



Análisis escenario A10 Software DSim Open Pit

Escuela de Verano en planificación y Operaciones DELPHOS 2021

Proyecto DSim Open Pit

28 de enero del 2021



Juniors Delgado, S.; Isabel Fuentes, O.; Claudio Godoy, L.; Abraham Lara, O.; Edward Torres, C.

Introducción

El objetivo del planeamiento estratégico minero es identificar y medir el máximo valor posible para la explotación y el procesamiento de los recursos de la operación, considerando escenarios futuros y los objetivos estratégicos de la operación. Las variables estratégicas para considerar en la planificación minera son: los recursos considerados, el método de explotación, el proceso metalúrgico, la capacidad productiva y la macro-secuencia minera.

Con estas variables es posible comenzar a elaborar el plan base, que contiene el plan minero-metalúrgico asociado a las operaciones presentes y a los proyectos en los cuales la operación podría invertir; así como las opciones de desarrollo futuras que pueden ser nuevos proyectos para ejecutar en áreas cercanas o aledañas a la operación, modificaciones al proyecto en ejecución y expansiones en la capacidad de producción.

De esta manera la planificación estratégica en minería permite encontrar las oportunidades de desarrollo de la operación en términos de largo plazo, donde el uso de nuevas tecnologías puede desempeñar un papel clave.

En términos del trabajo realizado en la Escuela de Verano Delphos 2021, se entregaron elementos que diferenciarían el trabajo en cada grupo, con el objetivo de procurar optimizar los procesos de carguío y transporte en una mina ejemplo a rajo abierto, utilizando el simulador de open pit DSIM, en su última versión.

El Software DSIM Open Pit, es desarrollado por Delphos Mine Planning Laboratory y es una herramienta de simulación en base a tres elementos básicos que son el layout de la mina (frentes de carga y descarga, rutas), la flota de equipos de carga y transporte, y un plan de distribución de equipos, con el objetivo de entregar un plan de producción estimado.

La producción por cada frente, los tiempos de espera, la Norma ASARCO, cantidad de camiones por circuito productivo, distancias y velocidades, son solo algunos de los parámetros que los ingenieros en minas deben modificar y estudiar meticulosamente para lograr el proceso de la forma óptima y menos costosa posible, cuidando siempre estar dentro de los parámetros de diseño y planificación que se tienen en el programa del proyecto.

Parte A: Máxima productividad operativa por circuito productivo

1) La opción de despacho Número 2 es la opción más conveniente para llevar a cabo la totalidad de las simulaciones de este proyecto, porque busca cumplir primero con el despacho base (cumplimiento target primario) y luego si quedan camiones disponibles, estos se asignarán a la pala más cercana hasta satisfacer su segundo flujo de saturación (target secundario), buscando completar ambas metas productivas si es posible para cada circuito. El grado de saturación se define como un ratio entre el número de camiones previamente asignados a una pala y el número deseado de camiones que debieran ser asignados a la pala en consideración.

2) La simulación aislada por circuito productivo buscando la mínima cantidad de camiones que maximiza la productividad nominal en [t/h], nos entrega los siguientes resultados:

Circuito 1, Pala_1 (FC_PO_A - FD_DumpNO) con inicio del circuito en TS_1, 12 camiones.

Circuito 2, Pala_2 (FC_PO_B - FD_CH_S) con inicio del circuito en PL_SO, 15 camiones.

Circuito 3, Pala_3 (FC_PO_C - FD_CH_S) con inicio del circuito en PL_SO, 15 camiones.

Circuito 2, Pala_4 (FC_PO_D- FD_CH_S) con inicio del circuito en TS_1, 11 camiones.

3.a) En anexos parte A, se pueden observar los gráficos de las simulaciones por número de camiones y cómo impactan en la productividad, obteniendo 4503 ton/hr para pala 1, 4645 ton/hr para pala 2, 4468 ton/hr para pala 3, y 4515 ton/hr para pala 4, en todos los casos es el punto máximo de producción como se muestra en los gráficos, seleccionando el número de camiones que maximice el tonelaje a trabajar y minimice la inversión en flota de camiones.

3.b) Para el circuito 1 son necesarios 12 camiones, para circuito 2 son necesarios 15 camiones, para circuito 3 son necesarios 15 camiones y para circuito 4 son necesarios 11 camiones, teniendo un total de 53 camiones.

3.c) La espera promedio en la frente de carga para la flota de las palas es: pala 1 son 2,04 min; pala 2 es 3,3 min; pala 3 es 3,38 min y pala 4 es 3,31min.

3.d) La espera promedio en la frente de descarga para la flota es 0, al ser circuitos aislados y optimizados no se generan esperas en descarga.

3.e) El factor de utilización es: Pala 1 un 100%; pala 2 un 99%; pala 3 un 99% y pala 4 un 80%.

3.f) El factor de utilización de la flota de camión es de un 100% al no tener pérdidas operacionales, mantenciones ni fallas en este caso.

Parte B: Máxima productividad operativa de todos los circuitos productivos

Se reduce en un 0.13% la productividad máxima de tonelaje por turno, al trabajar la flota de camión de forma simultánea cada circuito. Los circuitos individuales de la pala 1 y 3 (estéril) no son afectadas su productividad, en cambio la pala 2 y 3 (mineral), reducen su tonelaje por turno en 280 ton/turno cada una (disminución de 0.26%), impactando en la productividad del sistema, esto es debido a que ambas palas vayan a un mismo punto de vaciado que es el chancador, en cambio la flota de camiones de las palas de estéril cuenta con 2 puntos de botadero. En la Parte B figura N°1 (Ver anexos) se observa la diferencia de producción por palas en circuito compartido (Pala_x) y en circuito individual (Pala_x C.I).

1.a) La espera promedio en la frente de carga para la flota de las palas es: pala 1 son 2,04 min; pala 2 es 2,17 min; pala 3 es 2,52 min y pala 4 es 3min.

1.b) La espera promedio en la frente de descarga para la flota que va a botadero es cero, para la flota dirigida a chancador tiene un tiempo de 0,29 minutos.

1.c) El factor de utilización es: pala 1 un 99,5%; pala 2 un 99,3%; pala 3 un 99,2% y pala 4 un 99,4%.

1.d) El factor de utilización de la flota de camión es de un 100% al no tener pérdidas operacionales, mantenciones ni fallas en este caso.

2) La flota se conserva con 53 camiones, al aumentar la flota a 54 camiones hay un aumento de 280 ton al circuito 2, aumentando a su vez las esperas de los frentes y es considerado un aumento no significativo de 0,07% de producción, el costo de inversión y OPEX son más significativos que el beneficio que puede entregar un camión extra, por lo que la flota se conserva con 53 camiones en total.

3) El tiempo de espera en las frentes de carguío es de pala 1 son 2,04 min; pala 2 es 2,17 min; pala 3 es 2,52 min y pala 4 es 3min. El tiempo en la pala 4 es mayor pudiendo ser un factor la menor distancia de transporte y su espera en la frente aumenta para ser cargado, en cambio para descargar no se generan demoras siendo un flujo continuo en la descarga de botaderos. La espera de descarga en mineral es porque se genera un flota de 30 camiones para mineral, al ser una situación óptima la espera es baja de medio minuto (Ver Anexos Parte B, Fig. N°2).

La utilización de los equipos de carga es de un 100% para la pala 1 al tener menor tiempos de esperas en su ciclo productivo, y un 99% para las demás palas al tener pérdidas operacionales entre 9,34 y 12,12 minutos, mayor tiempo para la pala 3. El sistema al ser ideal sin tiempos de falla, colación, cambios de turno y mantenciones, la utilización de toda la flota es de un 100%, al no tener tiempos de esperas significativos que impacten el sistema de camiones (Ver Anexos Parte B, Fig. N°2).

Parte C: Máxima productividad nominal de todos los circuitos productivos

1) La productividad baja en todas las frentes como en descarga y carga, las pérdidas se aprecian en los gráficos del anexo C, pero cabe destacar que la mayor pérdida se la llevó el frente FC_PO_C un 51%, lo que es lógico, ya que es la ruta que tuvo más fallas de camiones un total de 6, en comparación a las otras rutas el intervalo de fallas era de 2 a 3. Fallas en palas solo ocurrió en el frente FC_PO_C el cual suministra al Chancador. Los frentes de descarga de estéril se ven afectados en la misma medida una disminución de un 38%. El frente de descarga del Chancador tiene una baja del 44%, lo que se explica debido al párrafo anterior, cambios de turnos y colaciones de las flotas tanto de camiones y palas.

2.a) Para cada frente de carga, calcular la media del tiempo de espera de un camión de camiones.

El FC_PO_A tiene un tiempo estimado de espera de 2,16 min

El FC_PO_B tiene un tiempo estimado de espera de 3,09 min

El FC_PO_C tiene un tiempo estimado de espera de 3,16 min

El FC_PO_D tiene un tiempo estimado de espera de 2,70 min

2.b) Para cada frente de descarga, calcularla media del tiempo de espera de un camión.

El FC_DumpNO tiene un tiempo estimado de espera de 0,0 min

El FC_CH_S tiene un tiempo estimado de espera de 0,14 min

El FC_DumpSO tiene un tiempo estimado de espera de 0,0 min

2.c). Para cada equipo de carga, calcular el factor de utilización.

Pala_1 que pertenece al FC_PO_A se estimó un Factor de Utilización del 60%

Pala_2 que pertenece al FC_PO_B se estimó un Factor de Utilización del 61%

Pala_3 que pertenece al FC_PO_C se estimó un Factor de Utilización del 57%

Pala_4 que pertenece al FC_PO_D se estimó un Factor de Utilización del 60%

En forma Global tienen un Factor de Utilización del 60% Aproximadamente

2.d). Calcular el factor de utilización promedio de la flota de camiones.

En forma Global para las cuatro rutas o circuitos el factor de utilización es aproximadamente de un 69%. El factor de utilización por circuito o ruta es:

Circuito 1: FC_PO_A a FC_DumpNO -> Factor de Utilización:68%

Circuito 2: FC_PO_B a FC_CH_S -> Factor de Utilización:68%

Circuito 3: FC_PO_C a FC_CH_S -> Factor de Utilización:66%

Circuito 4: FC_PO_D a FC_DumpSO -> Factor de Utilización:74%

3. Para la pala 1, pala 2 y pala 4 los índices de utilización operativa, Factor de utilización en base nominal y base disponible, rondan el orden del 60% al 61% aproximadamente. para la pala 3 estos índices son menores debido a la falla que presenta, según la simulación. Los índices de disponibilidad para la pala 1, pala 2 y pala 4 es del 100% no presentan imprevistos según lo simulado, la pala 3 el índice baja por la falla que presenta.

Los camiones en forma global, presentan valores en los índices de Factor de utilización, Utilización en base nominal y disponible, del orden del 69% y disponibilidad del 94%. La ruta o circuito de camiones que presenta mejor desempeño FC_PO_D a FC_DumpSO, el cual tiene mayor tiempo efectivo y mejores índices de desempeño. (Ver Anexo Parte C)

En Anexos Parte C se encuentra en forma más detallada los factores por pala y camiones.

Parte D: Análisis de sensibilidad

1) Al agregar paradas por fallas, cambios de turnos en las palas y colaciones; la productividad de simular los circuitos disminuye considerablemente, sin embargo, al hacer estas consideraciones estamos entrando en un caso mucho más real donde debemos analizar los resultados obtenidos y poder lograr la menor pérdida de productividad. Para este caso donde la productividad se vio tan afectada por las restricciones se tienen que agregar más camiones para mejorar la productividad como se verá más adelante. El aumento del 10% de velocidad en las rutas fuera del pit, aumentó hasta en 4% a la productividad cuando se omite este aumento de velocidad (Ver anexos parte C, Fig. N° 1).

Al calcular el tiempo de espera de cada camión en el frente de carga y descarga podemos ver, que el mayor tiempo de espera resulta en FC_PO_C donde se tiene una espera de 4.54min, y la media de los tiempos en todos los frentes de carga es de 3.945min, por otro lado en los frentes de descarga el mayor tiempo de espera resulta en el FD_CH_S con 0.416min, lo que la media en los tiempos de descarga resulta de 0.127min. Comparando los resultados obtenidos con los datos sin considerar el aumento del 10% de velocidad, hay menor tiempo de espera sin el aumento de la velocidad. (Ver anexos parte C, Fig. N° 2). Para poder optimizar procesos, determinar flota de equipos, entre otros en minería, es muy importante considerar los Índices operacionales mostrados en las siguientes gráficas. Teniendo así el % Disponibilidad tanto de las palas como de los camiones, los cuales nos indica el % de tiempo que un equipo está disponible para operar. Todas estos cálculos deben seguir las normas ASARCO: definición de equipos. (Ver anexos parte C, Fig. N° 3 y N°4).

2) Anteriormente se calculó que la cantidad óptima de camiones para el circuito completo fue de 53, ahora con el ajuste de un aumento del 10% de la velocidad en las rutas fuera del PIT y considerando fallas, cambios de Turnos y colaciones, ante el nuevo escenario la flota será conformada por 66 camiones, ya que se obtiene una pérdida operacional menor y una mayor productividad, dando el mejor escenario. La combinación de números de camiones tiene un impacto en la producción y pérdidas operacionales, en los primeros 65 camiones hay 18 camiones para pala 2, 18 pala 3 y 14 para pala 4, en cambio en la segunda opción con menor pérdida operacional hay 19 camiones para pala 2, 19 pala 3 y 12 para pala 4, (Ver anexos parte C, Fig. N° 5).

3.a) Al realizar el gráfico de los tiempos en los frentes de carga se puede ver que el FC_PO_B (pala 2) tiene el mayor tiempo de espera con 13 min, mientras que el FC_PO_D (pala 4) presenta el menor tiempo de espera con 6.7min. (Ver anexos parte C, Fig. N° 6).

3.b) Los frentes de descarga solo el FD_CH_S (chancador) tiene un pequeño tiempo de espera casi insignificante de 30 segundos. Una solución sería colocar 2 puntos de cargas en el chancador, pero esto reduciría la productividad, es necesario un nuevo análisis.

3.c/d) En comparación de las gráficas anteriores de factor de utilización, en este caso serán menores debido a que agregamos fallas, cambios de turnos y colaciones. Esto origina que el tiempo mecánicamente disponible en que el equipo se encuentra operando y realizando su función principal disminuyan considerablemente. En las gráficas podemos apreciar que la pala 4 es la que cuenta con mayor factor de utilización con 65.01%. Por otro lado el factor de utilización promedio de las flotas de camiones es de 66.62%; al existir estas fallas, cambios de turnos y colaciones el porcentaje en toneladas reportadas por hora será mucho menor. (Ver anexos parte C, Fig. N° 7).

Conclusiones

La versatilidad del software DSim OP permite hacer modificaciones en los puntos de partida de los camiones hacia las distintas frentes de trabajo, lo que trae consigo distintos beneficios, tales como el descongestionamiento de los circuitos productivos más transitados, además de ocupar los distintos parámetros de velocidades, regular diferentes parámetros de operación y estudiar el impacto en el sistema de operaciones.

Generar circuitos aislados e ideales nos entregan una flota ideal para el match pala-camión, si bien no se presentan fallas, tiempos programados y mantenencias, igual de generan tiempos de esperas en algún frente de carga pues la interacción entre la flota y la pala generan tiempos mínimos de espera al buscar que se trabaje de forma constante, obteniendo una utilización de las palas entre 80 y 100%. Al generar los circuitos en una sola simulación con la flota formada en la sección A, la pérdida operacional es baja de un 0,13% debido al trabajo de la flota de mineral que cuentan con un punto de descarga compartido por la flota de dos palas (2 y 3), a pesar de ello, se genera una disminución en el tiempo de espera y un aumento de la utilización de las palas (excepto pala 1).

Al integrar fallas y tiempo programados al escenario B, se genera una variación en los tiempos de espera, los frentes de descarga de estéril se ven afectados con una disminución de un 38% y en descarga del Chancador tiene una baja del 44% por la falla de la pala 3, reduciendo el tiempo de espera en la descarga en un 50% aproximadamente. La disponibilidad en las palas se reduce y varía entre 57 y 61%, y en el caso de los camiones la utilización promedio ya no es 100%, fluctúa de 66 a 74%.

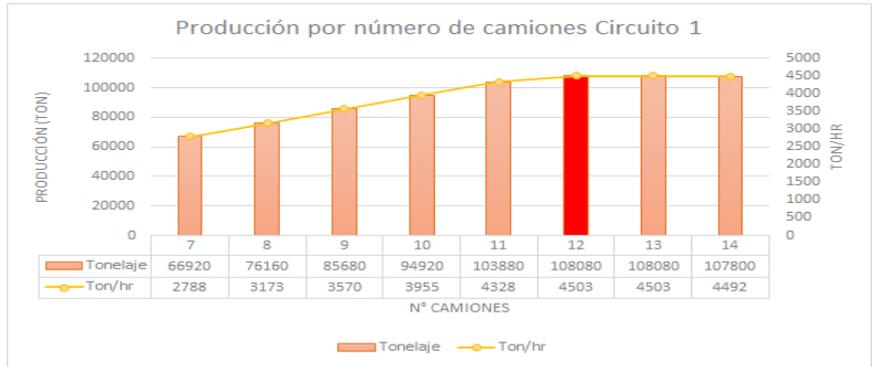
Al incorporar un aumento de velocidad del 10% en rutas fuera del pit al escenario C, se genera un aumento de productividad de un 4% manteniendo la misma flota de 53 camiones. Con este cambio de velocidad se refleja un nuevo escenario el cual permite añadir más camiones a la flota y obtener 288120 ton por turno.

Para el escenario D, se logró realizar un análisis de sensibilidad, comparando el impacto operacional cuando se aumenta en un 10% la velocidad de las rutas fuera del PIT, determinando que los equipos de carguío trabajan con un factor de utilización promedio de 65.01% y los equipos de acarreo 66.62%. Se corrigió el número de camiones de 53 a 66, para aumentar la productividad en un 10.5% y reducir las pérdidas operacionales en 40%. Como resultado del análisis de los ciclos de transporte llevados a cabo en las simulaciones, se obtiene en el escenario D una reducción en el tiempo de espera en los frentes de carga y descarga al agregar en el software Ddsim 2 puntos de descarga en el chancador.

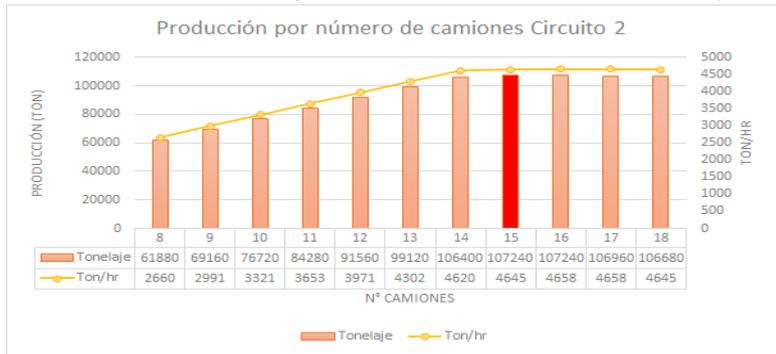
En el presente trabajo se logró maximizar la productividad nominal considerando fallas, cambios de turnos y colaciones. La importancia de determinar los índices operacionales de los equipos de carguío y acarreo, son una guía para saber cómo se está comportando el sistema y las posibles falencias a mejorar, buscando maximizar los ciclos productivos y optimizando la flota.

Al ser un trabajo que se basa en la simulación es importante realizar un número de simulaciones que sean lo suficientemente robustos para generar resultados representativos y poder captar mejor la variabilidad. La Utilización operativa da un 100% para camiones y palas, debido a que se consideró la colación, cambios de turnos como demoras programadas. Como lo sugiere la norma ASARCO. Esto generó que el tiempo disponible sea igual al tiempo operativo. Para diferenciar estos tiempos se debería ingresar, un tiempo en reservas basado en situaciones donde el equipo no tenga operador o no se pueda ocupar por condición propia del avance de la operación, como recomendación para agregar una sección de este tipo al software.

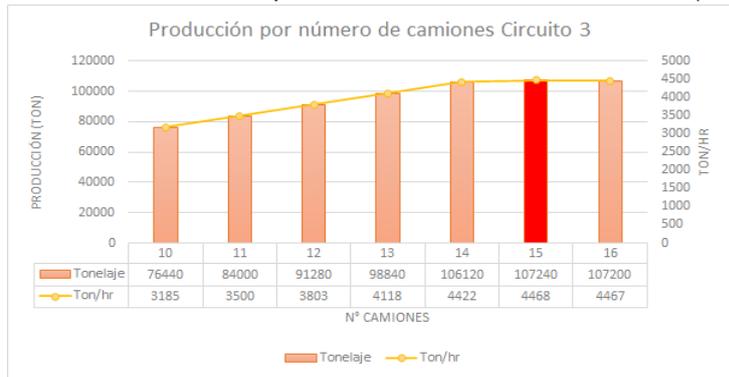
**Anexos
Parte A**



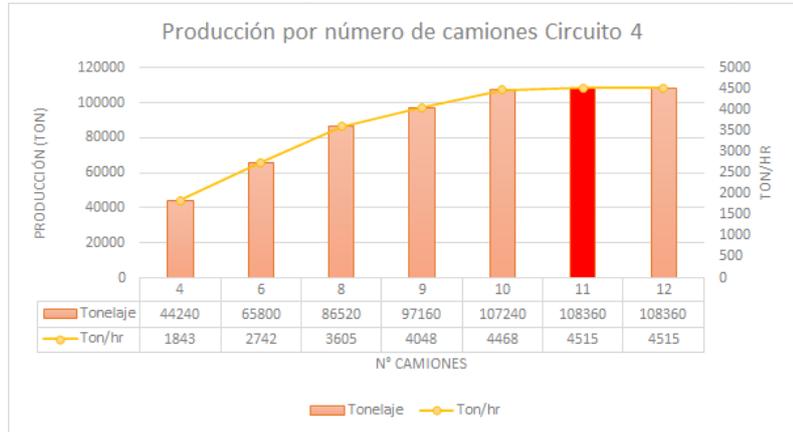
A-3-a): Gráfico 1 - Producción por número de camiones circuito 1 (FC_PO_A)



A-3-a): Gráfico 2 - Producción por número de camiones circuito 2 (FC_PO_B)



A-3-a): Gráfico 3 - Producción por número de camiones circuito 3 (FC_PO_C)



A-3-a): Gráfico 4 - Producción por número de camiones circuito 4 (FC_PO_D)

Anexo Parte B

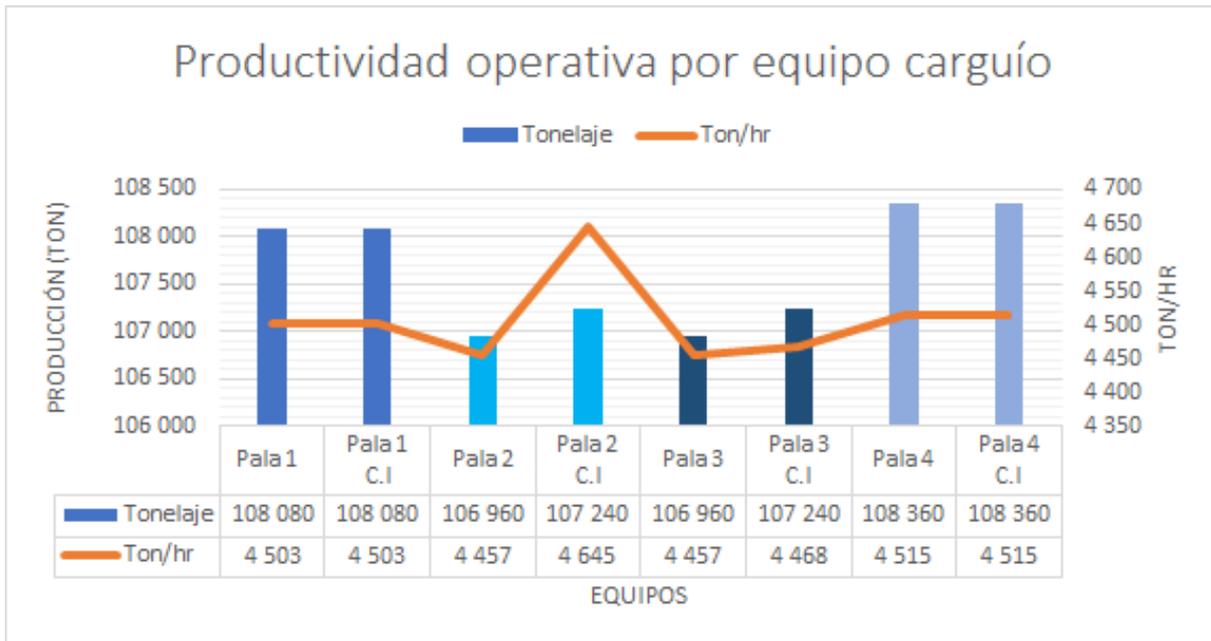


Figura N°1: Gráfico comparativo productividad de circuito por pala de circuito individual (C.I) y circuito completo.

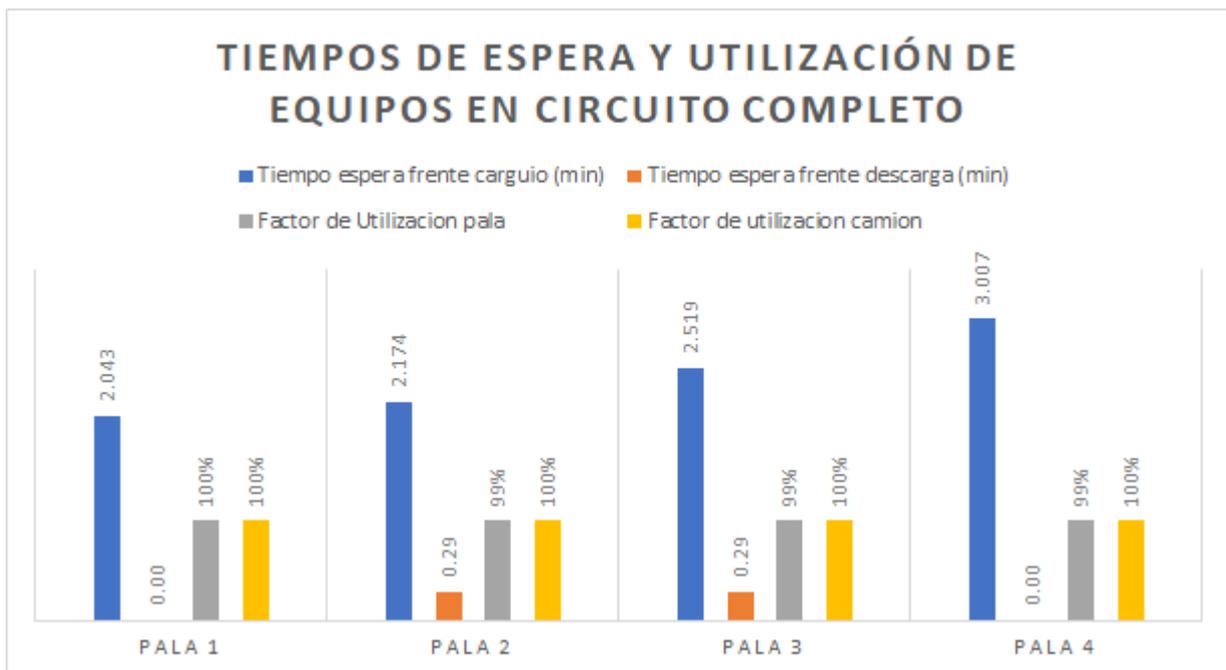
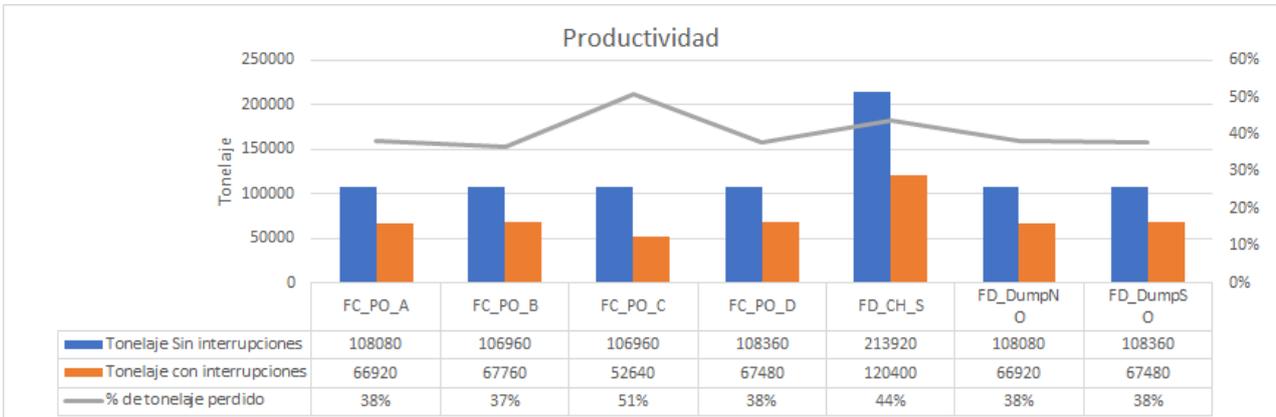


Figura N°2: Gráfico de tiempos de espera en frente de carga y descarga, y utilización de palas y camiones.

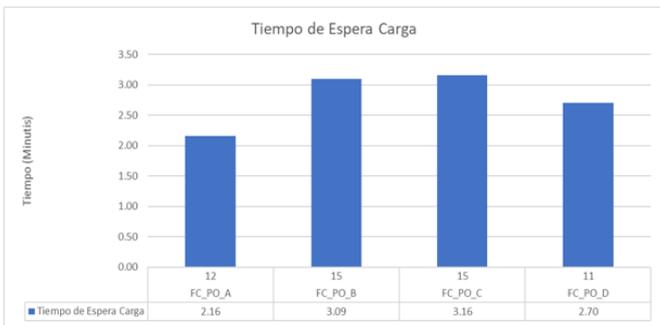
Anexo Parte C

Pregunta 1

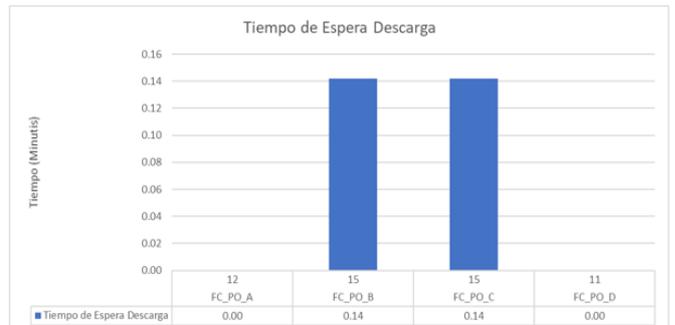


Pregunta 2

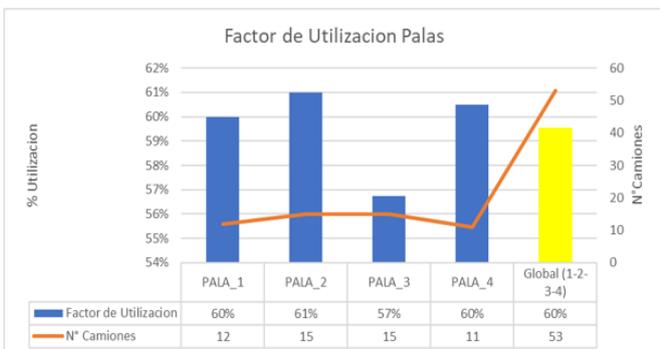
Subsección a



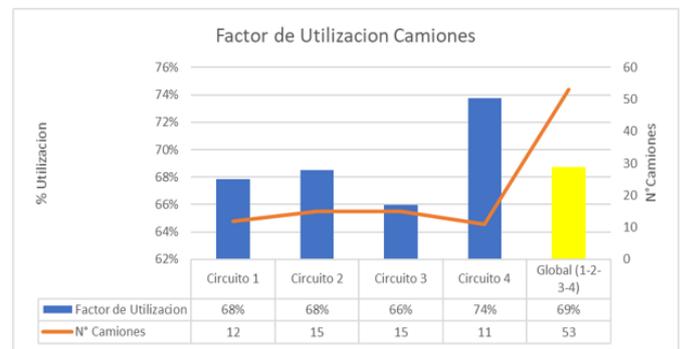
Subsección b



Subsección c

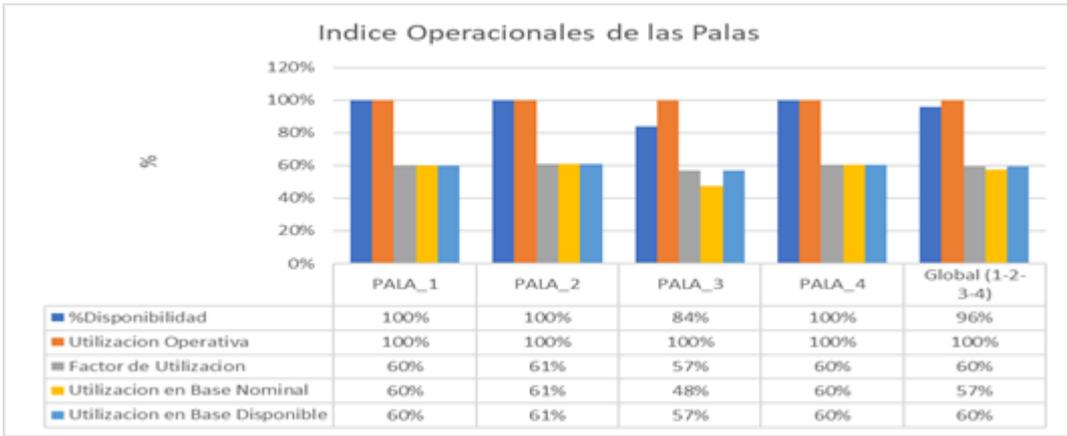


Subsección d

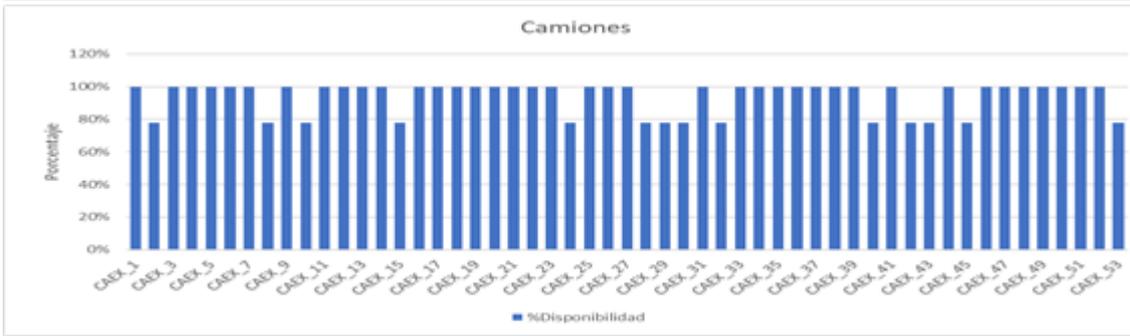
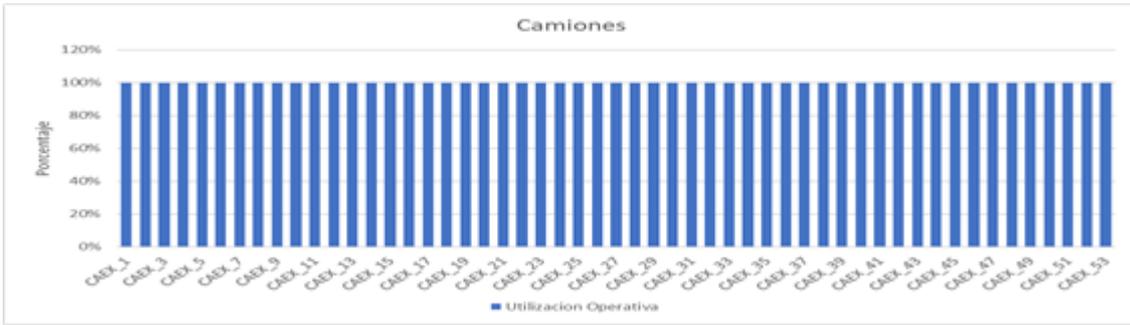
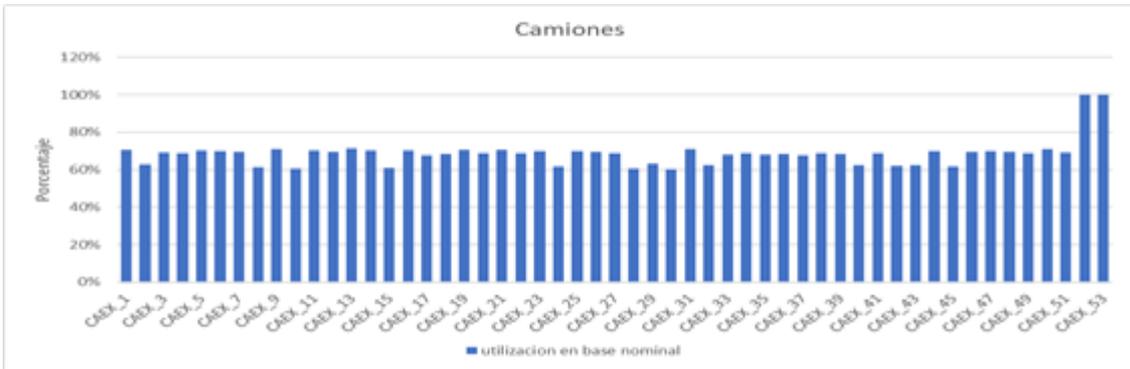


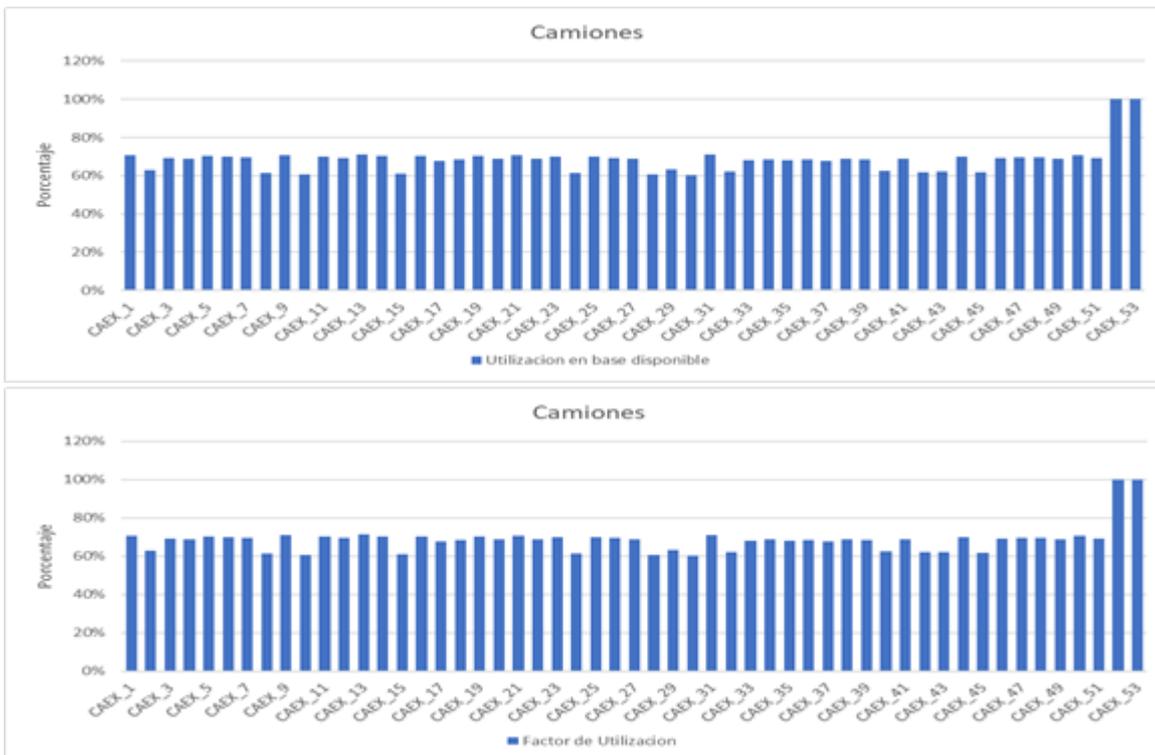
Pregunta 3

Subsección Pala

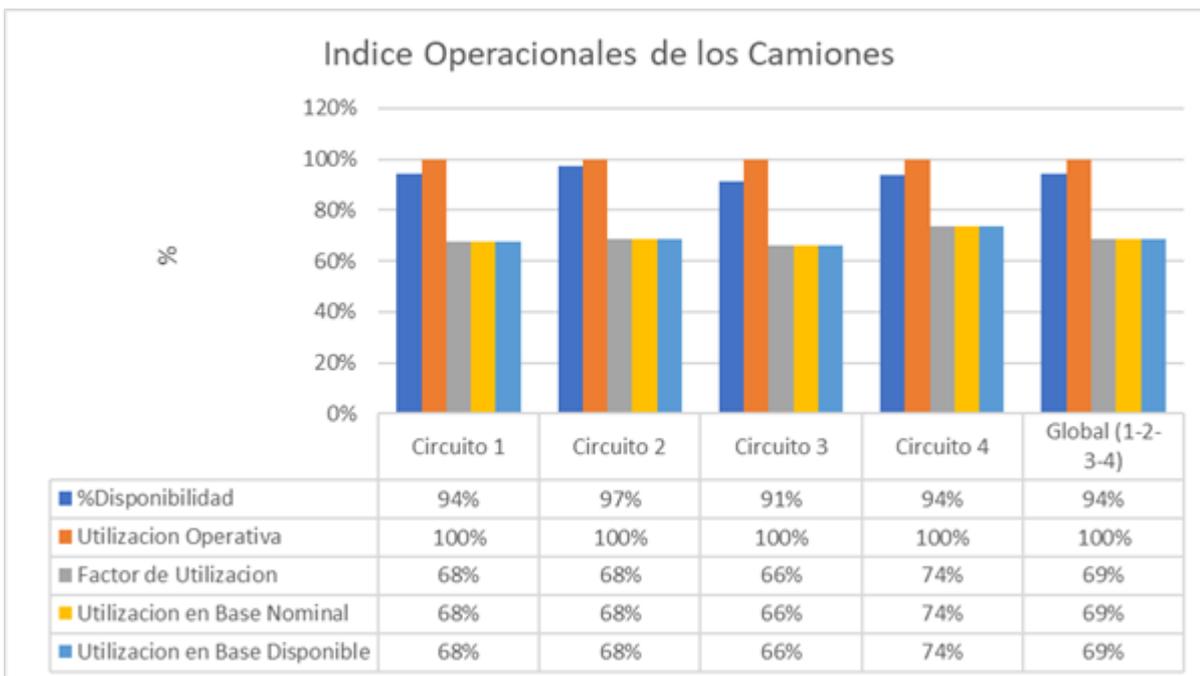


Subsección Camión





Un Extra por Circuito



Anexo Parte D

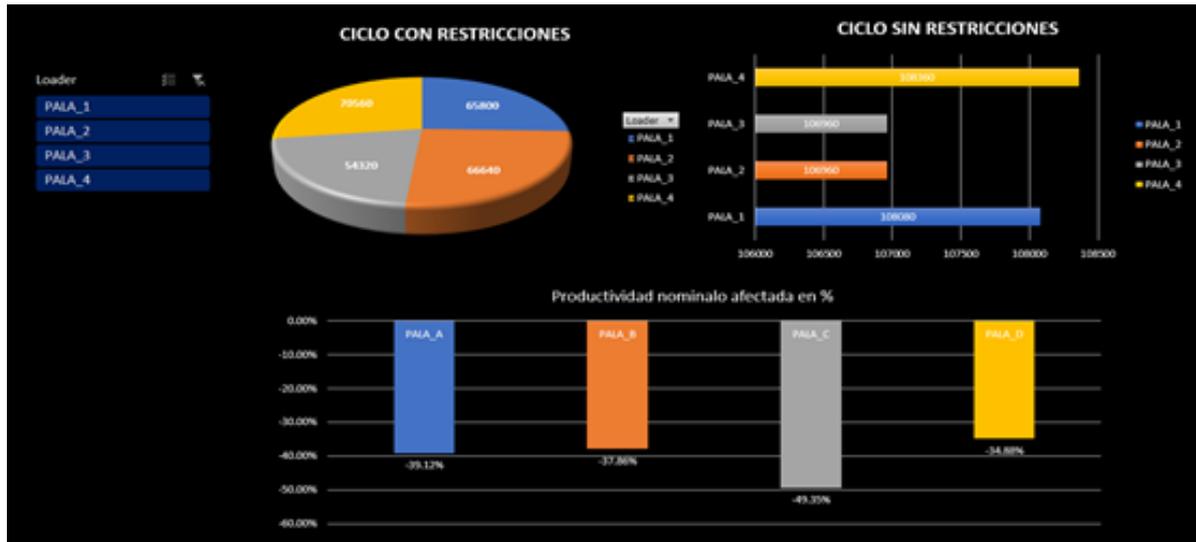


Figura N°1: Comparación ciclos con fallas y tiempos programados normal vs aumento velocidad 10% rutas fuera de pit

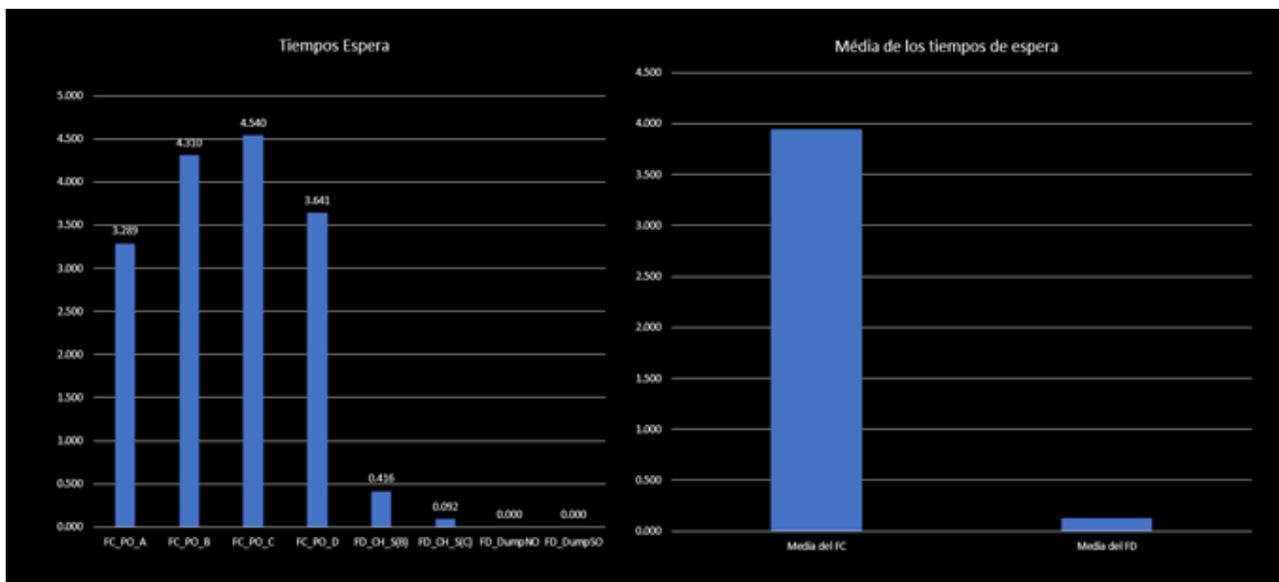


Figura N°2: Tiempos de espera circuito 53 camiones con aumento de velocidad.



Figura N°3: Índices operacionales pala en circuito 53 camiones con aumento de velocidad fuera del pit 10%.

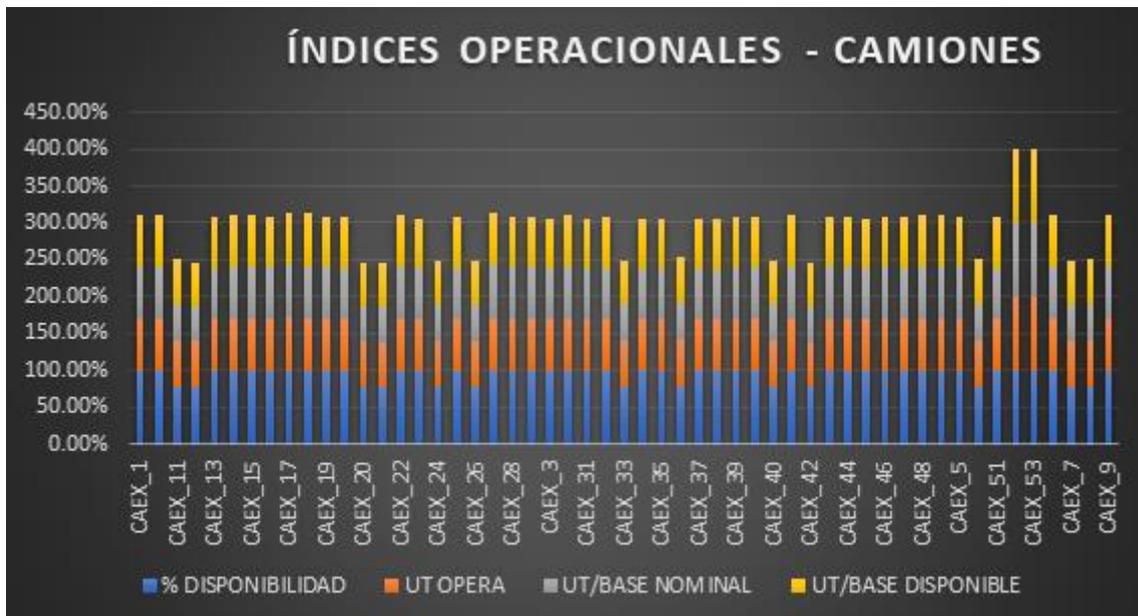


Figura N°4: Índices operacionales camiones en circuito 53 camiones con aumento de velocidad fuera del pit 10%

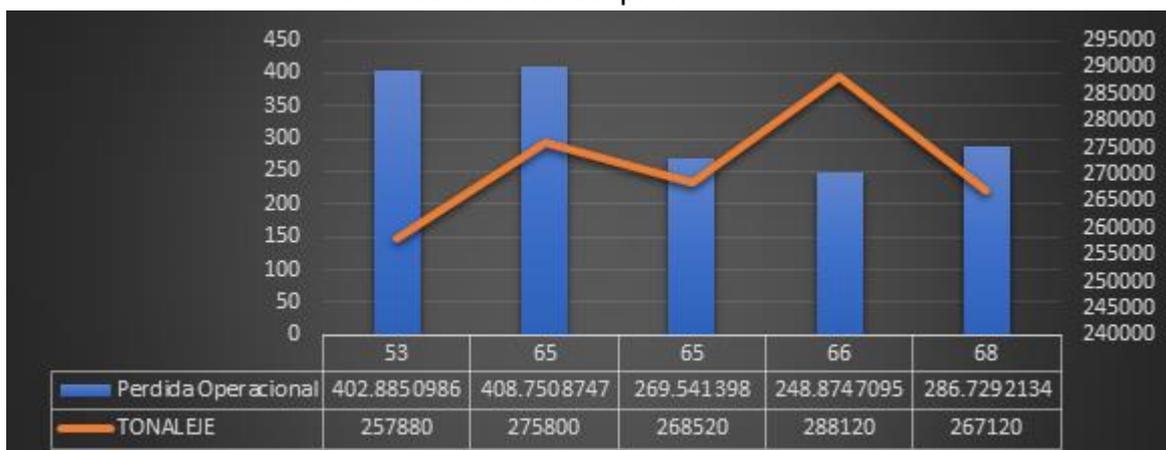


Figura N°5: Comparación de pérdidas operacionales y tonelaje por número de camiones

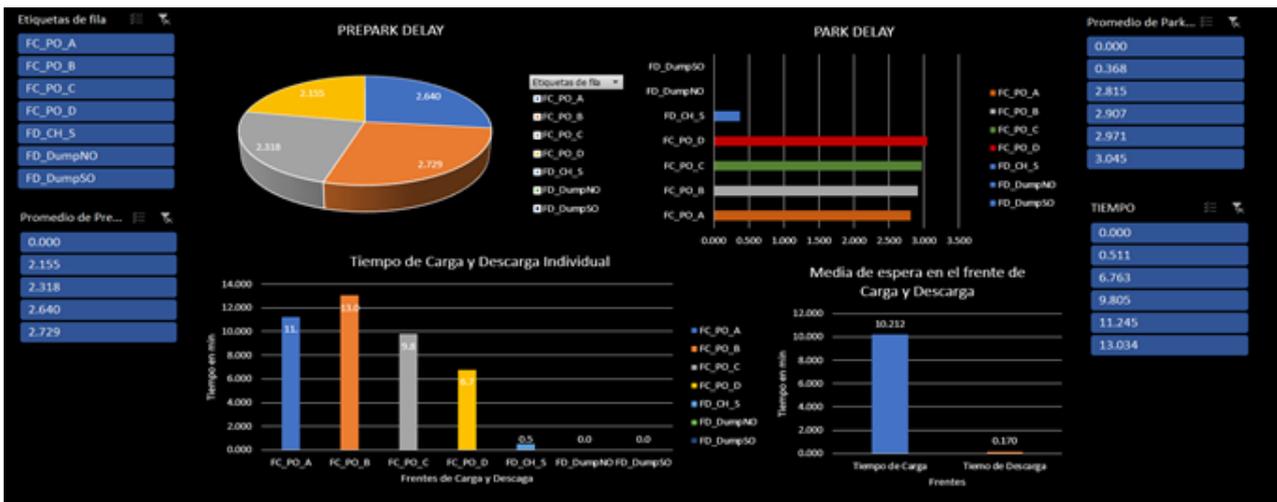


Figura N°6: Tiempos de carga y descarga

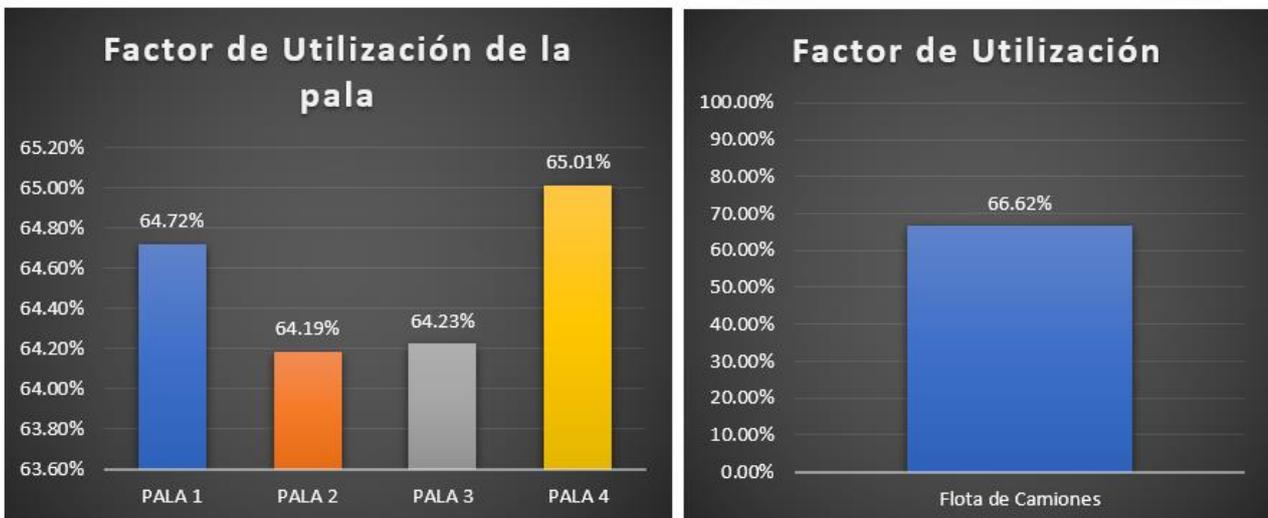


Figura N°7: Utilización de palas y camiones