# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Simulación

TRABAJO PRÁCTICO N°1 | Problema de ingeniería


**Alumnos:** González, Tomas
Pastor, Hanna
Zaracho, Julieta

**Profesora:** Franco, Lorena

## Consigna

Un supermercado recibe camiones con mercadería durante las 24 horas del día. Verifique mediante la prueba correcta. En primer lugar, identifíquese la distribución de llegada de los camiones, si es una conocida, se podrá emplear para la simulación, caso contrario deberá generarse una distribución empírica con los datos dados.

Los camiones transportan una carga que se ha encontrado normalmente distribuida con media 20 Tn. y desvío estándar de 3,5 Tn. La descarga de los mismos se efectúa con un auto elevador operado por un oficial y dos ayudantes. Se ha encontrado que la carga se puede clasificar, en cuanto al tiempo de descarga, en tres tipos:

| Tipo de carga | Probabilidad | Velocidad de descarga (TN/h) (tasa de salida) |
|---|---|---|
| A | 0,4 | 6 |
| B | 0,34 | 5,5 |
| C | 0,25 | 3,5 |

Los camiones se descargan entre las 6:00 hs y las 18:00 hs. Se pueden requerir horas extras hasta terminar la descarga o hasta cumplir 3 horas extras, según convenio con el sindicato, razón por la cual, si a las 21:00 hs no se ha descargado, el camión queda en stand by hasta las 6:00 hs del día siguiente para reanudar su descarga. Los camiones que llegan al supermercado después de las 17:00 hs no son descargados, debiendo permanecer en la playa de estacionamiento hasta el otro día a las 6:00 hs. No existe penalización monetaria por esta demora. En cambio, todo camión que llegue hasta las 15:00 hs, el supermercado tiene convenido con la empresa de logística que deberá ser descargado en el día. Por todo camión que habiendo ingresado antes de las 15:00 hs complete su descarga recién al día siguiente, el supermercado pagará a la empresa transportista una multa de $ 4.500.

La cuadrilla cobra, incluidas cargas sociales, a razón de $ 40/h el operador del auto elevador y $ 27,00 cada ayudante. Las extras, por ser durante la noche, se ha convenido entre el sindicato y la patronal que se pagarán al 75%.

Se debe determinar mediante simulación con Simevents (Matlab) cuál es la dotación óptima para minimizar el costo de operación, es decir, determinar cuántas cuadrillas son necesarias.

## Datos de los camiones:

| | | |
|---|---|---|
| 9,360752035 | 0,520431881 | 2,064287102 |
| 1,56418982 | 1,627724024 | 1,453634016 |
| 0,25315972 | 0,831569846 | 0,734383513 |
| 0,346612412 | 3,726805469 | 0,750830658 |
| 2,95937466 | 0,520431881 | 2,302988125 |
| 4,935692862 | 1,951769471 | 0,774457171 |
| 0,764931332 | 0,865083962 | 4,219256555 |
| 1,677086585 | 0,539279522 | 0,017025914 |
| 4,425690658 | 0,901952355 | 0,575277453 |
| 1,95316139 | 4,165973002 | 4,540933943 |
| 9,360752035 | 4,607802497 | 2,60028069 |
| 6,171182105 | 0,908260144 | 3,803243753 |

## Distribución de llegada:

Para poder determinar si la distribución de llegada sigue cierta distribución conocida podemos realizar una prueba de bondad de ajuste.

Teniendo en cuenta que la cantidad de datos es 36 utilizaremos Chi-Cuadrado, suponiendo que la muestra pertenece a una uniforme. Antes de comenzar la prueba determinamos las hipótesis que le dan lugar al mismo.

Ho: La muestra pertenece a una distribución uniforme.

Ha: La muestra no pertenece a una distribución uniforme.

Las desviaciones de los datos se distribuirán en intervalos, para poder determinar el número de intervalos realizamos $\sqrt{36} = 6$, por lo tanto, tendremos 6 intervalos.

Luego el tamaño del intervalo estará dado por el rango de los datos de la muestra sobre la cantidad de intervalos.

9,360752035 - 0,017025914 = 9,343726121 /6 = 1,557287687

0,017025914 + 1,557287687 = 1,57
1,574313601 + 1,557287687 = 3,13
3,131601288 +1,557287687 = 4,68

4,688888975 + 1,55728768 = 6,24
6,246176655 +1,55728768 = 7,80
7,803464335 + 1,557287687 = 9,36

Fe → como esperamos que la distribución sea uniforme 36/6 = 6

| Intervalos | Valores | Fo | Fe | $Xc^2 = \sum \frac{(Fe - Fo)^2}{Fe}$ |
|---|---|---|---|---|
| (0,017; 1,55) | 0,52; 0,25; 0,83; 0,73; 0,34; 0,75; 0,52; 0,77; 0,76; 0,86; 0,53; 0,01; 0,90; 0,57; 0,90 | 15 | 6 | $(6 - 15)^\wedge 2/6 = 13{,}5$ |
| (1,55; 3,13) | 2,06; 1,56; 1,62; 1,45; 2.95; 2.30; 1.95; 1.67; 1.95; 2.60 | 10 | 6 | $(6 - 10)^\wedge 2/6 = 2{,}6667$ |
| (3,13; 4,68 ) | 3.72; 4.21; 4.42; 4,54; 4.60; 3,80 | 6 | 6 | $(6 - 6)^\wedge 2/6 = 0$ |
| (4.68; 6.24) | 4.93; 6.17 | 2 | 6 | $(6 - 2)^\wedge 2/6 = 2{,}6667$ |
| (6.24; 7.80) | - | 0 | 6 | $(6 - 0)^\wedge 2/6 = 6$ |
| (7.80; 9,36) | 9,36; 9,36 | 2 | 6 | $(6 - 2)^\wedge 2/6 = 2{,}6667$ |

Sumatoria de la última columna: $27{,}5001 = X_c^2$

$k = 6\ y\ \alpha = 0{,}05\ (utilizamos\ el\ estándar)$

$X_{tabla}\ (k - 1; \alpha) = X_{tabla}(5,\ 0{,}05) = 11{,}0705$

$X_c^2 < X_{tabla} \rightarrow se\ acepta\ H_o$

$27{,}5001 \nless 11{,}0705 \rightarrow no\ aceptamos\ H_0$

Como no se cumple la condición, la distribución no pertenece a una uniforme. Planteamos una nueva hipótesis:

Ho: La muestra pertenece a una distribución exponencial

Ha: La muestra no pertenece a una distribución exponencial.

Tanto la cantidad de intervalos como sus tamaños siguen siendo los mismos, lo que cambia son los valores esperados.

Para esto sabemos que la probabilidad de una exponencial se calcula como

$$P(a \leq X \leq b) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}$$

$$Fe = P(a \leq X \leq b) * n$$

$$\lambda = \frac{1}{\tilde{x}}$$

Luego calculamos

$$\tilde{x} = \frac{\sum valores\ de\ la\ muestra}{n}$$

$$\frac{88{,}766}{36} = 2{,}466$$

$$\lambda = \frac{1}{(2{,}466)} = \mathbf{0.405}$$

| Intervalo | Probabilidad | Frecuencia Esperada |
|---|---|---|
| (0.17; 1.55) | 0,399 | 14,38 |
| (1.55; 3.13) | 0,252 | 9,08 |
| (3.13; 4.68) | 0,131 | 4,72 |
| (4.68; 6.24) | 0,070 | 2,53 |
| (6.24; 7.80) | 0,037 | 1,35 |
| (7.80; 9.36) | 0,020 | 0,72 |

| Intervalos | Valores | Fo | Fe | $Xc^2 = \sum \frac{(Fe - Fo)^2}{Fe}$ |
|---|---|---|---|---|
| (0,017; 1,55) | 0,52; 0,25; 0,83; 0,73; 0,34; 0,75; 0,52; 0,77; | 15 | 14,38 | 0,026 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,76; 0,86; 0,53; 0,01; 0,90; 0,57; 0,90 | | | |
| (1,55; 3,13) | 2,06; 1,56; 1,62; 1,45; 2.95; 2.30; 1.95; 1.67; 1.95; 2.60 | 10 | 9,08 | 0,093 |
| (3,13; 4,68 ) | 3.72; 4.21; 4.42; 4,54; 4.60; 3,80 | 6 | 4,72 | 0,347 |
| (4.68; 6.24) | 4.93; 6.17 | 2 | 2,53 | 0,111 |
| (6.24; 7.80) | - | 0 | 1,35 | 1.35 |
| (7.80; 9,36) | 9,36; 9,36 | 2 | 0,72 | 2,275 |

$$Xc^2 = 4{,}202$$

$$k = 6 \; y \; \alpha = 0{,}05 \; (utilizamos\ el\ estándar)$$

$$X_{tabla}\ (k-1;\alpha) = X_{tabla}(5,\ 0{,}05) = 11{,}0705$$

$$X_c^2 < X_{tabla} \rightarrow se\ acepta\ H_o$$

$$Como\ 4{,}202 < 11{,}0705\ \rightarrow Se\ acepta\ Ho$$

Luego podemos decir que la distribución sigue una distribución conocida que es la exponencial.

Por lo tanto, podemos afirmar que la distribución de llegada de los camiones es exponencial.

## Datos de la Distribución

La carga de los camiones está normalmente distribuida con los siguientes datos

- **Media:** 20Tn
- **Desvió Estándar:** 3,5 Tn
- **Descarga:** Interviene 1 oficial y 2 ayudantes. Se da entre la 6:00 y las 18:00 hrs.

Si el camión llega a las 17:00 hrs no se descarga y pasa al siguiente día (no hay penalización).

Si el camión llega a las 15:00hrs debe descargarse sí o sí, si no se cumple se debe pagar una multa de $4500

*Tipos de carga según tiempo de descarga*

| Tipo de Carga | Probabilidad | Velocidad de Descarga (Tn/h) |
|---|---|---|
| A | 0,4 | 6 |
| B | 0,35 | 5,5 |
| C | 0,25 | 3,5 |

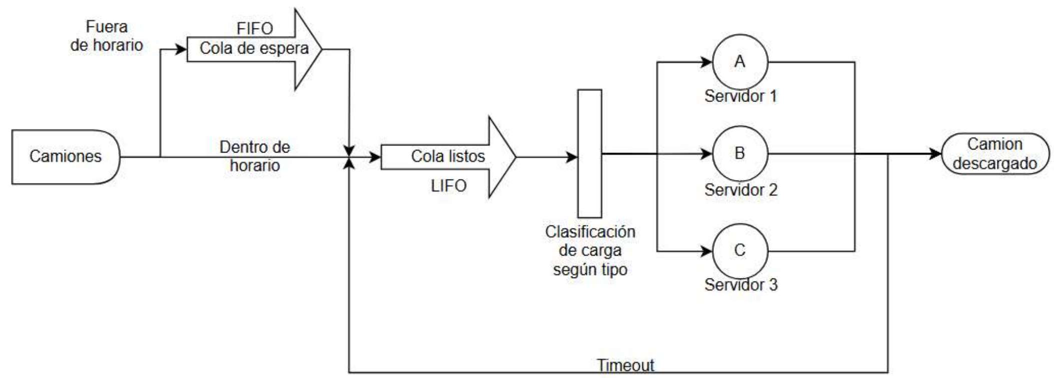
- **Gastos Cuadrilla/Oficial:** $40/h
- **Gastos operador:** 27,00 c/u
    - **Horas Extras:** Se pueden requerir horas extras hasta terminar la descarga o hasta cumplir 3 horas extras. (Limite máx hasta las 21:00), si se supera pasa al siguiente día. **Se deben pagar al 75%**

# Elementos del modelo:

- **Fuentes (Sources):** Representa el tiempo entre llegada de camiones. Esto es lo que se determinó en la primera parte del problema y siguen una distribución exponencial con una media de 2,46.
- **Atributos de cada camión (Entity Attribute Blocks):** distribución de cargas (media 20 - desviación 3.5)
- **Criterios de decisión (Decision Points):** depende de la hora de llegada de cada camión
    - si llega antes de las 15:00 se debe descarga sí o sí
    - Si llega antes de las 15:00 y no se descarga antes de las 18:00 -> multa de $4500
    - Si llega a las 17:00 no se descarga
    - Si llega antes de las 17:00 puede extenderse la descarga hasta las 21:00hrs. (concepción de horas extras)
- **Servidores/Procesadores (Servers)**: descarga de camiones según tipo de carga
    - A: 6 tn/h
    - B: 5,5 tn/h
    - C: 3.5 tn/h
- **Colas (Queues):** para camiones que quedan en espera en caso de que no se puedan procesar
    - Los camiones que llegan a las 17:00 no pueden descargarse.
- **Salidas (Sinks):** eliminar camiones una vez que se completen las descargas

## Modelo del sistema

Esto es un esquema a simples rasgos que evidencia el comportamiento del sistema en base a la problemática planteada de descarga de camiones en rango de horarios establecido.




Se reciben los camiones provenientes de un generador. En caso de que los camiones lleguen dentro del horario de atención, pasan a la cola listos. Si los camiones llegan fuera de horario, van a la cola de espera. Cuando un camión sale de la cola de listos, es atendido por un servidor dependiendo de su tipo de carga. Si la descarga del camión se completa, pasa a finalizar el proceso terminando en el camión completamente descargado. En caso de que el proceso se interrumpa porque se excedieron las 3horas extras por descargas, el camión regresa nuevamente a la cola de listos que tiene un comportamiento LIFO para que al día siguiente se trabaje primero con el camión que quedo a mitad de descarga. Los camiones en la cola de espera pasan luego a la cola de listos intercalándose con los camiones que llegan en el mismo día. Por cuestiones prácticas, en la implementación en Matlab se invirtió el orden entre la clasificación de tipo de carga y el ingreso a la cola de listos.

## Eventos del Modelo

En esta sección detallaremos todo lo relacionado a eventos que ocurren en la problemática, todos estos casos se contemplaron en los cálculos del script

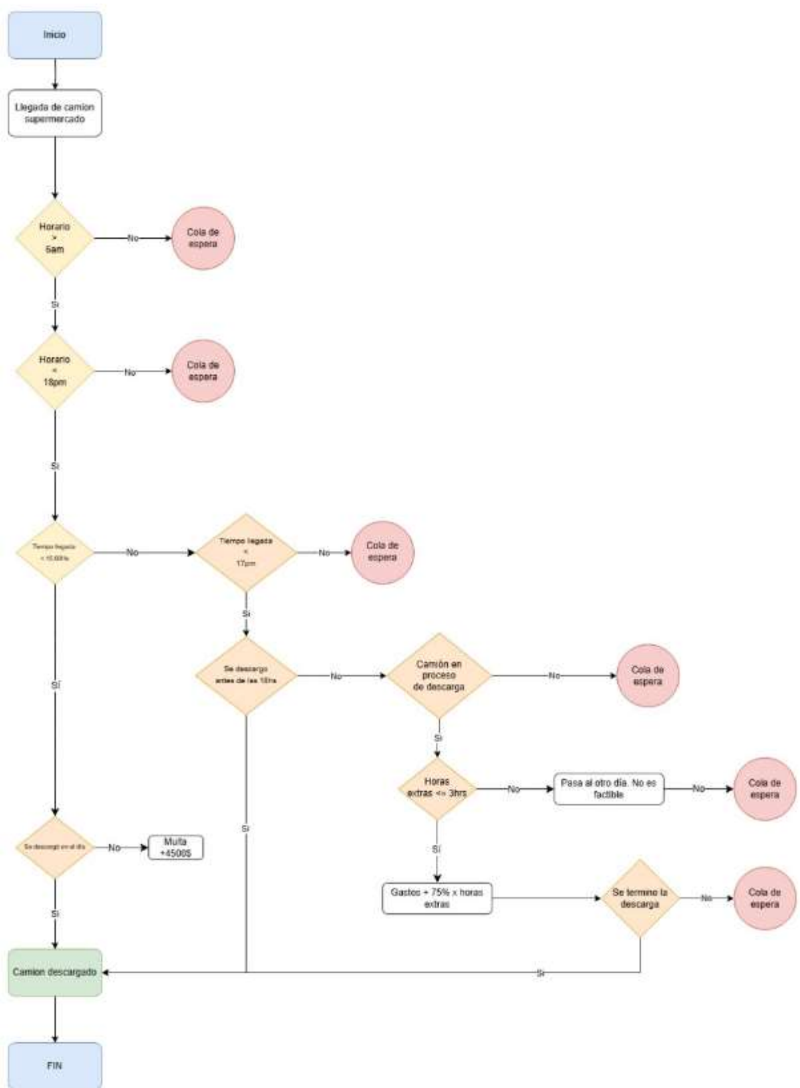
- CALCULO HORAS EXTRAS
  Dentro de la problemática se nos determina que solo podemos realizar 3 horas extras y estas deben contemplarse en el valor total del costo por camión.

- CALCULO CARGA RESTANTE
  Este caso por contemplar dentro de la problemática ocurre cuando tenemos un camión que no se completa de descargar luego del tiempo de trabajo y sumando las 3 horas extras que se pueden realizar para terminar de culminar el trabajo.

En este caso el camión quedará con la carga restante que no terminó de descargarse a la cola del siguiente día. Una vez que comience el horario laboral se retomará la descarga.

- COSTO MULTA – NO DESCARGADO
  Este caso sucede cuando el camión llega a las 15hrs y no es descargado, es decir, pasa al día siguiente. De esta forma debemos adicionar un costo extra al costo de este camión que como no se llegó a descarga pasará completo al siguiente día.

## Diagrama de flujo según los eventos del modelo y sus costos



## Tiempo de simulaciones

Como la problemática requiere la simulación de días para determinar los costos que generan las cuadrillas y contemplar una solución óptima frente a esto.

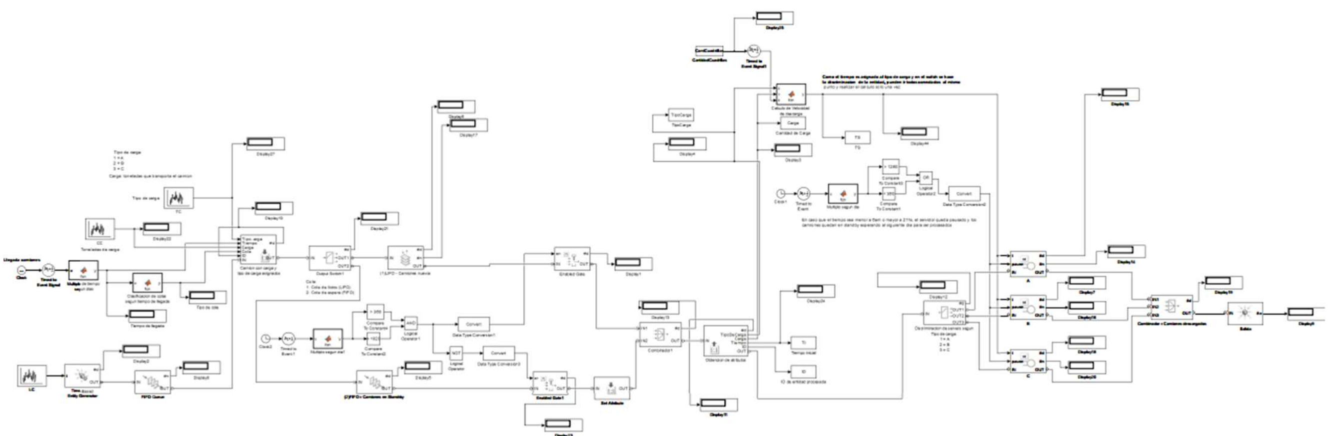
Se decidió que los tiempos se calculen en minutos según la siguiente conversión.

| Horas | Minutos |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 60 |
| 2 | 120 |
| 3 | 180 |
| 4 | 240 |
| 5 | 300 |
| 6 | 360 |
| 7 | 420 |
| 8 | 480 |
| 9 | 540 |
| 10 | 600 |
| 11 | 660 |
| 12 | 720 |
| 13 | 780 |
| 14 | 840 |
| 15 | 900 |
| 16 | 960 |
| 17 | 1020 |
| 18 | 1080 |
| 19 | 1140 |
| 20 | 1200 |
| 21 | 1260 |
| 22 | 1320 |
| 23 | 1380 |
| 24 | 1440 |

De esta forma todos los gastos también serán contemplados en estas unidades.

Dentro del modelo decidimos simular con un tiempo equivalente a ***40360*** ya que se obtenían datos más relevantes en cuanto a entidades y en consecuente a los costos que buscamos minimizar.

# MODELO DE SIMULINK



## Cantidad de cuadrillas

Para calcular cual es la cantidad óptima de cuadrillas se realizaron diferentes simulaciones con las combinaciones posibles de entre 1 a 5 cuadrillas para los tres tipos de carga.

Para esto se agregó una variable al modelo que incrementaba la cantidad de cuadrillas para los tipos de carga.

Después, con la ayuda de Excel, se sacó un promedio de los costos para todos los tipos de carga que tenemos en el modelo y según las cuadrillas necesarias.

De estos costos determinamos el óptimo como el mínimo que obtenemos de cada cantidad de cuadrillas según el tipo de carga

## Cálculo de intervalos de confianza

Para calcular un rango estimado de los valores de los costos para cada cuadrilla, calculamos intervalos de confianza.

El método que utilizamos es el de Réplicas. Es un método que no nos permite conocer cuando se está en estado estable y cuando en estado transitorio con exactitud. En este método, cada observación está representada por una ejecución independiente de simulación.

Como lo usamos para el costo, la distribución es desconocida con desviación desconocida, por lo que estamos en el tercer caso visto en clase. Calculamos intervalos de confianza de 95%, por lo que tenemos $\alpha = 0{,}05$.

El valor de m (cantidad de simulaciones inicial), por regla práctica, tiene que ser mayor a 30. Usamos entonces m = 35. Hacemos las simulaciones y calculamos el desvío muestral.

Como en nuestro caso tenemos una población normal con σ desconocida, n estará dado por:

$$n = \frac{\left(t_{(0,025;34)} \cdot s\right)^2}{d^2}$$

Donde:

- S es la media muestral piloto del costo con las 35 simulaciones
- t es el valor tabulado en la tabla t-student para los valores tomados
- d es la semiamplitud de los intervalos.

El *resultado*, es la cantidad de simulaciones a realizar para obtener el intervalo de confianza.

Para calcular dicho intervalo de confianza, luego hacemos:

$$(x - z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} \; ; \; x + z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}})$$

Y como el nivel de confianza del intervalo es del 95%, obtenemos que $z_{\frac{\alpha}{2}}$=1,960

Para no calcular el intervalo de confianza de cada una de las combinaciones posibles, es decir:

1 Cuadrilla, Carga 1 = Intervalo ($X_1$;$Y_1$)

1 Cuadrilla, Carga 2 = Intervalo ($X_2$;$Y_2$)

1 Cuadrilla, Carga 3 = Intervalo ($X_3$;$Y_3$)

2 Cuadrillas, Carga 1 = Intervalo ($X_{21}$;$Y_{21}$)

2 Cuadrillas, Carga 2 = Intervalo ($X_{22}$;$Y_{22}$)

2 Cuadrillas, Carga 3 = Intervalo ($X_{23}$;$Y_{23}$)

Etc…

Se utilizará un Excel para calcular la cantidad de cuadrillas óptimas para cada carga, para esto, corremos 35 simulaciones por cuadrilla y le tomaremos el promedio a cada costo de carga por cantidad de cuadrilla, quedándonos con los más pequeños en cada caso. Luego calcularemos el intervalo de confianza para ese tipo de carga con esa cantidad de cuadrillas.

Para esto, realizamos primero m=35 simulaciones, para conocer su desvío estándar mediante un piloto. Impondremos en cada caso un valor de d = 14, para los cálculos de los intervalos.

Y luego, para obtener t(0,025; 34), observamos en la tabla de t-student:

Tabla t-Student


| Grados de libertad | 0.25 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.0000 | 3.0777 | 6.3137 | 12.7062 | 31.8210 | 63.6559 |
| 2 | 0.8165 | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027 | 6.9645 | 9.9250 |
| 3 | 0.7649 | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824 | 4.5407 | 5.8408 |
| 4 | 0.7407 | 1.5332 | 2.1318 | 2.7765 | 3.7469 | 4.6041 |
| 5 | 0.7267 | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706 | 3.3649 | 4.0321 |
| 6 | 0.7176 | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469 | 3.1427 | 3.7074 |
| 7 | 0.7111 | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646 | 2.9979 | 3.4995 |
| 8 | 0.7064 | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060 | 2.8965 | 3.3554 |
| 9 | 0.7027 | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622 | 2.8214 | 3.2498 |
| 10 | 0.6998 | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281 | 2.7638 | 3.1693 |
| 11 | 0.6974 | 1.3634 | 1.7959 | 2.2010 | 2.7181 | 3.1058 |
| 12 | 0.6955 | 1.3562 | 1.7823 | 2.1788 | 2.6810 | 3.0545 |
| 13 | 0.6938 | 1.3502 | 1.7709 | 2.1604 | 2.6503 | 3.0123 |
| 14 | 0.6924 | 1.3450 | 1.7613 | 2.1448 | 2.6245 | 2.9768 |
| 15 | 0.6912 | 1.3406 | 1.7531 | 2.1315 | 2.6025 | 2.9467 |
| 16 | 0.6901 | 1.3368 | 1.7459 | 2.1199 | 2.5835 | 2.9208 |
| 17 | 0.6892 | 1.3334 | 1.7396 | 2.1098 | 2.5669 | 2.8982 |
| 18 | 0.6884 | 1.3304 | 1.7341 | 2.1009 | 2.5524 | 2.8784 |
| 19 | 0.6876 | 1.3277 | 1.7291 | 2.0930 | 2.5395 | 2.8609 |
| 20 | 0.6870 | 1.3253 | 1.7247 | 2.0860 | 2.5280 | 2.8453 |
| 21 | 0.6864 | 1.3232 | 1.7207 | 2.0796 | 2.5176 | 2.8314 |
| 22 | 0.6858 | 1.3212 | 1.7171 | 2.0739 | 2.5083 | 2.8188 |
| 23 | 0.6853 | 1.3195 | 1.7139 | 2.0687 | 2.4999 | 2.8073 |
| 24 | 0.6848 | 1.3178 | 1.7109 | 2.0639 | 2.4922 | 2.7970 |
| 25 | 0.6844 | 1.3163 | 1.7081 | 2.0595 | 2.4851 | 2.7874 |
| 26 | 0.6840 | 1.3150 | 1.7056 | 2.0555 | 2.4786 | 2.7787 |
| 27 | 0.6837 | 1.3137 | 1.7033 | 2.0518 | 2.4727 | 2.7707 |
| 28 | 0.6834 | 1.3125 | 1.7011 | 2.0484 | 2.4671 | 2.7633 |
| 29 | 0.6830 | 1.3114 | 1.6991 | 2.0452 | 2.4620 | 2.7564 |
| 30 | 0.6828 | 1.3104 | 1.6973 | 2.0423 | 2.4573 | 2.7500 |
| 31 | 0.6825 | 1.3095 | 1.6955 | 2.0395 | 2.4528 | 2.7440 |
| 32 | 0.6822 | 1.3086 | 1.6939 | 2.0369 | 2.4487 | 2.7385 |
| 33 | 0.6820 | 1.3077 | 1.6924 | 2.0345 | 2.4448 | 2.7333 |
| 34 | 0.6818 | 1.3070 | 1.6909 | 2.0322 | 2.4411 | 2.7284 |
| 35 | 0.6816 | 1.3062 | 1.6896 | 2.0301 | 2.4377 | 2.7238 |
| 36 | 0.6814 | 1.3055 | 1.6883 | 2.0281 | 2.4345 | 2.7195 |
| 37 | 0.6812 | 1.3049 | 1.6871 | 2.0262 | 2.4314 | 2.7154 |
| 38 | 0.6810 | 1.3042 | 1.6860 | 2.0244 | 2.4286 | 2.7116 |
| 39 | 0.6808 | 1.3036 | 1.6849 | 2.0227 | 2.4258 | 2.7079 |
| 40 | 0.6807 | 1.3031 | 1.6839 | 2.0211 | 2.4233 | 2.7045 |

Queda que t(0,025; 34) → 2.0322

Del Excel, entonces obtenemos qué, en un rango entre 1 y 5, las cantidades optimas de cuadrillas por cada tipo de carga son:

| Carga | Costo minimo | Cantidad de cuadrillas |
|---|---|---|
| A | $ 579,42 | 1 Cuadrilla/s |
| B | $ 586,88 | 1 Cuadrilla/s |
| C | $ 584,95 | 2 Cuadrilla/s |

Además, obtenemos:

$s$ 1 cuadrilla, carga 1 = 88,112807

$s$ 1 cuadrilla, carga 2 = 107,8792694

$s$ 2 cuadrillas, carga 3 = 34,18523993

Usaremos d= β* $s$; con β un numero entre 0 y 1, como queremos que el semintervalo sea 14 (lo imponemos), obtenemos en cada caso:

## Carga 1: 1 Cuadrilla

Uso β = 0,16

$s$ = 88,112807

d= β* $s$ → d = 0,16 * 88,112807 = 14,1 = 14

Y calculamos la cantidad de simulaciones n

$n = \frac{(t_{(0,025;34)} .s)^2}{d^2} = \frac{(2{,}0322 * 88{,}112807)^2}{14^2} = 163{,}589$ = 164 simulaciones

Luego de las 164 simulaciones, obtenemos que la media del costo es

x = $591,74

y el desvío muestral es:

s = 97,5475873

Procedemos entonces a calcular el intervalo de confianza:

$$(x - z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} ; x + z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}})$$

$$(591{,}74 - 1{,}960 * \frac{97{,}5475873}{\sqrt{164}} ; 591{,}74 + 1{,}960 * \frac{97{,}5475873}{\sqrt{164}})$$

Con lo que obtenemos: (576,81;606,66) es decir, que el costo mínimo para la carga 1 se da con una cuadrilla, y dicho costo será un valor entre $576,81 y $606,66.

**Intervalo en $/h (34.608,6; 36.399,6)**

## Carga 2: 1 Cuadrilla

$s$ = 107,8792694

Uso β = 0,13

d= β* $s$ → d = 0,13 * 107,8792694 = 14,02 = 14

Y calculamos la cantidad de simulaciones n

$n = \frac{(t_{(0,025;34)} .s)^2}{d^2} = \frac{(2{,}0322 * 107{,}8792694)^2}{14^2} = 245{,}218$ = 245 simulaciones

Luego de las simulaciones, obtenemos que la media del costo es:

x= $594,11

s = 103,1008648

Continuamos con el cálculo del intervalo de confianza:

$$(x - z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} ; x + z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}})$$

$$(594{,}11 - 1{,}960 * \frac{103{,}1008648}{\sqrt{245}} ; 594{,}11 + 1{,}960 * \frac{103{,}1008648}{\sqrt{245}})$$

Obtenemos entonces el intervalo: (583,57;604,64) con lo que se observa que, siendo 1 cuadrilla el costo mínimo para la carga 2, este costo estará entre $583,57 y $604,64.

**Intervalo en $/h (35.014,2; 36.278,4)**

## Carga 3: 2 Cuadrillas

$s$ = 34,18523993

Uso β = 0,4

d= β* $s$ → d = 0,4 * 34,18523993= 13,67 = 14

Y calculamos la cantidad de simulaciones n

$$n = \frac{\left(t_{(0{,}025;34)} .s\right)^2}{d^2} = \frac{(\,2{,}0322 * 34{,}18523993\,)^2}{14^2}$$ = 24,623774 = 25 simulaciones

De las simulaciones obtenemos:

x= $574,89

s = 40,896343

Calculamos el intervalo:

$$(x - z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} ; x + z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}})$$

$$(574{,}89 - 1{,}960 * \frac{40{,}896343}{\sqrt{25}} ; 574{,}89 + 1{,}960 * \frac{40{,}896343}{\sqrt{25}})$$

Y nos queda: (558,86;590,92) lo que nos dice que, siendo 2 cuadrillas la cantidad óptima para la carga 3, el costo de esta operación estará entre $558,86 y $590,92.

**Intervalo en $/h (33.531,6; 35.455,2)**

# Conclusión y elección de cuadrillas

Como se pudo observar en el desarrollo del trabajo que concluye en las simulaciones realizadas que derivan en los datos analizados en el Excel, se pudieron calcular la cantidad de cuadrillas que minimiza costos.

Además, luego de los cálculos, se pudieron obtener los intervalos en los cuales se pueden encontrar esos costos mínimos, para cada tipo de carga. Del mismo Excel, se pueden ver los demás costos por agregar otras cuadrillas:

| 1 Cuadrilla/s | | | |
|---|---|---|---|
| Carga | Desv. Est. | Promedio costo ($/min) | Promedio costo ($/h) |
| A | 88.11280707 | $ 579.42 | $34,764.98 |
| B | 107.8792694 | $ 586.88 | $35,212.62 |
| C | 92.57564214 | $ 586.74 | $35,204.55 |

| 2 Cuadrilla/s | | | |
|---|---|---|---|
| Carga | Desv. Est. | Promedio costo | Promedio costo ($/h) |
| A | 34.78831537 | $ 588.88 | $35,332.54 |
| B | 33.61611926 | $ 594.45 | $35,666.71 |
| C | 34.18523993 | $ 584.95 | $35,097.28 |

| 3 Cuadrilla/s | | | |
|---|---|---|---|
| Carga | Desv. Est. | Promedio costo | Promedio costo ($/h) |
| A | 51.03305782 | $ 592.61 | $35,556.73 |
| B | 50.80166049 | $ 589.30 | $35,357.76 |
| C | 53.58027504 | $ 591.02 | $35,461.43 |

| 4 Cuadrilla/s | | | |
|---|---|---|---|
| Carga | Desv. Est. | Promedio costo | Promedio costo ($/h) |
| A | 35.65061613 | $ 601.05 | $36,063.10 |
| B | 33.83243675 | $ 599.91 | $35,994.71 |
| C | 35.30622564 | $ 602.24 | $36,134.44 |

| 5 Cuadrilla/s | | | |
|---|---|---|---|
| Carga | Desv. Est. | Promedio costo | Promedio costo ($/h) |
| A | 35.30622564 | $ 593.01 | $35,580.77 |
| B | 102.8822226 | $ 595.50 | $35,730.23 |
| C | 8.976346134 | $ 593.45 | $35,607.26 |