



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

DISEÑO DE HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROL DE KPI DE
OPERADORES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – MINA LOS BRONCES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

PATRICIO IGNACIO QUIROGA FERRUZ

PROFESOR GUÍA:
RODRIGO IGNACIO MALDONADO GUTIÉRREZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CAMILO MORALES MOLDENHAUER
HANS GÖPFERT HIELBIG

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN EJECUTIVO

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.

Autores como Ernst & Young, resaltan la importancia de aumentar la productividad comenzando desde la semilla, desde el corazón de la operación en el caso de la minería, es decir, desde los operadores. Ellos son los que finalmente ejecutan los procesos mineros diariamente y muchas veces no saben la repercusión que tiene su actividad. La importancia del empoderamiento del operador es clave para lograr un aumento en la productividad y es importante definir los indicadores claves de desempeño (KPI) del proceso por los cuales los operadores podrán medir y evaluar su rendimiento. En el caso de este trabajo, se centra en operadores de Carguío y Transporte, y los indicadores que serán medidos serán los tiempos de aculatamiento y velocidades para el caso de operadores de transporte, y tiempos de carguío y rendimientos efectivos para el caso de operadores de carguío. En el caso exclusivo de Los Bronces, el análisis de estos KPI se realizará para las flotas de Palas Eléctricas Bucyrus/CAT (de 60 y 73 yd³) en combinación con camiones Komatsu 930E y CAT 795F. La razón es de esto último es porque son los equipos que extraen más del 85% del material de la mina y, por ende, los más importantes que se deben controlar.

Es por todo lo anterior que esta memoria se centró en generar una plataforma computacional capaz de ayudar al trabajo del Departamento de Capacitación de Mina Los Bronces, cuyo objetivo es entrenar, instruir y capacitar a sus operadores, con el fin de lograr una operación de excelencia, eficiente y, por sobre todo, segura. Esta herramienta fue construida con información en base a distintas consultas programadas mediante el lenguaje SQL y que son exportadas mediante la plataforma Powerview a un formato Excel tabulado con campos que serán necesarios para la medición de cada KPI.

Los KPI escogidos fueron sometidos a un análisis estadístico y, en el caso de tiempos de carguío y aculatamiento, mediciones en terreno, con el objetivo de establecer rangos reales para valores de los indicadores, de manera de plasmarlos en las consultas programadas y eliminar outliers para cada KPI. La información utilizada como base para el estudio se encuentra entre el 1 de Enero 2014 hasta el 30 de Septiembre 2015.

Finalmente, se tiene como resultado una herramienta computacional capaz de mostrar gráficamente las mediciones de los indicadores de carguío y transportes. En esta plataforma se puede revisar el performance de un operador y comparar con la media total de los operadores, lo que ayudará a identificar las brechas más notorias y ayudar a Capacitación Mina en la planificación del trabajo. Además, se puede filtrar por tipo de equipo (camión y/o pala), fechas y ver detalladamente el comportamiento del indicador en un período objetivo (día, mes o año). La versatilidad de esta herramienta permitirá sentar bases para futuros desarrollos y aplicaciones a otros procesos mineros.

... para ti, madre, que nos cuidas desde arriba
y nos acompañas día a día...

AGRADECIMIENTOS

Sin duda esta es la parte más difícil de escribir en este trabajo, ¿Cómo agradecer a tantas personas en sólo una plana?... No existen palabras que puedan describir mi satisfacción en este momento. El hecho de estar cerrando una de las etapas más importantes y difíciles en mi vida me llena de alegría y emoción, y todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo de todas las personas que en breve mencionaré y que, de alguna u otra manera, me apoyaron en este (largo) proceso que fue la carrera de Ingeniería Civil de Minas, carrera que escogí porque realmente llenaba mis expectativas y de la que hoy puedo decir que finalmente veo mi futuro en ella, en el cerro...

Este largo proceso fue duro, perdí a mi preciosa madre el año 2007 cuando recién comenzaba la carrera, y no voy a mentir: pensé en dejar todo. Sin embargo ella misma, junto con mi preciosa novia Valentina, mi Padre, hermanos y abuela (la Baba), me incitaron a salir adelante y, finalmente, consiguieron su objetivo, en un futuro próximo seré el profesional y, más que todo, la persona que ellos siempre desearon. La vida te pone muchos escombros en el camino, pero lo importante es detenerse, observar y escoger el camino más indicado y seguro, ese que con humildad te lleve a lograr tus objetivos sin dejar nunca de lado lo más importante: la familia.

Quiero dedicar palabras a las personas que me acompañaron en este proceso y en la vida. Comenzar con mi querida Madre que sé que debes estar orgullosa de lo que hoy en día soy y he logrado. Te amo, mamita... A mi padre, que con mucho esfuerzo y comenzando desde abajo supo sacar a su familia adelante. Sin ti nada de esto hubiera sido posible. Te amo mucho, viejo... A mi hermosa Valita, mi futura esposa, la cual llegó en el momento justo a levantarme cuando no quería seguir adelante, y que con su amor y apoyo logró motivarme para cumplir y redefinir mis metas. Soy la persona más afortunada al tenerte a mi lado, y estoy seguro que mi madre te puso en mi camino... A mis hermanos, Josho y Sofi: siempre nos hemos apoyado y estoy seguro que frente a cualquier adversidad seremos los primeros en estar ahí. A mi Baba, mi abuela, que me crió y entregó muchos de los valores que hoy (creo) poseo. Eres la persona más buena que conozco. A mi familia entera, con mención especial a mi tío Gastón que me ayudó en este proceso y a la “Teno” que siempre ha estado junto a nosotros. A mis futuros suegros y cuñados(as) que fueron un gran apoyo y me acogieron como segunda familia desde que comencé con Vale. Todos son unas grandes personas. A mis amigos, los de siempre, a los “cabros”: Pipe, Diego, Nacho, Carlos, René y Maty, que desde chicos hemos estado unidos y que siempre están ahí para compartir unas “chelas” cuando más se necesita. A los cabros del colegio: Ciega, Chipie, Reja, Chino, Enano, JM y JP. A los compañeros más cercanos de la U: Pestañita, Patrick y al Pancho. Crack Solutions S.A. se viene... A Camilo por su amistad y apoyo en esta etapa.

Finalmente, quiero dar las gracias a la Superintendencia Gestión Mina, liderada por mi jefe y amigo Héctor Montecinos. Al equipo de Gestión y LB: Aldo, “profe” Rodrigo, Franklin, Don Nelson, Cesarinho, Mauri, Miguel, Pepe, Takashi san, Cristóbal, JP y escuela fútbol LB. Muchas gracias por su apoyo, sin ustedes no podría haber sacado la memoria adelante. Al Profesor Hans Göpfert por el apoyo durante el desarrollo de la memoria. Muchas gracias a todos, estaré siempre agradecido de la oportunidad que me dieron y que, creo, he sabido aprovechar.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN DEL TRABAJO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. ALCANCES.....	3
1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. PRODUCTIVIDAD.....	5
2.2. KEY PERFORMANCE INDICATORS.....	7
2.3. CAPACITACIÓN DE OPERADORES MINA.....	9
ANTECEDENTES MINA LOS BRONCES	13
3.1. Antecedentes Generales	13
3.2. Antecedentes Geológicos del yacimiento.....	16
DESARROLLO DEL TRABAJO.....	17
4.1. Selección de KPI Carguío y Transporte	17
4.2. Programación de Bases de Datos Dispatch	19
4.2.1. Base de Datos para Rendimiento Efectivo – Operadores de Carguío	20
4.2.2. Base de Datos para Tiempo de Carguío – Operadores de Carguío	21
4.2.3. Base de Datos para Tiempo de Aculatamiento – Operadores de Transporte	22
4.2.4. Base de Datos para Velocidad – Operadores de Transporte	23
4.3. Análisis de Datos y Definición de Rangos de Estudio.....	24
4.3.1. Mediciones en terreno	24
4.3.1.1. Tiempos de Carguío	24
4.3.1.2. Tiempos de Aculatamiento.....	25
4.3.2. Análisis de Datos.....	26
4.3.2.1. Tiempos de Carguío	26
4.3.2.2. Tiempos de Aculatamiento.....	28
4.3.2.3. Rendimiento Efectivo Carguío.....	30
4.3.2.4. Velocidad	36

4.3.2.4.1. Fase Donoso 1	36
4.3.2.4.2. Fase Casino 2	38
4.3.2.4.3. Fase Infiernillo 5	40
4.3.2.4.4. Total Fases.....	42
4.4. Diseño de Interfaz Computacional	44
4.5. Oportunidades del Trabajo	46
5. Conclusiones	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de definición de KPI.....	8
Figura 2. Ciclo de Formación por Competencias (Fuente: A. Mejía, A. Montoya & N. Vélez. 2010).....	11
Figura 3. Bases del Modelo SIMAPRO. 2009. (Fuente: Guía SIMAPRO).....	12
Figura 4. Vista Aérea: Mina Los Bronces.....	13
Figura 5: Organigrama Gerencia Mina – Los Bronces	14
Figura 6. Organigrama Superintendencia Gestión Mina - Los Bronces	15
Figura 7. Detalle Unidades Geológicas en Los Bronces	16
Figura 8: Modelo de Tiempo AngloAmerican	18
Figura 9: Consulta/Query para datos Rendimiento Efectivo - Operadores Carguío	20
Figura 10: Consulta/Query para datos Tiempo de Carguío - Operadores Carguío	21
Figura 11: Consulta/Query para datos Tiempo de Acuatamiento - Operadores Transporte	22
Figura 12: Consulta/Query para datos de Velocidad - Operadores Transporte.....	23
Figura 13: Interfaz computacional para tiempo de acuatamiento	45
Figura 14: Flowsheet de decisiones para calificación de estados de Equipos - AA Time Model.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle Cantidad Equipos Operativos en Los Bronces: 2010 - 2015	15
Tabla 2. Detalle Modelo de Equipos Principales Mina Los Bronces - 2015	15
Tabla 3: Rango/Intervalo para Rendimiento Efectivo Carguío.....	35
Tabla 4: Descripción Indicadores Modelo Tiempo AngloAmerican	52
Tabla 5: SQL Hist_Operlist: Campos información Operadores.....	53
Tabla 6: Hist_Dumps: Campos relativos a descargas (CAEX).....	54
Tabla 7: Hist_Exproot: Información Fechas/Horas para Programación Query	55
Tabla 8: Hist_loads: Campos relativos a cargas (Palas).....	56
Tabla 9: Medición Tiempos Fijos – 10 de Noviembre 2015.....	57
Tabla 10: Medición Tiempos Fijos – 11 de Noviembre 2015.....	58
Tabla 11: Medición Tiempos Fijos – 16 de Noviembre 2015.....	59
Tabla 12: Medición Tiempos Fijos – 17 de Noviembre 2015.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Productividad en la minería del cobre en Chile. (Fuente: COCHILCO)	5
Gráfico 2. Productividad en la minería a cielo abierto en Chile. (Fuente: COCHILCO)	5
Gráfico 3. Producción Cobre Fino: Real vs. Planes Año 2015 - Los Bronces.....	14
Gráfico 4: Resultado Mediciones en Terreno para Tiempo de Carguío.....	24
Gráfico 5: Resultado Mediciones en Terreno para Tiempo de Aculatamiento	25
Gráfico 6: Estadísticas Básicas - Tiempo de Carguío Palas Eléctricas	26
Gráfico 7: Gráfica de Control - Tiempo de Carguío Palas Eléctricas	27
Gráfico 8: Estadísticas Básicas - Tiempo de Aculatamiento	28
Gráfico 9: Gráfica de Control - Tiempo de Aculatamiento.....	29
Gráfico 10: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Flota Total Carguío	30
Gráfico 11: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas Eléctricas	31
Gráfico 12: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Palas 73 [yd ³].....	32
Gráfico 13: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas 73 [yd ³]	33
Gráfico 14: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Palas 60 [yd ³].....	34
Gráfico 15: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas 60 [yd ³]	35
Gráfico 16: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Donoso 1	36
Gráfico 17: Control Chart para Velocidad Fase Donoso 1	37
Gráfico 18: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Casino 2	38
Gráfico 19: Control Chart para Velocidad Fase Casino 2.....	39
Gráfico 20: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Infiernillo 5	40
Gráfico 21: Control Chart para Velocidad Fase Infiernillo 5.....	41
Gráfico 22: Resumen Estadístico – Velocidades Total Fases	42
Gráfico 23: Control Chart para Velocidades Total Fases.....	43
Gráfico 24: Productividad Operadores Carguío y Transporte.....	48

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

El adverso panorama económico actual, sumado a la tendencia de bajas leyes, ha provocado que la industria minera, en general, comience a explorar nuevos modelos operacionales, que implican una optimización y mayor eficiencia en el manejo de sus activos. En el caso específico de AngloAmerican, propietario mayoritario de Mina Los Bronces, se comenzará durante 2016 con la implementación de un nuevo modelo, conocido por las siglas AOM (Anglo Operating Model), cuyo objetivo principal es implementar una nueva manera de gestión y operación de estos activos, y que trae como consecuencia un aumento de la producción dada la misma cantidad de recursos (personal), es decir, busca una mayor eficiencia operacional, lo que implica directa y necesariamente una mejora sustancial en la productividad de la operación Los Bronces, de cada uno de los componentes que la constituye.

El departamento de Capacitación de Operadores, perteneciente a la Superintendencia de Gestión Mina, busca, ante este escenario, un incremento en el rendimiento de los operadores, lo que impactaría en su productividad individual y, por consecuencia, en la productividad global de la operación. Lo anterior se logra entrenando, re-instruyendo y capacitando a los operadores mina, con el fin de lograr una operación segura, con un rendimiento de excelencia, sin dejar de lado el cuidado de los equipos.

Para lograr un control óptimo de los rendimientos de operadores mina es necesario manejar una base de datos que sea capaz de proveer distintos indicadores (KPI) de manera personalizada, por cada operador, y no datos generales de la operación como es reportado diariamente en los informes de gestión y control de la mina, en donde no se puede destacar cómo ha sido la variabilidad de KPI individuales durante un período de tiempo determinado.

Es por todo lo anteriormente señalado que nace la idea y proyecto de crear e implementar una herramienta computacional para el control de estos KPI, la cual permita la actualización y visualización detallada de estos indicadores en un período determinado, con el objetivo de realizar gestión, planificar, controlar y validar el trabajo realizado por el departamento de Capacitación de Operadores Mina, cuyo objetivo principal es velar por el desarrollo profesional y entrenamiento de los operadores, lo que impactará finalmente en la productividad.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general es diseñar una herramienta computacional de control de KPI de operadores de los principales equipos de Carguío y Transporte que permita dar una directriz al trabajo del Departamento de Capacitación de Mina Los Bronces, y apoyar al mejoramiento de las prácticas operacionales de los operadores y a la planificación de los programas de capacitación y entrenamiento.

1.2.2. Objetivos específicos

Para llevar a cabo el objetivo general, se deberán considerar y llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Identificar, definir y medir los principales índices de rendimiento que serán utilizados para la formulación de la herramienta.
- Programar bases de datos necesarias para la medición de KPI, mediante el lenguaje SQL y el software Dispatch®, que se utiliza en Los Bronces.
- Realizar análisis de bases datos para identificar y eliminar posibles outliers, lo anterior basado en comportamiento real e histórico de los KPI escogidos.
- Diseñar la interfaz computacional de la herramienta.
- Identificar oportunidades para agregar valor a la herramienta y al departamento de Capacitación Mina.
- Identificar las brechas importantes de los KPI estudiados con respecto al valor objetivo buscado (target), lo que servirá para generar una directriz y ayudar en la planificación de los programas de capacitación y entrenamiento de operadores.
- Aumentar la productividad individual de los operadores (y por consecuencia, la productividad global) y la rentabilidad de Los Bronces.

1.3. ALCANCES

El cliente principal de este trabajo de título es el departamento de Capacitación de Operadores Mina, perteneciente a la Superintendencia de Gestión de Mina Los Bronces, AngloAmerican.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como base de datos los parámetros entregados por el software Dispatch®, que son medidos según la configuración en terreno de los equipos y exportados hacia la nube de datos, para posteriormente ser visualizados a través de la plataforma Powerview, lo que se logra mediante una programación en lenguaje SQL. El resultado es una hoja de datos tabulada, separada por comas, con los campos necesarios para el estudio de cada KPI.

El control de KPI se limitó principalmente a operadores de Carguío y Transporte, y específicamente a dos tipos de equipos; estos equipos son la flota de palas eléctricas CAT/Bucyrus 495 (HR y HR2) y flota de camiones de extracción (CAEX) Komatsu 930E y CAT795. Esta limitante se definió debido a que estos equipos concentran el mayor porcentaje (sobre un 85%) del movimiento total de la mina, por lo que un control y gestión sobre estos índices provocaría un impacto más significativo e inmediato en la productividad.

Para el análisis de datos y definición de límites para los distintos KPI, se utilizaron mediciones tomadas desde el 1 de Enero de 2014 hasta el 31 de Septiembre de 2015.

En el caso del indicador “tiempo de aculatamiento”, se estudia sólo la componente del aculatamiento en carga y no así en descarga, puesto que la metodología de cálculo de Dispatch® es mediante una resta de otros dos tiempos fijos (tiempo cola en descarga y tiempo de descarga), por lo que no es una medición confiable.

Se identificaron oportunidades, que quedan como desafío a implementar a futuro por la empresa, y que no serán incluidas en el desarrollo de este trabajo de título:

- Control de KPI para equipos de carguío secundarios (Palas Diésel y Cargadores Frontales).
- Control de KPI para CAEX Komatsu 830E y 960E.
- Control de KPI para equipos de Perforación y Tronadura.

1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología utilizada para la realización de este trabajo fue preparada y analizada directamente en la operación de la Mina Los Bronces, y en conjunto con el departamento de Capacitación Mina y la unidad de Control de Gestión e Ingeniería de Procesos, ambas dependientes de la Superintendencia de Gestión Mina.

Los pasos a seguir propuestos para esta metodología, son los siguientes:

1. Familiarización con información referente a la Operación Los Bronces: Estándares de seguridad, instalaciones y modelo operacional.
2. Estudio sobre la reportabilidad y sistemas de gestión y manejo de información de la Gerencia Mina Los Bronces.
3. Elección de los equipos de mayor impacto en la operación de Carguío y Transporte. Se eligen los equipos que abarcan el mayor porcentaje del movimiento diario de la mina, según datos históricos de la misma.
4. Revisión bibliográfica y consulta sobre la existencia e implementación de herramientas similares en la industria minera.
5. Identificación y selección de KPI más importantes que se incluirán en la herramienta, en conjunto con el departamento de Capacitación Mina.
6. Recopilación y obtención de datos: mediante software Dispatch®, utilizando plataforma Powerview con programación en lenguaje SQL. Bases de datos exportadas en formato Excel.
7. Análisis de datos para cada KPI: se establecen los límites de valores máximos y mínimos basados en estadística de data real histórica y se eliminan datos outliers. Lo anterior se realiza tras un análisis de calidad y confiabilidad de los datos entregados por Dispatch®.
8. Construcción del diseño de la interfaz gráfica a utilizar.
9. Entrega previa de herramienta: presentación a áreas involucradas durante el desarrollo, recopilación de sugerencias para ser implementadas.
10. Entrega final de herramienta: presentación de herramienta a operadores, supervisores y miembros de la Gerencia Mina.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRODUCTIVIDAD

COCHILCO: Productividad en la Industria Minera en Chile. 2014.

La productividad es un tema contingente en la actualidad de la industria minera en Chile y el mundo. Esto debido al alza de costos de producción por el aumento de los precios de insumos, como por ejemplo la electricidad, mano de obra y escasez de agua. Lo anterior sumado a un descenso en las leyes de minerales y a la situación económica global actual, ha provocado la necesidad de atacar y maximizar la productividad minera, cuya tendencia ha ido a la baja durante el período 2000-2013. Los gráficos 1 y 2 muestran la tendencia a la baja de la productividad en los últimos años medida como función del PTF (Productividad Total de los Factores). En el primer gráfico se observa la disminución de la productividad entre el año 2000 al año 2013 en la minería del cobre en Chile, mientras que el segundo gráfico abarca el mismo período de estudio pero enfocado sólo en minería a cielo abierto, de manera de ser comparable con el Caso Los Bronces.

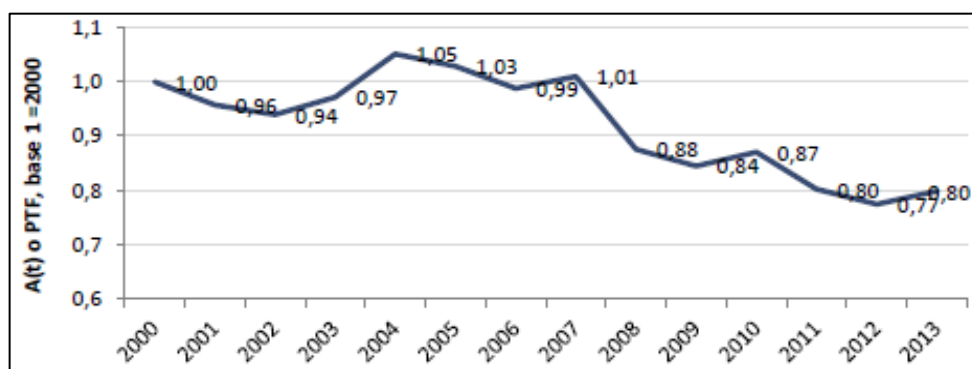


Gráfico 1. Productividad en la minería del cobre en Chile. (Fuente: COCHILCO)

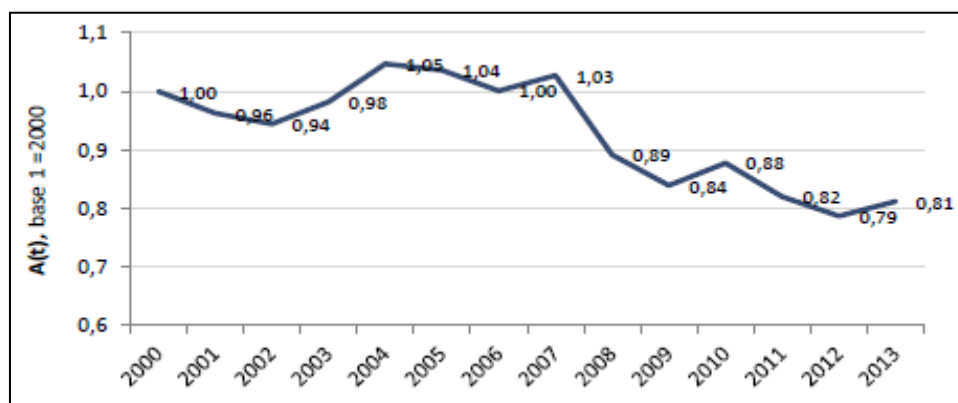


Gráfico 2. Productividad en la minería a cielo abierto en Chile. (Fuente: COCHILCO)

El concepto de productividad corresponde a una relación entre la cantidad de insumos y recursos que se utilizan para la obtención de un producto determinado. Bajo este punto de vista, en la industria minera se podría homologar como los factores productivos claves (capital físico, dotación de personal, consumo energético/agua, ley de mineral y razón estéril mineral) necesarios para la obtención del producto minero final (en Chile, mayoritariamente Cobre). Bajo esta última definición, este trabajo de título busca la medición de rendimiento de operadores mina, lo que está claramente incluido en el rendimiento de los equipos (capital físico), con el objetivo de mejorar los indicadores más importantes mediante el entrenamiento y tener un control periódico para permitir la gestión sobre estos factores, con lo que finalmente impactará positivamente en la producción. Cabe destacar que esto no busca una reducción del personal, sino que un aumento en la productividad del personal, es decir, con el mismo capital humano obtener una mayor producción final.

En este informe, los autores destacan la importancia de la medición de productividad en minería, ya que permite estar informado de la gestión y utilización de insumos productivos, donde la eficiencia en el uso de estos permitirá la sustentabilidad en el largo plazo. Además, se hace un estudio de los factores que afectan la productividad del sector minero, de donde se puede destacar:

- No se puede determinar específicamente qué variables causan una disminución en la productividad, mediante la medición de la Productividad Total de Factores (PTF).
- La calidad del recurso humano y natural posiblemente afectan la productividad, por lo que deberían ser incluidos en futuros análisis.

Ernst & Young: Productividad en la Minería. 2014.

En este informe, patrocinado por el SMI (Sustainable Minerals Institute), se destaca que la mayoría de las iniciativas asociadas al aumento de la productividad se han concentrado principalmente en la reducción de costos, lo que ha generado resultados modestos en el corto plazo. Debido a lo anterior, este estudio realizó una encuesta a los principales stakeholders de la industria minera, llegando a la conclusión de que ésta necesita hacer cambios transformacionales al negocio. Estos cambios deben incluir a todo el sistema del negocio minero, optimizando el funcionamiento de cada una de las partes que lo conforman.

Se define la llamada “brecha de integración”, que consiste básicamente en que el negocio funcione como uno solo, no por partes. Para esto es necesaria la integración de los equipos de trabajo. Este cambio cultural se puede lograr empoderando al capital humano, enfatizando la importancia de cada integrante del equipo y buscando en conjunto nuevas soluciones a problemas existentes.

Por otra parte, es necesario tener un sólido respaldo de datos y tecnología, como es el caso del departamento de Control y Gestión e Ingeniería de Procesos de Mina Los Bronces, y desde donde se obtuvieron los datos e información necesaria para llevar a cabo esta investigación. Es imperante destacar que las empresas sólo pueden comprender en qué consiste el buen rendimiento cuando se cuenta con una potente base y sistema de gestión e información de datos. Estudios demuestran que las empresas que utilizan con eficacia los datos poseen un rendimiento 20% superior que sus competidores.

2.2. KEY PERFORMANCE INDICATORS

D. Velimirovic, M. Velimirovic & R. Stankovic. 2010.

Los autores de este estudio definen los KPI (en español, índices claves de rendimiento) como indicadores tanto financieros como no-financieros que utilizan las organizaciones/empresas para estimar y verificar cuan exitosa está siendo la gestión de la organización, buscando una comparación real basada en objetivos previamente establecidos.

Una selección apropiada de KPI es importante para el control y gestión de la operación. Por ende, es imperante saber cuáles son los KPI que más influyen dentro de las distintas actividades, ya que estos indicadores entregarán una visión sobre cómo se desarrollan los procesos que están inmersos y confluyen dentro de la organización de la operación, permitiendo controlar y verificar si se están cumpliendo los objetivos previamente establecidos, con el propósito de tomar acciones dependiendo del comportamiento en ese instante del indicador en cuestión.

Se enfatiza la necesidad de una descripción detallada y previa del proceso antes de definir los KPI. Esta descripción del sistema y actividades estandarizadas permitirá una adecuada medición de rendimientos. Además, un sistema de medición continuo proveerá una sólida base para el mejoramiento continuo de la organización, uno de los principios más importantes de la gestión (Besic & Djordjevic, 2007).

Un control efectivo de KPI no se podrá llevar a cabo si es que no se provee de la suficiente información de los procesos, productos o servicios. Sin información no se podrán controlar los procesos, por lo que una organización efectiva deberá contar con un sistema de control e información de datos base. Este caso se puede aplicar a Mina Los Bronces, donde se tiene un control en tiempo real de los datos mediante Dispatch®. Esta fuente de datos provee (al departamento de control y gestión) los inputs necesarios para manejar y difundir la información.

El objetivo del reporte de KPI es encontrar la mejor manera de representar la cadena productiva completa del negocio; la función del control de indicadores tiene dos propósitos principales:

1. Desarrollar y guiar; ya que se presenta una base (KPI reportados) para la formulación e implementación de futuras estrategias organizacionales.
2. Motivación; la correcta gestión induce a los equipos, a todos los stakeholders del negocio, a cumplir los objetivos e incluso superarlos (Pesalj, 2006; Stamatovic & Zakic, 2010)

Estos dos últimos puntos son de vital importancia para el desarrollo de este trabajo de título. Dentro de los objetivos planteados se encuentra el de proveer a los distintos clientes de un reporte de información detallado que permita el correcto control de los KPI en cuestión, esto con el fin de que realizar gestión sobre indicadores y dar una directriz para la toma de decisiones con datos reales y confiables. Se debe realizar seguimiento a los indicadores de cada operador periódicamente y mostrar avances de manera personalizada. Este último punto es imperante y ayudará a que el operador finalmente sepa cuáles actividades son de alta importancia para el negocio y, por lo tanto, podrá empoderarse de los indicadores asociados a dichas actividades. El impacto de los operadores de equipos de carguío y transporte en la minería es claro.

J. Warren. 2011.

El autor define un KPI como una medida que es capaz de evaluar cómo una compañía se encuentra ejecutando su visión estratégica. Se destaca la importancia de que cada persona/trabajador inmerso en la compañía debe estar en línea con ésta y, por lo tanto, comprender qué es lo que representa esta estrategia y cómo se va comportando en el tiempo. Esto último es importante y va en línea con lo que busca objetivamente esta memoria, que es informar -principalmente a los operadores- sobre cómo se están comportando los KPI, qué variaciones han tenido y cómo se puede realizar gestión sobre ellos para poder mejorarlos.

Se definen las principales características de los KPI, bajo su punto de vista:

1. Deben estar en línea con los objetivos y estrategia de la compañía; este punto es muy importante, ya que si el KPI no es objetivo y no existe un nexo claro con el negocio de la compañía, entonces deja de ser KPI.
2. Fácil de entender; este punto suele ser olvidado y es de vital importancia para la medición y entendimiento de la productividad de la compañía.
3. Permitir una acción; un indicador que no puede ser influenciado, aunque sea indirectamente, no es un buen indicador. Es importante que los equipos de trabajo estén conscientes de la evolución de los KPI, a través del monitoreo y las acciones realizadas para influenciarlos.
4. Contextualizados; deberá ser fácil adaptar un KPI a la creación de nuevos objetivos y/o límites, esto es parte del mejoramiento continuo de la industria. Un buen KPI debe ser capaz de ir variando con respecto a los diferentes escenarios que enfrenta la compañía.

La siguiente figura muestra los pasos señalados en este estudio sobre cómo definir un KPI que sea capaz de representar los intereses de la organización (empresa). En este caso se hace un ejemplo basado en la minería, tomando distintas métricas que confluirán en la definición de un KPI. El resultado es un KPI robusto capaz de representar a la operación de Carguío y Transporte.

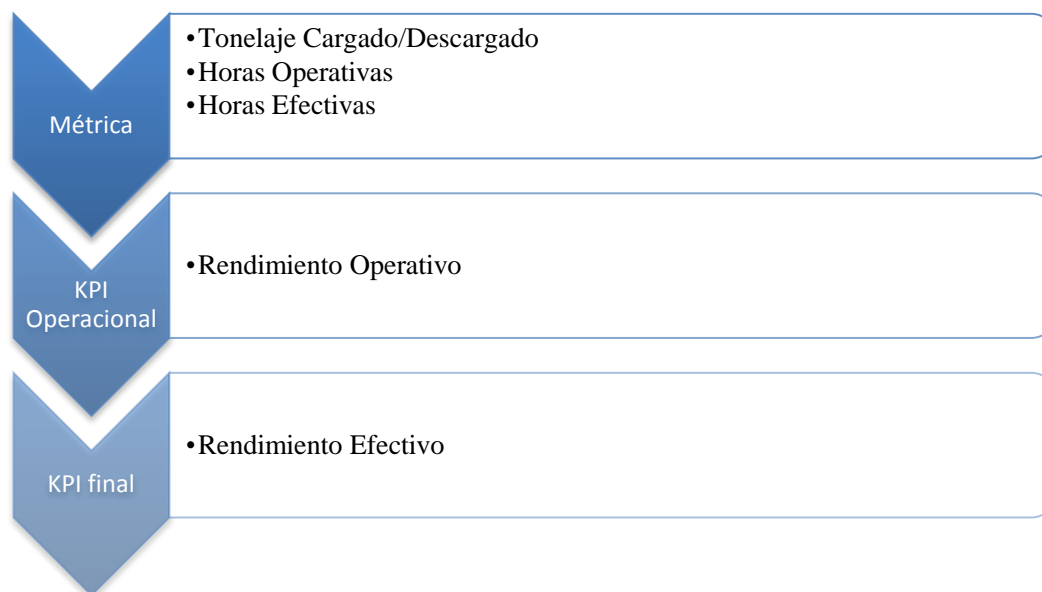


Figura 1. Ejemplo de definición de KPI

Se destaca también la importancia de que los cargos más altos de la empresa deben participar activamente en el monitoreo y creación de KPI. Es por esto que durante el desarrollo de este trabajo de título se le presentó y consultó a altos cargos (superintendentes, principalmente) sobre cuáles KPI describirían de mejor manera el rendimiento de operadores. Al tener definido de manera previa los KPI, el objetivo fue corroborar con los mismos operadores sobre cómo les gustaría que fuera medido su rendimiento. Como se destaca en este artículo, todos y cada uno de los integrantes del negocio deberían estar empoderados de estos indicadores.

2.3. CAPACITACIÓN DE OPERADORES MINA

Definición de Capacitación

Según Alfonso Silíceo, en su libro “Capacitación y Desarrollo del Personal” (2004), la capacitación se define como una actividad planeada y basada en necesidades reales de una empresa u organización, y orientada hacia un cambio en los conocimientos, habilidades y actitudes del colaborador.

Objetivo de la Capacitación

El objetivo de la Capacitación se puede entender de la siguiente manera: para que el objetivo general de una empresa se logre plenamente, es necesaria la función de capacitación que colabora aportando a la empresa un personal debidamente entrenado, capacitado y desarrollado para que desempeñe bien sus funciones, habiendo previamente descubierto las necesidades de la empresa u organización. La capacitación es la función educativa de una empresa u organización por la cual se satisfacen necesidades presentes y se prevén necesidades futuras respecto de la preparación y habilidad de los colaboradores.

Capacitación en Minería

En la industria minera, la importancia de los operadores es obvia, ellos son los encargados de llevar a la realidad lo establecido por ingeniería y planificación. El éxito del negocio minero depende de la calidad de sus operadores. Un operador con excelencia es capaz de mover mayor cantidad de material, operando de manera segura y en un menor tiempo, además cuidando la maquinaria del desgaste innecesario. Es por lo anterior que la capacitación de operadores en minería es de vital importancia, puesto que con un control y entrenamiento periódico sobre la calidad de sus operadores se puede mejorar la productividad general del negocio minero.

Capacitación en Mina Los Bronces

AngloAmerican considera a sus trabajadores como el recurso más valioso, por lo cual les proporciona oportunidades para mejorar sus competencias, invirtiendo en ellos y convirtiéndolos en trabajadores más proactivos, productivos y seguros.

La capacitación es el proceso de entrenar a una persona para realizar una tarea de excelencia, con el objetivo de promover, fomentar aptitudes y facilitar el desarrollo de habilidades y conocimientos, tanto en lo personal como en el trabajo en equipo. Todo lo anterior con el fin de permitir mejores oportunidades y mejoras en las condiciones de calidad de vida y en el ámbito profesional, además de lograr una operación segura y lograr el objetivo del “Cero Daño”.

La necesidad de la capacitación en Mina Los Bronces nace de diversos factores:

- Mejorar la productividad global de la mina
- Trabajadores/Operadores transferidos o promovidos
- Implementación y/o modificación de métodos y procesos de trabajo
- Actualización continua de tecnologías en equipos e instalaciones
- Condiciones de operación variables por planes de expansión e invierno

De los beneficios que ha traído la capacitación en Los Bronces se puede destacar que ha disminuido los índices de accidentabilidad, mejorado la relación supervisor-trabajador, incrementado la productividad y calidad del trabajo, entre otros. Además, lo anterior confluente en que la empresa ha conseguido una mejor imagen dentro de sus pares, factor fundamental en el negocio minero ya que le otorga una alta confiabilidad a la empresa. Por otra parte, en el ámbito personal de los operadores, se otorga profesionalización a su actividad, mejorando su empleabilidad en el futuro; elimina los temores de incompetencia y sube el nivel de satisfacción con su puesto de trabajo.

La metodología utilizada en Los Bronces dependerá del programa de capacitación al cual se esté ligado, y del nivel de experticia de los operadores. Generalmente, un programa de entrenamiento tiene las siguientes etapas:

- Instrucción de Operación de Equipos en cabina simuladora
- Programa de trabajo práctico
- Charlas técnicas de Operación/Mantenimiento
- Pruebas de conocimiento
- Rotación de equipos
- Selección de operador ideal: ámbito de seguridad, técnica, eficiencia, entre otros.

A. Mejía, A. Montoya & N. Vélez. 2010.

Los autores de este artículo resaltan que el capital intelectual de una empresa es un concepto esencial a tratar; el conocimiento y la gestión intelectual son la base de la generación de ideas, soluciones y desarrollo tanto a nivel personal, de equipo y organizacional. El conocimiento es un arma que siempre evolucionará, por lo que es importante trabajarlo en toda empresa.

El capital intelectual de las organizaciones se define como la sumatoria de todos los conocimientos que posee cada uno de los individuos que forman parte de la empresa y le dan a ésta una ventaja competitiva con respecto a sus pares (Ibarra, A. 2001).

La siguiente figura muestra el Ciclo de Formación por Competencias enfocadas en el trabajador (operador). Básicamente, es un ciclo que comprende tres grandes sub-etapas: la etapa de entrega de conocimientos/facultades necesarias para la realización del trabajo (primeras dos cajas de la figura), el entrenamiento continuo para ir perfeccionando lo estudiado anteriormente mencionado (tercera y cuarta caja) y, finalmente, la certificación de las competencias adquiridas por el trabajador (quinta y última caja), que permitirá tener la seguridad de tener un trabajador seguro, confiable y competente para realizar las labores encomendadas.

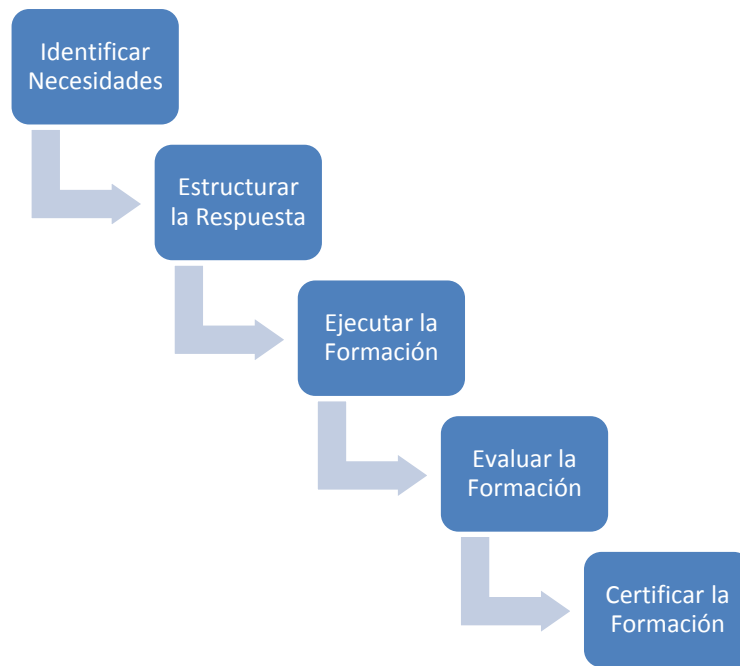


Figura 2. Ciclo de Formación por Competencias (Fuente: A. Mejía, A. Montoya & N. Vélez. 2010)

L. Mertens. 2002.

El autor diseñó los llamados Módulos de Formación por Competencias. Estos son tres: el Formativo, la Guía de Auto-Formación y Evaluación, y el SIMAPRO (Sistema de Medición y Avance de la Productividad). El contenido de estos módulos deriva de la práctica laboral o social alineada con los objetivos de aprendizaje de la organización. Se describen los tres módulos:

- I. **Módulo Formativo:** es una herramienta básica en el diseño y aplicación de la Capacitación por Competencias, cuyo objetivo principal es facilitar un aprendizaje que tenga como fin adquirir una o más competencias enfocadas en la función que el individuo desempeñará, de manera de obtener las bases técnicas y conductuales para ejercer exitosamente sus funciones laborales. Este módulo entregará una acreditación dentro de un plan curricular, lo que lo convierte en un instrumento clave para una formación formal por competencias.
- II. **Guía de Auto-Formación y Evaluación:** es otra herramienta básica en el diseño y aplicación de la Capacitación por Competencias, cuyo objetivo es facilitar un aprendizaje que conduzca a adquirir una o varias competencias identificadas previamente o que el trabajador desee adquirir. Este proceso debe estar en constante (auto) evaluación.
- III. **Sistema de Medición y Avance de la Productividad (SIMAPRO):** es una herramienta de aprendizaje permanente, integral e incluyente en las organizaciones, cuyo enfoque es hacia el logro de los objetivos generales (de la organización completa) y específicos (de las distintas áreas que conforman la organización), donde todos los participantes están en línea con los objetivos. El objetivo principal es mejorar la eficiencia, calidad y condiciones de trabajo a través del compromiso y aprendizaje de todo el personal, desde operadores hasta gerentes. Esta herramienta

monitorea y retroalimenta a la administración sobre el acontecer en las distintas áreas de la organización, identificando los problemas/oportunidades y planteando soluciones tanto específicas como globales. Busca cambiar la cultura del trabajo, creando un ambiente de colaboración y confianza entre todas las partes involucradas. La base del SIMAPRO es la medición sistemática de los indicadores (KPI) que son capaces de representar los objetivos de la organización. Estos indicadores se normalizan bajo un estándar único, que es la efectividad o eficiencia. Además, establecen una base para el mejoramiento continuo en el ámbito operacional específico y global. Es de vital importancia hacer un seguimiento a esta metodología, principalmente mediante los indicadores escogidos, realizando una retroalimentación continua a los involucrados y generando una base para incentivos por productividad, para el reconocimiento del rendimiento personal.

En cierto modo, el objetivo de este trabajo de título se puede representar en gran parte por la metodología de estos módulos, explicada en los tres puntos anteriores. El módulo formativo y la guía de auto-formación y evaluación pueden ser comparados con la función que realiza el departamento de Capacitación de Operadores Mina en Los Bronces, que busca entregar las herramientas necesarias para el desarrollo profesional de los operadores, capacitándolos continuamente a través de un plan de trabajo con controles periódicos, con el objetivo final de lograr una operación segura y de excelencia. Sin embargo, no existe una medición personalizada, es decir, con datos específicos de los rendimientos de cada operador.

En la siguiente figura se muestra un diagrama base del modelo SIMAPRO, que fue explicada en los párrafos anteriores, y destacando que el producto final está enfocado en un aumento en el desempeño de los trabajadores, que se traducirá en una mayor productividad a nivel empresa.

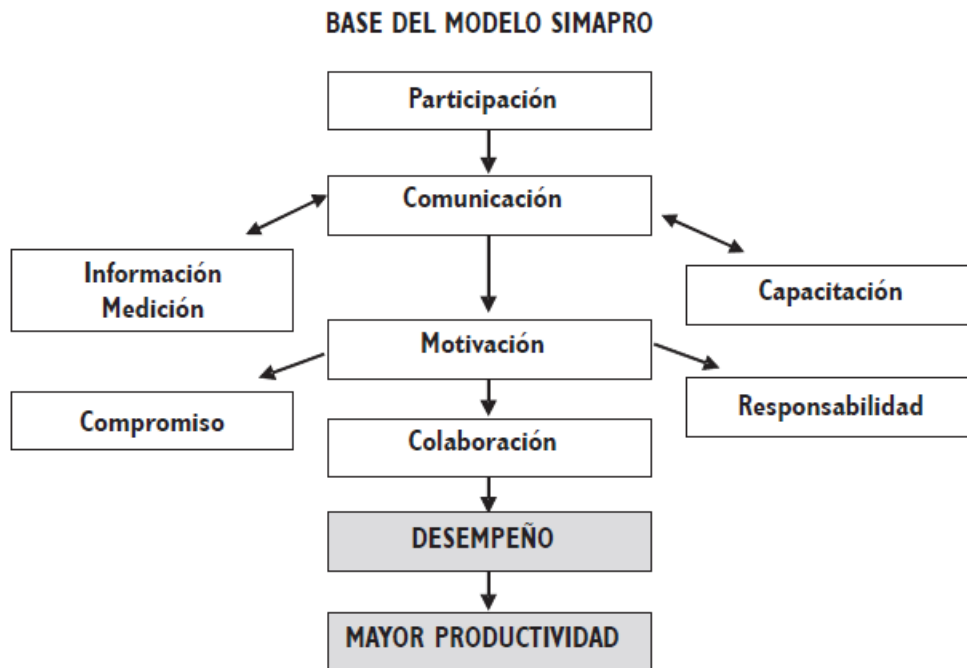


Figura 3. Bases del Modelo SIMAPRO. 2009. (Fuente: Guía SIMAPRO)

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES MINA LOS BRONCES

3.1. Antecedentes Generales

Mina Los Bronces se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 kilómetros al sureste de Santiago de Chile. La altura de la operación varía entre los 3.500 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 33° 01' latitud Sur y 70° 18' longitud Oeste.



Figura 4. Vista Aérea: Mina Los Bronces

Los Bronces es una mina de Cobre y Molibdeno que se explota a rajo abierto. El mineral extraído pasa por distintos procesos de conminución y es transportado por un mineroducto de 56[kms] hacia la planta de flotación Las Tórtolas, ubicada en la comuna de Colina, Santiago de Chile. En esta planta se obtienen los concentrados de Cobre y Molibdeno, y además se obtiene Cobre en cátodos en la planta de cátodos, ubicada en Los Bronces. Además, en la mina se encuentra la planta de Chancado, que cuenta con dos chancadores primarios (Prim 1 y Prim 2), los cuales alcanzan una alimentación promedio de 160 [ktpd] durante 2015, con una ley promedio de 1.01% Cu.

A septiembre de 2015, la mina tiene tres fases activas en extracción: Donoso 1, Casino 2 e Infiernillo (o Fase 5). Además, se encuentra en vías de desarrollo la fase Donoso 2, que debería entrar en producción durante el primer trimestre del año 2016. El ritmo de Extracción Mina promedio hasta el cierre de Septiembre del año 2015 es de –aproximadamente– 445 [ktpd], alcanzando una extracción total de 108[Mt] y movimiento mina de 119[Mt], a la misma fecha.

Además, el mineral enviado a proceso llega a 33[Mt], logrando una producción de Cobre Fino que alcanzó las 291[kt], a la misma fecha. En el siguiente gráfico se muestra la producción de Cobre Fino detallada, mes a mes, durante el año 2015. Las barras muestran la producción real de cobre fino mientras que las líneas muestran la producción estimada por los planes (rojo: Plan Budget; Azul: plan Outlook 8+4).

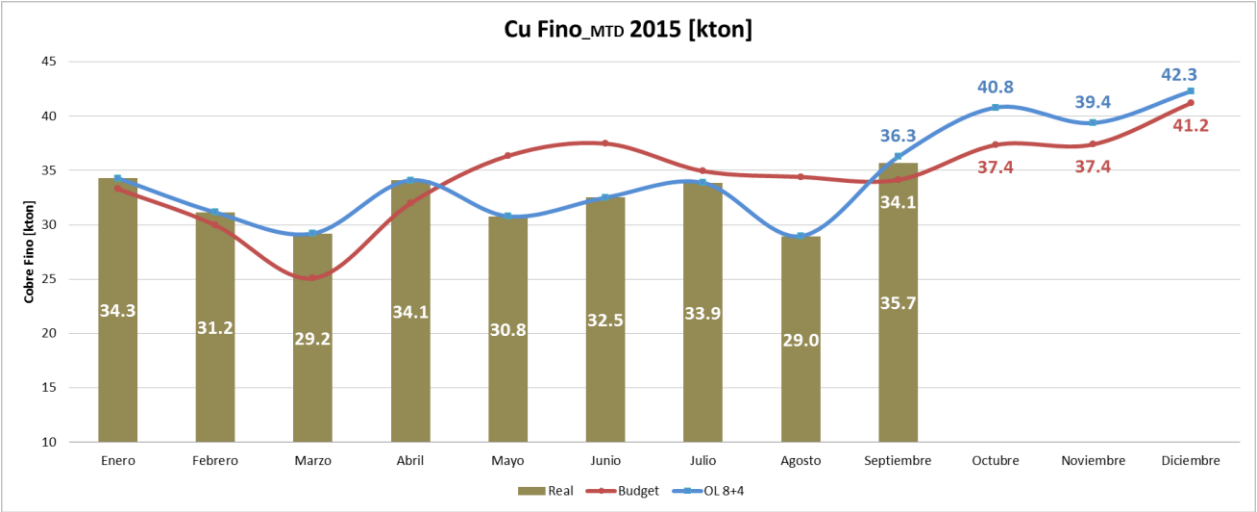


Gráfico 3. Producción Cobre Fino: Real vs. Planes Año 2015 - Los Bronces

En el año 2014, se produjeron 404 [kt] de cobre fino, entre cátodos de alta pureza y cobre contenido en concentrado, además de 3,811 toneladas de molibdeno contenido en concentrado.

Los organigramas de la Gerencia Mina y, específicamente de la Superintendencia Gestión Mina (unidad donde se realizó este trabajo de título), se muestran en los siguientes dos diagramas:

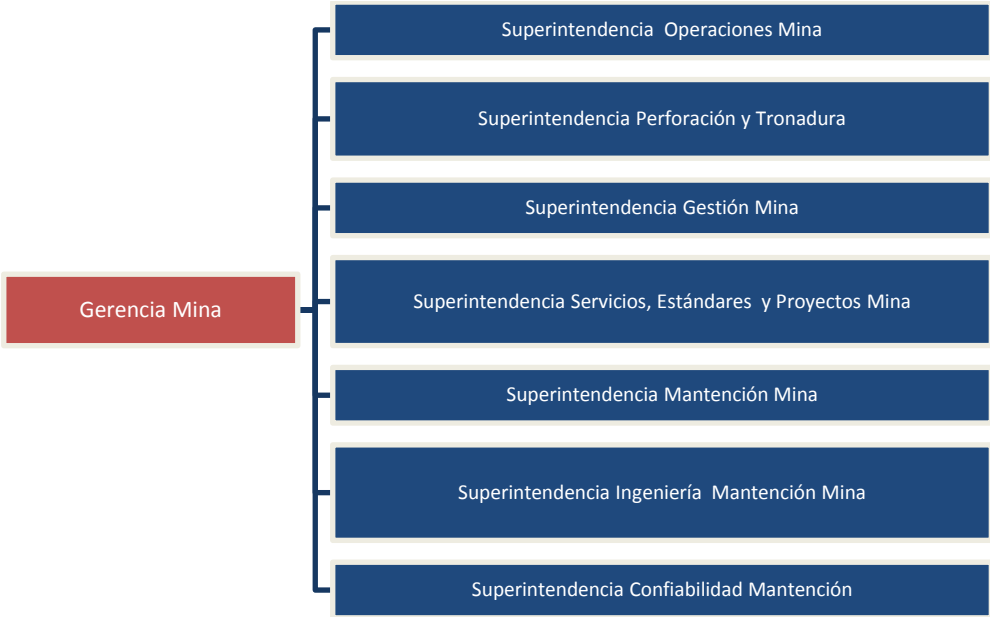


Figura 5: Organigrama Gerencia Mina – Los Bronces

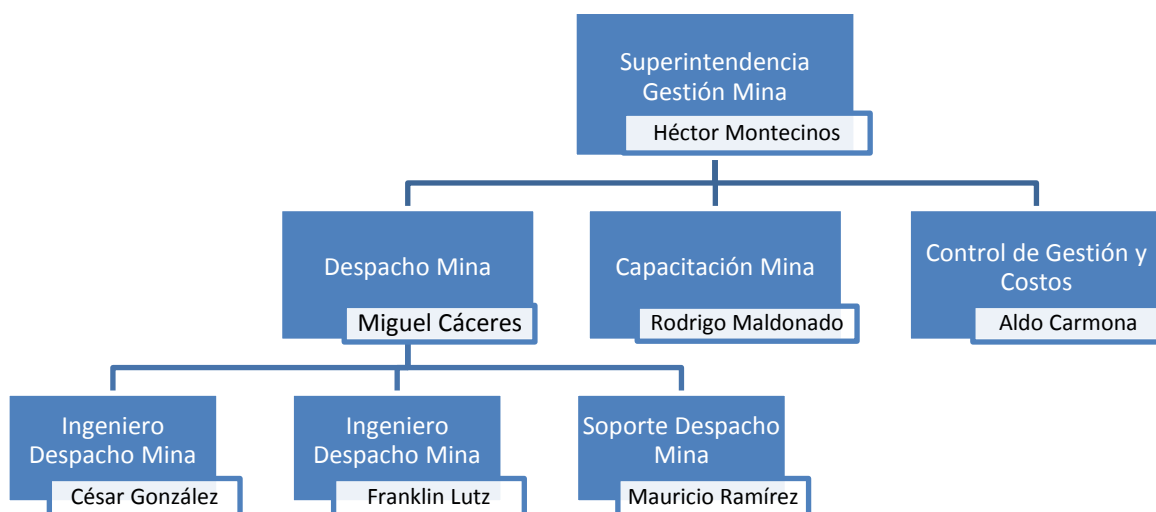


Figura 6. Organigrama Superintendencia Gestión Mina - Los Bronces

Los Bronces posee una flota de equipos propios que ha ido en aumento en los últimos años, debido a la expansión de sus áreas operativas desde la construcción de la nueva planta (Confluencia y LT2). Estos equipos corresponden tanto a los de las operaciones unitarias de mayor importancia en la operación, como a equipos de apoyo.

N° Equipos Operativos	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Palas Eléctricas	5	6	7	7	7	7
Palas Hidráulicas	1	1	1	2	3	3
CAEX	41	47	53	64	72	72
Perforadoras	7	7	9	10	10	10
Servicios	28	31	32	31	41	37
Total	82	92	102	114	133	129

Tabla 1. Detalle Cantidad Equipos Operativos en Los Bronces: 2010 - 2015

Equipo		Cantidad	Capacidad	Marca	Modelo
Perforadoras		5	10 5/8"	Bucyrus Erie	49 R & 59 HR
		5	10 5/8"	Atlas Copco	PV 351 & PV 251
Palas	Eléctricas	1	57 yd3	Bucyrus Erie	495BI
		2	60 yd3	Bucyrus Erie	495BII
		5	73 yd3	Bucyrus Erie/CAT	495-HR & 495-HR2
	Diésel	3	37 yd3	Komatsu	PC 5500
Cargadores Frontales		2	31 yd3	Marathon LT	L-1850
Camiones		8	220t	Komatsu	830E
		51	293t	Komatsu	930E
		2	323t	Komatsu	960E
		11	323t	Caterpillar	795F

Tabla 2. Detalle Modelo de Equipos Principales Mina Los Bronces - 2015

3.2. Antecedentes Geológicos del yacimiento

El yacimiento consiste de un sistema de tipo Pórfido Cuprífero que cubre un área aproximada de 12 [km²], en el que posteriormente se emplazan varias brechas hidrotermales, dispuestas en un cuerpo tubular de dirección general N-S.

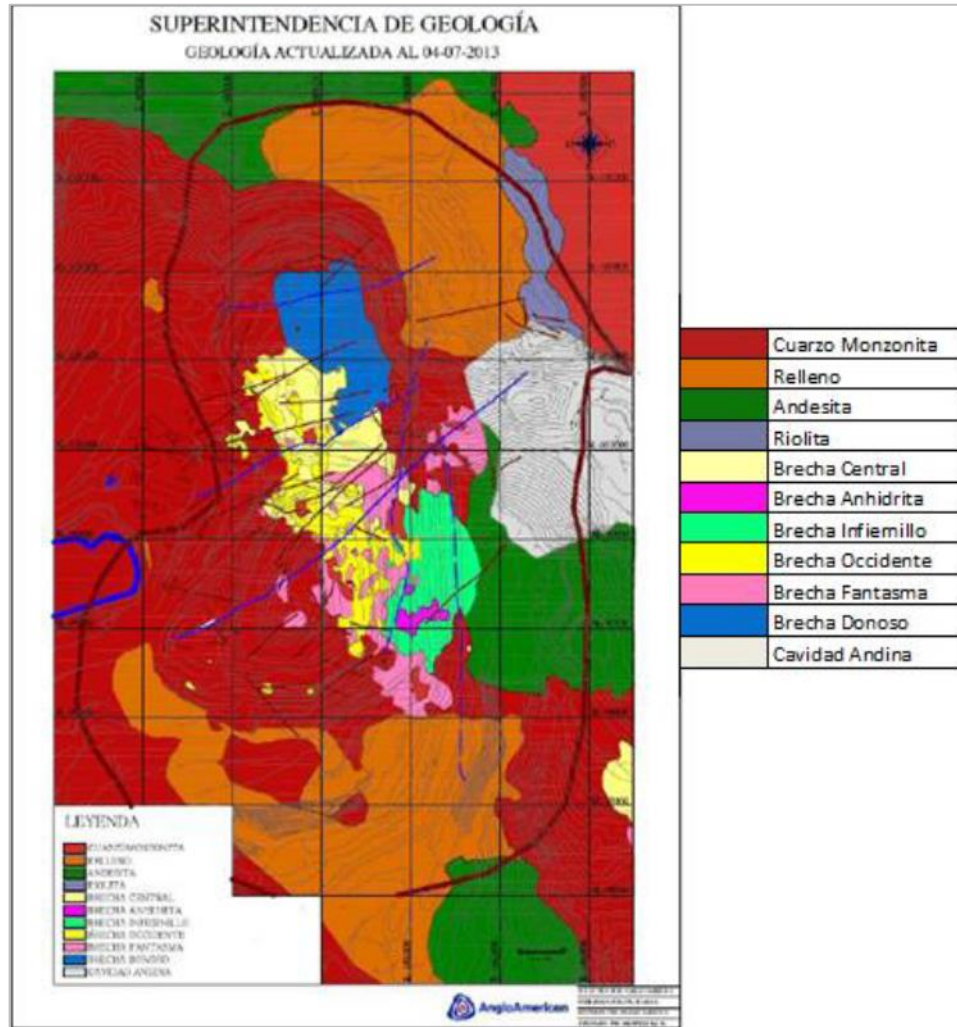


Figura 7. Detalle Unidades Geológicas en Los Bronces

El Pórfido Cuprífero presenta la zonación típica tanto en la alteración como mineralización, con su centro ubicado en el área de la mina Río Blanco, distante 1 Km hacia el E-N.

En el sector de Los Bronces, la mineralización es diseminada, en tanto que en el sector Este se presenta en vetillas. La diseminación disminuye rápidamente hacia el Oeste y la alteración principal en el área del yacimiento es de tipo Cuarzo-Sericítica.

Cada brecha presenta sus propias características en cuanto a volumen, forma, matriz, clastos y tipo de mineralización, siendo la composición y características de la matriz, los factores principales para la clasificación de las brechas.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1. Selección de KPI Carguío y Transporte

Para este trabajo, la correcta selección de los índices más preponderantes en la operación fue de vital importancia, ya que permitió establecer dónde se encuentran los focos para poder realizar gestión y seguimiento en el tiempo. Para lo anterior, se estudió el ciclo de carguío y transporte -todos los tiempos que lo constituyen- y, además, todos los KPI que se desprenden para el control de esta operación unitaria.

La medición del ciclo de carguío y transporte de los CAEX extracción se constituye de los siguientes tiempos:

$$T_{Ciclo} = T_{Cola\ en\ Carga} + T_{Aculatamiento\ 1} + T_{Carguío} + T_{Viaje\ Lleno} + T_{Cola\ en\ Descarga} + T_{Aculatamiento\ 2} + T_{Descarga} + T_{Viaje\ Vacío}$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo teórico de Carguío y Transporte

De la anterior ecuación, se pudieron identificar tres tiempos sobre los cuáles los operadores tienen influencia y podría realizarse control y gestión, además de establecer parámetros para la medición y seguimiento de éstos, con el objetivo de otorgar valor al departamento de capacitación de operadores. Estos tiempos son:

1. Tiempo de Carguío
2. Tiempo de Descarga
3. Tiempos de Aculatamiento
4. Tiempos de Viaje (lleno y vacío)

Además, todos estos tiempos son registrados por Dispatch, por lo que se tienen datos reales de estos sub-tiempos de ciclo, lo que es importante para realizar seguimientos periódicos. Es importante recalcar que los tiempos de viaje son una resultante de la velocidad y la distancia, por lo que, como se verá más adelante, no se tomará este indicador directamente para el control de KPI.

Por otra parte, existen diversos KPI de equipos de carguío y transporte que se miden e informan diariamente en la operación, y que sirven como directriz para revisar la efectividad y productividad ésta. Principalmente, estos indicadores son:

1. Disponibilidad
2. Uso de Disponibilidad
3. Rendimiento Operativo
4. Rendimiento Efectivo
5. Velocidad
6. Distancia Media

Los cuatro primeros indicadores se utilizan para la medición del desempeño de equipos de carguío (palas eléctricas, palas diésel y cargadores frontales), mientras que a los equipos de transporte se les suman los otros dos indicadores.

Posteriormente, fue imperante definir sobre cuáles de estos indicadores los operadores pueden realizar grandes cambios y mejorar su rendimiento personal. Claramente sobre la disponibilidad, los operadores no tienen cómo influir, ya que depende de un componente mecánico y/o mantenimiento. Sobre la distancia media tampoco se puede hacer gestión, ya que depende de la planificación minera. Sin embargo, sobre los otros tres KPI sí se puede trabajar, ya que tienen un componente humano inmerso directamente. Este último es el caso de los rendimientos y la velocidad.

Luego, se propuso definir la manera óptima de medir los rendimientos y velocidades. Para el caso de los rendimientos, el estudio se basó principalmente en lo que el modelo de tiempo de AngloAmerican establece. Para lo anterior, primero se estableció una comparativa entre lo que cada rendimiento significa matemáticamente, lo que se puede observar en las dos siguientes ecuaciones:

$$Rendimiento_{Operativo} [tph] = \frac{Tonelaje^1}{Horas Operativas del Equipo}$$

Ecuación 2: Cálculo para el Rendimiento Operativo del Equipo

$$Rendimiento_{Efectivo} [tph] = \frac{Tonelaje^1}{Horas Efectivas del Equipo}$$

Ecuación 3: Cálculo para el Rendimiento Efectivo del Equipo

Con lo anterior, se estudió el modelo de tiempo de AngloAmerican para establecer cuál KPI es el más indicado para el control de los operadores. El modelo se puede observar en la siguiente figura:

Tiempo total calendario (T000)								
Tiempo controlable (T100)							Tiempo no controlable (N000)	
Tiempo físicamente disponible (T200)				Tiempo no disponible (D000)			Eventos no controlables (N200)	No programado para producir (N100)
Tiempo operativo (T300)		Tiempo perdido (L000)			Detenciones operacionales (D300)	Mantenimiento programada (D200)		
Operación efectiva / primaria (P200)	Operación no productiva / secundaria (P100)	Demoras (L300)	Reserva (L200)	Consecuencia (L100)				

Figura 8: Modelo de Tiempo AngloAmerican

¹ El tonelaje puede ser transportado (en el caso de Camiones) o cargado (en el caso de equipos de Carguío)

Del cuadro anterior, se puede desprender que la categoría T300 “Tiempo Operativo” se subdivide en dos categorías: Tiempo de Operación Efectiva/Primaria (P200) y Tiempo Operativo No Productivo/Operación Secundaria. En la sección anexos, se puede observar en la tabla 4 que el rendimiento operativo se define como las unidades de producción (en este caso, toneladas) sobre el tiempo operativo. De igual manera, el tiempo efectivo se define como las unidades de producción sobre el tiempo de operación efectiva (primaria). Es decir, matemáticamente se tiene:

$$Tiempo_{Operativo} = Tiempo_{Efectivo} + Tiempo_{No\ Productivo}$$

Ecuación 4: Cálculo Tiempo Operativo según Time Model AngloAmerican

Luego, el tiempo operativo difiere del efectivo en lo que es la operación no productiva (o secundaria). El tiempo operativo no productivo está definido como el tiempo en que el equipo se encuentra realizando una actividad necesaria para la operación, pero que no es productiva, es decir, en el caso de camiones y equipos de carguío, moviendo material en la operación minera (actividad primaria o efectiva). Se pueden mencionar diversas actividades de esta índole, donde las que concentran los mayores tiempos (según Dispatch) son:

- Saneamiento de Paredes (Equipos de Carguío)
- Rectificaciones del Piso (Equipos de Carguío)
- Relleno de Combustible (Camiones)
- Detenciones en Pistas o Pistas Bloqueadas por interacciones/camiones en panne
- Traslados de Equipos, ya sea por tronadura o por planificación (Equipos de Carguío)

Por todo lo anteriormente detallado, se decidió utilizar el rendimiento efectivo por sobre el operativo, ya que este último considera tiempos que no dependen del operador y que afectarían el tiempo puro en que realmente se está realizando una operación primaria, es decir, donde los trabajadores tienen influencia.

4.2. Programación de Bases de Datos Dispatch

Para la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo el estudio y diseño de la herramienta computacional, fue necesario programar una serie de bases de datos que pudieran enlazar los datos reales y exportarlos desde el módulo Dispatch a un programa afín (archivo de Microsoft Excel), con el objetivo de poder visualizar los datos de manera tabulada y ordenada para poder realizar los distintos análisis estadísticos respectivos y posteriormente construir la interfaz de la herramienta final.

En esta etapa, se programaron cuatro bases de datos (querys) para obtener los datos de un servidor SQL mediante la plataforma Powerview, teniendo como resultado un archivo tabulado con extensión “.xlsx” de Microsoft Excel. Las bases de datos programadas fueron una para cada indicador escogido:

1. BD para Rendimiento Efectivo Operadores de Carguío
2. BD para Tiempo de Carguío – Operadores de Carguío
3. BD para Tiempo de Acumulamiento – Operadores de Transporte
4. BD para Velocidad – Operadores de Transporte

La manera en que funcionan estas bases de datos es la siguiente: la data de Dispatch está contenida en distintas tablas (que albergan toda la información), que a la vez se encuentran conformadas por distintos campos de información, y que se consultan mediante Powerview. Para realizar esto es necesario programar un código en lenguaje SQL, que toma los campos de interés de las tablas de datos y luego los exporta de manera tabulada a un archivo de datos.

Las tablas de datos diseñadas por Modular Mining Systems (MMS) para Dispatch, tienen una inmensa variedad de datos, con el objetivo de mantener a los procesos con gran cantidad de información a disposición para, posteriormente, utilizarlos para el control de los procesos mineros. El detalle de las cuatro tablas de campos utilizadas se encuentra en la sección anexos de este trabajo (ver tablas 5, 6, 7 y 8).

4.2.1. Base de Datos para Rendimiento Efectivo – Operadores de Carguío

Se programó esta base de datos para obtener los campos necesarios para el cálculo del rendimiento efectivo de cada operador de equipos de carguío, además de otros campos auxiliares que son importantes para el estudio diario del rendimiento, como lo es la fase, el turno, el grupo minero, entre otros. Los campos más destacados del código de la consulta SQL son:

- Fecha
- Nombre de Operador Carguío
- Equipo de Carguío
- Flota de equipo de Carguío (Pala eléctrica/Diésel/Cargador/Contratista)
- Tonelaje Cargado
- Horas efectivas

Los anteriores campos son suficientes para el cálculo del rendimiento efectivo. Sin embargo, se incluyeron otros campos que facilitarán al área de capacitación vislumbrar distintos desvíos y/o indicadores anómalos que pudiesen afectar la operación (por ejemplo, horas operativas, horas físicamente disponibles del equipo, tiempos de espera, tiempos de aculatamiento, fase mina, grupo minero, turno, entre otros campos).

Finalmente, el resultado es la siguiente consulta (o query) SQL, que exporta los datos tabulados y que serán procesados mediante una tabla dinámica para facilitar su visualización:

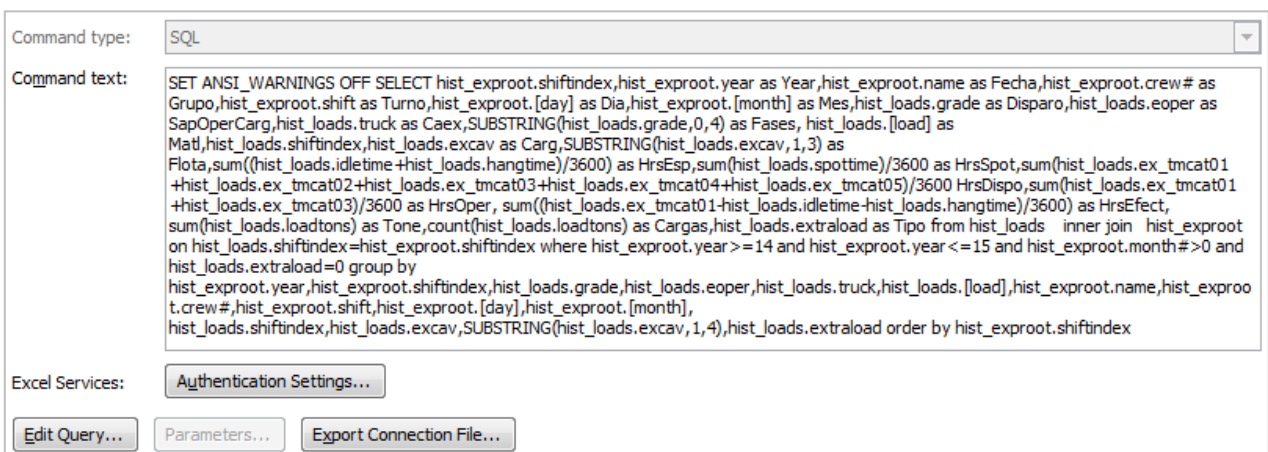


Figura 9: Consulta/Query para datos Rendimiento Efectivo - Operadores Carguío

4.2.2. Base de Datos para Tiempo de Carguío – Operadores de Carguío

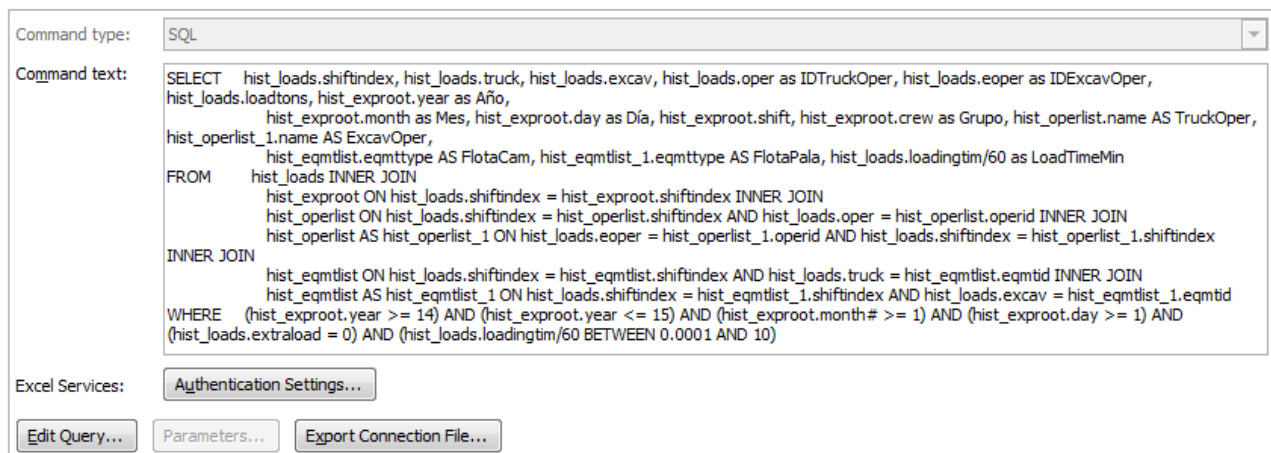
La programación de esta base de datos (BD), a diferencia de la BD anterior (rendimiento efectivo) es más simple, puesto que el tiempo de carguío es un campo “puro”, es decir, no es el resultado de una operación entre dos o más campos.

Esta base de datos necesita distintas combinaciones de equipos (de carguío y transporte) para poder comparar de manera correcta. Por ejemplo, el objetivo es comparar los tiempos de carguío de palas eléctricas según su capacidad de balde (60 [yd³] o 73 [yd³]) y la capacidad del camión, que va a depender de la capacidad de la tolva de éste (240 [t] para Komatsu 830E, 298 [t] para Komatsu 930E y 325 [t] para los Komatsu 960E y CAT795). Para el caso de este trabajo de título, se dio énfasis en el estudio de las combinaciones de palas eléctricas (ambos baldes) y camiones Komatsu 930E y CAT 795, que son las flotas que más volumen y tonelaje mueven en la operación, abarcando en el período de estudio (Enero 2014-Septiembre 2015) sobre el 85% del movimiento total mina.

Los campos más destacados que exportará la consulta (query) serán:

- Fecha (Año, Mes y Día)
- Nombre de Operador Carguío
- Equipo y Flota de Carguío
- Equipo y Flota de Transporte
- Tiempo de Carguío (en minutos)
- Grupo Minero

Finalmente, el resultado es la siguiente consulta (o query) SQL, que exporta los datos tabulados y que serán procesados mediante una tabla dinámica para facilitar su visualización:



The screenshot shows a SQL query editor interface. At the top, there is a dropdown menu for 'Command type' set to 'SQL'. Below it, the 'Command text' field contains a detailed SQL query. The query selects various fields from multiple tables, including 'hist_loads', 'hist_exproot', 'hist_operlist', and 'hist_eqmtlist'. It uses several JOINs (INNER JOIN) to filter the data based on shift indices and operator IDs. The WHERE clause filters for data from the years 2014 and 2015, and excludes records with zero extra load. At the bottom of the window, there are buttons for 'Excel Services: Authentication Settings...', 'Edit Query...', 'Parameters...', and 'Export Connection File...'.

```
SELECT hist_loads.shiftindex, hist_loads.truck, hist_loads.excav, hist_loads.oper as IDTruckOper, hist_loads.eoper as IDExcavOper,
hist_loads.loadtons, hist_exproot.year as Año,
hist_exproot.month as Mes, hist_exproot.day as Día, hist_exproot.shift, hist_exproot.crew as Grupo, hist_operlist.name AS TruckOper,
hist_operlist_1.name AS ExcavOper,
hist_eqmtlist.eqmttype AS FlotaCam, hist_eqmtlist_1.eqmttype AS FlotaPala, hist_loads.loadingtm/60 as LoadTimeMin
FROM hist_loads INNER JOIN
hist_exproot ON hist_loads.shiftindex = hist_exproot.shiftindex INNER JOIN
hist_operlist ON hist_loads.shiftindex = hist_operlist.shiftindex AND hist_loads.oper = hist_operlist.operid INNER JOIN
hist_operlist AS hist_operlist_1 ON hist_loads.eoper = hist_operlist_1.operid AND hist_loads.shiftindex = hist_operlist_1.shiftindex
INNER JOIN
hist_eqmtlist ON hist_loads.shiftindex = hist_eqmtlist.shiftindex AND hist_loads.truck = hist_eqmtlist.eqmtid INNER JOIN
hist_eqmtlist AS hist_eqmtlist_1 ON hist_loads.shiftindex = hist_eqmtlist_1.shiftindex AND hist_loads.excav = hist_eqmtlist_1.eqmtid
WHERE (hist_exproot.year >= 14) AND (hist_exproot.year <= 15) AND (hist_exproot.month# >= 1) AND (hist_exproot.day >= 1) AND
(hist_loads.extraload = 0) AND (hist_loads.loadingtm/60 BETWEEN 0.0001 AND 10)
```

Figura 10: Consulta/Query para datos Tiempo de Carguío - Operadores Carguío

4.2.3. Base de Datos para Tiempo de Acuatamiento – Operadores de Transporte

La programación de esta base de datos, al igual que la BD de tiempos de carguío, es más simple por el hecho de que el tiempo de acuatamiento es un campo “puro”, que no necesita ser calculado a partir de otras componentes.

Esta base de datos necesita exportar diferentes campos, relativos a los equipos principales con los cual se trabajará. Lo anterior principalmente enfocado a los equipos de carguío, puesto que los equipos más grandes, como las palas eléctricas, generalmente poseen frentes más amplias, lo que facilita las maniobras de acuatamiento al operador, y muchas veces el equipo se encuentra cargando por ambos lados. Esta es la principal diferencia con equipos más pequeños como las palas hidráulicas y cargadores frontales, que muchas veces son destinadas a frentes más estrechas debido a su tamaño. Por lo tanto, es importante separar los tiempos de acuatamiento en combinaciones de camiones versus flota de equipo de carguío (pala eléctrica, pala hidráulica o cargador frontal). Cabe destacar que el tiempo de acuatamiento que se estudió es el medido en la carga del camión, es decir, en la frente de carguío y no así en la descarga (botadero, stock o chancado), como se explicó en los alcances del trabajo.

Así, los campos más destacados que exportará la consulta/query serán:

- Fecha (Año, Mes y Día)
- Nombre de Operador Transporte
- Equipo y Flota de Carguío
- Equipo y Flota de Transporte
- Tiempo de Acuatamiento (en minutos)
- Grupo Minero

```
Command text: SELECT hist_loads.shiftindex, hist_loads.truck, hist_loads.excav, hist_loads.oper as IdOpCamion, hist_loads.eoper as IdOpPala,
hist_loads.spottime/60 as SpotMin, hist_loads.loadtons, hist_loads.ot,
hist_loads.ut, hist_exproot.year as Año, hist_exproot.month as Mes, hist_exproot.day as Dia, hist_exproot.shift, hist_exproot.crew as
Grupo, hist_operlist.name as OpCamion,
hist_operlist_1.name as OpEqCarguio , hist_eqmtlist.eqmttype as FlotaCamion, hist_eqmtlist_1.eqmttype as FlotaPala
FROM hist_loads INNER JOIN
hist_exproot ON hist_loads.shiftindex = hist_exproot.shiftindex INNER JOIN
hist_operlist ON hist_loads.shiftindex = hist_operlist.shiftindex AND hist_loads.oper = hist_operlist.operid INNER JOIN
hist_operlist AS hist_operlist_1 ON hist_loads.eoper = hist_operlist_1.operid AND hist_loads.shiftindex = hist_operlist_1.shiftindex INNER
JOIN
hist_eqmtlist ON hist_loads.shiftindex = hist_eqmtlist.shiftindex AND hist_loads.truck = hist_eqmtlist.eqmtid INNER JOIN
hist_eqmtlist AS hist_eqmtlist_1 ON hist_loads.shiftindex = hist_eqmtlist_1.shiftindex AND hist_loads.excav = hist_eqmtlist_1.eqmtid
WHERE (hist_exproot.year >= 14) AND (hist_exproot.year <= 15) AND (hist_exproot.month# >= 1) AND (hist_exproot.day >= 1) AND
(hist_loads.extraload = 0) AND (hist_loads.spottime/60 BETWEEN 0.0001 AND 10)
```

Excel Services:

Figura 11: Consulta/Query para datos Tiempo de Acuatamiento - Operadores Transporte

4.2.4. Base de Datos para Velocidad – Operadores de Transporte

Esta base de datos es similar a la primera BD programada, la de rendimientos efectivos, puesto que este indicador se calcula a partir de dos campos: la distancia recorrida y el tiempo que demoró en recorrer dicha distancia. Además, es importante recalcar que, al igual que en todas las faenas, en Mina Los Bronces la velocidad depende seriamente de la geometría del pit y los caminos mineros, por lo que los análisis realizados se separan por fase (Donoso 1, Casino 2 e Infiernillo 5), es decir, la velocidad dependerá de la asignación que el Despacho Mina le otorgue al camión y también del tipo de ciclo, ya sea dinámico o fijo. Esto último se refiere a si el camión se encontrará en un mismo circuito durante un largo período o si irá cambiando a de asignación cada vez que llegue a su destino de vaciado (asignación dinámica).

Es importante también establecer la posibilidad de visualizar los datos por flota de camión, puesto que las velocidades son distintas para cada una de estas, ya que también las capacidades de las tolvas y las características mecánicas/físicas de los equipos son distintas. Es por esto que se dio la posibilidad de separar el análisis por modelo de camión: Komatsu 830E, 930E, 960E y Caterpillar 795F/M.

Así, los campos más destacados que exportará la consulta/query serán:

- Fecha (Año, Mes y Día)
- Nombre de Operador Transporte
- Equipo y Flota de Carguío
- Equipo y Flota de Transporte
- Tonelaje Cargado/Descargado
- Distancia lleno
- Distancia vacío
- Tiempo que recorrió el camión lleno
- Tiempo que recorrió el camión vacío

```
Command text: SELECT hist_loads.shiftindex, hist_loads.loc AS Fase, hist_loads.oper AS OperCaex, hist_loads.truck AS Caex, SUM(hist_loads.loadtons) AS
toncargada,
SUM(hist_loads.emptyhaul) / 3600 AS HrsVacio, SUM(hist_loads.fullhaul) / 3600 AS HrsFull, COUNT(hist_loads.loadtons) AS cargas,
SUM(hist_loads.disteh) AS Distempty, SUM(hist_loads.distfh) AS Distfull, hist_loads.excav AS Carg, hist_dumps.loc AS Destino,
SUM(hist_dumps.dumptions) AS Tondescar, SUM(hist_dumps.dist) AS Distmts, COUNT(hist_dumps.dumptions) AS Descargas,
hist_dumps.[load] as MtI
FROM hist_loads INNER JOIN
hist_dumps ON hist_loads.dumprec = hist_dumps.ddbkey AND hist_loads.shiftindex = hist_dumps.shiftindex
WHERE (hist_loads.shiftindex >= 33966) AND (hist_loads.disteh BETWEEN 250 AND 20000) AND (hist_loads.distfh BETWEEN 250 AND 20000) AND
(hist_loads.extraload = 0) AND (hist_loads.emptyhaul BETWEEN 60 AND 3600) AND (hist_loads.fullhaul BETWEEN 60 AND 3600) AND
(hist_loads.abrteh <> 0) AND (hist_loads.abrtfh <> 0) AND (hist_loads.dmp = 1)
GROUP BY hist_loads.loc, hist_loads.shiftindex, hist_loads.oper, hist_loads.truck, hist_loads.excav, hist_dumps.loc,
hist_dumps.shiftindex, hist_dumps.[load]
ORDER BY hist_loads.shiftindex
```

Excel Services:

Figura 12: Consulta/Query para datos de Velocidad - Operadores Transporte

En la figura anterior se puede apreciar el detalle de la consulta, en donde se establecen parámetros fijos para eliminar outliers.

4.3. Análisis de Datos y Definición de Rangos de Estudio

Se realiza una serie de análisis de los KPI escogidos para determinar la confiabilidad de los datos que entrega Dispatch, y remover datos outliers de las bases de datos. Para esto, además se realizaron mediciones en terreno de los KPI que permiten realizar esto (Tiempos de Acuatamiento y Carguío) para establecer rangos de los valores de estos indicadores y poder contrastarlos con la información exportada y tabulada en las bases de datos anteriormente programadas.

4.3.1. Mediciones en terreno

El objetivo de la realización de estas mediciones es tener una base sólida para la corroboración de los datos otorgados por el Despacho Mina (Dispatch), es decir, ver qué tan confiables son estos datos y qué tanto se acercan a la realidad (mediciones).

4.3.1.1. Tiempos de Carguío

Se realizó una serie de mediciones en terreno para el tiempo de carguío. Estas fueron realizadas durante el mes de Noviembre 2015 (específicamente los días 10, 11, 16 y 17). El detalle de las tabulaciones de estas mediciones se encuentra en la sección anexo de este trabajo.

En la siguiente gráfica, se resume estadísticamente el resultado de las mediciones realizadas:

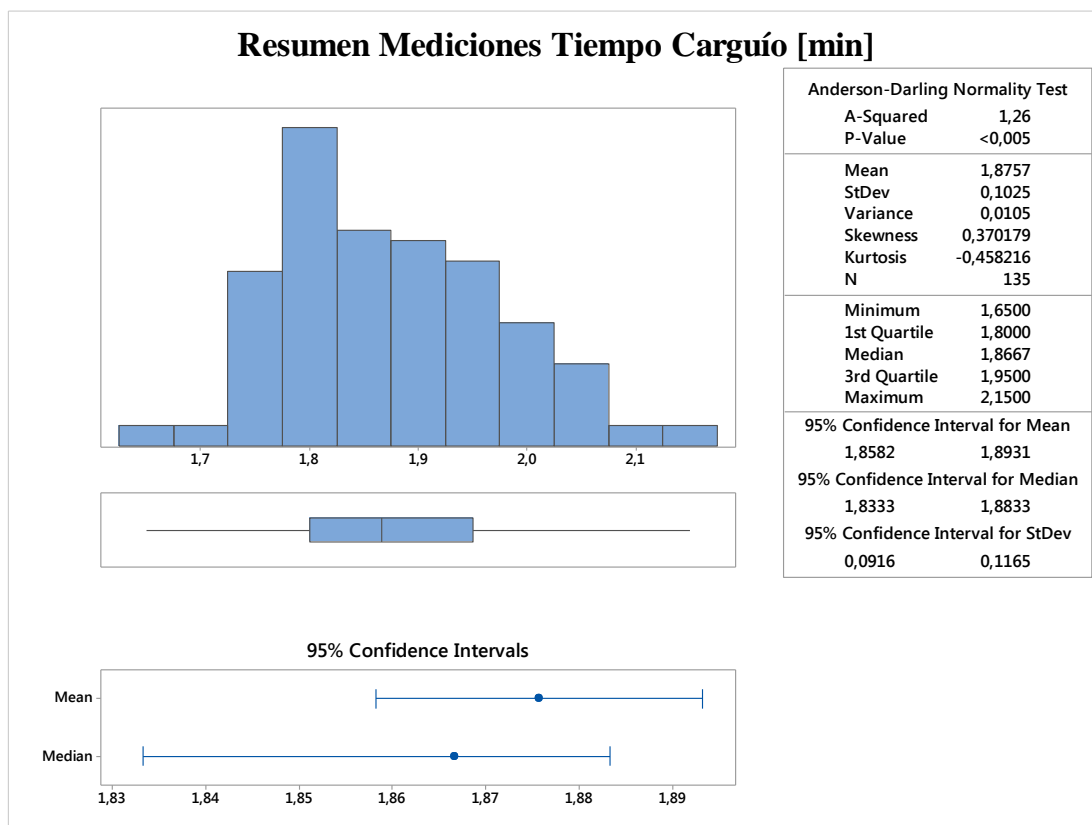


Gráfico 4: Resultado Mediciones en Terreno para Tiempo de Carguío

Se puede desprender del resumen estadístico de las 135 muestras tomadas en terreno que el tiempo medio de carguío es de 1.9 [min] aproximadamente, con una desviación estándar 0.1 [min], es decir una varianza de apenas 5%, es decir, una muestra muy homogénea (baja dispersión con respecto a la media) y que otorga alta confiabilidad al muestreo de datos realizado en terreno. Es importante también destacar que las mediciones se realizaron en la Pala 8, ubicada en la fase Donoso1, cuya capacidad de balde es de 73 [yd³], en combinación con la flota de CAEX Komatsu 930E. Los datos de camiones que no fueran de esta flota, no se tomaron en cuenta para el estudio estadístico, aunque si se dejó registro de ellos en las tabulaciones (ver ejemplo en tabla 9, en la sección Anexos).

4.3.1.2. Tiempos de Aculatamiento

Se realizó una serie de mediciones en terreno para el tiempo de aculatamiento. Estas fueron realizadas durante el mes de Noviembre 2015 (específicamente los días 10, 11, 16 y 17). El detalle de las tabulaciones de estas mediciones se encuentra en la sección anexo de este trabajo.

En la siguiente gráfica, se resume estadísticamente el resultado de las mediciones realizadas:

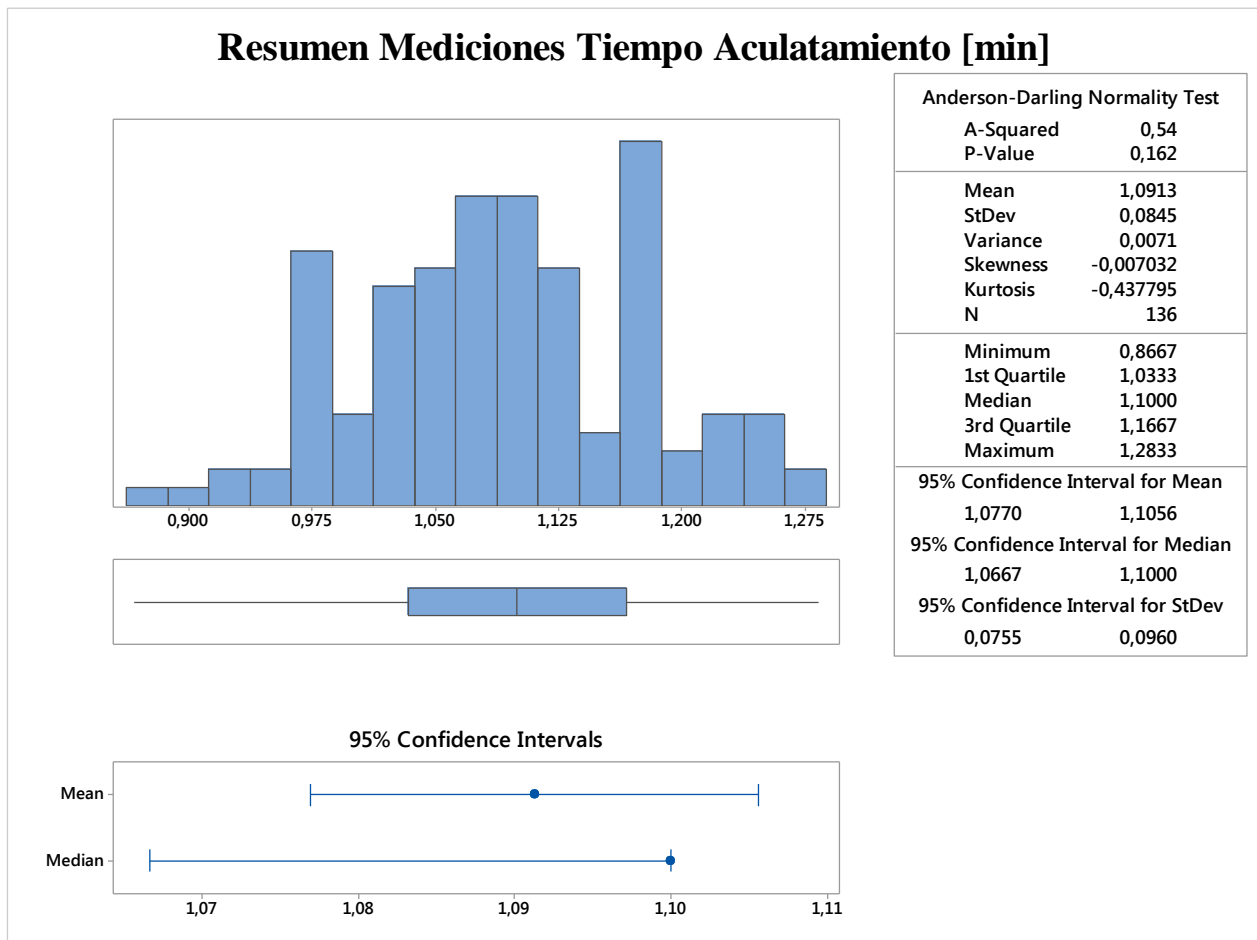


Gráfico 5: Resultado Mediciones en Terreno para Tiempo de Aculatamiento

Se puede desprender del resumen estadístico de las 136 muestras tomadas en terreno que el tiempo medio de aculatamiento es de 1.1 [min] aproximadamente, con una desviación estándar de 0.08 [min], es decir una varianza 7%, es decir, una muestra muy homogénea (baja dispersión con respecto a la media) y que otorga alta confiabilidad al muestreo de datos realizado en terreno. Es importante también destacar que las mediciones se realizaron en la Pala 8, ubicada en la fase Donoso1, cuya capacidad de balde es de 73 [yd³], en combinación con la flota de CAEX Komatsu 930E. Los datos de camiones que no fueran de esta flota, no se tomaron en cuenta para el estudio estadístico, aunque si se dejó registro de ellos en las tabulaciones (ver anexo, tablas 9, 10, 11 y 12).

4.3.2. Análisis de Datos

Se realiza un análisis estadístico de los datos entregados por las consultas (qurys) programadas con anterioridad y ya detalladas en el informe. El objetivo es revisar la confiabilidad de los datos y si éstos se encuentran dentro de los rangos reales, establecidos por las mediciones realizadas en terreno (para el caso de tiempos de carguío y aculatamiento) y/o por las características de los equipos de carguío y transporte estudiados (para rendimientos y velocidad).

4.3.2.1. Tiempos de Carguío

Según las mediciones realizadas en terreno, se tenía un promedio de 1.9 [min] con una desviación estándar de ± 0.1 [min]. Estos valores se toman como términos de referencia para corroborar la información exportada en las tablas de datos. Se realiza entonces un estudio estadístico de los tiempos de carguío diarios (promedios) de una muestra de datos 2015-2016, que se presenta en el siguiente gráfico:

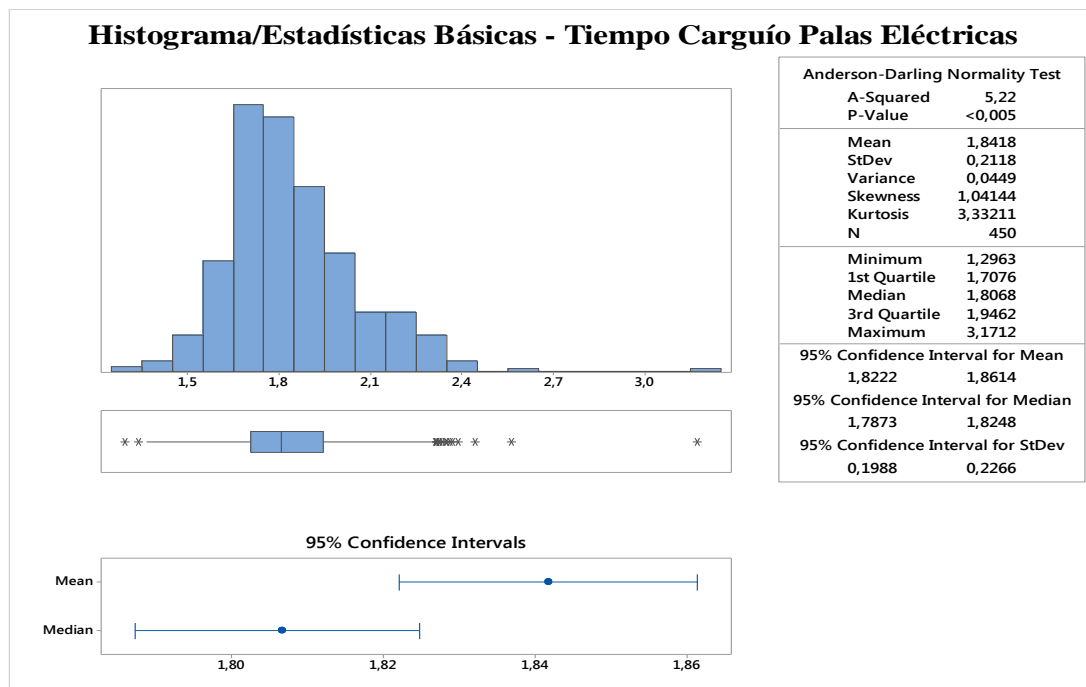


Gráfico 6: Estadísticas Básicas - Tiempo de Carguío Palas Eléctricas

Del gráfico anterior se desprende que la media es 1.8 [min], con una desviación estándar de 0.2 [min], es decir una varianza de un 11%. Si se compara con lo obtenido en terreno se tiene que los valores son totalmente comparables (media 1.9 [min]). Para reafirmar esto, se realiza una gráfica de control de la misma muestra de datos, que se muestra en la siguiente figura:

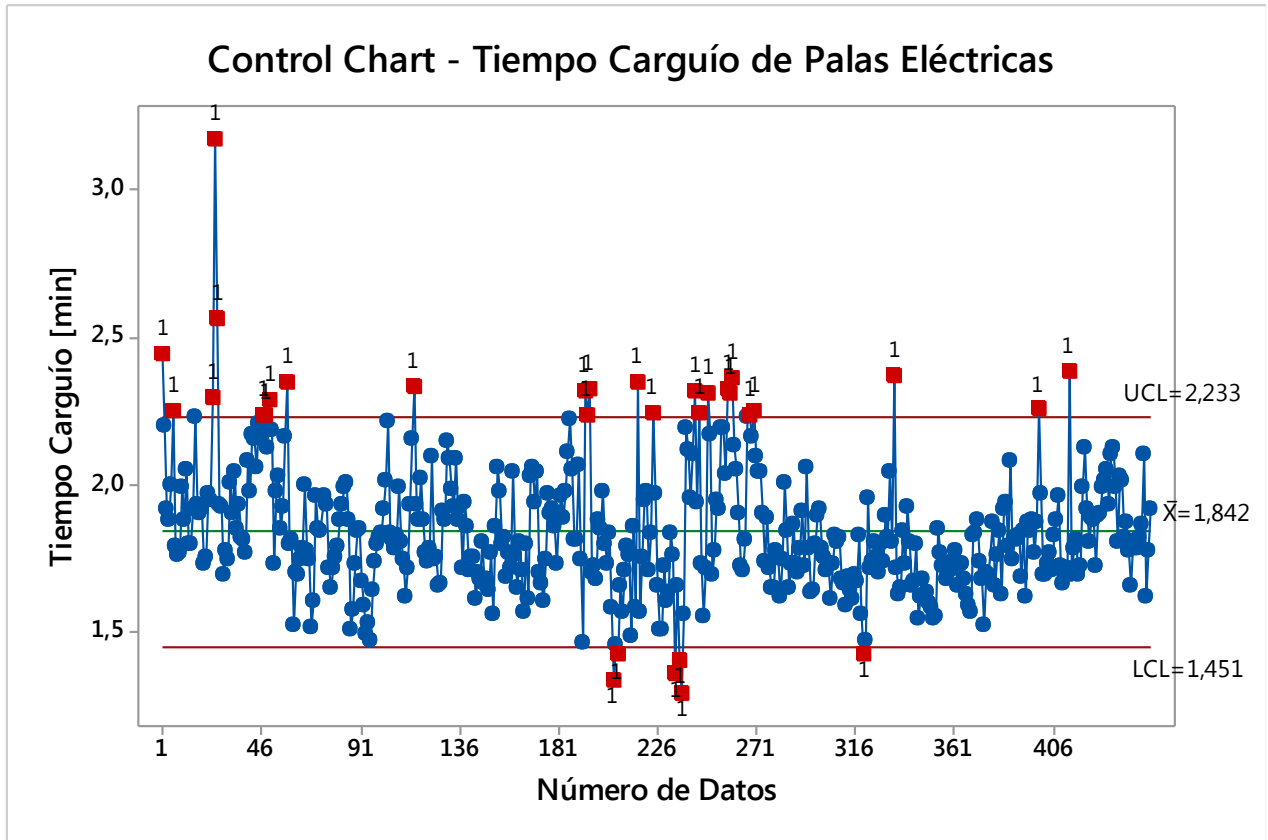


Gráfico 7: Gráfica de Control - Tiempo de Carguío Palas Eléctricas

En la gráfica de control se puede apreciar que el intervalo de confianza donde se encuentra el 95% de los datos de la muestra es [1.45; 2.23] minutos. Si se hace el cruce de datos entre la información de terreno y este intervalo, se tiene que el 100% de los datos se encuentra dentro de este margen. Lo anterior da un alto grado de confianza sobre la información que está entregando la consulta de tiempos de carguío, por lo que se considera un éxito y se puede utilizar esta base de datos para la confección del programa objetivo final.

4.3.2.2. Tiempos de Acuatamiento

Según las mediciones realizadas en terreno para el tiempo de acuatamiento, se tiene un promedio de 1.1 [min] con una desviación estándar de ± 0.1 [min]. Estos valores se toman como términos de referencia para corroborar la información exportada en las tablas de datos. Se realiza entonces un estudio estadístico de los tiempos de acuatamiento diarios por turno (promedios) de una muestra de datos 2015-2016, que se presenta en el siguiente gráfico:

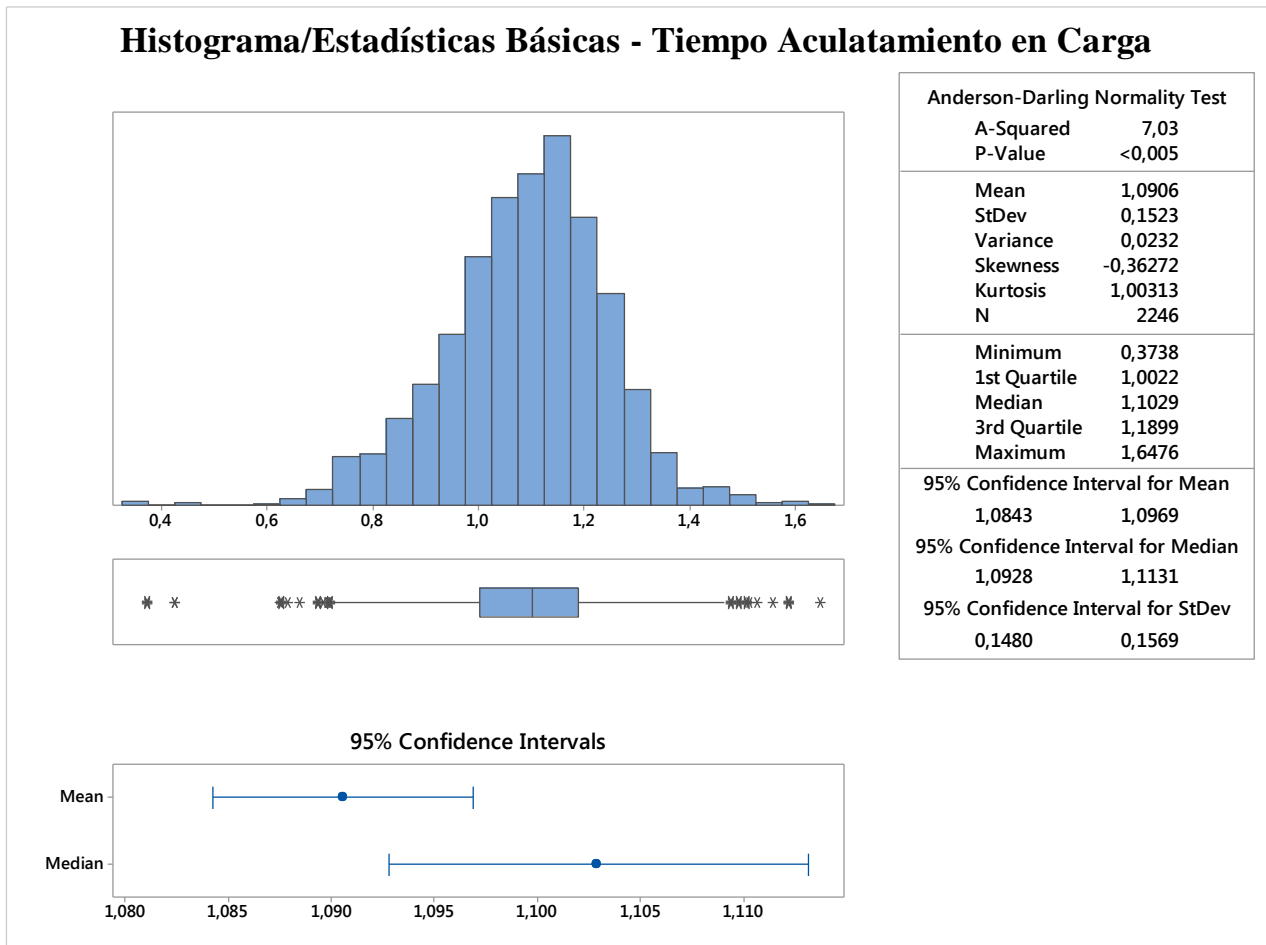


Gráfico 8: Estadísticas Básicas - Tiempo de Acuatamiento

Del gráfico anterior se desprende que la media es 1.1 [min], con una desviación estándar de 0.15 [min], es decir una varianza de un 14%. Si se compara con lo obtenido en terreno se tiene que los valores son totalmente comparables (media 1.1 [min]). Para reafirmar esto, se realiza una gráfica de control de la misma muestra de datos, para observar la cantidad de datos que se encontrarán dentro del rango o intervalo de confianza (al 95%), y que se muestra en el gráfico siguiente:

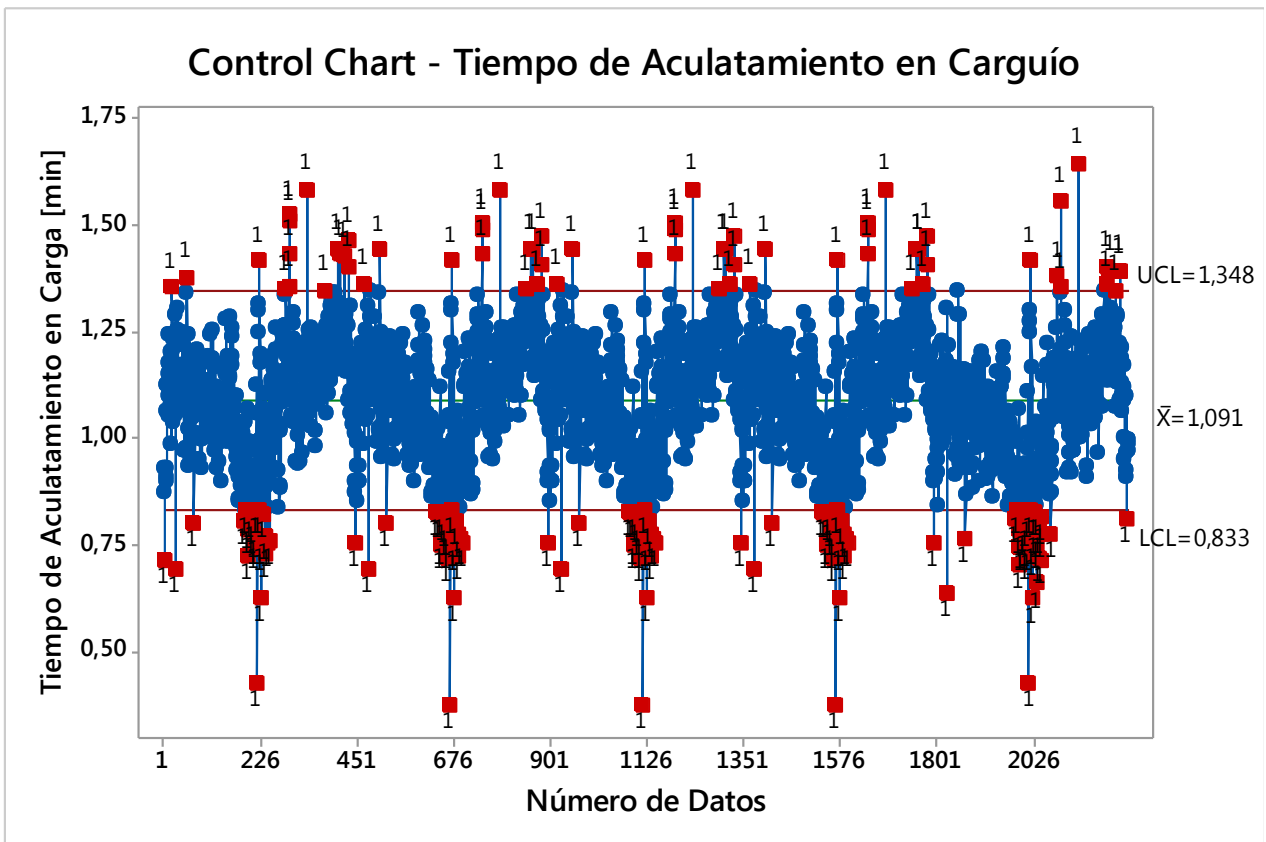


Gráfico 9: Gráfica de Control - Tiempo de Acuatamiento

En la gráfica de control se puede apreciar que el intervalo de confianza donde se encuentra el 95% de los datos de la muestra es [0.83; 1.35] minutos. Si se hace el cruce de datos entre la información de terreno y este intervalo, se tiene que el 100% de los datos se encuentra dentro de este rango. Lo anterior implica un alto nivel de confianza sobre la información que está entregando la consulta (query) de tiempos de carguío, por lo que se considera un éxito y se puede utilizar esta base de datos para la confección del programa objetivo final.

4.3.2.3. Rendimiento Efectivo Carguío

A diferencia de los tiempos fijos (aculatamiento y carguío), el rendimiento efectivo de palas eléctricas es sensible a la estación climática del año. Por lo anterior, se puede apreciar que los rendimientos en época de invierno (segundo y tercer trimestre) son generalmente más bajos que en verano (primer y cuarto trimestre), por lo que en período de invierno se tendrá – probablemente– el límite inferior del rango de confianza del indicador. Además, otro factor importante en el análisis de este KPI es separar por tipo de balde y observar qué resultado otorga, ya que como se mencionó en secciones anteriores, las palas eléctricas de producción Bucyrus/CAT tienen diferentes capacidades de balde, de 60[yd³] y 73[yd³], por lo que claramente los resultados serán distintos para cada tipo de equipo.

Se realizaron tres análisis: el primero para rendimientos de toda la flota (indiferente de la capacidad del balde), el segundo para las palas eléctricas de 73[yd³] y el tercero para las palas de 60[yd³].

Se comenzó calculando las estadísticas básicas de cada uno de los escenarios mencionados, acompañado de un histograma e intervalos de confianza (al 95%) para media y mediana. Para el caso de la flota total de palas eléctricas se tienen los siguientes resultados:

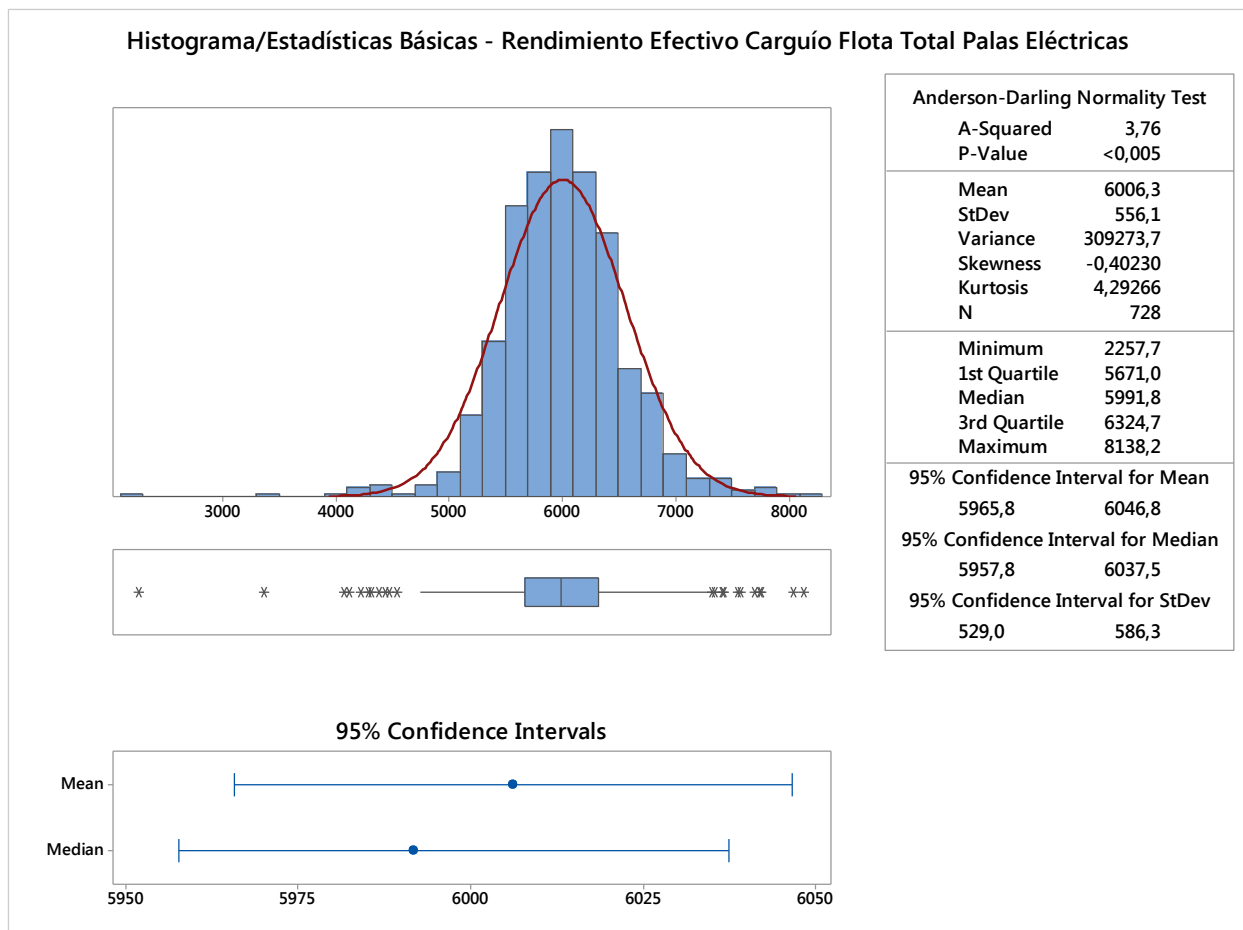


Gráfico 10: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Flota Total Carguío

De la gráfica anterior se puede desprender que la muestra tiene una media de 6006[tph], con una desviación estándar de 556 [tph]. Se puede observar que el histograma, a priori, tiene una distribución normal, por lo que la media coincidiría con el P50 de la población de datos, y se tendría el intervalo de confianza para la media [5966; 6047] tph, donde se encontrará el 95% de los datos estudiados. Además, se puede apreciar una mínima cantidad de datos fuera de rango (menores a 3500[tph] aprox). Para establecer estos límites, es más fácil apreciarlo en una gráfica de control, aplicada a la misma muestra de datos y que se puede ver en el siguiente gráfico:

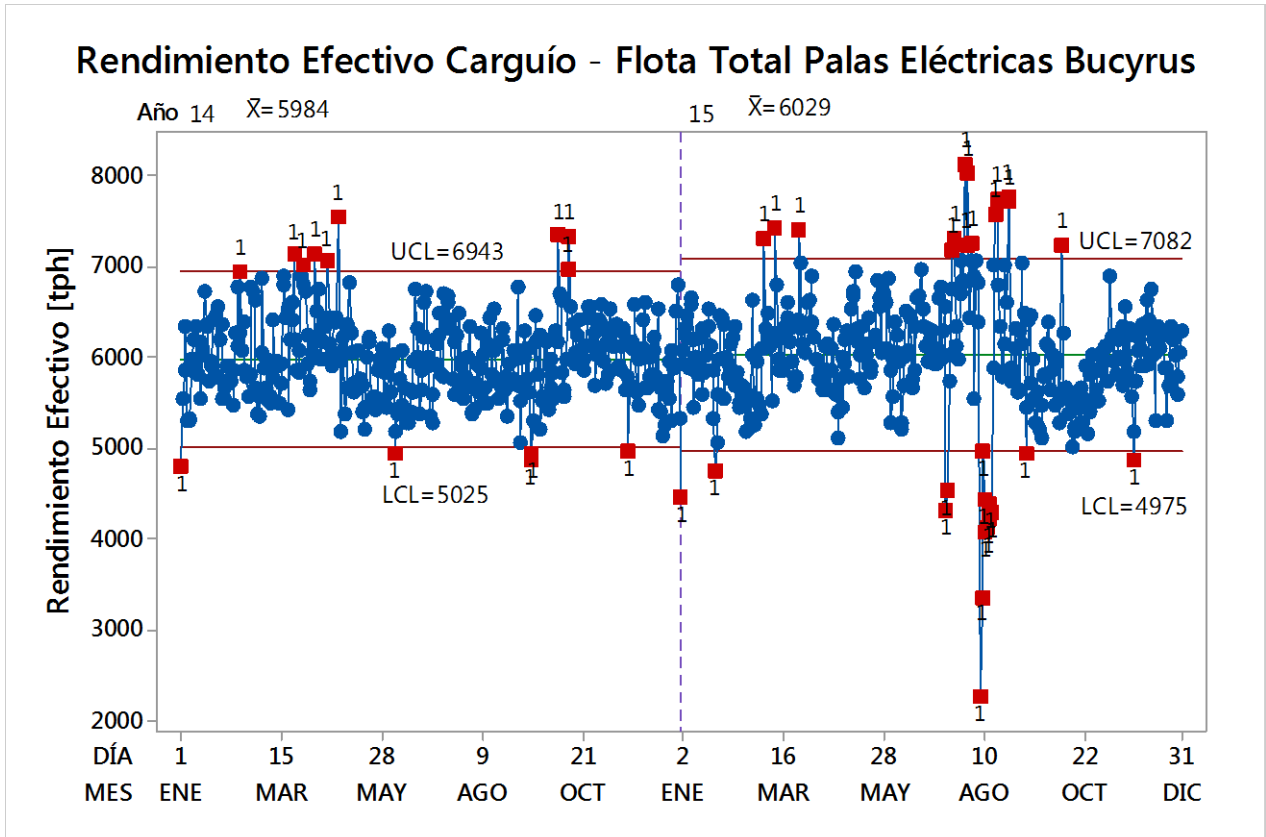


Gráfico 11: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas Eléctricas

En este gráfico se separó por año, para obtener dos sub-muestras estadísticas, en donde las medias son similares (año 2014: 5984[tph] y año 2015: 6029 [tph]). Aquí también se puede apreciar el “efecto invierno” en los valores, ya que el año 2015 muestra notoriamente una baja en el desempeño de las palas entre el mes de Julio y Agosto (donde cayeron aproximadamente 3 metros de nieve), a diferencia del año 2014 donde se tuvo un invierno de características “secas”. En la gráfica además se pueden observar los límites inferiores y superiores de confianza (UCL y LCL) para cada año, que indican el rango en donde se encuentran el 95% de los datos.

De la misma manera, se realiza el estudio de estadísticas básicas, histogramas e intervalos de confianza para las palas eléctricas con baldes de 73 [yd³]. El resultado obtenido se puede observar en el siguiente gráfico:

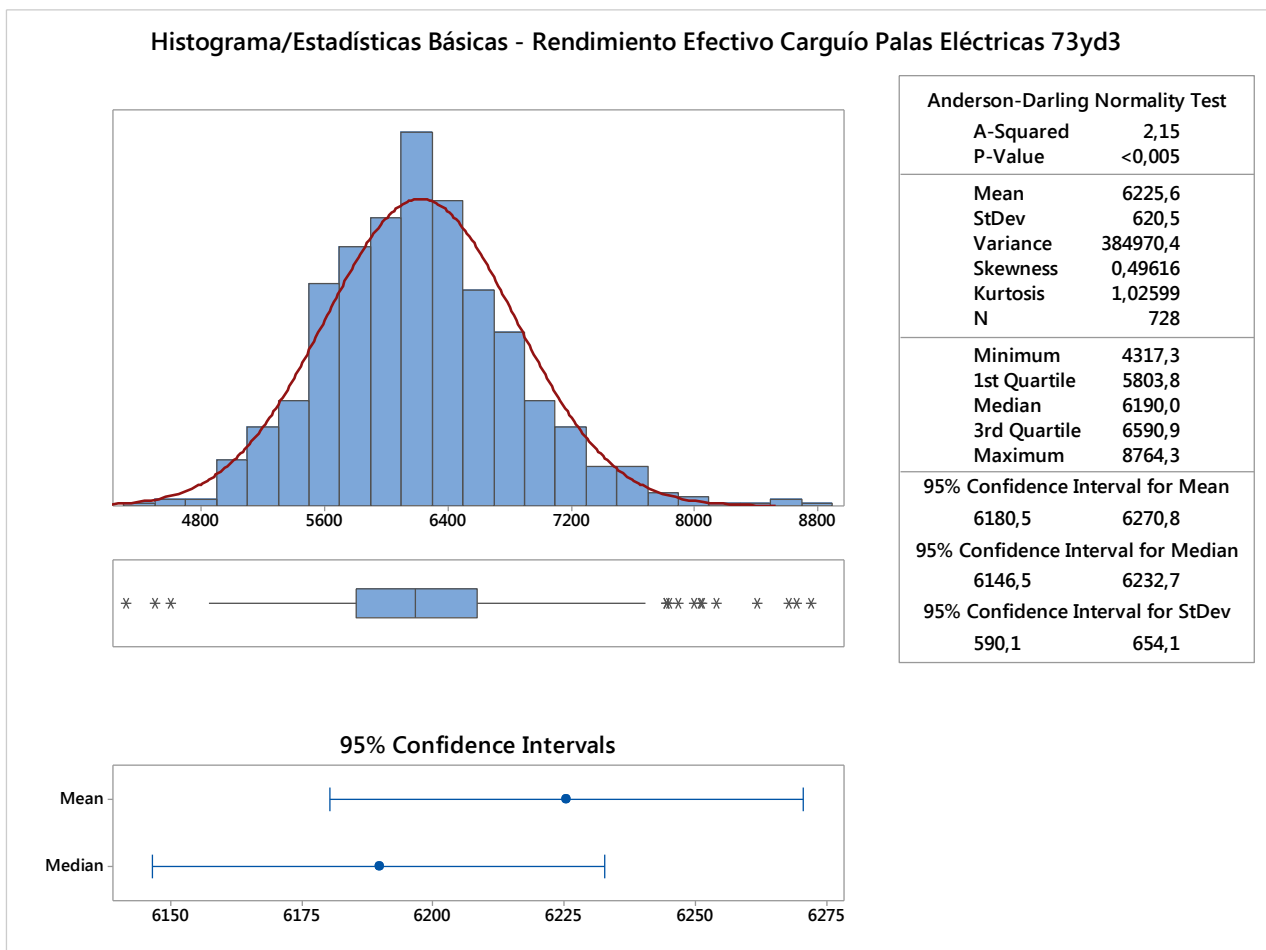


Gráfico 12: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Palas 73 [yd³]

De la gráfica anterior se puede desprender que la muestra tiene una media de 6226[tph], con una desviación estándar de 621 [tph]. También se puede observar que el histograma claramente tiene una distribución normal. En el caso de estas palas eléctricas, se observa un claro aumento de rendimiento si se compara con la flota total de carguío eléctrico, es decir, las palas de 73 [yd³] más las de 60 [yd³], por lo que es recomendable, al comparar este indicador en específico, filtrar por el balde correspondiente para poder realizar análisis en condiciones igualitarias para los operadores.

También se puede observar que el mínimo no escapa de la distribución de la muestra (4317 [tph]) mientras que sobre el rango de los 8000 [tph] se observa una ínfima población de datos que podrían considerarse fuera de rango.

La distribución asociada a esta población de datos es claramente normal, por lo que el P50 de la muestra se asemejará a la media. Para la media, se tiene el intervalo de confianza [6181; 6271] tph, donde se encontrará el 95% de los datos estudiados.

Sin embargo, se requiere también estudiar la variabilidad de los datos en una gráfica de control, para poder principalmente observar los efectos del invierno y validar los rangos

otorgados en el estudio estadístico anterior. Para esto, se realiza la gráfica de control respectiva, que se puede observar en el siguiente detalle:

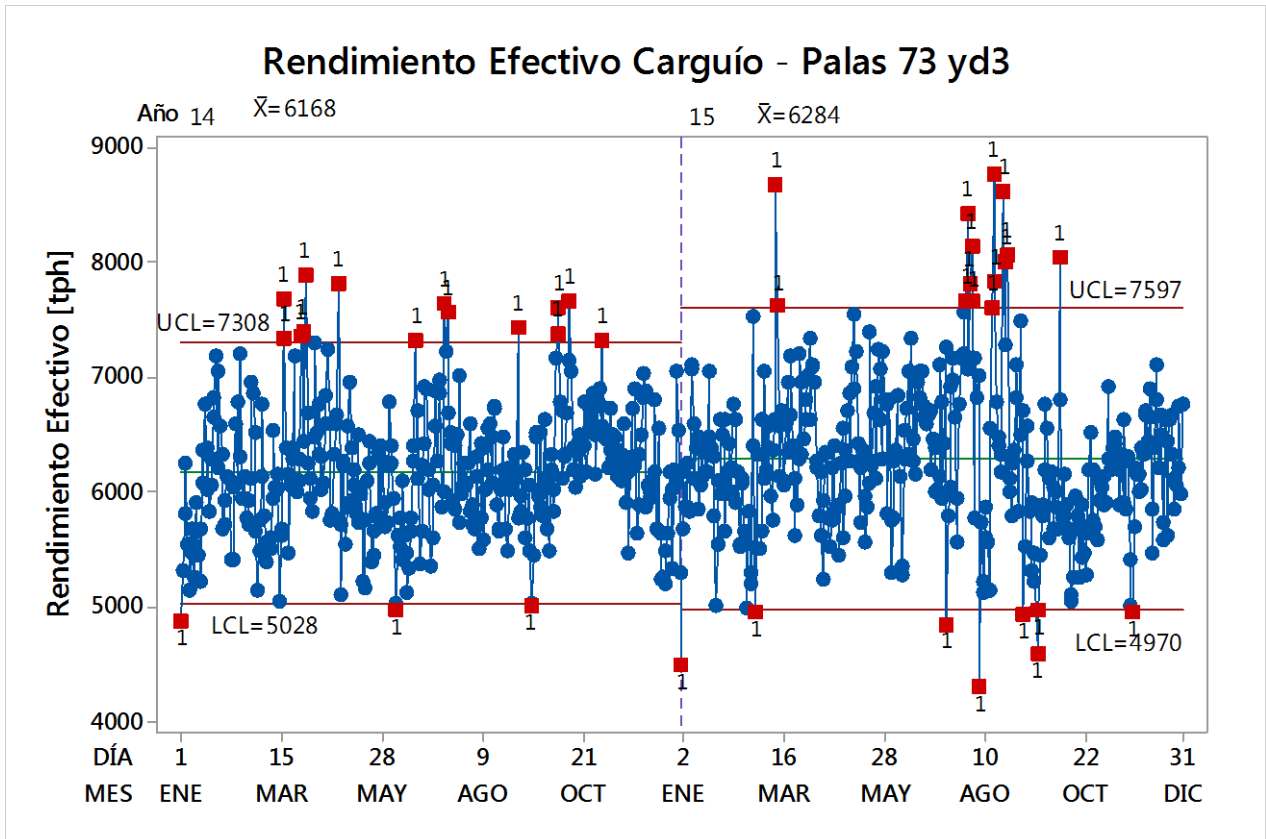


Gráfico 13: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas 73 [yd³]

En el gráfico de control se aprecian las dos etapas estadísticas que corresponden a los años 2014 y 2015 (eje horizontal superior). Se puede observar que el año 2015 tuvo una mayor variabilidad, lo que se traduce en un rango del intervalo de confianza, para ese año, más amplio que el del año 2014. Lo anterior se puede explicar por la presencia de un invierno más potente que preponderó durante el año 2015, específicamente entre los meses de julio y septiembre, como se explicó anteriormente.

En la primera etapa estadística se tiene un nivel de confianza inferior de 5028 [tph], mientras que en la segunda etapa (2015) se tiene un límite inferior de 4970 [tph]. En cuanto a límites superiores, la primera etapa tiene 7308 [tph] y 7597 [tph] para la segunda etapa. A pesar de que hubo mayor variabilidad durante el año 2015, los rendimientos efectivos fueron, en promedio, mayores con respecto al año anterior (2014 media 6168 [tph] versus 2015 media 6284 [tph]).

Finalmente, y para poder concluir el rango de confianza del KPI, se realiza el estudio de estadísticas básicas, histogramas e intervalos de confianza para las palas eléctricas con baldes de 60 [yd³]. El resultado obtenido se puede observar en el siguiente gráfico:

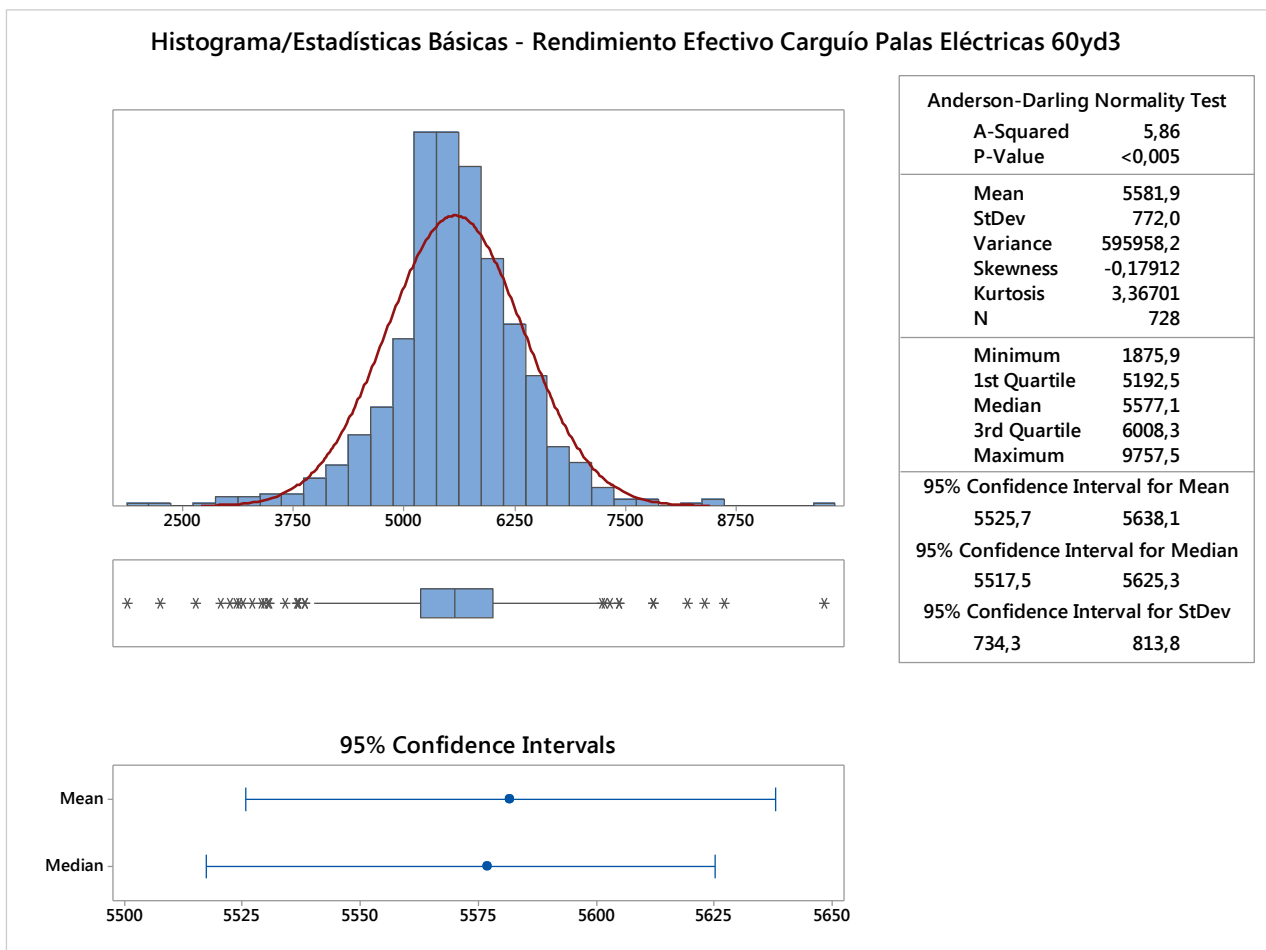


Gráfico 14: Histograma/Estadísticas Básicas para Rendimiento Efectivo Palas 60 [yd³]

Del gráfico anterior se obtiene que la muestra tiene una media de 5582[tph], con una desviación estándar de 772 [tph]. También se puede observar que el histograma claramente tiene una distribución normal, por lo que el P50 de esta muestra es similar a la media y, por lo tanto, se tiene un intervalo de confianza: [5526; 5638] toneladas por hora efectiva. En el caso de estas palas eléctricas, se nota claramente una fuerte disminución en el rendimiento efectivo promedio dada la capacidad del balde de 60 [yd³] versus las palas de 73 [yd³].

Por otra parte, se requiere también estudiar la variabilidad de los datos en una gráfica de control, para poder principalmente observar los efectos del invierno y validar los rangos otorgados en el estudio estadístico anterior. Para esto, se realiza la gráfica de control respectiva, que se puede observar en el siguiente detalle:

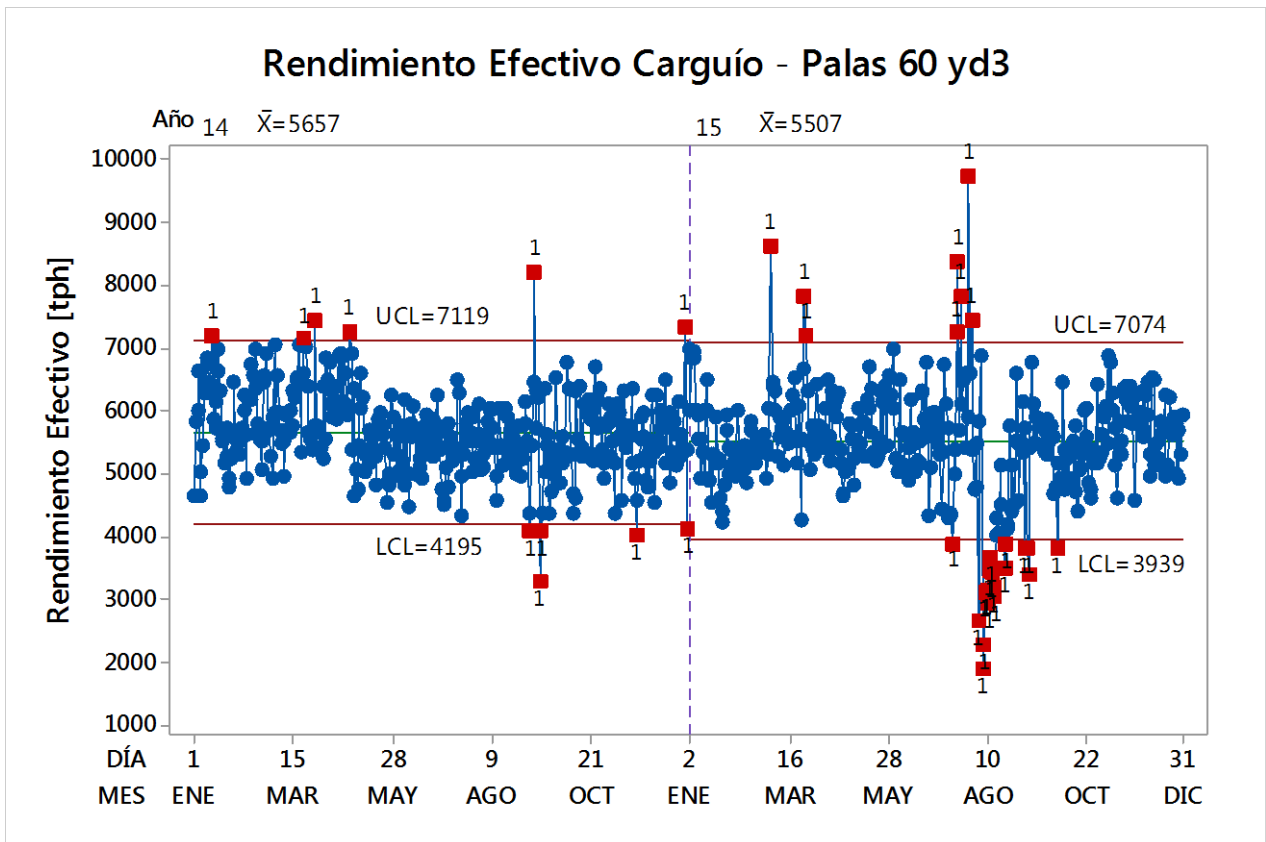


Gráfico 15: Gráfico de Control para Rendimiento Efectivo Carguío Palas 60 [yd³]

En el gráfico de control, al igual que en los dos anteriores, se aprecian las dos etapas estadísticas que corresponden a los años 2014 y 2015. Se puede observar que el año 2015 tuvo una mayor variabilidad con respecto a los dos estudios anteriores. Lo anterior se puede explicar por la presencia de las palas de 60 yd³ en la fase Infiernillo5, que es la que se encuentra a mayor altura y que, por lo mismo, es la que mayor afectación por condiciones climáticas tiene en la realidad de la mina. Esta afectación se puede observar entre los meses de julio y septiembre.

En la primera etapa estadística se tiene un nivel de confianza inferior de 4195 [tph], mientras que en la segunda etapa (2015) se tiene un límite inferior de 3939 [tph]. En cuanto a límites superiores, la primera etapa tiene 7119 [tph] y 7074 [tph] para la segunda etapa. A diferencia de las palas de más capacidad, los rendimientos efectivos fueron, en promedio, menores respecto al año anterior (2014 media 5657 [tph] versus 2015 media 5507 [tph]).

Con los tres estudios y análisis ya realizados, se puede establecer un intervalo para que el rendimiento efectivo sea representativo de todo el año, tanto invierno como verano. Así, observando niveles de confianza y gráficos de control, y confirmando valores con el superintendente de operaciones y datos históricos, el intervalo para la exportación de datos fue:

KPI	Límite Inferior	Límite Superior
Rendimiento Efectivo [tph]	3000 [tph]	8500 [tph]

Tabla 3: Rango/Intervalo para Rendimiento Efectivo Carguío

4.3.2.4. Velocidad

El análisis de velocidades se realizó por fases y como total mina, esto con el objetivo de tener una visión de cómo se comporta este KPI de manera global y en cada una de las distintas zonas de la mina, ya que las condiciones de diseño para cada fase son distintas y afectan claramente en el promedio de velocidades, debido a presencia de switchbacks (caso Donoso1), salidas con alto tráfico (caso salida Casino2) y alta cantidad de curvas en acceso a fases (caso Infiernillo5). Se destaca también que este estudio de datos se realizó para las flotas de CAEX Komatsu 930E y CAT 795, cuyos desempeños en velocidad en Mina Los Bronces son similares y totalmente comparables y, de hecho, la reportabilidad de este indicador se lleva por fase sin diferenciar por flota de CAEX.

4.3.2.4.1. Fase Donoso 1

En el caso de la fase Donoso 1, se tiene un rajo con switchback en su interior, lo que claramente afecta en la velocidad en la fase. Además, la fase es estrecha en el fondo mina, lo que implica que se produzca una alta congestión de equipos en este lugar.

Se realiza un análisis estadístico de las velocidades diarias entre 2014 y 2015 con el objetivo de observar el comportamiento y distribución de velocidades en un histograma, además de revisar un intervalo de confianza para este indicador. El resumen estadístico para las velocidades de Donoso 1 se puede ver en el siguiente gráfico:

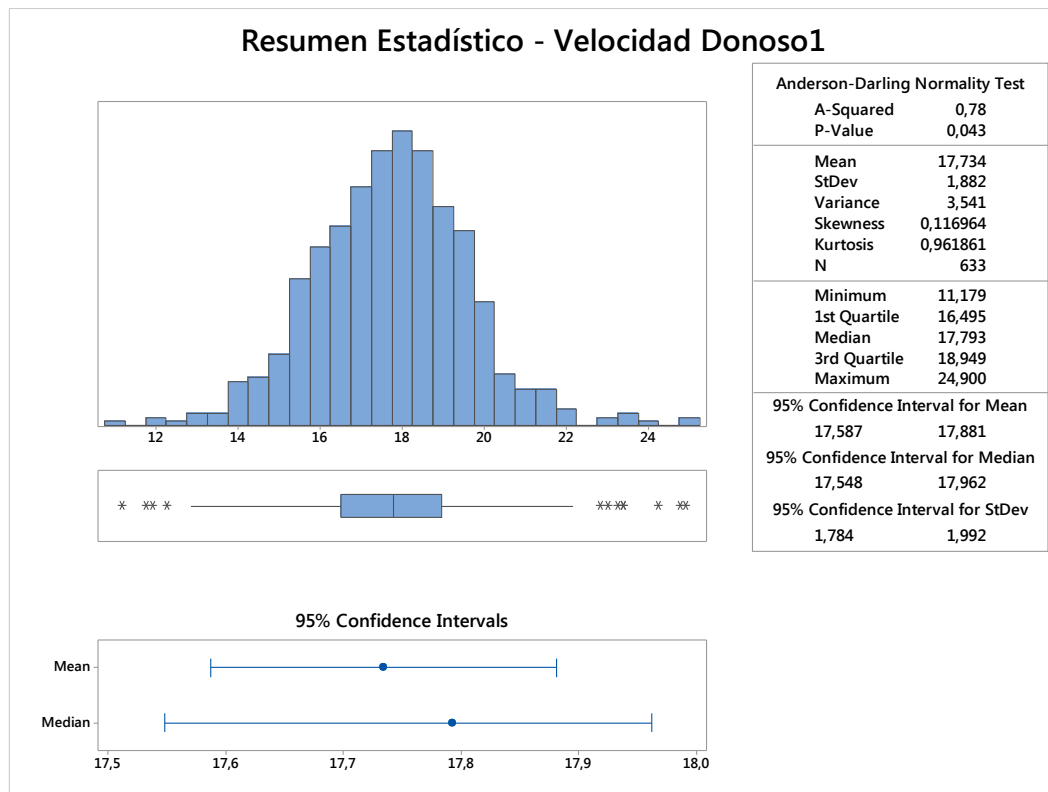


Gráfico 16: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Donoso 1

De la gráfica se puede desprender que la media de velocidades es 17.7 [km/h], con una desviación estándar de 1.9 [km/h], es decir, una variabilidad del 10.7%. Además, para revisar el comportamiento del indicador durante el periodo estudiado, se realiza un gráfico de control que se puede observar en la siguiente figura:

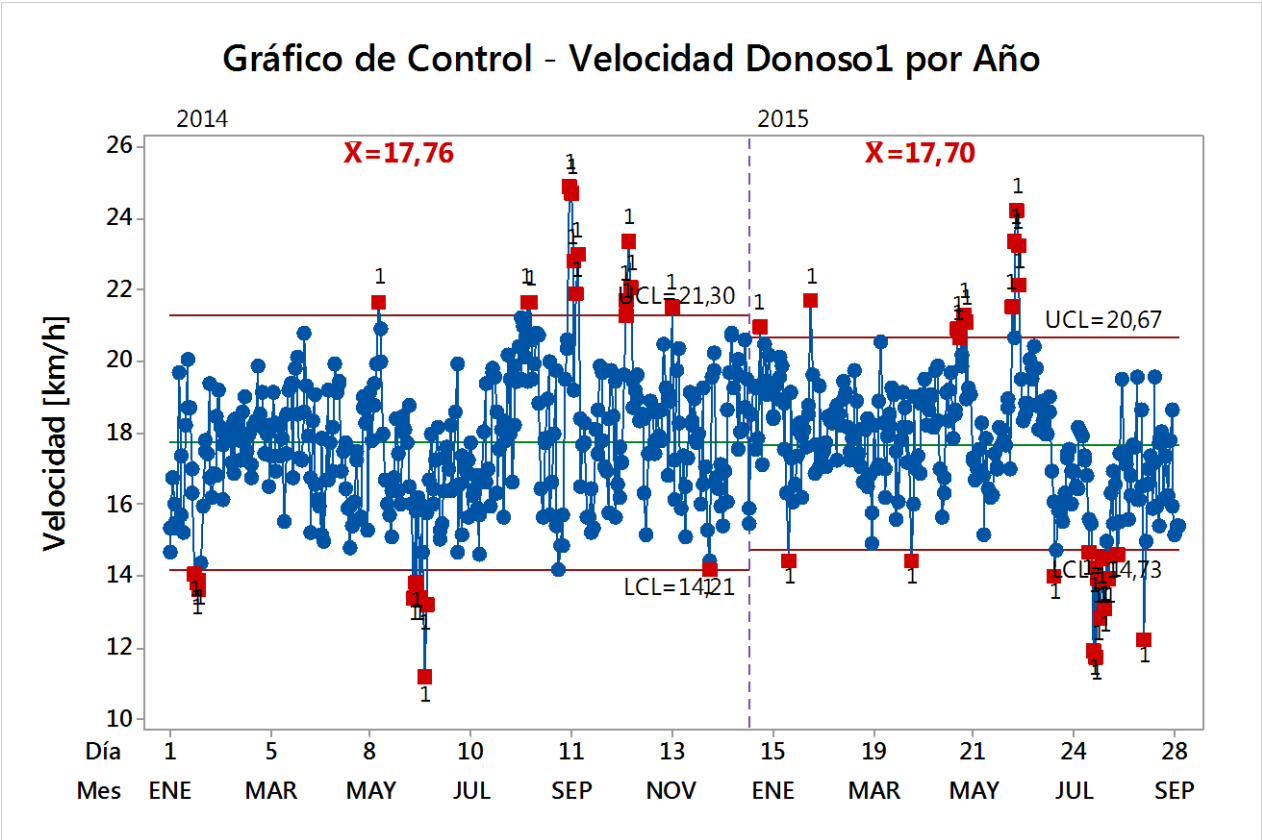


Gráfico 17: Control Chart para Velocidad Fase Donoso 1

Del gráfico de control se puede desprender que durante el año 2014 la velocidad tuvo una mayor variabilidad en comparación con el año 2015, aunque durante este último año se haya tenido mayor cantidad de datos fuera del rango de confianza. El porqué de esto último es por el fuerte invierno que afectó a la mina entre los meses de Julio y Septiembre, donde cayeron más de 3 metros de nieve (acumulada).

4.3.2.4.2. Fase Casino 2

En el caso de la fase Casino 2, se tiene un diseño de fase en donde existe solamente un acceso/salida a ella, por lo que existe saturación en este punto y afecta a la velocidad global de la fase. Sin embargo existen sectores en donde los camiones recorren largos tramos sin mayor pendiente por lo que la velocidad se ve favorecida.

Se realiza un análisis estadístico de las velocidades diarias entre 2014 y 2015 con el objetivo de observar el comportamiento y distribución de velocidades en un histograma, además de revisar un intervalo de confianza para este indicador. El resumen estadístico para las velocidades de Casino 2 se puede ver en el siguiente gráfico:

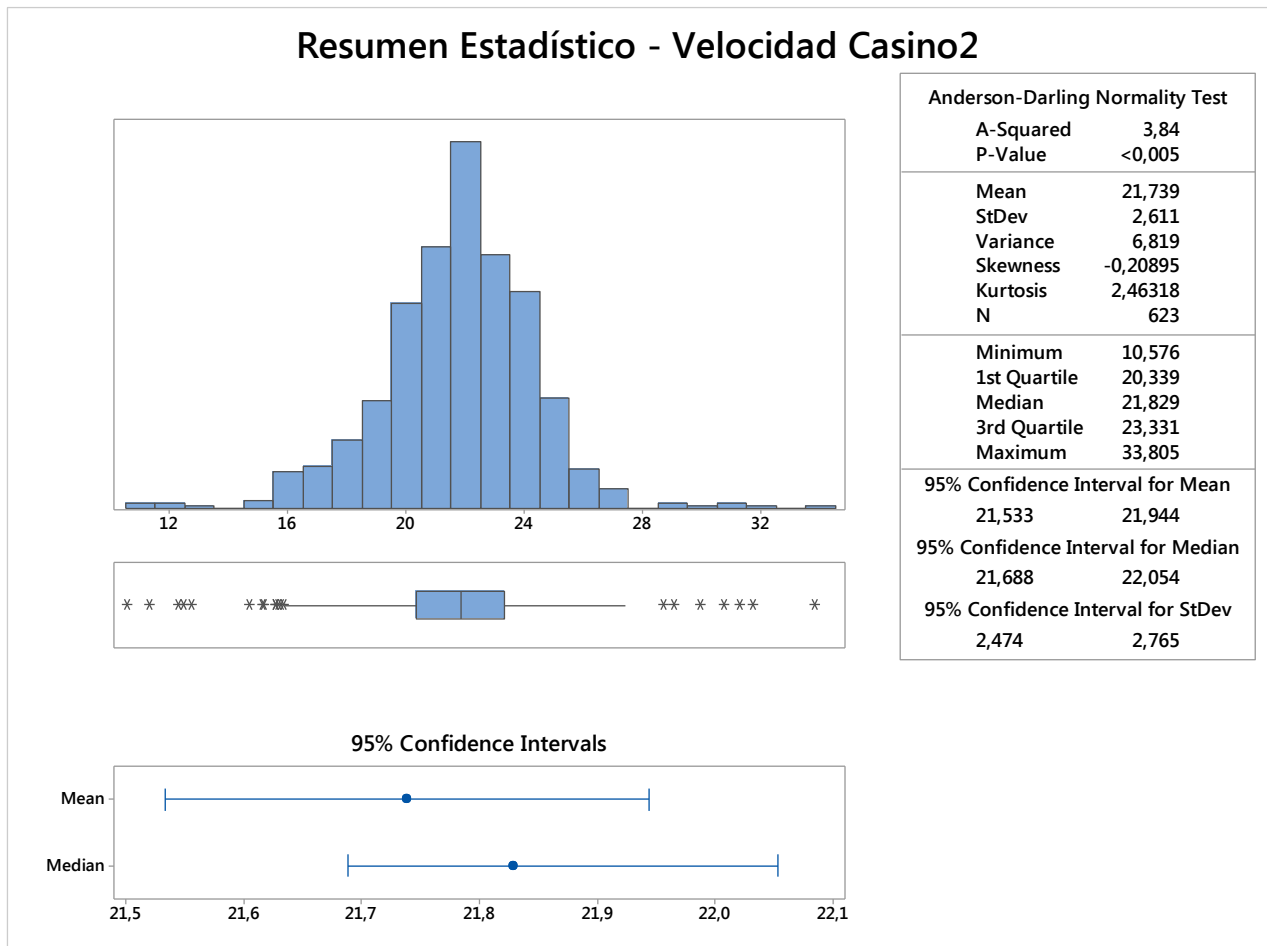


Gráfico 18: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Casino 2

De la gráfica se puede desprender que la velocidad media es 21.7 [km/h], con una desviación estándar de 2.6 [km/h], es decir, una variabilidad del 12%. Además, para revisar el comportamiento del indicador durante el periodo estudiado, se realiza un gráfico de control que se puede observar en la siguiente figura:

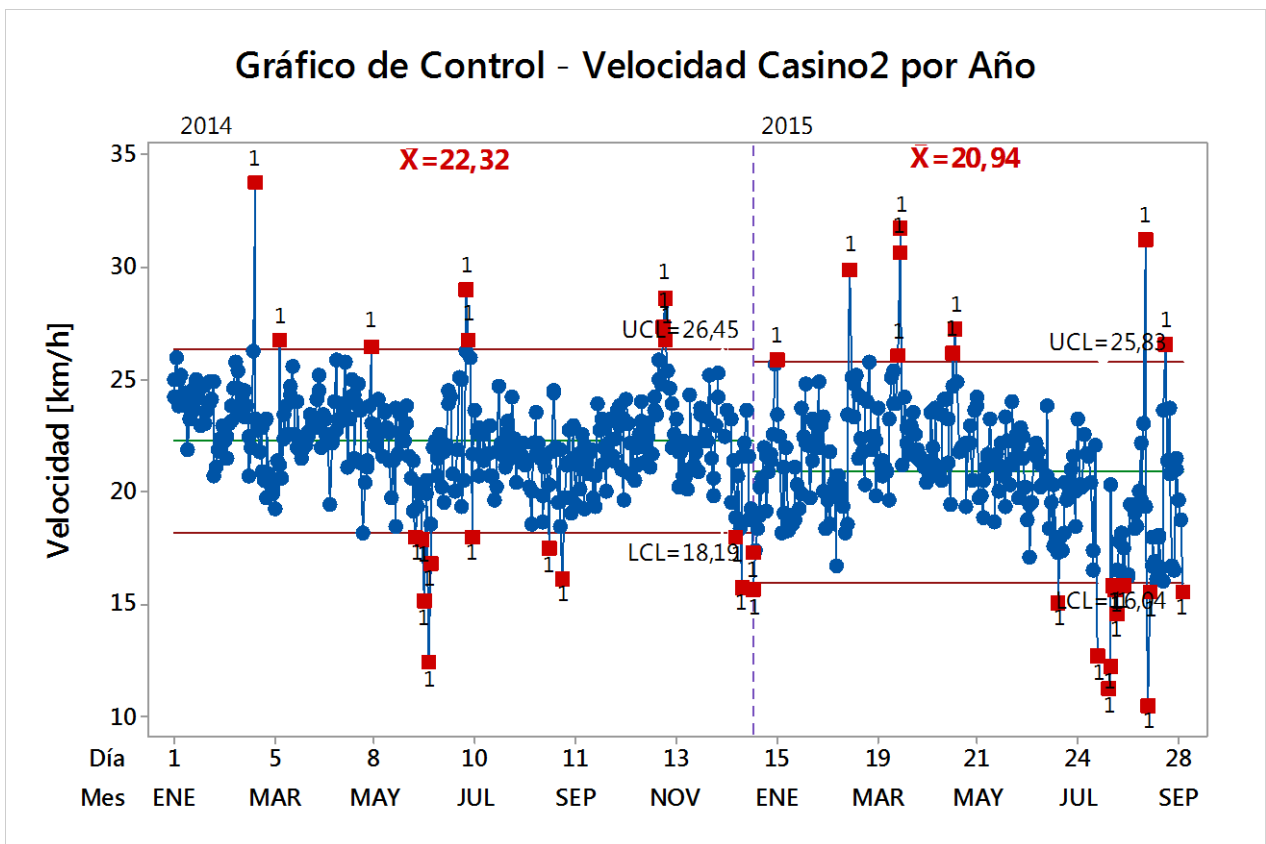


Gráfico 19: Control Chart para Velocidad Fase Casino 2

Del gráfico de control anterior, se puede desprender que durante el año 2015 la velocidad tuvo una mayor variabilidad en comparación con el año 2014, además que la velocidad media en el año 2015 fue inferior en 1.3[km/h] que la del año 2014 (20.9 [km/h]). La variabilidad del 2015 se debe principalmente a que en el período Julio-Septiembre tuvo presente una fuerte condición climática adversa, lo que afectó claramente en el desempeño general de la fase y trajo consigo una baja en la velocidad de la fase.

4.3.2.4.3. Fase Infiernillo 5

La fase Infiernillo 5 tiene la característica de ser una fase larga y estrecha, pero con fluidez en su interior. Los puntos con mayor tráfico que más destacan a la fase son en el camino de acceso/salida a la fase, donde existen 4 curvas pronunciadas donde los camiones disminuyen fuertemente su velocidad, aunque este efecto se ve disminuido por la distancia entre estos puntos, ya que son tramos mayores en donde la velocidad aumenta.

Se realiza un análisis estadístico de las velocidades diarias entre 2014 y 2015 con el objetivo de observar el comportamiento y distribución de velocidades en un histograma, además de revisar un intervalo de confianza para este indicador. El resumen estadístico para las velocidades de la fase Infiernillo 5 se puede ver en el siguiente gráfico:

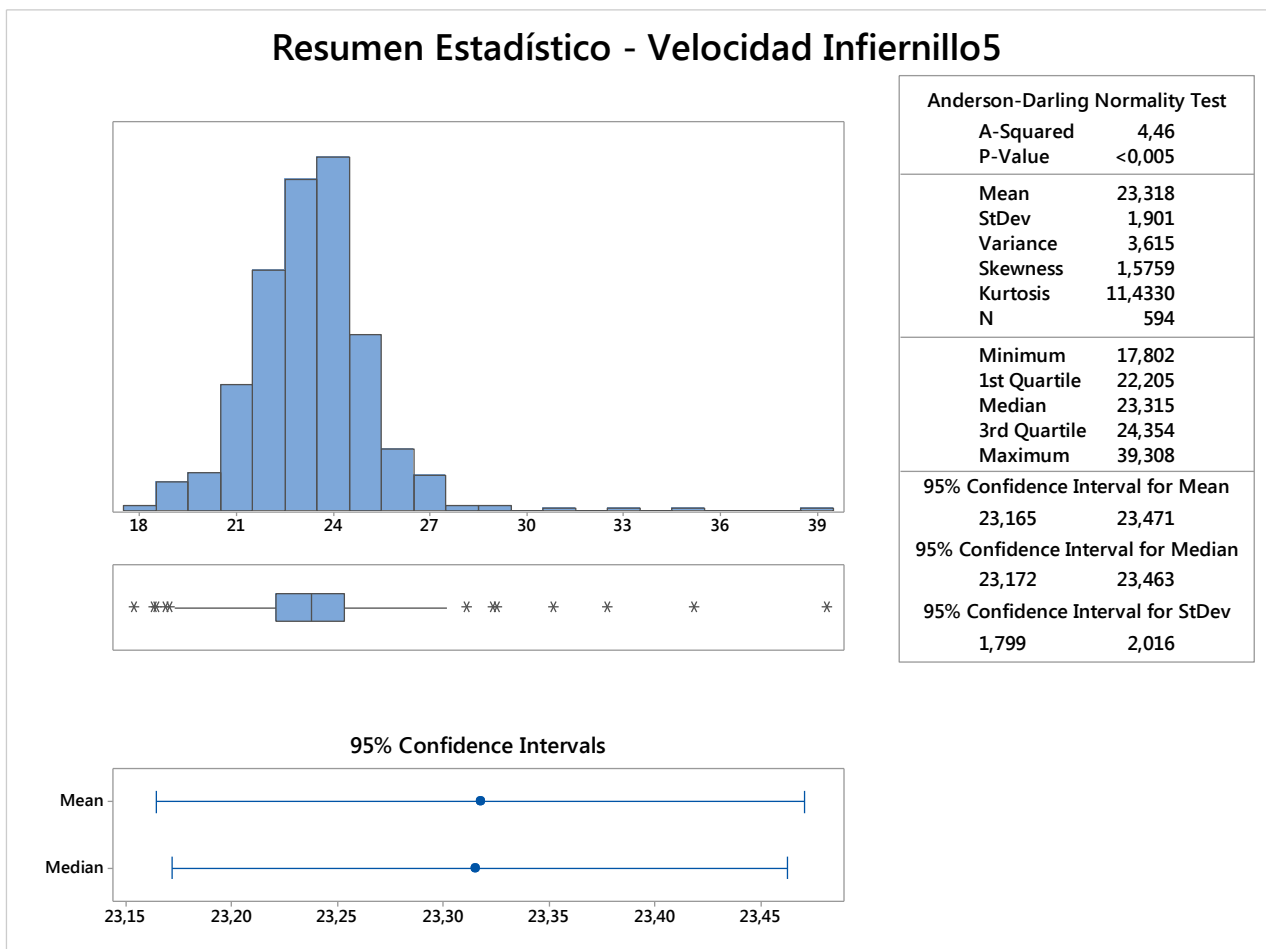


Gráfico 20: Resumen Estadístico – Velocidades Fase Infiernillo 5

De la gráfica se puede desprender que la velocidad media es 23.3 [km/h], con una desviación estándar de 1.9 [km/h], es decir, una variabilidad del 8.2%, la menor de las tres fases que se estudiaron. Además, para revisar el comportamiento del indicador durante el periodo estudiado, se realiza un gráfico de control que se puede observar en la siguiente figura:

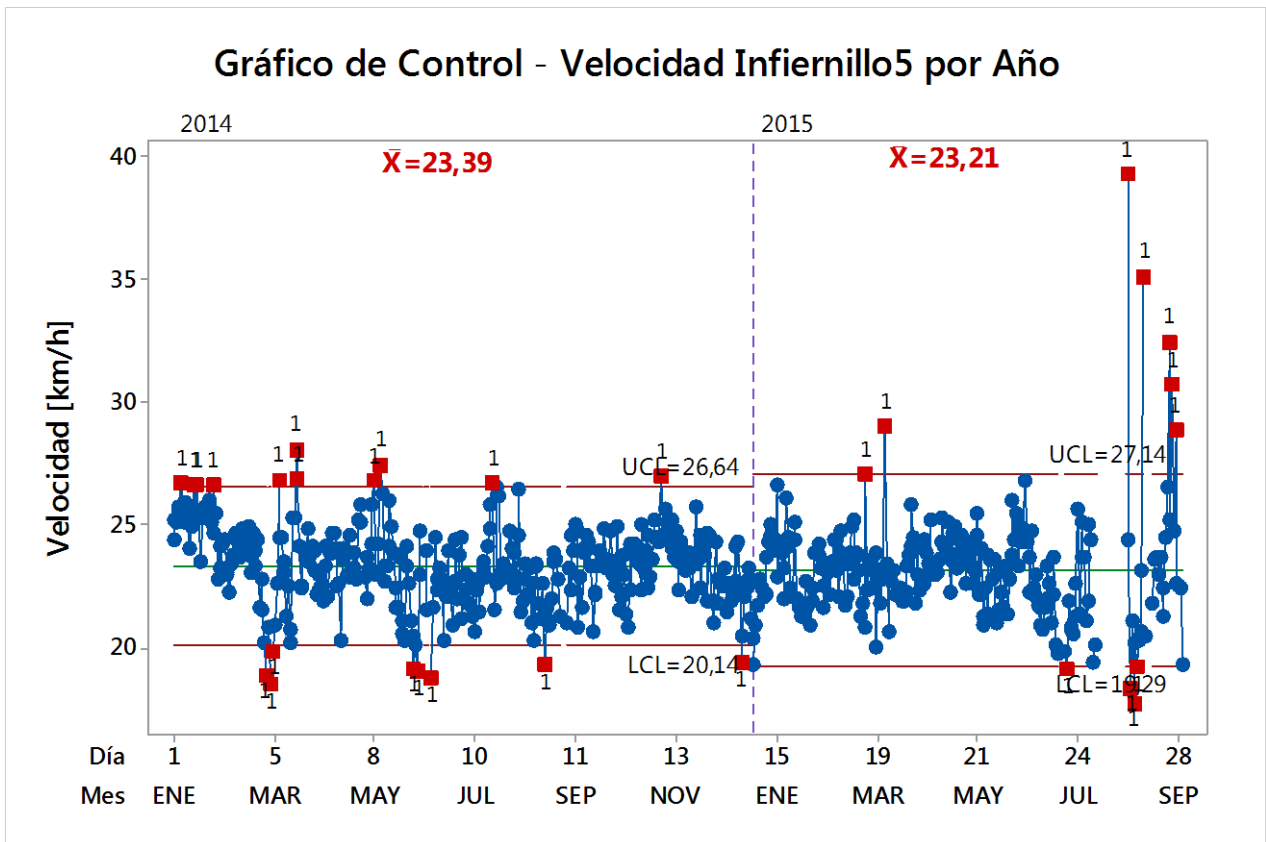


Gráfico 21: Control Chart para Velocidad Fase Infiernillo 5

Del gráfico de control anterior, se puede desprender que durante el año 2015 la velocidad tuvo una mayor variabilidad en comparación con el año 2014, además que la velocidad media en ambos años fue similar (diferencia de solamente 0.2 [km/h]). La variabilidad del 2015 se debe principalmente a que en el período Julio-Septiembre estuvo presente una fuerte condición climática adversa, en donde la fase estuvo incluso detenida por más de 20 días (observar la discontinuidad de los puntos en gráfico), y lo que afectó claramente en el desempeño general de la fase y lenta recuperación post-temporal, debido a la difícil labor de recuperación de pistas y gran cantidad de nieve (mayor a 3 metros en esta fase) que hubo que transportar.

4.3.2.4.4. Total Fases

Para revisar el comportamiento general de las velocidades, se realiza el estudio de velocidades de manera global en la mina, en donde se utiliza la data de todas las fases. El análisis estadístico se realiza a las velocidades diarias entre 2014 y 2015 con el objetivo de observar el comportamiento y distribución de velocidades en un histograma, además de revisar un intervalo de confianza para este indicador. El resumen estadístico se puede ver en el siguiente gráfico:

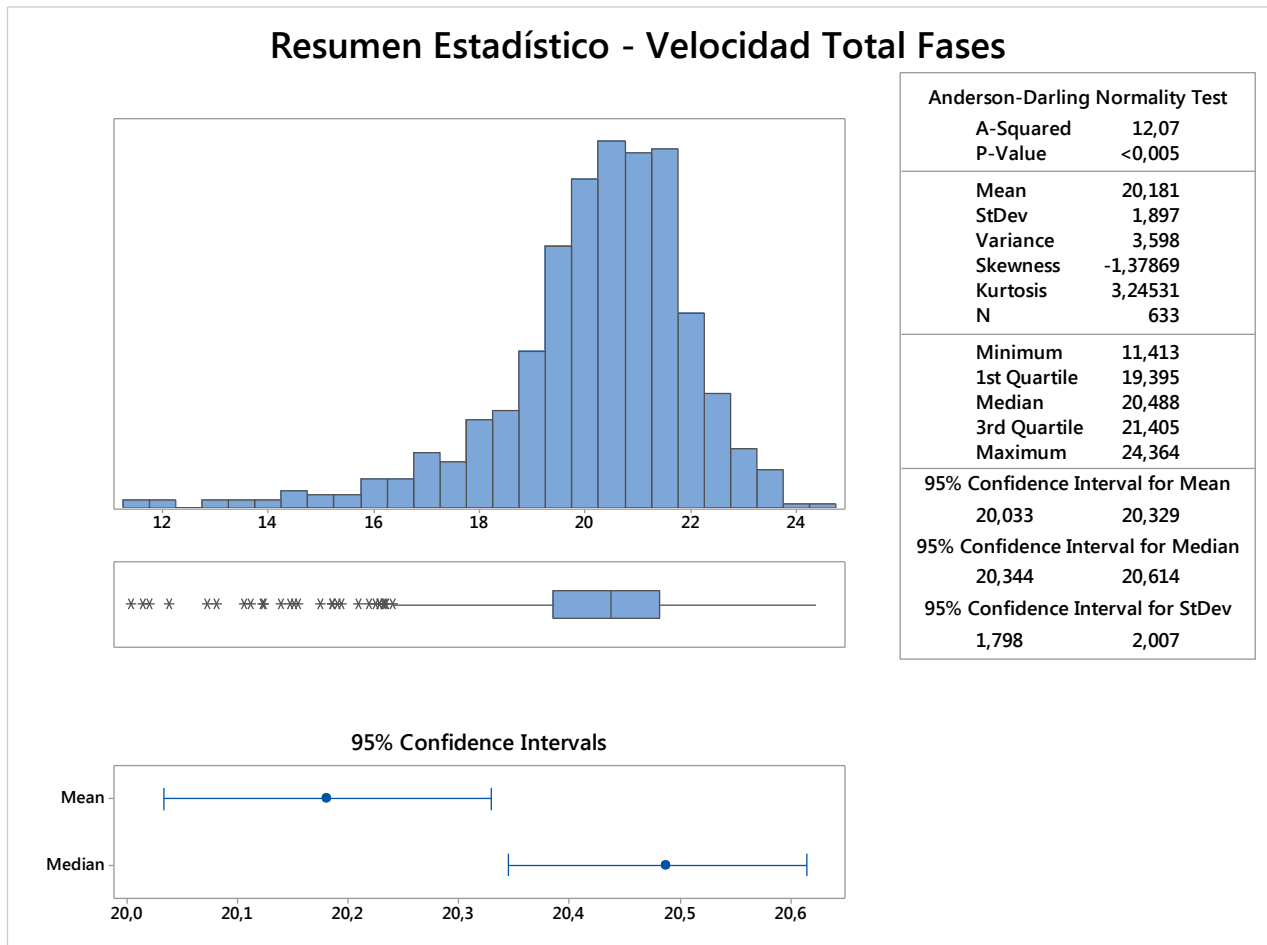


Gráfico 22: Resumen Estadístico – Velocidades Total Fases

De la gráfica anterior se puede desprender que la velocidad media para todas las fases es de 20.2[km/h], con una desviación estándar de 1.9 [km/h], es decir, una variabilidad del 9.4%.

Finalmente, para revisar el comportamiento del indicador durante el periodo estudiado, se realiza un gráfico de control que se puede observar en la siguiente figura:

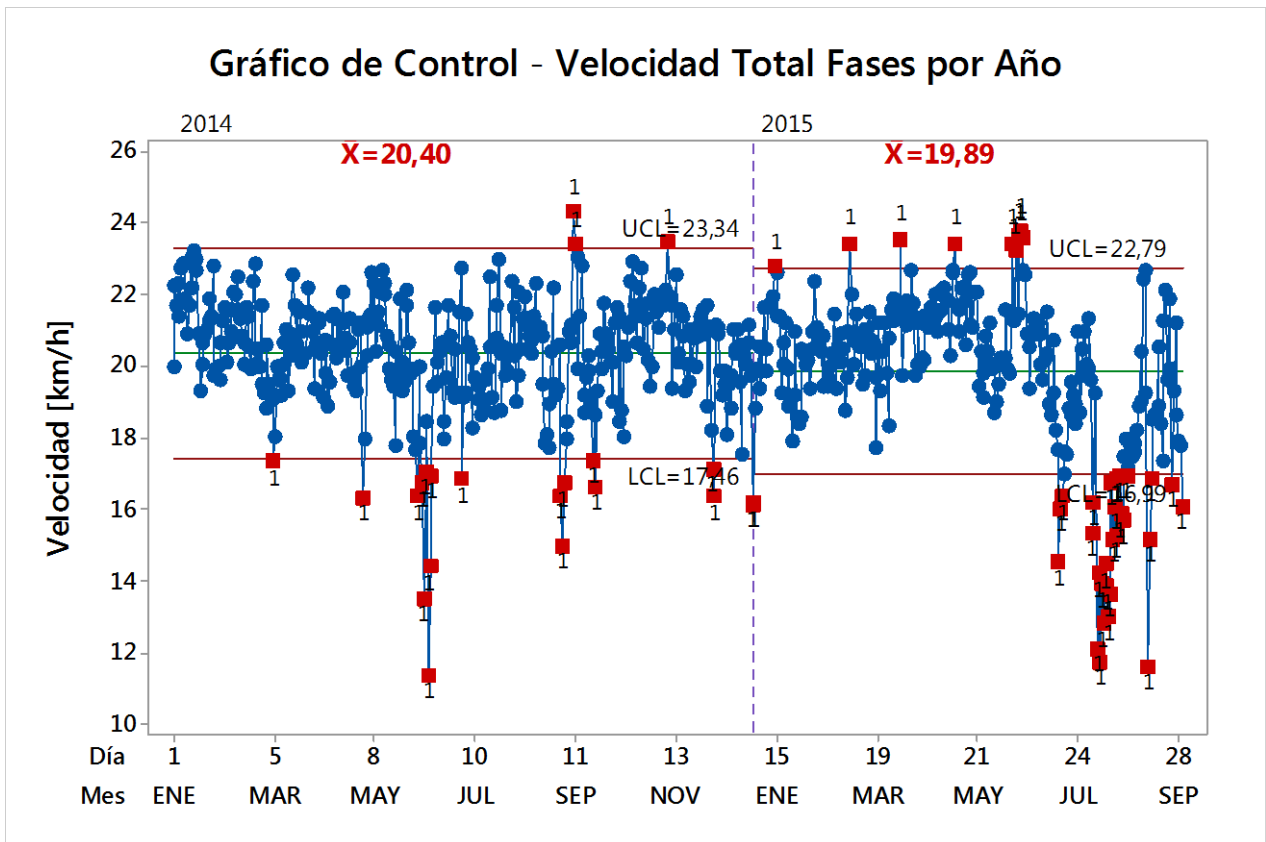


Gráfico 23: Control Chart para Velocidades Total Fases

Del gráfico de control anterior, se puede desprender que ambos años tuvieron una variabilidad similar (debido al efecto ponderador de las fases), y además que la velocidad media fue mayor en el año 2014 en comparación con el año 2015. Lo anterior se debe principalmente a las condiciones climáticas favorables que imperaron en el año 2014, a diferencia del año 2015 en donde se tuvo un invierno crudo y tardío (período Julio-Septiembre) en donde incluso se tuvo que detener las operaciones en la mina por seguridad, evento que no ocurría desde hace varios años. Esto último también explica la variabilidad que se observa en el gráfico durante ese período.

4.4. Diseño de Interfaz Computacional

El diseño de la interfaz para el programa computacional busca cumplir con dos objetivos, que sea simple e intuitiva. Esto último se debe a que el programa tiene como objetivo que cualquier persona (principalmente operadores e integrantes del Departamento de Capacitación Mina) sea capaz de utilizarlo, por lo que se necesita una interfaz sin gran complejidad y con la información justa y necesaria.

El programa utilizado para el procesamiento de datos y posterior visualización gráfica fue Qlikview®, un software de Business Intelligence (BI) y visualización/consolidación de datos, que cumple con las características anteriormente mencionadas. Según el fabricante, el objetivo de este software es proveer al usuario una plataforma que permita tomar decisiones mediante la visualización interactiva de datos, mediante gráficas y filtros dinámicos.

Una vez escogido el software, se comienza con el procesamiento de las bases de datos ya programadas en el lenguaje SQL, que exporta los datos de Dispatch según las condiciones atribuidas a cada KPI tras el estudio estadístico y análisis de datos (también contrastado con mediciones reales, según fue el caso). De esta manera, se realiza la exportación de bases de datos mediante el mismo software que es capaz de procesar archivos Excel (con extensión .xls/xlsx), formato en el que justamente se encuentran las BD programadas.

Tras la exportación de datos y generación de archivo madre para ser procesado por Qlikview, se comenzó a definir el display de la información para la visualización mediante la herramienta. Primero, se consultó sobre qué era lo más importante visualizar para cada KPI a los clientes principales de la herramienta, y la respuesta fue clara, se necesitaba una lista para filtrar por los nombres de operadores, tipo de equipo (flota camión y/o equipo de carguío), gráficos personalizados para cada operador y un gráfico que demuestre la tendencia global del KPI, de manera de poder tener un parámetro de comparación con la media real de todos los operadores. De esta manera, se propuso que la información de los gráficos fuera mostrada de manera mensual en la pantalla principal y que para observar con mayor detalle, al posicionarse sobre cualquier mes se pudiera ingresar para ver el detalle diario del mes en cuestión (solamente realizando un “doble click”). El gráfico con información global (todos los operadores) queda fijo, sólo el gráfico personalizado es el dinámico.

Luego de la generación de los diferentes paneles que componen la interfaz, que son dos gráficos más las pestañas con filtros (operadores, equipos y/o fases), se procede a generar un archivo ejecutable. Este archivo tiene la característica principal de que contiene toda la información necesaria para la ejecución de la herramienta, es decir, almacena todos los datos que fueron exportados previamente desde el Excel generado por la programación SQL y, además, muestra esta información de manera gráfica a través de la interfaz. Este archivo puede ser ejecutado sin necesidad de tener el software Qlikview instalado en el dispositivo computacional, lo que facilita notablemente la capacidad de compartir la información con el cliente objetivo.

Finalmente, se llega a un diseño que cumple con las expectativas señaladas al comienzo de esta sección, un software sencillo y de fácil utilización, con una interfaz sin demasiada sobrecarga e intuitiva para el usuario. En la siguiente figura, se muestra el diseño realizado para el KPI de tiempo de aculataamiento (o Spot Time, en inglés), donde se pueden observar las características indicadas anteriormente.

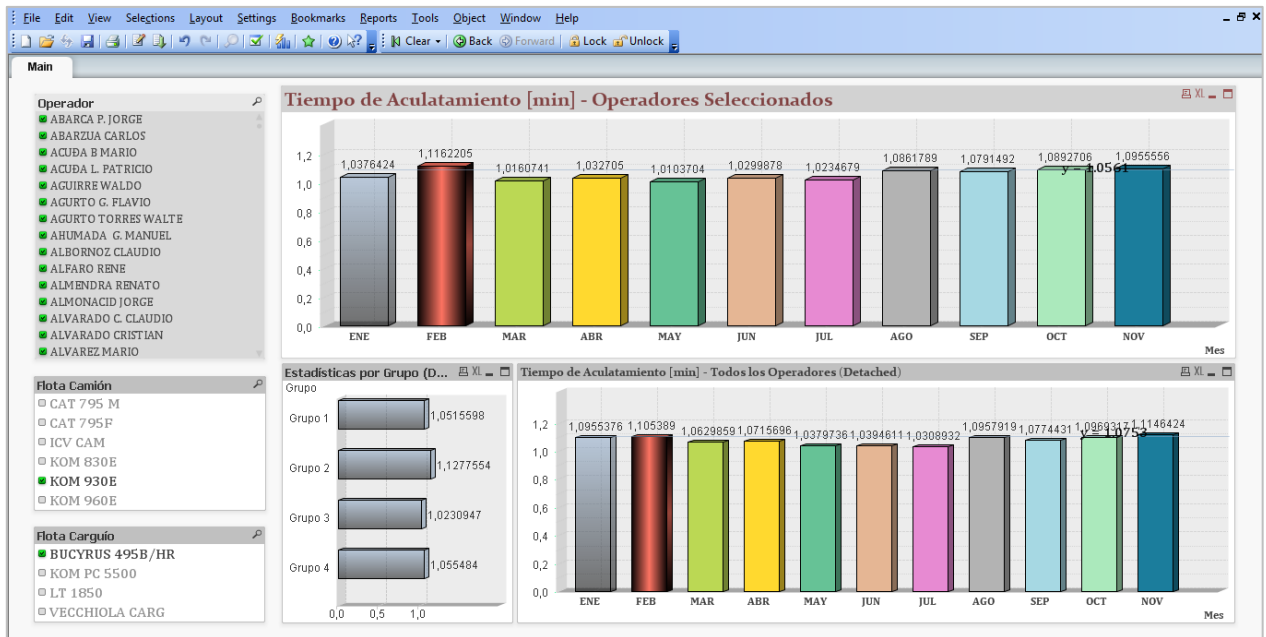


Figura 13: Interfaz computacional para tiempo de aculataamiento

En la figura se puede observar el diseño final de la interfaz gráfica de la herramienta, mostrada para el KPI de Tiempo de Aculataamiento. Al costado izquierdo se aprecian los filtros de nombres y tipos de equipos, mientras que a la derecha se encuentra la información relativa al (los) operador (es) escogido (s) y las estadísticas globales. En este caso se añadió un panel para ver el desempeño por grupo minero, sólo de manera demostrativa. Esta estadística se muestra de manera mensual (como se dijo anteriormente) y el detalle diario se puede ver al hacer doble click sobre cualquier mes.

Así, se obtuvo el diseño final de la herramienta computacional, que procesa los datos obtenidos directamente desde el despacho mina y que será utilizado por el departamento de capacitación para medir el desempeño de los operadores entrenados en terreno y para que estos mismos puedan tener un seguimiento de sus KPI.

4.5. Oportunidades del Trabajo

Durante el desarrollo del trabajo se fueron detectando varias oportunidades de mejora de la herramienta. Este software tiene la gran característica de ser modificable según requiera el cliente final, por lo que las ideas se pueden plasmar fácilmente en el diseño de la interfaz, de manera de generar una herramienta versátil y con gran alcance y capacidad de información.

Además, uno de los objetivos de este trabajo fue presentarlo a los principales clientes y supervisores de los procesos mina, actividad realizada y desde donde se obtuvieron variadas ideas de cómo focalizar la herramienta y mejorarla. Algunas de las menciones se encontraban fuera del alcance de este proyecto y se presentarán en esta sección del trabajo como oportunidades de mejora de la herramienta computacional desarrollada.

Las oportunidades de mejora del trabajo se enumeran y explican a continuación:

1. Incorporación de Palas Diésel y Cargadores frontales: este estudio se realizó sólo para palas eléctricas Bucyrus/CAT, en lo que respecta a equipos de carguío de Mina Los Bronces. Por lo anterior, es una buena oportunidad el realizar los mismos análisis que se hicieron para las palas eléctricas sobre los equipos diésel, de carguío secundario en la mina. Mientras a mayor información se tenga acceso, los procesos mineros serán más controlables.
Otro punto a favor de estos equipos es que en invierno es primordial tenerlos, sobre todo los cargadores frontales, que además de realizar trabajos de apoyo en la limpieza y habilitación de pistas, son los equipos que mantienen la alimentación desde stock a chancado.
2. Incorporación de flotas CAEX Komatsu 830E y Komatsu 960E: siguiendo el mismo concepto del punto anterior, es importante tener la información de todos los equipos de la mina para poder tener los procesos mineros más controlados. Es importante mencionar que la flota 830E está generalmente asignada a circuitos de stock a chancado, donde la distancia es notablemente menor y, por lo tanto, mantienen una alimentación constante a los chancadores.
3. Inclusión de indicadores principales para el proceso de Perforación y Tronadura: a la fecha hay una gran deuda con estos procesos, por parte del Despacho Mina e Ingeniería de Procesos, puesto que aún no se tiene la tecnología para poder medir en línea los rendimientos de perforadoras. Sin embargo, sí son capaces de medir otros indicadores como Disponibilidad, Uso y Horas Operativas, datos que siempre son importantes y que sería una oportunidad llevarlos al formato de esta herramienta, potenciando la capacidad de control por parte de la superintendencia de Perforación y Tronadura, y para realizar gestión sobre posibles desvíos en los indicadores principales del proceso.
4. KPI de equipos de apoyo (Superintendencia Servicios y Estándares Mina): Al igual que con Perforación y Tronadura, los principales indicadores que se reportan hoy en día son la Disponibilidad, Uso y Horas Operativas. A diferencia de los demás equipos,

no es posible medir el rendimiento de estos equipos (según sea su clasificación), por lo que la herramienta sería aplicable sólo a los tres indicadores mencionados. Estos equipos son vitales en el día a día de la operación mina, ya que permiten generar condiciones seguras para los procesos de carguío y transporte, además de realizar trabajos de plataformas para el proceso de Perforación y Tronadura. Además, estos equipos son de vital importancia en condiciones de invierno, ya que su correcta utilización permite recuperar las condiciones aptas para la operación segura en la mina tras frentes de mal tiempo, y en verano, como por ejemplo el caso de los aljibes, permiten el control de polvos y mejoran la condición de visibilidad en la mina.

5. KPI globales mina: al ser esta una herramienta tan dinámica, se podría implementar como un tablero de control (dashboard) de los principales procesos mina.
6. Herramienta para Grupos Mineros: la herramienta de control realizada en este trabajo se centró en los operadores. Sin embargo, sería muy importante y de ayuda para la superintendencia de Operaciones Mina tener un control de los Grupos Mineros, principalmente para el trabajo diario de jefes de turno mina y jefes generales de operación, donde podrían revisar los principales indicadores de los procesos mineros y realizar gestión sobre el performance de sus equipos (grupos).
7. Diseño de herramienta mediante otras aplicaciones computacionales de visualización (Business Intelligence): en la industria existen otras herramientas similares a Qlikview, que si bien son de un costo superior (económicamente), poseen mayor versatilidad en el manejo de información. Un ejemplo de esto es el Tableau Software®, aplicación que permite conexión directa con powerview (es decir, puede actualizar las bases de datos desde la misma herramienta, en línea) y posee la misma versatilidad de realizar filtros y gráficos dinámicos de control.
8. Almacenamiento de datos históricos para el seguimiento de KPI: muchas veces se necesitan bases de datos para poder comparar el valor de los indicadores. El problema ocurre cuando las consultas/queries requieren actualizar gran cantidad de información hacia atrás en el tiempo, ya que las bases de datos se vuelven demasiado grandes (en tamaño y cantidad de datos) y podrían colapsar. Es por esto, que sería una oportunidad el poder realizar una conexión directa con data histórica y que ésta no estuviera contenida en consultas a powerview, sino que sea un dato simple, es decir, un número fijo que esté contenido en otro archivo no modificable. Esta metodología agilizaría el proceso de importación de datos y fortalecería la capacidad de información de la herramienta.
9. Automatización de las bases de datos: básicamente sería transformar esta herramienta en una que sea capaz de revisar datos en línea, es decir, que esté directamente conectada a la base de datos del Despacho Mina mediante powerview. Por un tema de licencias, este enlace no se pudo realizar durante este trabajo de memoria, pero queda como desafío próximo el poder realizar este vínculo, de manera de automatizar la herramienta computacional desarrollada.

5. Conclusiones

La herramienta computacional diseñada proveerá al Departamento de Capacitación de Mina Los Bronces (parte de la Superintendencia Gestión 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 éxito que tuvo 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:

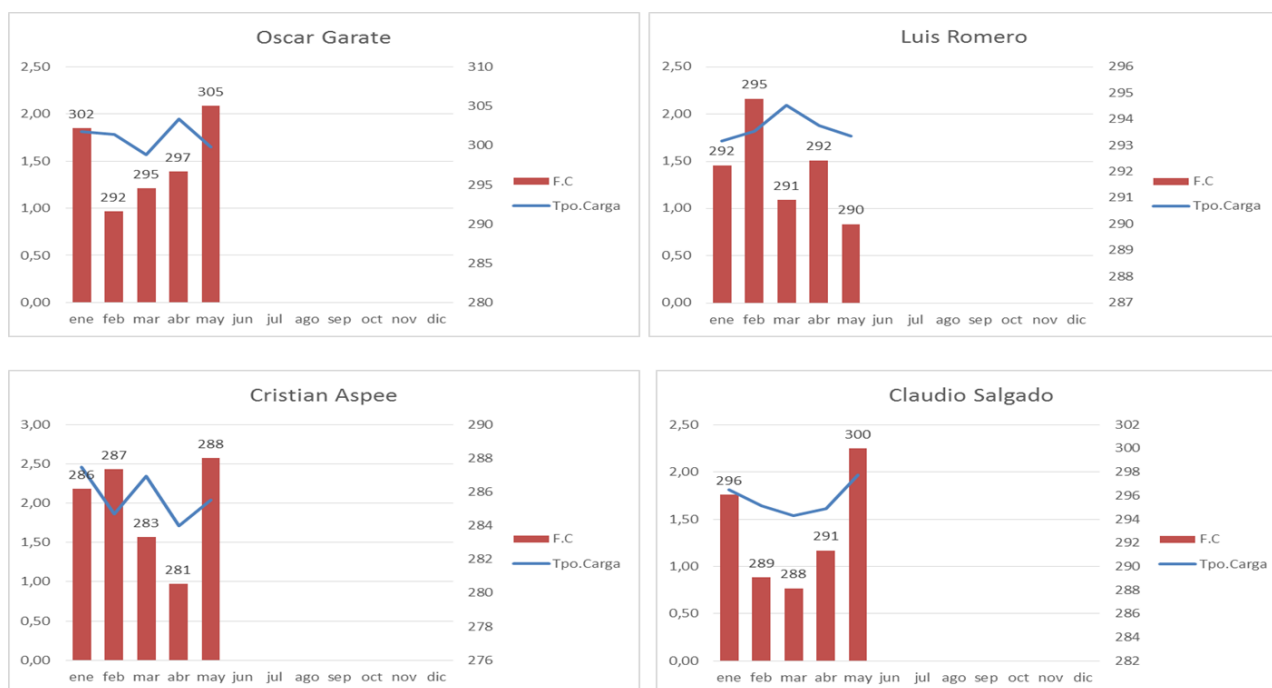


Gráfico 24: Productividad Operadores Carguío y Transporte

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]).

Por otra parte, el trabajo en conjunto con el equipo de la operación Los Bronces y profesores guías permitió establecer cuáles serían los indicadores de rendimiento más acordes para ser medidos y posteriormente analizados según fuera la especialidad del operador (en este caso, Carguío o Transporte), con el objetivo de establecer límites o rangos en los valores de éstos, para eliminar posibles outliers de las bases de datos que fueron programadas automáticamente. Así, las bases de datos utilizadas se encontrarán limpias y con información fidedigna, características primordiales y básicas enumeradas por diversos autores, que servirán para la medición periódica de los indicadores de procesos en pos de la mejora de la productividad en el largo plazo.

Este trabajo sentará bases para el desarrollo de futuras herramientas para el control de procesos, tanto para el Departamento de Capacitación así como para las distintas superintendencias de la Gerencia Mina, debido a la versatilidad de esta aplicación computacional, que permite controlar cualquier indicador previa correcta definición de rangos de estudio de éste. Por lo anterior, se cree que la herramienta se debe seguir potenciando y aplicando en otras áreas, con ingenieros especialistas que sean capaces de automatizar la herramienta y convertirla, además, en una aplicación en línea, que pueda ser utilizada en cualquier lugar y hora dependiendo de las condiciones de red. Esto último generará un control más eficiente del proceso, y si se educa al usuario sobre su funcionamiento, este último podrá empoderarse y buscar obtener mejores resultados en su proceso (en el caso de operadores, saber cómo es su performance, también uno de los objetivos de este trabajo), pero siempre haciendo hincapié en que la actitud y operación segura tiene que ir por sobre todo.

Finalmente, se destaca la importancia de mejorar la productividad bajo el actual escenario económico de la industria minera en Chile, donde dada la tendencia a la baja de este índice durante las últimas décadas se hace necesario un cambio radical en la manera de cómo enfrentar y revertir tendencia. Es por esto que se hace necesario generar un cambio desde la raíz del asunto, en el caso de la industria minera, desde los mismos operadores, donde es necesario que se empoderen sobre sus labores diarias y entiendan lo importante que es para la industria cada segundo que ganan en su viaje (en el caso de los operadores de camiones) o cada segundo que ganan cargando un camión (en el caso de los operadores de palas), sin dejar de lado el primer valor y más importante de un minero: la operación segura. Esta herramienta ayudará en la toma de decisiones, en la planificación y programación del trabajo del Departamento de Capacitación y, además, podrá ser utilizada por los mismos operadores para revisar su performance periódicamente y, en el caso ideal, solicitar apoyo de la unidad para poder mejorar, entrenar y enfrentar sus deficiencias, todo con el objetivo operar de una manera más eficiente y segura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Velimirovic D^{a*}, Velimirovic M^b, and Stankovic R^a. 2010. Role and Importance of Key Performance Indicators Measurement. ^aHigher School of Occupational Education, Zupana Stracimira 9, Cacak, Serbia ^bToyota Serbia, Zrenjaninski put 26, Belgrade, Serbia
2. Pesalj B. 2006. Enterprise Performance Measuring, Traditional and Nowadays Concepts. Faculty of Economy, Belgrade, Serbia. pp 15-16.
3. Stamatovic M, and Zakic N. 2010. Effects of the Global Economic Crisis on Small and Medium Enterprises in Serbia. Serbian Journal of Management. pp 151-162.
4. Lydenberg S, and Rogers J. 2010. Integrated Reporting and Key Performance Indicators.
5. Warren J. 2011. Key Performance Indicators (KPI) – Definition and Action: Integrating KPI into your Company’s Strategy. AT Internet Intelligence Systems.
6. Mejía A^a, Montoya A^a, and Vélez N^a. 2010. Estrategia Integral de Capacitación Orientada hacia la Innovación Tecnológica y el Mejoramiento Productivo en Pymes. 8th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. ^aUniversidad de San Buenaventura, Cali, Colombia.
7. Ibarra A. 2001. Formación de los Recursos Humanos y Competencia Laboral. Informe Seminario Internacional Gestión del Recurso Humano por Competencias: Las Competencias Laborales, pp 101.
8. Mertens L. 2002. Formación, Productividad y Competencia Laboral en las Organizaciones: Conceptos Metodologías y Experiencias. Revista: Trazos de la Formación, N°15 Oficina Internacional del Trabajo OIT – CINTERFOR, Montevideo, Uruguay, pp 7-30.
9. Mertens L. 1997. Competencia Laboral, Sistemas, Surgimiento y Modelos. Oficina Internacional del Trabajo OIT, CINTERFOR, Montevideo, Uruguay, pp1-50
10. Mertens L. 2009. Formación y Productividad. Guía SIMAPRO: Participar-Aprender-Innovar-Mejorar. Oficina Internacional del Trabajo OIT, CINTERFOR, Montevideo, Uruguay.
11. Silíceo A. 2004. Capacitación y Desarrollo del Personal. Cuarta Edición. Editorial Limusa. Capítulos 1-3
12. Castillo E, Verdugo S, Cantallopts J. 2014. Productividad en la Industria Minera en Chile. Comisión Chilena del Cobre. COCHILCO
13. Ernst & Young Global Limiten. 2014. Productividad en la Minería: Ahora viene la Parte Difícil, una Encuesta Global. Sustainable Minerals Institute SMI. The University of Queensland, Queensland, Australia.

14. Ernst & Young Global Limited. 2014. Productivity in Mining, a Case for Broad Transformation.
15. Anglo American. 2014. Modelo de Tiempo GTS 20 Anglo American.
16. Modular Mining Systems (MMS). 2013. Powerview-SQL Data Dictionary.

ANEXOS

	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 programado sobre el total del tiempo empleado para actividades de mantenimiento. Nota: La Mantenimiento Programado consideran las PMs, Inspecciones, Backlogs, Modificaciones y Continuidad de tareas.	$D200 / (D100 + D200)$
	Tiempo Medio entre todas las Detenciones	TMED	Es el tiempo promedio operativo del equipo que transcurre entre una detención y la siguiente.	$T300 / \text{Count (D000)}$
	Tiempo Medio entre Fallas	TMEF	Es el tiempo promedio operativo del equipo que transcurre entre una falla y la siguiente.	$T300 / \text{Count (D100)}$
	Tiempo Medio para Reparar Detenciones	TMPRD	Es el tiempo promedio detención del equipo empleado para reparar eventos que provocan la detención .	$D000 / \text{Count (D000)}$
	Tiempo Medio para Reparar Fallas	TMPRF	Es el tiempo promedio detención (por falla) del equipo empleado para reparar eventos que provocan la falla .	$D100 / \text{Count (D100)}$

Tabla 4: Descripción Indicadores Modelo Tiempo AngloAmerican

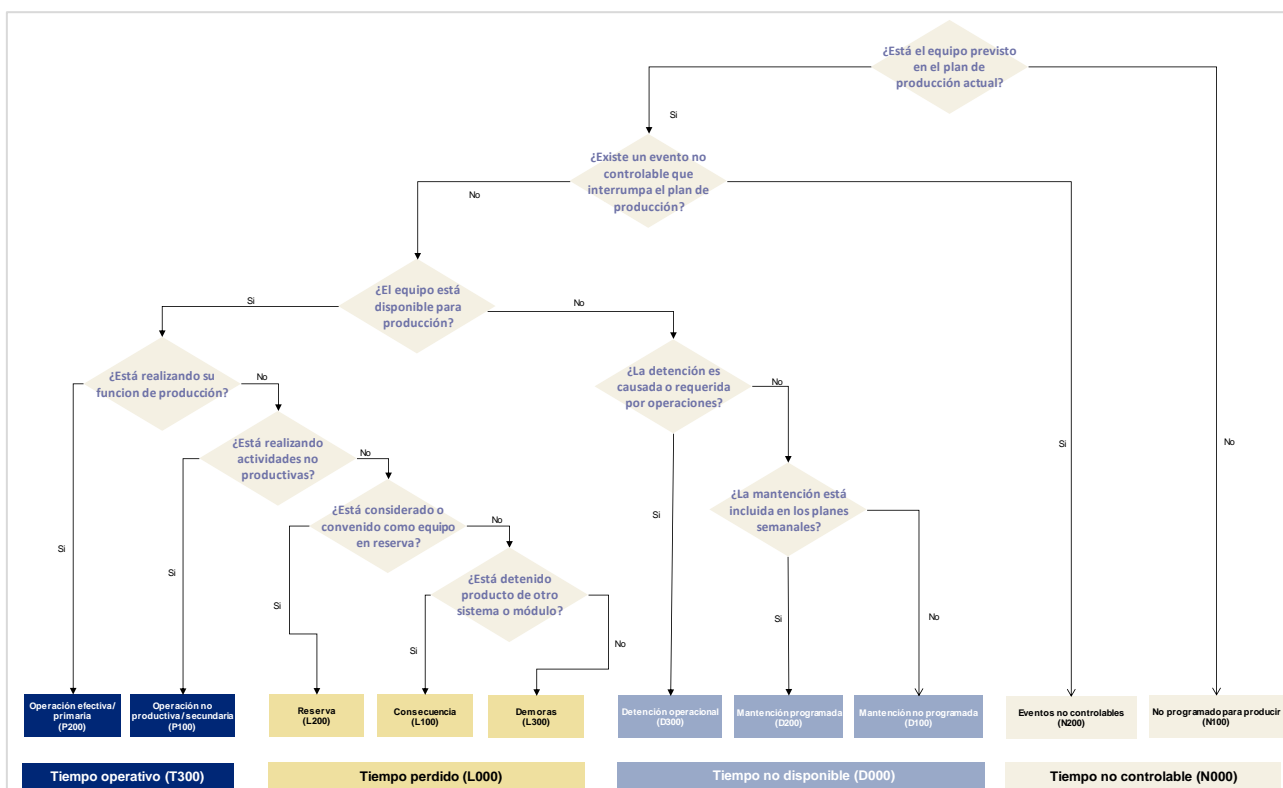


Figura 14: Flowsheet de decisiones para calificación de estados de Equipos - AA Time Model

hist_operlist			
Field Name	Field Description	Data Type	Relationship
shiftindex	Shift number	int	hist_exproot.shiftindex
chID	Client for which record is valid	int	Clients.chID
ddbkey	Unique identifier within this shiftindex	real	
operid	Operator ID	char	
name	Operator Name	char	

Tabla 5: SQL Hist_Operlist: Campos información Operadores

hist_dumps

Field Name	Field Description	Data Type	Relationship
shiftindex	Shift number	int	hist_exproot.shiftindex
cliID	Client for which record is valid	int	Clients.cliID
ddbkey	Unique identifier within this shiftindex	real	
truck	Truck Equipment ID	char	hist_eqmflist.eqmflid
loc	Dump Location ID	char	hist_locflist.locid
grade	Grade ID of material dumped	char	hist_gradeflist.gradeid
excav	Excavator Equipment ID	char	hist_eqmflist.eqmflid
blast	Dig Location ID	char	hist_locflist.locid
bay	Aux Bay Equipment ID	char	hist_eqmflist.eqmflid
loadrec	Link to NEXT Load record for this truck	real	hist_loads.ddbkey
measureton	Tonnage reported by on-board weigh system (if available)	real	
timearrive	Time of arrival at dump (in seconds since shift start)	real	
timedump	Time of arrival at dump (in seconds since shift start)	real	
timeempty	Time that dumping ended (in seconds since shift start)	real	
timedigest	Time load was digested (in seconds since shift start)	real	
calctravti	Expected travel time as computed by DISPATCH (in seconds)	real	
load	Material Type	real	enum_LOAD.enum
extraload	Flag indicating load was added through changeload utility	real	enum_BOOLEAN.enum
lift_up	total uphill lift (in feet or meters)	real	
lift_down	Total downhill lift (in feet or meters)	real	
liftdist_u	Total uphill distance traveled (in feet or meters)	real	
liftdist_d	Total downhill distance traveled (in feet or meters)	real	
dist	Total distance to dump (in feet or meters)	real	
efh	Equivalent flat haul distance (in feet or meters)	real	
loadtype	Indicates whether load was regular or trimmed	real	enum_LOADTYPE.enum
dumptions	True tonnage dumped, calculated by client.crcloadsize	real	
shiftlink	Deprecated field used to link shift dumps to database records	real	
dumpid	Dump serial number	real	
oper	Truck Operator ID	char	hist_operflist.operid
eoper	Excavator Operator ID	char	hist_operflist.operid
idletime	Time spent idle (queued) at dump (in seconds)	real	
loadnumber	Deprecated value	real	
dumpingtim	Time spent dumping load (in seconds)	real	

Tabla 6: Hist_Dumps: Campos relativos a descargas (CAEX)

hist_exproot

Field Name	Field Description	Data Type	Relationship
shiftdate	Date part of day on which shift took place	smalldatetime	hist_exproot.shiftindex
chID	Client for which record is valid	int	Clients.chID
ddbkey	Unique identifier within this shiftindex	real	
shiftindex	Unique numerical identifier for this shift	int	
name	Name of shift as seen in DISPATCH	char	
year	2-digit year in which shift took place	real	
month#	Month number in which shift took place	smallint	emum_MONTH.num
month	Name of month in which shift took place	char	emum_MONTH.num
day	Day of month in which shift took place	real	
shift#	Shift (day/night etc.) in which shift took place	smallint	emum_SHIFT.num
shift	Shift name (day/night etc.) in which shift took place	char	emum_SHIFT.name
date	Time shift started, in number of seconds since 0:00:00 1-JAN-1970	real	
start	Number of seconds from midnight of [shiftdate] at which the shift started. Can be negative to indicate shift started before midnight.	real	
crew#	Crew that worked this shift	smallint	emum_CREW.num
crew	Crew name that worked this shift	char	emum_CREW.name
len	Length of shift (in seconds)	real	
disptime	Amount of time into this shift; for the current shift, the number of seconds since shift start; for a historical shift, should be equal to [len]	real	
holiday	Flag indicating that this shift fell on a holiday	real	
ddmmyy	Text representation of shift date DD-MM-YY	char	
finyear	The financial year in which the shift took place	real	
finquarter	The financial quarter in which the shift took place	real	
finmonth	The financial month in which the shift took place	real	
finweek	The financial week in which the shift took place	real	

Tabla 7: Hist_Exproot: Información Fechas/Horas para Programación Query

hist_loads

Field Name	Field Description	Data Type	Relationship
shiftindex	Shift number	int	hist_exproot.shiftindex
cliID	Client for which record is valid	int	Clients.cliID
ddbkey	Unique identifier within this shiftindex	real	
truck	Truck Equipment ID	char	hist_eqmflist.eqmflid
excav	Shovel Equipment ID	char	hist_eqmflist.eqmflid
grade	Grade ID for material hauled	char	hist_gradelist.gradeid
loc	Load Location ID	char	hist_loclist.locid
dumprec	Link to hist_dumps record for this load	real	hist_dumps.ddbkey
measureton	Tonnage reported by truck's weigh system	real	
timearrive	Time truck arrived at shovel (in seconds since shift start)	real	
timeload	Time of first bucket loaded by shovel (in seconds since shift start)	real	
timefull	Time truck was kicked out by shovel (in seconds since shift start)	real	
ctrteh	Expected travel time to excav (in seconds)	real	
ctrtfh	Expected travel time to dump (in seconds)	real	
atrtteh	Actual travel time to excav (in seconds)	real	
atrtfh	Actual travel time to dump (in seconds)	real	
load	Material Type	real	emum_LOAD.mmm
extraload	Flag indicating load was created by the changeload/shiftedit utility	real	
lift_up	Total uphill lift (in feet or meters)	real	
lift_down	Total downhill lift (in feet or meters)	real	
liftdist_u	Total uphill distance traveled (in feet or meters)	real	
liftdist_d	Total downhill distance traveled (in feet or meters)	real	
disteh	Total distance to the excav empty haul (in feet or meters)	real	
distfh	Total distance to the dump full haul (in feet or meters)	real	
efteh	Equivalent empty flat haul distance to excav (in feet or meters)	real	
eftfh	Equivalent full flat haul distance to dump (in feet or meters)	real	
loadtype	Indicates whether load was trammed or not	real	emum_LOADTYPE.mmm
loadtons	True tonnage loaded; calculated by DISPATCH client.ccliloadsize	real	
shifflink	Deprecated value used to link to shift loads database	real	
oper	Truck Operator ID	char	hist_operlist.operid
eoper	Shovel Operator ID	char	hist_operlist.operid
beginspot	Time at which truck began spotting at excav (in seconds since shift start)	real	
queuetime	Amount of ready time truck spent queued at shovel (in seconds)	real	
spottime	Amount of ready time truck spent spotting at shovel (in seconds)	real	
loadingtim	Amount of ready time truck spent loading at shovel (in seconds)	real	
fullhaul	Amount of ready time truck spent hauling to dump (in seconds)	real	
dumpstime	Amount of ready time truck spent at dump (in seconds); equal to hist_dumps.idletime +	real	

Tabla 8: Hist_loads: Campos relativos a cargas (Palas)

ACULATAMIENTO						
DÍA	10-11-2015			DÍA	10-11-2015	
HORA INICIO	10:15			HORA INICIO	13:20	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	69	-		1	62	-
2	66	-		2	63	-
3	62	-		3	70	-
4	59	-		4	58	-
5	60	-		5	62	-
6	71	-		6	66	-
7	74	-		7	54	-
8	66	-		8	62	-
9	63	-		9	60	-
10	67	-		10	66	-
11	61	-		11	71	-
12	65	-		12	66	-
13	71	DETENCIÓN PALA PARA REVISIÓN (12 MIN)		13	68	-
14	73	-		14	60	-
15	64	-				
16	60	-				
17	66	-				

CARGUÍO						
DÍA	10-11-2015			DÍA	10-11-2015	
HORA INICIO	10:15			HORA INICIO	13:20	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	107	KOM930		1	110	KOM930
2	105	KOM930		2	115	KOM930
3	100	KOM930		3	109	KOM930
4	110	KOM930		4	110	KOM930
5	108	KOM930		5	121	KOM930
6	99	KOM930		6	118	KOM930
7	111	KOM930		7	104	KOM930
8	107	KOM930		8	108	KOM930
9	109	KOM930		9	118	KOM930
10	142	KOM960		10	122	KOM930
11	112	KOM930		11	125	KOM930
12	110	KOM930		12	108	KOM930
13	122	KOM930 - DETENCIÓN PALA 12 MIN		13	115	KOM930
14	115	KOM930		14	117	KOM930
15	120	KOM930				
16	118	KOM930				
17	116	KOM930				

Tabla 9: Medición Tiempos Fijos – 10 de Noviembre 2015

ACULATAMIENTO						
DÍA	11-11-2015			DÍA	11-11-2015	
HORA INICIO	9:35			HORA INICIO	12:55	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	71	-		1	63	-
2	68	-		2	59	-
3	75	-		3	65	-
4	64	-		4	68	-
5	65	-		5	65	-
6	68	-		6	68	-
7	61	-		7	72	-
8	72	-		8	67	-
9	64	-		9	73	-
10	66	-		10	71	-
11	63	-		11	64	-
12	70	-		12	72	-
13	66	-		13	70	-
14	66	-		14	64	-
15	61	-		15	67	-
16	59	-		16	71	-
17	70	-				
18	68	-				
19	62	-				
20	66	-				
21	63	-				

CARGUÍO						
DÍA	11-11-2015			DÍA	11-11-2015	
HORA INICIO	9:35			HORA INICIO	12:55	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	105	KOM930		1	112	KOM930
2	108	KOM930		2	108	KOM930
3	109	KOM930		3	120	KOM930
4	115	KOM930		4	104	KOM930
5	113	KOM930		5	116	KOM930
6	111	KOM930		6	108	KOM930
7	113	KOM930		7	110	KOM930
8	108	KOM930		8	115	KOM930
9	116	KOM930		9	107	KOM930
10	129	KOM930		10	111	KOM930
11	118	KOM930		11	115	KOM930
12	109	KOM930		12	113	KOM930
13	112	KOM930		13	121	KOM930
14	120	KOM930		14	125	KOM930
15	109	KOM930		15	110	KOM930
16	104	KOM930		16	105	KOM930
17	112	KOM930				
18	122	KOM930				
19	118	KOM930				
20	109	KOM930				
21	105	KOM930				

Tabla 10: Medición Tiempos Fijos – 11 de Noviembre 2015

ACULATAMIENTO						
DÍA	16-11-2015			DÍA	16-11-2015	
HORA INICIO	9:20			HORA INICIO	13:30	
PALA	10			PALA	10	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	59	-		1	70	-
2	56	-		2	69	-
3	71	-		3	75	-
4	75	-		4	65	-
5	77	-		5	75	-
6	60	-		6	63	-
7	61	-		7	64	-
8	71	-		8	66	-
9	73	-		9	70	-
10	69	-		10	58	-
11	59	-		11	59	-
12	65	-		12	58	-
13	75	-		13	68	-
14	70	-		14	63	-
15	64	-		15	68	-
16	70	-		16	66	-
17	62	-		17	69	-
18	76	-				
19	64	-				
CARGUÍO						
DÍA	16-11-2015			DÍA	16-11-2015	
HORA INICIO	9:20			HORA INICIO	13:30	
PALA	10			PALA	10	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	110	KOM930		1	109	KOM930
2	104	KOM930		2	105	KOM930
3	108	KOM930		3	113	KOM930
4	105	KOM930		4	116	KOM930
5	113	KOM930		5	114	KOM930
6	120	KOM930		6	128	KOM930
7	115	KOM930		7	122	KOM930
8	107	KOM930		8	124	KOM930
9	121	KOM930		9	105	KOM930
10	123	KOM930		10	109	KOM930
11	116	KOM930		11	105	KOM930
12	109	KOM930		12	113	KOM930
13	105	KOM930		13	112	KOM930
14	117	KOM930		14	121	KOM930
15	112	KOM930		15	109	KOM930
16	109	KOM930		16	111	KOM930
17	113	KOM930		17	116	KOM930
18	108	KOM930				
19	115	KOM930				

Tabla 11: Medición Tiempos Fijos – 16 de Noviembre 2015

ACULATAMIENTO						
DÍA	17-11-2015			DÍA	17-11-2015	
HORA INICIO	9:50			HORA INICIO	13:20	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	66	-		1	57	-
2	64	-		2	66	-
3	70	-		3	63	-
4	59	-		4	58	-
5	63	-		5	66	-
6	71	-		6	59	-
7	73	-		7	68	-
8	70	-		8	65	-
9	58	-		9	68	-
10	62	-		10	63	-
11	57	-		11	56	-
12	63	-		12	64	-
13	66	-		13	66	-
14	52	-		14	62	-
15	59	-		15	70	-
16	63	-				
17	63	-				

CARGUÍO						
DÍA	17-11-2015			DÍA	17-11-2015	
HORA INICIO	9:50			HORA INICIO	13:20	
PALA	8			PALA	8	
MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS		MEDICIÓN	TIEMPO [s]	COMENTARIOS
1	102	KOM930		1	106	KOM930
2	110	KOM930		2	118	KOM930
3	107	KOM930		3	114	KOM930
4	115	KOM930		4	103	KOM930
5	123	KOM930		5	120	KOM930
6	115	KOM930		6	114	KOM930
7	120	KOM930		7	108	KOM930
8	109	KOM930		8	110	KOM930
9	105	KOM930		9	107	KOM930
10	120	KOM930		10	121	KOM930
11	116	KOM930		11	116	KOM930
12	111	KOM930		12	118	KOM930
13	108	KOM930		13	106	KOM930
14	118	KOM930		14	112	KOM930
15	124	KOM930		15	105	KOM930
16	109	KOM930				
17	107	KOM930				

Tabla 12: Medición Tiempos Fijos – 17 de Noviembre 2015