

Aplicación de Teoría de Colas en un Terminal de Contenedores Marítimos

Objetivo:

Optimizar los tiempos de espera y atención de camiones en un terminal de contenedores, mejorando la eficiencia del patio de operaciones.

1. Definición del Problema

- **Contexto:** Los camiones llegan para cargar o descargar contenedores (DRY o REEFER).
 - **Problema:** Largas filas de espera generan costos extra (combustible, tiempos muertos, penalizaciones).
 - **Solución:** Modelar el flujo de camiones como un **sistema de colas**, analizar indicadores y ajustar recursos (grúas portacontenedores , puertas de acceso,).
-

2. Elementos del Modelo de Cola

Elemento	Descripción
----------	-------------

Clientes	Camiones con contenedores.
-----------------	----------------------------

Servidores	Puertas de ingreso/egreso + equipos de manipulación.
-------------------	--

Llegadas	Proceso aleatorio (ej: distribución de Poisson).
-----------------	--

Servicio	Tiempo para carga/descarga y papeleo.
-----------------	---------------------------------------

Disciplina	FIFO (First In, First Out) - primero en llegar, primero en ser atendido.
-------------------	--

Capacidad	Número máximo de camiones en cola (limitado por espacio).
------------------	---

3. Propuesta de Modelo Matemático

Utilizaremos un modelo clásico **M/M/c**:

- **M:** Llegadas son un proceso de Poisson (arribo aleatorio).
- **M:** Tiempos de servicio son exponenciales (variabilidad en tiempos de carga).
- **c:** Número de servidores (puertas + grúas trabajando simultáneamente).

Parámetros básicos:

- λ = tasa de llegada de camiones (camiones/hora).
 - μ = tasa de servicio de cada servidor (camiones/hora).
 - c = número de servidores.
-

4. Indicadores Clave que se pueden calcular

Indicador	Fórmula Básica	Interpretación
Utilización (ρ)	$\rho = \lambda / (c \times \mu)$	Nivel de saturación del sistema.
Número medio en cola (L_q)	$L_q \approx (\lambda^2) / (c\mu(c\mu - \lambda))$	Cuántos camiones en promedio están esperando.
Tiempo medio en cola (W_q)	$W_q = L_q / \lambda$	Cuánto tiempo promedio espera un camión.
Tiempo total en sistema (W_s)	$W_s = W_q + (1/\mu)$	Tiempo total incluyendo servicio.

5. Ejemplo Numérico (Simplificado)

- $\lambda = 20$ camiones/hora
- $\mu = 10$ camiones/servidor/hora
- $c = 3$ servidores (3 grúas/puertas)

Cálculo:

- $\rho = 20 / (3 \times 10) = 0.6667$ (66.67% de utilización)

Con esto, se puede calcular:

- Número medio en cola (L_q) ≈ 1.11 camiones.
- Tiempo medio de espera (W_q) ≈ 3.33 minutos.
- Tiempo total en sistema (W_s) ≈ 9.33 minutos.

Interpretación:

Con 3 grúas o accesos trabajando, el sistema mantiene tiempos razonables y baja acumulación de camiones.

6. Estrategias de Optimización Basadas en Resultados

- **Incrementar número de servidores** en horarios peak.
- **Separar colas** por tipo de operación (dry/reefer/import/export).
- **Agendar turnos de llegada** mediante cita previa para camiones.
- **Instalar sensores o apps** para predecir y redistribuir tráfico.
- **Ajustar horarios** de operación para distribuir flujo

7. Resumen

Camiones llegan (λ) → Forman cola → Atendidos por c servidores (μ) → Salen del sistema