



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE ENTRENAMIENTO EN OPERADORES
DE CAMIONES, UTILIZANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS

JAIME JOSÉ REBOLLEDO CAMPOS

PROFESOR GUÍA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
IVÁN BRAGA CALDERÓN
JUAN ZANLUNGO MATSUHIRO

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS
POR: JAIME JOSÉ REBOLLEDO CAMPOS
FECHA: 2016
PROF. GUÍA: SR. LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE ENTRENAMIENTO EN OPERADORES DE CAMIONES, UTILIZANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la gran minería del cobre de cielo abierto, el desempeño de la flota de camiones es determinante en la rentabilidad de la operación. El transporte de mineral desde la mina hasta la planta es un proceso comandado mayormente por personas. Estas personas, arriba de grandes camiones mineros, deben enfrentar todo tipo de distracciones, peligros, y además, deben desarrollar su actividad en condiciones ambientales adversas. Es el desempeño de estos operadores la que condiciona la productividad de la mina, y son por supuesto sus conductas las que afectan la seguridad de personas y la integridad de los equipos.

Esta tesis se hace cargo de diseñar una metodología analítica para identificar a los operadores de camión que tienen brechas en su desempeño, ofreciendo con esto un instrumento de gestión que permite enfrentar de manera focalizada los recursos de entrenamiento, y disminuyendo las mermas de productividad.

Gracias al uso y procesamiento de grandes cantidad de datos, provenientes de tanto del sistema de signos vitales de los camiones mineros, como del sistema de despacho de la flota, es posible reconocer las pérdidas de eficiencia de la flota, y la contribución que tienen los operadores de camión a estas pérdidas.

Se presenta además un diagrama de visualización de velocidades georreferenciadas que permite reconocer condiciones en las rutas con brechas de velocidad, producto de interferencias, o deficiente gestión de caminos.

En este trabajo se presentan propuestas de reportes analíticos que demandan un esfuerzo no menor de integración datos, y de crear estructuras de gestión que utilicen esta nueva información. Estos nuevos reportes, que permitirán cuantificar algunas de las más grandes pérdidas de eficiencia de la flota - imputables a la conducta de los operadores - son el producto de una iniciativa de la superintendencia de mina, la cual se espera se implemente durante el año 2016.

Mi especial agradecimiento a mi Esposa, quien me dio todo su apoyo durante estos dos años, a mi jefe Eduardo Garay quien me dio todas las facilidades para tomar este postgrado y a los profesores y administrativos que pusieron su buen trabajo y disposición en este Magister.

Tabla de Contenido

Introducción	1
1. Objetivos y Alcance	3
1.1. Objetivos	3
1.2. Alcance	4
2. Metodología	5
3. Aspectos Generales	7
3.1. Problemas existentes con el proceso actual	7
3.2. Identificación de actores y clientes interesados	7
4. Descripción Estadística del Proceso de Despacho de Camiones	9
4.1. Estructura de datos	9
4.2. Descripción Estadística del proceso de despacho de camiones	10
4.2.1. Estados de la Flota	10
4.2.2. Control Estadístico de los Estados	11
5. Propósito de Optimización de la Flota	16
5.1. Indicador OEE	16
5.2. Propósito de este trabajo en la optimización de la flota	18
6. Propuesta de Nuevos Reportes de Gestión de Desempeño	19
6.1. Reporte de malas prácticas de operación de camiones	19
6.1.1. ¿Por qué se requiere un nuevo reporte de malas prácticas?	19
6.1.2. Desafíos de integración de datos	19
6.1.3. Criterios utilizados en su diseño	20
6.1.4. Implementación de Reporte de Prueba	20
6.2. Reporte de Gestión de Velocidad	22
6.2.1. ¿Por qué se requiere un nuevo reporte de gestión de velocidad?	22
6.2.2. Desafíos de integración de datos	23
6.2.3. Criterios utilizados en su diseño	23
6.2.4. Reporte Ejemplo	23
6.3. Discusión de alternativas de plataformas tecnológicas para la implementación de estos reportes	27
Conclusión	28

Índice de Tablas

4.1. Descripción de fuentes de datos analizadas	9
4.2. Tabla de Estados de Camiones	10
5.1. Categorías de Pérdidas de Eficiencia de Equipos	16
5.2. Esquema de Distribución de Tiempo para cálculo de OEE	17
6.1. Estructura de base de datos combinada para la elaboración de reporte de buenas prácticas	20
6.2. Estructura de base de datos combinada para la elaboración de reporte de velocidades	23

Índice de Ilustraciones

1.	División Ministro Hales	2
4.1.	Bitácora de Eventos de un determinado Camión en un día. Cada cuadro de color representa el inicio del estado pero no su duración.	11
4.2.	Evolución de Balance Mensual 2015	12
4.3.	Gráfico de Control - Demora	13
4.4.	Gráfico de Control - Fuera de Servicio	14
4.5.	Gráfico de Control - Operativo	14
4.6.	Gráfico de Control - Reserva	14
6.1.	Reporte de evaluación de operadores durante 72 días trabajados.	21
6.2.	Reporte de evaluación de operadores con distintos límites de decisión superior.	22
6.3.	Gráfico de gestión de velocidad - Comparación con patrón de velocidad de referencia.	24
6.4.	Tiempos de transporte en ruta ABC - Comparación entre referencia y promedio de operador.	25
6.5.	Análisis de Mermas - Por Ruta y por Operador.	26
6.6.	Análisis de Mermas – Por Operador y por Ruta.	26
6.7.	Comparación estadística de medias para las pérdidas de velocidad por operador en todas las rutas para un periodo de tiempo.	27
6.8.	Perfil de Velocidad de CAEX en el Rajo.	28
6.9.	Esquema de Topología.	29

Introducción

La División Ministro Hales (DMH), conocido anteriormente como Mansa Mina, se ubica a casi 10 kilómetros de Calama. Ver figura 1.

El yacimiento procesa minerales de cobre con un alto contenido de arsénico, razón por la cual la planta concentradora de cobre, tiene un proceso adicional de tostación, que procesa los concentrados altos en arsénico, para producir finalmente Calcina con una alta concentración de Cobre y una muy baja concentración de arsénico.

La mina mediante un proceso de tronadura, y carguío mueve alrededor de 350.000 toneladas diarias de mineral, debido a una gran razón de lastre mineral.

La mina maneja diversos stocks de alto y bajo sulfuro, alta y baja ley, los que apoyan un proceso de acondicionamiento de mineral antes de enviarse a planta.

El mineral es en su primera etapa, es triturado en un proceso de chancado primario y luego transportado a través de una correa, la cual alimenta un stock pile.

La planta concentradora, tiene una etapa de molienda, de configuración SABCA, con un molino SAG y dos molinos de bolas.

El proceso de flotación, consta de un proceso de flotación rougher, remolienda y limpiezas, las cuales concentran el mineral de cobre, el cual es espesado y luego filtrado, para ser luego enviado a un domo de acopio de concentrado con alto contenido arsénico.

El tostador de concentrado, a través de un innovador proceso, limpia el concentrado de cobre produciendo Calcina de Cobre. Los gases son luego enfriados y precipitados para producir ácido sulfúrico.

La Calcina es luego transportada en camión a su principal cliente, la Fundición Chuquicamata.

La Calcina de Cobre es un producto relativamente nuevo en el mundo, y gradualmente se está posicionando como un insumo de alta calidad para el proceso de fundición.



Figura 1: División Ministro Hales

Capítulo 1

Objetivos y Alcance

1.1. Objetivos

El rajo de minera Ministro Hales es reconocido como uno de los geológicamente más complejos de Chile, tanto por su inestabilidad geotécnica como por la particularidad mineralógica. Son estas las principales condiciones que demandan operadores de equipos con conductas de excelencia.

Por su parte se requieren procesos formales y tecnología que permita apoyar el aseguramiento de la excelencia de operadores, y por supuesto, gestionar las pérdidas de eficiencia que se generan en el uso de los equipos de transporte mina. En este ámbito, y hasta la elaboración de esta tesis, se han identificado las siguientes dificultades:

- No existen herramientas que permitan hacer seguimiento a los incidentes emanados de las malas prácticas operacionales en los CAEX.
- No existen herramientas que permitan sistemáticamente identificar el desempeño de los operadores y su influencia en las pérdidas de eficiencia de la flota CAEX.

Estas dificultades provienen de la falta de un proceso explícito de análisis de los datos generados por el Sistema de Despacho y Sistema de Monitoreo de Signos Vitales de los camiones.

Considerando lo anterior, los principales objetivos que se desprenden de estos riesgos son los siguientes:

- Desarrollar un modelo de análisis estadístico que permita medir el desempeño de operadores de CAEX, bajo la óptica de reconocer su influencia en las pérdidas por disponibilidad de los camiones, y las pérdidas tiempo por merma en la velocidad de transporte.
- Diseñar una metodología para la implementación en terreno de esta nueva forma de identificar las necesidades de entrenamiento de operadores de CAEX.

1.2. Alcance

El alcance de esta tesis considera el estudio de la flota de camiones CAEX, un histórico de datos provenientes de los sistemas de despacho, y datos provenientes del sistema de signos vitales de los camiones, el periodo estudiado es todo el 2015.

El análisis de datos presentado en esta tesis está basado en el desarrollo de rutinas de estadística descriptiva, cuyo objetivo por un lado es; evaluar la estabilidad del uso de tiempo en la flota y por otro; plantear reportes que permitan gestionar las principales fuentes de pérdidas de eficiencia, que son incorporadas por los operadores.

Esta tesis es una propuesta de mejora para la implementación un sistema de gestión mina, por lo que se excluye de esta tesis, testimonios y resultados de su implementación en terreno.

Capítulo 2

Metodología

Esta tesis tiene como propósito estudiar las componentes que tienen relación con el desempeño de los operadores de CAEX, con el apoyo de herramientas estadísticas, integración de datos de fuentes diversas, técnicas de visualización y la gestión de pérdidas, lo que finalmente permitirá idear herramientas de gestión que serán útiles para la gestión del desempeño de operadores de CAEX.

La oportunidad que enfrenta DMH, en términos de sus operadores de CAEX es la falta de visibilidad de patrones e información que permita inferir si un operador requiere mayor entrenamiento o reforzamiento en ciertas áreas de su trabajo. La gestión de los incidentes/accidentes, las ausencias y la relación entre el supervisor y el supervisado son actualmente la forma más directa que tiene la división para reconocer debilidades en los operadores de CAEX.

Se percibe por lo mismo, que los datos capturados por los distintos sistemas de gestión de la flota de camiones, albergan información útil, pero que no es fácil de obtener y que su construcción tampoco es obvia, por lo mismo este trabajo enfrenta el desafío de reconocer y proponer alternativas de análisis y visualización de datos que permitan reconocer oportunidades en el mejoramiento de desempeño de los operadores.

Los sistemas de captura de datos que sirven a la gestión de flota, son principalmente dos, el primero es la gestión del uso del tiempo de operadores y equipos y el segundo permite gestionar las fallas y síntomas de los equipos, ambos sistemas tienen soporte georreferenciado de alta precisión. Ambos sistemas no están integrados, y su propósito principal es construir indicadores de resultados a nivel agregado, pero no son en ningún caso herramientas que apoyen la eliminación proactiva / predictiva de defectos. De hecho los datos entregados por cada uno de estos sistemas, permiten construir una realidad parcial de las causas de la baja de rendimiento de la flota.

Para hacer esta tesis se recolectan datos de 1 año (2015) con la mayor precisión disponible en cada sistema, por lo que las conclusiones y observaciones vertidas en esta tesis, pueden ser generalizables.

El desarrollo de esta tesis se apoya en dos conceptos claves:

- El primero es la Eficiencia General de los Equipos (en inglés OEE – *Overall Equipment Efficiency*) con una adaptación para equipos móviles mineros [7], Esto es un marco conceptual para definir la eficiencia de la flota de camiones y analizar las principales fuentes de pérdidas.
- El segundo es el uso de técnicas de “Knowledge Discovery and Data Mining” (KDD), reconocida como una inter-disciplina enfocada en extraer conocimiento útil a partir de los datos [1, 2, 4, 6].

Ambos conceptos son amplios y complejos, por lo que reconocer su utilidad para resolver este tipo de problemas, solo es el primer paso en un proceso de cambio en la organización. Incorporar la gestión de OEE y comenzar a utilizar herramientas KDD demandan recursos y un proceso de gestión del cambio, los cuales son un proyecto en sí mismo. Es por lo mismo que esta tesis tiene un propósito acotado en las indagaciones que se hacen en ambos conceptos, y propone a las partes interesadas una línea de trabajo concreto y que se cree puede ser de gran impacto en el proceso de eliminación de defectos en la operación de la flota de CAEX.

En relación al proceso lógico que sigue esta tesis, esta se compone de las siguientes etapas:

- **Datos y consistencia:** Se verifica la consistencia de los datos históricos disponibles en el sistema de despacho (jigsaw) y el sistema de signos vitales de los camiones (minestar). Se utiliza software de exploración estadística para estudiar los datos, encontrar datos inconsistentes o inexistentes y elegir una estrategia de sustitución o estimación de los datos faltantes.
- **Visualización estadística del proceso:** Se construyen diversas visualizaciones y análisis estadísticos descriptivos, para entender el proceso de despacho y patrones en la ocurrencia de falla de la flota de camiones.
- **Propósito de optimización:** Se presenta una definición de eficiencia en la operación de camiones mineros.
- **Diseño de Reportes para Gestión de Desempeño de los Operadores:** Se diseñan reportes que permiten visualizar el desempeño de operadores de CAEX.
- **Implementación:** Se presenta una estrategia para la implementación de los reportes de gestión de desempeño de operadores.

Capítulo 3

Aspectos Generales

3.1. Problemas existentes con el proceso actual

Los operadores de CAEX de DMH son una población cuya edad promedio no supera los 34 años, muchos de ellos han tenido solo un empleo como operadores de CAEX, es por lo tanto importante para la organización perseverar con las capacitaciones y reforzamientos de buenas conductas en la operación de los camiones CAEX.

A pesar de lo anterior, los CAEX sufren recurrentes daños debido a la mala operación, lo que es reconocido por los mantenedores de CAEX, pero que es sin embargo, difícil de medir y de gestionar. Esta situación afecta la confiabilidad e incorpora incertidumbre al rendimiento de la flota.

Otro problema derivado de contar con operadores con brechas en su adiestramiento, es que exponen a ellos, a otros y a los equipos, a un riesgo intolerable para su seguridad.

Para lidiar con los daños y riesgos provocados por la mala operación de CAEX, supervisores y despachadores registran el incidente o daño causado por un operador de CAEX, y por lo general se programan actividades de reforzamiento de la buena práctica. El problema de esta estrategia es que no permita identificar proactivamente si la buena práctica fue adoptada y mucho menos conocer si la falla o daño, fue una situación puntual o corresponde a una conducta permanente. Ciertamente discriminar entre estas dos condiciones permite orientar mejor los recursos de capacitación.

3.2. Identificación de actores y clientes interesados

El mejoramiento del desempeño de los operadores de CAEX y la verificación de la aplicación de las buenas prácticas, son actividades que involucran a varios actores y clientes, los que se describen a continuación:

- **Administrador del Contrato MARC de DMH:** Exige a contratista MARC el cumplimiento del contrato y el aseguramiento de una disponibilidad mecánica mínima de la flota. Tiene intereses para que la disponibilidad de los equipos sea mejor.
- **Administrador del Contrato MARC por parte del contratista:** Debe mantener un sistema de monitoreo en la flota CAEX que permite identificar las malas prácticas de operación, componentes del camión en mal estado. Tiene intereses para que la disponibilidad de los equipos sea mejor.
- **Superintendencia de Operaciones Mina:** Tiene un papel fundamental en la identificación de brechas en sus operadores y en la gestión eficiente de las flotas en sus procesos mina. Tiene intereses en mejorar la eficiencia de la flota y mitigar cualquier condición que ponga en riesgo la seguridad de los operadores.
- **Administrador de Contrato Sistema de Despacho Flota DMH:** Tiene un rol de administrador de la plataforma tecnológica que gestiona el despacho de las flotas, entrega datos y prepara informes cuando se les solicita. Su principal rol es mantener confiabilidad y disponibilidad de los sistemas, datos e información cuando se le requiere.
- **Planificadores:** Cuando se desarrolla un plan de producción de corto plazo, un plan semanal o diario, se hacen supuestos, los que se basan en rendimientos y disponibilidad de las flotas, información que es entregada por la mina. Los planificadores son usuarios de la información generada por mina, y es con esta información con lo cual desarrollan sus planes y proyectan requerimientos de carguío y transporte. Los planificadores actualmente no evalúan la incertidumbre como una variable de decisión en la elaboración de planes, por lo que para ellos es fundamental contar con una flota de perforación, carguío y transporte cuyo rendimiento y disponibilidad sea predecible, al menos en el horizonte de planificación.

Capítulo 4

Descripción Estadística del Proceso de Despacho de Camiones

4.1. Estructura de datos

Esta tesis estudia los siguientes conjuntos de datos para el periodo comprendido desde Junio 2015 hasta Octubre 2015.

ID	Nombre	Descripción	Fuente
<i>DEMOG</i>	Tabla de información de los operadores	Nombre, Edad, Sexo	SAP
<i>ESTADOS</i>	Tabla de Información de Despacho de Camiones	Fecha / Hora, ID de Camión, Operador, Estado del Camión (Reserva, Fuera de Servicio, Demora, Operativo), Duración del Estado.	Sistema de Despacho
<i>TIEMPOS</i>	Tabla de Tiempos de Ciclo	Fecha / Hora, ID de Camión, Operador, Tiempos de Ciclo, Ruta Origen y Destino.	Sistema de Despacho
<i>SIGVITALES</i>	Tabla de Signos Vitales del Camión	Fecha / Hora, ID de Camión, Descripción Falla, Duración de la falla.	Proveedor de Camiones

Tabla 4.1: Descripción de fuentes de datos analizadas

4.2. Descripción Estadística del proceso de despacho de camiones

La flota de camiones estudiada consta de 34 camiones de 400 tc, los cuales son asignados a distintas rutas, dependiendo de la prioridad impuesta por un programa de carguío y transporte ya definido previamente.

Algunas de las rutas típicas son; desde la pala hasta el chancador, desde la pala al botadero, desde el chancador al taller de camiones.

El despachador va gestionando la asignación de rutas de forma continua, tratando de satisfacer los requerimientos del programa y de los imprevistos operacionales de la mina y la flota.

4.2.1. Estados de la Flota

Para el sistema informático que gestiona la flota, cada camión puede tener uno de los 4 estados descritos a continuación:

Estado	Descripción
<i>Operativo</i>	El camión está siendo utilizado para transportar mineral. El camión puede estar cargado o vacío.
<i>Demora</i>	El camión está operativo pero por condiciones del trabajo, este se encuentra detenido y en espera. Una tronadura, interferencia en el camino, cambio de turno, colación etc.
<i>Reserva</i>	El camión está mecánicamente disponible, sin embargo no está siendo asignado a ninguna ruta, porque hay suficientes camiones operativos para las necesidades del programa.
<i>Fuera de Servicio</i>	El camión no se encuentra operativo debido a una falla.

Tabla 4.2: Tabla de Estados de Camiones

Como se puede observar en la figura 4.1, durante un día un camión puede tener distintos Estados, y puede ser conducido por distintos operadores . En la figura se ve como el operador #59317 entrega el equipo al término de su turno a las 8 AM, el camión luego es operado por #65066 hasta la hora de almuerzo 13:30 app. Mientras #65066 está en colación, el camión es operado por #59592. Luego a las 15:00 aproximadamente, el operador que estaba almorzando entra a producción operando el camión hasta las 20:00, hora en que finaliza su turno. El camión es luego entregado al operador de turno de noche #59317.

La flota durante el 2015, tuvo una distribución de tiempos mensual como la que se indica en la figura 4.2. En Diciembre 2015 por ejemplo, se obtuvieron demoras equivalentes en la

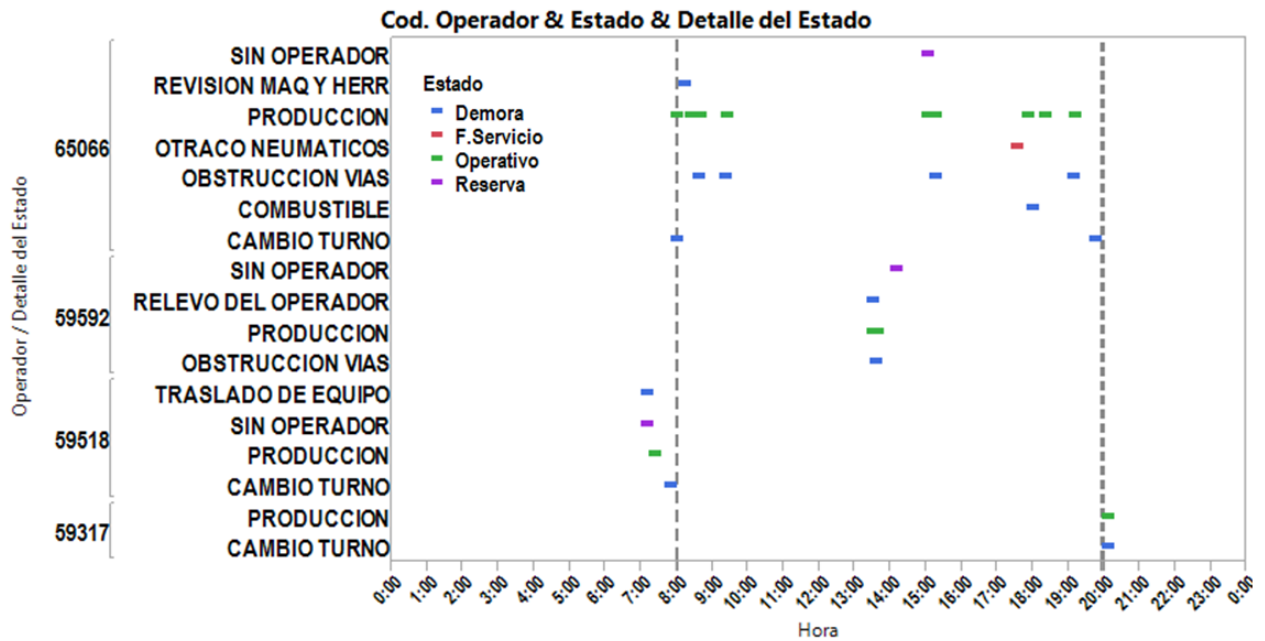


Figura 4.1: Bitácora de Eventos de un determinado Camión en un día. Cada cuadro de color representa el inicio del estado pero no su duración.

flota por 1,28 hr, tiempo fuera de servicio de 4,71 hr diarias, 16,4 hr de tiempo operativo 1,62 horas de tiempo de Reserva.

Desde el punto de vista de descriptivo de la serie mensual se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Las Demoras han tenido una tendencias decreciente sostenida desde comienzos del 2015
- El tiempo en que la flota ha estado fuera de servicio ha ido en aumento sostenido a partir del segundo semestre.
- El tiempo Operativo y el tiempo de Reserva de la flota no experimenta tendencias significativas en el año 2015.

4.2.2. Control Estadístico de los Estados

La gestión de la flota es un proceso que debe estar en control y que desde el punto de vista del proceso de transporte, lo relevante es maximizar el tiempo operativo. Sin embargo desde el punto de vista de la planificación, la variabilidad del tiempo operativo es algo que no se toma en consideración, afectando de forma significativa el cumplimiento del plan de producción mina.

La calidad de un proceso puede ser analizado desde el punto de vista de la variabilidad. Un gráfico de control sirve para identificar si un proceso está bajo control y es consistente, o si el proceso está fuera de control y es impredecible. Un proceso de carguío impredecible implica que puede haber factores fuera del sistema que requieren atención y que están incorporando

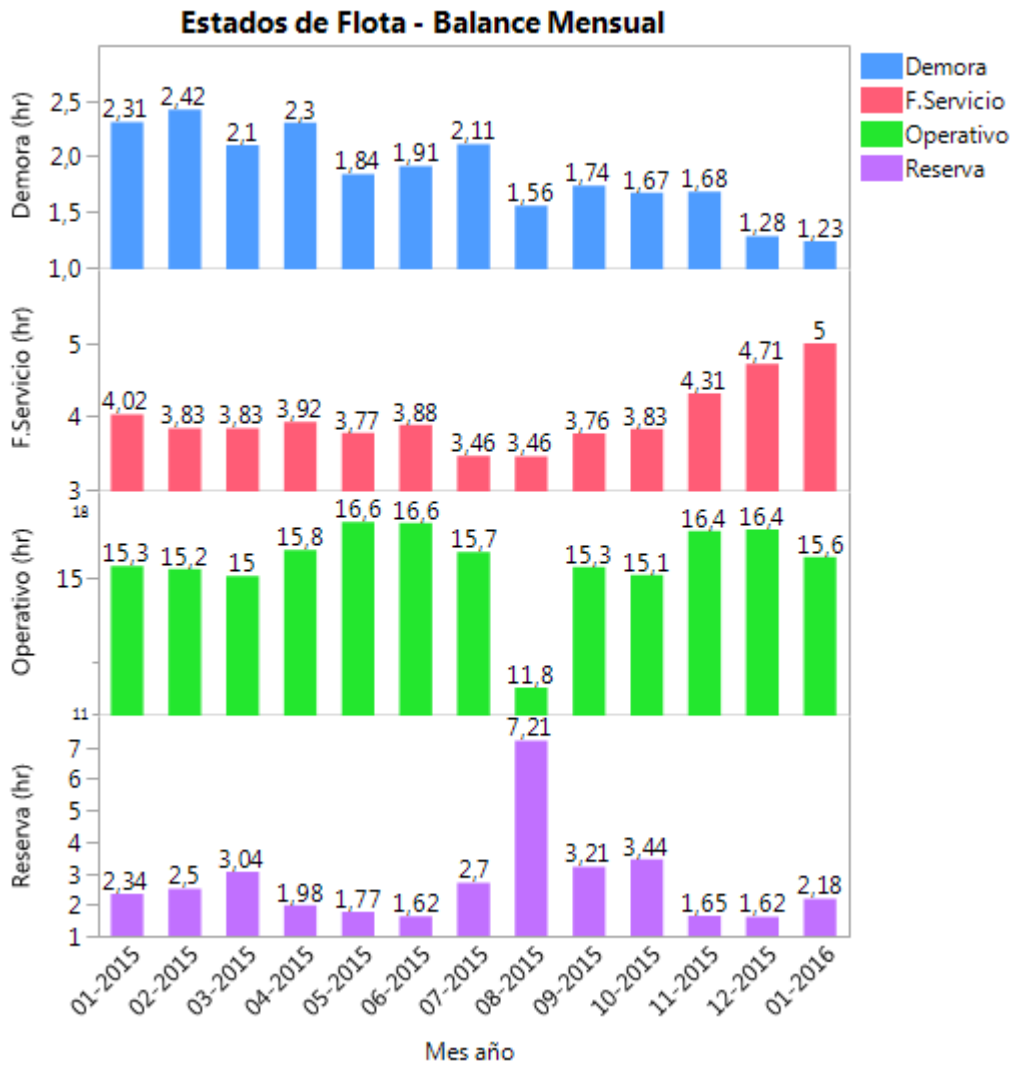


Figura 4.2: Evolución de Balance Mensual 2015

variabilidad al proceso, mayor a la inherente al proceso mismo.

Un gráfico de control compara las mediciones individuales de una variable de calidad, con respecto a un límite de control superior (UCL) y otro inferior (LCL). Cuando la variable aleatoria ha superado alguno de estos límites se puede decir que el proceso observado está fuera de control y es impredecible (Criterio 1).

Los límites de control se calculan de la siguiente manera [5]:

$$UCL = \bar{x} + 2,66 \cdot \bar{MR}$$

$$LCL = \bar{x} - 2,66 \cdot \bar{MR}$$

Otro criterio utilizado en este análisis para verificar si algunas de las variables (Estados) está fuera de control, es comprobar si dicha variable ha estado más de nueve observaciones en fila en un lado del valor central (Criterio 2).

Los siguientes gráficos verifican la estabilidad de cada uno de estos Estados considerando los dos criterios anteriores. Se utilizan datos del año 2015 (incluye enero 2016). Cada punto representado corresponde a una observación mensual de la flota.

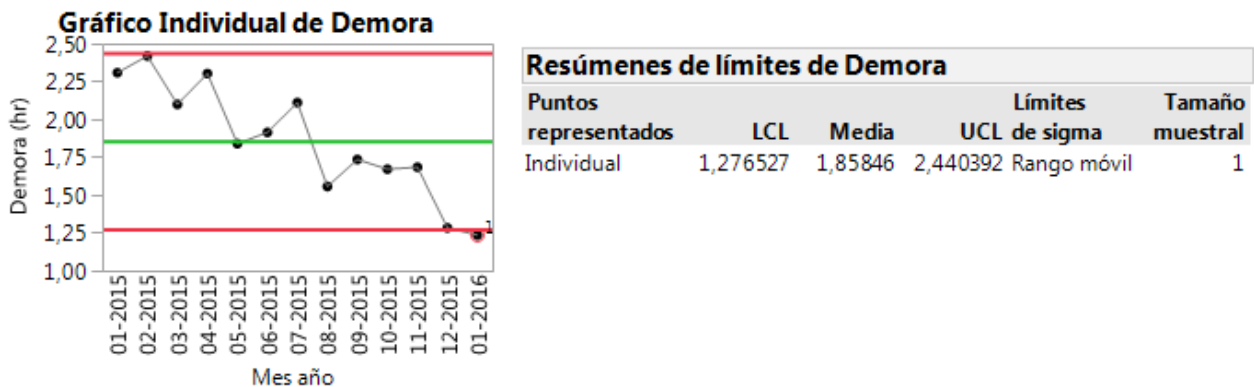
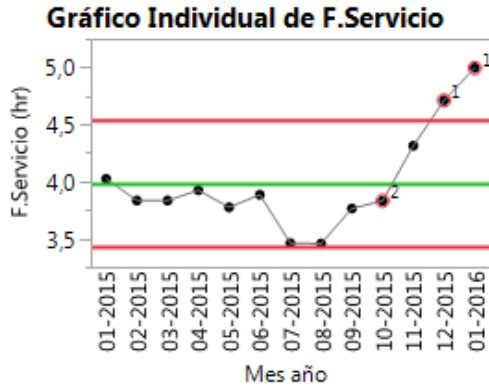
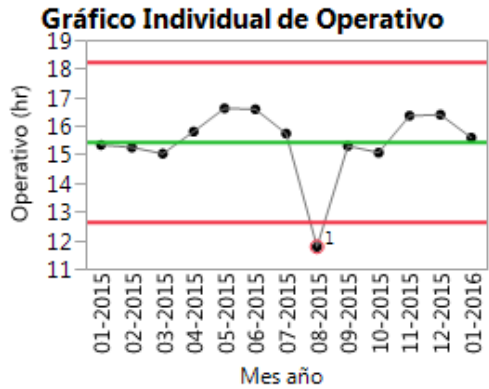


Figura 4.3: Gráfico de Control - Demora



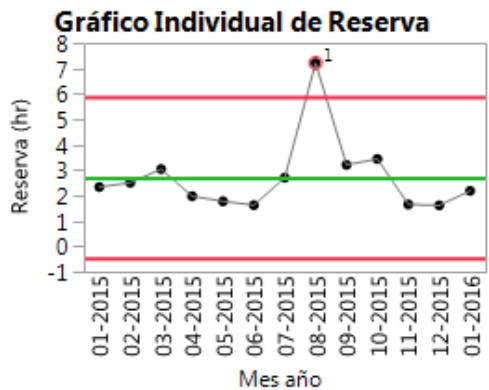
Resúmenes de límites de F.Servicio				
Puntos representados	LCL	Media	Límites UCL de sigma	Tamaño muestral
Individual	3,429288	3,985105	4,540923	Rango móvil
				1

Figura 4.4: Gráfico de Control - Fuera de Servicio



Resúmenes de límites de Operativo				
Puntos representados	LCL	Media	Límites UCL de sigma	Tamaño muestral
Individual	12,64948	15,44384	18,23821	Rango móvil
				1

Figura 4.5: Gráfico de Control - Operativo



Resúmenes de límites de Reserva				
Puntos representados	LCL	Media	Límites UCL de sigma	Tamaño muestral
Individual	-0,46416	2,712593	5,889346	Rango móvil
				1

Figura 4.6: Gráfico de Control - Reserva

Observaciones Generales:

- El paro de trabajadores ocurrido en Agosto del 2015 fue un evento que generó una distorsión los indicadores de tiempo operativo y reserva (equipos sin operador son considerados como equipos en reserva).
- A pesar de que las Demoras han presentado una mejora sostenida durante el año 2015, esto no tuvo efecto significativo en la mejora del tiempo operativo de la flota.
- El año 2015 se observó un aumento sostenido del tiempo fuera de servicio a partir del segundo semestre.
- Tanto la gestión de las Demoras como el tiempo Operativo han tenido una mejora marginal en los 13 meses de observación.
- La gestión de los 4 estados en el periodo observado, ha mostrado tendencias y variaciones que califican como estadísticamente fuera de control a los 4 Estados.

Capítulo 5

Propósito de Optimización de la Flota

5.1. Indicador OEE

La minería es una industria intensiva en el uso de capital, es por esto que los administradores de los activos necesitan que estos se utilicen al máximo. Es entonces imprescindible contar con un sistema preciso de medición de utilización, que facilite a los administradores enfocarse en las causas que generan pérdidas de utilización.

En [7] se presenta un modelo de gestión de tiempos, el cual se describe brevemente a continuación: El OEE (Overall Equipment Efficiency) es un indicador que ayuda a administradores a medir la eficiencia en el uso de los activos. Este indicador toma en consideración las fuentes más comunes de pérdidas de eficiencia. El indicador OEE se define como indica 5.1.

$$OEE = Disponibilidad(D) \cdot Desempeno(Dp) \cdot Calidad(C) \quad (5.1)$$

Cada uno de los factores de pérdida que componen el indicador OEE se describen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Categorías de Pérdidas de Eficiencia de Equipos

Categorías de pérdidas	Categoría de pérdida de OEE	Factor de OEE
Falla en equipos	Pérdidas por disponibilidad	Disponibilidad (D)
Ajustes de equipo y preparación		
Tiempos de espera y demoras	Pérdidas por velocidad	Desempeño (Dp)
Velocidad reducida		
Bajo rendimiento	Pérdidas por defecto	Calidad (C)
Defectos de calidad		

Como indica el esquema 5.2 de distribución de tiempos anterior, un equipo tendrá una

Tiempo Total – Calendario				
Tiempo Disponible (T_D)				Detenciones programadas
Tiempo Operativo (T_O)			Pérdidas por disponibilidad	$D = \frac{T_O}{T_D}$
Tiempo Operativo Neto (T_{ON})		Pérdidas por velocidad	$D_p = \frac{T_{ON}}{T_O}$	
Tiempo Completamente Productivo (T_{CP})	Pérdidas por defecto	$C = \frac{T_{CP}}{T_{ON}}$		

Tabla 5.2: Esquema de Distribución de Tiempo para cálculo de OEE

máxima eficiencia en su utilización, cuando la magnitud de las componentes de pérdidas que lo caracterizan, sean mínimas. Ver 5.2.

$$OEE = \frac{TO}{TD} \cdot \frac{TON}{TO} \cdot \frac{TCP}{TON} \quad (5.2)$$

Las típicas fuentes de pérdidas en un camión minero, se describen a continuación:

Pérdidas de Disponibilidad (D):

- Mantenimiento Programado
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento no Programado (fallas imprevistas)

Pérdidas por Velocidad (D_p):

- Tiempo excesivo de Carguío y Descarga
- Espera por pala
- Demora por Cambios de Turno
- Espera por Chancador
- Baja velocidad de camión
- Demoras por interferencias en camino
- Demoras por tronadura
- Demoras por clima

Pérdidas por Defecto (C):

- Factor de Carga (llenado insuficiente del camión)

Estas fuentes de pérdidas son actualmente gestionadas por el sistema de gestión de flota, y son parte fundamental del cálculo de indicadores de disponibilidad y de utilización. A pesar

de lo anterior, la gestión actual de este tipo de información no es suficiente para identificar potenciales brechas en las competencias de los operadores de camiones mineros.

5.2. Propósito de este trabajo en la optimización de la flota

El trabajo presentado a continuación busca incorporar dos nuevos reportes inexistentes en la División Ministro Hales. El objetivo de estos reportes es medir el impacto que tiene la conducta de los operadores de camión precisamente en la disminución de las pérdidas en Disponibilidad (D) como las Pérdidas por Velocidad (D_P).

El propósito de optimización de estos dos reportes está orientado en satisfacer los siguientes objetivos:

- Identificar, controlar y eliminar las malas prácticas de manejo de los operadores.
- Maximizar el rendimiento (ton/hora) de transporte de los camiones, mediante la gestión de pérdidas de velocidad.

Se excluye como alcance de estos reportes, la gestión de las Pérdidas por Calidad (C), ya que asegurar el llenado del camión, es responsabilidad del operador de la pala.

Capítulo 6

Propuesta de Nuevos Reportes de Gestión de Desempeño

6.1. Reporte de malas prácticas de operación de camiones

6.1.1. ¿Por qué se requiere un nuevo reporte de malas prácticas?

Periódicamente el contratista a cargo del mantenimiento de los camiones, prepara un reporte que muestra las principales malas prácticas de manejo. Estas malas prácticas son registradas por el sistema de signos vitales del camión. Esta información es luego utilizada para dirigir capacitaciones para los operadores. El problema de este modelo de gestión de malas prácticas, es que no identifica al operador que tiene la brecha, sino que supone que todos los operadores por igual tienen ese comportamiento, aumentando innecesariamente el costo y tiempo de entrenamiento. Esto de igual forma no permite hacer un seguimiento de brechas a cada operador, dicho de otra forma, no es posible saber si el operador ha mejorado o empeorado su forma de operar un camión.

6.1.2. Desafíos de integración de datos

Si bien la necesidad de contar con este reporte parece obvio dado la criticidad del activo, existen barreras tecnológicas y de integración de proveedores que complican el cruce de datos. El sistema de captura de signos vitales de los camiones (que registra las malas prácticas de operación) es gestionado por el fabricante de los camiones en un servidor de su dominio, por otra parte el sistema que asocia el operador con el equipo es gestionado por el administrador del software de despacho de la flota. Es entonces fundamental que ambas bases de datos se integren para poder asociar la ocurrencia de una mala práctica de manejo (mala marcha, sobre revolución de motor, excesos de velocidad, sobrecarga, otros) con el operador que la provocó.

Fecha-hora, del Evento	Operador ID	Razón de la falla del equipo	Duración de la falla	ID de Grupo (turno)	Posición GPS
------------------------	-------------	------------------------------	----------------------	---------------------	--------------

Tabla 6.1: Estructura de base de datos combinada para la elaboración de reporte de buenas prácticas

6.1.3. Criterios utilizados en su diseño

Junto con el Superintendente de Operaciones Mina, se establecieron criterios de diseño de este reporte los cuales se indican a continuación:

1. El reporte debe identificar a los operadores que tienen diferencias estadísticamente significativas con sus pares.
2. Debe permitir filtros por grupos (turnos) de operadores.
3. Debe permitir ajustar el periodo analizado (1 turno, 2 turnos, 1 semana, ,15 días, 1 mes, 3 meses).

6.1.4. Implementación de Reporte de Prueba

Para construir el reporte muestra, se preparan y combinan los datos provenientes de las bases de datos *DEMOG*, *ESTADOS* y *SIGVITALES*. La estructura de datos resultantes que servirá para elaborar el reporte se muestra en la tabla 6.1:

En un determinado intervalo de tiempo, un operador puede generar varias condiciones inseguras para el equipo, que podrían derivar finalmente en una falla del camión. Cada operador tendrá un comportamiento distinto, unos serán operadores que maltratan más a los equipos, otros serán más cuidadosos. Es por esto que la cantidad de fallas en la que ha estado involucrado un operador en un día es una variable que puede ser analizada estadísticamente.

Si consideramos que cada día podemos tomar una muestra que nos dé cuenta de la cantidad de fallas en la que ha estado involucrado un operador, tendremos una distribución estadística, la que será distinta entre los operadores.

La medida estadística que se utiliza para comparar operadores, se basa un Análisis de Medias (ANOM).

El ANOM provee un intervalo de confianza que permita identificar si alguno de los grupos (en este caso cada grupo es un operador de camión) tiene una media significativamente distinta del promedio de todos los grupos (todos los operadores) combinados. Con ANOM se puede identificar cual o cuales grupos tienen una media de fallas que sobrepasa la línea de decisión superior. De forma similar existe una línea de decisión inferior, la cual en caso de ser sobrepasada, se concluye que dicho grupo tiene una media significativamente menor al promedio de todos los grupos.

Lo límites se obtienen a través de la expresión 6.1:

$$\begin{aligned}
UDL &= \bar{\bar{X}} + h_{c,n_j} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2 \cdot (c-1)}{n}} \\
LDL &= \bar{\bar{X}} - h_{c,n_j} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2 \cdot (c-1)}{n}}
\end{aligned}
\tag{6.1}$$

Donde:

c es el número de grupos (número de operadores) en estudio.

j es la representación de un grupo particular; $j = 1, 2, 3, \dots$

n_j es la cantidad de observaciones en el grupo j .

n es el número total de observaciones combinando todos los grupos $n = n_1 + n_2 + \dots + n_c$.

$\bar{\bar{x}}$ es el promedio de todas las observaciones de todos los grupos combinados, $\bar{\bar{X}} = (\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_c)/c$

S_p^2 es una estimación de la variabilidad de los grupos, la cual se calcula como $S_p^2 = (S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_c^2)/c$.

h_{c,n_j} es el valor crítico del estadístico de Nelson's con c grupos y n_j observaciones (iguales por grupo), la que se obtiene desde la tabla del estadístico. Ver [3].

El gráfico 6.1 muestra una comparación de operadores durante 72 días trabajados, el límite de decisión superior (UDL) es de 0,341 eventos por día en promedio durante el periodo observado. Para este caso son 5 los operadores que son significativamente distintos al grupo analizado.

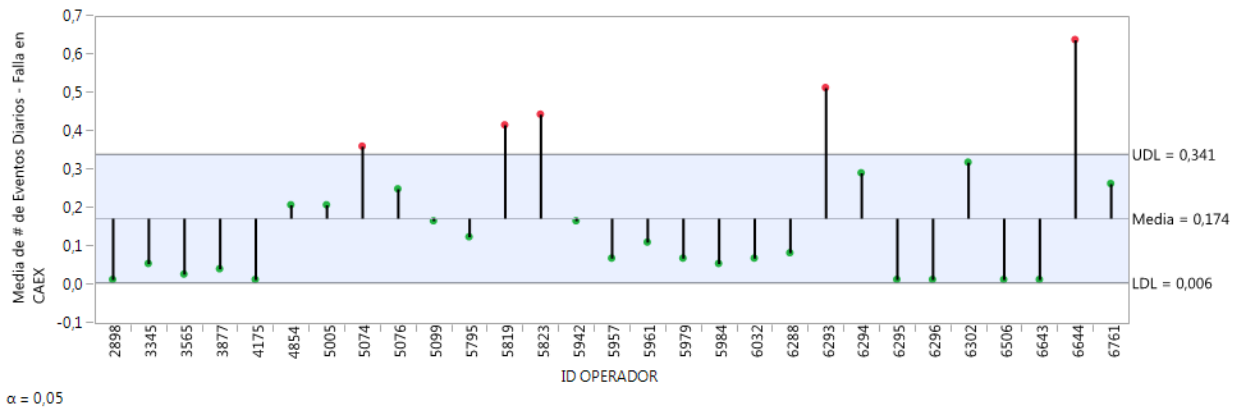


Figura 6.1: Reporte de evaluación de operadores durante 72 días trabajados.

Es común sin embargo que los operadores no tengan la misma cantidad de días trabajados, en dicho caso el límite de superior de decisión varía. Mientras más muestras tenga un operador (o más días trabajados) el valor crítico de Nelson disminuye [3]. El gráfico 6.2 muestra el

reporte presentado en la figura 6.1, pero incorporando 12 nuevos operadores con más días trabajados.

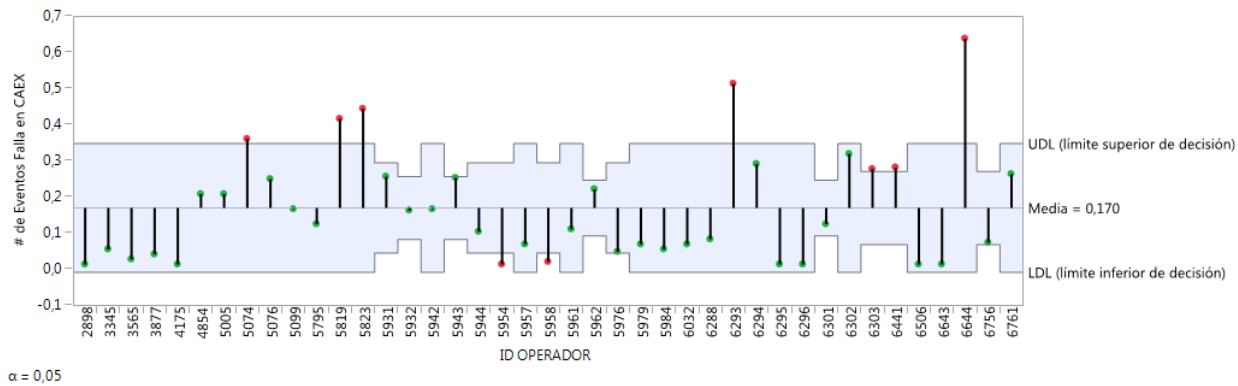


Figura 6.2: Reporte de evaluación de operadores con distintos límites de decisión superior.

6.2. Reporte de Gestión de Velocidad

6.2.1. ¿Por qué se requiere un nuevo reporte de gestión de velocidad?

Actualmente la velocidad de la flota se analiza de forma agregada y es una consecuencia de las gestiones que desarrollan los distintos procesos que interactúan con la flota de camiones mineros, tales como preparación de caminos, gestión de cables de equipos, traslado de equipos, equipos de carguío y perforación.

Si bien estas interacciones que afectan el rendimiento de la flota de camiones, están perfectamente identificadas, las pérdidas no están cuantificadas ni se gestionan directamente.

Para Ministro Hales, las pérdidas por velocidad (ver tabla 5.1) requieren un tratamiento particular, por lo que su identificación y gestión son necesarias para un mejoramiento continuo, sobre todo considerando que la mina tienen complicaciones excepcionales como lo son; estreches de fondo de mina, equipos eléctricos que requieren una gestión dedicada de los cables eléctricos, rampas estrechas que dificultan el tránsito, entre otros.

Adicionalmente cada operador durante un día puede tener varias asignaciones a distintas rutas de transporte, llevando mineral desde un determinado punto de carga hasta un punto de descarga, lo que se repite ida y vuelta una y otra vez. Es por esto fundamental que el trabajo repetitivo sea lo más eficiente posible.

El contar con un reporte especializado de velocidad permitirá sin duda, contribuir con la información real de rendimiento de la flota (en cada ruta), información que será utilizada por el equipo de planificación de corto plazo, disminuyendo la incertidumbre y mejorando la adherencia al plan.

Fecha-hora del Evento @ 10 segundos	Operador ID	Origen	Destino	Tonelaje	Posición GPS
---	----------------	--------	---------	----------	-----------------

Tabla 6.2: Estructura de base de datos combinada para la elaboración de reporte de velocidades

Como se mencionó, las fuentes de pérdidas de velocidad de la flota son variadas, sin embargo como alcance de esta tesis, solo se estudia una forma de gestionar aquellas pérdidas de velocidad que tengan relación con las competencias del operador, por lo que se excluyen todas aquellas fuentes de pérdidas no imputables a la conducta del operador.

6.2.2. Desafíos de integración de datos

Para construir un reporte que dé cuenta de las pérdidas de velocidad de la flota se debe contar con datos sin procesar GPS, información del operador, identificación del origen y destino de la ruta y carga de la tolva. Esta información se extrae de las bases de datos *DEMOG*, *ESTADOS* y *TIEMPOS*. La estructura de datos resultantes que servirá para elaborar el reporte es la mostrada en la tabla 6.2.

6.2.3. Criterios utilizados en su diseño

Junto al ingeniero de gestión mina se identificaron las siguientes condiciones que debe cumplir el reporte de pérdidas de velocidad:

1. Debe poder identificar las velocidades de cada camión en todo el trayecto desde su origen a su destino con la máxima precisión.
2. Debe poder comparar las velocidades de cada operador, con un patrón de velocidad de referencia. Este patrón de velocidad de referencia debe corresponder a un operador ejemplar o a la estadística de dicho patrón.
3. Se debe poder hacer un ranking que identifique a los operadores que requieren perfeccionamiento.

6.2.4. Reporte Ejemplo

El gráfico 6.3 es parte del reporte diseñado y presenta un perfil de velocidades de referencia para un trayecto determinado (ABC) y lo compara con el perfil de velocidades de un operador real (DEF).

Para construir el perfil real de velocidad de un operador se analizan distintas realizaciones de la misma ruta, obteniéndose un patrón promedio representativo de la conducta del

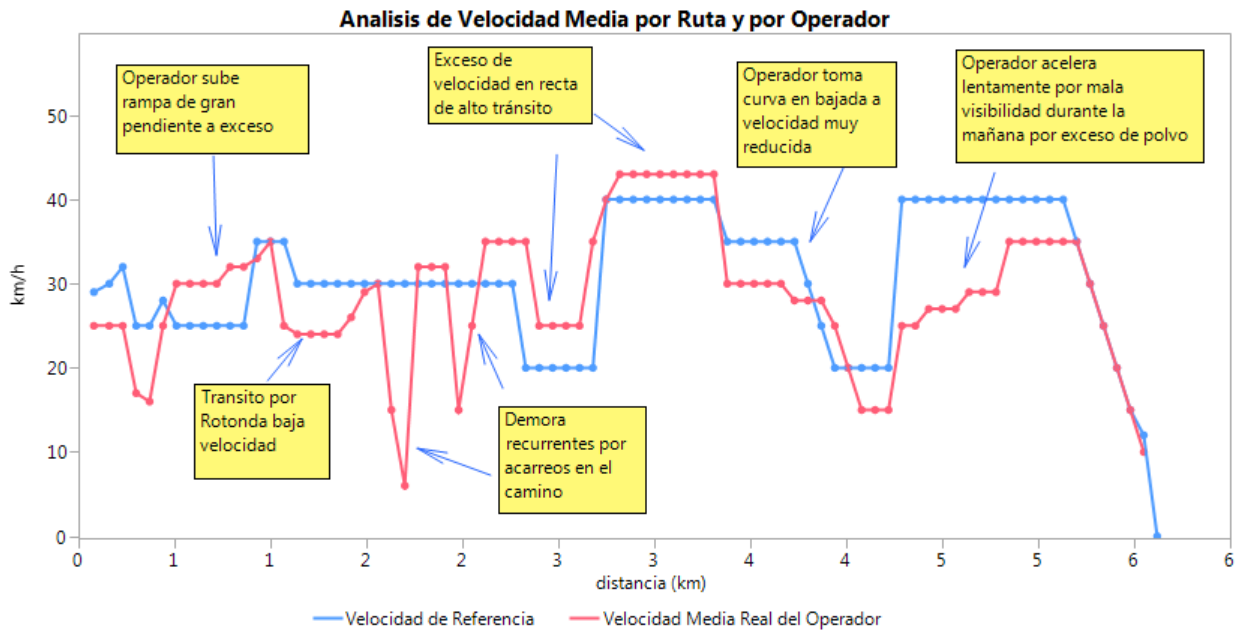


Figura 6.3: Gráfico de gestión de velocidad - Comparación con patrón de velocidad de referencia.

operador, es entonces este perfil suavizado de velocidad el que es comparado con el perfil de velocidad de referencia.

Para obtener el perfil de velocidad de referencia, se promedian distintas realizaciones del perfil de velocidad de un operador entrenado.

Como muestra la figura 6.3, las diferencias de velocidad entre ambos perfiles, permite revelar en qué parte del trayecto se generan las conductas imprudentes como exceso de velocidad o velocidades muy lentas.

En el ejemplo mostrado, las diferencias entre perfiles significan una pérdida de velocidad equivalente al 10% del tiempo de referencia, o 1,5 minutos por encima del tiempo definido. Ver figura 6.4.

La figura 6.5 muestra un despliegue que permite identificar las rutas con más mermas de velocidad para un periodo determinado de tiempo. Este reporte es particularmente útil ya que puede ser utilizado como un diagnóstico temprano de rutas que están teniendo complicaciones por ejemplo excesivo o mal estado de caminos. Este gráfico y su tendencia es una buena herramienta para presentar periódicamente como un informe de pérdidas de velocidad de la flota.

La figura 6.6 muestra un despliegue con las mermas de tiempos por pérdidas de velocidad, ordenadas por operador y ruta. Este gráfico identifica a aquellos operadores que más han contribuido a la merma de pérdidas de velocidad y las rutas donde presentan más brechas.

Desde el punto de vista de comportamientos estadísticos, para identificar al operador que está teniendo mermas por pérdidas de velocidad, significativamente mayores al resto,

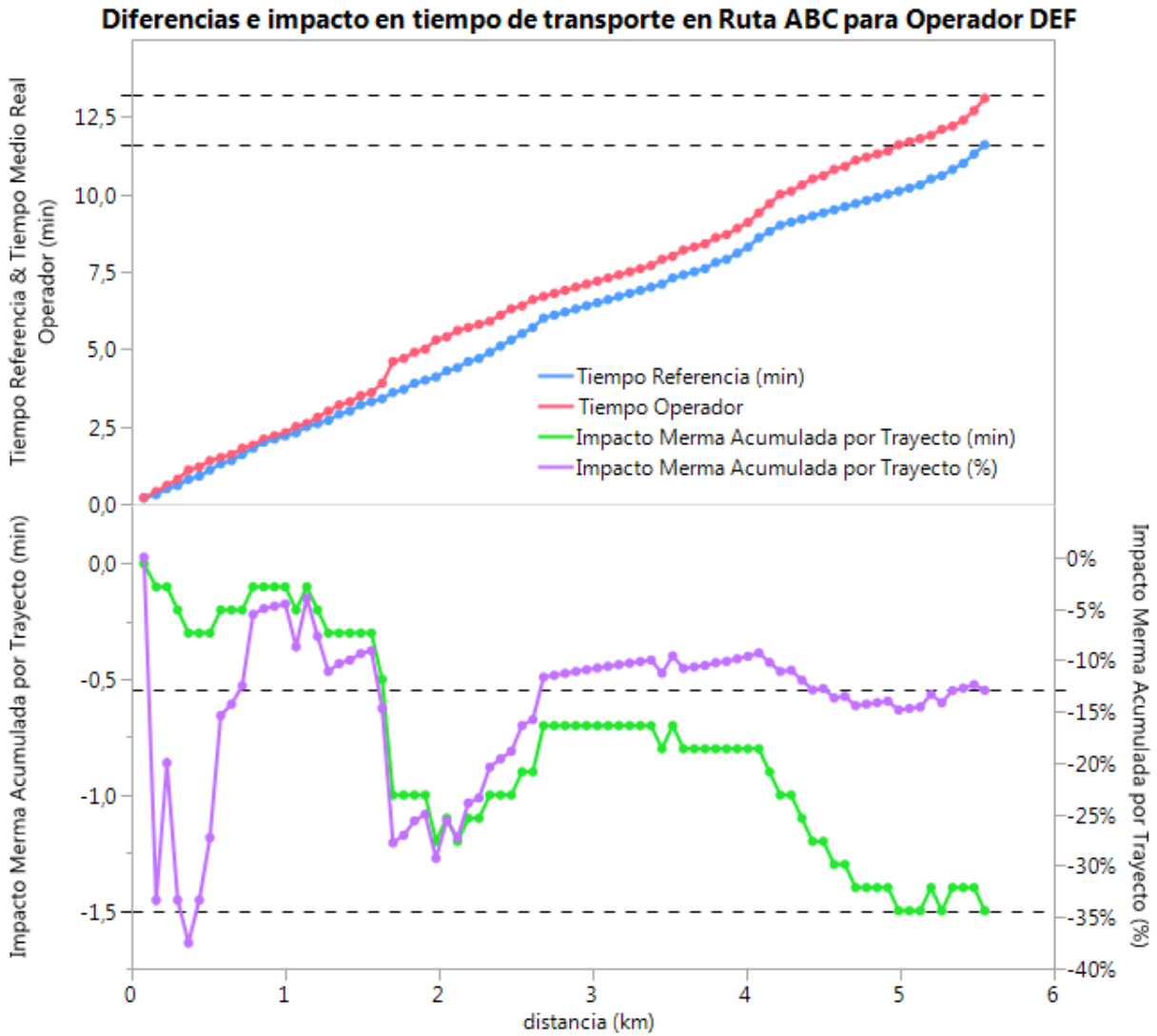


Figura 6.4: Tiempos de transporte en ruta ABC - Comparación entre referencia y promedio de operador.

requiere de un análisis ANOM similar al mostrado en la sección 6.1. En la figura 6.7 se muestra un ejemplo de un despliegue ANOM para las mermas agregadas por operador para un determinado periodo de tiempo.

El análisis de las mermas por operador y por ruta son el inicio de un proceso de aprendizaje, que permite identificar las consecuencias medidas en el rendimiento, sin embargo no suponen aun una causalidad o evidencia.

Este análisis debe ser complementado con herramientas de visualización como la mostrada en la figura 6.8, en la cual se muestra un perfil general de velocidad en las diversas rutas de la mina.

El contar con un reporte de este tipo permite reconocer patrones no regulares de velocidad, que pueden tener su origen en interferencias operacionales, que pueden tener una solución abordable.



Figura 6.5: Análisis de Mermas - Por Ruta y por Operador.

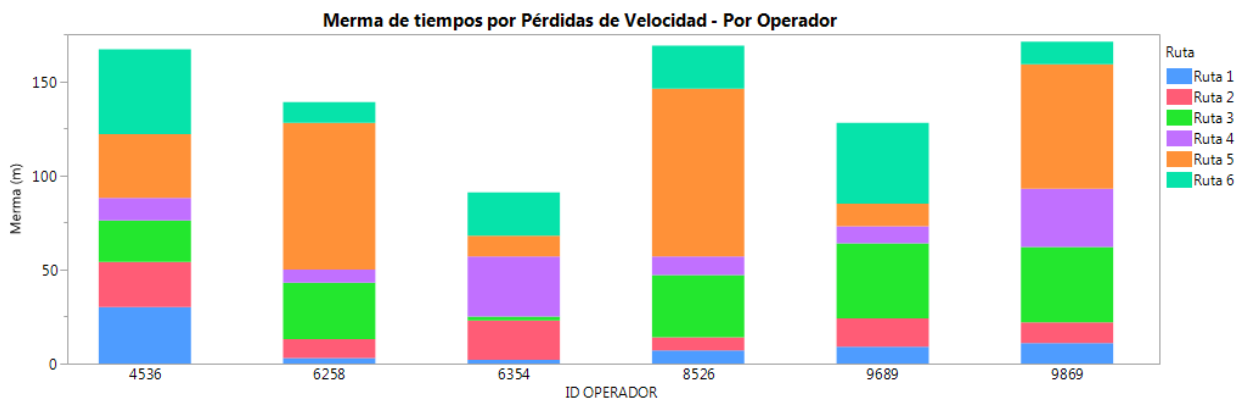
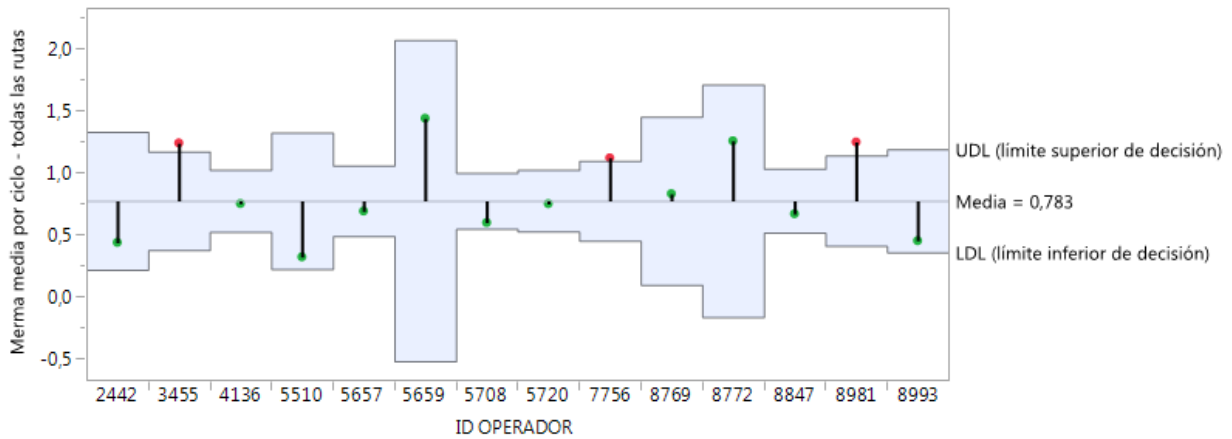


Figura 6.6: Análisis de Mermas – Por Operador y por Ruta.



$\alpha = 0,05$

Figura 6.7: Comparación estadística de medias para las pérdidas de velocidad por operador en todas las rutas para un periodo de tiempo.

El contar con un patrón de velocidad en el rajo en tiempo real, y un patrón de referencia en cada ruta, facilita reconocer el punto exacto donde ocurre la desviación, y evaluar la naturaleza del problema.

El caso mostrado en la figura 6.8, muestra el patrón de velocidad en una sección del rajo para un periodo de 5 días, incluye datos de 4 camiones CAEX y corresponden a 120.000 datos. Cada color marcado en el plano es un rango de velocidades, las marrones son las cercanas a 0 km/h y las más azules son las cercanas a 60 km/h. El acercamiento mostrado en la figura muestra una ruta con un marcado patrón de 15 km/h (color naranja), pero existen numerosas ocurrencias de velocidad 0 km/h (detenciones), las que causaron mermas operacionales, las causas pueden ser diversas, interferencia de cables eléctricos, angostura de berma, eventos geotécnicos (derrames), mala visibilidad, acarreo en camino, u otro.

6.3. Discusión de alternativas de plataformas tecnológicas para la implementación de estos reportes

El procesamiento de datos crudos provenientes de distintas bases de datos, tiene diversas complejidades, las cuales no pueden ser mitigadas sin la ayuda de los proveedores de las plataformas que generan estos datos, tanto el proveedor del sistema de gestión de flota y el proveedor del sistema de signos vitales del camión juegan un papel importante en su implementación.

Ambos proveedores mantienen los datos generados por estos sistemas, en servidores propios, sin un acceso expedito por parte del dueño. Actualmente los datos requieren ser solicitados a través del administrador del contrato de Ministro Hales, el cual recibe los datos en formato Excel para el periodo que ha sido especificado.

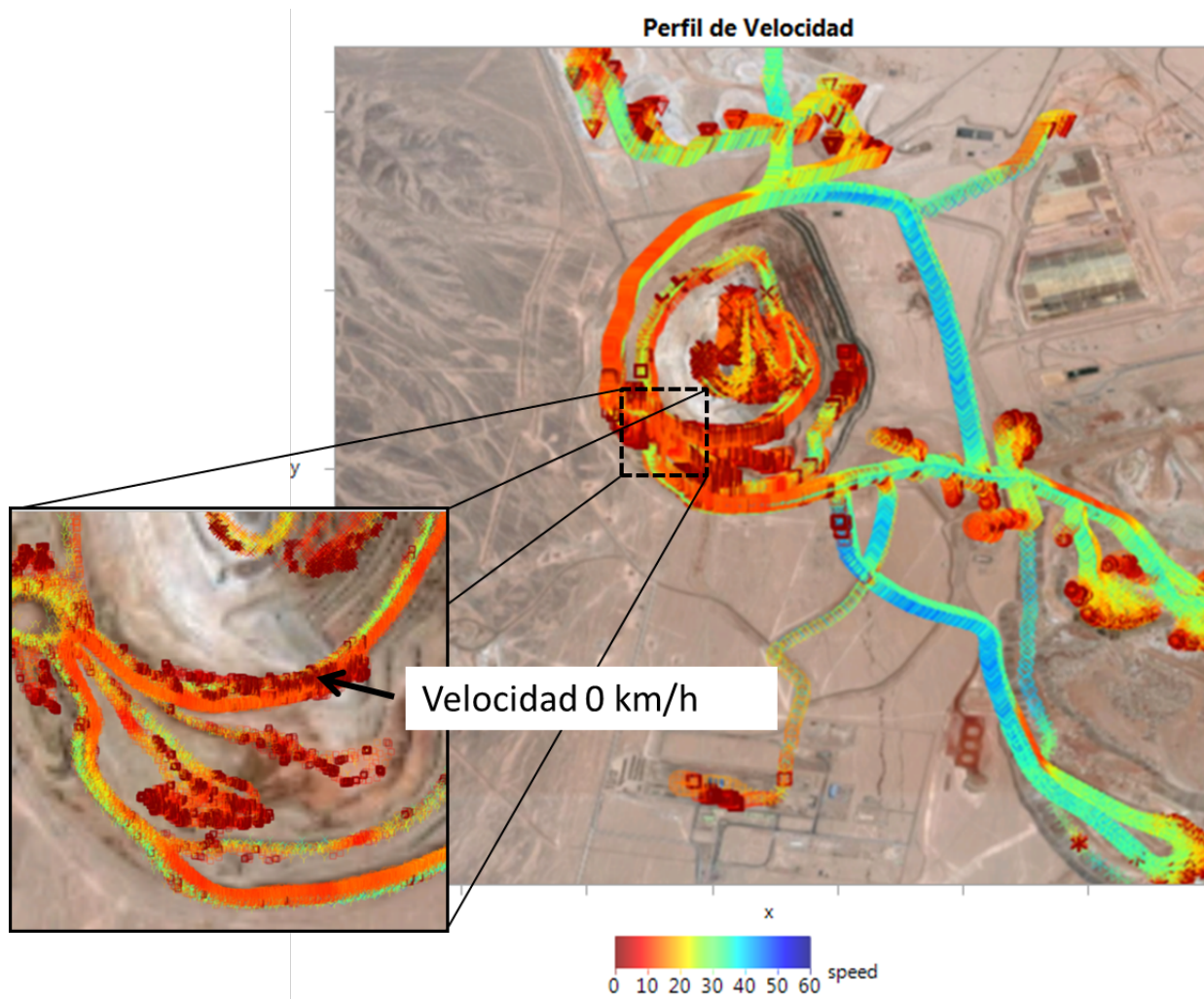


Figura 6.8: Perfil de Velocidad de CAEX en el Rajo.

Para la implementación de estos reportes esto sin duda tiene cambiar, y es así como ya se ha iniciado un proceso impulsado por la gerencia de mina, para contar con copias periódicas y actualizadas de las bases de datos de ambos sistemas de gestión.

La infraestructura que se ha propuesto tiene la siguiente topología.

La topología sugerida tiene una estructura simple y probada en División Chuquicamata, donde es el proveedor que periódicamente coloca una copia de los nuevos datos en un servidor de su dominio, y desde ahí el dueño desarrollo los reportes que requiere para su negocio.

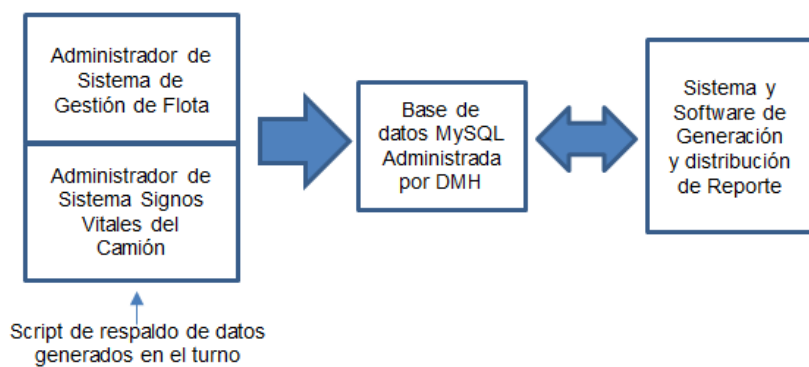


Figura 6.9: Esquema de Topología.

Conclusión

La flota de camiones de DMH debe contar con un sistema de gestión de pérdidas, utilizando como ejemplo la implementación del indicador OEE presentada en [7]. El contar con un sistema de gestión de pérdidas permite visualizar las distintas fuentes de pérdidas a las que está expuesta la flota.

Los datos generados por el sistema de despacho de flota y el sistema de signos vitales de los camiones, son una fuente valiosa de información, la cual por diversas decisiones administrativas no está expedita para el uso del dueño, al menos no al nivel que plantea este trabajo.

Se ha demostrado que es posible a partir de los datos sin procesar, identificar si los procesos de gestión de la flota están en control estadístico, se ha mostrado que el uso de los datos crudos de signos vitales de los camiones y su asociación con el operador, permiten identificar y monitorear las malas prácticas de los operadores, que afectan significativamente la disponibilidad de la flota.

Se han presentado además algunas alternativas de reportes para medir pérdidas por velocidad, que utilizan la información cruda de los GPS y se ha integrado con la información de operadores e información de despacho de carga, para poder identificar oportunidades de mejora.

Los avances en la tecnología de los últimos años y los bajos costos para generar y procesar datos hacen posible hoy, ver la información que antes era impensada. La minería de datos es una herramienta que de a poco ha mostrado su potencial, tanto para mejorar procesos, hacerlos más eficientes y predecibles.

La industria minera, actualmente en riesgo por sus altos costos y bajos precios de los *commodities*, necesita visibilidad de su negocio y adquirir el entendimiento de donde y como se generan las grandes fuentes de pérdidas en su negocio. Para hacer frente a esos desafíos, la organización debe asignar una importancia central al uso, mantenimiento y estudio de los datos.

La minería está en una constante búsqueda de la productividad y por lo mismo el capital humano en las organizaciones está en descenso. Es entonces fundamental que los profesionales que componen los actuales grupos de trabajo, incorporen como competencia el entendimiento de los aspectos básicos de estadística, y que preparen sus estructuras para manejar grandes cantidades de información fluidamente y al servicio de la eficiencia y el mejoramiento continuo.

Bibliografía

- [1] Open Text Analytics Software Description. Visual data mining: Allowing business users to mine and gain insight into the data [en línea]. <<http://birtanalytics.actuate.com/visual-data-mining>>[Consulta: 2015-12-01].
- [2] Douglas Hubbard. Everything is measurable [en línea]. <<http://www.cio.com/article/2438921/it-organization/everything-is-measurable.html>>[Consulta: 2015-12-01].
- [3] Nelson L.S. *Exact Critical Values for Use with the Analysis of Means*. 1983.
- [4] Oded Maimon and Lior Rokach. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Springer, New York, 2010.
- [5] Douglas Montgomery. *Introduction to Statistical Quality Control*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2005.
- [6] Michael Schwartz. The driving need for analytics in a big data world [en línea]. <<http://www.datamashup.info/the-driving-need-for-analytics-in-a-big-data-world/>>[Consulta: 2015-12-01].
- [7] Eelevli Sermin and Eelevli Birol. Performance measurement of mining equipments by utilizing oee. 2010.