

OPTIMIZACIÓN CON TEORÍA DE COLAS, DE UNA SALA DE ORDEÑO EN SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO, MÉXICO

Virgilio Ambriz Vilchis ¹
Jorge Isaac Reyes Castro ²
Samuel Rebollar Rebollar ³
Felipe de Jesús González Razo ⁴
José Luíz Tinoco Jaramillo⁵

RESUMEN.

Se realizó la evaluación del sistema de ordeño del rancho Guadalupe, empleando la teoría de colas. Se analizó el sistema y se obtuvo la tasa de llegada λ (38.45-38.72 vacas/hora) y la tasa de servicio del sistema μ (21 vacas/hora). Se eligió el modelo de distribución de Poisson para estimar el comportamiento del sistema, se estimó la probabilidad de hallar el sistema vacío (5%); el número esperado en la cola (8 vacas/hora); el número esperado en el sistema (10 vacas/hora); el tiempo esperado en la cola (13 minutos) y el tiempo esperado en el sistema (16 minutos).

Se comparó el sistema con otras dos tasas de servicio, consideradas como alternativas de manejo para la sala evaluada (27 vacas/hora y 30 vacas/hora). En base a esto, se determinó que la optimización y planeación futura del sistema debe basarse en lograr una tasa de servicio más alta, que permita reducir el tiempo destinado para el ordeño.

Palabras clave: Teoría de colas, sistema, sala de ordeño, evaluación.

¹ Departamento de Economía y Administración-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Nacional Autónoma de México.

² Profesor-Investigador-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM-Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (PCARN)-Universidad Autónoma del Estado de México.

³ Profesor-Investigador en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec-Universidad Autónoma del Estado de México. Email: samrere@hotmail.com

⁴ Profesor-Investigador en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec-Universidad Autónoma del Estado de México. Email: fegora24@yahoo.com.mx

⁵ Profesor-Investigador en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec-Universidad Autónoma del Estado de México.

ABSTRACT.

The evaluation of the milking system of the Guadalupe farm it was carried out, using the queuening theory. The system was analyzed and estimators for the arrival rate λ (38.45-38.72 cows/hour) and the rate service μ (21 cows/hour). Were obtained applying poisson distribution to estimate behavior of the system, it was obtained that probability of finding the empty system was 5%; a expected in the line of 8 cows/hour; a expected in the system, 10 cows/hour; a time waited in the line of 13 minutes and a time waited in the system of 16 minutes.

This system was compared with other two rates of service, considered as alternatives for handling the milking parlour; the first one, for an the average of the rate of service for cow of 27 cows/hour; and the second, for 30 cow/hours, the average of rate of service reported Ávila. The recommendation of the study is that the optimization and planning of the system should be based on achieving a higher rate of service that allows reducing the time dedicates for the milking parlour.

Key words: Queuening theory, system, milking parlour, evaluation.

Clasificación JEL: C, C6, C61.

INTRODUCCIÓN.

Se sabe sobre la importancia que las diferentes actividades agropecuarias tienen en la vida del país, esta situación obliga a los empresarios a mejorar la producción proponiendo alternativas que logren la optimización de los recursos, en este caso, haciendo uso de la administración, se propone la utilización de la Teoría de Colas o líneas de espera para evaluar el funcionamiento de la sala de ordeño de un rancho ubicado en San Juan del Río, Querétaro.

La teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera. Los modelos sirven para encontrar el comportamiento de estado estable, como la longitud promedio de la línea y el tiempo de espera promedio para un sistema dado.

El trabajo original acerca de la Teoría de Colas lo llevó a cabo el ingeniero danés Agner Krarup Erlang en 1909. Actualmente, la Teoría de Colas puede aplicarse a diversas situaciones (Bufa, 1983; UMA, 2003; UDEC, 2003).

Puesto que la mayoría de nosotros gastamos una buena parte de nuestro tiempo en colas ó líneas de espera para ser servidos, los procesos o problemas de colas son comunes. Un proceso de colas está constituido por clientes que llegan a una instalación que ofrece un servicio, si todos los servidores (empleados, máquinas, unidades, etc.) se encuentran ocupados, los clientes esperan en la cola su turno para ser atendidos, reciben el servicio en algún momento y finalmente abandonan la instalación (Bronson, 1993; Sasieni, 1967)

Si se conocen la forma en que suceden las llegadas, los tiempos de servicio, y el orden en el que las unidades que llegan se atienden, entonces la naturaleza de esta situación de espera puede establecerse y analizarse matemáticamente (Ackoff y Sasieni, 1997)

Para comenzar con el estudio de la teoría de colas es importante definir algunos términos y los componentes básicos que constituyen al sistema.

Cliente: Unidad que llega requiriendo la realización de algún servicio. Los clientes pueden ser personas, máquinas, objetos que deben ser reparados, piezas que requieren ensamblarse, etc. (Camacho, 1999).

Cola, fila, ó línea de espera: Clientes que esperan algún servicio en una instalación. Normalmente la cola no incluye al cliente que está siendo atendido.

Servidor ó canal de servicio: Proceso o sistema que está efectuando el servicio para el cliente. Este puede ser simple o multicanal. El símbolo k indicará el número de canales de servicio (Camacho, 1999)

Además del número de canales, es necesario establecer el número de fases de las que consta el sistema. La fase se refiere al número de servidores (estaciones de servicio) de quien se tiene que recibir servicio.

Tasa de llegada: Tasa (clientes por periodo de tiempo) a la cual llegan clientes para ser atendidos. Una suposición típica, es que la tasa de llegada está distribuida aleatoriamente según una distribución Poisson. El valor medio de la tasa de llegada se indicará con el símbolo λ (Camacho, 1999).

Tasa de servicio: Tasa (clientes por periodo de tiempo) a la cual un canal puede suministrar el servicio requerido por el cliente. Se observa que ésta es la tasa que podría alcanzarse si el canal de servicio siempre estuviera ocupado, es decir, sin tiempo ocioso. El valor medio de servicio se indicará con el símbolo μ (Camacho, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realizó la investigación en el rancho Guadalupe, ubicado en el municipio de San Juan del Río, Querétaro. Al momento de la investigación el Rancho contó con 120 vacas en producción lotificadas en dos corrales, dicha lotificación se basó exclusivamente en la raza, no en su producción. El corral uno, se constituyó por vacas Holstein; el corral dos, por vacas F1 (Holstein-Jersey). La empresa ordeñó en promedio 113 vacas por día, utilizando para ello una sala tipo túnel doble cuatro de la marca SURGE. El ordeño se realizó dos veces al día por dos trabajadores.

Se tomaron datos en el ordeño de las vacas durante 14 días de los meses de noviembre, diciembre de 2002 y enero de 2003, haciendo un total de 42 días. Se elaboró un formato (Cuadro 1) en el que se registraron datos individuales, por túnel y por corral. Que pueden describirse de la siguiente manera:

Cuadro 1. Formato utilizado para toma de datos.

| | | | | | |
|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Fecha | 3/11/02 | X Tándem | 0:13:02 | 2 h | 120 |
| Inicio | 3:31:00 | X vaca | 0:10:29 | Min | 123 |
| Final | 5:34:01 | | | min/vaca | 1.84 |
| Total | 2:03:01 | | | vacas/h | 32.68 |
| Vacas ordeñadas | 67 | | | | |
| Total lotes | 17 | | | | |
| Lote 1 | | 31 | 32 | 31 | 39 |
| Tándem | 3:33:35 | 3:38:43 | 3:38:48 | 3:39:00 | 3:39:09 |
| Salida | 3:47:42 | | | | |
| Tiempo tándem | 0:14:07 | 3:46:48 | 3:47:02 | 3:47:12 | 3:47:25 |
| Promedio Vaca | 0:08:12 | 0:08:05 | 0:08:14 | 0:08:12 | 0:08:16 |
| Lote 2 | | 113 | 12 | 18 | 107 |
| Tándem | 3:37:10 | 3:38:32 | 3:38:31 | 3:38:24 | 3:38:19 |
| Salida | 3:52:02 | | | | |
| Tiempo tándem | 0:14:52 | 3:46:42 | 3:51:24 | 3:51:17 | 3:51:36 |
| Promedio Vaca | 0:11:48 | 0:08:10 | 0:12:53 | 0:12:53 | 0:13:17 |

Fuente: Elaboración propia.

Datos por corral.

- Fecha: día, mes y año en el que se tomaron los datos del ordeño de ese día.
- Inicio: hora en que comenzó el ordeño. Este dato se tomó en el momento en el que uno de los trabajadores cerró la puerta del apretadero (cuando el total de las vacas estaban dentro de éste) se anotaron hora, minutos y segundos.
- Final: hora en la que se terminó de ordeñar a todas las vacas del corral, este dato se tomó en el momento en el que se cerró la puerta de salida del túnel, una vez que salió la última vaca ordeñada, se anotaron hora, minutos y segundos.
- Total: tiempo total que duró el ordeño, diferencia del dato de final y el de inicio.

Datos por túnel.

- Lote. número progresivo que se le asignó a cada cuatro vacas que conformaban un túnel para ser ordeñadas.
- Túnel.- hora: minutos y segundos en que se cerró la puerta de entrada del túnel, una vez que las cuatro vacas que lo formaron estaban dentro de éste.
- Salida.- hora: minutos y segundos en que se cerró la puerta de salida del túnel, una vez que se terminaron de ordeñar todas las vacas que había dentro de éste.

Datos individuales: Se anotaron en cada una de las ocho casillas dispuestas horizontalmente en la hoja, dos casillas para cada vaca, en la casilla superior se anotó el tiempo (hora, minutos y segundos) de inicio del ordeño para esa vaca en particular, esto es, cuando comenzaron a lavar la ubre, en esa misma casilla en la esquina superior derecha se anotó el número de identificación que dicha vaca presentó, en la casilla inferior se anotó el tiempo (hora, minutos y segundos) en el que se terminó el ordeño para esa vaca, esto es, cuando se aplicó el sellador en los pezones.

Los datos se recabaron diariamente durante 42 días que duró el periodo de muestreo, se obtuvieron promedios de datos útiles para evaluar el comportamiento del sistema.

Se eligió el modelo de Distribución de Poisson adecuado para estimar los datos que nos dan el comportamiento del sistema, éste se identificó como un sistema de una sola cola, multicanal, con una sola fase y población infinita.

La probabilidad P_0 de hallar vacío el sistema es:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} (\lambda/\mu)^n + [1/k! (\lambda/\mu)^k K \mu / (k\mu - \lambda)]}$$

Donde:

K = Número de canales de servicio

λ = Tasa de llegada de clientes

μ = Tasa de servicio de un canal simple (se supone que todas las tasas medias de servicio son iguales)

El número esperado L en el sistema es:

$$L = \frac{\lambda \mu (\lambda / \mu)^k}{(k-1)! (K \mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

El número esperado L_q en la cola es:

$$L_q = \frac{\lambda \mu (\lambda / \mu)^k P_0}{(k-1)! (K \mu - \lambda)^2}$$

El tiempo esperado W_q en la cola es:

$$W_q = \frac{\mu (\lambda / \mu)^k P_0}{(k-1)! (K \mu - \lambda)^2}$$

El tiempo esperado W en el sistema es:

$$W = \frac{\mu (\lambda / \mu)^k P_0}{(k-1)! (K \mu - \lambda)^2} + \frac{1}{\mu}$$

Para aplicar las ecuaciones del modelo, fue necesario obtener la tasa de llegada λ , la tasa de servicio μ y el número de canales k , con que cuenta el sistema.

RESULTADOS.

El Cuadro 2 muestra los principales resultados sobre el comportamiento del sistema, considerando diferentes tasas de servicio en la ordeña, por lo que el análisis de los conceptos utilizados se presenta a continuación.

Tasa de llegada: Promedio del número de vacas que llegan para ser atendidas durante el periodo de ordeño. Como las vacas no llegan por si solas a la sala de ordeño, se consideró que la aleatoriedad de la fila está dada en los trabajadores que las llevan al ordeño. En este caso, el promedio de tasa de llegada para los dos corrales fue 39 vacas/hora.

Tasa de servicio: Promedio de vacas atendidas por un canal de servicio o túnel, durante una hora. El canal de servicio es un túnel que atiende grupos de cuatro vacas, se obtuvieron tres datos diferentes: tasa de servicio real o tasa por túnel y dos tasas que podrían ser consideradas modelos alternativos de manejo para este mismo sistema, tasa individual y tasa de servicio obtenida con datos reportados por Ávila (1990). Cabe aclarar que un túnel se refiere a que el ordeño se realizó cada cuatro vacas al mismo tiempo (fue la capacidad de la ordeñadora tipo túnel). Ahí se tomó el tiempo mínimo y máximo individual y posteriormente se hizo un promedio por corral.

- a) La tasa de servicio real del sistema o tasa de servicio por túnel; es el promedio de vacas que pueden ser atendidas en una hora en un túnel, las vacas se atienden juntas en lotes de cuatro, estas entran y salen juntas sin importar que una haya terminado de ser ordeñada antes que las otras. El promedio obtenido fue de 21 vacas/hora.
- b) La tasa de servicio individual; si las vacas pudieran ser atendidas independientemente de las del resto del túnel, suponiendo que al final el servicio no tuviera que esperar a que las otras terminaran de ser atendidas. El promedio obtenido fue 27 vacas/hora.
- c) Tasa de servicio; esta tasa es obtenida con promedios de servicio registrados en la literatura (Ávila 1990; Ávila *et al.*, 2001) 7–8 vacas/máquina/hora o 30 vacas/hora/hombre, en base a esto se obtuvo un promedio de tasa de servicio de 30 vacas/hora.

Número de canales de servicio: Se determinó que el número de canales de servicio son dos, ya que la sala cuenta con dos túneles.

Se sustituyeron las ecuaciones y se obtuvieron tres datos que nos muestran tres comportamientos del sistema diferente.

- **Probabilidad de hallar el sistema vacío**, se refiere a la probabilidad que tiene una vaca de que al llegar al lugar de servicio la sala de ordeño esté vacía, esta probabilidad aumenta cuando la tasa de servicio aumenta debido a que al tener mayor capacidad el sistema, habrá menos vacas en él. Se encontró que, la probabilidad de hallar el sistema vacío para el túnel fue 5%, en el caso individual 16%, y para Ávila (1990) 22%.
- **Número de clientes esperado en la cola**, se refiere al número de vacas que esperan ser ordeñadas en el apretadero (corral de espera para ser ordeñadas), este número aumenta conforme la tasa de servicio disminuye. Para el dato túnel: 8 vacas/hora, individual 1 vaca/hora, y para el reportado por Ávila 0.9 vacas/hora.
- **Número de clientes esperado en el sistema**, se refiere al número de vacas que habrá en todo el sistema (cola y canal de servicio), cuando una vaca llega para ser ordeñada. En el caso túnel: 10 vacas/hora, individual 3 vacas/hora y para los datos reportados por Ávila 2 vacas/hora.
- **Tiempo esperado en la cola**, minutos que debe pasar una vaca en la cola antes de ser atendida. Para el dato túnel: 13 minutos, individual 2 minutos y para el dato reportado por Ávila (1990) 1 minuto.
- **Tiempo esperado en el sistema**, son los minutos que debe pasar una vaca desde que llega al sistema y hasta que lo abandona, es decir desde que llega a ser atendida, espera en la cola, y es ordeñada. Para el túnel: 16 minutos, individual 4 minutos y los datos reportados por Ávila (1990) 3 minutos.

Cuadro 2. Concentración de los resultados estimados para el comportamiento del mismo sistema, con diferentes tasas de servicio.

| Concepto | Túnel | Individual | Ávila |
|-------------------|---------------|--------------|----------------|
| Tasa de llegada | 39 | 39 | 39 |
| Tasa de servicio | 21 | 27 | 30 |
| Número de canales | 2 | 2 | 2 |
| P_0 | 5% | 16% | 22% |
| L_q | 8 vacas/hora | 1 vacas/hora | 0.9 vacas/hora |
| L | 10 vacas/hora | 3 vacas/hora | 2 vacas/hora |
| W_q | 13 minutos | 2 minutos | 1 minutos |
| W | 16 minutos | 4 minutos | 3 minutos |

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN.

Al hablar de la optimización de un sistema, lo primero en lo que pensamos es en mejorar el desempeño del mismo, en este caso, esto se lograría si se alcanza un punto de equilibrio entre la tasa de llegada y la tasa de servicio.

Con base en la comparación de los datos estimados (Cuadro 2) para las diferentes tasas de servicios, aparentemente el comportamiento es mejor cuando la tasa de servicio aumenta, ya que se eleva la probabilidad de encontrar vacío el sistema y disminuye el tiempo requerido para que las vacas salgan del mismo. Podemos decir que para mejorar el desempeño del sistema se debe incidir en la tasa de servicio, ya que para modificar la tasa de llegada o el número de canales de servicio se deben modificar características de infraestructura del establo como los periodos de ordeño, el tipo de sala, el número de animales, etc.

Cabe aclarar que los animales acuden al ordeño, son atendidas y regresadas al corral por los trabajadores (factor humano) y la aleatoriedad radica en ellos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES.

Se aplicó la teoría de colas a un caso real, se llegó a la meta final de esta, que es proporcionar información sobre el comportamiento de un sistema de colas, se analizó y se propusieron alternativas que permitirán mejorar el mismo.

Con las características actuales del ordeño y los resultados obtenidos, podemos dar alternativas para modificar la tasa de servicio:

- Lotificar el hato en altas, medias y bajas productoras para reducir los periodos de tiempo ocioso, esto es, que al ordeñar al mismo tiempo una vaca baja productora, con una alta productora la primera terminará el ordeño en menor tiempo y tendrá que esperar a que termine el ordeño de la alta productora. Con esto se pretende estandarizar los tiempos de ordeño de las vacas del mismo túnel.
- Que los trabajadores se dediquen exclusivamente al ordeño, con esto se evita que pierdan tiempo al despachar a los clientes; esto significa que, las mismas personas no deben acarrear las vacas a la sala de ordeño, ordeñar y enviar los animales al terminar su servicio al albergue.

La teoría no resuelve sola los posibles problemas del sistema pero contribuye con información importante para lograrlo, da las bases que determinan la dirección en la que debemos aplicar el análisis de costos para cada caso, de esta forma con toda la información poder lograr un punto de equilibrio entre la tasa de llegada y la tasa de servicio al menor costo posible. La teoría de colas es una herramienta útil que debería aplicarse más en el sector agropecuario.

LITERATURA CITADA.

- Ackoff, R. L. y Sasieni, M. W. *Fundamentos de investigación de operaciones*. México, D. F., Ed. Limusa, 1997
- Ávila, T. S. *Producción Intensiva de Ganado Lechero*. México, D. F., Ed. Continental, 1990
- Ávila, T. S., Valdivieso, N. G., Cruz, P. R. A. *Fisiopatología de la glándula mamaria y ordeño*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Nacional Autónoma de México (Monografía en CD ROM), 2001
- Buffa, S. *Ciencias de la administración e investigación de operaciones*, México, D. F., Ed. Limusa, 1983
- Bronson, R. *Investigación de operaciones*, México, D. F., Ed. Mc Graw Hill, 1993
- Camacho, Q. A. *Principios de Investigación de Operaciones*, México, D. F., Ed. ACAESA, 1999
- Sasieni, M. Y. *Investigación de operaciones*, México, D. F., Ed. Limusa, 1997
- UMA (Universidad de Málaga). *Teoría de colas*. Disponible en: <http://www.Icc.uma.es/eva/assignaturas/tct/zaragoza.pdf>, Citado en septiembre 2003
- UDEC (Universidad de Concepción). *Departamento de Ingeniería Eléctrica, Tráfico según Erlang*. Disponible en: <http://www.die.udec.cl/comdatos/trabajos/Erlang.pdf>, Citado en septiembre 2003