del Big Data, para poder operar el Big Data se sugiere que sea de un nivel de ingeniero esto para poder comprender la composición de este sistema, claro está que se deben de asumir roles y responsabilidades de los miembros del equipo Big Data claramente descritos y entendidos desde un inicio a las personas que están involucradas o que interactúan con el Big Data, la misión y los objetivos del equipo deben estar claros y aceptados por todos, existen planes, procesos y procedimientos acordados que guíen la forma en que el equipo realizará su trabajo, los enfoques deben estar claramente entendidos y acordados sobre como operará el equipo y muy importante las relaciones entre los miembros del equipo deben ser saludables y que apoyen el buen trabajo en equipo, el nivel de confianza, la apertura y aceptación debe ser sólido en el grupo.

Se sugiere que el equipo Big Data tenga las habilidades y los procesos de apoyo necesarios para aprovechar de manera efectiva la tecnología, de tal manera

que los esfuerzos definan el modelo para aprovechar el Big Data y garantizar una ventaja competitiva continua.

El liderazgo por parte de los responsables del Big data debe ser visible, público que genere atención y el comportamiento que apoyen al cambio, que sean patrocinadores del cambio, de hacer un incesante compromiso a través de la comunicación cara a cara, tengamos en cuenta que una comunicación de un propósito claro ayuda a superar la resistencia al cambio, las decisiones sean basados en datos, incluso establecer metas agresivas para todo el grupo, la palabra clave es compartir, no una persona sino todas las partes interesadas, la razón para cambiar, ya sea impulsada por una amenaza u oportunidad se inculca dentro del grupo y se comparte ampliamente a través de datos, demostración, demanda o diagnóstico, la necesidad del cambio debe de exceder a la resistencia, una visión define el estado futuro con suficiente claridad para que las personas lo entiendan y sepan si desean participar.

Una vez que se inicie el cambio este debe perdurar y florecer y de los aprendizajes compartiremos con toda la organización, la cuestión clave es cómo tejer el cambio en toda la organización, el progreso medido debe ser real y medible para poder garantizar la responsabilidad, hay siete elementos de sistemas y estructuras que son cambiantes que son el personal, desarrollo, medias, recompensas, diseño organizacional, comunicación y tecnología de la información, estos siete deben de considerarse al determinar qué sistemas y estructuras deben de modificarse para alinearlos con la iniciativa de cambio, estas son algunas palancas clave para ayudar a iniciar y mantener el cambio.

Se sugiere hacer este cambio porque nos permitirá bajar costos se ha calculado el beneficio/costo es igual 4.02 de implementar el Big Data para el

mantenimiento de vías que básicamente nos va a reducir en 25% la inactividad de los camiones y también se dará un ahorro considerable en combustible, la inversión es recomendable debido a que existe beneficio debido a que los ahorros son mayores a los gastos y costos, y resulta atractivo vale decir que por cada dólar invertido se tendrá 4.02 dólares de ahorro.

También hay que considerar que hacer mantenimiento de vías constante no solo influye en los costos, también tiene influencia en la seguridad debido a que vías en mejor estado son más seguras para la conducción de los equipos.

Se sugiere monitorear el progreso con el Big Data de forma constante, medir lo que es importante, no lo que es fácil y poder concentrarse en variables que son medibles, de forma tal que estas medidas nos ayuden a poder monitorear el trabajo de vías.

## 5.2. Conclusiones

El mantenimiento de vías de acarreo y accesos, las descargas o botaderos son factores primordiales, mantenerlos en buenas condiciones en todo momento (manteniendo superficies planas y parejas y sin presencia de ondulaciones y lastrado con material adecuado), la tecnología del Big Data permite procesar gran cantidad de datos que nos servirá para el mejoramiento de vías y también se pueda cumplir con el plan de minado, Big Data permite trabajar de manera que podamos plasmar en un plano topográfico los puntos malos a arreglar de acuerdo a prioridades para poder minimizar los tiempos muertos de los camiones mineros en las vías de acarreo. Para esto Big Data presenta un plano con la ubicación mediante GPS de los puntos donde debemos tomar acción inmediata para que el ciclo de los camiones se mantenga y el Delta C disminuya de tal forma de optimizar el ciclo de acarreo, las ubicaciones con GPS del Big Data es importante para dar las ubicaciones donde exista mayor cantidad de los llamados puntos malos en las vías de acarreo y accesos y así poder corregirlos con el apoyo de los equipos auxiliares de mina (motoniveladoras, tractor de ruedas, rodillo, etc), Big Data trabaja para poder eliminar los puntos donde por la ubicación del GPS se haya encontrado baches, badenes, huecos, desniveles, cuellos de botella, vías angostas los cuales están siendo reportados por la amplitud (suspensión de las llantas traseras de los camiones) y el vaivén de las suspensiones en las vías de acceso y acarreo para también mejorar en la productividad de los camiones, que como ya hemos planteado es el mayor incidencia en las operaciones mineras, cabe resaltar la importancia de mantener una actitud proactiva por parte de los que conforman el área de mantenimiento de vías sin resistencia al cambio, para el logro de estos objetivos con un enfoque claro de mejora continua permanente, el trabajar comparando

performances ya sea de otras minas, valores óptimos como por ejemplo el delta C, que dan los fabricantes nos va sumergir en una de las herramientas más potentes para poder optimizar las operaciones mineras para así poder ubicar oportunidades y sacar el mejor provecho de estas, y también dependerá de la buena salud que la tecnología adopte a las exigencia de las operaciones mineras, el lograr optimizar el ciclo de acarreo busca su finalidad en obtener mejores ganancias y aumentar la productividad de los equipos, el Big Data apoya a la supervisión de campo para poder obtener vías en buen estado, adicional a esto el Big Data nos va a permitir reducir el tiempo de inactivo excesivo de los camiones, reducir el delta C, así como también predecir fallas en el motor quiere decir también que el Big Data va a realizar cambios en los procesos basado en datos de las operaciones.

EL equipo Big Data es un equipo interfuncional que tiene el desafío de analizar datos para poder identificar oportunidades de causa raíz que mejoren el proceso en las vías, de forma que van a analizar grandes volúmenes de datos diversos, ponerlos en un solo lugar y analizarlos de manera rápida y eficiente. Big Data es vital para mantener la ventaja competitiva y poder maximizar los recursos.

Las vías deben estar diseñadas para una máxima productividad deben de mantener el ancho, pendiente, muros de seguridad, peralte estándar, deben de cumplir de forma estricta los parámetros, y debe ser revisado de forma constante por parte de los supervisores de mina, los camiones no deben de tener retrasos en el ciclo de producción por falla en estos parámetros establecidos, esto quiere decir ancho mínimo 26.1 metros, pendiente máxima 10 %, etc.

A largo plazo Big Data va a impulsar una mayor comprensión de las operaciones mineras cada vez más centradas en la tecnología, la tecnología no se puede comprar se debe construir.



## **Bibliografía:**

- Baldera, J., (2017). Evaluación del impacto de la accidentabilidad en la productividad de las minas peruanas: caso de estudio: empresas de la bvl en la gran y mediana minería. Universidad del Pacífico, Lima Perú.
- Bravo, A., (2018). Ampliación de producción de 570 tmd a 1200 tmd de minerales mediante evaluación de operaciones unitarias y reservas minerales en unidad minera Tacaza – Ciemsa. Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú.
- Chirinos, A., (2015). Control de aceros de perforación, factores que influyen la vida útil, su relación con el paralelismo y profundidad en el proyecto de expansión k-115 jjc contratistas generales s.a. sociedad minera cerro verde. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa Perú.
- Condori, D., (2016). Optimización de la operación unitaria de transporte con la aplicación de estándares de diseño de vías en la unidad minera Corihuarmi. Universidad Nacional del altiplano, Puno Perú.
- Cruz, F., (2018). Análisis de los accidentes de trabajo en el sector minería, 2016-2017. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo Perú.
- Grau, J., (2016). Plan estratégico de la Corporación Minera Fortuna Silver Mines 2016-2025. Universidad del Pacífico, Lima Perú.
- Lazo, B., (2006). Control automatizado en la construcción del starter dam en sociedad minera cerro verde s.a.a. utilizando el sistema de posicionamiento global gps. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

- León, G., (2006). Análisis de inversión y rentabilidad de un proyecto aurífero a nivel de estudio de factibilidad. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Mauricio, G., (2015). Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapacay y Pucamarca. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Meres, A., (2014). Evaluación de riesgos asociados a proyectos de inversión minera: caso mina cuprosa. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Rivera, A., (2011). Evaluación económica del proyecto minero San Antonio óxidos. Universidad de Chile, Santiago de Chile - Chile.
- Rodríguez, E., (2018). Análisis de los factores socio – económicos de los proyectos mineros, caso sociedad minera cerro verde s.a. distrito de Uchumayo, Arequipa. Escuela de Postgrado Neumann, Tacna Perú.
- Rojas, S., (2006). Mejoramiento de la performance y gestión del dispatch en Cerro Verde. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Trasmonte, H., (2015). Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en las operaciones de perforación y voladura de mina Toquepala - Southern Cooper Corporation (scc). Universidad Nacional de Piura, Piura Perú.
- Vega, M., (2014). Sistema de información para evaluaciones financieras y análisis de sensibilidad de proyectos de inversión minera en el Perú. Universidad Pontificia Católica del Perú, Lima Perú.
- Vicos, M., (2009). Mejoramiento de acarreo y transporte mediante dispatch en Cerro Verde. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

Vivanco, D., (2015). Aplicación de las buenas practicas del pmbok a la iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y cierre del proyecto caminos mineros en las bambas. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.