

Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería de Minas  
EDV2021 - Escuela de Verano DELPHOS2021

---

# Proyecto DSIM OP

## Simulación de Operaciones Mineras a Cielo Abierto

**Profesor: Dr. Fabián Manríquez L.**

Académico Ingeniería Civil en Minas – Universidad Central de Chile

fabian.manriquez@ucentral.cl – fmanriquez@ug.uchile.cl

**Profesor Auxiliar: Daniel Mariño G.**

Tesista Magister en Minería - Universidad de Chile

dmarino@ing.uchile.cl

### **Integrantes A11:**

Eslainer Andrés Avendaño Avendaño

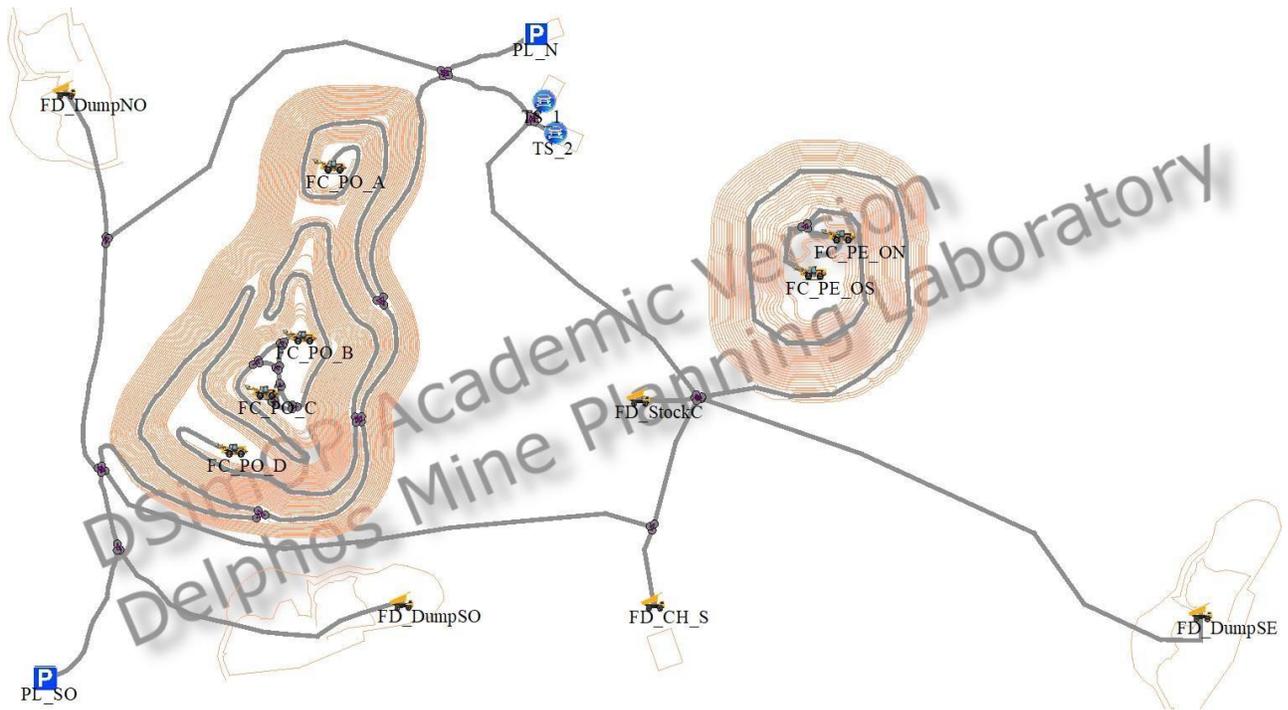
Tatiana Galvis Ocampo

Giorgito Armats Giarnelly Quiñones

Ivett Elena Godoy Espinoza

## Enunciado Proyecto

Considere los archivos de inputs de rutas y topografía usados en la clase práctica de DSIMOP para el desarrollo de este proyecto. Las ubicaciones físicas de los frentes de carga, frentes de descarga y locaciones están dadas en la Figura 1. Los parámetros de entrada de esta operación minera a cielo abierto están dados de la Tabla 1 a la Tabla 4. En el frente de descarga **FD\_CH\_S** existe un chancador de capacidad de 10000 [t/h]. Asuma que este chancador no posee mantenencias programadas ni fallas en todas las preguntas de este proyecto. Considere un tiempo de simulación de 24 [h] para cada una de las simulaciones a realizar. Asuma los valores por defecto para el consumo de combustible, ya que en este proyecto no se incorporará este consumo en el análisis.



**Figura 1: Ubicaciones frentes de carga, frentes de descarga y locaciones**

## Parte A: Máxima productividad operativa por circuito productivo

Responda las siguientes preguntas:

1. Justifique por qué la opción de despacho Número 2 es la opción más conveniente para llevar a cabo la totalidad de las simulaciones de este proyecto.

La opción de despacho 2 nos indica que, al cumplir la primera meta de tonelaje por hora, se procede a designar a los camiones hacia otros frentes para alcanzar la segunda meta de tonelaje por hora propuesto.

2. Definir la mínima cantidad de camiones que maximiza la productividad nominal en [t/h] **de cada** circuito productivo. Para esto, debe simular cada uno de los circuitos productivos con diferente número de camiones, en forma incremental. Se debe realizar cada evaluación del circuito productivo en forma aislada, es decir, asumiendo que los otros circuitos productivos no están en operación

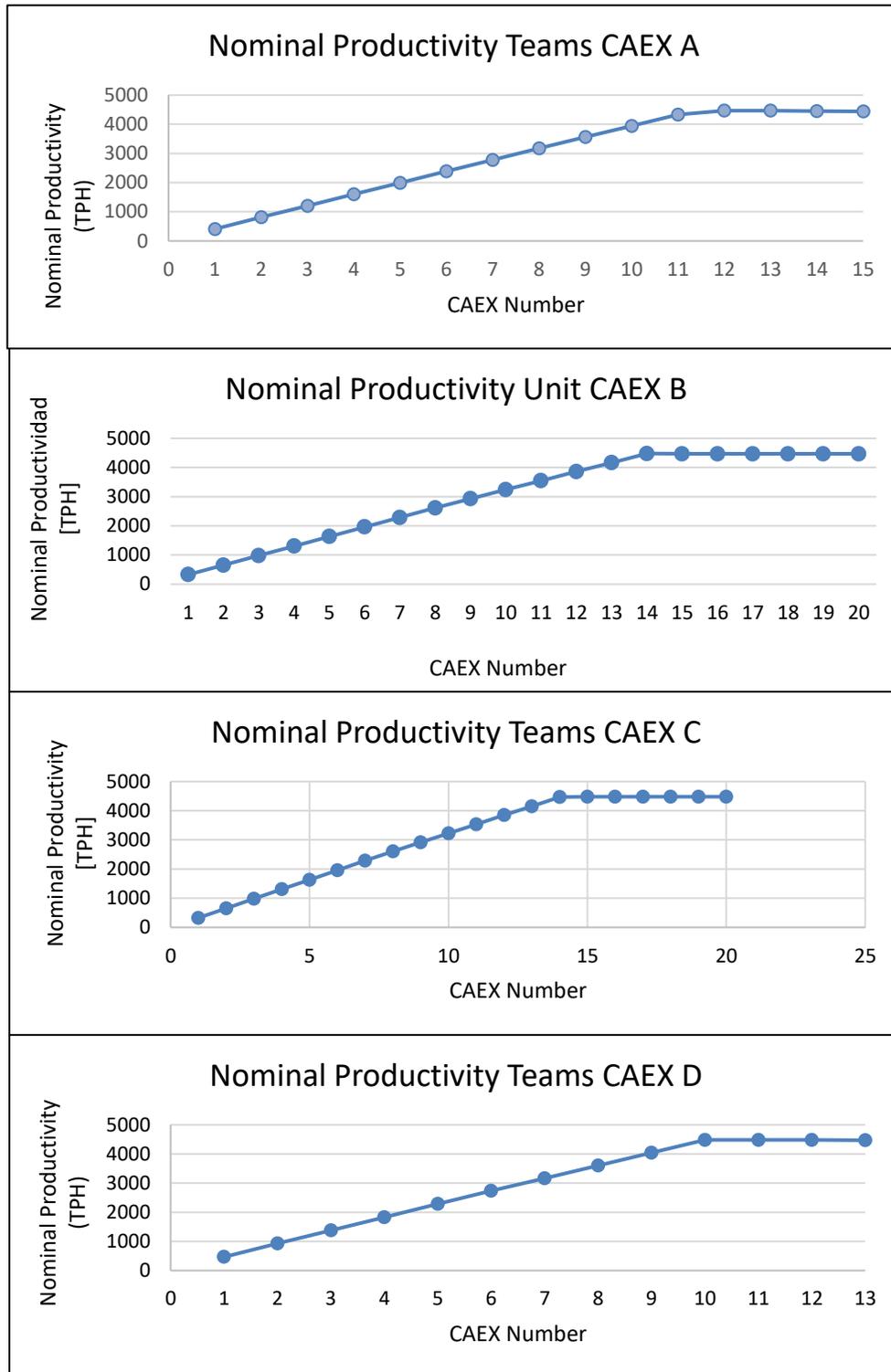
Respuesta: A continuación, se muestra la Tabla 1:

*Tabla 1: Circuitos Productivos con su respectiva cantidad de camiones*

Equipo de carga	Frente de carga	Frente de descarga	Tipo de material	N° de Camiones
Pala_1	FC_PO_A	FD_DumpNO	Estéril	12
Pala_2	FC_PO_B	FD_CH_S	Mineral	14
Pala_3	FC_PO_C	FD_CH_S	Mineral	14
Pala_4	FC_PO_D	FD_DumpSO	Estéril	10

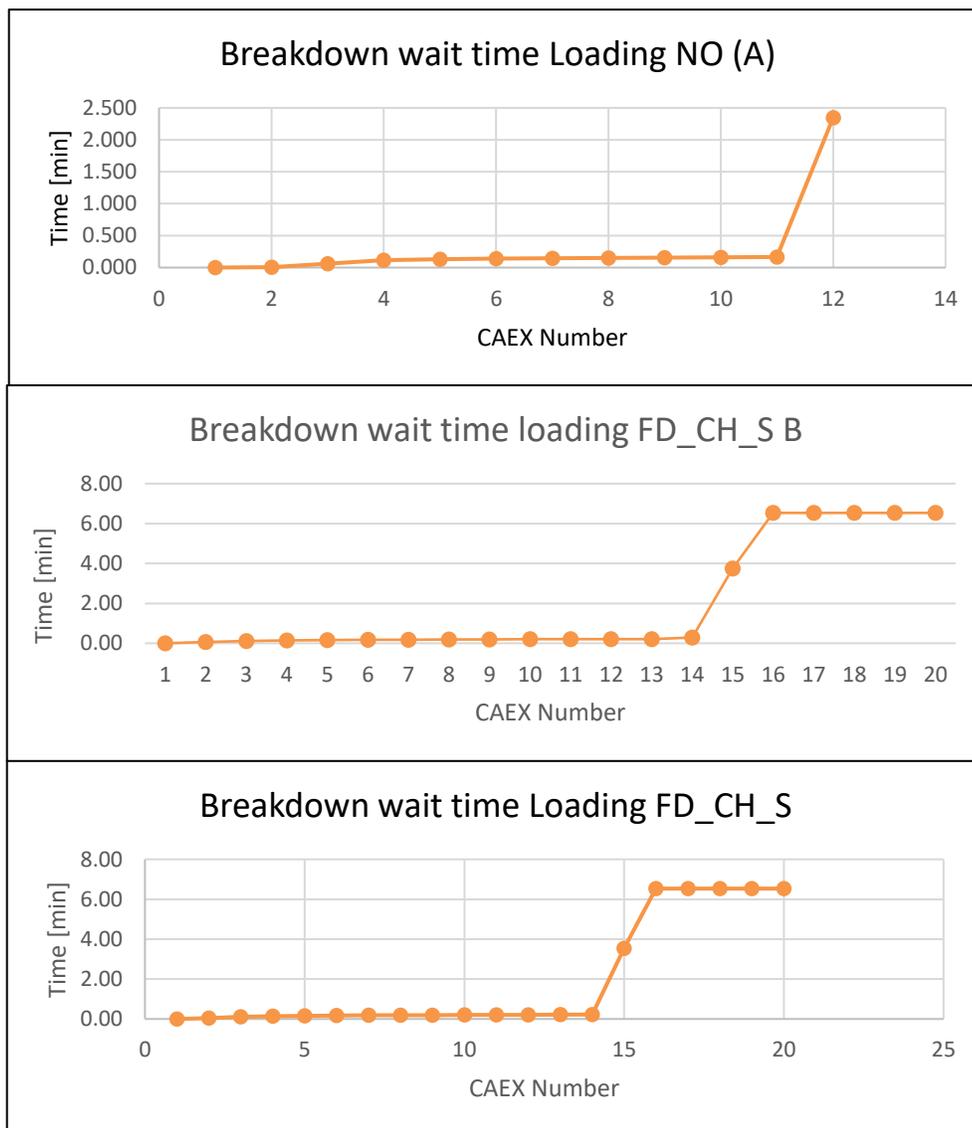
En consecuencia, de la tabla 1 se obtiene un total de 50 camiones.

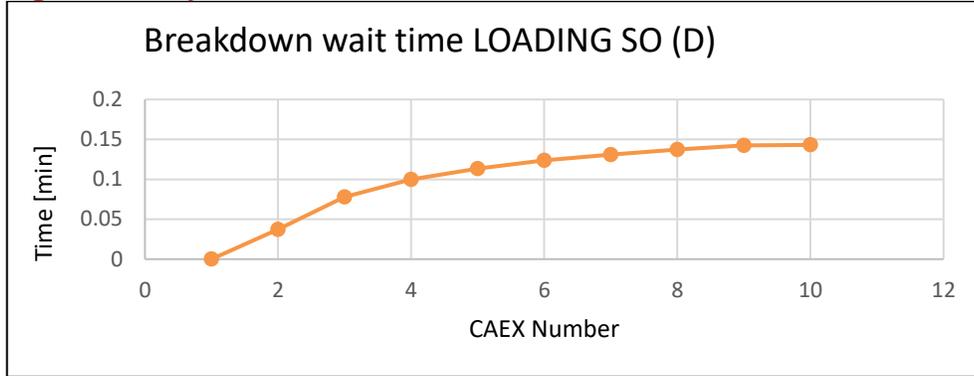
3. Usando el número de camiones de pregunta 2, **para cada circuito productivo**:
  - a. Grafique la productividad en [t/h], en función del número de camiones.



Como se puede observar en cada uno de los gráficos del apartado 3.a: Presenta una tendencia lineal hasta cierto punto en donde luego comienza una tendencia constante. Por lo que en ese cambio abrupto se encuentra la cantidad de camiones con la máxima productividad nominal, descartando el agregarle más camiones debido al no aumentar la productividad sino constante como se mencionó.

b. Mencione el número de camiones que satura el circuito

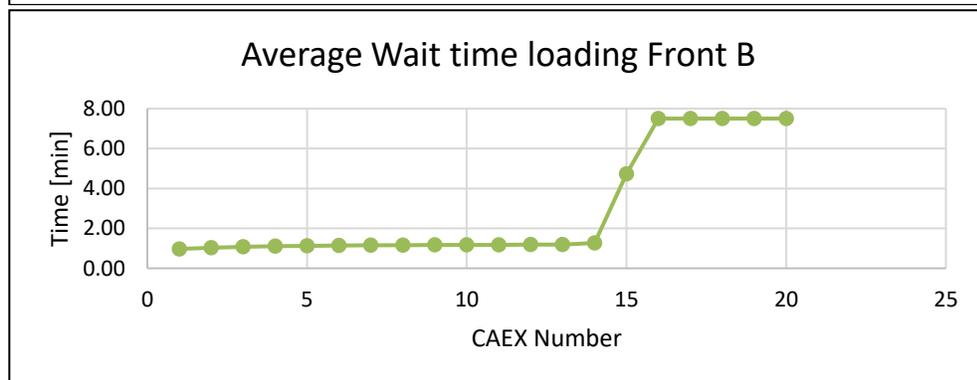
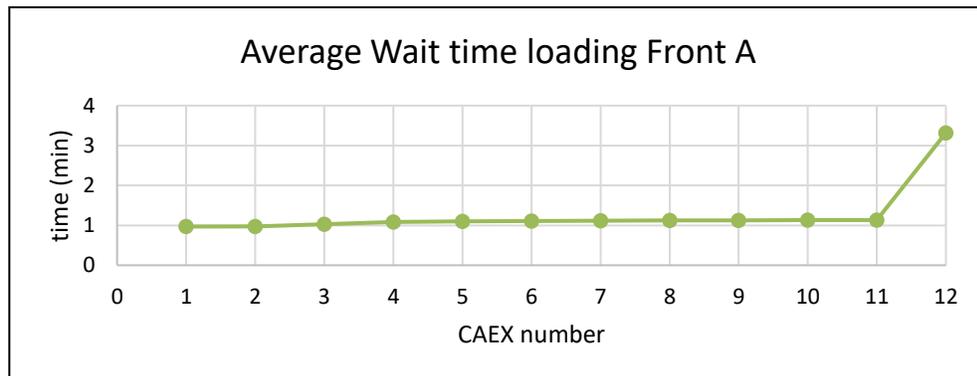


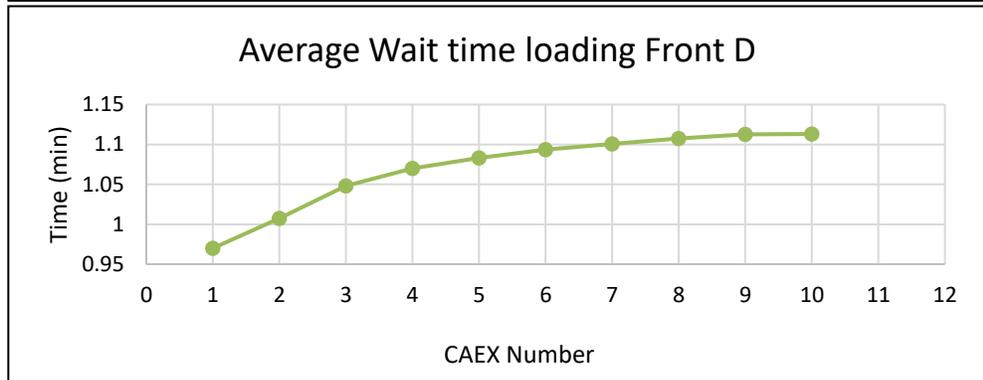
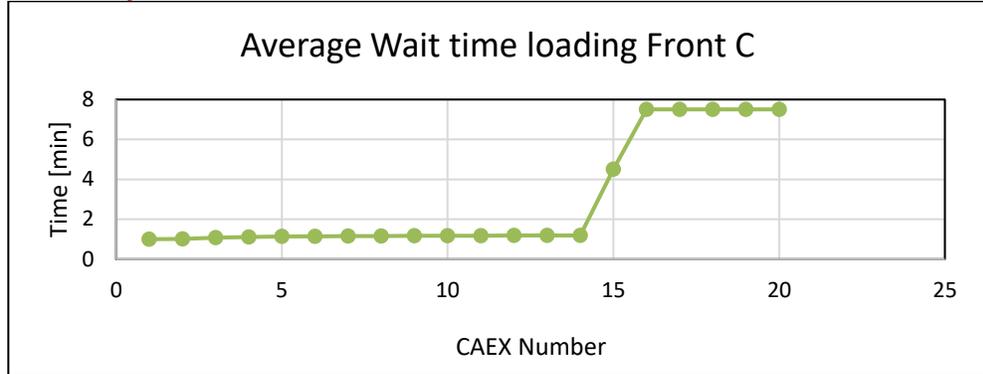


De acuerdo con los gráficos del apartado 3.b se tiene lo siguiente:

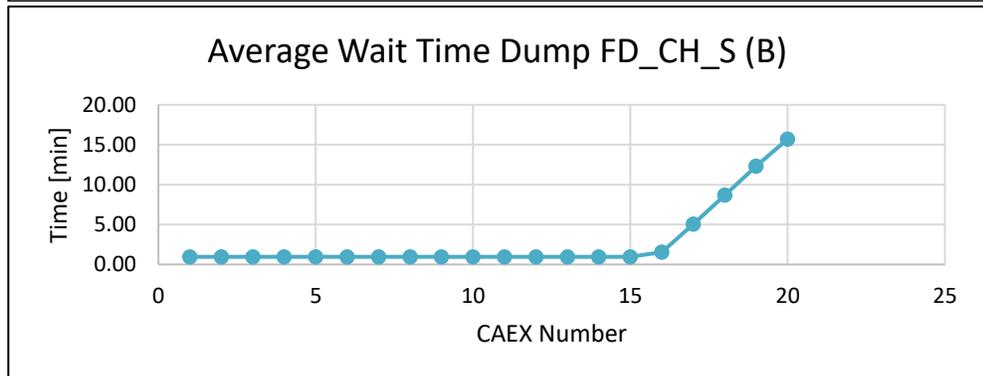
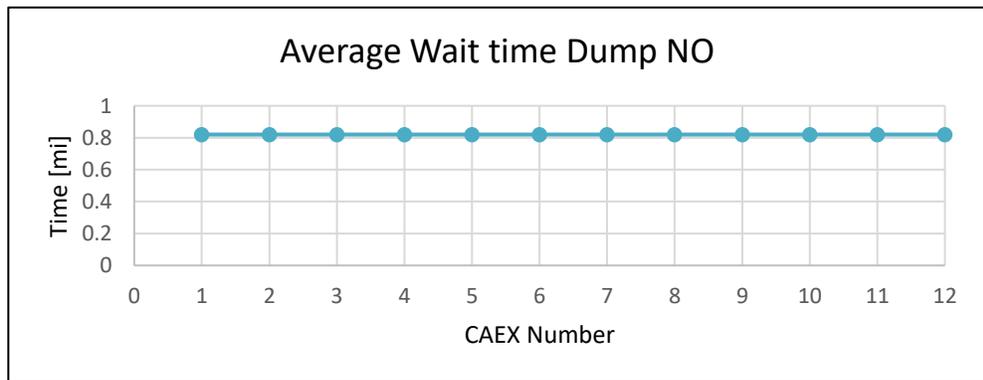
Hay una tendencia en el tiempo que se mantiene constante con cierta cantidad de camiones, lo cual cambia significativamente después de cierta cantidad de camiones. Según cada gráfico ese aumento de tiempo se produce al aumentar con camión por cada circuito productivo (Tabla1)

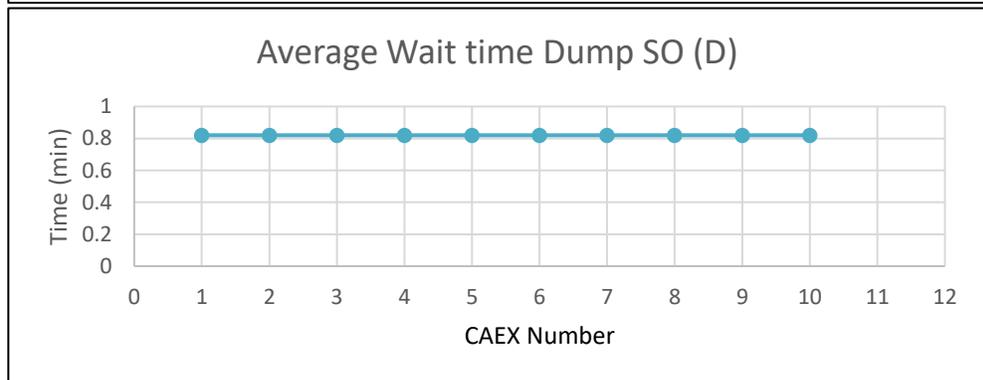
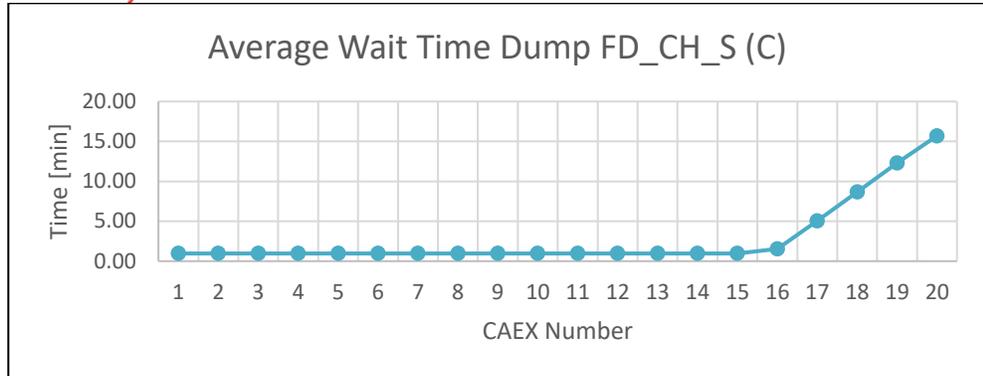
- c. Grafique la media del tiempo de espera en el frente de carga de un camión, en función del número de camiones.



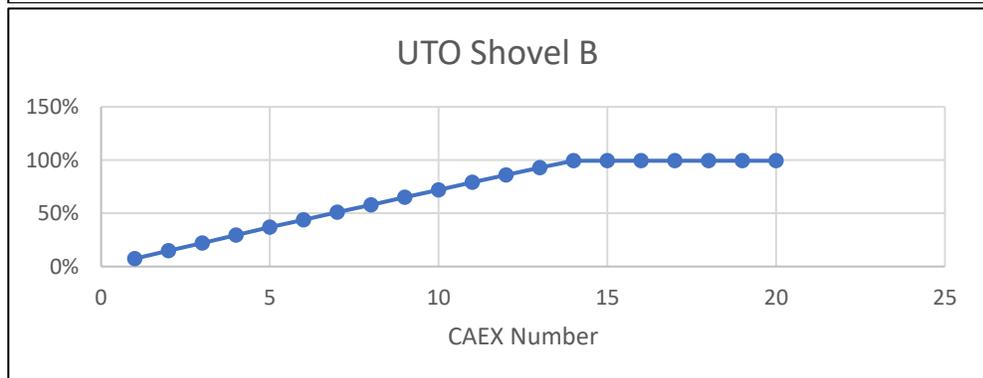
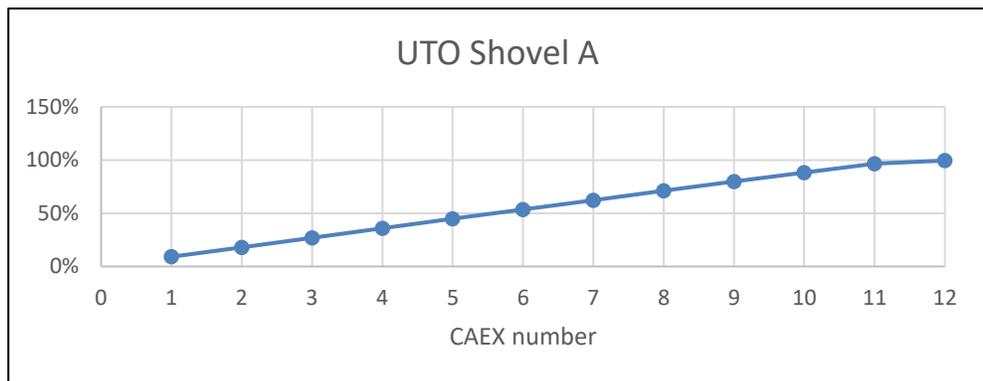


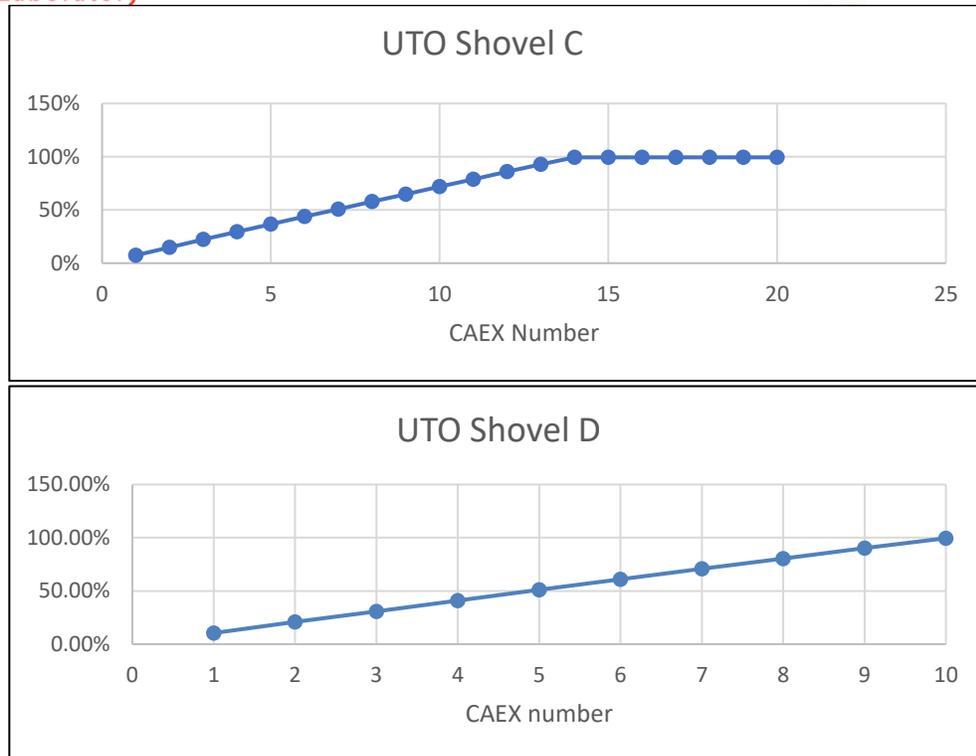
d. Grafique la media del tiempo de espera en el frente de descarga de un camión, en función del número de camiones.





e. Grafique el factor de utilización de la pala (tiempo efectivo partido por tiempo operativo), en función del número de camiones.

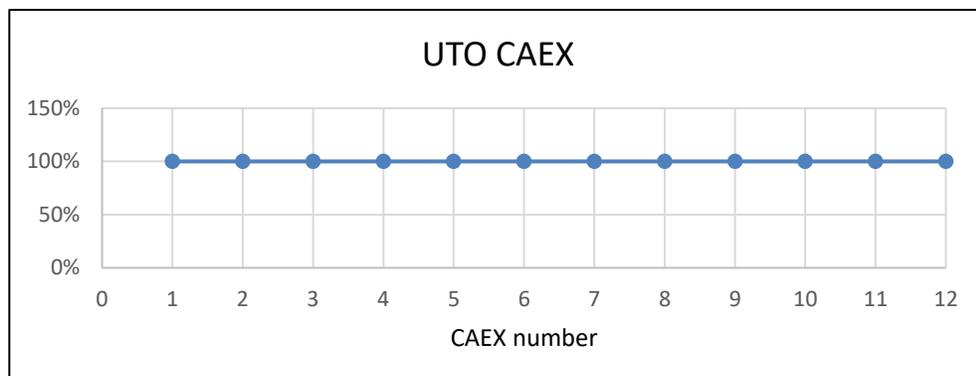




Los gráficos del apartado de 3.e presentan la misma tendencia lineal, por lo que el factor de utilidad de la pala aumenta al aumentar la cantidad de camiones. Luego se mantiene un factor de utilidad constante al aumentar la cantidad indicada en la Tabla 1.

- f. Grafique el factor de utilización promedio de la flota de camiones, en función del número de camiones.

Para este caso se trabaja sin mantenciones programadas, fallas, colaciones ni cambios de turno en palas, camiones y chancador. Por lo tanto, los camiones un factor de utilización del 100% como se muestra en el siguiente gráfico:



## Parte B: Máxima productividad operativa de todos los circuitos productivos

En la parte B del proyecto se evalúa la máxima productividad cuando la totalidad de los

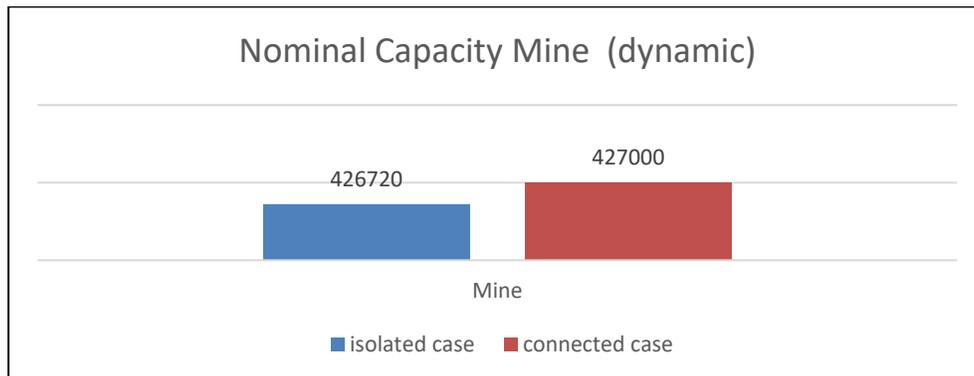
circuitos productivos están en operación. Para ello debe asumir los siguientes **supuestos** (solamente para las preguntas de la Parte B del proyecto):

- **No existen** mantenencias programadas, fallas, colaciones ni cambios de turno en palas, camiones y chancador.
- Para cada simulación en esta parte B del proyecto, basta realizar solo una réplica.

Responda las siguientes preguntas:

¿En qué porcentaje se ve afectada la productividad máxima de cada circuito productivo cuando la totalidad de los circuitos se encuentran en operación con sus flotas saturadas (definidas en la pregunta 1)?

A continuación, se presenta un gráfico de barras en donde; la barra azul representa el circuito aislado (caso A) y la barra roja representa los cuatro circuitos interconectados (caso B).



Se observa una leve diferencia entre el caso A y caso B, donde se puede indicar que el caso B es más productivo con un 0.06%.

1. Responda:

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

*Tabla 2: Tiempo de espera de un camión para cada frente*

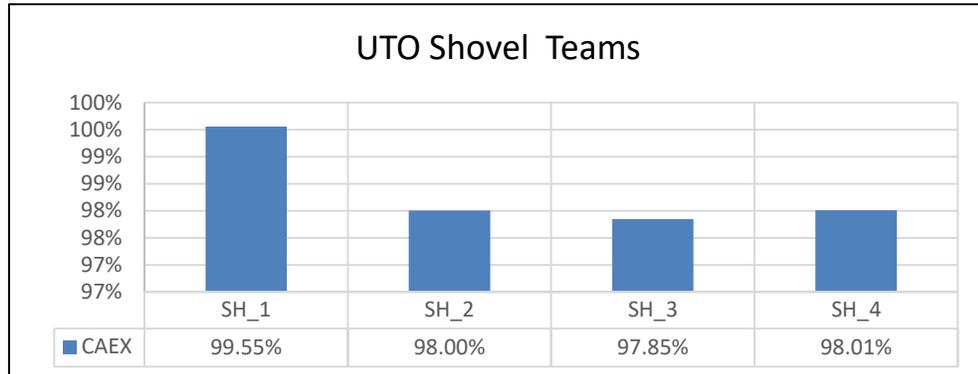
Pala	A	B	C	D
Tiempo de espera [min]	3.32	1.28	1.27	1.23

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

*Tabla 3: Tiempo de espera de un camión para cada frente de descarga*

Lugar de descarga	CH FD_CH_S	DumpNO FD_DumpNO	DumpSO FD_DumpSO
Tiempo de espera [min]	1.085194669	0.82	0.82

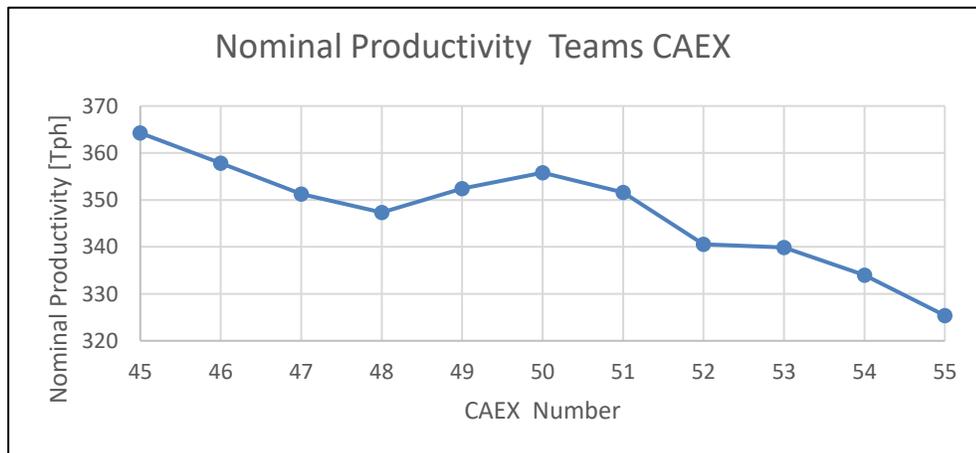
c. Para cada equipo de carga, calcular el factor de utilización.



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

De acuerdo con los **supuestos** del enunciado, el factor de utilización promedio de la flota de camiones es de un 100%.

2. Corrija el número de camiones debido al efecto de la operación conjunta de todos los circuitos productivos.



De acuerdo el gráfico, se tiene que la flota de 50 de camiones sigue siendo la mejor, en la operación conjunta de todos los circuitos productivos.

3. Usando el número de camiones de definido en la pregunta 2:

De lo respondido del apartado C.2, los siguientes ítems concuerdan con lo requerido en el apartado B

- a. Grafique la media del tiempo de espera para cada frente de carga de un camión, en función del número de camiones.

Revisar Tabla 2

- b. Grafique la media del tiempo de espera para cada frente de descarga de un camión, en función del número de camiones.

Revisar Tabla 3

- c. Grafique el factor de utilización para cada pala (tiempo efectivo partido por tiempo operativo), en función del número de camiones.

Revisar apartado B.1.c

- d. Grafique el factor de utilización promedio de la flota de camiones, en función del número de camiones.

Revisar apartado B.1d.

## Parte C: Máxima productividad nominal de todos los circuitos productivos (opcional)

En la parte C del proyecto, debe realizar la evaluación del sistema de movimiento de material ahora **considerando fallas, cambios de turno y colaciones de la flota de palas y camiones**. Asuma que la no disponibilidad de camiones y palas corresponde solamente a fallas (es decir, no hay mantenciones programadas). Considere que los parámetros de entrada de esta operación minera a cielo abierto están dados de la Tabla 1 hasta la Tabla 4.

Responda las siguientes preguntas:

1. ¿En qué porcentaje se ve afectada la productividad nominal en de cada frente de descarga cuando se **consideran fallas, cambios de turno y colaciones de la flota de palas y camiones**?

*Tabla 4: Tabla de variación respecto al apartado B y apartado C*

N° de Camiones	Productividad Nominal Flota t/h Caso B	Productividad Nominal Flota t/h Caso C	% Variación
45	16392	9637	41%
46	16462	10057	39%
47	16508	10267	38%
48	16672	10103	39%
49	17267	10815	37%
50	17792	11107	38%
51	17932	10897	39%
52	17710	11188	37%
53	18013	11363	37%
54	18037	11853	34%
55	17897	11725	34%

2. Responda:

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

*Tabla 5: Tiempo de espera un camión desde el 45 al 55*

N° Camiones	Tiempo Espera medio de carga FC_PO_A [min]	Tiempo Espera medio de carga FC_PO_B [min]	Tiempo Espera medio de carga FC_PO_C [min]	Tiempo Espera medio de carga FC_PO_D [min]
45	3.33	3.33	2.57	2.08
46	3.03	4.21	2.93	2.33
47	3.31	3.59	2.88	2.16
48	3.91	4.93	2.57	3.05
49	3.25	5.58	2.70	2.24
50	3.10	5.93	2.74	2.16
51	3.69	6.30	2.87	2.12
52	3.77	6.23	3.46	2.16
53	3.01	6.20	3.93	2.19
54	3.13	5.79	5.04	2.24
55	2.93	5.66	4.61	2.16

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

*Tabla 6: Tiempo de espera de un camión (45 al 55) para cada frente de descarga*

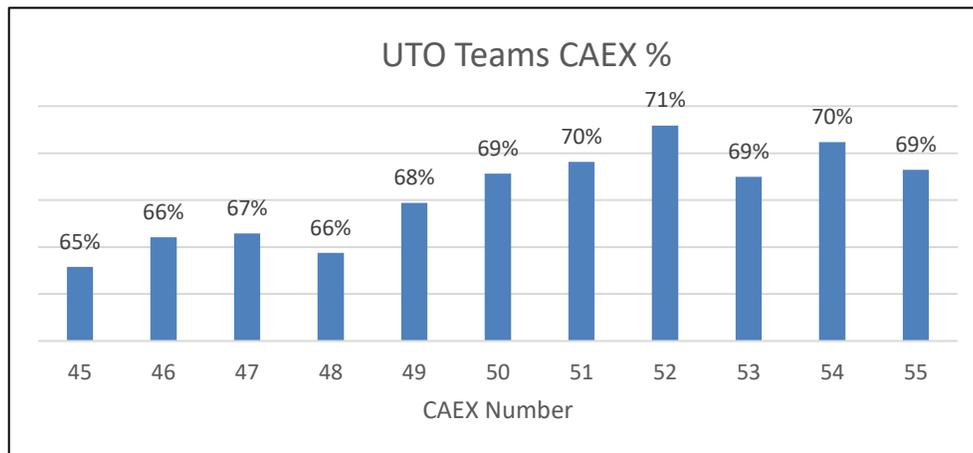
N° Camiones	Tiempo Espera medio de descarga FD_CH_S [min]	Tiempo Espera medio de descarga FD_DumpNO [min]	Tiempo Espera medio de descarga FD_DumpSO [min]
45	1.30	0.83	0.82
46	1.36	1.15	0.83
47	1.44	0.89	0.82
48	1.42	1.67	0.83
49	1.42	0.94	0.82
50	1.99	1.00	0.82
51	3.16	2.22	0.86
52	4.06	2.15	0.82
53	3.91	0.88	0.83
54	3.85	1.00	0.83
55	4.22	0.93	0.85

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

*Tabla 7: Factor de utilización para cada equipo de carga*

N° de Camiones	Factor de Utilización SH_1 (%)	Factor de Utilización SH_2 (%)	Factor de Utilización SH_3 (%)	Factor de Utilización SH_4 (%)
45	36%	56%	71%	46%
46	44%	61%	54%	51%
47	40%	61%	73%	49%
48	44%	47%	59%	53%
49	43%	62%	80%	50%
50	46%	63%	81%	52%
51	53%	66%	62%	39%
52	54%	50%	84%	40%
53	36%	68%	84%	53%
54	51%	66%	86%	54%
55	51%	68%	89%	40%

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



3. Calcular los siguientes índices operacionales para cada pala y para la flota de camiones:
4. Disponibilidad.

*Tabla 8: Tabla de disponibilidad para cada pala y para cada flota de camiones (45 al 55)*

N° de Camiones	Disponibilidad SH_1 (%)	Disponibilidad SH_2 (%)	Disponibilidad SH_3 (%)	Disponibilidad SH_4 (%)
45	100%	100%	100%	100%
46	100%	100%	86%	100%
47	100%	100%	100%	100%
48	100%	86%	86%	100%
49	100%	100%	100%	100%
50	100%	100%	100%	100%
51	100%	100%	86%	86%
52	100%	86%	100%	86%
53	86%	100%	100%	100%
54	100%	100%	100%	100%
55	100%	100%	100%	86%

5. Utilización Operativa.

*Tabla 9: Utilización Operativa*

N° de Camiones	Utilización Operativa SH_1 (%)	Utilización Operativa SH_2 (%)	Utilización Operativa SH_3 (%)	Utilización Operativa SH_4 (%)
45	100%	100%	100%	100%
46	100%	100%	100%	100%
47	100%	100%	100%	100%
48	100%	100%	100%	100%
49	100%	100%	100%	100%
50	100%	100%	100%	100%
51	100%	100%	100%	100%
52	100%	100%	100%	100%
53	100%	100%	100%	100%
54	100%	100%	100%	100%
55	100%	100%	100%	100%

6. Factor de Utilización.

*Tabla 10: Factor de Utilización de cada pala y flota de camiones (45 al 55)*

N° de Camiones	Factor de Utilización SH_1 (%)	Factor de Utilización SH_2 (%)	Factor de Utilización SH_3 (%)	Factor de Utilización SH_4 (%)
45	36%	56%	71%	46%
46	44%	61%	63%	51%
47	40%	61%	73%	49%
48	44%	54%	68%	53%
49	43%	62%	80%	50%
50	46%	63%	81%	52%
51	53%	66%	73%	45%
52	54%	59%	84%	46%
53	41%	68%	84%	53%
54	51%	66%	86%	54%
55	51%	68%	89%	46%

7. Utilización en Base Nominal.

*Tabla 11: Tabla de Utilización en Base Nominal para cada pala y flota de camiones (45 al 55)*

N° de Camiones	Utilización en Base Nominal SH_1 (%)	Utilización en Base Nominal SH_2 (%)	Utilización en Base Nominal SH_3 (%)	Utilización en Base Nominal SH_4 (%)
45	36%	56%	71%	46%
46	44%	61%	63%	51%
47	40%	61%	73%	49%
48	44%	54%	68%	53%
49	43%	62%	80%	50%
50	46%	63%	81%	52%
51	53%	66%	73%	45%
52	54%	59%	84%	46%
53	41%	68%	84%	53%
54	51%	66%	86%	54%
55	51%	68%	89%	46%

8. Utilización en Base Disponible.

*Tabla 12: Utilización en Base Disponible para cada pala y flota de camión (45 al 55)*

N° de Camiones	Utilización en Base Disponible SH_1 (%)	Utilización en Base Disponible SH_2 (%)	Utilización en Base Disponible SH_3 (%)	Utilización en Base Disponible SH_4 (%)
45	36%	56%	71%	46%
46	44%	61%	63%	51%
47	40%	61%	73%	49%
48	44%	54%	68%	53%
49	43%	62%	80%	50%
50	46%	63%	81%	52%
51	53%	66%	73%	45%
52	54%	59%	84%	46%
53	41%	68%	84%	53%
54	51%	66%	86%	54%
55	51%	68%	89%	46%