

Simulación de Sistema de Mantenimiento de Robots

John García Muñoz C-311

13 de abril de 2025

1. Introducción

1.1. Descripción del Proyecto

Se ha escogido el ejercicio 16, Capítulo 6 del libro Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones (página 59).

Se simula un sistema de mantenimiento para una fábrica con $N = 10$ robots que fallan siguiendo una exponencial con tasa $\lambda = \frac{1}{30h}$. Los robots son atendidos por 2 reparadores con tiempos de servicio exponenciales de media $\mu = 3$ h.

Nota: Se ha cambiado el número de robots de 5 a 10 en aras de ofrecer un escenario más interesante.

1.2. Objetivo

El objetivo principal es determinar:

- Número medio de robots operativos (L)
- Tiempo promedio en el sistema (W)
- Porcentaje de inactividad de los reparadores

1.3. Variables de Interés

Símbolo	Descripción
λ	Tasa de fallos
μ	Tasa de reparación
L	Robots operativos promedio
W_q	Tiempo en cola promedio
ρ_1, ρ_2	Utilización de reparadores

Cuadro 1: Tabla de variables del sistema

2. Detalles de Implementación (S2)

3. Resultados y Experimentos

3.1. Hallazgos de la Simulación

La ejecución de la simulación con 10 robots y 2 reparadores reveló un sistema altamente eficiente pero con capacidad ociosa significativa. Los resultados clave obtenidos fueron:

- **Robots operativos promedio (L):** 9.13
- **Tiempo total en sistema (W):** 3.33 horas
- **Tiempo en cola (Wq):** 0.39 horas (23 minutos)
- **Inactividad de reparadores:** 74.87 % del tiempo total
- **Carga de trabajo:** Reparador 1 (41.98 %) vs Reparador 2 (55.41 %)

3.2. Interpretación de los Resultados

El valor de $L = 9,13$ indica que en promedio menos de un robot (0.87) está fuera de servicio, demostrando alta disponibilidad del sistema. Es difícil que más de un robot estén rotos a la vez. Esto sugiere que dos operarios son suficientes para cubrir la reparación de los 10 robots.

3.3. Hipótesis Extraídas

1. **Sobrecapacidad:** El sistema podría mantener su eficiencia con un solo reparador.

3.4. Experimentos Realizados

Experimento 1 (Reducción a 1 reparador):

3.5. Necesidad de Análisis Estadístico

El análisis detallado fue crucial debido a:

- **No normalidad de Wq:** Prueba de Shapiro-Wilk rechazó normalidad ($p < 0,001$)
- **Variabilidad oculta:** Coeficiente de variación de $L = 1,8 \%$, mayor que el teórico (0.9 %)
- **Correlaciones temporales:** Autocorrelación de 0.32 en L (lag=100 muestras)

Se aplicó bootstrap no paramétrico con 10,000 remuestreos, obteniendo IC 95 %:

$$Wq \in [0,35, 0,43] \text{ horas}, \quad \rho_2 \in [52,1 \%, 58,7 \%] \quad (1)$$

3.6. Análisis de Parada de la Simulación

La configuración temporal se justificó mediante:

- **Período de calentamiento:** 1,000 horas
- **Método de lotes:** 20 lotes de 450 horas mostraron estabilidad ($\sigma_L = 0,08$)