

# Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Despacho para el control de los equipos de carguío y acarreo utilizando la comunicación de señal móvil en la unidad minera Summa Gold Corporation SAC

## Design and implementation of a Dispatch Management System for the control of loading and hauling equipment using mobile signal communication at the Summa Gold Corporation SAC mining unit

Antony Alfaro <sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Unidad de Postgrado. Lima, Perú

<sup>a</sup> E-mail: [antony.alfaro@unmsm.edu.pe](mailto:antony.alfaro@unmsm.edu.pe) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7312-2760>

### Resumen

En la actualidad, las empresas están aplicando diferentes tecnologías para apoyar el desarrollo de sus procesos productivos; uno de los sectores es la minería, donde se aplica la tecnología en sus diferentes etapas y procesos de producción. En el presente documento se desarrolló un nuevo diseño de sistema de control de los equipos de carguío y acarreo por medio de un sistema de gestión de Despacho apoyado en la tecnología de señal móvil, GPS, equipos tecnológicos (Tablets) que fueron los utilizados para la creación del sistema y por medio de la metodología Scrum, la cual permitió la planificación de cada fase del diseño, para llevar un mejor control en tiempo real del trabajo que realiza cada equipo de carguío y acarreo en la unidad minera de la empresa Summa Gold Corporation SAC, con la finalidad de tener una información mucho más exacta del trabajo que se realiza, generando valor en la empresa. Como resultado, se logró gestionar de forma eficiente los tiempos de los equipos de la operación, así mismo, se alcanzó la disminución de los costos al lograr operar de forma eficiente los recursos de la mina, ya que se incrementó la productividad y se eliminaron los tiempos de improductividad.

**Palabras clave:** Sistema Gestión; Señal móvil; Tablet; Dispatch; GPS.

### Abstract

Nowadays, companies are applying different technologies to support the development of their production processes; one of the sectors is mining, where technology is applied in its different stages and production processes. In this paper, a new design of a control system for loading and hauling equipment was developed by means of a Dispatch management system supported by mobile signal technology, GPS, technological equipment (Tablets) that were used for the creation of the system and by means of the Scrum methodology, which allowed the planning of each phase of the design, to have a better control in real time of the work performed by each loading and hauling equipment in the mining unit of the company Summa Gold Corporation SAC, in order to have a much more accurate information of the work being done, generating value in the company. As a result, it was possible to efficiently manage the times of the operation's equipment, as well as to reduce costs by efficiently operating the mine's resources, since productivity was increased and unproductive times were eliminated.

**Keywords:** System Management; Mobile Signal; Tablet; Dispatch; GPS.

Recibido: 12/07/2022 - Aceptado: 30/09/2022 - Publicado: 28/11/2022

#### Citar como:

Alfaro, A. (2022) Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Despacho para el control de los equipos de carguío y acarreo utilizando la comunicación de señal móvil en la unidad minera Summa Gold Corporation SAC. Revista Peruana de Computación y Sistemas, 4(1):3-23. <https://doi.org/10.15381/rpcs.v4i1.24123>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Peruana de Computación y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

### 1. Introducción

La unidad minera de la empresa Summa Gold Corporation SAC, se encuentra ubicado en el centro poblado el toro, distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento de la Libertad, a 3550 m.s.n.m. Actualmente dicha empresa tiene problemas en el proceso de control de los equipos de carguío y acarreo. En la actualidad, el control de los equipos de carguío se realiza con equipos GPS instalados en cada unidad de acarreo, estos equipos GPS son controlados por una plataforma web de la empresa “Zon-Control y Proseguir” en el cual se obtiene un reporte del sistema por turno diario de viajes (Nro. De viajes, ciclo total y velocidades). El control de los equipos de carguío se efectúa de forma manual con el apoyo de un controlador en campo, obteniendo un reporte de horario manual con la información (inicio de flota, origen, destino, material, equipo de carguío y cambios operativos). Este tipo de control, que actualmente se está aplicando, generando los siguientes inconvenientes:

- Reporte generado pasado 6 horas de finalizado la guardia, no permite gestionar la operación en tiempo real.
- Localización de volquete con precisión baja (+-30 m) – Baja o nula señal celular.
- Polígonos de origen y destino muy grandes y superpuestos.
- Registro y asignación de viajes manual, el cual es susceptible a errores o manipulación de la información.
- Dependencia de un controlador en campo, con el riesgo de sufrir algún accidente.
- Velocidad relativa, poco precisa.

- Plataformas de toma de datos pertenecen a un tercero (dependencia).

**Problema:** En la Empresa minera Summa Gold Corporation SAC, dedicada a la exploración y proceso de recursos minerales, no tiene implementado un Sistema automatizado de gestión de despacho que utilice tecnología y dispositivos móviles.

**Propuesta:** Diseñar e implementar un Sistema de gestión de despacho que utiliza tecnología y dispositivos móviles para obtener procesos de control eficientes y en tiempo real.

A continuación, en la Fig. 1 se explica en resumen el control actual y la problemática que se genera:

Seguidamente, en la Fig. 2 se explica la lógica del proceso de control de viajes y gestión de flotas:

### 2. Marco Teórico

Motivado a que este trabajo investigativo busca desarrollar e implementar una herramienta de gestión para el control de los equipos de carguío y acarreo, es necesario establecer el marco epistemológico en referencia al enfoque de investigación cuantitativo con un paradigma positivista, antecedentes semejantes a la investigación. Además, precisar conceptos y requerimientos, resaltando su repercusión en el desarrollo de un proyecto, optimización de tiempos y costos que generan el trabajo de productividad en la unidad minera.

#### 2.1. El enfoque de investigación cuantitativo

La nueva epistemología de la evidencia científica modela el conocimiento científico como si se lograra a través de un proceso de reunir evidencia en una investigación científica que resulta en una convergencia de teorías científicas y resultados de investigación [1]

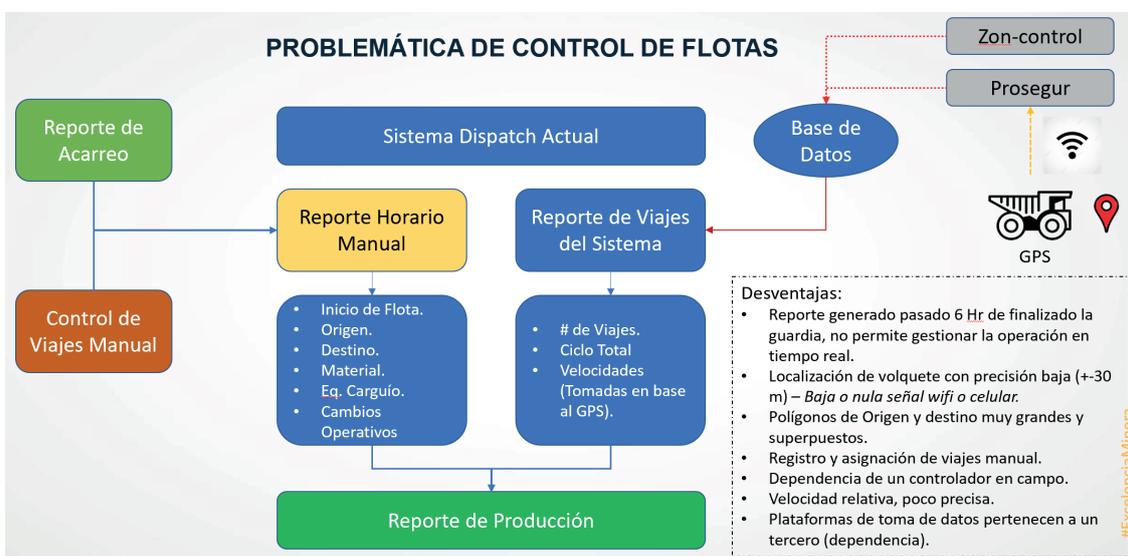


Fig. 1. Esquema del proceso de control actual de los equipos de carguío y acarreo.

Fuente: Operaciones Mina- Summa Gold

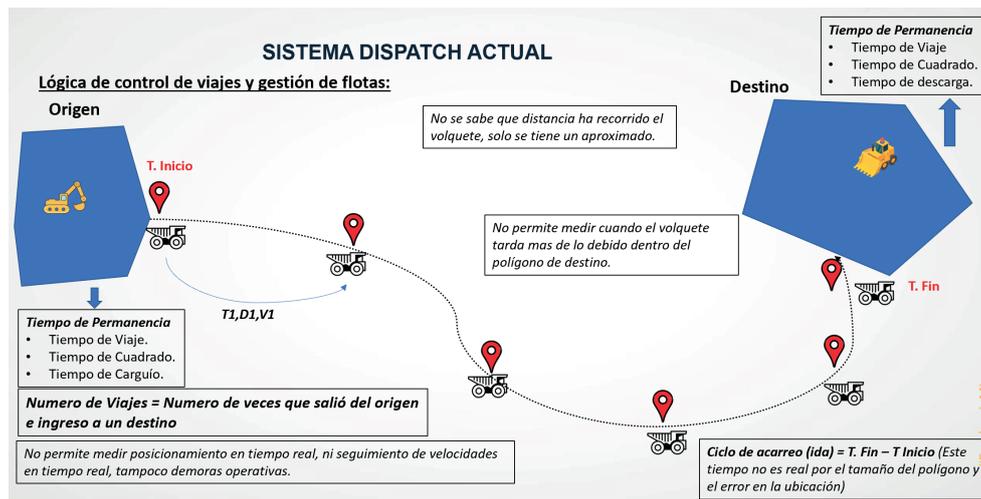


Fig. 2. Lógica del proceso de control de viajes y gestión de flotas.

Fuente: Operaciones Mina- Summa Gold

El positivismo y el post-positivismo son los mejores ejemplos de metodología de investigación cuantitativa versus cualitativa. El pospositivismo es un método refinado que reconoce los sesgos en cualquier método que se elija y, por lo tanto, es más interpretativo [2]. La investigación positivista se aferra al juicio de que solo el saber "fáctico" alcanzado por medio del acatamiento (los sentidos), incluida la valuación, es fidedigno. En tales investigaciones, la actuación del científico se circunscribe a la captación y entendimiento de datos de forma imparcial. En esta clase de reflexión, los logros de la indagatoria suelen ser significativos y evaluables [3].

## 2.2. Antecedentes de la investigación

A continuación, presento algunos proyectos de investigación nacionales con respecto a la implementación de proyectos similares, utilizando diferentes infraestructuras tecnológicas de comunicación.

Según Moradi et al. [4] realizaron un proyecto titulado "Un enfoque de problemas de transporte de objetivos múltiples para el de camiones en minas de superficie", con el propósito de realizar un modelo de transporte de objetivos múltiples para el despacho de camiones en tiempo real, por lo que el modelo propuesto despacha los camiones a los destinos tratando de minimizar simultáneamente los tiempos de inactividad de las palas, los tiempos de espera de los camiones y las desviaciones de los requisitos de producción de la ruta establecidos por la etapa de optimización de la producción. Para evaluar el rendimiento del modelo propuesto, desarrollamos un modelo de referencia basado en la columna vertebral del sistema de gestión de flotas más empleado en la industria minera (Modular Mining DISPATCH). Los resultados alcanzados de la implementación de los modelos sugieren que el modelo de objetivos múltiples desarrollado en este trabajo es capaz de satisfacer los requisitos de producción de la operación utilizando una flota al 85% del tamaño de la flota deseada calculada de forma determinista. Además,

el modelo es capaz de satisfacer la capacidad total de las plantas de procesamiento con una flota de un 30% menos de camiones que la flota deseada.

Según Shishvan y Benndorf [5] realizaron un desarrollo titulado "Enfoque de optimización basado en la simulación para el despacho de materiales en sistemas de minería continua" con el objetivo de examinar un problema relacionado con el envío de materiales a los esparcidores en minas de carbón (lignito) operadas bajo el paradigma de flujo de material de excavación continua. El control del sistema de envío considero las secuencias de extracción y la estratificación geológica en la obra de excavación, así como el espacio disponible por material en el vertedero. Con ocho excavadoras en el lugar de excavación y siete esparcidores en el lugar de vertido. Para optimizar el sistema de envío en términos de mínimo tiempo de inactividad debido a la indisponibilidad del espacio de vertido, se propuso un nuevo enfoque de optimización basado en la simulación en varias etapas. Este enfoque consiste en ejecutar alternativamente un modelo de optimización determinista y un modelo de simulación estocástica, combinando la simulación y los algoritmos para resolver un problema de transporte y un problema de programación de talleres. El resultado obtenido se basó en el enfoque propuesto, se puso a prueba en una gran mina continua bajo diferentes secuencias de vertido y se lograron establecer optimizaciones y las limitaciones del enfoque propuesto como gestión de operaciones con precisión y visión de futuro.

Según Chaowasakoo et al. [6] realizaron un proyecto titulado "Digitalización de las operaciones mineras: Escenarios para beneficiarse en tiempo real de los camiones despacho", teniendo como propósito encontrar la estrategia de despacho óptima para las operaciones de camión-pala, analizando el empleo de la tecnología GPS como uno de los factores clave para que una mina a cielo abierto sea rentable en la toma de las decisiones de despacho en tiempo real. Es por ello que este artículo ilustra las diferencias entre las estrategias mediante un estudio de simulación estocástica basado en los datos

recogidos en una mina real. El resultado obtenido en esta investigación subraya la importancia de la visión global en las decisiones de despacho.

Según De Carvalho y Dimitrakopoulos [7] realizaron un proyecto titulado “Integración de la planificación de la producción con las decisiones de expedición de camiones mediante el aprendizaje por refuerzo y la gestión de la incertidumbre”, con el objetivo de presentar un nuevo enfoque de política de despacho de camiones que es adaptativo dadas las diferentes configuraciones del complejo minero con el fin de entregar el material de suministro extraído por las palas a los procesadores. El método plantea la mejora en el cumplimiento del plan operativo y la utilización de la flota en el contexto de un complejo minero y para ello emplearon un modelo de simulador de eventos discretos que emula la interacción derivada de las operaciones mineras, proyectando una repetición continua en el simulador y una función de recompensa, que asocia un valor de puntuación a cada estrategia de despacho, generando experiencias de muestra para entrenar el modelo de aprendizaje profundo por refuerzo de Q-learning. El enfoque fue probado en un complejo minero de cobre y oro, caracterizado por la incertidumbre en el rendimiento de los equipos y los atributos geológicos. El resultado mostró mejoras en términos de objetivos de producción, fabricación de metal y gestión de la flota.

Según Galiyev [8] realizaron un trabajo titulado “La digitalización y el potencial para mejorar el diseño y la planificación de las operaciones mineras a cielo abierto”, con el propósito de analizar las tecnologías tanto tradicionales como modernas para la explotación de yacimientos minerales por el método abierto para mejorar la eficiencia y reducir el coste de las operaciones de minería y transporte. El resultado obtenido en esta investigación fue que en el contexto de la transición a la Industria 4.0, la mejora de la eficiencia de las operaciones de minería y transporte en la minería a cielo abierto solo es posible sobre la base de una metodología unificada de diseño, planificación y gestión de los complejos geotecnológicos, desarrollada sobre la base de un análisis en profundidad en el marco de un enfoque corporativo automatizado utilizando la economía de la gestión de procesos.

Según Layva [9] realizó un estudio de investigación para la puesta en marcha de un Sistema de Despacho, empleando la tecnología Mesh con la finalidad de llevar el control de equipos de carguío y acarreo para la optimización de costos operativos en la corporación Minera Shougan Hierro Perú SAA – Marcona. El resultado alcanzado demostró una mejora en los costos, así como mejoras en la producción, mejor manejo en la información de las operaciones de carguío y acarreo.

Según Gao y Lin [10] efectuaron un proyecto titulado “Estudio sobre el modelo de distribución de la economía de bloques basado en la minería de datos” con el propósito de establecer un modelo de predicción de minería de datos PSO-LSSVM basado en big data, y se propuso un método de despacho económico basado en

bloques para tratar los riesgos financieros. En el experimento, se emplean datos financieros como muestra para predecir la curva de riesgo real. La conclusión obtenida evidenció que el resultado de la estimación del riesgo obtenido por el algoritmo de predicción sugerido se acerca más al riesgo real y los resultados experimentales proporcionaron una base para la toma de decisiones en el despacho económico del sistema financiero.

Según Smith et al. [11] desarrollaron un proyecto titulado “Políticas de despacho basadas en la optimización para la minería a cielo abierto”, con el propósito de recomendar, implementar y probar dos enfoques para despachar camiones en una operación minera a cielo abierto. El primer enfoque se basó en un modelo de optimización no lineal que incorpora efectos de cola para establecer tasas de flujo promedio entre las ubicaciones de las minas. El segundo enfoque se fundamentó en un modelo de programación de enteros mixtos (MIP) discretizado en el tiempo. El resultado obtenido en esta investigación demuestra el impacto positivo de tener en cuenta específicamente las consideraciones de las colas dentro de un modelo de caudal medio.

Según Dadhich et al. [12] realizaron un proyecto titulado “Principales retos de la automatización de las máquinas de movimiento de tierras” con el objetivo de analizar el movimiento de material (tierra, grava y roca fragmentada) por parte de una cargadora en un ciclo de carga corto, haciendo más hincapié en la etapa de carga. En este artículo se destacan los principales retos de la automatización y el funcionamiento a distancia de las máquinas de movimiento de tierras y se ofrece un estudio de las diferentes investigaciones a través del análisis bibliográfico y encuestas para identificar las áreas de conocimientos esenciales para la automatización del proceso. El resultado pudo identificar las lagunas de conocimiento para orientar futuras investigaciones en este campo.

Según Bustamante [13] en su tesis denominada perfeccionamiento del desempeño de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A. a través de la reducción de las demoras operativas más relevantes. El resultado alcanzado logro establecer las demoras en los tiempos y cuantificar las pérdidas en producción motivado a este factor.

Según Calua [14] en su tesis denominada planteamiento de reducción de tiempos no productivos para maximizar la producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A. Con el propósito de brindar una mejora en producción y tiempo operante para las acciones de carguío y acarreo. El resultado obtenido logro mejorar la productividad por día con un 293.58 TM/día y un veneficio económico de \$174.24 US \$/día.

### 2.3. Bases Teóricas

#### 2.3.1. Operación Minera

Las operaciones de minería son un conjunto de actividades que se realiza en la operación. A continuación,

se presenta la Fig. 3 con las actividades del proceso de la Operación Minera [15].

### 2.3.2. Carguío

Es la actividad de recoger el material fragmentado por el proceso de voladura para depositarlo seguidamente en las tolvas de los camiones mineros.

¿Cuáles son los factores que afectan el rendimiento del equipo de carguío?

- **Equipo de Acarreo:** Esto se refiere al factor de acoplamiento entre ambos equipos.
- **Granulometría del material:** Ocasiona un mayor tiempo en el ciclo de acarreo.
- **Corte directo:** Genera un incremento en el tiempo, así como el desgaste prematuro de los componentes del equipo.

- **Habilidad del operador:** Esto se refiere para ambos operadores tanto del equipo de carguío como del equipo de acarreo.

- **Condición mecánica del equipo:** El equipo de carguío no debe presentar deficiencias mecánicas de consideración.

A continuación, se presenta en la Fig. 4 imágenes de la actividad de carguío dentro de la mina:

### 2.3.3. Acarreo

Es el traslado de material roto en la mina desde los frentes de carguío hasta su lugar de descarga o su destino final.

A continuación, se presenta en la Figura 5 una imagen de la actividad de acarreo de la mina.



Fig. 3. Actividades del proceso de la Operación Minera.

Fuente: Elaboración propia



Fig. 4. Actividad de Carguío.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 5** Actividad de Acarreo.

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4. Productividad

El rendimiento es la conexión entre la producción alcanzada por un esquema productivo y los recursos empleados para alcanzar dicha productividad, o frecuentemente identificada como la vinculación entre el cumplimiento y el tiempo empleado para alcanzarlo, cuanto menor sea el tiempo que invertido para alcanzar un objetivo, más fructífero es el sistema. Por lo tanto, la productividad debe ser establecida como el indicador de eficiencia que vincula el volumen de producción con el porcentaje alcanzado [16].

Del mismo modo, puede indicarse como la capacidad mayor de producción con mínimos recursos, lo que se traduce en bajos costos, a través de la cantidad apropiada de equipos tanto de carguío como transporte que abarate los costos (Ver 1) [17].

$$\frac{\$}{tn} = \frac{\$/hr}{tn/hr} = \frac{Costo\ Horario}{Productividad} \quad (1)$$

### 2.3.5. Tiempos en los equipos de carguío y acarreo en minería

Según Saldaña [16] indica los siguientes tiempos a ser adoptados.

- **Horas totales (HT):** Se refiere al total de las 24 horas diarias, los 365 días del año deben ser adoptados por equipo
- **Horas disponibles (HD):** Horas en de trabajo de los equipos.
- **Horas malogradas (HM):** Son las que los equipos pueden estar en mantenimiento o en reparaciones.
- **Horas operativas (HR):** Horas de operaciones normales de trabajo.
- **Demoras Operativas (DO):** Tiempo en que los equipos no producen, pero están operativos.

- **Demoras no Operativas (DNO):** Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente en stand by y descansos.
- **Disponibilidad Mecánica (DM):** Porcentaje de tiempo total disponible para realizar funciones, es una métrica de la efectividad de mantenimiento controlada por estos.

### 2.3.6. KPIs Gestión Operativa

- **Utilización:** Indica el porcentaje que el equipo estuvo operativo con respecto al tiempo total disponible para el equipo (ver 2).

$$Disponibilidad\ Mecánica = \frac{Horas\ Disponibles}{Horas\ Totales} \quad (2)$$

### 2.3.7. KPIs Eficiencia de la Operación

- **Usaje:** Porcentaje de tiempo de producción en relación con el total tiempo mecánicamente disponible, se relaciona con la efectividad de la utilización de los recursos y la responsabilidad de operaciones (ver 3)

$$Uso = \frac{Horas\ Efectivas}{Horas\ Operativas} \quad (3)$$

- **Rendimiento:** Indicador que fija las toneladas producidas en un lapso de tiempo (ver 4).

$$Prod * \frac{Ton}{Hrs} = \frac{(Toneladas\ Producidas)}{(Intervalo\ de\ Tiempo)} \quad (4)$$

- **Velocidad:** Indicador que determina la velocidad que recorre cada volquete (ver 5).

$$Prod * \frac{Ton}{Hrs} = \frac{(Distancia)}{(Tiempo)} \quad (5)$$

### 2.3.8. Sistema de Señal Móvil (Operador Claro)

Es una señal de telefonía móvil, denominada igualmente servicio y recepción, su potencia es cuantificada en dBm, la cual es receptada por en equipo móvil desde una red de servicio, conforme de diferentes factores como, por ejemplo, proximidad a la fuente de la señal, obstrucciones, entre otros elementos, la intensidad con que se recibe la señal puede verse afectada [18]. En su mayoría los equipos móviles emplean un indicador de barras ascendentes que indican la potencia estimada de la señal proporcionada en el equipo antes mencionado. Seguidamente, se presentan en la Fig. 6 y Fig. 7 los equipos de señal móvil que serán empleados en el proyecto.

### 2.3.9. Sistema Repetidor de Señal Celular

Un amplificador o repetidor celular inalámbrico, también denominado amplificador bidireccional (BDA), es un equipo empleado para suministrar señal celular en un área con el empleo de una antena receptora, amplificador de señal y una antena interna de redispersión, estos equipos son más pequeños que los



Fig. 6. Antena señal móvil en Agua Blanca.

Fuente: Elaboración propia



Fig. 7. Repetidor de Señal móvil en Oficinas Dispatch.

Fuente: Elaboración propia

empleados normalmente por empresas proveedoras de servicio celular y son utilizadas para sectores de construcción, minero y residenciales. Su funcionamiento consiste en recibir una señal a través de una antena externa direccional y posteriormente transmitida a un amplificador de señal para su retransmisión localmente. Produciendo una señal de mayor potencia, algunos equipos pueden proporcionar acceso a bandas de frecuencia múltiples de forma simultánea ver Fig. 7.

### 2.3.10. Sistema de Optimización de Flota – Despacho

Para realizar un monitoreo de los equipos tanto de acarreo, carguío y perforación es fundamental que las organizaciones de minería posean sistemas que permitan obtener datos en tiempo real. Por lo tanto, actualmente muchas empresas del sector disponen de sistemas de despacho [19].

#### Dispatch

Sistema de control minero, que utiliza tecnologías de telecomunicaciones de vanguardia, como, equipos computacionales y sistemas GPS que permiten monitorear datos en el momento que están ocurriendo, así como datos históricos de la operación minera, brindando tareas optimizadas de forma automática para los equipos de la mina logrando aumentar la productividad [20].

## 3. Desarrollo de la solución

Para el presente proyecto se proponen las siguientes fases, con el propósito de cumplir con los objetivos de la investigación:

### 3.1. Fase 1

En esta fase se efectuará una recopilación y levantamiento de información, a acerca del contexto actual de la empresa minera referente a los procesos de carguío y acarreo, con la finalidad de identificar los inconvenientes que actualmente presenta el sistema de control interno para analizar las oportunidades de mejora y optimización de los procesos. Adicionalmente, se realizará un levantamiento de información sobre la infraestructura de comunicación de señal móvil, que actualmente opera dentro de las instalaciones con el propósito de verificar las áreas con ausencia de señal y verificar si es viable continuar con el sistema actual o reemplazarla por nueva tecnología que presente mayores beneficios de cobertura, velocidad y consistencia en las comunicaciones.

### 3.2. Fase 2

Una vez recopilada la información de los procesos de control de la empresa, se considera realizar un adecuado diseño de un sistema de gestión de Despacho, que permita mejorar el control de los equipos de carguío y acarreo, a través de la metodología Scrum para el desarrollo del software, en función de optimizar los tiempos de la demora operativa de espera en cola de carga y descarga. Adicionalmente, se analizará el sistema actual de comunicaciones con el fin de establecer su capacidad operativa con respecto a los beneficios operacionales, por medio de la comparación de otras alternativas y determinar cuál será la más viable para la empresa en estudio. Asimismo, se realizará un análisis de los equipos que se emplearan en el control de carguío y acarreo, con el propósito de

comparar cuáles ofrecen mejor funcionalidad en relación con los costos beneficio de los mismos, así como las características técnicas más adecuadas para el desarrollo del proyecto.

### 3.3. Fase 3

Una vez determinada cuál es la infraestructura de comunicaciones más apropiada para la empresa, se procederá a ejecutar la instalación y configuración de la plataforma seleccionada.

### 3.4. Fase 4

Luego de la instalación de la infraestructura de comunicaciones y de haber concluido con el diseño del aplicativo que será empleado para el control en las unidades de carguío y acarreo para la captura y envío de la información, se procederá a realizar toda la instalación del sistema e iniciar la fase de pruebas.

### 3.5. Fase 5

Esta fase consta de las pruebas que se realizaran al sistema para determinar su correcto funcionamiento, así como la adecuada transmisión de los datos de los procesos de control relacionados con los equipos a ser monitoreados.

### 3.6. Metodología de desarrollo del sistema

La metodología seleccionada para el desarrollo del proyecto, es Scrum. Esta metodología es un marco de trabajo enfocado en tener una cooperación eficiente de equipos en proyectos, utilizando un conjunto de reglas y artefactos. También, determina roles para generar una estructura en el adecuado desarrollo del proyecto. Asimismo, esta metodología es dedicada para proyectos que tienen modificaciones repentinas de requisitos, llevando el desarrollo de software mediante interacciones denominadas Sprint, revisadas de forma periódica, lo que permite cumplir una determinada tarea del desarrollo, manteniendo flexibilidad laboral y motivación durante el proceso [21].

### 3.7. Descripción del desarrollo de la propuesta

#### 3.7.1. Fase 1 (Recolección de datos)

Una vez realizada la recopilación de los datos y el levantamiento de la información, a acerca del contexto

actual de la empresa minera referente a los procesos de carguío y acarreo, se presentan los datos obtenidos con las técnicas de recolección de datos, son los siguientes:

- Reporte generado pasado 6:00 Horas de finalizado la guardia, no permite gestionar la operación en tiempo real.
- Localización de volquete con precisión baja (+-30 m) – Baja o nula señal wifi o celular.
- Polígonos de Origen y destino muy grandes y superpuestos.
- Registro y asignación de viajes manual.
- Dependencia de un controlador en campo.
- Velocidad relativa, poco precisa.
- Plataformas de toma de datos pertenecen a un tercero (dependencia).
- No se sabe que distancia ha recorrido el volquete, solo se tiene un aproximado
- No permite medir cuando el volquete tarda más de lo debido dentro del polígono de destino.
- No permite medir posicionamiento en tiempo real, ni seguimiento de velocidades en tiempo real, tampoco demoras operativas.

Demoras operativas en carga ver Fig. 8 y descarga con mayor tiempo ver Fig. 9.

Adicionalmente, se realizó el levantamiento de información sobre la infraestructura de comunicación de señal móvil, comprobando que en algunos sectores de las instalaciones de la mina presenta una inadecuada cobertura de señal que impide las comunicaciones efectivas de los sistemas para el control de los equipos de carguío y acarreo a través de la señal móvil existente ver Fig. 10.

#### 3.7.2. Fase 2 (Infraestructura propuesta)

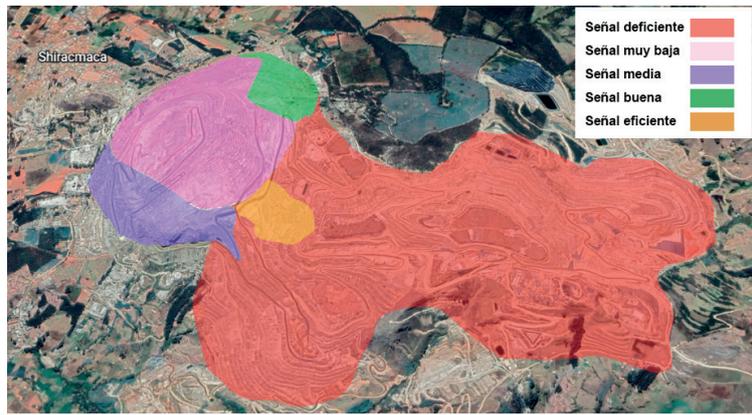
Para tener una buena cobertura de señal 4G, actualmente se instalará la siguiente infraestructura y equipamiento de antenas y repetidoras ver Fig. 11:



**Fig. 8.** Demora operativa de espera en cola de carga.  
Fuente: Elaboración propia

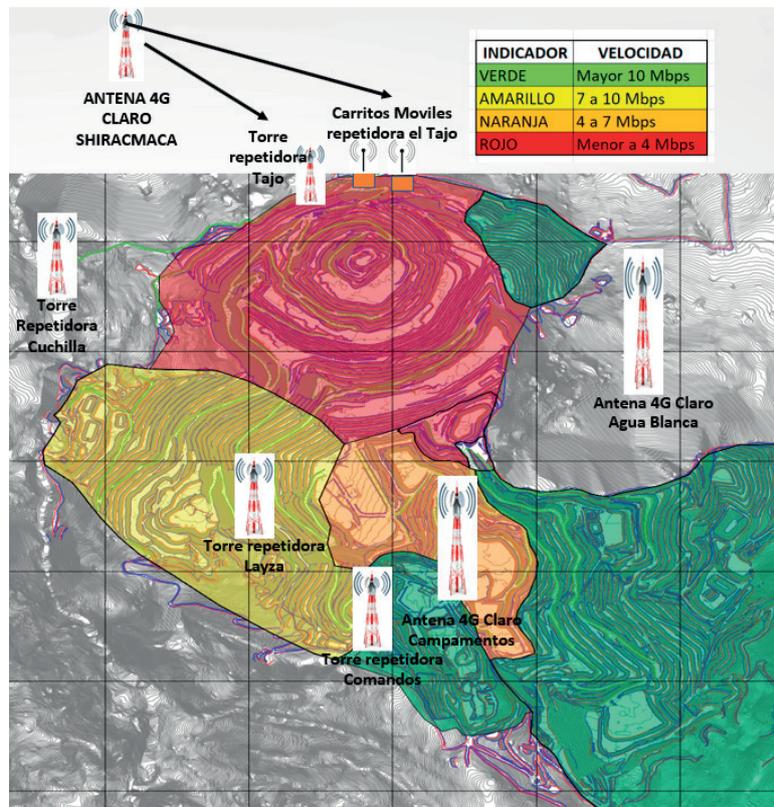


**Fig. 9.** Demora operativa de espera en cola de descarga.  
Fuente: Elaboración propia



**Fig. 10.** Cobertura de señal disponible.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 11.** Infraestructura de señal 4G.

Fuente: Elaboración propia

- 02 antenas de señal 4G de Claro instaladas dentro de mina.
- 01 antena de señal 4G en la zona de Shiracmaca.
- 01 repetidora instalada en la zona de Comandos.
- 01 repetidora instalada en el Tajo Mina.
- 01 repetidora instalada en la zona de Layza
- 01 repetidora instalada en la zona de la cuchilla. (Parte externa).
- 02 repetidoras instaladas en los carritos móviles del tajo.

### Torre de Tv 24M

Se instalará una torre ventada de 24M de 30x30 en la garita en la cual se le integrará la estabilización necesaria para la solidez que requiere para el sistema repetidor, ver Fig. 12.

### Sistema de repetición celular CellBoost - Garita - Dique Norte

Se realizará la instalación de los sistemas de repetición celular en la torre ventada de 24M de Garita, en la cual se tomarán todas las consideraciones de seguridad y técnicas para su correcto funcionamiento. A continuación, en la figura 13 se presenta el diagrama

de conexión del sistema repetidor de señal celular CellBoost C30281RPT – C37381RPT.

**3.7.3. Fase 3 (Instalación de infraestructura de comunicaciones)**

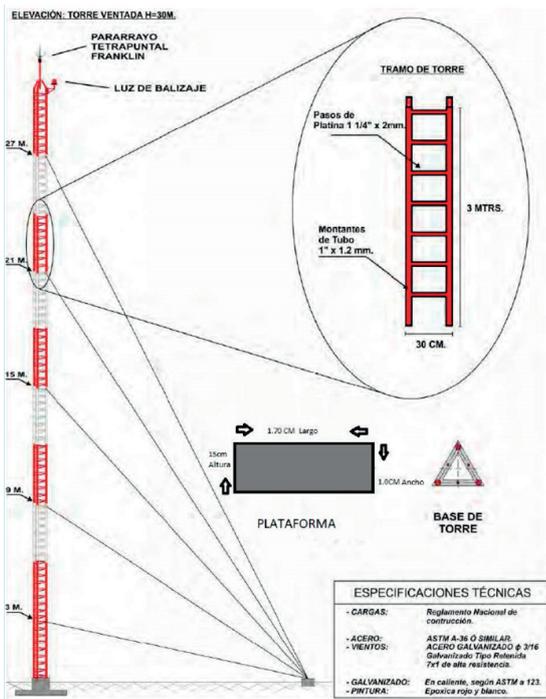
Una vez establecida la infraestructura de comunicaciones apropiada para la empresa, se procedo a realizar la instalación y configuración de la plataforma seleccionada. A continuación, ver Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17,

Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20, se presenta la torre repetidora Cuchilla una vez concluida su instalación.

**3.7.4. Fase 4 (Desarrollo de sistema de Despacho)**

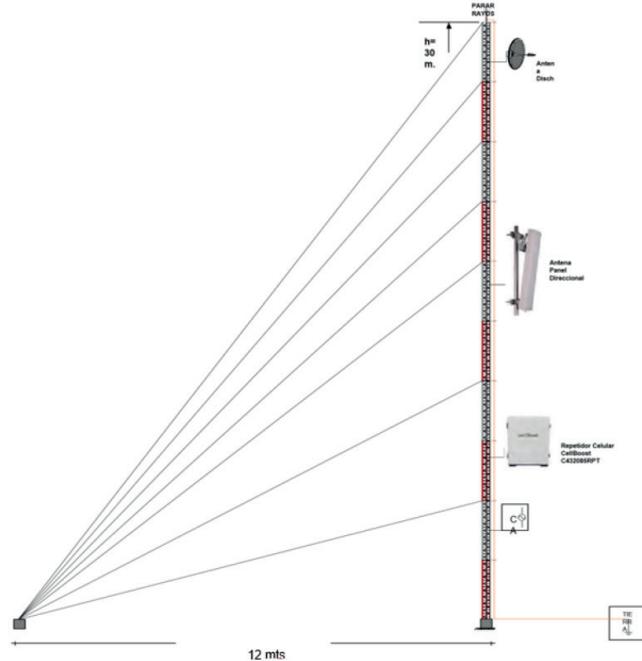
**Desarrollo del sistema**

El presente apartado tiene como propósito detallar los requerimientos no funcionales para el desarrollo del sistema de Despacho.



**Fig. 12.** Torre ventada arriostrada 24m.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 13.** Diagrama de conexión del sistema repetidor de señal celular CellBoost

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 14.** Torre repetidora Cuchilla.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 15.** Torre repetidora Tajo.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 16.** Antena 4G Claro Shiracmaca.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 17.** Carritos móviles repetidoras el Tajo.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 18.** Antena 4G Claro Agua Blanca.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 19.** Torre repetidora Comandos.

Fuente: Elaboración propia

### *Involucrados en el proyecto*

Identificación de los integrantes y roles en el proyecto, seguidamente, en la Tabla 1, se establecen los roles del grupo de trabajo.

Los usuarios son los implicados en la utilización del sistema, subsiguientemente, en la Tabla 2 se especifican estos.

### *Requisitos no funcionales*

El presente apartado especifica en la Tabla 3 los requerimientos no funcionales que se deben tener en

cuenta en las fases posteriores del desarrollo de la aplicación y sistema web.

### *Requisitos funcionales*

Posteriormente, se presentan los requerimientos funcionales para el desarrollo del sistema, adicionalmente, en la Tabla 4 se detallan los módulos que conformarán el sistema.

### *Módulos del Product backlog*

El Product backlog del sistema de Despacho en la Tabla 5.



Fig. 20. Torre repetidora Layza.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Función de equipos

| Componentes                                    | Función       | Código |
|--|---------------|--------|
| Summa Gold Corporation SAC                     | Product Owner | FE01   |
| Ing. Oscar Moreno                              | Scrum Master  | FE02   |
| Antony Franklin Alfaro Vásquez (Desarrollador) | Team          | FE03   |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Usuarios del sistema

| TIPO                                     | USUARIO  | DESCRIPCIÓN  |
|--|----------|--|
| Usuario del Sistema Web                  | Gerencia | Este perfil tiene acceso restringido al sistema, ya que solo cuenta con acceso al módulo de reportes que son el Dashboard e Histórico.   |
|  | Dispatch | Este perfil tiene acceso total del sistema web de dispatch, ya que cumple un rol importante en las actividades de los operadores como por ejemplo los módulos de Visor, Gestión, Viajes, Disponibilidad, Reportes  |
|  | Contrata | Este perfil tiene acceso restringido del sistema web de dispatch, ya que solo tiene acceso al módulo de Disponibilidad de Equipos  |
| Usuario del Sistema del Aplicativo Móvil | Acarreo  | Este perfil tiene acceso permitido al sistema, ya que esto le permite operar con normalidad, cumpliendo sus labores como cargar, trasladar y descargar, como también marcar sus tipos de demoras, para así obtener esa información en tiempo real, gestionarla correctamente y generando reportes más precisos |
|  | Carguío  | Este perfil tiene acceso permitido al sistema, ya que esto le permite operar con normalidad, cumpliendo sus labores de cargar el material asignado, como también marcar sus tipos de demoras, para así obtener esa información en tiempo real, gestionarla correctamente y generando reportes más precisos     |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Requerimientos no funcionales

| COD.  | REQUERIMIENTO   |
|-------|---|
| RNF01 | Seguridad ante la filtración de información de usuarios.                      |
| RNF02 | Permisos de acceso con el administrador o soporte.                            |
| RNF03 | El sistema debe ser capaz de operar con varios usuarios conectados.           |
| RNF04 | Actualizaciones en base de datos deben ser menor de 2 segundos.               |
| RNF05 | Toda función en el sistema debe durar menos de 5 segundos.                    |
| RNF06 | Mensajes de alerta de errores para los usuarios.                              |
| RNF07 | La tasa de errores por el usuario deberá ser menor del 1%                     |
| RNF08 | La metodología de desarrollo de software es Scrum.                            |
| RNF09 | El tiempo para iniciar o reiniciar el sistema no podrá ser mayor a 5 minutos. |
| RNF10 | El sistema debe contar con un plan de recuperación.                           |
| RNF11 | El sistema debe ser compatible con todas las versiones de Windows.            |
| RNF12 | El sistema no podrá ocupar más de 2 GB de espacio en disco.                   |
| RNF13 | El sistema deberá consumir menos de 500 Mb de memoria RAM.                    |
| RNF14 | El sistema debe ser desarrollado y adaptable a todos los dispositivos.        |
| RNF15 | La interfaz gráfica debe ser desarrollada en HTML5 y JavaScript.              |
| RNF16 | El sistema debe poseer interfaces gráficas bien formadas.                     |
| RNF17 | Todos los módulos deben ser Responsivos.                                      |
| RNF18 | Se debe contar con manuales de usuario estructurados adecuadamente.           |
| RNF19 | El aprendizaje del sistema por un usuario deberá ser menor a 4 horas.         |
| RNF20 | El sistema debe ser capaz de procesar N viajes procesados por segundo.        |
| RNF21 | El sistema debe generar reportes gerenciales de forma rápida.                 |
| RNF22 | El sistema debe contar con un módulo de ayuda en línea.                       |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. Requisitos funcionales**

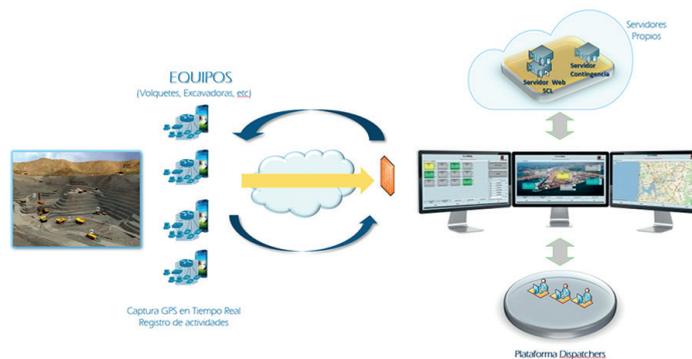
| MÓDULO | COD.  | REQUERIMIENTO  |
|--------|-------|--|
| MOD01  | RF01  | Traer la data según la fecha y turno solicitado  |
|        | RF02  | Filtro por Contratas   |
|        | RF03  | Traer Registro del turno Anterior  |
|        | RF04  | Exportar Detalle de Equipos Disponibles  |
|        | RF05  | Exportar Equipos Disponibles pero Agrupados  |
|        | RF06  | Botón de Actualizar Pagina   |
|        | RF07  | Agregar columnas Disponible, Programado e Inicio Guardia                                       |
|        | RF08  | Permitir agregar Observaciones de los Equipos.   |
| MOD02  | RF09  | Traer la data según la fecha y turno solicitado  |
|        | RF10  | Modo de selección de Equipos de Arrastrable.   |
|        | RF11  | Botón de Agregar y Eliminar Flotas en los Registros  |
|        | RF12  | Botón de copiar registros del Turno Anterior   |
|        | RF13  | Descargar Programación del turno en Formato Excel  |
|        | RF14  | Botón para subir archivos al Sistema   |
|        | RF15  | Botón Agregar Equipo Auxiliar a la Programación.   |
| MOD03  | RF16  | Filtro por Rango de Fecha y Turno.   |
|        | RF17  | Modo de selección Arrastrable de Equipos a diferentes flotas                                   |
|        | RF18  | Listar las flotas que fueron creadas en la Programación.                                       |
|        | RF19  | Botón de Crear y Eliminar Flotas   |
|        | RF20  | Mostrar Registros de Flotas Eliminadas   |
|        | RF21  | Mostrar el Mapa con los Equipos de Carguío   |
|        | RF22  | Visualizar rutas y Geocercas en el Mapa.   |
|        | RF23  | Mostrar Detalle de los Equipos   |
|        | RF25  | Visualizar botones de Importación y Exportación.   |
|        | MOD04 | RF26   |
| RF27   |       | Filtrar automáticamente el turno y fecha actual y estado.                                      |
| RF28   |       | Mostrar el Mapa con los Equipos de Acarreo y Carguío.  |
| RF29   |       | Visualizar el seguimiento de los Equipos en tiempo Real.                                       |
| RF30   |       | Mostrar las Rutas y Geocercas que están en la Gestión.   |
| RF31   |       | Mostrar un botón de leyenda de pendientes y visualizar los pendientes en las rutas en el mapa. |
| RF32   |       | Mostrar botones de Apoyo de los Equipos en la parte superior                                   |
| MOD05  | RF33  | Mostrar detalle de los Equipos en la parte inferior.   |
|        | RF34  | Filtro por Rango de Fecha y Turno.   |
|        | RF35  | Botones para actualizar registros y Guardar Cambios.   |
|        | RF36  | Botones para Generar Viajes y Actualizar Ciclos.   |
|        | RF37  | Botones de Apoyo en la parte superior  |
|        | RF38  | Visualizar Registros Realizados en el Turno.   |
|        | RF39  | Mostrar Histórico de Actividades.  |
| MOD06  | RF40  | Mostrar Lista de Equipos y sus detalles en el turno.   |
|        | RF41  | Crear Dashboard de Producción, Productividad y Gastos/Costos con Filtros.                      |
|        | RF42  | Crear un Reporte Histórico, con rango de Filtros.  |
|        | RF43  | Crear un Reporte del Mapa de Calor de Velocidades.   |
|        | RF44  | Crear un Reporte de Performance con Rango de Filtros.  |
|        | RF45  | Crear un Reporte de Confiabilidad con Rango de Filtros.  |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Product backlog del sistema de Despacho

| Código | Descripción  | Horas | Prioridad |
|--------|--|-------|-----------|
| RF01   | Se requiere traer la data según la fecha y turno solicitado.   | 32    | Alta      |
| RF02   | Se requiere filtro por Contratas.  | 32    | Alta      |
| RF03   | Se requiere traer Registro del turno Anterior.   | 32    | Alta      |
| RF04   | Se requiere exportar detalle de equipos disponibles.   | 16    | Alta      |
| RF05   | Se requiere exportar equipos disponibles pero agrupados.   | 24    | Alta      |
| RF06   | Se requiere un botón de actualizar página.   | 16    | Alta      |
| RF07   | Se requiere agregar columnas disponible, programado e inicio guardia.                                      | 24    | Alta      |
| RF08   | Se requiere permitir agregar observaciones de los equipos.   | 24    | Alta      |
| RF09   | Se requiere traer la data según la fecha y turno solicitado.   | 40    | Alta      |
| RF10   | Se requiere un modo de selección de equipos de arrastrable.  | 40    | Alta      |
| RF11   | Se requiere un botón de agregar y eliminar flotas en los registros.  | 2     | Alta      |
| RF12   | Se requiere un botón de copiar registros del turno anterior.   | 16    | Alta      |
| RF13   | Se requiere descargar programación del turno en formato Excel.   | 16    | Alta      |
| RF14   | Se requiere un botón para subir archivos al sistema.   | 32    | Alta      |
| RF15   | Se requiere un botón agregar equipo auxiliar a la programación.  | 48    | Alta      |
| RF16   | Se requiere un filtro por rango de fecha y turno.  | 24    | Alta      |
| RF17   | Se requiere un modo de selección arrastrable de equipos a diferentes flotas.                               | 16    | Alta      |
| RF18   | Se requiere listar las flotas que fueron creadas en la programación.                                       | 32    | Alta      |
| RF19   | Se requiere un botón de crear y eliminar flotas.   | 16    | Alta      |
| RF20   | Se requiere mostrar registros de flotas eliminadas.  | 40    | Alta      |
| RF21   | Se requiere mostrar el mapa con los equipos de carguío.  | 24    | Alta      |
| RF22   | Se requiere visualizar rutas y geocercas en el mapa.   | 24    | Alta      |
| RF23   | Se requiere mostrar detalle de los equipos.  | 40    | Alta      |
| RF24   | Se requiere visualizar botones de importación y exportación.   | 16    | Alta      |
| RF25   | Se requiere visualizar y gestionar los registros de cambios de los equipos.                                | 40    | Alta      |
| RF26   | Se requiere filtrar automáticamente el turno y fecha actual y estado.                                      | 40    | Alta      |
| RF27   | Se requiere mostrar el mapa con los equipos de acarreo y carguío.  | 32    | Alta      |
| RF28   | Se requiere visualizar el seguimiento de los equipos en tiempo real.                                       | 40    | Alta      |
| RF29   | Se requiere mostrar las rutas y geocercas que están en la gestión.   | 40    | Alta      |
| RF30   | Se requiere mostrar un botón de leyenda de pendientes y visualizar los pendientes en las rutas en el mapa. | 32    | Alta      |
| RF31   | Se requiere mostrar botones de apoyo de los equipos en la parte superior.                                  | 16    | Alta      |
| RF32   | Se requiere mostrar detalle de los equipos en la parte inferior.   | 24    | Alta      |
| RF33   | Se requiere un filtro por rango de fecha y turno.  | 24    | Alta      |
| RF34   | Se requiere botones para actualizar registros y guardar cambios.   | 16    | Alta      |
| RF35   | Se requiere botones para generar viajes y actualizar ciclos.   | 24    | Alta      |
| RF36   | Se requiere botones de apoyo en la parte superior.   | 16    | Alta      |
| RF37   | Se requiere visualizar registros realizados en el turno.   | 32    | Alta      |
| RF38   | Se requiere mostrar histórico de actividades.  | 40    | Alta      |
| RF39   | Se requiere mostrar lista de equipos y sus detalles en el turno.   | 16    | Alta      |
| RF40   | Se requiere crear Dashboard de producción, productividad y gastos/costos con filtros.                      | 40    | Alta      |
| RF41   | Se requiere crear un reporte histórico, con rango de filtros.  | 40    | Media     |
| RF42   | Se requiere crear un reporte del mapa de calor de velocidades.   | 32    | Media     |
| RF43   | Se requiere crear un reporte de performance con rango de filtros.  | 32    | Media     |
| RF44   | Se requiere crear un reporte de confiabilidad con rango de filtros.  | 24    | Media     |
| RF45   | Se requiere crear un reporte de mantenimiento con rango de filtros.  | 24    | Media     |

Fuente: Elaboración propia



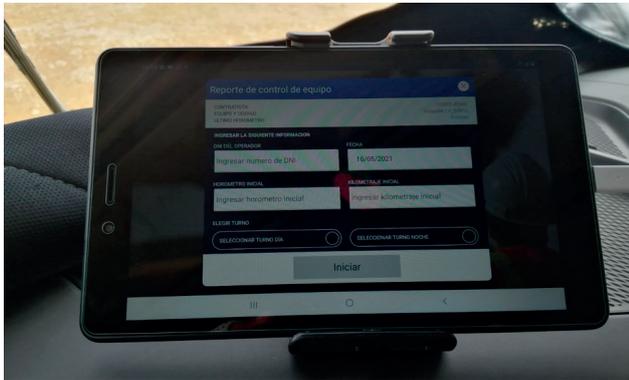
**Fig. 21.** Diagrama de solución.

Fuente: Operaciones Mina - Summa Gold

Seguidamente, se presenta el diagrama de la solución del sistema Despacho ver Fig. 21.

Concluida la fase anterior con la instalación de las comunicaciones, se procederá a realizar toda la instalación del sistema e iniciar la fase de pruebas.

A continuación, se presenta en la Fig. 22 el dispositivo Samsung Galaxy Tab 8 con el sistema instalado y operando satisfactoriamente.



**Fig. 22.** Samsung Galaxy Tab 8 con el sistema instalado.

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se presenta en la Fig. 23 el sistema en interacción con el operario del equipo de carguío, el cual a través de la aplicación es monitoreado durante todas las fases por las cuales el equipo debe ir pasando para transportar el mineral y poder ser procesado por el resto de operadores que laboran dentro de la mina.



**Fig. 23.** Interacción con operario con sistema de Despacho.

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se presenta en la Fig. 24 el personal de la sala de control, el cual es el encargado de monitorear el Dashboard de producción que proporciona información en tiempo real de las operaciones que se llevan dentro de la unidad minera Summa Gold Corporation SAC.

Seguidamente, se presenta en la Fig. 25 el Dashboard del sistema con la producción diaria, la cual es utilizada en la sala de control para monitorear, controlar, supervisar y verificar el cumplimiento de todos los equipos, personal y diferentes etapas de la producción de la unidad minera Summa Gold Corporation SAC.



**Fig. 24.** Sala de control de la unidad minera Summa Gold Corporation SAC.

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.5. Fase 5 (Pruebas del sistema)

La siguiente fase se realiza con el propósito de realizar las pruebas al sistema y para asegurar el correcto funcionamiento de todos los procesos que este monitoriza, entre las actividades que serán evaluadas en el sistema se presentan las siguientes:

- Verificar que el sistema presente de forma eficiente a cada equipo de acarreo de mineral la mejor ruta de circulación.
- Verificar que el seguimiento de cada equipo de carguío y acarreo se efectúe de forma eficiente.
- Comprobar que el sistema controle a cada equipo para que lleve a cabo su trabajo con base en tiempos óptimos. Adicionalmente, comprobar que el ciclo de acarreo no se presente tiempos muertos y que se genere mayor producción de mineral.
- Comprobar que la visualización del mapa en tiempo real de la operación de la mina, para el seguimiento de cada equipo, se presente de forma adecuada y optimizada.
- Verificar que la información presentada en la visualización de sí un volquete está cargado o vacío, si está en cola o espera, se presente de forma adecuada y optimizada.
- Comprobar que la información de gráficos de producción de cada hora, rendimientos de cada equipo sea correcta.

- Comprobar la correcta generación de los reportes de producción horaria del sistema.
- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema en la administración de rutas, flotas, excavadores y controladores.

Los resultados se presentan en el próximo apartado 4 de resultados.

#### 4. Resultados

##### 4.1. Resultado de los tiempos de la demora operativa de espera en cola para carga

En este apartado, se procede inicialmente a presentar los resultados obtenidos de los tiempos de demora operativa en cola para la carga de material de la mina, los cuales se resumen en la Tabla 6, Tabla 7, Fig. 26 con datos

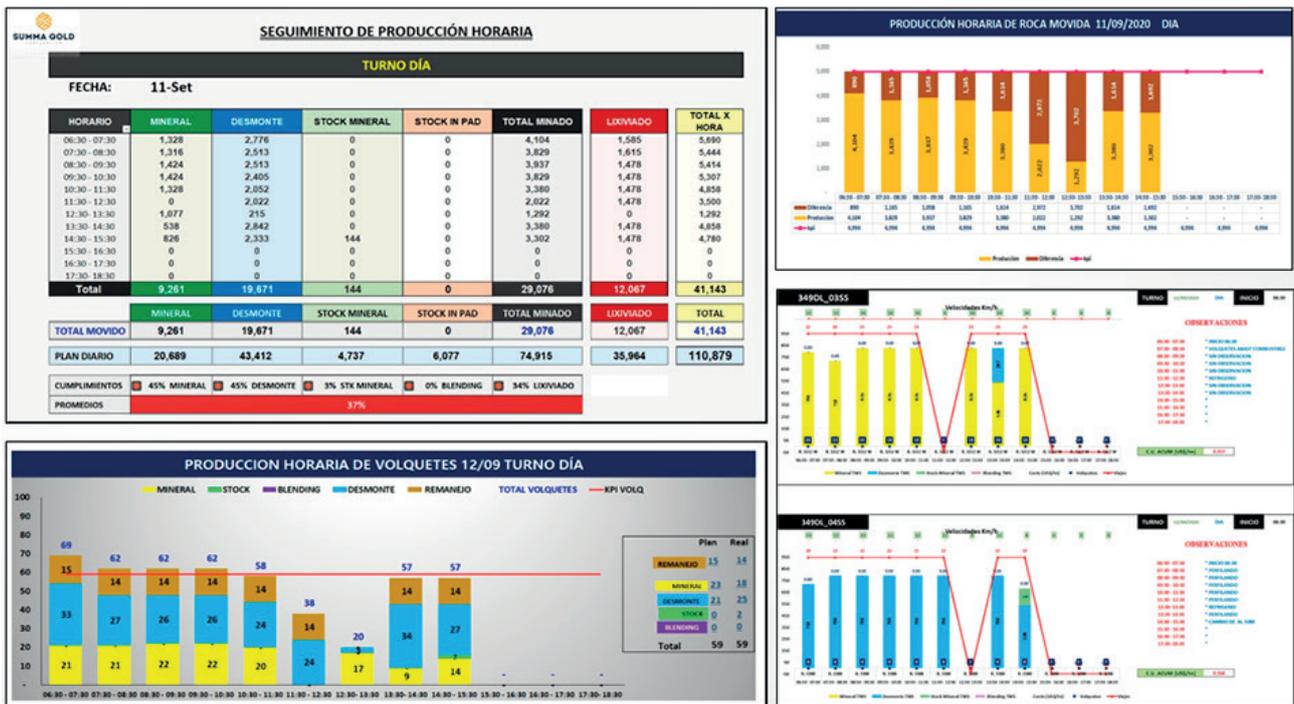


Fig. 25. Dashboard de producción.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultado de demora operativa de espera en cola de carga del sistema actual.

VEHÍCULO: VOLQUETE  
 PLACA: V\_1002ECO  
 FECHA: 01 MARZO DEL 2022  
 TURNO: DIA

| Fecha     | Turno | Tipo equipo | Equipo    | Contrata | Demoras Operativas | Minutos transcurridos Sistema Actual |
|-----------|-------|-------------|-----------|----------|--------------------|--------------------------------------|
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem01              | 0.566666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem02              | 16.85                                |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem03              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem04              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem05              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem06              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem07              | 0.533333                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem08              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem09              | 0.566666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem10              | 3.166666                             |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7.** Resultado de demora operativa de espera en cola de carga demo del nuevo sistema.

VEHÍCULO: VOLQUETE  
 PLACA: V\_1002ECO  
 FECHA: 01 ABRIL DEL 2022  
 TURNO: DIA

| Fecha     | Turno | Tipo equipo | Equipo    | Contrata | Demoras Operativas | Minutos transcurridos Sistema Actual |
|-----------|-------|-------------|-----------|----------|--------------------|--------------------------------------|
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem01              | 0.066666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem02              | 16.35                                |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem03              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem04              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem05              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem06              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem07              | 0.033333                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem08              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem09              | 0.066666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem10              | 2.666666                             |

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 26.** Tiempos de demora operativa en cola de carga del sistema actual y demo del nuevo sistema.

Fuente: Elaboración propia

del turno de día en las fechas 01-03-22 y 01-04-22 del volquete V\_1002ECO de carga de la contrata ECOSM.

menor en un 36% que los tiempos controlados por el sistema actual.

**Leyenda:**

Eje X: Demoras Operativas

Eje Y: Tiempo de demora

**Análisis:**

La Fig. 26 muestra los tiempos de demora operativa en la cola de carga del volquete V\_1002ECO de la contrata ECOSM, en el turno de día en las fechas 01-03-22 y 01-04-22, estos resultados son obtenidos del sistema actual y de la demo del nuevo sistema.

**Conclusión:**

El resultado de los tiempos de las demoras operativas controladas por el prototipo del nuevo sistema es

**4.2. Resultado de los tiempos de la demora operativa de espera en cola para descarga**

En este apartado, se procede inicialmente a presentar los resultados obtenidos de los tiempos de demora operativa en cola para la carga de material de la mina, los cuales se resumen en la Tabla 8, Tabla 9, Fig. 27 con datos del turno de día en las fechas 01-03-22 y 01-04-22 del volquete V\_1002ECO de descarga de la contrata ECOSM.

**Leyenda:**

Eje X: Demoras Operativas

Eje Y: Tiempo de demora

**Tabla 8.** Resultado de demora operativa de espera en cola de descarga del sistema actual.

VEHÍCULO: VOLQUETE  
 PLACA: V\_1002ECO  
 FECHA: 01 MARZO DEL 2022  
 TURNO: DIA.

| Fecha     | Turno | Tipo equipo | Equipo    | Contrata | Demoras Operativas | Minutos transcurridos Sistema Actual |
|-----------|-------|-------------|-----------|----------|--------------------|--------------------------------------|
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem01              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem02              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem03              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem04              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem05              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem06              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem07              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem08              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem09              | 0.516666                             |
| 1/03/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem10              | 0.516666                             |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.** Resultado de demora operativa de espera en cola de descarga demo del nuevo sistema.

VEHÍCULO: VOLQUETE  
 PLACA: V\_1002ECO  
 FECHA: 01 ABRIL DEL 2022  
 TURNO: DIA.

| Fecha     | Turno | Tipo equipo | Equipo    | Contrata | Demoras Operativas | Minutos transcurridos Sistema Actual |
|-----------|-------|-------------|-----------|----------|--------------------|--------------------------------------|
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem01              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem02              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem03              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem04              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem05              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem06              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem07              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem08              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem09              | 0.016666                             |
| 1/04/2022 | Día   | Volquete    | V_1002ECO | ECOSM    | Dem10              | 0.016666                             |

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 27.** Tiempos de demora operativa en cola de descarga del sistema actual y demo del nuevo sistema.

Fuente: Elaboración propia

**Análisis:**

La Fig. 27 muestra los tiempos de demora operativa en la cola de descarga del volquete V\_1002ECO de la contrata ECOSM turno día en las fechas 01-03-22 y 01-04-22, estos resultados son obtenidos del sistema actual y de la demo del nuevo sistema evidenciando una reducción.

**Conclusión:**

El resultado de los tiempos de las demoras operativas controladas por la demo del nuevo sistema es menor en un 91% que los tiempos controlados por el sistema actual, lo cual representa un ahorro en tiempo y la reducción significativa en costos operativos para la mina.

**4.3. Resultado de los costos de producción.**

En la Tabla 10 y Fig. 28 se presentan datos históricos de los costos a partir del mes de octubre del 2021 y los datos a partir del mes de marzo del 2022, es donde se implementó la demo del nuevo sistema de Gestión de Despacho.

**Análisis:**

En la Fig. 28 se evidencia de forma gráfica la reducción de costos que en promedio para los equipos de acarreo representaban \$0,5271 (dólares) por tonelada se redujo a \$0,4646 (dólares) por tonelada, al igual que para los equipos de carguío que representaban \$0,1509 (dólares) por tonelada se ha reducido a \$0,1389 (dólares) por tonelada de material mineral bruto, motivados a la mejora de los tiempos de acarreo y carguío apoyados en la demo del nuevo sistema de Gestión Dispatch.

**Conclusión:**

El resultado de las operaciones controladas por el prototipo del nuevo sistema ha permitido una disminución en los costos y estos sean menor en comparación con meses anteriores gracias al sistema actual.

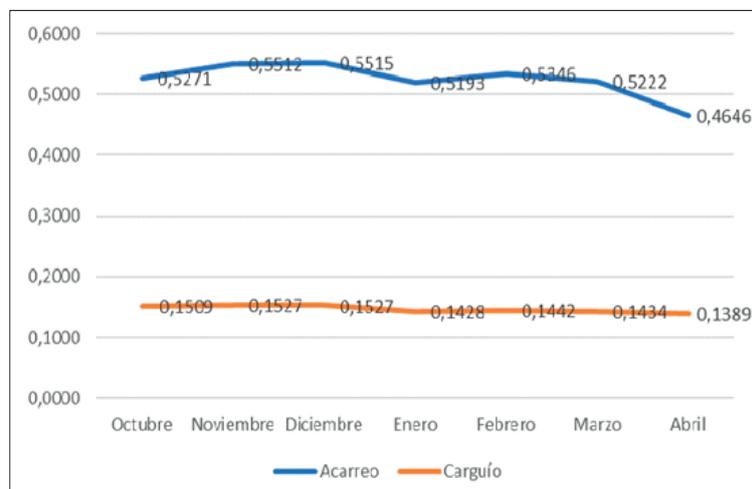
**4.4. Resultado de las velocidades de los equipos de acarreo**

En la Fig. 29 se presenta la velocidad promedio empleada por los vehículos de acarreo y para los últimos dos meses, resaltando en la gráfica datos correspondientes al mes de marzo y abril, donde se puede evidenciar

**Tabla 10.** Costos basados en dólares por toneladas controlados por el sistema.

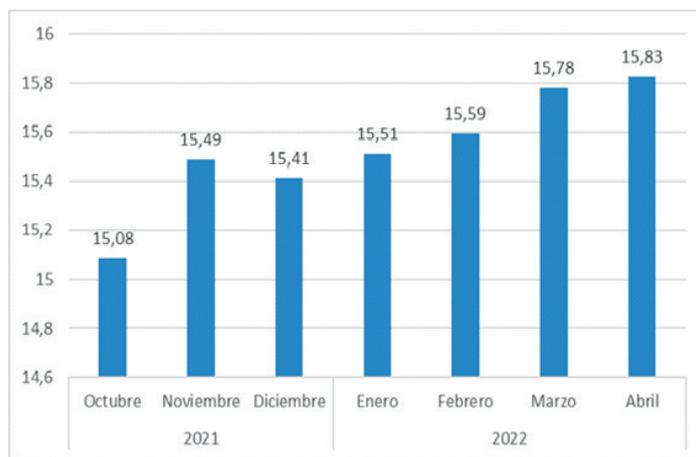
| EQUIPOS | 2021         |              |              | 2022         |              |              |              |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|         | Octubre      | Noviembre    | Diciembre    | Enero        | Febrero      | Marzo        | Abril        |
|         | 31           | 30           | 31           | 31           | 28           | 31           | 30           |
|         | Costos \$/tn |
|         | Real         |
| Acarreo | 0,5271       | 0,5512       | 0,5515       | 0,5193       | 0,5346       | 0,5222       | 0,4646       |
| Carguío | 0,1509       | 0,1527       | 0,1527       | 0,1428       | 0,1442       | 0,1434       | 0,1389       |

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 28.** Grafico basados en dólares por toneladas controlados por el sistema.

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 29.** Velocidades promedio de los equipos de acarreo.

Fuente: Elaboración propia

un incremento de la velocidad de dichos equipos, ya que se implementó la demo del nuevo sistema de Gestión de Despacho.

**Análisis:**

El resultado de las operaciones controladas por la demo del nuevo sistema demostró mejoría dentro de la producción, motivado al incremento de las velocidades de los equipos de acarreo. Por ello se ha presentado un aumento en la velocidad en los meses en lo que entró en funcionamiento el sistema y se puede observar un promedio de velocidad para el mes de marzo de 15,78 Km/h y de 15,83 Km/h para el mes de abril, como se observa en la Fig. 29.

**Conclusión:**

El resultado de los incrementos en velocidad de acarreo en las operativas controladas por la demo del nuevo sistema es mayor que los tiempos controlados por el sistema actual.

**Beneficios que aporta la propuesta:**

Dentro de los beneficios que permitirá aportar el nuevo sistema de gestión de Despacho se mencionan las siguientes:

- Maximizar la eficiencia de cada equipo en rendimiento de acarreo de mineral, obteniendo la mejor ruta para los equipos.
- Seguimiento de cada equipo de carguío y acarreo.
- Maximiza y controla que cada equipo realice el trabajo con base en tiempos óptimos.
- Maximiza el ciclo de acarreo para que no haya tiempos muertos y que se genere mayor producción de mineral.

- Se puede visualizar un mapa en tiempo real de la operación de la mina, para el seguimiento de cada equipo.
- Se visualiza si un volquete está cargado o vacío, así como si está en cola o espera.
- Permite obtener gráficos de producción de cada hora, rendimientos de cada equipo según el frente de carguío.
- Permite la visualización de reportes de producción horaria esperada y el uso de regresión lineal.
- Permite la administración de rutas, flotas, excavadores, controladores, otros elementos para su control.

**5. Conclusión**

- Se logró el análisis de los inconvenientes que presentaba el sistema de control anterior de los equipos de carguío y acarreo, los cuales no permitían manipular la información, ni tener datos de forma correcta para el procesamiento de los datos, esto permitió establecer con claridad los elementos claves que lograron establecer la solución más adecuada para el proyecto.
- Se concretó el desarrollo de la solución en la gestión Despacho para el control de los equipos de carguío y acarreo a través del empleo de la metodología Scrum, la cual permitió establecer las fases de desarrollo del sistema de forma clara y efectiva.
- La implementación del sistema Dispatch ha permitido la visualización en tiempo real de los datos de todos los equipos involucrados en la producción, lo que permite una adecuada toma de decisiones, asimismo, facilita cambio de guardia de forma rápida de los equipos de acarreo sin afectar la productividad.

- Se logró la implementación de la nueva infraestructura de comunicaciones móviles por medio del análisis del problema y el establecimiento del método de trabajo para realizar una adecuada integración de los sistemas de comunicaciones necesarios para la solución propuesta.
- Mediante la implementación de la infraestructura de comunicaciones de señal móvil, ha permitido una cobertura de señal en un 100% a la unidad minera, la cual hace que todos los equipos de carguío y acarreo sean controlados en tiempo real.
- Al aplicar la tecnología móvil (Tablet) en las unidades de carguío y acarreo ha permitido capturar y enviar la información en tiempo real.

## 6. Expresiones de gratitud

Agradecer al equipo humado del área de Operaciones mina y a al equipo de programadores del área de TI que participaron en este trabajo, compartiendo sus conocimientos, experiencia y tiempo.

## 7. Referencias

### Sitios web

- [1] Telecom, "Amplificadores de señal celular | Telecom," 2022. <https://telecomstore.pe/producto-categoria/amplificadores-de-senal-celular/> (accessed Apr. 18, 2022).
- [2] Scrum Institute, "What is Scrum? - International Scrum Institute," 2022. [https://www.scrum-institute.org/What\\_Is\\_Scrum.php](https://www.scrum-institute.org/What_Is_Scrum.php) (accessed Feb. 27, 2022).

### Artículos de Journal

- [3] M. Rendón, "Una epistemología dialéctica para el análisis de la ciencia," *Palabra Clave (La Plata)*, vol. 10, no. 2, pp. e121–e121, Apr. 2021, doi: 10.24215/18539912E121.
- [4] E. Guba and Y. Lincoln, "Paradigmas en pugna en la investigación cualitativa," in *Handbook of Qualitative Research*, vol. 1, Sage, London, 1994, pp. 105–117.
- [5] L. Cuenya and E. Ruetti, "Controversias epistemológicas y metodológicas entre el paradigma cualitativo y cuantitativo en psicología," *Revista Colombiana de Psicología*, Bogotá, Colombia, 2010.
- [6] A. Moradi Afrapoli, M. Tabesh, and H. Askari-Nasab, "A multiple objective transportation problem approach to dynamic truck dispatching in surface mines," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 276, no. 1, pp. 331–342, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ejor.2019.01.008.
- [7] S. Shishvan and J. Benndorf, "Simulation-based optimization approach for material dispatching in continuous mining systems," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 275, no. 3, pp. 1108–1125, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.EJOR.2018.12.015.
- [8] P. Chaowasakoo, H. Seppälä, H. Koivo, and Q. Zhou, "Digitalization of mine operations: Scenarios to benefit in real-time truck dispatching," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 2, pp. 229–236, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.IJMST.2017.01.007.

- [9] P. de Carvalho and R. Dimitrakopoulos, "Integrating production planning with truck-dispatching decisions through reinforcement learning while managing uncertainty," *Minerals*, vol. 11, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.3390/MIN11060587.
- [10] S. Z. Galiyev, A. S. Dovzhenok, A. D. Kol'ga, D. A. Galiyev, and E. T. Uteshov, "Digitalization and the potential for improving the design and planning of mining operations in open cast mining," *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.*, vol. 1, no. 439, pp. 146–154, 2020, doi: 10.32014/2020.2518-170X.18.
- [11] X. Gao and Q. Lin, "Study on Dispatching Model of Block Economy Based-Data Mining," *Proc. 2021 Int. Conf. Bioinforma. Intell. Comput. BIC 2021*, pp. 262–268, Jan. 2021, doi: 10.1145/3448748.3448990.
- [12] A. Smith, J. Linderth, and J. Luedtke, "Optimization-based dispatching policies for open-pit mining," *Optim. Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 1347–1387, Sep. 2021, doi: 10.1007/S11081-021-09628-W/TABLES/8.
- [13] S. Dadhich, U. Bodin, and U. Andersson, "Key challenges in automation of earth-moving machines," *Autom. Constr.*, vol. 68, pp. 212–222, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.AUTCON.2016.05.009.
- [14] F. Batista de Souza, "Modeling, Simulation and Performance Analysis of Dispatch Policy for Open Pit Mines," *Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte*, 2019.
- [15] P. Chaowasakoo, H. Seppälä, H. Koivo, and Q. Zhou, "Digitalization of mine operations: Scenarios to benefit in real-time truck dispatching," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 2, pp. 229–236, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.IJMST.2017.01.007.

### Tesis

- [16] D. Layva, "Implementación del sistema dispatch: control de equipos de carguío y acarreo en minería a cielo abierto para optimizar costos operativos en la compañía minera Shougang Hierro Perú S.A.A. Mina 5 - Marcona - Perú," *Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" (Tesis de pregrado)*, Huaraz, Perú, 2020.
- [17] J. Bustamante, "Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S A mediante la disminución de las demoras operativas más significativas," *Universidad Nacional Cajamarca (Tesis de pregrado)*, Cajamarca, Perú, 2018.
- [18] B. Calua, "Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A.," *Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis de Pregrado)*, Cajamarca - Perú, 2019.
- [19] M. Gerardo and H. Fidel, "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 (Tesis de Maestría)*, Lima, Perú, 2015.
- [20] A. Saldaña, "Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo Minera Yanacocha," *Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis de Pregrado)*, Lima, Perú, 2013.
- [21] L. Baldeon, "Gestión de las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en la CIA. Minera Pan american Silver S.A. Distrito de Huayllay," *Universidad nacional Daniel Alcides Carrión (Tesis de Pregrado)*, Cerro de Pasco, Perú, 2015.