

01621
4

**TEORÍA DE COLAS COMO HERRAMIENTA EN LA
OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA REAL:
EL CASO DE LA SALA DE ORDENO DEL RANCHO
GUADALUPE UBICADO EN EL MUNICIPIO
DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO.**



Tesis presentada ante la
División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

de la

Universidad Nacional Autónoma de México

para la obtención del título de
Médico Veterinario Zootecnista

por

PMVZ. Virgilio Ambriz Vilchis

Asesor:

MVZ. M. A. Jorge Isaac Reyes Castro



México, D.F., 2003

I



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres: Rodolfo y Ma. Elena.

Con amor, gratitud y respeto. Por todo lo que representan en mi vida.

A mis hermanos: Rodolfo, Ximena, Gerardo y Jairo.

**Para todos ustedes con cariño. Por el placer de su compañía y guía a lo largo de
este viaje.**

AGRADECIMIENTOS:

A mi asesor: MVZ. M. A. Jorge Isaac Reyes Castro, por todo el apoyo y paciencia dedicados a la realización de esta tesis. Muchas gracias también por tu amistad.

A los integrantes del jurado: MVZ. Arturo Alonso Pesado, MVZ Miguel Angel Blanco Ochoa, MVZ Pedro Cano Celada, MVZ José Luis Dávalos Flores, MVZ Jorge I. Reyes Castro.

Al MVZ Rafael Valenzuela y familia, por todas las facilidades brindadas para la realización de esta tesis, por su amistad y los grandes consejos de vida que compartió conmigo. A Don Joaquín Valenzuela, Doña Mercedes, Doña Georgina, Rafael, Carlos Joaquín y José Antonio. Por el apoyo y amistad brindados.

A la gente del Rancho Guadalupe, por su gran paciencia, muy especialmente a Don Miguel y Don Mundo, gracias por todos los consejos, enseñanzas y amistad.

Al MVZ Francisco Grillo Leal, ejemplo de todo lo que un médico veterinario debe ser.

A mis padres: Rodolfo y Ma Elena, por todo su cariño, apoyo y la educación que me brindaron. A mis hermanos: Rodolfo, Ximena, Gerardo y Jairo, gracias por todos los consejos, regaños y corajes, gracias por todo lo vivido.

A mis tíos y tías, por ser un apoyo en todo momento, por ser mis muchos padres. A mis primos y amigos, mis hermanos chicos: Diego, Valeria, Pollo, Martín, José Antonio, David, Paloma, Siqui, Luciana, Alondrita, Alejandro, Tobías, Batista, Abraham, Aarón, Andrea, Alan, Diego, etc. Gracias a todos por las risas, pláticas interminables y buenos momentos, luces de mi vida.

A mi facultad. Maestros, compañeros, amigos y todos los animales que ayudaron en mi formación profesional, teórica y práctica.

CONTENIDO

	Página
I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
II. a Marco teórico.....	7
III. OBJETIVOS.....	18
IV. PROCEDIMIENTO.....	19
V. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	26
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. LITERATURA CITADA.....	41
VIII. ANEXOS.....	44

I. RESUMEN

AMBRIZ VILCHIS VIRGILIO. Teoría de colas como herramienta en la optimización de un sistema real: el caso de la sala de ordeño del Rancho Guadalupe ubicado en el Municipio de San Juan del Río, Querétaro (Bajo la dirección de: MVZ M. A. Jorge I. Reyes Castro).

Se realizó la evaluación del sistema de ordeño del rancho Guadalupe empleando la teoría de colas. Se analizó el sistema y se obtuvieron la tasa de llegada λ (corral 1 promedio total 38 vacas/hora y corral 2 promedio total 39 vacas/hora) y la tasa de servicio μ (corral 1 promedio total 21 vacas/hora y corral 2 promedio total 21 vacas/hora) del sistema. Se le aplicó el modelo matemático reportado por Camacho Quiroz con el que se estimó la probabilidad de hallar el sistema vacío P_0 (4.7 % para el corral 1 5.1% para el corral 2), el número esperado en la cola L_q (8-9 vacas/hora corral 1, 7-8 vacas/hora corral 2) y en el sistema L (10-11 vacas/hora corral 1, 9-10 vacas/hora corral 2), el tiempo esperado en la cola W_q (13-14 min corral 1, 12-13 min corral 2) y en el sistema W (16-17 min corral 1, 15-16 min corral 2). Se comparó el sistema con dos tasas de servicio μ consideradas como alternativas de manejo (tasa de servicio por vaca 27 vacas/hora corral 1, 27 vacas/hora corral 2 y promedio de tasa de servicio obtenida con datos reportados en la literatura 30 vacas/hora). De acuerdo con esto se determinó que la optimización y planeación futura del sistema, deben basarse en lograr una tasa de servicio más alta, que permita reducir el tiempo destinado al ordeño.

II. INTRODUCCIÓN

Desde la llegada de los primeros bovinos traídos por los españoles a América en el siglo XVI, se ha tratado de obtener de ellos los mayores beneficios que éstos pueden proporcionar, principalmente enfocados al consumo de leche y carne. A principios del siglo XX, debido a la necesidad de repoblar los inventarios ganaderos, se importaron animales de razas lecheras, impactando a corto plazo en el crecimiento de la producción de leche (1). En lo que respecta a la leche, a principios del siglo pasado se observó un incremento en la demanda por el lácteo, se puede decir que la consolidación de la lechería comercial se da a partir de los años cuarentas condicionada por el desarrollo industrial del mercado interno (1). Desde las décadas de los cincuentas y sesentas la producción se ha ido especializando, obteniéndose mejoras en la producción en cuanto a calidad y cantidad, gracias a los nuevos métodos de manejo, cría, mejora en la calidad genética de los animales, reproducción, etc. A partir de los años noventas se registró un importante fenómeno de incorporación de tecnología, prácticamente en todas las actividades ganaderas, lo cual elevó la productividad y la contención de los costos de producción, principalmente en los estratos con mayor disponibilidad de capital, ya que son éstos los que pueden financiar las inversiones que requiere la tecnificación (2). Actualmente la ganadería es la actividad productiva más diseminada, pues se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas del país y aún en aquellas con condiciones climáticas adversas. La superficie con actividad ganadera en México es de 110 millones de hectáreas (2).

Dentro de las diversas actividades del sector agropecuario, la ganadería bovina es la actividad más importante del país por el valor de su producción, ya que hasta 1995 la carne de bovino en canal representó el 29.17% de la producción pecuaria total (3), y la leche de vaca hasta 1996 fue del 22.8% (4). De los 1 600.6 miles de millones de pesos del Producto Interno Bruto en el 2000, el sector agropecuario aportó 79.4 miles de millones de pesos a precios de 1993, de estos la ganadería contribuye con 18.6 miles de millones de pesos que representan el 23%, de la participación relativa (5). La producción de leche de bovino en México en el año 2000, fue de 9311.4 millones de litros y el preliminar del 2001 fue de 9 500.7 millones de litros. La tasa media de crecimiento anual (TMCA) fue de 4.05 % (6,7).

Es en últimas fechas, con la producción afectada a escala mundial por la liberación de mercados, que los productores se enfrentan a una competencia "global" con sus similares, no sólo del mismo país, sino con productores de otros países y de otros continentes. Es en este marco, donde el Médico Veterinario debe hacer uso de todos los recursos que tenga disponibles para lograr una mejora en los sistemas productivos, entre otros, debe hacer uso de la Administración. Al ser el objetivo de la producción lechera el obtener una cantidad óptima de leche de buena calidad, a un precio lo más bajo posible, con respecto a los costos de producción, se debe lograr la utilización máxima de recursos, evitando el desperdicio de alimento, el mal uso de instalaciones, la mano de obra ociosa, etc. La Administración aparece como herramienta indispensable del manejo de todo tipo de organizaciones, al permitirnos evaluar el funcionamiento de la empresa lechera, cómo ha sido llevada, para resaltar virtudes y anular y/o

modificar fallas o manejos inapropiados. Para la obtención de leche barata y de buena calidad, la vaca lechera es el pilar de la empresa, el manejo que se da a ésta repercute directamente en los resultados que vamos a obtener. De todas las actividades diarias que se realizan en la empresa es el ordeño, sin duda, el momento donde más manejo se realiza al animal, ya que al estar en contacto con éste se puede evaluar: estado corporal, productivo, fisiológico, etc, debido a esto, es un buen momento en el que podemos incidir en los patrones de manejo para efficientarlos y obtener con ello mejores resultados. El proceso de ordeño como tal requiere de un tiempo determinado, instalaciones específicas y de personal capacitado, lo que representan gastos particulares en la empresa, por lo que una evaluación de la forma en que este sistema está siendo realizado (saber el número de individuos que el sistema puede soportar, el número de operadores necesarios para manejar el sistema, el tiempo estimado por vaca durante el proceso de ordeño, etc.), podría repercutir directamente en los costos de producción de la explotación.

De aquí que se proponga hacer uso de la teoría de colas o líneas de espera para evaluar el funcionamiento de la sala de ordeño de un rancho en particular, para determinar que tan eficiente es el manejo del mismo y de ser posible sugerir mejoras. En casi toda organización hay ejemplos de procesos que generan colas o líneas de espera, los primeros trabajos realizados respecto a éstas fueron hechos por A. K. Erlang, un ingeniero de Dinamarca que trabajó con compañías telefónicas y la demanda de instalaciones que ellas tenían (8). Un proceso de colas o líneas de espera está constituido por los clientes que llegan a una

instalación que ofrece un servicio, esperan luego en línea si todos los servidores están ocupados, reciben servicio en algún momento y finalmente abandonan la instalación (9). Las colas o líneas de espera, se forman básicamente cuando la demanda actual de servicio excede la capacidad actual que se tiene para prestarlo, éstas pueden involucrar sin distinción a personas, animales o cosas; ejemplos de esto se pueden encontrar en cualquier lugar o situación en la vida diaria, las colas en las cajas del supermercado, la fila para entrar al cajero automático, las colas de carros que deben pasar las casetas de cobro, la maquinaria que espera en el taller ser reparada, la sala de espera de una clínica con pacientes que esperan consulta (10), las vacas que esperan en la manga de manejo o en el corral para ser desparasitadas, vacunadas, aretadas, etc. Cualquiera que sea el ejemplo en el que se generen colas, la aplicación de la teoría de colas para el estudio del sistema, estará justificado por el costo que la cola esté causando, la teoría de colas proporciona un gran número de modelos matemáticos para describir la situación de la cola y /o el estado del sistema. Con frecuencia se dispone de resultados matemáticos que predicen algunas de las características de estos modelos. Las colas largas son costosas en cierto sentido, porque generan costos que pueden ser costo social, el causado por la pérdida de clientes, por empleados ociosos o por algún otro costo importante (10,11). Un ejemplo de estos costos puede observarse en, la cola formada por los coches que intentan ingresar al D. F. por cualquiera de sus autopistas de cuota al finalizar un puente vacacional, el costo de la espera que los carros tienen que realizar se puede cuantificar en el combustible utilizado, gasto de mantenimiento posterior por posible sobre calentamiento de la unidad, el costo de oportunidad del conductor

que pasa una cantidad de tiempo determinado sentado al volante de su automóvil en vez de estar haciendo cualquier otra cosa, etc.

II. a MARCO TEÓRICO

El primer trabajo con alguna importancia que se enfrentó a un caso real de líneas de espera fue el realizado por Agner Krarup Erlang en 1909, Erlang era un empleado de la compañía danesa de teléfonos, en Copenhague, Dinamarca, y su trabajo era aplicar técnicas establecidas de probabilidad al problema de determinar el número óptimo de líneas telefónicas, para manejar frecuencias telefónicas predeterminadas (11). A. K. Erlang, nació en Lonborg, Dinamarca el 1 de Enero de 1878, murió en Copenhague, Dinamarca el 3 de Febrero de 1929, matemático e ingeniero danés que inventó los campos de la teoría de colas o líneas de espera y la ingeniería de tráfico (12,13). El proceso básico supuesto por la mayor parte de los modelos o sistemas de colas es el siguiente: los clientes que requieren un servicio se generan a través del tiempo en una fuente de entrada. Estos clientes entran al sistema y se unen a una cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola, para proporcionarle el servicio, mediante alguna regla conocida como disciplina de la cola o del servicio. Luego se lleva a cabo el servicio requerido por el cliente en un mecanismo o canal de servicio, después de lo cual el cliente sale del sistema (10).

Para comenzar con el estudio de la teoría de colas, es esencial identificar una cola por sencilla o compleja que esta pueda ser, como un sistema, y entender como está formado, para lograr esto, es esencial definir términos y algunos componentes básicos que constituyen al sistema.

Cliente.- unidad que llega requiriendo la realización de algún servicio, éstas pueden ser personas, máquinas, animales u objetos en espera de ser procesados (8,14).

Cola o línea de espera.- individuos que esperan ser atendidos, que esperan entrar al sistema para que se les proporcione algún servicio, la cola no incluye al cliente que esta siendo atendido y considera únicamente a los clientes que ocupan las instalaciones en las que se proporciona el servicio (8).

Cuadro 1. Ejemplos de sistemas de colas (15)

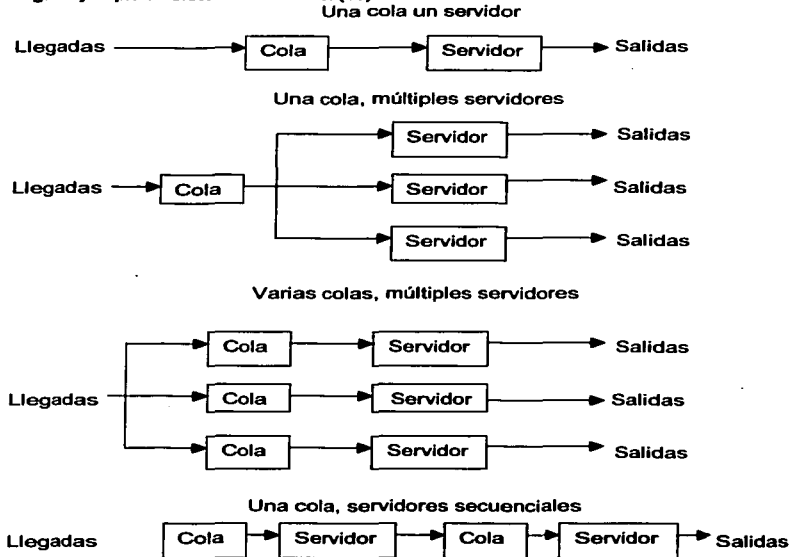
<i>Situación</i>	<i>Llegadas</i>	<i>Cola</i>	<i>Mecanismo de Servicio</i>
Aeropuerto	Aviones	Aviones en espera	Pista
Aeropuerto	Pasajeros	Sala de espera	Avión
Departamento de bomberos	Alarmas de incendio	Incendios	Departamento de bomberos.
Compañía telefónica	Números marcados	Llamadas	Conmutador
Lavado de autos	Autos	Autos sucios	Mecanismo de lavado
La corte	Casos	Casos atrasados	Juez
Panadería	Clientes	Clientes con números	Vendedor
Carga de camiones	Camiones	Camiones en espera	Muelle de carga
Oficina de correos	Cartas	Buzón	Empleados por correo

Crucero	Autos	Autos en línea	Crucero
Fábrica	Sub-ensamble	Inventario en proceso	Estación de trabajo.
Establo lechero	Vacas para ordeño	Corral de espera	Sala de ordeño
Reproducción de documentos	Pedidos	Trabajos	Copiadoras
Clínica Veterinaria	Pacientes	Animales enfermos	Consultas

Canal de servicio.- proceso o sistema que está efectuando el servicio para el cliente, éste tiene que ver con el diseño de la instalación y la ejecución del servicio. La instalación puede incluir más de un servidor o canal de servicio, con lo cual es posible atender a tantos clientes en forma simultánea como número de servidores haya, ejemplo claro son los cajeros en los bancos. En este caso, todos los servidores ofrecen el mismo servicio y se dice que la instalación tiene servidores paralelos. Para indicar el número de canales de que consta el sistema, se utiliza el símbolo **K**. Por otra parte, la instalación puede comprender un número de estaciones en serie por las que puede pasar el cliente antes de que se complete el servicio, por ejemplo, el procesamiento de un producto en una serie de máquinas, estas son líneas de espera en serie o sucesivas (8,16). De acuerdo al número de servidores y /o canales que el sistema presente y al número de fases que estos tengan se pueden encontrar los siguientes casos:

- Una cola con un solo canal o servidor.- hay un canal de servicio en el que se forma una línea de clientes que esperan ser atendidos, es el caso más simple y un ejemplo podría ser un cajero automático con una sola máquina.
- Una cola con varios canales o servidores.- un ejemplo claro es la línea de espera que se forma frente a las ventanillas de atención en un banco u oficina gubernamental.
- Una cola con uno o varios canales de servicio que proporcionan el servicio por fases.- el cliente hace cola, es atendido en el primer canal y una vez terminado el servicio será atendido por el siguiente servidor, un ejemplo sería, un auto chocado, este requerirá los servicios, en orden de, mecánico, hojalatero, pintor, y alineación y balanceo, realizándose todas estas operaciones en el mismo taller de reparaciones.
- Varias colas y uno o varios canales de servicio.- ejemplo clásico es un supermercado en el que hay varias colas y varias cajas en las que pueden ser atendidos los clientes.

Fig. 1 Ejemplo de sistemas de colas. (15)



Tasa de llegada.- clientes por periodo de tiempo, tasa a la cual llegan los clientes para ser atendidos, una suposición típica es que la tasa de llegada esta distribuida aleatoriamente según una distribución de tipo Poisson, el valor medio de la tasa de llegada se representa con λ (8).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tasa de servicio.- clientes por periodo de tiempo, tasa a la cual un canal de servicio puede suministrar el servicio requerido por el cliente, esta es la tasa que podría alcanzarse si el canal de servicio siempre estuviera ocupado, es decir, sin tiempo ocioso, en un sistema no vacío, por lo menos hay un cliente en el sistema requiriendo servicio. Por otra parte el servicio puede ser prestado a un cliente a la vez o en grupos, éste puede darse a través de varios servidores que atienden un cliente a la vez o mediante un solo servidor que puede atender simultáneamente a más de un cliente, el valor medio de servicio se representa como: μ (8,17).

Prioridad o disciplina de la cola.- También se le conoce como disciplina del servicio, es la forma como se elige o decide cuál será el próximo cliente atendido para dar inicio al sistema (16). Algunos de los métodos de servicio mas comúnmente utilizados para seleccionar a los clientes para proporcionarles servicio son:

- ◆ El Primero en entrar es el primero en ser servido o en salir, "First in, First out" (FIFO) .- esta es la disciplina más común y en apariencia la más certera, consiste en que el primero que llega es el primero en ser atendido.
- ◆ El último en entrar es el primero en ser servido o en salir, "Last in, First out" (LIFO).- este es usado en sistemas de inventarios en los que por la forma del almacenaje, los últimos en llegar son los más accesibles para el servicio.
- ◆ Aleatoria.- aquí, la selección para ser atendido es independiente del tiempo u hora de llegada.

- **Prioridades o jerarquías.-** los clientes son atendidos independientemente del tiempo de llegada al sistema, la selección del cliente se basa en un sistema de prioridades, sin importar el tiempo que lleven en el sistema (11,17).

Tamaño de la población.- número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento, es decir, el número total de clientes potenciales distintos. Puede suponerse que el tamaño es infinito o finito, se dice también que la fuente de entrada es limitada o ilimitada, como los cálculos son mucho más sencillos para el caso infinito, esta suposición se hace muy seguido aún cuando el tamaño real es un número fijo relativamente grande, y deberá tomarse como una suposición implícita en cualquier modelo que no establezca otra cosa (10).

Los elementos básicos de un modelo de colas o líneas de espera dependen de los siguientes factores:

- Distribución de llegadas o comportamiento de los arribos al sistema (llegadas individuales o masivas)
- Distribución del tiempo o comportamiento del servicio (servicio individual o masivo)
- Diseño de la instalación de servicio (número y etapas o canales del servicio)
- Disciplina de la cola o del servicio
- Tamaño de la línea de espera (finito o infinito) (16, 17).

Distribución de la tasa de llegada.- patrón estadístico mediante el cual se generan los clientes a través del tiempo. La suposición normal es que se generan de a cuerdo a un proceso Poisson, es decir el número de clientes que llegan hasta un tiempo específico tiene una distribución Poisson, las llegadas al sistema ocurren de manera aleatoria pero con cierta tasa media fija y sin importar cuántos clientes están ya ahí, los eventos de servicio o llegada deben ser completamente independientes. Una suposición equivalente es que la distribución de probabilidad del tiempo que transcurre entre dos llegadas consecutivas es exponencial, cualquier otra suposición no usual sobre el comportamiento de los clientes debe especificarse. Este comportamiento es medido normalmente en términos del número promedio de arribos por unidad de tiempo, o por el tiempo promedio entre arribos sucesivos. Debe tenerse en cuenta que puede ocurrir que los arribos lleguen al sistema en grupos en vez de uno a la vez, además el tamaño de los grupos puede ser también aleatorio, a este tipo de arribos se le conoce como "Bulk-arriual" (llegada en masa o grupo). Otro aspecto a tomar en cuenta es el comportamiento del cliente hacia el estado del sistema, un cliente al ver una cola muy larga puede decidir no incorporarse a ésta y abandonar el sistema en ese momento, de igual forma un cliente que ya esta en la línea puede impacientarse, y abandonar el sistema sin importar el tiempo que lleve en éste, o si existen otras líneas puede cambiar a otra que tenga menos integrantes (10,17).

Un concepto básico en el análisis de un proceso de colas es el estado del sistema, o sea, el número de clientes que se encuentran en el sistema. Hablando "grosso modo", un estado es una descripción del sistema que proporciona una base

suficiente para predecir probabilísticamente su comportamiento futuro. El punto esencial acerca de tales predicciones es que no requieren información acerca de cómo se produjo el estado, sino solamente cuál es. Una vez que se conocen las características del sistema se identifica y clasifica en un tipo de modelo ya predeterminado para finalmente evaluarlo (18, 19). Al poner en práctica la teoría de colas se debe pensar en tres aspectos básicos:

- Demanda de datos especiales;
- Selección de un modelo matemático apropiado para representar el sistema real,
- Implementación de un modelo de decisión basado en el funcionamiento del sistema.

Se debe determinar la distribución de los tiempos de llegada y de servicio, por lo que debe observarse el sistema de la cola para registrar los datos apropiados, para poder encontrar el modelo matemático que más se le parezca, y con el que podrá ser evaluado (20).

Toma de datos. La mayoría de las situaciones en las que hay una cola tienen periodos "ocupados", en los que el rango de llegadas al sistema es mucho más alto que en otros periodos del día, por ejemplo, el tráfico en los accesos a una vía rápida durante las horas pico. En una situación como ésta, es necesario recabar los datos durante estos periodos "ocupados" y diseñar la autopista para estas situaciones extremas (20), una situación similar a ésta se da en el momento en el que comienza el periodo de ordeño y se juntan las vacas esperando ser atendidas,

es por esto que los datos deben ser tomados durante los periodos de tiempo destinado a la utilización de la sala.

Actualmente la teoría de colas ha sido aplicada para evaluar infinidad de sistemas de todos tipos, redes telefónicas, de recepción de datos, atención y servicio a clientes (personas o mercancías) en bancos, restaurantes, supermercados, etc. En el sector agropecuario, su aplicación a sido muy limitada, es en Europa donde se ha utilizado la teoría de colas para evaluar el desempeño de los "Establos Lecheros Robóticos", "Robotic Milking Barn" (RMB). El ordeño de las vacas ha sido revolucionado siempre por la tecnología, y es mediante el uso de ésta que se llegó a los RMB, en estos establos se ha automatizado al máximo el proceso del ordeño, permitiendo que las vacas sean ordeñadas requiriendo el mínimo de intervención humana (21). Lo innovador de estas instalaciones es básicamente la presencia del Robot Ordeñador, (Milking Robot MR), estos son diferentes de las máquinas ordeñadoras convencionales en un aspecto crucial: el robot limpia la ubre y utiliza sensores para localizar los pezones de la vaca, luego conecta los copas a éstos mediante un "brazo robot" (21,22). El robot ordeñador es el adelanto tecnológico reciente más importante en la industria de la leche, utilizando estos robots, las vacas pueden ser ordeñadas más frecuentemente, por lo que su producción puede incrementarse hasta en un 15%. Sin embargo, los robots ordeñadores son muy caros. Debido a esto es importante desarrollar modelos que permitan discutir sobre la infraestructura óptima de un establo robótico y sobre las capacidades de sus componentes, antes de construirlo (22). Los trabajos realizados utilizando la teoría de colas y simuladores computarizados han

evaluado estadísticamente la "preferencia" de las vacas en utilizar las diferentes instalaciones que presenta el establo robótico visto como un sistema de colas para, sobre la base de esto, poder planear y optimizar las características de infraestructura que el establo deberá presentar para albergar cómodamente y sin desperdiciar recursos a un determinado número de animales.

III. OBJETIVOS

Generales: comprender los conceptos básicos de la teoría de colas mediante su aplicación a un caso real particular, la sala de ordeño del rancho Guadalupe.

Particulares: mediante la aplicación de modelos matemáticos adecuados sugeridos por Camacho Quiroz para el caso investigado, obtener los datos necesarios para predecir el estado del sistema:

- a) Estimar la probabilidad de hallar el sistema vacío.
- b) Estimar el número esperado en la cola.
- c) Estimar el número esperado en el sistema.
- d) Estimar el tiempo esperado en la cola.
- e) Estimar el tiempo esperado en el sistema.

IV. PROCEDIMIENTO

La investigación se realizó en la sala de ordeño del rancho Guadalupe, explotación dedicada a la producción de leche, ubicada en el municipio de San Juan del Río, Querétaro. La explotación contaba hasta enero de 2003, fecha de la última toma de datos, con 166 animales de las razas Holstein y F1 de Holstein-Jersey, de los cuales 120 eran vacas en producción, 27 vacas secas, 1 semental, 8 becerras y 1 becerro destetados, y 9 becerras lactantes. El hato en producción está dividido en dos corrales basándose únicamente en la raza: el corral de vacas Holstein (corral 1) contaba con 63 animales, y el corral de vacas cruza Jersey-Holstein (corral 2) con 57. Debido a las condiciones en las que se encuentran las instalaciones, a las preferencias personales de manejo del dueño, entre otras cosas, no se toman en cuenta parámetros productivos para la división del hato, por lo que no hay diferenciación entre las vacas de acuerdo a la cantidad de leche que producen, además, el control sobre las vacas de cada corral no es tan estricto por lo que algunas veces éstas llegan a mezclarse. El número de vacas en la línea de ordeño varía, entre otras cosas, debido al número de becerros que debían ser alimentados y a los tratamientos con antibióticos aplicados. Se ordeñan en promedio 113 vacas diariamente de los dos corrales, las restantes son utilizadas como nodrizas, alimentando a los becerros que no han sido destetados. La sala de ordeño es de tipo túnel doble cuatro, con equipo de la marca SURGE, está ubicada en un espacio rectangular con un foso central para los ordeñadores, sólo tiene dos paredes perpendiculares, una de ladrillo y otra de lámina. El piso es de cemento y roca. Las estructuras que limitan o confinan a las vacas en la sala son

tubulares de metal, con dos puertas para cada túnel una de entrada y otra de salida (anexos 1, 2 y 3). Al iniciar el proceso de ordeño, las vacas son trasladadas de sus corrales de origen, a un corral cercano a la sala denominado apretadero, en el que las vacas esperan ser ordeñadas. El apretadero es de forma rectangular con estructura de tubos de metal de 3 pulgadas, con postes de cemento. Posteriormente las vacas van formando una cola sobre una rampa que conduce a la sala donde serán ordeñadas. El proceso de ordeño es realizado por dos trabajadores, mismos que a su vez se encargan de atender a los clientes que llegan al lugar a comprar leche. Uno de los ordeñadores permanece siempre dentro del foso, éste se encarga de lavar las ubres y colocar la unidad de ordeño, el otro arrea a las vacas de la línea de espera a la sala en lotes de cuatro para completar un túnel y, además, se encarga de atender a los clientes que llegan a comprar.

Previo a la recopilación de datos se llevaron acabo visitas para conocer el rancho, su funcionamiento diario, las instalaciones, y el proceso de ordeño así como a la gente que lo realiza. Luego de las visitas de exploración se determinó la forma de trabajo: se tomaron datos durante 14 días por mes, de los corrales 1 y 2, por separado, en los meses de noviembre y diciembre de 2002 y enero de 2003 durante el ordeño de la tarde. Se creo un formato para la toma de datos de campo, éste está estructurado de la siguiente manera (cuadro 2, anexos 4 y 5):

Datos por corral:

- ◆ Fecha.- día, mes y año en el que se tomaron los datos de ese ordeño en particular.

- Inicio.- hora a la que comenzó el ordeño, este dato se tomo en el momento en el que uno de los trabajadores cerraba la puerta del apretadero cuando el total de las vacas están dentro de éste, se anotaron hora, minutos y segundos.
- Final.- hora a la que terminó el ordeño, este dato se tomo en el momento en el que uno de los trabajadores cerró la puerta de salida del túnel una vez que salió la última de las vacas ordeñadas, se anotaron hora, minutos y segundos.
- Total.- tiempo total que duro el ordeño, tiempo que transcurre del inicio al final de éste.

Datos por túnel:

- Lote.- número progresivo que se le asignó a cada grupo de cuatro vacas que conforman un túnel para ser ordeñadas.
- Túnel.- hora, minutos y segundos en el que se cerro la puerta de entrada del túnel ya que éste se llenó.
- Salida.- hora, minutos y segundos a la 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, correspondieron 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 se comenzó a lavarle la ubre. En esa misma casilla en la esquina superior derecha (la casilla más chica) se anotó el

número de arete que dicha vaca presentó, en la casilla inferior se anotó el tiempo (hora, minutos y segundos) en el que terminó el ordeño para esa vaca, o sea, cuando le aplicó el sellador en los pezones (cuadro 2, anexos 4 y 5).

Cuadro 2. Formato usado para captura de datos de campo.

Fecha					
Inicio					
Final					
Total					
Lote					
Túnel					
Salida					
Lote					
Túnel					
Salida					
Lote					
Túnel					
Salida					
Lote					
Túnel					
Salida					
Lote					
Túnel					
Salida					

La sala de ordeño se clasificó como un sistema de una sola cola, multicanal y con una sola fase o como un sistema de una cola y múltiples servidores. Las vacas al llegar al apretadero forman la cola o fila y cada túnel con cuatro máquinas es un servidor. Basado en esto, se decidió utilizar el modelo de ecuaciones propuesto

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

por Camacho Quiroz¹ para analizar un sistema con una cola multicanal con población infinita.

La probabilidad P_0 de hallar vacío el sistema es:

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

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:

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

¹ Camacho QA. Principios de investigación de operaciones. México: Ediciones Contables, Administrativas y Fiscales. 1999.

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:

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

Se creó una base de datos (anexo 6) utilizando el programa Excell, para esto se adaptó la hoja original de toma de datos de campo para, mediante dicho programa, capturar y procesar la información para obtener los datos necesarios para correr las ecuaciones propuestas. Las diferencias entre la hoja de campo y la hoja en Excell son las siguientes:

Datos por corral:

- ◆ Vacas ordeñadas.- total del número de vacas que fueron ordeñadas.
- ◆ Total lotes.- total del número de lotes.

Datos por túnel:

- ◆ Tiempo túnel.- tiempo que duró el servicio por cada túnel, este dato se obtuvo de la diferencia de la hora marcada en el túnel contra el dato de la hora de salida.

Datos individuales:

Se agregó una nueva casilla por vaca, dispuesta de la misma forma que las anteriores. En ella se anotó el tiempo de servicio o duración de la ordeña para cada vaca, esto es, desde que comenzaron a lavar la ubre hasta que se le aplicó

sellador. Este dato se obtuvo de la diferencia de la hora marcada cuando terminó el servicio y la hora en que inicio el servicio.

Con la información recabada durante los 42 días que duró el muestreo, se elaboraron promedios con los que se obtuvieron los valores útiles para la sustitución de las fórmulas (anexo 5):

Casillas de promedios por corral:

- Promedio túnel (X), es el promedio del tiempo requerido para dar servicio por túnel en todo el corral, este dato se obtuvo con la sumatoria de los tiempos túnel, dividido entre el número de túneles.
- Promedio vaca (X) en el servicio, sumatoria del tiempo de servicio por vaca, entre el número de vacas del corral.
- Promedio del total de vacas ordeñadas por día en cada corral.
- Promedio de la duración total del ordeño por día de cada corral.

V. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para la sustitución de las ecuaciones fueron necesarios los siguientes datos:

K = canales de servicio

K = 2

λ Tasa de llegada = (# vacas /hora) (cuadro 6) (promedios de los valores totales para todo el muestreo)

λ corral 1 = 38.45 vacas /hora

λ corral 2 = 38.72 vacas /hora

Cuadro 3. Concentración de los promedios obtenidos : vacas ordeñadas por corral y duración total del ordeño, para obtener la tasa de llegada λ .

NOVIEMBRE			
Corral 1		Corral 2	
Promedio duración total del ordeño	1:54:06	Promedio duración total del ordeño	1:04:51
Promedio total animales	68.21	Promedio total animales	39
Promedio minutos/vaca	1.67	Promedio minutos/vaca	1.64
Promedio vacas/hora	36.22	Promedio vacas/hora	36.80
DICIEMBRE			
Corral 1		Corral 2	
Promedio duración total del ordeño	1:46:51	Promedio duración total del ordeño	1:09:57
Promedio total animales	69.36	Promedio total animales	44.79
Promedio minutos/vaca	1.53	Promedio minutos/vaca	1.55
Promedio vacas/hora	39.22	Promedio vacas/hora	38.76
ENERO			
Corral 1		Corral 2	
Promedio duración total del ordeño	1:42:05	Promedio duración total del ordeño	1:16:30
Promedio total animales	67.21	Promedio total animales	51.07
Promedio minutos/vaca	1.51	Promedio minutos/vaca	1.49
Promedio vacas/hora	39.92	Promedio vacas/hora	40.59
Tasa de llegada λ corral 1 promedio total	38.45	Tasa de llegada λ corral 2 promedio total	38.72

μ Tasa de servicio de un canal simple = # vacas atendidas /periodo de tiempo. Se obtuvieron tres datos para tasa de servicio, para comparar el tiempo requerido para atender: a) un túnel, b) a una vaca si esta fuera atendida independiente a las otras vacas del túnel y c) al tiempo requerido para atender en promedio a 30 vacas /hora, reportado por Ávila (23,24), para un modelo de sala similar al utilizado en este estudio. Los valores se obtuvieron de la siguiente forma:

a) *Para el promedio de tasa de servicio por túnel. (4 vacas forman un túnel)*
(promedios de los valores de todo el periodo de muestreo)

μ corral 1 = 21.13 vacas /hora

μ corral 2 = 21.44 vacas /hora

b) *Promedio de tasa de servicio por vaca.* Se hizo la sumatoria del promedio de servicio por vaca, dividido entre el número de individuos en el corral, que dio como resultado (promedios de los valores totales para todo el muestreo):

μ corral 1 = 26.76 vacas /hora.

μ corral 2 = 27.27 vacas /hora.

c) *Para los datos del promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila que es de 7-8 vacas por maquina por hora, o 30 vacas/hora/hombre.* Basándose en estos datos se obtuvo un promedio de servicio por túnel de 30 vacas /hora(23,24) (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Número de vacas stendidas por hora (μ tasa de servicio). Resultados de la tasa de servicio obtenidos con los promedios de los datos para Servicio por túnel, por vaca y promedio de tasa de servicio reportada por Ávila. Promedios mensuales por corral.

Noviembre		
Corral 1	minutos/vaca	vacas/hora
Promedio de la tasa de servicio por túnel	12:16	19.56
Promedio de la tasa de servicio por vaca	9:49	24.44
Corral 2		
Promedio de la tasa de servicio por túnel	11:35	20.73
Promedio de la tasa de servicio por vaca	9:13	26.03
Diciembre		
Corral 1		
Promedio de la tasa de servicio por túnel	11:08	21.56
Promedio de la tasa de servicio por vaca	9:02	26.58
Corral 2		
Promedio de la tasa de servicio por túnel	11:31	20.83
Promedio de la tasa de servicio por vaca	9:12	26.09
Enero		
Corral 1		
Promedio de la tasa de servicio por túnel	10:47	22.26
Promedio de la tasa de servicio por vaca	8:12	29.27
Corral 2		
Promedio de la tasa de servicio por túnel	10:33	22.75
Promedio de la tasa de servicio por vaca	8:05	29.70
Promedio de la tasa de servicio obtenida con los datos reportados por Ávila	Vacas/maquina 7-8	vacas/hora 30

Cuadro 5. Número de vacas atendidas por hora (μ tasa de servicio). Resultados de la tasa de servicio obtenidos con los promedios de los datos para servicio por túnel, por vaca y el promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila. Promedios finales por corral.

PROMEDIOS FINALES DE TASA DE SERVICIO	
Corral 1	Vacas/hora
Tasa de servicio por túnel	21.13
Tasa de servicio por vaca	26.76
Tasa de servicio obtenida con los datos reportados por Ávila	30
Corral 2	
Tasa de servicio por túnel	21.44
Tasa de servicio por vaca	27.27
Tasa de servicio obtenida con los datos reportados por Ávila	30

Con la información anterior se sustituyeron las fórmulas y se obtuvieron los siguientes datos (cuadro 6):

Corral 1 túnel.

Probabilidad (P_0) de hallar vacío el sistema.

$$\lambda = 38.45 \text{ vacas /hora}$$

$$\mu = 21.13 \text{ vacas /hora}$$

$$K = 2$$

$$P_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{1!}\right) (38.45/21.13)^0 + \left(\frac{1}{1!}\right) (38.45/21.13)^1 + \left[\frac{1}{2!}\right] (38.45/21.13)^2 (2(21.13) / 2(21.13)-38.45)}$$

$$P_0 = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{1!}\right) (1) + \left(\frac{1}{1!}\right) (1.82)\right] + [0.5 (3.31) (42.26/3.81)]}$$

$$P_0 = \frac{1}{[1 + 1.82] + [0.5 (3.31) (11.09)]}$$

$$P_0 = \frac{1}{[2.82] + [18.35]}$$

$$P_0 = \frac{1}{21.17}$$

$$P_0 = 0.047$$

La probabilidad de hallar vacío el sistema P_0 es de 4.7%

El número esperado L_q en la cola es:

$$\lambda = 38.45 \text{ vacas /hora}$$

$$\mu = 21.13 \text{ vacas /hora}$$

$$K = 2$$

$$P_0 = 0.047$$

$$L_q = \frac{38.45(21.13)(38.45/21.13)^2(0.047)}{(2-1)!(2(21.13)-38.45)^2}$$

$$L_q = \frac{812.45(3.31)(0.047)}{1(14.52)}$$

$$L_q = \frac{126.39}{14.52}$$

$L_q = 8.72$ vacas por hora en la cola.

El número esperado L en el sistema:

$$\lambda = 38.45 \text{ vacas /hora}$$

$$\mu = 21.13 \text{ vacas /hora}$$

$$K = 2$$

$$P_0 = 0.047$$

$$L = \frac{38.45(21.13)(38.45/21.13)^2}{(2-1)!(2(21.13)-38.45)^2} (0.047) + 38.45/21.13$$

$$L = \frac{812.45(3.31)}{1(14.52)} (0.047) + 1.82$$

$$L = \frac{2689.21}{14.52} (0.047) + 1.82$$

$$L = 185.21(0.047) + 1.82$$

$$L = 8.70 + 1.82$$

$$L = 10.52 \text{ vacas por hora en el sistema.}$$

El tiempo esperado Wq en la cola.

$$\lambda = 38.45 \text{ vacas /hora}$$

$$\mu = 21.13 \text{ vacas /hora}$$

$$K = 2$$

$$P_0 = 0.047$$

$$Wq = \frac{21.13(38.45/21.13)^2(0.047)}{(2-1)!(2(21.13)-38.45)^2}$$

$$Wq = \frac{21.13(3.31)(0.047)}{1(14.52)}$$

$$Wq = \frac{3.29}{14.52}$$

Wq = 0.23 de hora 13.8 minutos.

El tiempo esperado W en el sistema.

$$\lambda = 38.45 \text{ vacas /hora}$$

$$\mu = 21.13 \text{ vacas /hora}$$

$$K = 2$$

$$P_0 = 0.047$$

$$W = \frac{21.13(38.45/21.13)^2(0.047)}{(2-1)!(2(21.13)-38.45)^2} + 1/21.13$$

$$W = \frac{21.13(3.31)(0.047)}{1(14.52)} + 0.047$$

$$W = \frac{3.29}{14.52} + 0.047$$

$$W = 0.23 + 0.047$$

W = 0.28 de hora 16.8 minutos.

Cuadro 6. Resultados obtenidos al sustituir las formulas con los valores de μ tasa de servicio por túnel, por vaca y el promedio obtenido con los datos reportados por Ávila.

	Tasa de servicio por túnel		Tasa de servicio por vaca		Tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila	
	Corral 1	Corral 2	Corral 1	Corral 2	Corral 1	Corral 2
λ	38.45 vacas/hora	38.72 vacas/hora	38.45 vacas/hora	38.72 vacas/hora	38.45 vacas/hora	38.72 vacas/hora
μ	21.13 vacas/hora	21.44 vacas/hora	26.76 vacas/hora	27.27 vacas/hora	30 vacas/hora	30 vacas/hora
K	2 canales de servicio	2 canales de servicio	2 canales de servicio	2 canales de servicio	2 canales de servicio	2 canales de servicio
Po	4.70%	5.10%	16%	16%	22%	21%
Lq	8.70 vacas/hora	7.97 vacas/hora	1.49 vacas/hora	1.36 vacas/hora	0.90 vacas/hora	0.90 vacas/hora
L	10.52 vacas/hora	9.78 vacas/hora	2.93 vacas/hora	2.78 vacas/hora	2.17 vacas/hora	2.19 vacas/hora
Wq	0.23de hora 13.8 minutos	0.21 de hora 12.6 minutos	0.039 de hora 2.34 minutos	0.035 de hora 2.1 minutos	0.023 de hora 1.38 minutos	0.023 de hora 1.38 minutos
W	0.28 de hora 16.8 minutos	0.26 de hora 15.6 minutos	0.076 de hora 4.56 minutos	0.072 de hora 4.32 minutos	0.056 de hora 3.36 minutos	0.056 de hora 3.36 minutos

λ tasa de llegada, μ tasa de servicio, K número de canales, Po probabilidad de hallar vacío el sistema, Lq el número de clientes esperado en la cola, L el número esperado en el sistema, Wq el tiempo esperado en la cola, W el tiempo esperado en el sistema.

Se obtuvieron tres resultados diferentes por corral, uno de tasa de servicio por túnel, otro para tasa de servicio por vaca y el último para el promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila. El objetivo de obtener estos tres resultados es comparar el primero, que es la tasa de servicio real de este estudio, basado en el manejo actual de la sala, las vacas se atienden por túnel, cuatro al mismo tiempo, éstas entran y salen juntas sin importar que haya vacas que tengan que esperar a otras que no han terminado de ser ordeñadas; contra el segundo, que es una suposición si se atendieran las vacas individualmente considerando que las unidades de ordeño pudieran manejarse independientes de las del resto del túnel, es decir, en cuanto se termine el servicio de una vaca permitir que ésta saliera dejando el lugar libre para atender a otra vaca; y contra el

tercero que representa un promedio de tasa de servicio obtenido con datos reportados en la literatura que se consideraron óptimos para una sala similar a la de esta investigación.

Como se observa en el cuadro 6, los valores para λ tasa de llegada son iguales, esto se debe a que el promedio del número de vacas atendidas y el tiempo promedio destinado al ordeño siempre es el mismo. Se encontró que los valores para μ tasa de servicio, varían según los datos utilizados para obtenerlos. De acuerdo al dato para la tasa de servicio por túnel para el corral 1 es de 21.13 vacas /hora, para el promedio de tasa de servicio por vaca es 26.76 vaca /hora y de acuerdo al promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila es de 30 vacas /hora. Se encontró una diferencia del primero contra el segundo de 5.63 vacas/hora, del primero contra el tercero de 8.87 vacas / hora, esto significa en el primer caso, que si se atendieran las vacas individualmente la tasa de servicio aumentaría 5-6 vacas/hora; para el segundo caso si se tomaran los valores reportados en la literatura, significaría que se elevaría la tasa de servicio en 8-9 vacas /hora. El valor de k número de canales de servicio, es el mismo todo el tiempo considerando siempre dos canales de servicio.

Al sustituir las fórmulas se llegó a los siguientes resultados (cuadro 6):

La probabilidad de hallar el sistema vacío P_0 , o sea la probabilidad de que una vaca que llegue encuentre vacío el sistema. Esta probabilidad aumenta conforme λ la tasa de servicio aumenta, por que la capacidad del servicio sería mayor;

observándose que el valor menor de P_o es para el dato túnel 4-5 %, para el dato de tasa de servicio por vaca es 16% y el promedio para el promedio tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila el más alto 21-22%.

Número esperado L_q en la cola, es decir, el número de vacas que se estima habrá en la cola cuando una vaca llegue solicitando el servicio, este valor aumenta cuando el valor de la tasa de servicio va disminuyendo. El dato para servicio por túnel es el más alto (8-9 vacas en la cola), mientras va disminuyendo en el valor de servicio por vaca (1 vaca en la cola) hasta llegar casi a cero para el promedio de tasa de servicio obtenido con los valores reportados por Ávila (.9 vacas hora).

Número esperado L en el sistema, es decir, el número de vacas que se estima habrá en el sistema (en la cola y el canal de servicio) cuando una vaca llegue a servicio. Este valor aumenta cuando el valor de la tasa de servicio va disminuyendo. Se observa que el dato para servicio por túnel es el más alto (10-11 vacas en el sistema) mientras que los otros dos valores van disminuyendo (2-3 vacas en el sistema) para servicio por vaca y (2 vacas en el sistema) con el promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila.

Tiempo esperado W_q en la cola, es el tiempo promedio estimado que una vaca que llega a servicio debe esperar para ser atendida. Este disminuye conforme la tasa de servicio aumenta, observándose que el dato de espera más alto es el de servicio por túnel (13.8 min.) y los otros dos valores van disminuyendo (2.34) para

servicio por vaca , y (1.38 mín.) para el promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila.

El tiempo esperado W en el sistema, es decir, el tiempo promedio estimado que una vaca debe esperar desde que llega a la cola hasta que sale del sistema una vez que fue atendida. Este disminuye conforme la tasa de servicio aumenta, observándose que el dato de espera más alto es el de servicio por túnel (16.8 min.) y los otros dos valores van disminuyendo (4.56min) para el promedio de tasa de servicio por vaca y (3.36 mín.) para el promedio de tasa de servicio obtenido con los datos reportados por Ávila.

Estos resultados nos dan un panorama del comportamiento del sistema, en términos generales, el servicio por túnel es el más deficiente al compararlo con las otras alternativas estimadas ya que la capacidad del sistema para atender a las vacas aumenta en las dos alternativas de manejo evaluadas. Además de lo anterior, se estimó el tiempo promedio de servicio por vaca, se llegó a estos resultados al sumar los tiempos mínimos requeridos para atender a una vaca, aunque ésta no saliera del túnel, y dividirlo entre el número de observaciones; de igual manera se obtuvieron los tiempos máximos de servicio por vaca. (cuadro 7) Estos datos se obtuvieron para calcular la diferencia de tiempo que hay entre la primera vaca a la que se le termina de dar servicio y la última vaca en ser servida de un mismo túnel, o dicho de otra manera, el tiempo ocioso entre una vaca baja productora y una alta productora.

Cuadro 7. Promedios de tiempo de servicio en minutos por vaca, mínimos y máximos y la diferencia entre éstos o tiempo ocioso (datos en minutos).

PROMEDIOS	NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENERO	
	CORRAL 1	CORRAL 2	CORRAL 1	CORRAL 2	CORRAL 1	CORRAL 2
MÍNIMOS	08:31	07:59	08:02	07:57	06:59	06:53
MÁXIMOS	11:03	10:28	10:00	10:24	09:24	09:25
DIFERENCIA	02:32	02:29	01:58	02:27	02:25	02:32

VI. CONCLUSIONES

Al hablar de optimización de un sistema lo primero que pensamos es en mejorar el desempeño del mismo, lo que se lograría al llegar a un punto de equilibrio entre la tasa de llegada y la tasa de servicio. En el caso particular de esta investigación, la tasa de servicio μ es la única que puede modificarse por que en las condiciones actuales, la tasa de llegada no puede cambiar por cuestiones de manejo, y el número de canales de servicio no pueden variar por el equipo e instalaciones de la sala. El único dato que se puede modificar (sin alterar las condiciones físicas actuales de las instalaciones, sin variar el número de animales del hato, sin variar el periodo designado para uso de la sala) es tasa de servicio μ , los esfuerzos por optimizar el sistema deberán dirigirse a lograr un rango de servicios más eficiente.

Las alternativas que se proponen para lograr esto en con las condiciones de infraestructura actuales son:

- Agrupar a las vacas de acuerdo a su producción: en altas, medianas y bajas productoras, para homogeneizar el tiempo requerido para el servicio y lograr con esto eliminar el tiempo ocioso entre las vacas de un mismo túnel.
- Tener trabajadores dedicados exclusivamente al ordeño.

A lo largo de esta investigación se orientaron esfuerzos para la conceptualización y análisis de la Teoría de Colas. Hasta este punto, podemos analizar su aplicación en un caso real para llevar los resultados teóricos a la práctica, y utilizarlos en la

optimización y planeación futura. La optimización deberá guiarse en lograr un punto de equilibrio entre la capacidad de servicio del sistema y los tiempos medios de permanencia en el sistema y en la cola, que estos se mantengan al menor costo posible. La capacidad de servicio no debe ser rebasada por el volumen de arribos, y esta no debe ser excesiva, ya que los gastos de mantenimiento del sistema serán altos. Con esta investigación, se dieron las bases para llegar a la meta final de la teoría de colas que es: proporcionar información sobre un sistema determinado y analizarla, y proponer alternativas que permitan alcanzar un balance económico entre el costo de servicio y el costo asociado con la espera por ese servicio. La teoría de colas por sí misma, no resuelve directamente este problema, pero contribuye con información vital que se requiere para tomar las decisiones concernientes, prediciendo algunas características sobre la línea de espera. Basándonos en esto, se sugiere continuar con la evaluación de los costos que involucra el sistema: sueldos de los empleados, mantenimiento de la sala y el equipo con el que esta cuenta, gasto de electricidad, aceite, etc. Evaluando los costos, será posible la planeación futura que permita proponer alternativas de mejoras en el sistema y que sean viables económicamente, que permitan lograr un nivel de servicio adecuado sin elevar costos por ejemplo, en este caso:

- modificación de la sala,
- rediseñar la rampa de acceso a la sala para facilitar el tránsito de los animales,
- contratar más personal, para definir actividades exclusivas en venta de leche o participación en la sala.
- dividir el hato de acuerdo a los litros producidos por cada animal, etc.

Desde un punto de vista general, podemos concluir que la teoría de colas puede ser de gran valor en la actualidad en las áreas de optimización y planeación futura de diversos sistemas de colas que se presentan en nuestra vida cotidiana, sin embargo en nuestro país aún no es muy utilizada en el sector agropecuario, ya sea por desconocimiento de la misma o por que no se cuenta con los recursos necesarios para elaborar un estudio de este tipo.

VII. LITERATURA CITADA

- 1.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Leche de Ganado Bovino en México 1990-2000. México, 2002.**
- 2.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Documento de Trabajo: Programa Sectorial de Desarrollo Rural Integral 2001-2006. México 2002.**
- 3.- Alonso PA, Aymami GN, Bächthold GE, Carranza VJA, Dávalos JL, Reyes CJI, et al. Administración Pecuaría: Bovinos. México: SUA UNAM-FMVZ 2000.**
- 4.- Gasque GR, Blanco OMA. Sistema de Producción Animal I Volumen 1: Bovinos. México: SUA UNAM-FMVZ 2001.**
- 5.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera: Indicadores Macroeconómicos Producto Interno Bruto (citado Noviembre 2002) disponible en: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/modelos/indexMacro2.html>**
- 6.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera: Información Pecuaría (citado Noviembre 2002) disponible en: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/indexpecua2.html>**
- 7.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera: Información Pecuaría (citado Noviembre 2002) disponible en: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/integra/Pecuario/Avance/concentra.pdf>**

- 8.- Camacho QA, Principios de Investigación de Operaciones México: ACAESA 1999.
- 9.- Bronson R, Investigación de Operaciones. México :Mc Graw Hill, 1993.
- 10.- Hillier FS, Lieberman GJ. Introducción a la Investigación de Operaciones. México: Mc Graw Hill, 1997.
- 11.- Gross D, Harris CM, Fundamentals of Queuing Theory. New York: John Wiley and Sons, 1974.
- 12.-Wikipedia the free Encyclopedia. Citado Enero 2003 disponible en: <http://www.wikipedeia.org/wiki/>
- 13.- Cambridge University Press Millennium Mathematics Project. Features: Agner Krarup Erlang. (Citado Marzo 2003) disponible en: <http://pass.maths.org.uk/issue2/erlang/>
- 14.-Linktionary.com Networking Defined and Hyperlinked: Queuing. 2001 (Citado enero 2003) disponible en: <http://www.linktionary.com/q/queuing.html>
- 15.- Instituto Tecnológico de la Paz. Tutoriales: Investigación de Operaciones 2, Líneas de espera. (Serie en línea) (citado marzo 2003) disponible en: <http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/investoper2/tema32.htm>
- 16.- Hamdy TA, Investigación de Operaciones. 5ª ed. México: Alfa Omega, 1995.
- 17.- Caballero RJV, Teoría de colas y análisis de su aplicación a un problema real. (Tesis de licenciatura)DF México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1999.
- 18.- Ackoff RL, Sasieni MW. Fundamentos de Investigación de Operaciones. México :Limusa, 1997.

19.- Ollivier TLM. Teoría de colas como herramienta para la optimización de sistemas reales: caso del sistema de fotocopiado del ITAM. IDE desarrollo experimental. (Tesis de licenciatura) DF México: Instituto Tecnológico Autónomo de México, 1988.

20.- Halachmi I, Metz JH, Maltz E, Dijkhuizen AA, Speelman L. Designing the Optimal Robotic Milking Barn, Part 1: Quantifying Facility Usage. (serie en línea) 2000 (citado en Marzo 2003) disponible en: <http://www.idealibrary.com>.

21.- Cooper K. Milking by Robots:simulating the robotic milking farm. Operational Research Society. Enero-Marzo 1999; 1-3.

22.- Adan I, van der Wal J. Dairy barns, robots and queueing networks. (serie en línea) Abril 2002 (citado en Marzo 2003) disponible en:

<http://www.idealibrary.com>

23.- Ávila TS. Producción Intensiva de Ganado Lechero. México :Continental, 1990.

24.- Fisiopatología de la Glándula Mamaria y Ordeño (monografía en CD-ROM) Ávila TS, Valdivieso NG, Cruz PRA. México: FMVZ-UNAM 2001.

ANEXOS

Anexo 1. Vista panorámica de la sala de ordeño y parte del apretadero. Se aprecian las rampas de acceso y las rampas de salida.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Anexo 2. Vista general de la sala de ordeño. Se aprecian los dos túneles y las unidades de ordeño



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Anexo 3. Vista lateral de la sala de ordeño. Obsérvese las cuatro unidades de ordeño de uno de los túneles.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Anexo 4. Formato con datos del corral 1.

Fecha	3/11/02					
Inicio	3:31:00					
Final	5:34:01					
Total	2:03:01					
Lote	1	3:38:43	31	32	135	39
Túnel	3:33:35		3:38:48	3:39:00	3:39:09	
Salida	3:47:42	3:46:48	3:47:02	3:47:12	3:47:25	
			113	12	18	107
Lote	2	3:38:32	3:38:31	3:38:24	3:38:19	
Túnel	3:37:10		3:51:24	3:51:17	3:51:36	
Salida	3:52:02	3:46:42	3:51:24	3:51:17	3:51:36	
			4	124	86	13
Lote	3	3:49:52	3:49:18	3:50:00	3:50:06	3:50:26
Túnel	3:49:18		3:59:01	3:59:48	3:59:44	
Salida	4:00:29	3:59:28	3:59:01	3:59:48	3:59:44	
			102	29	67	48
Lote	4	3:53:33	3:53:30	3:54:07	3:54:15	3:54:38
Túnel	3:53:30		4:07:54	4:08:04	4:08:14	
Salida	4:08:51	4:07:49	4:07:54	4:08:04	4:08:14	
			30	17	40	112
Lote	5	4:01:49	4:01:42	4:01:59	4:02:11	4:02:23
Túnel	4:01:42		4:11:15	4:11:55	4:12:00	
Salida	4:13:28	4:11:28	4:11:15	4:11:55	4:12:00	
			34	109	22	116
Lote	6	4:09:32	4:09:27	4:09:54	4:10:07	4:10:22
Túnel	4:09:27		4:18:28	4:18:52	4:19:05	
Salida	4:19:30	4:17:50	4:18:28	4:18:52	4:19:05	
			90	43	108	118
Lote	7	4:14:38	4:14:05	4:14:40	4:14:58	4:15:08
Túnel	4:14:05		4:22:07	4:22:59	4:23:08	
Salida	4:24:10	4:21:52	4:22:07	4:22:59	4:23:08	
			5	59	66	33
Lote	8	4:19:40	4:19:39	4:19:46	4:19:50	4:19:58
Túnel	4:19:39		4:26:56	4:26:02	4:27:31	
Salida	4:31:58	4:31:38	4:26:56	4:26:02	4:27:31	
			74	64	1	65
Lote	9	4:24:40	4:24:22	4:24:54	4:25:08	4:25:20
Túnel	4:24:22		4:33:24	4:33:47	4:35:03	
Salida	4:35:54	4:33:16	4:33:24	4:33:47	4:35:03	

Anexo 4.
Continuación.

Lote	10	4:32:00	38	4:33:31	106	4:33:39	92	4:33:53	27
Túnel	4:31:45								
Salida	4:43:46	4:41:19		4:41:56		4:43:10		4:41:20	
Lote	11	4:36:22	25	4:36:30	123	4:36:48	2	4:36:54	101
Túnel	4:36:03								
Salida	4:52:19	4:51:48		4:51:02		4:51:28		4:50:28	
Lote	12	4:45:46	98	4:46:14	94	4:47:40	6	4:48:06	62
Túnel	4:45:32								
Salida	4:59:30	4:58:45		4:54:53		4:57:26		4:56:26	
Lote	13	4:53:15	24	4:53:21	115	4:53:54	60	4:54:09	11
Túnel	4:53:09								
Salida	5:06:47	5:06:03		5:04:55		5:03:40		5:04:13	
Lote	14	5:00:25	23	5:00:57	19	5:01:19	13	5:01:29	99
Túnel	5:00:19								
Salida	5:15:17	5:14:23		5:14:18		5:14:13		5:14:06	
Lote	15	5:07:40	104	5:07:56	114	5:08:19	49	5:08:23	88
Túnel	5:07:39								
Salida	5:22:33	5:20:50		5:21:32		5:21:45		5:22:03	
Lote	16	5:16:12	8	5:16:26	91	5:16:45	105	5:17:03	96
Túnel	5:16:07								
Salida	5:29:26	5:28:16		5:28:06		5:27:56		5:27:52	
Lote	17	5:23:08	41	5:22:49	93	5:23:43	103		
Túnel	5:22:45								
Salida	5:34:01	5:32:08		5:33:32		5:33:24			

Anexo 5. Formato con datos del corral 2.

Fecha	3/11/02				
Inicio	5:29:49				
Final	6:27:19				
Total	0:57:30				
Lote	1	68	45	37	82
Túnel	5:30:23		5:30:37	5:30:56	5:31:06
Salida	5:41:06	5:40:26	5:39:39	5:40:00	5:39:43
Lote	2	53	57	14	36
Túnel	5:35:20		5:35:32	5:35:50	5:35:56
Salida	5:48:16	5:47:24	5:47:16	5:47:09	5:47:06
Lote	3	44	61	26	78
Túnel	5:41:49		5:42:08	5:42:29	5:42:43
Salida	5:53:42	5:53:18	5:53:13	5:52:19	5:52:13
Lote	4	69	122	42	50
Túnel	5:48:38		5:48:54	5:49:12	5:49:23
Salida	5:59:55	5:57:18	5:59:13	5:57:08	5:58:36
Lote	5	85	73	127	35
Túnel	5:54:43		5:54:55	5:55:09	5:55:18
Salida	6:03:18	6:02:54	6:02:27	6:02:48	6:02:18
Lote	6	47	58	51	52
Túnel	6:00:18		6:00:26	6:00:03	6:01:00
Salida	6:10:38	6:07:54	6:09:16	6:07:33	6:10:03
Lote	7	121	129	75	72
Túnel	6:04:03		6:04:17	6:04:37	6:04:45
Salida	6:16:32	6:15:53	6:16:22	6:16:16	6:15:18
Lote	8	80	81	120	76
Túnel	6:12:22		6:12:30	6:12:35	6:12:55
Salida	6:27:19	6:20:47	6:23:55	6:23:05	6:21:05
Lote	9	54	83	71	70
Túnel	6:18:00		6:18:17	6:18:43	6:18:50
Salida	6:27:19	6:26:59	6:26:02	6:26:45	6:26:13

Anexo 6. Formato para captura de datos en Excell. Ejemplo corral 1.

X = promedios.

2 hrs 120
 Min 123
 Min/vaca 1.84
 vacas/h 32.68

Fecha	3/11/02	X túnel	0:13:02		
Inicio	3:31:00	X vaca	0:10:29		
Final	5:34:01				
Total	2:03:01				
Vacas ordeñadas	67				
Total lotes	17				
Lote	1	31	32	135	39
Túnel	3:33:35	3:38:43	3:38:48	3:39:00	3:39:09
Salida	3:47:42				
Tiempo túnel	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
Túnel	3:37:10	3:38:32	3:38:31	3:38:24	3:38:19
Salida	3:52:02				
Tiempo túnel	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
Lote	3	4	124	86	13
Túnel	3:49:18	3:49:52	3:50:00	3:50:06	3:50:26
Salida	4:00:29				
Tiempo túnel	0:11:11	3:59:28	3:59:01	3:59:48	3:59:44
Promedio Vaca	0:09:24	0:09:36	0:09:01	0:09:42	0:09:18
Lote	4	102	29	67	48
Túnel	3:53:30	3:53:33	3:54:07	3:54:15	3:54:38
Salida	4:08:51				
Tiempo túnel	0:15:21	4:07:49	4:07:54	4:08:04	4:08:14
Promedio Vaca	0:13:52	0:14:16	0:13:47	0:13:49	0:13:36
Lote	5	30	17	40	112
Túnel	4:01:42	4:01:49	4:01:59	4:02:11	4:02:23
Salida	4:13:28				
Tiempo túnel	0:11:46	4:11:28	4:11:15	4:11:55	4:12:00
Promedio Vaca	0:09:34	0:09:39	0:09:16	0:09:44	0:09:37
Lote	6	34	109	22	116
Túnel	4:09:27	4:09:32	4:09:54	4:10:07	4:10:22
Salida	4:19:30				
Tiempo túnel	0:10:03	4:17:50	4:18:28	4:18:52	4:19:05
Promedio Vaca	0:08:35	0:08:18	0:08:34	0:08:45	0:08:43
Lote	7	90	43	108	118
Túnel	4:14:05	4:14:38	4:14:40	4:14:58	4:15:08
Salida	4:24:10				
Tiempo túnel	0:10:05	4:21:52	4:22:07	4:22:59	4:23:08
Promedio Vaca	0:07:41	0:07:14	0:07:27	0:08:01	0:08:00

Anexo 6. Continuación.

Lote	8	5	59	66	33
Túnel	4:19:39	4:19:40	4:19:46	4:19:50	4:19:58
Salida	4:31:58				
Tiempo túnel	0:12:19	4:31:38	4:26:56	4:26:02	4:27:31
Promedio Vaca	0:08:13	0:11:58	0:07:10	0:06:12	0:07:33
Lote	9	74	64	1	65
Túnel	4:24:22	4:24:40	4:24:54	4:25:08	4:25:20
Salida	4:35:54				
Tiempo túnel	0:11:32	4:33:16	4:33:24	4:33:47	4:35:03
Promedio Vaca	0:08:52	0:08:36	0:08:30	0:08:39	0:09:43
Lote	10	38	106	92	27
Túnel	4:31:45	4:32:00	4:33:31	4:33:39	4:33:53
Salida	4:43:46				
Tiempo túnel	0:12:01	4:41:19	4:41:56	4:43:10	4:41:20
Promedio Vaca	0:08:40	0:09:19	0:08:25	0:09:31	0:07:27
Lote	11	25	123	2	101
Túnel	4:36:03	4:36:22	4:36:30	4:36:48	4:36:54
Salida	4:52:19				
Tiempo túnel	0:16:16	4:51:48	4:51:02	4:51:28	4:50:28
Promedio Vaca	0:14:33	0:15:26	0:14:32	0:14:40	0:13:34
Lote	12	98	94	6	62
Túnel	4:45:32	4:45:46	4:46:14	4:47:40	4:48:06
Salida	4:59:30				
Tiempo túnel	0:13:58	4:58:45	4:54:53	4:57:26	4:56:26
Promedio Vaca	0:09:56	0:12:59	0:08:39	0:09:46	0:08:20
Lote	13	24	115	60	11
Túnel	4:53:09	4:53:15	4:53:21	4:53:54	4:54:09
Salida	5:06:47				
Tiempo túnel	0:13:38	5:06:03	5:04:55	5:03:40	5:04:13
Promedio Vaca	0:11:03	0:12:48	0:11:34	0:09:46	0:10:04
Lote	14	23	19	13	99
Túnel	5:00:19	5:00:25	5:00:57	5:01:19	5:01:29
Salida	5:15:17				
Tiempo túnel	0:14:58	5:14:23	5:14:18	5:14:13	5:14:06
Promedio Vaca	0:13:12	0:13:58	0:13:21	0:12:54	0:12:37
Lote	15	104	114	49	88
Túnel	5:07:39	5:07:40	5:07:56	5:08:19	5:08:23
Salida	5:22:33				
Tiempo túnel	0:14:54	5:20:50	5:21:32	5:21:45	5:22:03
Promedio Vaca	0:13:28	0:13:10	0:13:36	0:13:26	0:13:40
Lote	16	8	91	105	96
Túnel	5:16:07	5:16:12	5:16:26	5:16:45	5:17:03
Salida	5:29:26				
Tiempo túnel	0:13:19	5:28:16	5:28:06	5:27:56	5:27:52
Promedio Vaca	0:11:26	0:12:04	0:11:40	0:11:11	0:10:49

Anexo 6. Continuación.

Lote	17	41	93	103
Túnel	5:22:45	5:23:08	5:22:49	5:23:43
Salida	5:34:01			
Tiempo túnel	0:11:16	5:32:08	5:33:32	5:33:24
Promedio Vaca	0:09:48	0:09:00	0:10:43	0:09:41