

Proyecto de Simulación

Manuel S. Fernández Arias – C411

1. Problema

Puerto Sobrecargado (Overloaded Harbor)

En un puerto de supertanqueros que cuenta con 3 muelles y un remolcador para la descarga de estos barcos de manera simultánea se desea conocer el tiempo promedio de espera de los barcos para ser cargados en el puerto. El puerto cuenta con un bote remolcador disponible para asistir a los tanqueros. Los tanqueros de cualquier tamaño necesitan de un remolcador para aproximarse al muelle desde el puerto y para dejar el muelle de vuelta al puerto. El tiempo de intervalo de arribo de cada barco distribuye mediante una función exponencial con $\lambda = 8$ horas. Existen tres tamaños distintos de tanqueros: pequeño, mediano y grande, la probabilidad correspondiente al tamaño de cada tanquero se describe en la tabla siguiente. El tiempo de carga de cada tanquero depende de su tamaño y los parámetros de distribución normal que lo representa también se describen en la tabla siguiente.

Tamaño	Probabilidad de Arribo	Tiempo de Carga
Pequeño	0.25	$\mu = 9, \sigma^2 = 1$
Mediano	0.25	$\mu = 12, \sigma^2 = 2$
Grande	0.25	$\mu = 18, \sigma^2 = 3$

De manera general, cuando un tanquero llega al puerto, espera en una cola (virtual) hasta que exista un muelle vacío y que un remolcador esté disponible para atenderle. Cuando el remolcador está disponible lo asiste para que pueda comenzar su carga, este proceso demora un tiempo que distribuye exponencial con $\lambda = 2$ horas. El proceso de carga comienza inmediatamente después de que el barco llega al muelle. Una vez terminado este proceso es necesaria la asistencia del remolcador (esperando hasta que esté disponible) para llevarlo de vuelta al puerto, el tiempo de esta operación distribuye de manera exponencial con $\lambda = 1$ hora. El traslado entre el puerto y un muelle por el remolcador sin tanquero distribuye exponencial con $\lambda = 15$ minutos. Cuando el remolcador termina la operación de aproximar un tanquero al muelle, entonces lleva al puerto al primer barco que esperaba por salir, en caso de que no exista barco por salir y algún muelle esté vacío, entonces el remolcador se dirige hacia el puerto para llevar al primer barco en espera hacia el muelle vacío; en caso de que no espere ningún barco, entonces el remolcador esperara por algún barco en un muelle para llevarlo al puerto. Cuando el remolcador termina la operación de llevar algún barco al puerto, este inmediatamente lleva al primer barco esperando hacia el muelle vacío. En caso de que no haya barcos en los muelles, ni barcos en espera para ir al muelle, entonces el remolcador se queda en el puerto esperando por algún barco para llevar a un muelle. Simule completamente el funcionamiento del puerto. Determine el tiempo promedio de espera en los muelles.

2. Principales Ideas

Para la solución del problema se definieron los siguientes eventos:

- Arribo del próximo barco
- Tiempo en el que se produciría la próxima “Finalización de carga”
- Tiempo en el que se produciría la próxima “Salida del muelle”
- Tiempo en el que se produciría el próximo “Llevar barco al muelle”

En todo momento se determina el próximo evento en la línea temporal, que no es más que de los cuatro eventos mencionados con anterioridad el que este más próximo al tiempo actual de la simulación, esto se logra con una cola de prioridad actualizada en todo momento.

Cuando un barco llega al puerto y todos los muelles están llenos estos pasan a una cola virtual, donde los barcos están ordenados por tiempo de llegada al puerto.

En la solución se tuvo en cuenta que los muelles trabajan en paralelo y así poder atender a varios barcos a la vez.

Para el remolcador del puerto se mantuvo actualizado en todo momento su posición, así como se garantiza que no sea utilizado por dos barcos a la vez.

3. Modelo de Simulación de Eventos Discretos desarrollado para resolver el problema

El puerto funciona como dos nodos conectados en serie, el primer nodo es el remolcador del puerto, y el segundo nodo es un conjunto de servidores que trabajan en paralelos: “los muelles”.

Cuando un barco llega el puerto, si el remolcador está disponible y hay algún muelle vacío el barco es llevado a dicho muelle, sino se pone en una cola virtual de arribo de barcos. Cuando un barco es cargado, si el remolcador está disponible es guiado por el mismo hasta las afueras del puerto, sino espera en una cola virtual de salida de barcos.

Variables utilizadas en el modelo:

- Tiempo actual de la simulación - t_A
- Tiempo total de la simulación - t_T
- Cantidad de barcos atendidos - c_B
- Tiempo de espera en el puerto - t_E
- Cola de Eventos – eventos (son una cola con prioridad donde cada elemento consiste en la acción, el tiempo de finalización y el barco asociado)
- Cola de Barcos - $cola_B$

Modelo:

- While $t_A < t_T$
 - Generar arribo de un nuevo barco y añadirlo a $cola_B$

- Si existe un muelle disponible
 - Sacar el primer barco de la cola
 - Añadir un nuevo evento “Llevar barco al muelle”
- Si la cantidad de eventos > 0
 - Sacar el primer elemento de eventos
 - Si el evento es “Llevar barco al muelle”
 - Si el Remolcador del puerto está en el muelle
 - $tA +=$ generar tiempo de desplazamiento del remolcador
 - $tA +=$ generar tiempo de llevar barco al muelle
 - Añadir un nuevo evento “Fin de carga”
 - Si el evento es “Fin de carga”
 - $tA = \max(tA, \text{tiempo de fin de Carga})$
 - Añadir un nuevo evento “Sacar barco del muelle”
 - Si el evento es “Sacar barco del muelle”
 - Si el Remolcador del puerto está en el puerto
 - $tA +=$ generar tiempo de desplazamiento del remolcador
 - $tA +=$ generar tiempo de llevar barco al puerto
 - $cB += 1, tE += tA - \text{tiempo de llegada al puerto del barco en cuestión}$
- retornar tE / cB

4. Variables aleatorias presentes en la simulación

- Tiempo de arribo de los barcos: $T \sim \text{exponencial}(\lambda)$, ($\lambda = 8$ horas)
- Tiempo de llevar un barco al muelle: (λ) , ($\lambda = 8$ horas)
- Tiempo de llevar un barco al puerto: $T \sim \text{exponencial}(\lambda)$, ($\lambda = 1$ hora)
- Tiempo de viaje del remolcador en solitario: $T \sim \text{exponencial}(\lambda)$, ($\lambda = 0.25$ hora)
- Tipo de barco: $T \sim \text{uniforme}(a, b)$, ($a = 0, b = 1$)
 - Tiempo de Carga según el tipo de barco:
 - Tipo de barco = 1: $T \sim \text{normal}(\mu, \sigma^2)$, ($\mu = 9, \sigma^2 = 1$)
 - Tipo de barco = 2: $T \sim \text{normal}(\mu, \sigma^2)$, ($\mu = 12, \sigma^2 = 2$)
 - Tipo de barco = 3: $T \sim \text{normal}(\mu, \sigma^2)$, ($\mu = 18, \sigma^2 = 3$)

5. Consideraciones obtenidas a partir de la ejecución de las simulaciones del problema

Variables a tener en cuenta en la simulación:

- Tiempo de demora en el muelle: “salida del barco hacia el puerto” – “llegada del barco al muelle”

- Tiempo de demora en el puerto: “salida del barco del puerto” – “llegada del barco al puerto”
- Tiempo de demora en las colas del puerto: “salida del barco hacia el muelle” – “llegada del barco al puerto” + “salida del barco hacia el puerto” – “tiempo de finalización de su carga”
- Cantidad de barcos atendidos

Tiempo de Trabajo	Cantidad de simulaciones	Tiempo promedio de demora en el muelle	Tiempo promedio de demora en el puerto	Tiempo promedio de espera en las colas del puerto	Cantidad de barcos atendidos como promedio
24	45	13	16	2	3
48	45	14	28	12	7
72	100	15	40	24	11
120	100	15	63	47	19
300	100	14	151	135	51
576	100	15	286	269	99

Como se puede apreciar en la tabla la media del tiempo que un barco pasa en el muelle es de 14 horas. Podemos observar como a medida que aumenta el tiempo de trabajo en el puerto también lo hacen los barcos atendidos , lo que es un comportamiento natural .Con el aumento del tiempo de trabajo también aumentan las horas que los barcos hacen estancia en el puerto , así como también las horas en las que están esperando a ser atendidos por el muelle o el remolcador; esto se debe a que mientras más tiempo este abierto el puerto más barcos llegan pero el tiempo de atención el muelle se mantiene constante , lo que implica que los barcos tengan que esperar más.