



RRM CONSULTORES
RECURSOS Y RESERVAS MINERAS

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE

Productividades, rendimientos, índices operacionales, requerimientos de equipos

Septiembre 2021

EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN PLANES MINEROS y ESTRATEGIAS OPERACIONALES

Mejoramiento Continuo - Forecast – Budget – LOM

El Problema

Todas las operaciones generan PLANES MINEROS, anualmente, los cuales DIVERGEN con el MOVIMIENTO REAL a fin de cada años o quinquenio.

La Solución

ANTICIPADAMENTE, PREDECIR las diferencias y explicar sus razones, de esta forma realizar los AJUSTES o tomar MEDIDAS DE MITIGACIÓN que permitan ALCANZAR las METAS PRODUCTIVAS

La Propuesta

Hemos desarrollado un algoritmo de simulación, lo hemos aplicado en operaciones y proyectos con excelentes resultados

Queremos apoyarlo a llevar su Planificación Minera al MÍNIMO RIESGO Y MÁXIMO CUMPLIMIENTO

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



Presentación de objetivos y análisis

EVALUAR Y VALIDAR

- Los requerimientos de horas operativas de equipos de forma que se logre cumplir los planes mineros (planes)
- Los requerimientos de equipos operativos para cumplir con los planes
- Que los planes de extracción de mineral y su posterior envío a planta se puedan cumplir
- Que los planes de desarrollo, avances de extracción de estéril, se puedan cumplir
- Los rendimientos operativos y efectivos de los equipos de carguío y de los camiones asociados a ellos

Presentación de objetivos y análisis

EVALUAR Y VALIDAR

- Los índices operacionales de los equipos de carguío y transporte considerando las perdidas operacionales no programadas tomadas como resultado del proceso
- El impacto productivo de “rampas alternativas” de acceso e interior mina
- La capacidad máxima de carguío por saturación de equipos, máxima producción
- El requerimiento de equipos adicionales y definir el ¿Cuándo?, lo anterior para elaborar un plan adquisiciones o arriendo
- Identificar ajustes a los requerimientos de equipos presupuestados

Presentación de objetivos y análisis

EVALUAR Y VALIDAR

- Los compromisos de movimientos de los planes como son Forecast, Budget y LOM
- Los impactos de ajustes de diseños mina
- Las zonas de alta congestión
- El match de equipos carguío/transporte
- E Identificar impactos de producción de los cuellos de botella y sus medidas de mitigación (puntos de vaciado chancador, restricciones operacionales de stockpile o botaderos, entre otros)
- La productividad instantánea de la flota de transporte acarreo en estado de régimen
- El sistema de manejo de materiales (estudios especiales)

PRODUCTOS: Resultados Operacionales de Carguío

Comparación Plan Minero Referencial

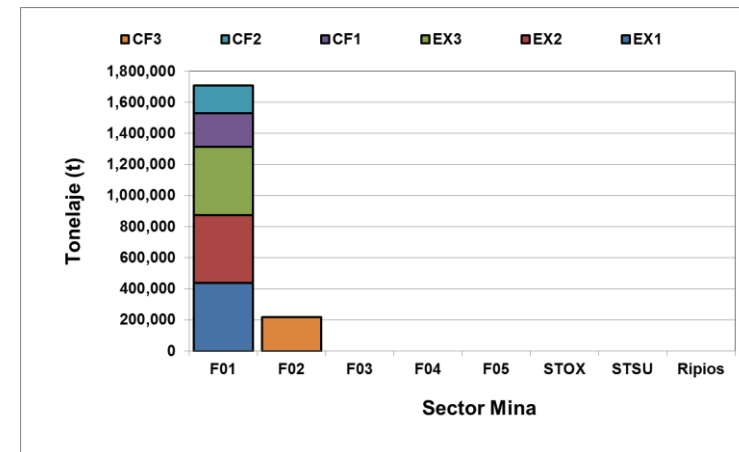
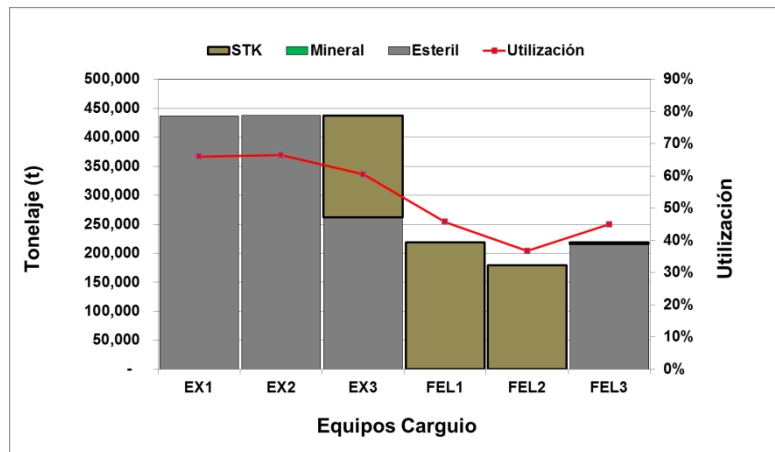
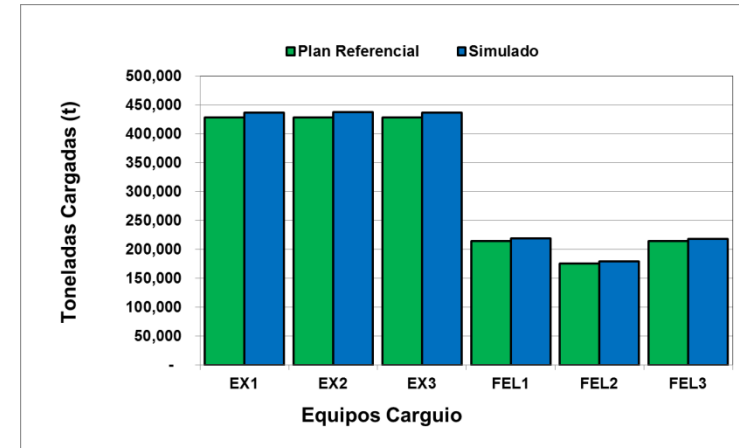
Definiendo y usando una flota fija, de camiones operativos a estudiar, se realizan corridas a futuro y se consigue el plan de movimiento global simulado, en periodos de tiempo de turno, diario, semanal, mensual o anual, la tabla muestra el movimiento semanal para seis equipos de carguío. La utilización corresponde a cociente entre el tiempo efectivamente cargando dividido por la suma de los tiempos cargando y ocioso. Se observa que hay un diferencial entre el Plan Referencial y la productividad simulada. Es importante mencionar que a mayor extensión de los periodos a simular mayor tiempo toma el proceso de simulación

Base 15 Camiones Operativos										
Pala	Equipo	Cargando min	Ociosa min	Mineral t	STK t	Esteril t	Simulado t	Plan Referencial t	Disponibilidad	Utilización
1	EX1	4,861	3,507	-	-	437,105	437,105	428,660	88%	66%
2	EX2	4,904	3,485	-	-	437,493	437,493	428,660	88%	66%
3	EX3	4,515	3,962	-	175,309	261,781	437,090	428,660	88%	61%
4	FEL1	3,543	5,269	-	219,296	-	219,296	214,330	88%	46%
5	FEL2	2,884	6,043	-	178,929	-	178,929	175,361	88%	37%
6	FEL3	3,521	5,370	-	2,447	216,199	218,646	214,330	88%	45%
				-	575,981	1,352,578	1,928,559	1,890,000		
Ripios Total							1,928,559	1,890,000		
Diferencial								2.04%		

PRODUCTOS: Resultados Operacionales de Carguío

Comparación Plan Minero Referencial

- El gráfico superior muestra una comparación entre los movimientos planificados y los simulados, verde y azul respectivamente, se puede observar que el proceso de simulación pronostica que en las condiciones operacionales simuladas se debería superar los requerimientos establecidos en el plan
- El gráfico inferior izquierdo muestra la proporción de materiales cargados por cada pala y su impacto en la utilización respectiva (simulado). Cada equipo tiene identificado el tipo de material cargado.
- Por último en el gráfico inferior a la derecha se presentan los equipos de carguío relacionados con los diferentes sectores de extracción, están claramente identificados los sectores extracción.



RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

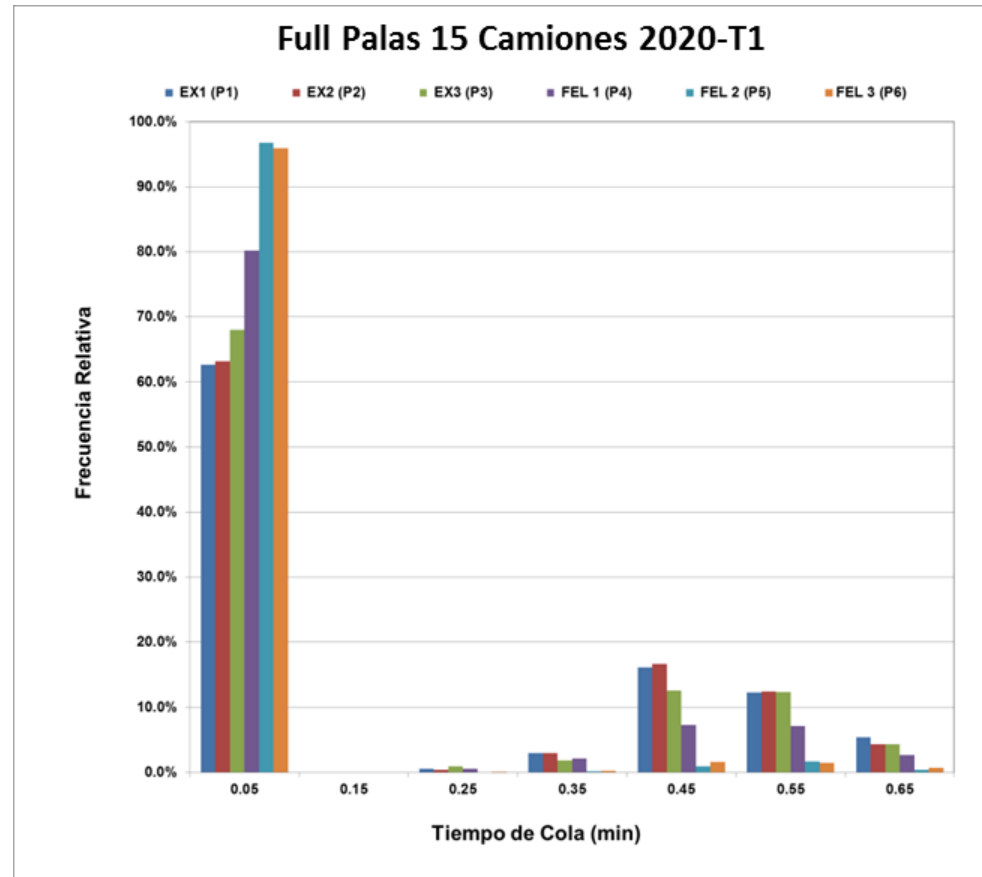
www.rrmconsultores.cl



PRODUCTOS: Análisis de esperas en los equipos de carguío

En el gráfico se muestra el comportamiento de las colas en los equipos de carguío, se observa que en general, para el periodo en estudio los eventos de espera en cola por palas hidráulicas “EXs” son menores a un 40%, dado que los eventos sin cola están entorno a un 60%. Las columnas a la izquierda del gráfico corresponden a los eventos de camiones que llegan a la pala y no encuentran colas.

El rendimiento global podría mejorarse aplicando este tipo de análisis donde se pueden estudiar las medidas de mitigación.



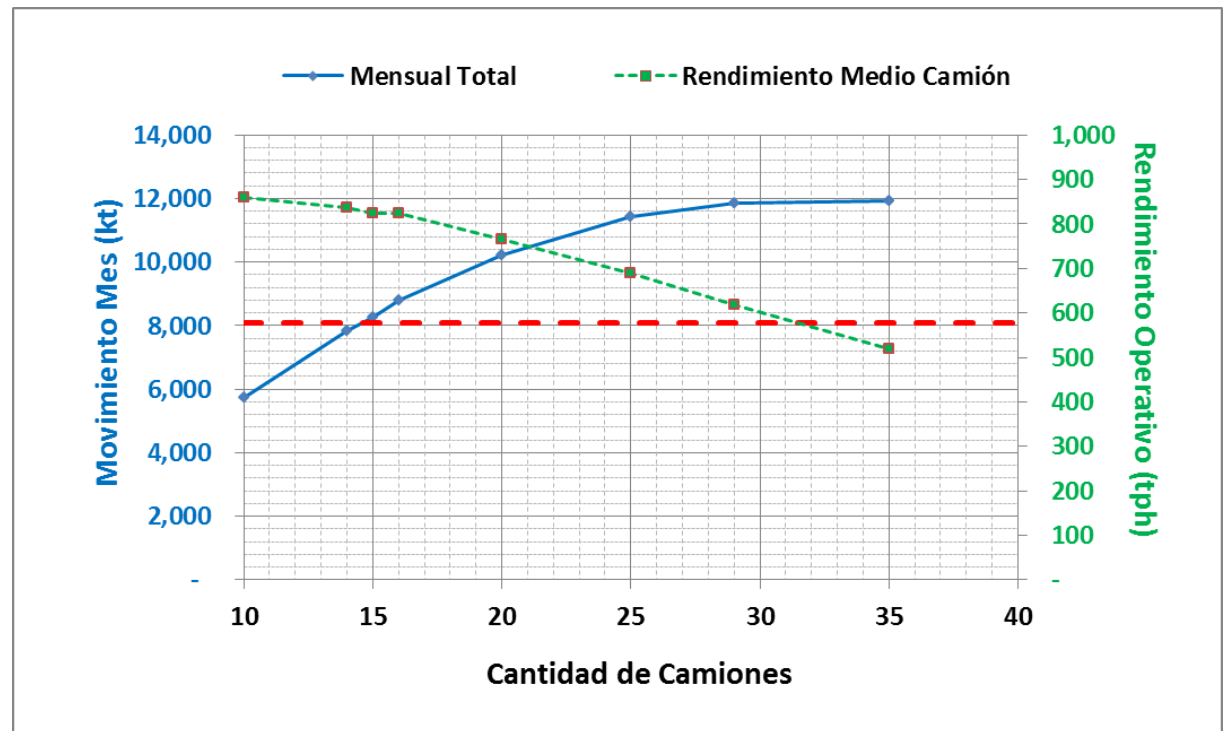
PRODUCTOS: Análisis de Resultados Saturación de Palas

Productividades flota y rendimientos camiones

Se estudia el impacto del incremento de la flota de camiones en la productividad y los rendimientos individuales de ellos. El gráfico presenta en línea azul la productividad mensual, que al compararse con la línea roja (Movimiento Referencial Total), se puede inferir que con quince camiones se consigue pasar el plan línea segmentada roja. Luego todas las unidades adicionales incrementan la productividad pero con una merma constante de los rendimientos individuales de los camiones (línea verde)

Se observa que a partir de un tamaño de 25 camiones no existen aportes significantes en la productividad. Esto se debe a que se ha alcanzado la capacidad máxima de carguío

Análisis sobre el diseño operacional del rajo, con velocidades y pendientes variables en todos los tramos de las rutas integradas incluyendo puntos de carguío y vaciado

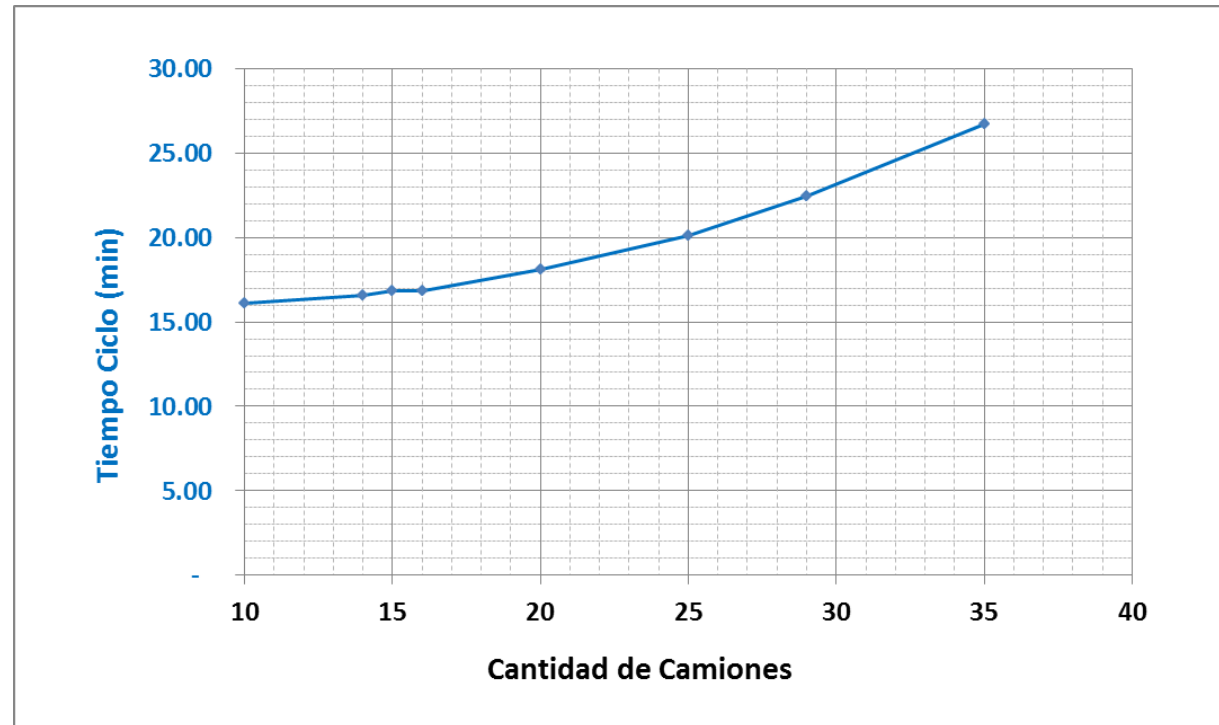


PRODUCTOS: Análisis de Resultados Saturación de Palas

Tiempos de ciclo con incremento de flota

Respecto de los tiempos de ciclo de los camiones, se puede observar que a medida que se incrementa el número de camiones los ciclos de transporte aumentan, ver el gráfico. Esto se debe fundamentalmente a un crecimiento relativo de las demoras no programadas en los tiempos de ciclo individuales de los camiones, específicamente las esperas.

Para el caso de estudio, los registros productos de la simulación permiten estimar que las horas operativas por día son 21.37 h en los cuales se cargan entorno de 1,060 camiones en una Fase Operativa, lo que implica una tasa de tránsito de 49.5 camiones por hora operativa como salida de la fase. Habiendo cinco equipos de carguío en la fase este número parece razonable dado que requiere una tasa de carga de 10 camiones por pala o cargador, uno cada 6 min.



¿Sabe usted si ocurre esto es su operación?

¿Qué impacto tiene en su costo operacional?

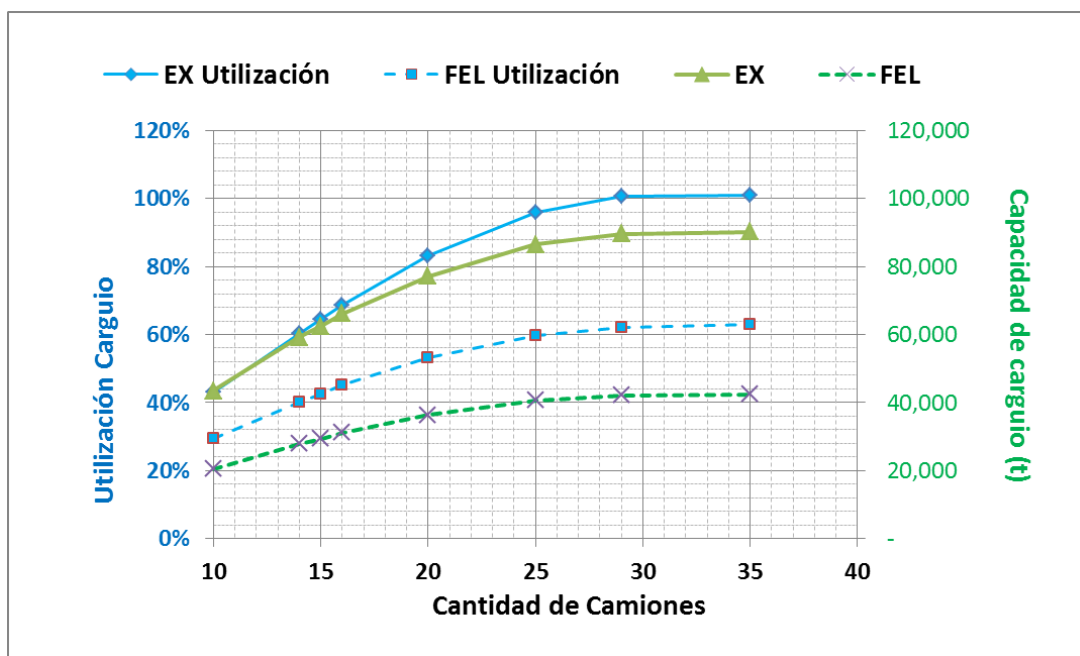
PRODUCTOS: Análisis de Resultados Saturación de Palas

Rendimiento y utilización de equipos de carguío

Los rendimientos y la utilización de los equipos son determinados sobre la base de horas disponibles, por lo que una utilización del 80% se interpreta como: “el 80% de las horas disponibles el equipo estuvo cargando”, ver líneas azules del gráfico, donde los tiempos son capturados directamente de la simulación ya sea como flota o por equipo. Los rendimientos están asociados directamente al tamaño de la flota de camiones, pero que alcanzan un peak en 25 unidades, donde se esta próximo a una utilización del 100% (saturación de palas).

La utilización media de las palas hidráulicas “Exs” requerida para cumplir el plan referencial es de 64%, que parece razonable y ajustado a valores esperados en la operación.

Los cargadores frontales siempre tienen una menor “utilización de movimiento” dado que ellos cumplen un doble rol, uno productivo y otro de seguridad (remate y apertura de bancos). Los tiempos programados deben permitir ambas actividades. El valor medio de utilización, productiva, asociados a 15 camiones operativos es de 42%, lo que permite que el equipo pueda ser utilizado en otras labores.



Respecto de los diseños asociados a sus planes, ¿sabe usted que utilización esperar y rendimiento operativo?

¿Realmente alcanzará los movimientos comprometidos?

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



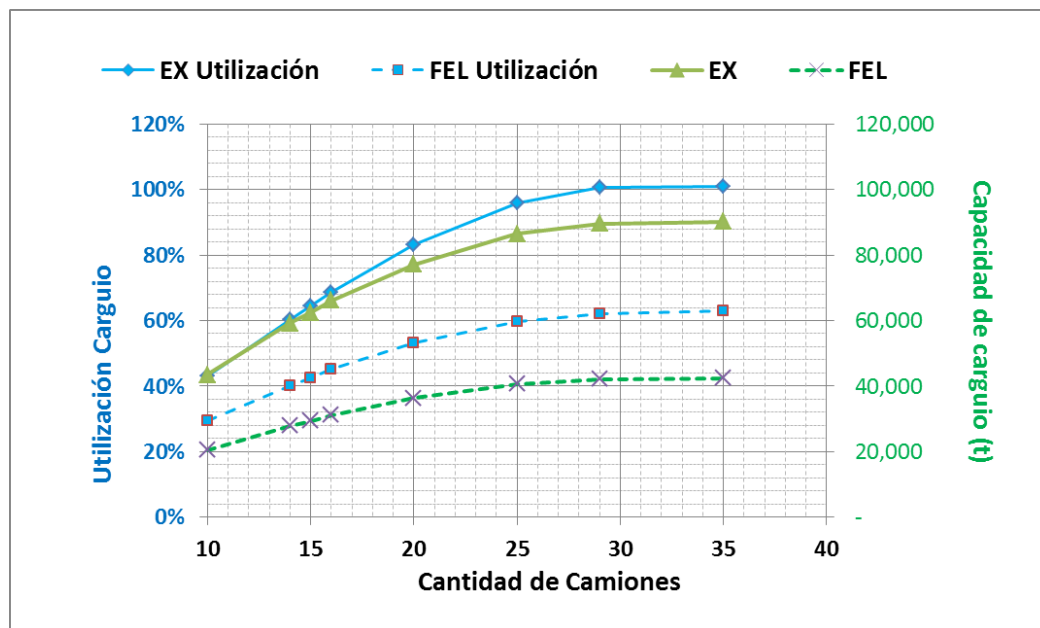
PRODUCTOS: Análisis de Resultados Saturación de Palas

Rendimiento y utilización de equipos de carguío

Para 25 camiones operativos el rendimiento medio de las EXs y los FELs es levemente superior a 86 ktpd y 40 ktpd, respectivamente. En esta vía, los valores de utilización media determinados son de 96% y 60%, EXs y FELs respectivamente, lo que es muy exigente, sobre todo para las EXs. Se considera que la flota de 25 camiones operativos genera la condición de saturación de palas, por lo que los rendimientos obtenidos en ellas son los máximos.

Para escenarios de más de 25 camiones se consiguen incrementos marginales de productividad, ver líneas verdes de este gráfico y un aumento significativo de los tiempos de ciclos. De lo anterior, se concluye que se está en una condición de saturación de las EXs.

Su plan se basa en saturación de los equipos de carguío, ¿sus flotas de transporte y el sistema de rutas de la mina permitirán mover la cantidad definida en el plan?



PRODUCTOS: Análisis de Resultados Saturación de Palas

Resumen

La tabla inferior muestra un resumen con indicadores relevantes que representan el comportamiento de un periodo simulado para distintas configuraciones de camiones operativos. Se destaca con letras azules la cantidad de camiones operativos que se requiere para cumplir con el plan referencial para el periodo en estudio. Por otro lado, en fondo amarillo y letras verdes se resalta la condición de saturación de palas hidráulicas “Exs” y en fondo rojo los casos en que la utilización requerida implica mayor tiempo disponible de los equipos.

Se puede observar también, como los rendimientos medios por camión decrecen al aumentar la cantidad de camiones disponibles, lo que implica una mayor cantidad de tiempo como perdida operacional. Respecto de este punto, se analizó la situación mina observándose que:

- Utilizando una clasificación de material de acuerdo a su destino existen tres tipos principales Estéril, Mineral (trituradora) y Mineral (Stock).
- Para clasificar el origen, existen seis equipos de carguío que en la condición más exigente pueden enviar material a los tres destinos, por lo que a lo más hay 18 orígenes. En la condición de “alta congestión de los destinos” los materiales pueden llegar de seis orígenes.

Camiones Operativos	Mensual Total kt	Rendimiento Medio Camión tph	Tiempo Ciclo min	Rendimiento		Movimiento Semanal			EX Utilización %	FEL Utilización %
				EX t	FEL t	Esteril t	Mineral t	Stock t		
10	5,750	859	16.14	43,481	20,460	941,804	-	400,947	43%	29%
14	7,836	837	16.56	59,244	27,897	1,282,859	-	547,098	60%	40%
15	8,259	824	16.82	62,461	29,375	1,352,578	-	575,981	64%	42%
16	8,804	824	16.83	66,179	31,097	1,432,944	-	609,842	69%	45%
20	10,206	766	18.09	77,209	36,295	1,672,218	-	711,362	83%	53%
25	11,425	689	20.11	86,428	40,625	1,871,786	-	796,329	96%	60%
29	11,839	618	22.43	89,600	42,080	1,940,009	-	825,277	101%	62%
35	11,932	519	26.70	90,234	42,439	1,954,320	-	831,809	101%	63%

¿Requiere usted más puntos de vaciado ?

¿ Una distancia más larga implica menor rendimiento ?

¿Las características de sus equipos son la ideales para sus condiciones operacionales ?

RRM Consultores

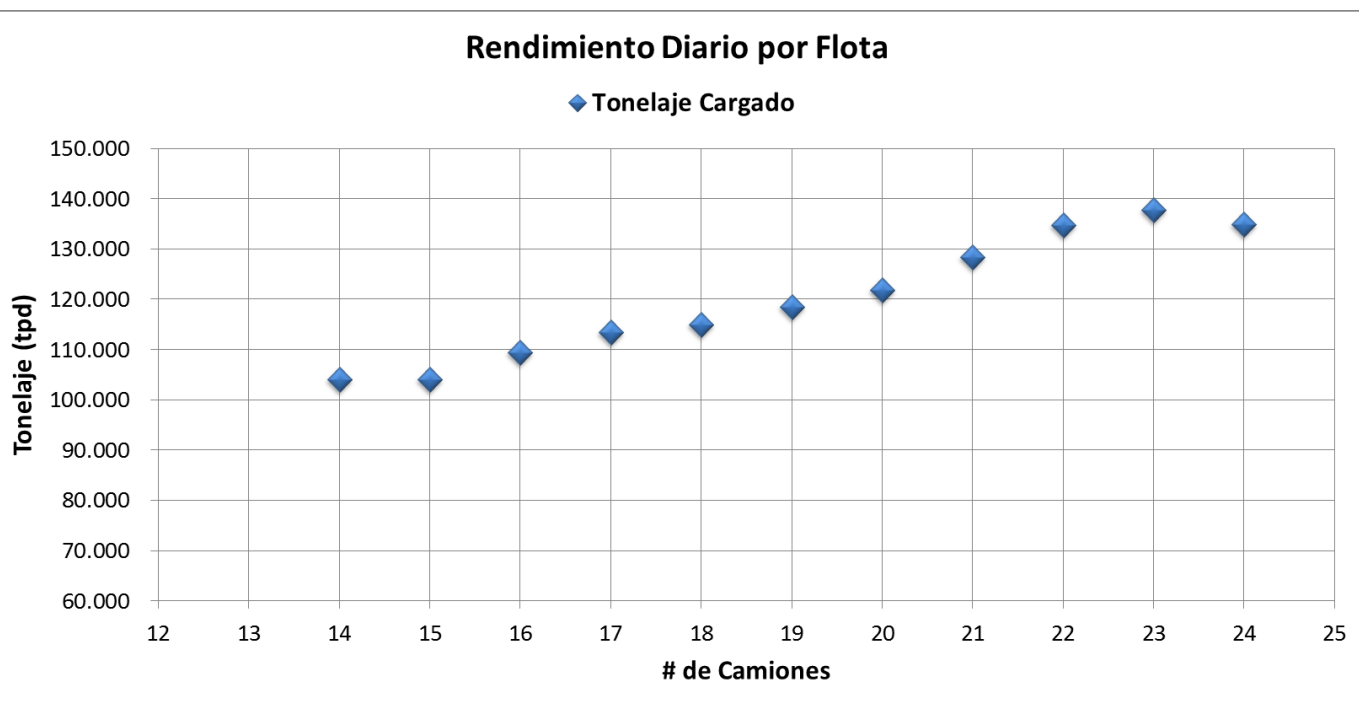
SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



PRODUCTOS: Análisis decrecientes productivos por incremento de flota

El gráfico muestra un análisis de rendimientos decrecientes al aumentar la flota, se observa que hasta 23 camiones la productividad aumenta y luego comienza a disminuir (¿por qué?), como efecto de congestión ¿Dónde?.



¿Cuántos camiones ha planificado?, ¿Cuántos requiere realmente?

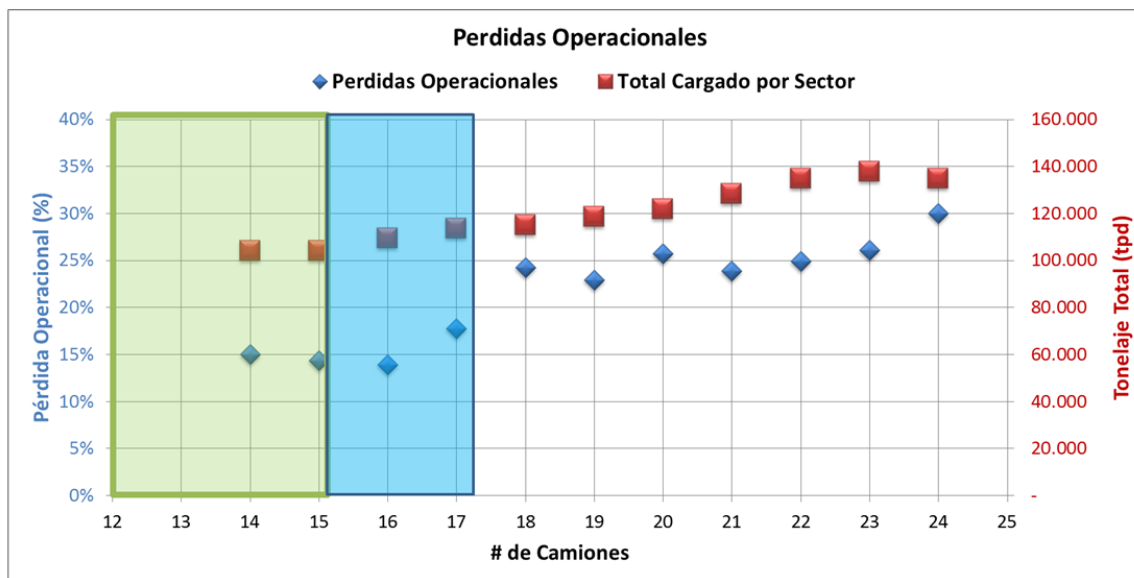
¿ Donde se producirán las congestiones ?

¿Dónde estarán los mayores impactos?

¿Cuántos puntos de vaciado tiene en su chancador?, ¿es suficiente?

PRODUCTOS: Análisis decrecientes productivos vs pérdidas operacionales No Programadas

El siguiente gráfico permite visualizar la oportunidad de mejora de rendimiento sin que las pérdidas operacionales aumenten de forma significativa. Las pérdidas son reflejadas como la razón entre el tiempo de pérdida de la flota y el tiempo Nominal multiplicado por la cantidad de camiones.



¿Cuánto podría mejorar su producción?

¿La información oportuna agrega valor a gestión?

En no cumplimiento de la metas de movimiento pone en riesgo el negocio, de forma invisible, ya que sus impactos se verán en el mediano y largo plazo

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl

PRODUCTOS: KPIs Operacionales por camión

A continuación se presentan el rendimiento y los tiempos de cada uno de los 15 equipos de transporte

		Camión 1	Camión 2	Camión 3
Rendimiento Operativo	t/h	332	284	351
Tiempo Cargando	h	1,82	1,47	1,78
Tiempo Descargando	h	0,94	0,89	0,97
Tiempo Recorrido Cargado	h	8,33	8,54	7,73
Tiempo Recorrido Vacio	h	6,53	6,19	6,16
Tiempo Espera por Pala	h	2,90	2,75	2,77
Tiempo Espera por punto vaciado	h	0,01	0,02	0,00
Tiempo Espera Acuatando	h	0,25	0,20	0,24
Tonelaje de Mineral	tpd	6.899	5.706	6.892

Proceso: Transporte																	
Simulación sin Tronadura Total																	
		Camión 1	Camión 2	Camión 3	Camión 4	Camión 5	Camión 6	Camión 7	Camión 8	Camión 9	Camión 10	Camión 11	Camión 12	Camión 13	Camión 14	Camión 15	Total Flota
Rendimiento Operativo	t/h	332	284	351	359	394	275	292	344	248	287	415	391	414	405	319	340
Tiempo Cargando	h	1,82	1,47	1,78	1,78	2,04	1,48	1,56	1,88	1,35	1,59	2,17	2,07	2,22	2,00	1,62	26,82
Tiempo Descargando	h	0,94	0,89	0,97	0,98	1,03	0,88	0,92	1,03	1,03	0,90	1,08	1,05	1,11	1,03	0,93	14,76
Tiempo Recorrido Cargado	h	8,33	8,54	7,73	7,15	7,84	7,59	8,84	8,11	8,11	8,59	7,83	8,11	6,73	6,87	7,10	117,45
Tiempo Recorrido Vacío	h	6,53	6,19	6,16	5,96	5,54	8,32	6,53	6,94	6,94	6,84	5,46	6,24	7,02	5,37	6,86	96,91
Tiempo Espera por Pala	h	2,90	2,75	2,77	3,14	3,25	2,23	2,24	2,50	2,50	2,56	3,22	2,89	3,29	3,86	3,38	43,48
Tiempo Espera por punto vaciado	h	0,01	0,02	0,00	0,00	-	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	-	0,00	0,01	0,10
Tiempo Espera Acuatando	h	0,25	0,20	0,24	0,24	0,28	0,20	0,21	0,26	0,26	0,22	0,30	0,29	0,30	0,28	0,22	3,76
Tonelaje de Mineral	tpd	6.899	5.706	6.892	6.906	7.866	5.701	5.935	7.133	5.003	5.940	8.333	8.074	8.558	7.860	6.424	103.227

¿Te interesa el rendimiento de un equipo en particular o de un sector de la mina ?

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



PRODUCTOS: KPIs Operacionales por camión

A continuación se presentan los rendimientos individuales para la flota de 17 camiones.

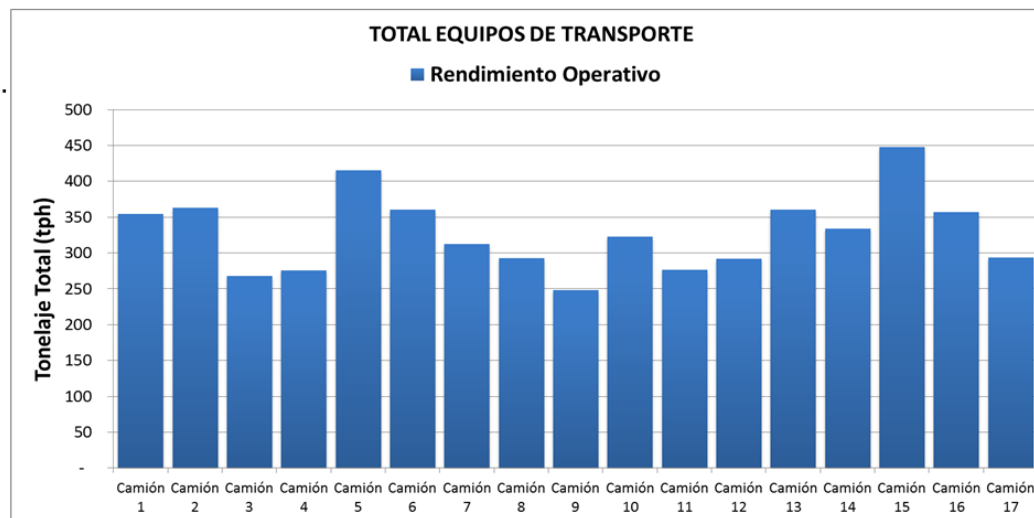
Simulación sin Tronadura		Pala 1 Mineral	Pala 2 Estéril	Pala 3 Estéril	Total Flota
Rendimiento Efectivo	t/h	3.905	3.866	3.841	3.863
Rendimiento Operativo	t/h	1.165	2.133	2.796	2.011
Tiempo Cargando	h	6	10	13	29,36
Demoras	h	14	8	5	27,04
Tonelaje Cargado	tpd	22.807	39.710	50.887	113.403

Resultado de rendimientos por pala.

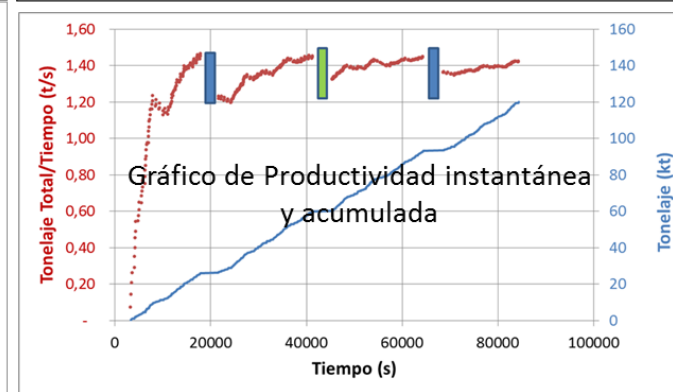
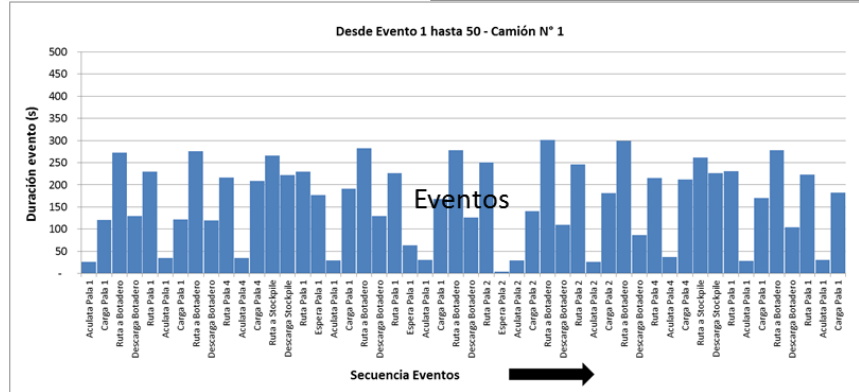
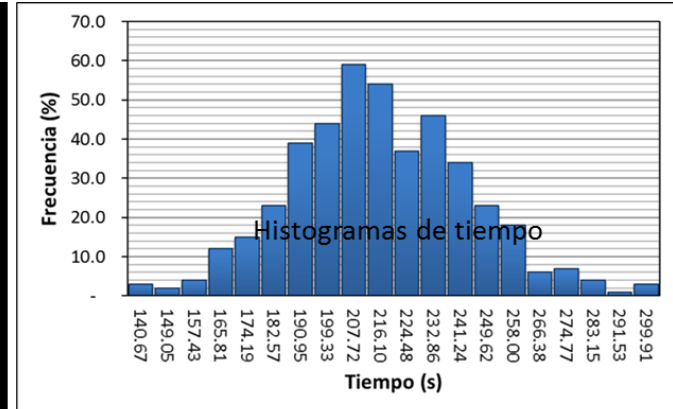
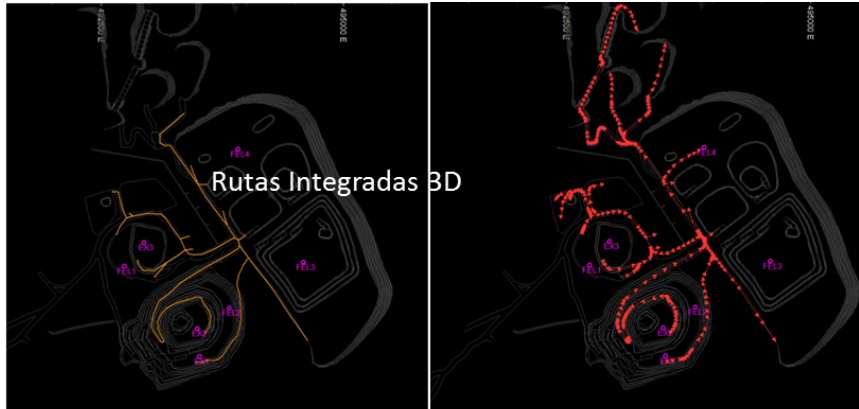
Gráfico de rendimientos por camión.

Es posible conocer anticipadamente como el diseño operacional, las velocidades y muchas otras variables impactan los rendimientos.

Lo cual permitirá una planificación exitosa !!!



PROCESO



Sus diseños y rutas son UNICAS, por lo que sus equipos responderán de una manera particular, que usted necesita conocer ANTICIPADAMENTE

RRM Consultores

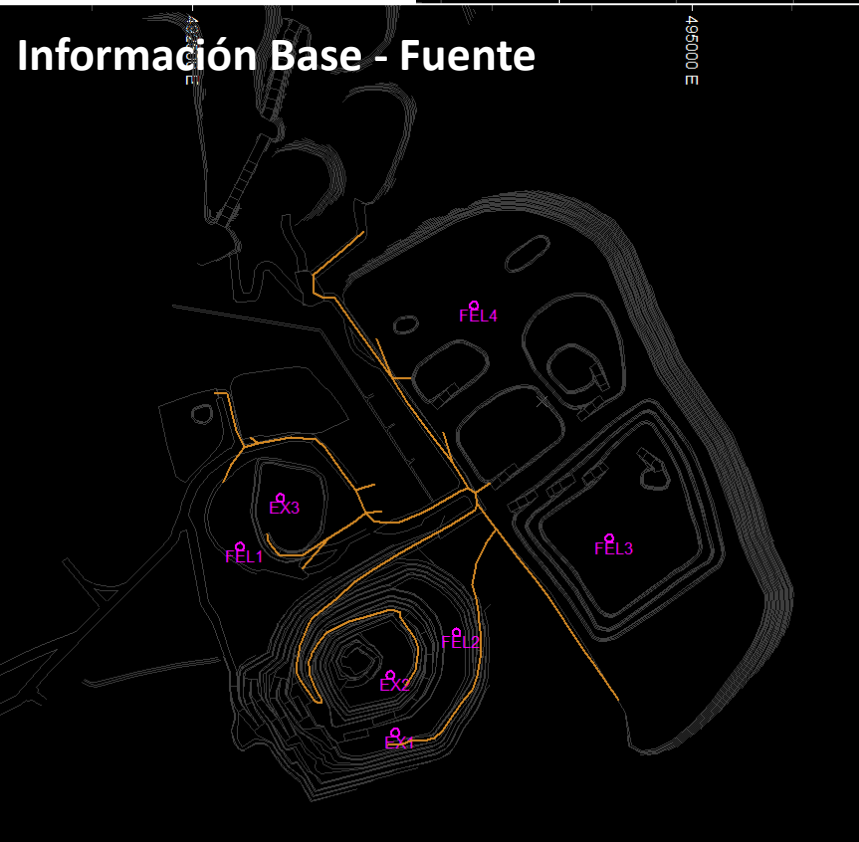
SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl

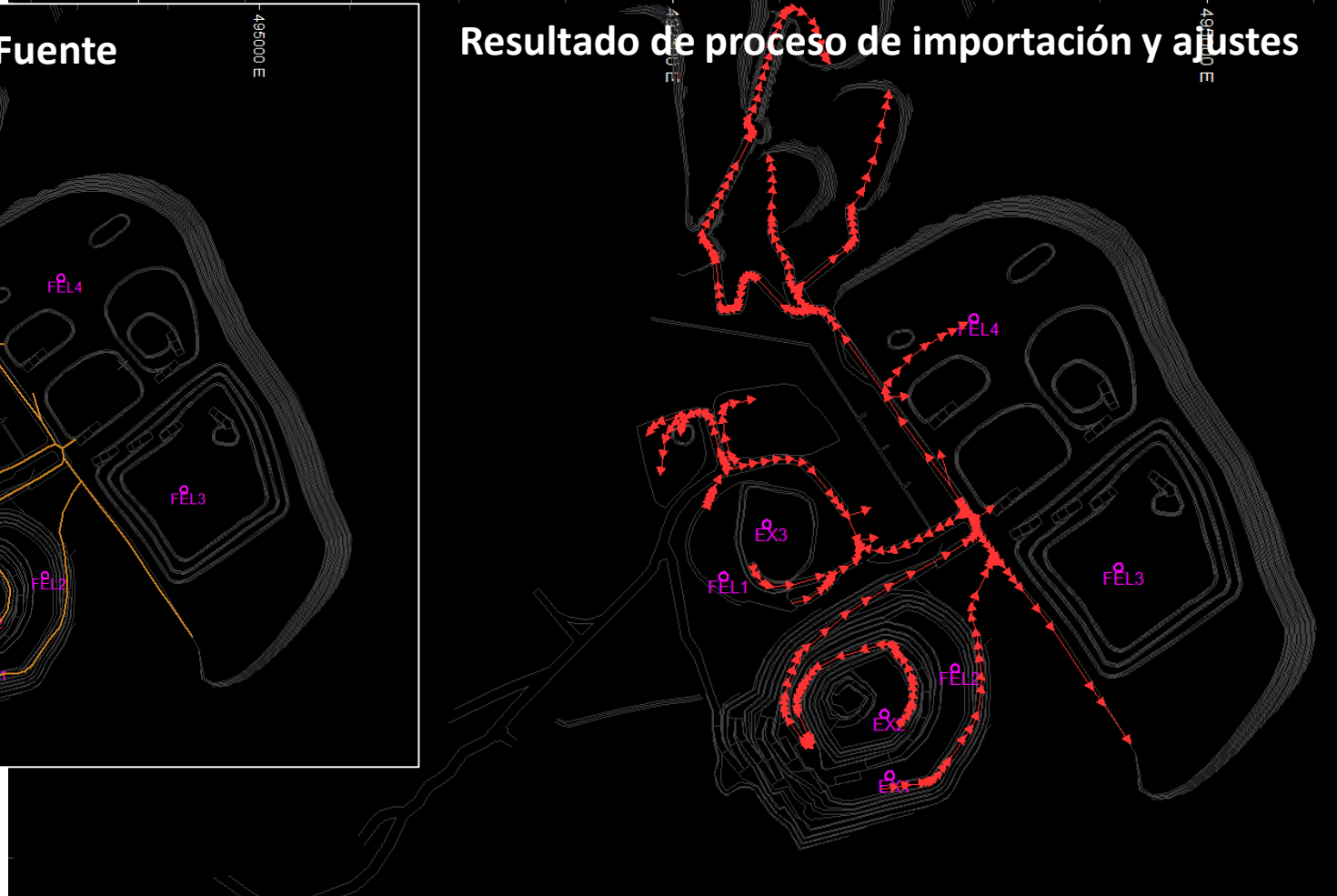


PROCESO: Importación de información de rutas de transporte integradas y únicas

Información Base - Fuente



Resultado de proceso de importación y ajustes

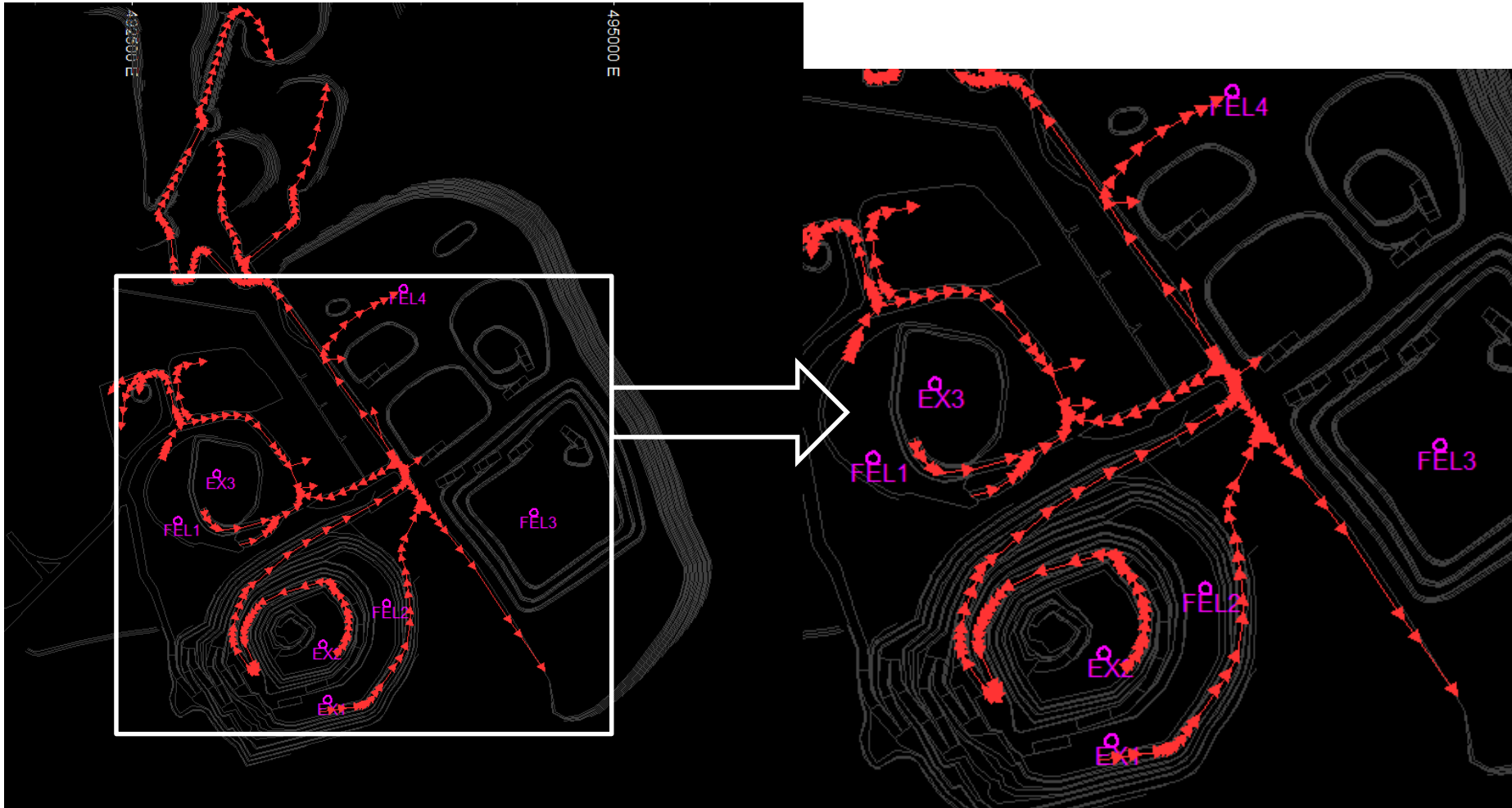


RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl

PROCESO: Importación de información Equipos, posición relativa de Equipos de Carguío



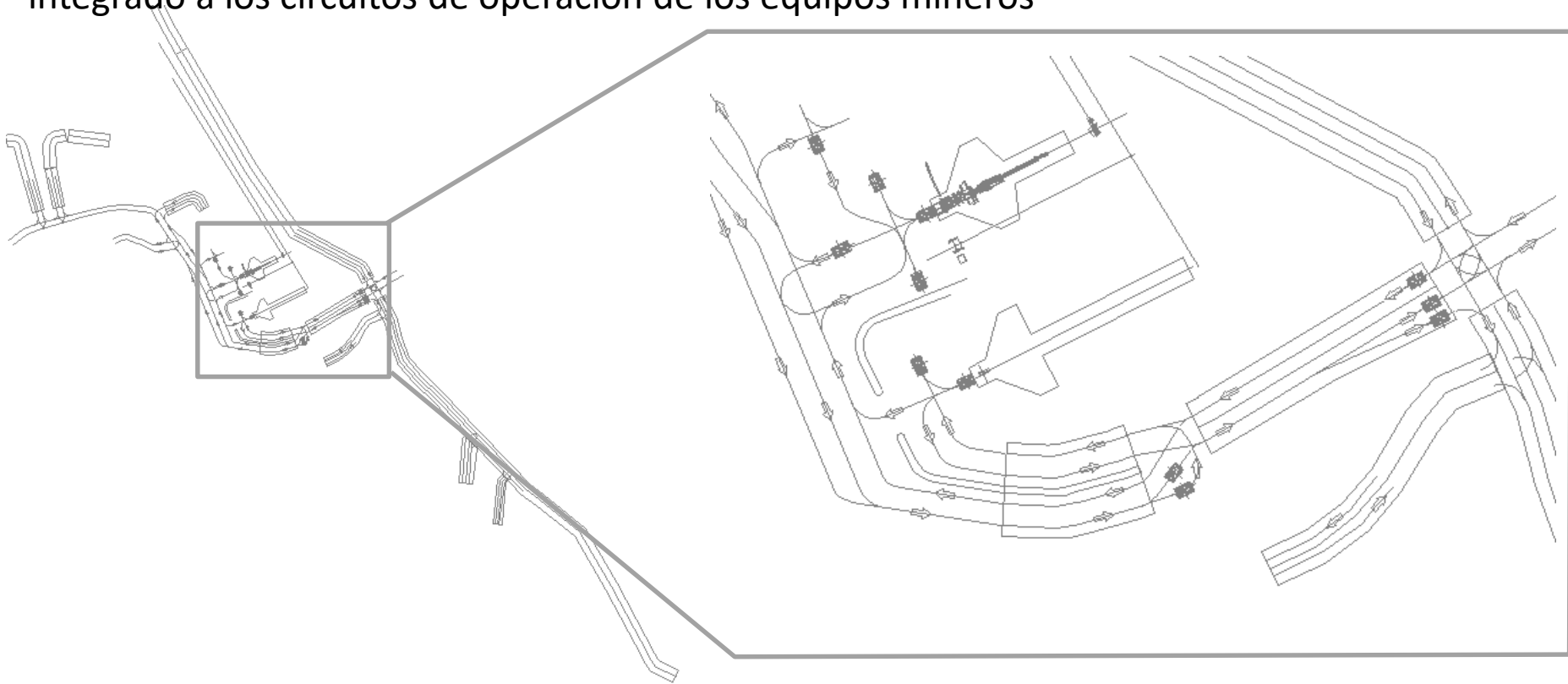
RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

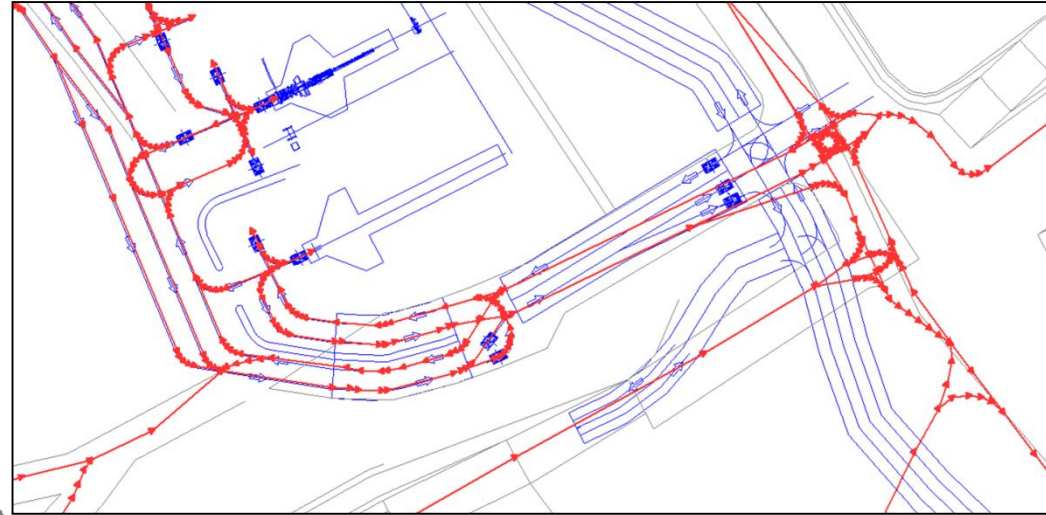
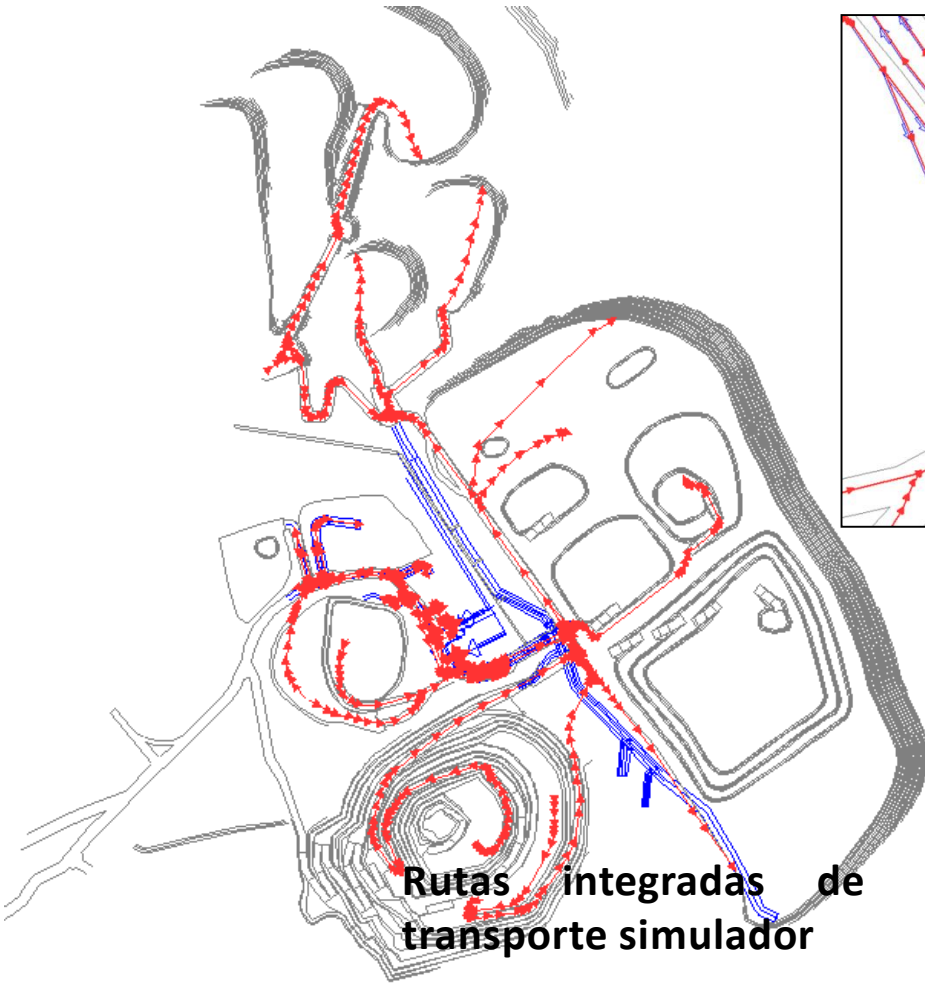
www.rrmconsultores.cl

PROCESO: Importación de Circuitos Especiales (mitigación)

Un circuito recibido como una solución de diseño a la congestión que se puede producir en el área de la salida mina y el sector de trituración de minerales. Dado lo anterior debe ser integrado a los circuitos de operación de los equipos mineros

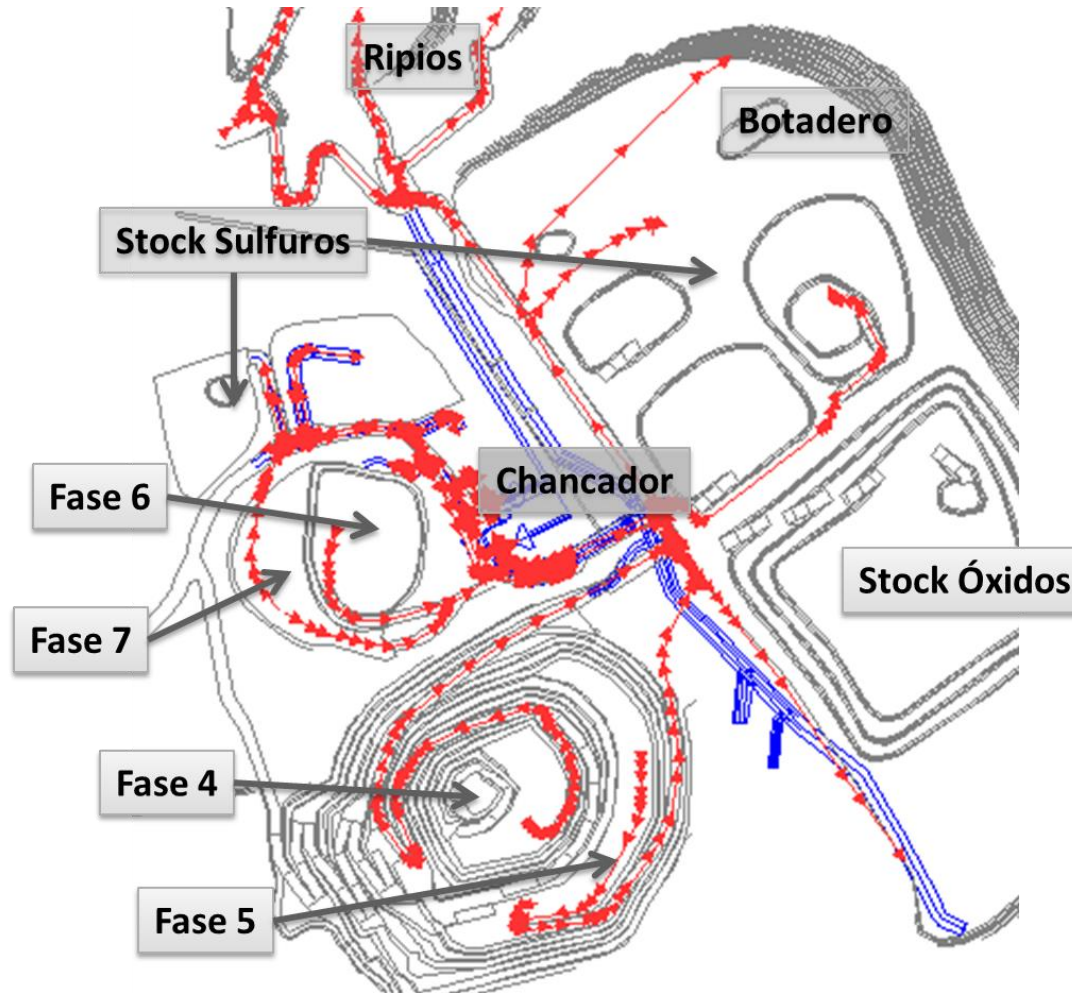


PROCESO: Importación de Circuitos Especiales (mitigación)



Calibración del modelo de simulación
ruta de transporte simulador / detalle

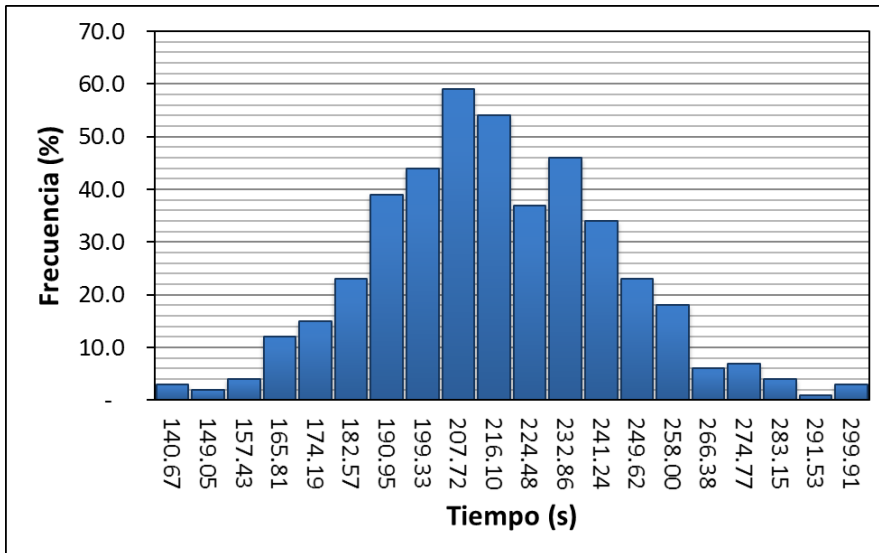
PROCESO: Importación de información localización referencial de Fases/Instalaciones



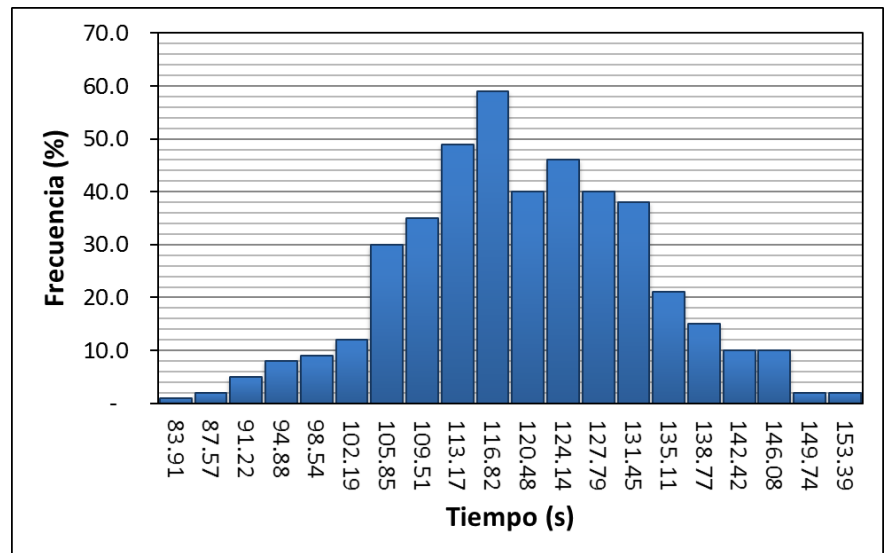
PROCESO: Histogramas

La caracterización de tiempos de carguío, descarga, aculatamiento y velocidades entre otros considera los valores medios entregados para los estudios, pero distribuidos en histogramas reales-operacionales, de tipos de equipos similares o reales de la faena. Los histogramas son elaborados de datos obtenidos del sistema de gestión de operaciones de la mina. De esta forma las singularidades propias de la operación y su impacto en el tiempo están incluidas en dichos histogramas.

- Tiempos de aculatamiento por equipo de carguío
- Tiempos de descarga por tipo de material
- Distribución de tiempos de carguío



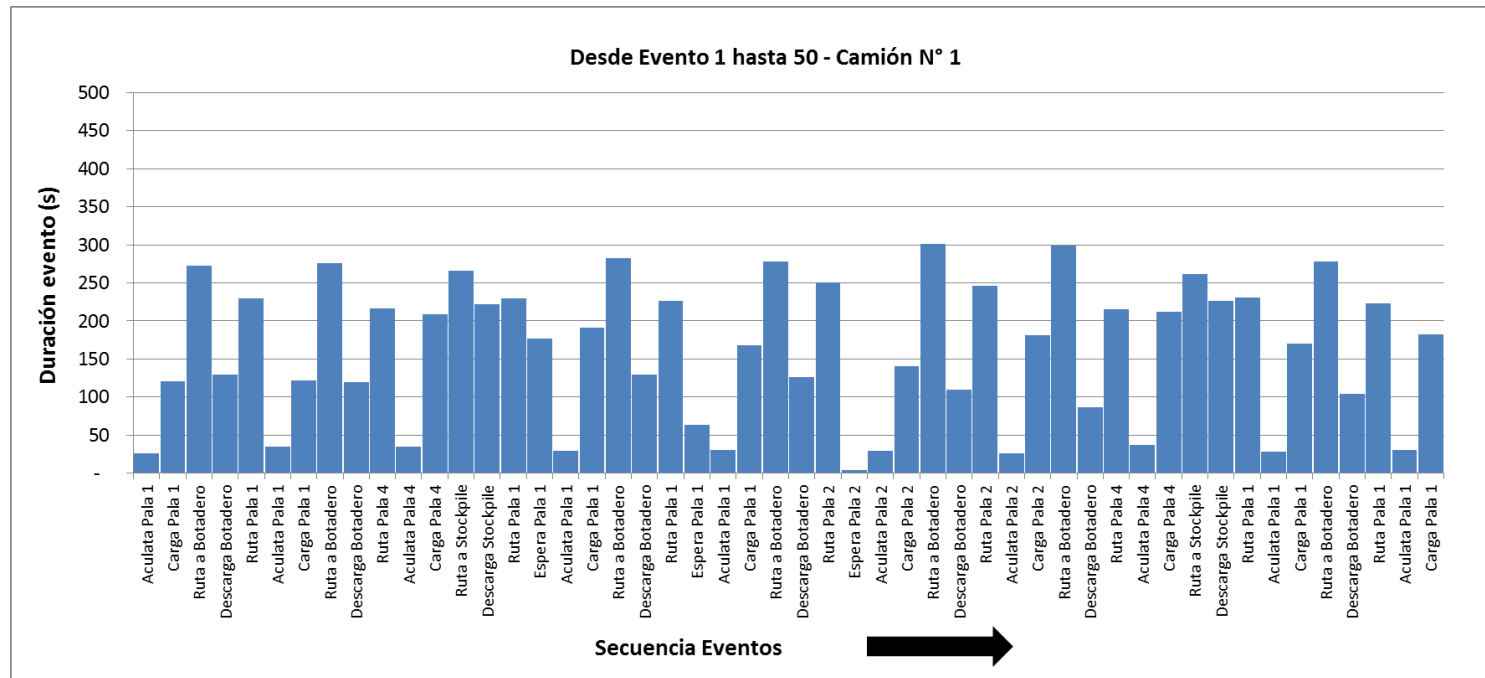
Hydraulic Shovel (EE) Hitachi - EX5600-6 FS



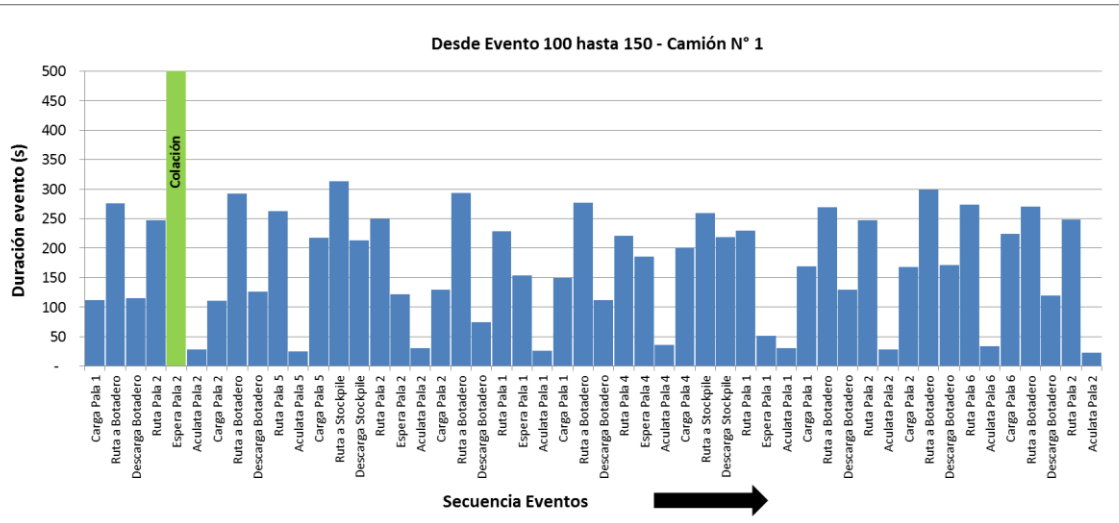
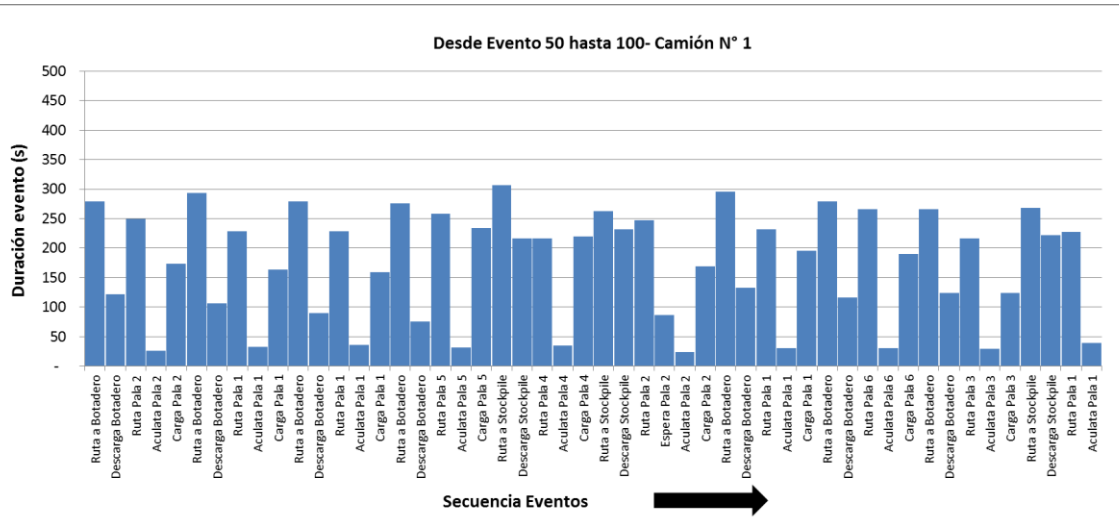
Cargador Frontal P&H - L-1350

PROCESO: Presentación de resultados

El gráfico presenta los eventos del 1 hasta el 50 del camión N° 1, construido de uno de los ejercicios de estudio, donde interactúa con 19 camiones más. Se aprecia que el camión comienza en el proceso de simulación aculataando en la pala 1 que le toma unos 25 (s), luego es cargado con estéril en algo así como 120 (s), continua dirigiéndose al botadero que le toma un poco más de seis minutos donde se aculata y descarga, 120 (s) y luego es asignado nuevamente a la Pala 1 donde comienza un nuevo ciclo, después de este ciclo es asignado a la Pala 4, y así sucesivamente. En la siguiente lámina



PROCESO: Presentación de resultados



El gráfico superior es la continuidad del gráfico, lámina anterior, y muestra los eventos del 50 hasta el 100 del camión N° 1. Luego el gráfico inferior es la continuidad también, donde se aprecia en una barra verde el evento de colación, entre los ciclos operativos y ocurre en coincidencia de cualquiera de los otros eventos. Los eventos de este camión supera los 3400 para una semana simulada, lo que hace complejo su representación gráfica completa.

De forma similar todos los equipos de carguío y acarreo tienen su perfil de eventos integrados. Si bien este análisis es muy detallado se entrega con el fin generar el entendimiento de las fuentes de datos para los análisis

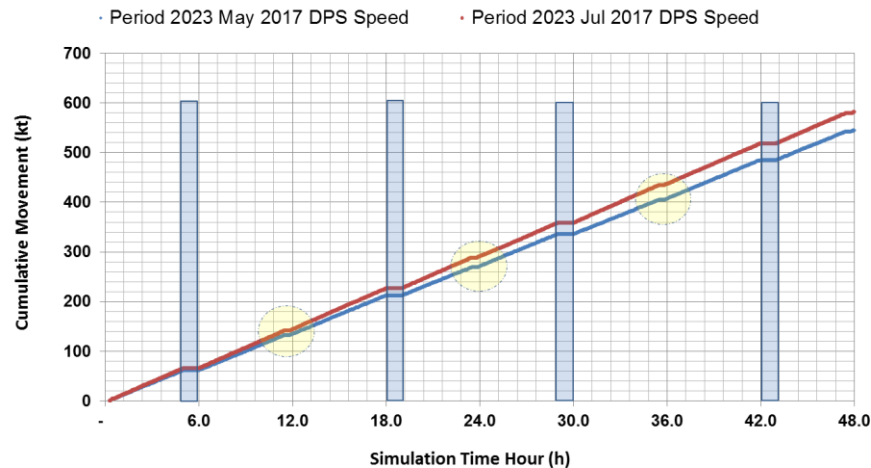
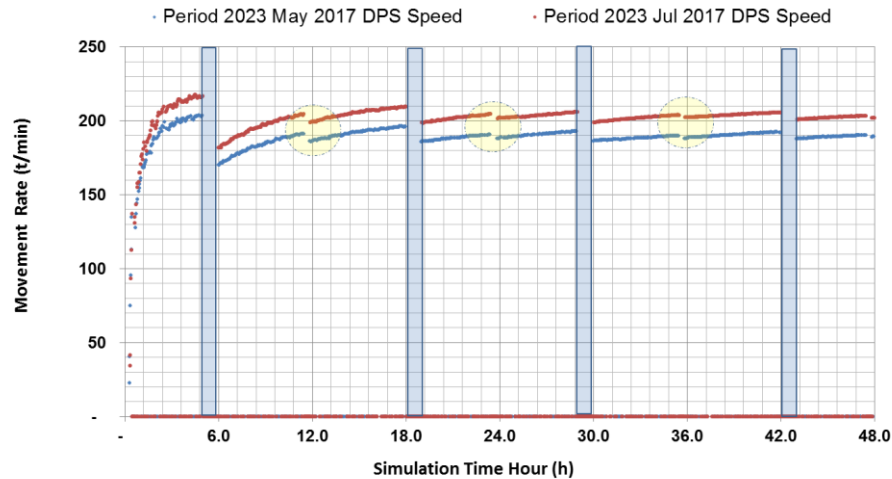
RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



PROCESO: Presentación de resultados



Los gráficos muestran el comportamiento de la producción simulada de un periodo. Las curvas rojas corresponden al resultado de la simulación considerando un ser de velocidades y las azules otro set, solo para dos días de una semana simulada.

- El gráfico superior muestra el comportamiento del movimiento por instantáneo de la flota de carguío y transporte, basado en material descargado por minuto. Como se observa las curvas tienen una tendencia esperada para operaciones minera explotadas vía rajo, donde adquieren una forma que es conocida como gaviotas. Las barras celestes son una marca sobrepuesta en el gráfico con la intención de destacar el tiempo de colaciones de forma similar los círculos amarillos destacan los cambios de turno.
- De la misma forma en el gráfico inferior se aprecian los movimientos acumulados, donde durante los eventos de la colación y cambio de turno el incremento es nulo.

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl



RECOMENDACIÓN FINAL

OBTENGA ANTICIPADAMENTE LOS RESULTADOS DE SU FLOTA DE MOVIMIENTO MINA Y COMPARELOS CON LO QUE HA PLANIFICADO

TOME MEDIDAS DE AJUSTE TEMPRANAMENTE Y MITIGE LOS IMPACTOS DE PLANES NO VALIDADOS

LOS MENORES MOVIMIENTOS CONSEGUIDOS EN LA OPERACIÓN REQUIEREN DE MEDIDAS DE CONTINGENCIA CON ALTO COSTO. NOSOTROS VALIDAMOS Y SUGERIMOS LOS AJUSTES DE FORMA QUE SU FLOTA DE EQUIPO DE CARGUIO Y TRANSPORTE ENTREGUE EL MÁXIMO RENDIMIENTO

SU GESTIÓN HARÁ LA DIFERENCIA

GRACIAS !!!

RRM Consultores

SIMULACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – Validación y Evaluación de Planes Mineros

www.rrmconsultores.cl





METODOLOGIA

Análisis de Productividades Y Flota de Equipos Simulación de Carguío y Transporte

Preparado para: MINERAS

Por: Recursos y Reservas Mineras Consultores Limitada

Nº Páginas: 11
Revisión: 0

Nº Documento:
Fecha:

SEPTIEMBRE, 2025

Contenido

1.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	3
1.1.	Definición de Escenarios y Parámetros del Estudio	3
1.2.	Preparación Información Base	4
1.3.	Simulación de Escenarios	4
1.4.	Análisis de Resultados	5

1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En opinión de RRM Consultores es que este tipo de estudios debe ser liderado, supervisado y desarrollado por personal calificado que garantice el cumplimiento de los planes de trabajo en las fechas propuestas. A continuación se detalla la metodología, basada en un plan de trabajo utilizado con éxito en varios estudios.

1.1. Definición de Escenarios y Parámetros del Estudio

En la primera etapa se realiza la caracterización de cada uno de los escenarios que serán producto del estudio. En esta caracterización es relevante capturar cada una de las variables que puedan impactar en el rendimiento de las flotas de equipos que operan en los sectores de explotación. RRM Consultores cuenta en sus bases de datos con antecedentes que se pueden utilizar y los cuales previamente deben ser analizados para ver su aplicabilidad y otros deberán ser entregados por el cliente. El análisis global y detallado de capacidad de carguío y transporte debe considerar, al menos, los siguientes aspectos:

- Caracterizar parámetros operativos de los equipos de carguío y transporte dentro de rangos aceptables
- Caracterización de restricciones operativas de carguío y transporte.
- Caracterización de rutas activas
- Aplicación de criterios de asignación y reasignación en eventualidades similares a los usados por sistemas de gestión de flotas
- Caracterización tridimensional de cruces y rutas principales
- Reglas de tráfico en origen-destino de los distintos materiales
- Caracterización de interferencias por flotas de equipos auxiliares e interacción con equipos principales
- Características operacionales de palas y camiones (match)
- Capacidad y productividad de equipos de carguío y transporte
- Caracterización estocástica de las velocidades de los camiones en cada condición (Cargado, vacío, subiendo, bajando, in pit, ex pit, etc.)
- Aplicación de Factores de seguridad operacional
- Determinación de Utilización y caracterización de disponibilidad de los equipos de carguío, transporte y chancado.
- Aplicación de Reglas para operación de Stocks
- Reglas de tráfico
- Clima

Por otro lado, si bien el consultor posee información de equipos que pueden complementar los antecedentes que aportará el cliente, puede ser necesario que el cliente entregue la siguiente información:

- Formulario con información de parámetros operacionales
 - Tiempos
 - Velocidades
 - Reglas Operacionales
 - Factores de Carga
- Características principales de los equipos e instalaciones a estudiar

- Localización espacial de equipos de carguío e infraestructura de vaciado, trituradora, botaderos y acopio de mineral
- Información de explotación de los polígonos (imágenes y/o Sw minero)
- Diseño de rutas de transporte, incorporando origen/destino de cada tramo
- Planes mineros, indicando origen-destino, a nivel anual o semestral
- Matriz de clasificación de tiempos, tipo ASARCO utilizado por Teck
- Frecuencia de tronadura a nivel semanal e impacto en la mina, se considera que toda la mina se detiene por tronadura
- Otros

La información enviada y/o recibida será analizada y ajustada de manera que permita caracterizar de la mejor manera posible la mina.

1.2. Preparación Información Base

En el desarrollo de esta fase se trabaja intensamente con software de diseño minero, para lograr que la caracterización de los perfiles de transporte modelen adecuadamente las rutas esperadas por escenario, en especial, capturar correctamente las interferencias en zonas de cruces de equipos en las cuales deban mantener ciertas normas operacionales. Además de los perfiles de transporte deben definir las ubicaciones de las instalaciones (chancador, botadero, palas, etc.).

Por otro lado, es necesario incorporar el comportamiento de tiempos de ocurrencia de eventos, velocidades, factor de carga, entre otros, todos ellos caracterizados mediante distribuciones. Esta información es necesaria dado que la metodología para simular, si bien es “discreta” considera procesos “estocásticos”, es decir, basada en probabilidades. De no existir información de distribuciones de velocidad o tiempo, esta será propuesta por RRM Consultores, solicitando aprobación del cliente.

La simulación permite la utilización de más de un mecanismo de asignación de camiones, en esta etapa, y contando con toda la información, que se solicita previamente, se define la alternativa correcta entre: Secuencial, Directa o Proporción tonelaje de los sectores, o una combinación de dos de estas alternativas, este consultor sugiere usar Proporción de Tonelajes, que busca la mejor aproximación a Planes Mineros.

1.3. Simulación de Escenarios

Lo primero que se hace en esta etapa es incorporar al sistema toda la información base preparada en la etapa anterior, esta operación se realizará tantas veces como escenarios se definieron estudiar incorporando etapas de calibración si son necesarias.

La simulación contemplará los diferentes fenómenos ocurridos comúnmente en una faena minera, por ejemplo, los elementos del ciclo de transporte, determinación de los efectos de cambios de turnos, tronaduras planificadas, entre otros. Lo anterior se refleja en pérdidas operacionales que son determinadas por el sistema, y así permite identificar la distribución de tiempos y aquellos que son efectivamente productivos. Se requiere definir para cada escenario la cantidad de equipos operativos con los que se contará.

Se contempla generar una presentación con los principales resultados obtenidos en el proceso de Simulación de Escenarios, este documento es informativo, dado que la documentación con calidad de entregable son generadas en la siguiente etapa.

Lo anterior es coincidente con lo usualmente solicitado por los clientes. Además, se resalta que para caso se determinará:

- Capacidad máxima de movimiento y rango aceptable.
- Relación entre capacidad y pérdidas (horas camión en cola, productividad de equipos, velocidades, factor operacional, etc.).
- Recomendación y evaluación de posibles cambios de diseño, reglas de tránsito y/o otras restricciones operativas que permitan un mayor rango de producción.

Para los escenarios, fotos de la mina, que son evaluados, usualmente, se estudian un caso base y dos alternativas de mejoramiento/análisis. Se conoce como el caso base, al estudio de la flota de equipos de carguío y transporte estimada de forma determinística asociada a un periodo en estudio para el plan minero, indicando como resultado la capacidad de movimiento que esta genera al simular los procesos.

Comúnmente se sugiere como segunda alternativa de estudio, para cada escenario la simulación, la incorporación progresiva de camiones de forma tal que nos permita determinar la cantidad de unidades que permiten alcanzar el plan de movimiento, determinando simultáneamente si es posible conseguirlo.

La tercera alternativa de estudio para cada escenario se discute caso a caso, con el fin de incorporar una solución de equipos realista que permita cumplir las expectativas del plan. En esta alternativa, se puede estudiar un (1) ajuste de diseño de rutas, que no impacte más allá del 15% de extensión de la ruta del caso base.

1.4. Análisis de Resultados

Luego de realizar las simulaciones a los escenarios definidos se consolidaran y analizaran los resultados obtenidos, entre otros aspectos describiendo y comparando las alternativas por escenarios. Al procesar la información resultante se desarrollaran los siguientes entregables:

- Análisis de capacidad mina
- Análisis de rendimiento por equipo y total
- Análisis comparativo capacidad simulada vs capacidad planificada
- Análisis de colas de espera por pala
- Análisis de velocidades medias de los camiones
- Análisis de nuevas estrategias operacionales
- Entrega de un set de KPI's asociados a los equipos de carguío y transporte
- Informe final