



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“USO DE SISTEMAS EXPERTOS EN EL CICLO DE CARGUIO Y ACARREO Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO DE MEJORA CONTINUA Y GESTION DE COSTOS OPERATIVOS.”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autor:**

Lester Juan De Dios Villar Zamora

**Asesor:**

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi familia, amigos y docentes que con su apoyo incondicional durante todo este proceso he logrado alcanzar este anhelado objetivo en mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradesco a Dios quien es el que permite que las cosas sucedan en nuestras vidas; a mi familia que siempre está a mi lado en todo momento; a mis docentes que con su sabiduría y experiencia han logrado mi crecimiento personal y profesional.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>31</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TABLA RESUMEN DE INVESTIGACIONES BASE DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA.	14
TABLA 2. FLUJO DE CAJA ASOCIADO AL COSTO OPORTUNIDAD.	16
TABLA 3. COSTO MEDIO ANUAL.	17
TABLA 4. COMPONENTES QUE INTEGRAN LA DIMENSIÓN GESTIÓN DE LA DIRECCIÓN.	20
TABLA 5. DESCRIPCIÓN INDICADORES MODELO TIEMPO.	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE COSTO DE INEFICIENCIA ANUAL.	16
FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO OPTIMIZADO DEL SISTEMA DE GESTIÓN.	18
FIGURA 3. ESQUEMA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO.	19
FIGURA 4. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LOS FACTORES PRIORIZADOS QUE INCIDEN EN LA CULTURA DE INNOVACIÓN.	21
FIGURA 5. PRODUCTIVIDAD OPERADORES CARGUÍO Y TRANSPORTE.	24
FIGURA 6. CICLO DE ACTIVIDADES DE LOS EQUIPOS DE ACARREO.	32
FIGURA 7. CICLO DE ACTIVIDADES DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO.	33
FIGURA 8. ESTADOS DE EQUIPOS EN EL CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO.	35
FIGURA 10. ALGORITMO DIJKSTRA.	37
FIGURA 11. ALGORITMO OPTIMIZADOR.	39

## RESUMEN

El proceso de mejora continua en toda industria del mundo moderno y en especial en la industria minera se ha convertido en uno de los principales desafíos a afrontar por parte de las empresas, ya que esta lleva a la mejora de la calidad y eficiencia de las organizaciones. Para lograr tener éxito en el proceso de mejora continua es necesario poder medir y cuantificar mediante indicadores cada una de las actividades que conforman los diferentes procesos que intervienen en la actividad extractiva. El proceso de carguío y acarreo en la operación minera es uno de los principales procesos dentro de la cadena de suministro del proceso de extracción del mineral y también uno de los más costosos, por tales motivos el objetivo de la presente investigación es analizar el impacto de la tecnología de los sistemas expertos que pueden medir y cuantificar en tiempo real cada uno de los indicadores críticos de desempeño del proceso. Para esto se realizará una investigación teórica con ayuda de bibliografía para delimitación de conceptos, bases de datos organizacionales, reportes históricos y en tiempo real que nos ayuden a poder ver la influencia de los sistemas expertos en el proceso y por ende en la reducción de costos en el mismo.

**PALABRAS CLAVES:** Costos Operativos, Proceso de Mejora Continua, Ciclo de Carguío y Acarreo, Tecnología de sistemas expertos.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La industria minera se rige bajo el principio de la mejora continua, por tal motivo el desarrollo de este proceso es crítico para lograr la calidad total que garantice una óptima gestión de recursos y costos en todo el proceso minero, este proceso de mejora continua pretende mejorar los productos, servicios y procesos de la actividad minera. Por todo lo anterior mencionado este trabajo de investigación se enfocará ver la influencia del uso de los sistemas expertos en uno de los principales procesos de la actividad minera: el proceso de carguío y acarreo ya que es sino el que más gastos genera en toda la cadena valor del proceso minero, para esto se deberá tener un mapeo global y detallado del proceso y todas las variables interrelacionadas con el mismo, con el objetivo de poder identificar cuales los parámetros críticos que directamente en el proceso tanto en gestión de productividad como en gestión de costos. Para lograr una medición acertada de los parámetros críticos mencionados se necesita de sistemas expertos que generen datos en cada una las etapas del proceso, esto genera una cuantificación de los parámetros críticos y la generación de la información necesaria para poder contralor y mejorar el proceso.

Se desmenuzará cada actividad y variable involucrada el proceso de carguío y acarreo en donde se evaluará la flota utilizada, los estados en los que puede estar los equipos de operación, rutas, orígenes y destinos, leyes de mineral, polígonos de minado, parámetros



críticos como producción, productividad, tiempos promedio en el ciclo además de todos los targets operacionales presentes en el proceso.

Se evaluará la información arrojada por los sistemas expertos que manejan el proceso de carguío y acarreo en la mina y se lograra ver la implicancia de estos sistemas en el proceso de mejora continua y la gestión de costos operativos.

La investigación llevará a responder la pregunta: ¿Cuál es la influencia del uso de sistemas expertos en el proceso de mejora continua y la gestión de costos operativos en el ciclo de carguío y acarreo? Para poder responder a esta interrogante se tendrá lograr desarrollar los siguientes objetivos: el principal, Lograr concretar evidencia empírica y teórica de que un sistema experto tiene influencia directa en el proceso de carguío y acarreo logrando identificar su implicancia en el proceso de mejora continua y la gestión de costos, y los objetivos secundarios: Identificar que parámetros críticos operativos son los de mayor relevancia para el proceso de carguío y acarreo e identificar los costos cuantificables logrados gracias a la utilización de estos sistemas expertos que automatizan el proceso.

Los objetivos de la investigación tienen que ser desarrollados utilizando bibliografía especializada para poder definir de forma clara y concisa los conceptos abordados en la investigación, además de tener como referencia otras investigaciones nacionales e internaciones referentes al uso de tecnología para la medición de procesos mineros, además se evaluara la posibilidad de analizar información generada por los sistemas expertos utilizados en proyectos mineros, reportes históricos estructurados y data en crudo. Los volúmenes de información son bastante amplios por lo que evaluará poder tomar muestras de la información y aplicar estadística inferencial para el procesamiento de dichos datos, además se establecerá un periodo específico de estudio para poder tener un referencia más

exacta y cuantificable. Al finalizar la investigación se tendrá un panorama más amplio de que tan importante es uso de la tecnología en la medición y control de los procesos mineros, adicionalmente se marcará algunas pautas para futuras investigaciones realizadas en este campo de estudio.

Toda esta metodología antes mencionada responderá la principal interrogante de la investigación ¿Cuál es la influencia del uso de sistemas expertos en el proceso de mejora continua y la gestión de costos operativos en el ciclo de carguío y acarreo? Los criterios utilizados para selección y exclusión de los documentos que respaldan esta investigación son los siguientes: Investigaciones que no tengan más de 10 años de antigüedad, el idioma de las búsquedas es español e inglés, preferentemente tesis de pregrado y postgrado, pappers y reseñas de universidades nacionales e internacionales. Los tópicos relacionados con la investigación en desarrollo son conceptos que han evolucionados en la última década por lo tanto las investigaciones no tiene que superar este rango de tiempo, el idioma para búsqueda es español para investigaciones y artículos nacionales y el idioma ingles para búsqueda de investigaciones internacionales. Las fuentes de la información seleccionada para desarrollar esta investigación son los repositorios de tesis de las mejores universidades nacionales e internacionales, además de repositorios como Scielo, Redalyc, Latindex, DOAJ entre otras.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La metodología que será utilizada en la presente investigación se denomina: “revisión sistemática de la literatura científica”, se caracteriza por ayudar a identificar tendencias de investigación, estados del arte, bases teóricas y variables importantes, además ayuda a establecer la importancia de un problema de investigación, recopilar evidencias que apoyen o contradigan las hipótesis actuales sobre un fenómeno de interés y generar nuevas hipótesis y es la clave fundamental para justificar el uso de métodos y practicas actuales.

Esta metodología la podríamos resumir en cinco etapas, la primera “Planificación del trabajo” donde se identifica objetivos y preguntas referentes a la investigación, palabras clave y estrategias de búsqueda a través de bibliotecas virtuales especializadas y con contenidos válidos para la investigación. La segunda etapa “Recolección de información” procura de que una vez que se tengan bien definidas las preguntas de la investigación y la estrategia de búsqueda se proceda con la recolección de datos e información, para hacer bien esta labor la metodología recomienda documentar el proceso de búsqueda registrando palabras claves, estrategias de búsqueda, bases de datos, tipos de documentos (papers, libros, tesis, etc.), idioma de búsqueda y periodo, además propone identificar los estudios que son coherentes con la pregunta de investigación y excluir los que no haciendo también un registro de las razones, luego plantea hacer un análisis de calidad para finalmente desarrollar una base de datos con los documentos seleccionados. La tercera etapa “Análisis de la

información” propone que una vez que ya se tenga la base de datos con la información seleccionada de cada documento, responder las preguntas de la investigación a modo de tablas y gráficos donde se pueda apreciar tendencias, diversidad, teorías mas aplicadas, variables e instrumentos. La cuarta etapa es la “Redacción del informe de investigación”, el cual debe tener la siguiente estructura: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión. Por último, la quinta etapa “Conclusiones y revisión final del documento” donde las conclusiones responden directamente a los objetivos y preguntas de la investigación.

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

Luego de un análisis detallado se ha optado por tener 14 investigaciones base para esta investigación las cuales se detallan a continuación.

Tabla 1. Tabla Resumen de investigaciones base de la revisión sistemática.

TITULO DE INVESTIGACION	LUGAR DE PUBLICACION	PAIS	AÑO	BREVE RESUMEN
DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE UN NUEVO SISTEMA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE PARA LA MINERÍA DE HUNDIMIENTO.	UNIVERSIDAD DE CHILE	CHILE	2009	En la minería subterránea el manejo de minerales es una de las actividades más incidentes en la productividad y el costo de operación de la mina, principalmente por la gran cantidad y variabilidad de recursos involucrados. Es por esto que, en los últimos años, gran parte de las innovaciones tecnológicas apuntan a esta actividad
DISEÑO DE HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROL DE KPI DE OPERADORES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – MINA LOS BRONCES	UNIVERSIDAD DE CHILE	CHILE	2016	Ante el adverso panorama económico actual en la industria minera en Chile, se hace necesario comenzar a ocuparse sobre el cómo revertir esta situación. En este último escenario descrito es donde aparece la denominada Productividad, que básicamente (en minería) dice cuánto material es extraído/movido por cantidad de personal.
DISEÑO, VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN DE ACARREO EN MINERÍA SUPERFICIAL	PUCP	PERU	2016	En el presente estudio se desarrolló un simulador como herramienta de apoyo para la estimación del tiempo del ciclo de acarreo, necesario para la realización de presupuestos. Esta aplicación permite realizar simulaciones de las rutas de un proyecto o una operación en marcha, permitiendo obtener ciclos de transporte. Los resultados son medibles y pueden ser comparados para elegir la mejor opción
GESTION EN LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN CIA. MINERA CONDES TABLE S.A	PUCP	PERU	2011	La Tesis se resume en la implementación de métodos de control, alternativas de solución para la mejora de la productividad, en base al análisis de las operaciones en función del tiempo, ya que como sabemos el acarreo y transporte son variables que influyen en forma prioritaria en la reducción de costos
Identificación de Factores Clave en la Cultura de Innovación. El Caso de la Mediana Minería en Chile	J. Technol. Manag.	USA	2015	La cultura de innovación promueve acciones, normas, valores y actitudes estrechamente ligadas a la mejora continua y la creación de nuevos conocimientos en el marco de una cultura organizacional sustentable y, a la vez, innovadora que permita generar valor para la empresa y para el cliente
IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE GESTION PARA REDUCCIÓN DE COSTOS OPTIMIZANDO EL DESEMPEÑO POR COMPONENTE EN EQUIPOS MINEROS	UNIVERSIDAD DE CHILE	CHILE	2017	El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo e implementación de un sistema de gestión para mejorar el desempeño, que se encuentra bajo lo esperado, que presentan los componentes de los equipos de carguío y transporte en Minería Escondida; específicamente se busca aumentar la seguridad del operador, reducir el costo asociado al bajo desempeño por componente y mantener la continuidad de la operación
MEJORAMIENTO CONTINUO EN LA GESTIÓN DEL CICLO DE ACARREO DE CAMIONES EN MINERÍA A TAJO ABIERTO EN ANTAMINA, CERRO VERDE, TOQUEPALA, CUAJONE, YANACOCCHA, ALTO CHICAMA, LAS BAMBAS, CERRO CORONA, ANTAPACAY Y PUCAMARCA.	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	PERU	2015	En la actualidad se está llevando a cabo una revolución de la forma de hacer minería, en la cultura minera misma, y esto se debe básicamente al avance tecnológico que nos permite disponer de sistemas altamente desarrollados para el control de los procesos
ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MEJORA CONTINUA EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE AGROINDUSTRIAS KAIZEN	Universidad de San Martín de Porres	PERU	2015	El proyecto se basa en la implementación de un plan de mejora continua en una empresa de producción de alimentos balanceados para animales de crianza familiar, aplicando la metodología PHVA
OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ACARREO CON EQUIPO MECANIZADO EN LA UNIDAD MINERA TAMBOMAYO CIA. DE MINAS BUENAVENTURA AREQUIPA	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	PERU	2017	Se ha logrado determinar los tiempos óptimos tales como: tiempo de limpieza de un frente, tiempo de ida (sin carga), tiempo de retorno (con carga), rendimiento del equipo LHD 3.2 yd3 (Scoop) en el cruceo 339 NW del Nivel 4590
OPTIMIZACION DE FLOTA DE CAMIONES APLICANDO PROGRAMACION DINAMICA - MINA CORIHUARMI	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	PERU	2015	En la Mina Corihuarmi se reportaban los costos de carguío y acarreo en 0.72 \$/TM, por lo que se requiere hacer una optimización de la flota de volquetes para obtener una reducción de los costos de las operaciones mineras mencionadas anteriormente, con el fin de realizar una mejora en el proceso productivo
OPTIMIZACION DEL CARGUÍO Y ACARREO DE MINERAL MEDIANTE EL USO DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO U.M. CHUCO II DE LA E.M. UPKAR MINING S.A.C.	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ	PERU	2014	La presente investigación trata de poder explicar una nueva metodología para la reducción de costos en las operaciones básicas de carguío y acarreo de mineral con un incremento sustancial del nivel de producción para el beneficio de la empresa minera y una disminución de los costos de carguío y transporte
PROPUESTAS DE MEJORA DE LA UTILIZACIÓN EFECTIVA EN BASE A DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE EN MINERA LOS PELAMBRES	UNIVERSIDAD DE CHILE	CHILE	2016	En base al análisis técnico y económico realizado al proyecto del sistema de visión, se concluye que es viable y que se recuperarían aproximadamente 4.5 días de tiempo efectivo a la flota de carguío al año. También se tiene una disminución del tiempo de pala esperando camión de 2 min/ciclo a 1.2 min/ciclo, lo que implica una mejora en la UEBD de un 1%
SIMULACIÓN ON-LINE PARA EL DESPACHO DE CAMIONES MINEROS EN OPERACIONES A CIELO ABIERTO	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE	CHILE	2014	Este trabajo se desarrolla en el contexto de la toma de decisiones para despacho de camiones en minería a cielo abierto, donde cada vez que un camión realiza una descarga de material se debe responder a la pregunta: ¿adónde debe ir este camión ahora? Aunque existen diversas metodologías descritas en la literatura para enfrentar este problema, éstas no son capaces de estimar el impacto de la presente decisión en las decisiones futuras.
EVALUACIÓN, IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DISPATCH: CONTROL DE EQUIPOS EN MINERÍA A CIELO ABIERTO, EN LA EMPRESA MINERA CORIPUNO S.A.C.	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO	PERU	2016	Los trabajos realizados evidencian que el área es positiva, para la ubicación de blancos de interés económico y gracias a las interpretaciones geológicas regionales (estructurales, mineralógicas, etc.) y los estudios locales efectuados han permitido identificar, el modelo y estimar el potencial que se tiene en estas áreas.

### Costo Oportunidad en la utilización de sistemas expertos en minería:

Los sistemas de despacho y administración minera, sin duda han sido un avance en cuanto las posibilidades de gestión que entrega a la operación del proceso minero de extracción. Es claro que este aporte ha servido a reducir los requerimientos de flota de transporte y optimizar las configuraciones, de modo de obtener los resultados perseguidos por los planes de producción. Estos sistemas proponen una configuración de flota, la cual significa una utilización óptima de recursos lo que permite acercar la operación, hacia la frontera de producción, por lo que cualquier desviación de esta configuración significa un costo oportunidad asociado a la una mejor utilización de esos recursos involucrados.

Se ha establecido los indicadores de gestión involucrados en la captura y agregación de valor. Con ello ha sido posible generar un modelo de gestión a partir del cual se indican los criterios con los que la operación se debe alinear, de modo de obtener la renta económica, capturada por el plan minero. De manera exploratoria, se ha analizado los distintos enfoques de gerenciamiento con los cuales se dirige la operación, con el objetivo de comprender los niveles de gestión con los que se enfrenta cada turno, y así poder reconocer los criterios con los que finalmente utilizan los sistemas de despacho.

Cuando se tiene conocimiento de que existe una perdida asociada a este costo de oportunidad, la conducta obvia a seguir es la búsqueda de una mejor gestión, de modo de poder acercar la operación hacia la frontera de producción y reducir esta brecha al mínimo nivel posible.

Tabla 2. Flujo de Caja asociado al costo oportunidad.

Año	Costo Ineficiencia por año KUSD	Rentabilidad 10% sobre mejor utilización de recursos KUSD	Costo Oportunidad Anual KUSD
1	753	0	753
2	768	75	843
3	783	160	943
4	799	254	1.052
5	815	359	1.174
6	831	476	1.307
7	848	607	1.455
8	865	753	1.617
9	882	914	1.796
10	899	1.094	1.993
11	917	1.293	2.211
12	936	1.514	2.450
13	954	1.759	2.714
14	974	2.031	3.004
15	993	2.331	3.324

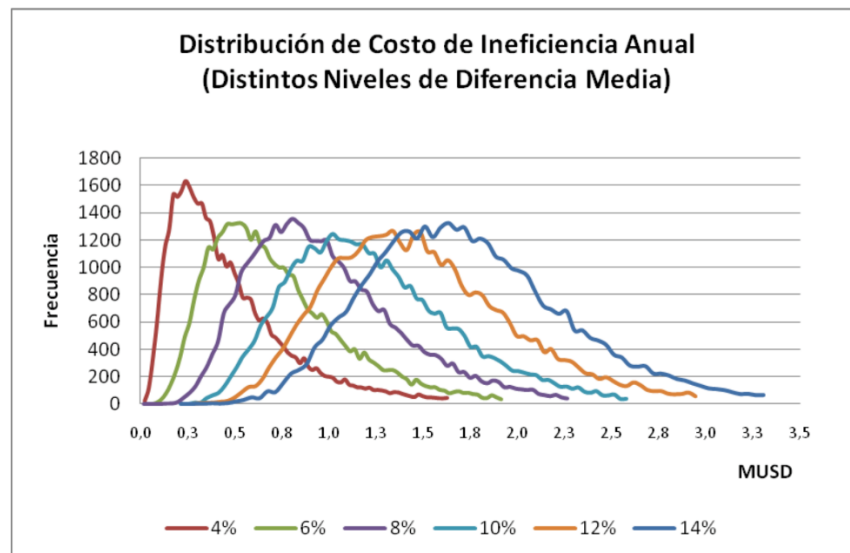


Figura 1. Distribución de Costo de Ineficiencia Anual.



*Tabla 3. Costo Medio Anual.*

Porcentaje Medio de Diferencia	Costo Medio Anual de Ineficiencia	Costo Medio Anual de Oportunidad (15% Rentabilidad)
%	MUSD	MUSD
2	0,25	0,29
4	0,50	0,58
6	0,75	0,87
8	1,00	1,15
10	1,25	1,44
12	1,51	1,73
14	1,76	2,02
16	2,01	2,31
18	2,26	2,60
20	2,51	2,88

Costo Medio Anual de Ineficiencia y Costo Medio Anual de Oportunidad Asociado a un rango de diferencia porcentual de utilización de recursos, entre la operación y la frontera de producción.

### ***Mejoramiento Continuo en la gestión del ciclo de carguío y acarreo mediante sistemas de optimización:***

Las oportunidades que se presentan por tener datos y cálculos de KPIs en tiempo real, brindan muchas posibilidades para la operación. El sistema de gestión presenta herramientas muy potentes para la gestión de la información. Es importante que la administración del sistema de gestión asuma un rol proactivo en la operación, teniendo principal oportunidad de ser actor principal en las mejoras de los procesos unitarios.

Los algoritmos del sistema de gestión trabajan para tratar de eliminar los tiempos de espera de las flotas de carguío y acarreo, estos tiempos constituyen los KPIs primarios del despacho. Una mejora porcentual del tiempo de ciclo por esta mejora redonda en el mismo porcentaje en la productividad efectiva de los camiones.

El sistema de gestión apoya a la supervisión en la mejor gestión de las demoras operativas como son: El cambio de turno, el refrigerio, combustible, disparo, etc. El solo hecho de poder medirlas y monitorearlas permite su control. El sistema de gestión almacena gran cantidad de información que necesita ser analizada para encontrar oportunidades.

Mientras más controles automáticos en el sistema, mejor se podrá gestionar los tiempos y menos error humano acarreará. Aún oportunidades de mejora en cada punto del proceso del ciclo de acarreo, cada día la mina es cambiante y se puede presentar diferentes problemas y es ahí donde uno puede aplicar el mejoramiento continuo del proceso. A continuación, se muestra un diagrama de flujo de optimización del sistema de gestión.

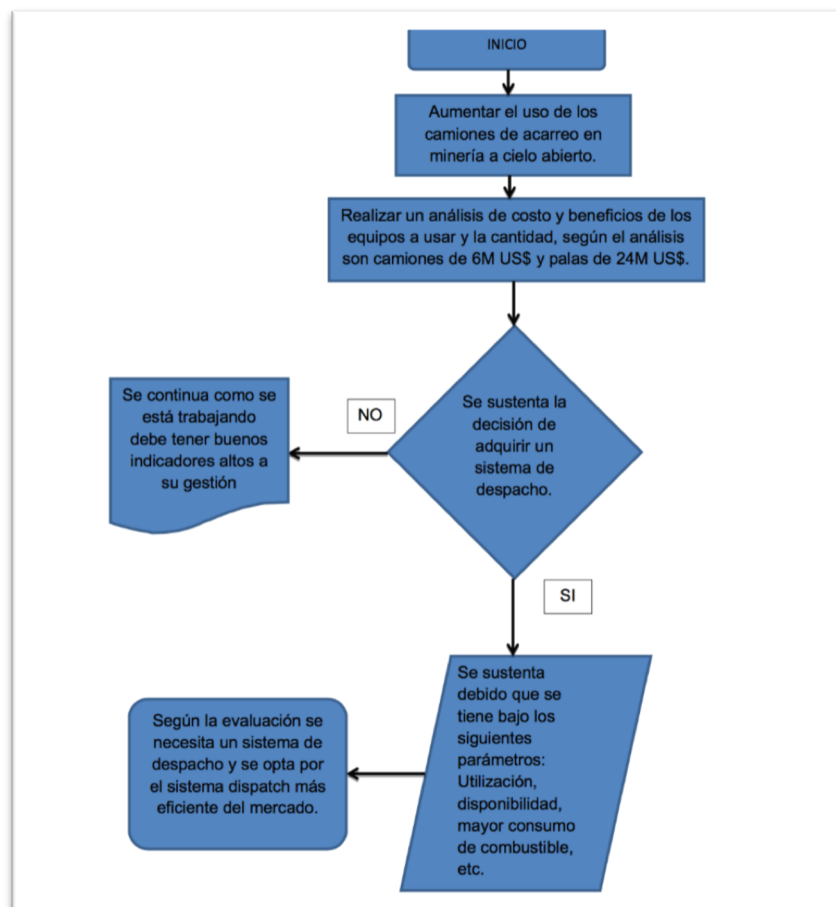


Figura 2. Diagrama de flujo optimizado del sistema de gestión.

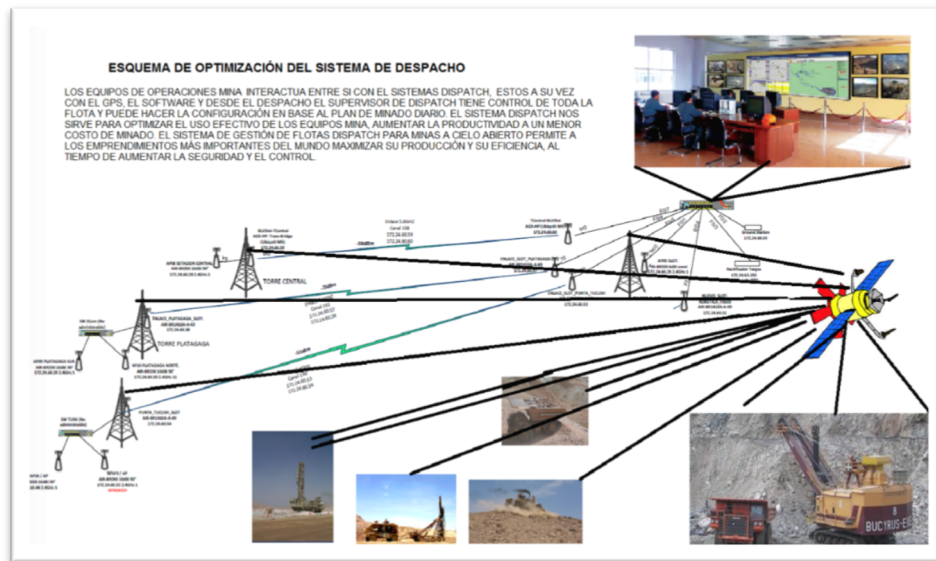


Figura 3. Esquema de Optimización del Sistema de Despacho.

### ***Innovación tecnológica en la gestión de operaciones mineras:***

La literatura hace referencia al papel de las tecnologías de la información como fuente de ventajas competitivas y, se reconoce, que cuando se consideran de forma aislada, no constituyen un elemento capaz de generar una ventaja competitiva sostenible dado su carácter imitable. No obstante, si la tecnología se combina con otros recursos y habilidades empresariales, las herramientas tecnológicas pueden ser un instrumento capaz de incrementar la eficiencia al interior de la organización. Adquirir tecnología requiere que las empresas se adapten a ciertas condiciones del mercado. De acuerdo con este razonamiento, la vigilancia tecnológica implicaría la adquisición de habilidades técnicas y de conocimientos a partir de un proceso de aprendizaje. En consecuencia, las empresas necesitan asignar recursos y estrategias para una eficiente gestión tecnológica que les permita innovar.

En este contexto, la vigilancia tecnológica es una gran herramienta para innovar en la empresa ya que permite detectar nuevas tecnologías, prever cambios en el mercado y tomar decisiones correctas. Esta dimensión comprende un proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en

conocimiento con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios.

Si bien la tecnología tiene un rol fundamental en la productividad de las empresas, un estudio realizado por (Miranda and Sánchez, 2009) reveló que existe un bajo aporte de las tecnologías de la información en el desarrollo estratégico de las empresas que forman parte del clúster minero en la región sudamericana y que, la metodología utilizada, demuestra que las tecnologías de la información son fundamentales para la empresa, sin embargo en la industria minera no son usadas adecuadamente.

En contraste, expertos en el ámbito minero explican que, para garantizar un desarrollo sustentable en la minería de mediana escala, se deben considerar criterios tales como la aplicación de nuevas tecnologías de procesamiento lo cual incide en la reducción de costos, el cuidado del medio ambiente aportando positivamente al reforzamiento de la cadena de innovación. Los elementos que dan énfasis al concepto de vigilancia tecnológica son:

*Tabla 4. Componentes que integran la dimensión gestión de la dirección.*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nuevas tecnologías</b>	Este sub criterio mide el nivel en que la información es adquirida mediante la asistencia a seminarios relacionados con la tecnología para el ámbito minero.
<b>Tecnologías de los proveedores</b>	Mide la existencia y frecuencia en cuanto a una preocupación del nivel tecnológico de los proveedores.
<b>Tecnologías de los competidores</b>	Mide la existencia y frecuencia en cuanto a descubrir y definir aspectos que funcionan en otras mineras de la competencia, para luego poder adoptarlos y mejorarlos.

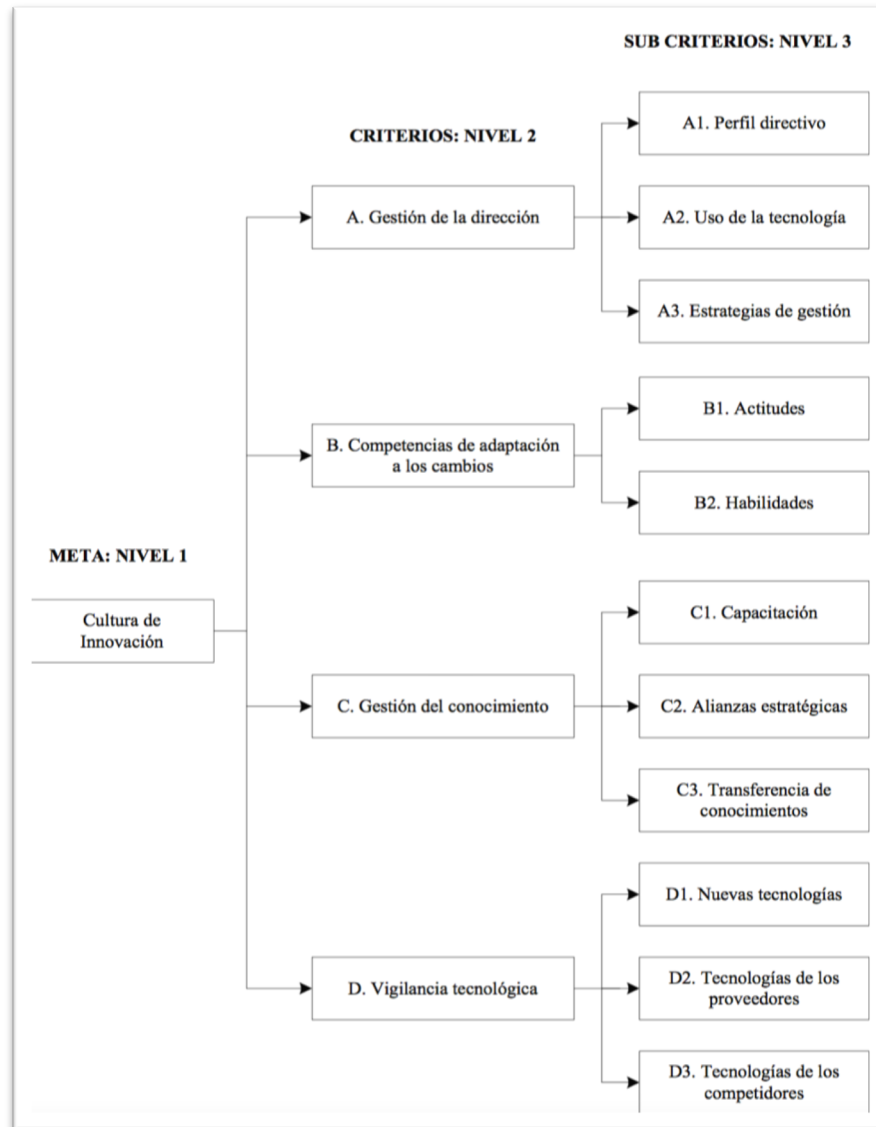


Figura 4. Estructura jerárquica de los factores priorizados que inciden en la cultura de innovación.

***Medición de parámetros críticos con sistemas de gestión de flotas para el proceso de carguío y acarreo:***

La gestión de la producción para el análisis de la rentabilidad de cada uno de los procesos que incluye el ciclo de minado tiene que estar ligado a un sistema de control que nos facilite una planeación y optimización de los procesos del ciclo de minado.

La gestión de la producción mediante los indicadores de desempeño nos permite una reducción de costos en la operación unitaria de carguío de mineral en la operación de acarreo de mineral se ha tomado en cuenta la información histórica presente de los controles desarrollados con los cambios operativos desarrollados dentro de la operación de minado.

La gestión de la producción mediante indicadores de desempeño nos permite mejorar la producción de mineral en la operación de carguío y acarreo es por ello que su mejora se observa en la cantidad de toneladas que se mueven por día de producción de mineral. La implementación de los indicadores de producción en la unidad minera nos permite formar un benchmarking y con ello comparar nuestros indicadores de desempeño con la de otras empresas que producen al mismo nivel de producción.

Los indicadores de desempeño vienen a ser estrategias operativas para poder buscar los principales defectos operativos que se muestran en el desarrollo de las operaciones de minado y así estos puedan ser medidos en condiciones posteriores a la modificación del proceso. La necesidad de medir cada una de las actividades procesos de una determinada organización para la generación de valor dentro de la operación minera, es necesario recurrir a indicadores de desempeño que nos permitan visualizar el comportamiento organizacional de cada uno de los procesos dentro de la operación de minado. El uso de los indicadores de

desempeño dentro de las operaciones básicas de minado nos permitirá tener un mayor conocimiento de las operaciones en cuanto se refiere al rendimiento, con ello poder tomar decisiones de optimización en niveles que son más recurrentes a la disminución de costos de operación. Los indicadores de desempeño no solo son números que cuantifican el nivel operativo de una operación unitaria, también sirven para alertar frente a posibles dificultades que se estén enfrentando en el proceso de extracción de metales, tal es así que cuando se tienen un rango de control los indicadores nos permitirán conocer si estamos desempeñándonos por un desarrollo operativo bueno o malo. Los indicadores de desempeño nos permitirán cuantificar las metas propuestas por las áreas de la gerencia de mina. Con esto poder comparar nuestro nivel productivo con la de otras empresas mineras que operan a un mismo nivel productivo. Con costos mucho más bajos con ello fomentar la competitividad organizacional. Usar los KPI en la gestión de la producción de mina no solo es cuantificar las operaciones de minado también es darle una medida a cada una de las operaciones unitarias de minado con ello poder estimar las pérdidas que podría ocasionar el desempeño en la organización.

### ***Herramientas computacionales para el control de KPI de Operadores en el carguío y acarreo de mineral:***

La herramienta computacional provee al departamento de Capacitación de Mina apoyo para lograr un mejoramiento de la productividad individual (y por consecuencia, global) de los operadores de Carguío y Transporte, a través del control -y posterior ayuda en la gestión- de los principales indicadores de estos procesos mineros (KPI) para operadores mina. Además, se potenciará y facilitará la identificación de brechas (o GAP) con respecto

a los valores esperados de los indicadores, y se podrá contar con una nueva herramienta para la evaluación, planificación y programación periódica de las capacitaciones y entrenamientos, además de apoyar en el mejoramiento de las prácticas operacionales de los operadores, cuyos focos (dependiendo del indicador) de trabajo podrán ser establecidos con el apoyo de esta herramienta. Para reafirmar el de la implementación de esta herramienta en el Departamento de Capacitación, durante el año 2016 se realizó un seguimiento al comportamiento de los indicadores de algunos operadores de carguío y, gracias a información entregada por la faena Los Bronces, se pueden observar mejoras en la productividad de cuatro operadores.

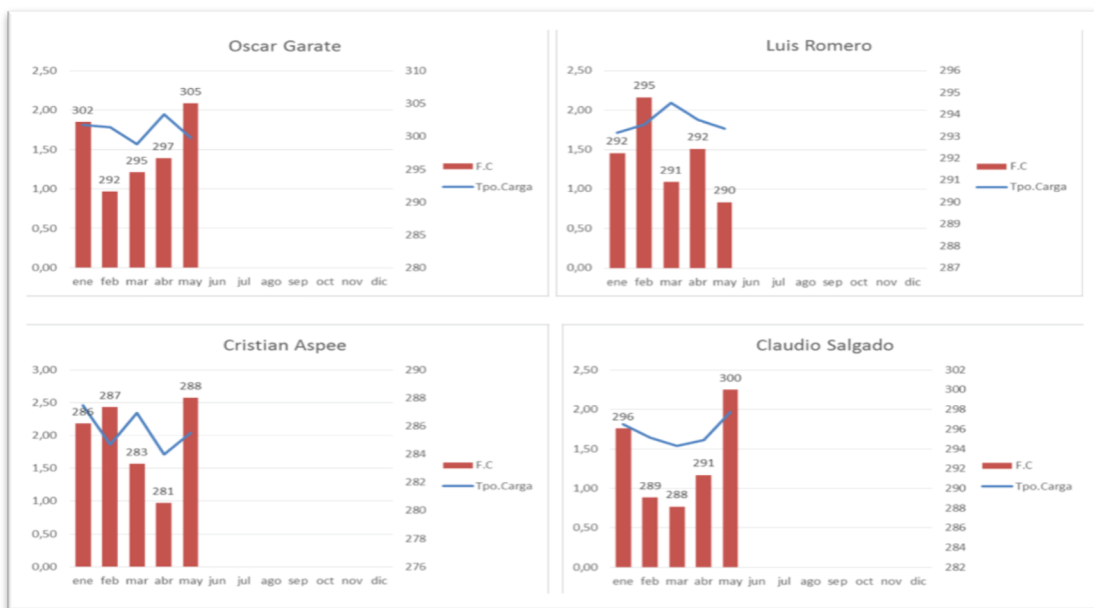


Figura 5. Productividad Operadores Carguío y Transporte.

En la gráfica anterior, se observa una tendencia a la disminución (en la mayoría de los casos) en los tiempos de carguío de los operadores, acompañado de un aumento en el factor de carga. Se podría considerar exitoso un 75% de los casos mostrados en el gráfico



24, dado que, comparando los resultados de Enero y Mayo 2016, se tiene una disminución del tiempo de carguío y aumento de factor de carga en los casos de Aspee y Gárate, y en el caso de Salgado, un leve aumento de tiempo de carga, pero un gran aumento del factor de carga, que podría considerarse un caso de éxito ya que el operador está cargando más tonelaje en menos tiempo (mayor razón toneladas por minuto: 160 [ton/min] versus 154 [ton/min]).

Tabla 5. Descripción Indicadores Modelo Tiempo.

	Kpi	Abrev.	Descripción	Fórmula
Disponibilidad	Disponibilidad Física	DF	Porcentaje del tiempo controlable en que el equipo está en condiciones físicas para estar operativo.	$T200 / T100$
	Disponibilidad Mecánica/Eléctrica	DME	Porcentaje del tiempo controlable en que el equipo está en condiciones mecánicas y/o eléctricas para estar operativo.	$(T200+D300) / T100$
	Indisponibilidad Operacional	IOPA	Porcentaje del tiempo controlable en que el equipo no está en condiciones físicas para estar operativo debido a causas operacionales.	$D300 / (T200 + D300)$
Operación	Utilización Efectiva	UE	Porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo opera de forma efectiva / primaria.	$P200 / T000$
	Utilización Operativa (Operating time)	UO	Porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo se encuentra operativo.	$T300 / T000$
	Uso de Disponibilidad Física	UDF	Porcentaje del tiempo físicamente disponible en que el equipo se encuentra operativo.	$T300 / T200$
	Eficiencia	EF	Porcentaje del tiempo operativo en que el equipo opera de forma efectiva / primaria.	$P200 / T300$
	Rendimiento Operativo	RO	Unidades de producción sobre el tiempo operativo.	$\text{Unidades de producción} / T300$
	Rendimiento Efectivo	RE	Unidades de producción sobre el tiempo de operación efectiva / primaria.	$\text{Unidades de producción} / P200$
	Efectividad general de los equipos	OEE	Relación porcentual que mide la eficiencia productiva de un equipo o proceso, involucrando indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad.	$UE \times \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción objetivo}} \times \frac{\text{Calidad real}}{\text{Calidad objetivo}}$
Mantenimiento	Relación de mantenimiento	RM	Es el tiempo de mantenimiento programada sobre el total del tiempo empleado para actividades de mantenimiento. <small>Nota: La Mantenimiento Programada consideran las PMs, Inspecciones, Backlogs, Modificaciones y Continuidad de tareas.</small>	$D200 / (D100 + D200)$
	Tiempo Medio entre todas las Detenciones	TMED	Es el tiempo promedio operativo del equipo que transcurre entre una <b>detención</b> y la siguiente.	$T300 / \text{Count} (D000)$
	Tiempo Medio entre Fallas	TMEF	Es el tiempo promedio operativo del equipo que transcurre entre una <b>falla</b> y la siguiente.	$T300 / \text{Count} (D100)$
	Tiempo Medio para Reparar Detenciones	TMPR <sub>D</sub>	Es el tiempo promedio detención del equipo empleado para reparar eventos que provocan la <b>detención</b> .	$D000 / \text{Count} (D000)$
	Tiempo Medio para Reparar Fallas	TMPR <sub>F</sub>	Es el tiempo promedio detención (por falla) del equipo empleado para reparar eventos que provocan la <b>falla</b> .	$D100 / \text{Count} (D100)$

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación teórica ha pretendido alcanzar evidencias a nivel local, nacional e internacional de cual es la influencia e implicancia de los sistemas expertos en los diferentes procesos en la industria actual, haciendo énfasis en las tecnologías que soportan los procesos de carguío y acarreo en las diferentes operaciones mineras que actualmente están operando. La búsqueda se efectuó en diversos sitios web de investigación, libros, tesis y artículos científicos, de preferencia se ha buscado investigaciones hechas después del año 2000, ya que a partir de esa década la tecnología comenzó a tener un papel crucial en los procesos del sector minero, la cantidad de documentos depurados y utilizados para el desarrollo de la presente investigación fue de 14 los cuales tuvieron un contenido apropiado y acorde con el tema de investigación.

De los resultados obtenidos se puede observar como investigaciones logran alcanzar a evidenciar el costo beneficio del uso de los sistemas expertos en los procesos mineros logrando una mejor utilización de los recursos y por ende un ahorro considerable en términos económicos. Para poder alcanzar esta mejora continua en el proceso es necesario poder identificar indicadores críticos para poder plantear un modelo de gestión que se ajuste a las necesidades operativas y económicas.

En el mundo moderno la toma de decisiones se ha convertido en nos los tópicos mas importantes a la hora de ejecutar una determinada acción que muchas conlleva al éxito o declive del buen funcionamiento y/o la calidad de un proceso, la toma de decisiones tiene que ser acertada y en tiempo correcto, los sistemas expertos brindan la posibilidad de poder hacer una toma de decisiones en tiempo real y en momento correcto, todo esto con datos reales y actuales de lo sucedido en toda la cadena de suministros que respalda el proceso,

esta perspectiva de mejora va más allá de una toma de decisiones a nivel estratégico. Esta toma de decisiones en tiempo real es respaldada por algoritmos de optimización que dan una gama posibilidades a la hora de tomar una decisión acertada.

La innovación en tecnologías aplicadas a los procesos industriales y en especial a los del sector minero hacen que se mantenga un proceso de mejora continua además de lograr tener un impacto en la forma en cómo se debería realizar un trabajo específico. El desarrollo e invocación de tecnologías aplicadas a la minería abre un campo de innumerables posibilidades de mejoras en todos los procesos que comprenden esta actividad además de ahorro en términos monetarios y de tiempo invertido para alcanzar las metas operacionales.

### **Conclusiones:**

Se tiene una influencia directa de la tecnología aplicada al procesos de carguío con relación a la mejor utilización de los recursos, medición y control del procesos, generando un sostenimiento del procesos de mejora continua y una mejor gestión de los costos operativos directamente relacionados con el proceso de carguío y acarreo.

Se tiene evidencia empírica y teórica de la influencia de los sistemas expertos en el proceso de carguío y acarreo en múltiples operaciones mineras estudiadas en las investigaciones previas.

La identificación de parámetros críticos y su medición son fundamentales en la gestión del proceso en sí, naciendo de la premisa de que para poder controlar algo en primera instancia hay que poder medirlo, los sistemas que respaldan el proceso pueden medir estos parámetros y dar acertados indicadores en tiempo real para una adecuada toma de decisiones en tiempo real y también a nivel estratégico.

Seria importante complementar esta investigación teórica con evidencia empírica que pueda respaldar estas hipostasis, de preferencia en operaciones mineras reales y en las cuales se esté respaldando el proceso de carguío y acarreo con algún sistema experto de administración de flotas.

## REFERENCIAS

- Soto Vilca, C. Y., & Tarazona Yábar, N. (2016). *DISEÑO, VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN DE ACARREO EN MINERÍA SUPERFICIAL*. Lima.
- ALAYO GÓMEZ, R. (2016). *ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MEJORA CONTINUA EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE AGROINDUSTRIAS KAIZEN*. Lima - Peru.
- Arancibia Carvaja, S., Donoso Pérez, M., Venegas Cabello, R., & Cárdenas Espinosa, C. (2015). *Identificación de Factores Clave en la Cultura de Innovación. El Caso de la Mediana Minería en Chile*. Santiago de Chile: Universidad Alberto Hurtado.
- BAHAMÓNDEZ BRAVO, M. J. (2017). *IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE GESTION PARA REDUCCIÓN DE COSTOS OPTIMIZANDO EL DESEMPEÑO POR COMPONENTE EN EQUIPOS MINEROS*. SANTIAGO DE CHILE.
- Baldeón Quispe, Z. L. (2011). *GESTION EN LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN CIA. MINERA CONDESTABLE S.A.* LIMA.
- BONZI RÍOS, J. I. (2016). *PROPUESTAS DE MEJORA DE LA UTILIZACIÓN EFECTIVA EN BASE A DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE EN MINERA LOS PELAMBRES*. SANTIAGO DE CHILE.
- CHANG JA, K. (2009). *DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE UN NUEVO SISTEMADE CARGUÍO Y TRANSPORTE PARA LA MINERÍA DE HUNDIMIENTO*. Santiago de Chile.
- HUAMAN SILVESTRE, R. A. (2015). *OPTIMIZACION DE FLOTA DE CAMIONES APLICANDO PROGRAMACION DINAMICA - MINA CORIHUARMI*. LIMA – PERU.
- HUAROCC CCANTO, P. M. (2014). *OPTIMIZACION DEL CARGUIO Y ACARREO DE MINERAL MEDIANTE EL USO DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO U.M. CHUCO II DE LA E.M. UPKAR MINING S.A.C. HUANCAYO – PERÚ*.
- MAURICIO QUIQUIA, G. W. (2015). *MEJORAMIENTO CONTINUO EN LA GESTIÓN DEL CICLO DE ACARREO DE CAMIONES EN MINERÍA A TAJO ABIERTO EN ANTAMINA, CERRO VERDE, TOQUEPALA, CUAJONE, YANACOCCHA, ALTO CHICAMA, LAS BAMBAS, CERRO CORONA, ANTAPACAY Y PUCAMARCA*. LIMA – PERU.

QUIROGA FERRUZ, P. I. (2016). *DISEÑO DE HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROL DE KPI DE OPERADORES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – MINA LOS BRONCES*. SANTIAGO DE CHILE.

QUISPE MAMANI, W. (2017). *OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ACARREO CON EQUIPO MECANIZADO EN LA UNIDAD MINERA TAMBOMAYO CIA. DE MINAS BUENAVENTURA AREQUIPA*. PUNO – PERÚ.

REQUEJO MEJIA, P. A. (2016). *EVALUACIÓN, IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DISPATCH: CONTROL DE EQUIPOS EN MINERÍA A CIELO ABIERTO, EN LA*. Trujillo-Perú.

SÁEZ MUÑOZ, N. E. (2014). *SIMULACIÓN ON-LINE PARA EL DESPACHO DE CAMIONES MINEROS EN OPERACIONES A CIELO ABIERTO*. Santiago de Chile.

## ANEXOS

Como anexos complementarios a la investigación se detallará los principales conceptos relacionados con los sistemas de gestión de flotas:

### *Sistema experto de gestión de flotas*

El sistema es una aplicación del tipo Desktop (también denominada de escritorio), que funciona en una arquitectura Cliente Servidor, ya que los datos con los cuales trabaja, opera y procesa, se encuentran alojados en una base de datos centralizada.

Con esta aplicación trabajará el controlador, ejecutándola desde el Centro de Control, es decir, esta aplicación estará instalada en los ordenadores pertenecientes al controlador. Es preciso mencionar que esta aplicación podrá ser ejecutada mediante los sistemas operativos Linux, Mac OS X o Microsoft Windows. A partir de ella se controla todas las actividades en campo, tales como el proceso de carguío, de acarreo y otras actividades que forman parte del proceso de operaciones en la minería.

Tiene como objetivo principal, canalizar la optimización de los recursos, asignando y reasignando a los equipos según las necesidades o requerimientos ingresados previamente por el controlador. La aplicación trabaja de manera conjunta con el Optimizador, debido a que este último genera recomendaciones, simulaciones y proyecciones, considerando las prioridades en el desarrollo del trabajo de los equipos en campo.

Asimismo, mediante el Centro de Control se pueden crear las rutas o vías que los equipos tendrán que recorrer, estableciendo la ruta óptima, que puede comprender el trayecto de una locación a un punto determinado. El Centro de Control brinda un panorama general de lo que pasa en el campo de operaciones, esto quiere decir que, debido a la necesidad de controlar los diversos trabajos en minería, el sistema realiza una supervisión minuciosa, permitiéndonos aplicar medidas correctivas en tiempo real, para que el trabajo logre tener mayor productividad y mejorar los procesos en operación.

Finalmente cabe señalar que el Centro de Control, además de controlar los trabajos de los diferentes equipos y generar la asignación óptima, envía toda esa información que alimentará al optimizador, de la data adquirida de los trabajos en campo, hacia la base de datos contenida en los servidores, que almacenarán todos los ciclos realizados por los equipos.

En resumen, es herramienta destinada a mejorar el control y la supervisión de los equipos de campo, utilizando equipos de acarreo, de carguío y auxiliares, usados frecuentemente en la industria minera para el movimiento de tierras. A continuación se muestra el ciclo de actividades de los equipos de carguío y acarreo que es monitoreado y medido mediante el sistema de gestión de flotas.



*Figura 6. Ciclo de actividades de los equipos de acarreo.*





*Figura 7. Ciclo de actividades de los equipos de carguío.*

### ***Estados de los equipos de carguío y acarreo.***

Los equipos en el proceso de carguío y acarreo pueden estar en diversos estados. Esto dependerá del desarrollo de las labores dentro del campo de operaciones. Para ello, en el Sistema experto, se ha considerado cinco estados que se podrán visualizar a lo largo de las actividades que desarrollan los equipos en campo; los cuales se detallan a continuación:

**Ready:** El presente estado indica que el equipo se encuentra realizando alguna actividad asignada por el centro de control. En este estado pueden ocurrir todos los cambios de actividad de los equipos de acarreo y carguío. Asimismo, si fuera necesario un cambio de operador del equipo de carguío, obligatoriamente tendrán que realizarse en un estado diferente a READY. Como ya lo mencionamos anteriormente, “Ready” no se podrá visualizar en la zona de estados descrita, ya que los equipos que se encuentran en este estado generalmente se encuentran realizando una actividad propia del ciclo de trabajo. En conclusión, es el tiempo que el equipo se encuentra funcionando con regularidad.

**Delay:** Este estado nos muestra que existe una dilación, retraso o demora operativa que puede ser ocasionado por diversas razones; es decir los equipos se encuentran con el motor en funcionamiento, pero sin realizar una actividad, puesto que se trata de una demora habitual de la operación.

**Standby:** En este estado sucede algo similar al estado “Delay”, ya que la demora es de carácter operativo. La diferencia radica en que el equipo se encuentra con el motor apagado, debido a una demora no relacionada directamente al ciclo regular de la operación.

**Maint:** Nos muestra que el equipo se encuentra en mantenimiento, es decir que el equipo se encuentra en manos de los técnicos de mantenimiento o en el área de mantenimiento.

**Outofplan:** No se considera al equipo para la optimización y realización del trabajo operativo debido a diversas causas; por ejemplo, un camión nuevo por ensamblar y armar, o uno que está desarmado y que no podrá ser considerado dentro del plan operativo. Este estado nos muestra que un equipo sale de los cuatro estándares y por lo general no se encuentra considerado en el plan de operaciones.

Finalmente cabe precisar que estos estados son estados principales, ya que de ellos se desprenderán dos líneas más de estados denominados sub-estados; es decir, en la primera línea se encuentran los “Estados Principales”, en la segunda línea tendremos los sub-estados denominados “Estados Secundarios”, y en la tercera línea estarán los “Estados Detalles”. Estas dos líneas de Sub estados, serán determinados a criterio del Administrador y de acuerdo con la incidencia o actividad que se desarrolla en el campo de operaciones. Estos sub-estados varían de acuerdo con la flota y equipo determinado. A continuación, se muestra a modo gráfico como es que se acoplan los tiempos de estados en relación con el tiempo total real del proceso de carguío y acarreo.



Figura 8. Estados de equipos en el ciclo de carga y acarreo.

***Parámetros e indicadores de productividad.***

***Disponibilidad% (Av):*** Representa un porcentaje del tiempo total en que el equipo está disponible para la operación.

***Uso de la Disponibilidad% (UOA):*** Porcentaje que representa el tiempo relacionado directamente con la operación desde el momento en que el equipo no está en mantenimiento. Este porcentaje indica cómo se gestiona el tiempo en espera.

***Uso% (Uso):*** Porcentaje que indica cómo se gestiona el tiempo de demora en la operación.

***Usage% (USG):*** Porcentaje que indica el tiempo que el equipo estaba trabajando con respecto al tiempo en que el equipo no está en mantenimiento.

***Utilización% (Utz):*** Porcentaje que indican el tiempo que el equipo estuvo operativo con respecto al tiempo total disponible para el equipo

***Distancia Equivalente Horizontal (EFH):*** Es la distancia horizontal que el camión podría recorrer en el mismo tiempo que le demanda sobre una pendiente (positiva o negativa).

***Cola de camiones (Queue – min.):*** Es un parámetro que indica el tiempo de espera de los equipos de acarreo en el frente de carguío, y se contabiliza desde el primer camión que se encuentra en la actividad esperando.

***Productividad de Acarreo (t/h):*** Se define como el tonelaje que transporta el camión dividido entre el ciclo de acarreo para un viaje.

***Productividad de Carguío (t/h):*** Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de camiones.

***Productividad Efectiva de Carguío (t/h):*** Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo efectivo de carga, incluyendo el tiempo de cuadrado. Esto es lo que se produciría en una hora si el hang fuera cero.

***Tasa de Excavación (t/h):*** Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo de carguío, también se le denomina tasa de excavación o Digrate.

***Espera del equipo de carguío (Hang – min.):*** Parámetro que indica el tiempo de espera de los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío.

### **Calculo de la Mejor Ruta.**

Es utilizado constantemente por el sistema para obtener la mejor ruta; tanto de una zona de carguío hacia una zona de descarga, así como de una zona de descarga hacia una zona de carguío, quedando incluidas aquellas asignaciones a nodos especiales. Se tiene en consideración los tiempos por tramos y los sentidos de estos, para un cálculo más próximo, y para que la estimación de tiempos sea más cercana a la realidad. El nombre del algoritmo utilizado es Dijkstra como se muestra en la siguiente figura.

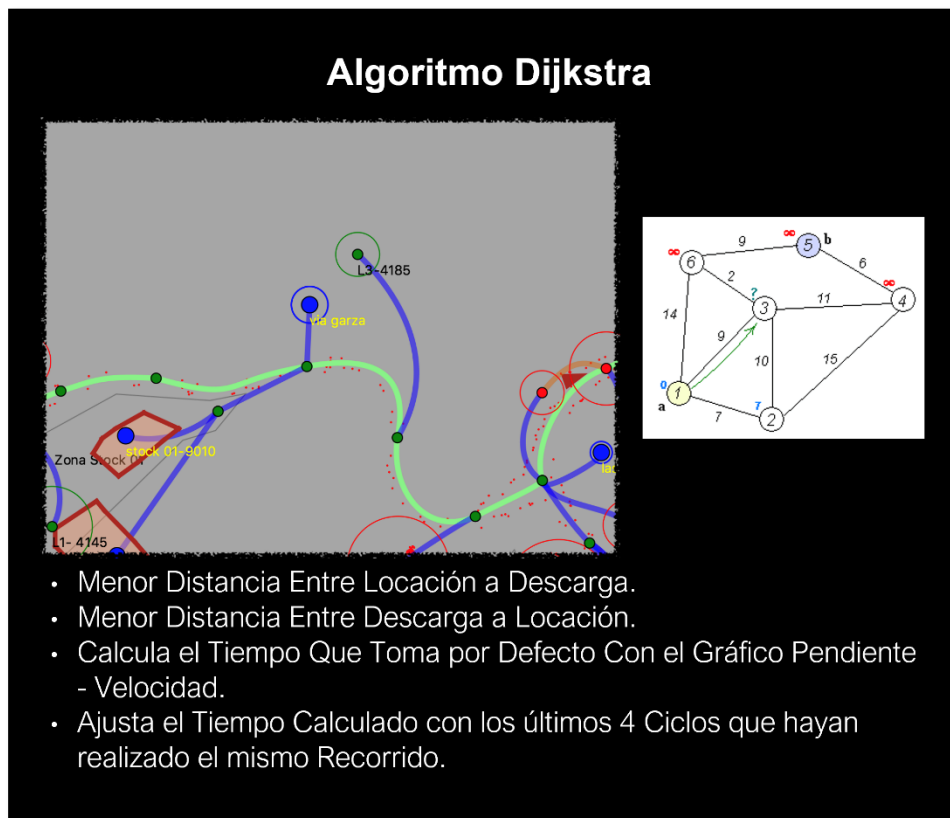


Figura 9. Algoritmo Dijkstra.

### **Optimizador.**

Desde el punto de vista informático, un proceso de optimización significa maximizar resultados minimizando los recursos disponibles. Para esto es necesario hacer uso de una serie de algoritmos matemáticos, siendo el más usado el algoritmo de Programación Lineal.

Cabe recalcar que el optimizador depende de varios parámetros que el controlador deberá ingresar a manera de estrategia, para que el optimizador llegue a la mejor respuesta.

El Sistema de Administración de Flotas cuenta con un avanzado algoritmo de optimización del tipo N palas M Camiones, el cual se emplea junto con la programación Lineal. Esto en conjunto proporciona la ventaja de hacer simulaciones y proyectarse dos (2) horas en el futuro, facilitando la toma de la decisión actual de asignación de los equipos.

El Optimizador recauda toda la información necesaria para dicho proceso:

- Estados de los Equipos.
- Actividades
- Velocidades
- Productividades
- Tiempos de los últimos viajes de cada Equipo de Carguío y Acarreo.
- Las últimas descargas para el manejo del blending.
- Restricciones.
- Asignaciones Fijas.
- Mezclas.

Con estos datos se construye internamente un escenario inicial de simulación. A continuación, se simulan los ciclos de todos los camiones y todos los equipos de carguío, teniendo en consideración lo descrito arriba; con ello se construyen numerosas posibilidades ( $N^M$  donde N es la cantidad de Camiones y M la cantidad de Palas), de las cuales se selecciona la que posee un menor costo operativo, respetando todos los parámetros configurados inicialmente. El optimizador realiza ciclos no convencionales, permitiendo, después de la descarga del camión (equipo de acarreo), dirigirse a “otro” equipo de carguío. En otras palabras, junta varios ciclos convencionales, de tal forma que en conjunto realizan más viajes, obteniéndose con ello el beneficio de producir más con los mismos recursos. He aquí la consecuencia de este proceso, que es la reducción de los costos operativos. A continuación, se muestra una representación grafica del algoritmo de optimización.



Figura 10. Algoritmo Optimizador.