

aproximadamente 9% del tiempo la estación está sin funcionar, sin que haya camiones que se estén pesando.

Las fórmulas generales para calcular estas diferentes medidas de rendimiento para un sistema de colas M/M/1 con una población de clientes infinita y una capacidad ilimitada de área de espera se resumen en la tabla 13.1, en términos de los parámetros  $\lambda$ ,  $\mu$  y  $\rho$ . Ahora que usted ya conoce las fórmulas para las diferentes medidas de rendimiento, puede dejar que la computadora lleve a cabo los cálculos y volver su atención a las cuestiones administrativas, como se describen en la sección 13.3.2.

### 13.3.2 Interpretación de las medidas de rendimiento

Al evaluar el sistema actual, la gerencia de OTC encuentra que muchas medidas de rendimiento están dentro de los intervalos aceptables. Por ejemplo, un tiempo de espera de  $W = 10$  minutos para que un chofer pueda pasar por el proceso de pesado es algo razonable. Se tiene también que un promedio de  $L_q = 9$  camiones esperando para ser pesados es tolerable, pues la rampa de salida de la carretera tiene una capacidad de 15 camiones, pero la gerencia está preocupada pues hay ocasiones en que la cola llega hasta la autopista.

**TABLA 13.1 Fórmulas para calcular las medidas de rendimiento de un sistema de colas M/M/1**

MEDIDA DE RENDIMIENTO	FÓRMULA GENERAL
Número promedio en la fila	$L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho}$
Tiempo promedio de espera en la cola	$W_q = L_q / \lambda$
Tiempo promedio de espera en el sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$
Número promedio en el sistema	$L = \lambda * W$
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema	$P_0 = 1 - \rho$
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar	$\rho_w = 1 - P_0 = \rho$
Probabilidad de que haya $n$ clientes en el sistema	$P_n = \rho^n * P_0$
Utilización	$U = \rho$

Para calcular la probabilidad de que esto suceda, usted debe calcular la probabilidad de que el número de camiones en el sistema sea de 17 o más (uno siendo atendido y 16 o más esperando en la rampa). Este número se obtiene sumando las probabilidades  $P_n$  de que  $n$  camiones se encuentren en el sistema, para  $n = 17, 18, \dots$ . Esto tiene como resultado un valor de 0.20, es decir, aproximadamente 20% del tiempo los camiones sobrepasarán la rampa completa y llegarán hasta la autopista. Como éste no es un nivel aceptable de desempeño, la gerencia desea mejorar la eficiencia global del sistema, no solamente por la razón anterior, sino también porque se prevé un aumento en el tráfico de camiones sobre la autopista en el futuro cercano. Un informe reciente indica que OTC debería planear una tasa de llegada pico de aproximadamente 70 camiones por hora, en vez del actual valor de 60.

En la tabla 13.2 se resumen las fórmulas para un sistema de colas M/M/c con una población infinita de clientes y un área de espera de capacidad ilimitada, en términos de los parámetros  $\lambda$ ,  $\mu$  y  $\rho$ . Observe que cuando  $c = 1$ , estas fórmulas tienen como resultado los mismos valores de las medidas de rendimiento de un sistema M/M/1, derivadas en la sección 13.3. Usted puede ahora dejar que la computadora efectúe estos cálculos y dirigir su atención a cuestiones gerenciales.

**TABLA 13.2 Fórmulas para calcular las medidas de rendimiento de un sistema de colas M/M/c**

MEDIDA DE RENDIMIENTO	FÓRMULA GENERAL
Probabilidad de que no haya clientes en el sistema	$P_0 = \frac{1}{\left( \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} \right) + \left( \frac{\rho^c}{c!} \right) * \left( \frac{c}{c-\rho} \right)}$
Número promedio en la fila	$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!} * \frac{1}{(c-\rho)^2} * P_0$
Tiempo promedio de espera en la cola	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$
Tiempo promedio de espera en el sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$
Número promedio en el sistema	$L = \lambda * W$
Probabilidad de que un cliente que llega tenga que esperar	$p_w = \frac{1}{c!} * \rho^c * \frac{c}{c-\rho} * P_0$
Probabilidad de que haya $n$ clientes en el sistema ( $n \leq c$ )	$P_n = \frac{\rho^n}{n!} * P_0$
Probabilidad de que haya $n$ clientes en el sistema ( $n > c$ )	$P_n = \frac{\rho^n}{(c!)c^{n-c}} * P_0$
Utilización	$U = 1 - \left[ P_0 + \left( \frac{c-1}{c} \right) P_1 + \left( \frac{c-2}{c} \right) P_2 + \dots + \left( \frac{1}{c} \right) P_{c-1} \right]$

### 13.4.2 Interpretación de las medidas de rendimiento

Los resultados de la evaluación de las fórmulas de la tabla 13.2 con el paquete de cómputo STORM, para el sistema de colas propuesto para OTC, se muestran en la figura 13.9. Las primeras tres líneas del informe de la figura corresponden a los datos de entrada. Este sistema tiene una tasa de llegada de 70 camiones por hora y dos servidores, con una tasa promedio de servicio de 40 camiones por hora en cada servidor. El informe de la figura 13.9 también enumera los valores de las medidas de rendimiento. Usted puede informar a la gerencia sobre el tiempo promedio que un



Formación de cola  
OTC\_MM2.DAT