

ARTÍCULO CIENTÍFICO
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

Simulación del proceso de abastecimiento de combustible a los aviones de una empresa angolana

Simulation of the process of refuelling the aircraft an Angolan company

Pino Ávila, Carmen Dominga ^I; Peña Lage, Reinaldo Federico ^{II}

^I carmen.pino9965@utc.edu.ec, Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA), Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Latacunga, Ecuador.

^{II} reynaldolage66@yahoo.es, Instituto Superior Tecnológico EDUPRAXIS, Ambato, Ecuador.

Recibido: 12/03/2019

Aprobado: 12/06/2019

Como citar en normas APA el artículo:

Pino Ávila, C. D., y Peña Lage, R. F. (2019). Simulación del proceso de abastecimiento de combustible a los aviones de una empresa angolana. *Uniandes Episteme*, 6(3), 338-353.

RESUMEN

La empresa objeto de estudio es una de las empresas angolanas, encargadas de abastecer el combustible a diferentes compañías de aviones. En esta entidad se presentaron insatisfacciones por parte de sus clientes, debido a la demora en el servicio de abastecimiento de combustible. Esta dificultad se convirtió en una gran preocupación para la empresa, pues además de crear insatisfacciones por el servicio prestado, la organización presentó una elevada pérdida de clientes debido a la competencia existente y por ende una sensible baja en sus utilidades. El objetivo de este trabajo consistió en analizar el proceso de servicio de abastecimiento del combustible en esta empresa y proponer alternativas para mejorar el mismo. Los modelos matemáticos adecuados y la aplicación a estos de las técnicas de simulación permitieron estudiar y analizar el proceso, conocer el estado real del

mismo y en correspondencia con los resultados obtenidos, se analizaron y desarrollaron diferentes alternativas que mejoraron el funcionamiento del servicio analizado. Se ratificaron las dificultades existentes en la prestación del servicio, siendo la más señalada, el tiempo de permanencia de los clientes en el sistema, y la ociosidad de algunos servidores por períodos largos de tiempo. A partir de estos resultados, se proponen algunas alternativas de soluciones, que permiten aumentar la calidad en el servicio, realizando un análisis de cada una de ellas.

PALABRAS CLAVE: Sistema de servicios; filas de espera; simulación; modelos matemáticos.

ABSTRACT

The company under study, is one of the companies responsible for supplying fuel to different aircraft companies. It presented dissatisfaction by its clients for the delay in the process of refueling. This difficulty has become a great concern for the company, because in addition to creating dissatisfaction for the service provided, also caused loss of customers due to the competition, making the problem to solve. The objective of this study is to analyze the system of service in the company SDL - to the and propose alternatives to improve it. Mathematical models appropriate and the application to them of simulation techniques, allowed to study and analyze the process, get to know the real state of the same and in correspondence with the results obtained, were analysed and developed alternatives that improved the functioning of the tested service. It ratified the difficulties in the provision of the service, being the more marked, the time of permanence of the clients in the system, and the idleness of some servers for long periods of time. Based on these results, we propose some alternatives solutions, allowing to increase the quality of service, performing an analysis of each one of them.

KEYWORDS: System services, rows of waiting, simulation, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa (en inglés OR u Operations Research) es una disciplina que aplica métodos analíticos desarrollados con el fin de apoyar el proceso de toma de decisiones, identificando los mejores cursos de acción posibles. Los modelos de filas de espera forman parte de esta disciplina y consisten en fórmulas y relaciones matemáticas que pueden usarse para determinar las características operativas

(medidas de desempeño) para un servicio determinado. Las colas se forman en un proceso donde la demanda es mayor que la oferta. Los modelos de cola o filas de espera pueden ser utilizados para modelar procesos en los cuales los clientes van llegando, esperan su turno para recibir el servicio, y salen cuando este termina (Uribe Mejia, Vazquez, Usuga, & Ceballos, 2017). Existen básicamente dos maneras de abordar un problema de fila de espera: Usando modelos matemáticos obtenidos para ciertos tipos de filas de espera que se presentan con frecuencia y usando un modelo de simulación de eventos discretos (Taha, 2012). En el presente trabajo se aplica la segunda forma para analizar el proceso de abastecimiento de combustible, ya que es un sistema complejo, donde se mezclan servicios en serie y en paralelo y los modelos clásicos son prácticamente imposibles de utilizar.

La presente investigación se realiza en una empresa de abastecimiento de combustible, en Luanda, Angola, cuyo proceso es modelado a partir de un sistema de servicio. El trabajo parte del análisis de los resultados de una encuesta realizada a 1200 clientes, la que permitió detectar algunas insatisfacciones con relación a los servicios recibidos. Esta es una muestra tomada de manera intencional, no se utiliza ningún tipo de muestreo. La empresa realizó las encuestas de forma aleatoria a sus clientes, en diferentes horas del día y en los diferentes turnos de trabajo. Se tomó esta encuesta como referencia, pues se hacía muy complicado, por cuestiones de tiempo y dinero, realizar una nueva encuesta.

Dentro de las causas de estas inconformidades se encontraban la demora en la caja, a la hora de pagar, la cantidad de papeles que había que llenar para realizar el servicio, una vez dentro de la plataforma, la demora de las pipas, que no siempre se encontraban en la plataforma, malos tratos de los empleados, que en muchas ocasiones no observaban bien sus funciones y no aceptan las críticas de los usuarios. Como consecuencia de estas fallas, muchos clientes se retiran del sistema y otros llenan los papeles y vuelven en horario menos complicado. Esto ha provocado que un número significativo de clientes, no vuelvan a recibir los servicios, yendo hacia la competencia, perdiendo contratos y clientes, y bajando la rentabilidad de la empresa. A partir de este estudio el problema a resolver en esta investigación es el siguiente: ¿Cómo mejorar el servicio en la empresa de abastecimiento de combustible mediante la aplicación de modelos de simulación?

El objetivo general de este trabajo es analizar el sistema de servicio existente en una empresa de abastecimiento de combustible en la ciudad de Luanda, proponiendo alternativas para mejorar el proceso de abastecimiento de combustible a los aviones.

La investigación, en su primera fase, analiza el funcionamiento del sistema de abastecimiento de combustible a los aviones de la empresa y selecciona los modelos de

simulación adecuados para el mismo. En una segunda fase se analizan los resultados obtenidos y se desarrollan diferentes alternativas que mejoren el funcionamiento del servicio analizado. (González, Garbarini, Dominguez, Cariaga, & Marcuzzi, 2017). Este modelo no se ha aplicado anteriormente en empresas de este tipo, por lo que no se hace referencia a trabajos anteriores realizados sobre este tema específicamente.

Una situación de filas de espera o sistemas de servicios, se genera cuando el cliente llega a la instalación y se forma una cola, el servidor elige a un cliente de la cola para prestarle el servicio y al terminar éste el cliente sale, repitiéndose este proceso por un período de tiempo determinado (Chingaté Avila, 2012). Los elementos básicos de un modelo de espera son: La distribución de llegadas, distribución del tiempo de servicio, diseño de la instalación de servicio, disciplina de servicio, tamaño de la fila, fuente de llamadas y conducta humana. (Cano , Campo, & Gómez, 2018)

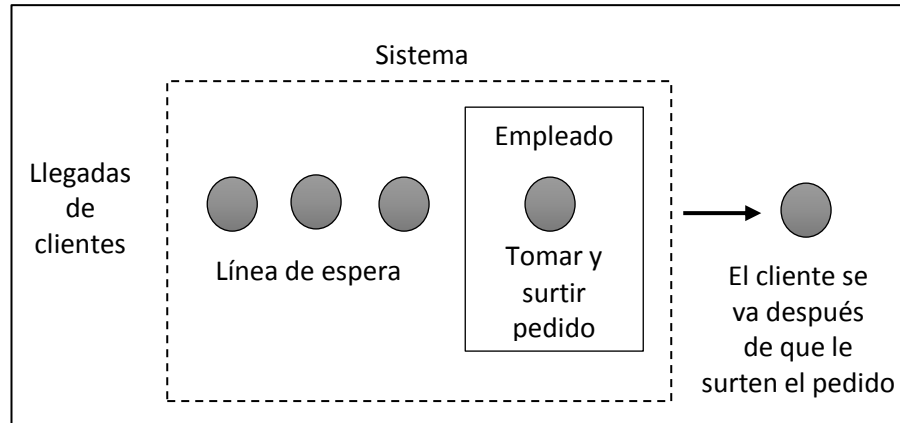


Figura 1. Representación de los sistemas de servicios

Fuente: <http://metodoscuantitativo2.galeon.com/enlaces2219625.html>.

La fuente de insumos para el sistema de servicio es una población de clientes. Si el número potencial de nuevos clientes para el sistema de servicio resulta afectado notablemente por el número de clientes que ya se encuentran en el sistema, se dice que esa fuente de insumos es finita. En forma alternativa, la población de clientes infinitas es aquella en la que el número de clientes que entran al sistema, no afecta la tasa a la cual dicha población genera nuevos clientes. (Carro Paz & González Gómez, 2017).

Las filas de espera se diseñan de una sola fila o en filas múltiples, al igual que los servidores, se pueden encontrar en serie o en paralelos. Se dicen que están en series, cuando cada uno realiza una determinada función y para completar el servicio se debe pasar por cada uno de ellos y en paralelo, cuando realizan el mismo servicio simultáneamente. Las instalaciones de servicios o los servidores son el personal o las máquinas necesarias para

proporcionar el servicio. Las distribuciones de una sola fila son más utilizadas cuando se tienen servidores múltiples, para mantenerlos uniformemente ocupados. Los clientes pueden ser atendidos por varias disciplinas de servicios. La más común es por orden de llegadas, llamada también disciplina FIFO, o sea primero que llega, primero que sale, pero también se pueden atender en forma aleatoria, por algún tipo de prioridad, entre otros. (Carro Paz & González Gómez, 2017)

La llegada de clientes a las instalaciones de servicio es aleatoria. La variabilidad en los intervalos de llegada de los clientes, a menudo se describe mediante una distribución de probabilidad. Es muy común utilizar la curva de distribución de Poisson, la cual especifica la probabilidad de que n clientes lleguen en T períodos de tiempo, pero esta no es la única que se debe tener en cuenta. La distribución de Poisson es una distribución discreta, o sea, las probabilidades corresponden a un número específico de llegadas por unidades de tiempo. Otra forma de especificar la distribución de llegadas es en término de tiempos entre llegadas de clientes, o sea el intervalo de tiempo entre dos llegadas sucesivas. Si la población de clientes genera estos de acuerdo a una distribución de Poisson, entonces la distribución exponencial describe la probabilidad de que el próximo cliente llegue durante los siguientes T períodos de tiempo. (Carro Paz & González Gómez, 2017)

La distribución de tiempos de servicios, también generalmente se describe mediante una distribución exponencial, pues esta nos da la probabilidad de que el tiempo de servicio de un cliente en una instalación determinada, no sea mayor que T períodos de tiempo. Algunas veces y por características específicas de esta distribución, la misma no se adapta a situaciones reales, pues el modelo de esta distribución, parte de la suposición de que cada tiempo de servicio es independiente, de los tiempos que le precedieron. Sin embargo, en la vida real, la productividad puede mejorar a medida que los servidores humanos aprenden a realizar mejor su trabajo. (Carro Paz & González Gómez, 2017)

Existen tantos modelos de espera como variaciones de los factores citados. Los sistemas de espera se basan en el tiempo de llegada y de servicio y estos poseen distribuciones probabilísticas. (Cervantes Gómez, 2015). Estos modelos son resueltos de variadas formas, que dependen fundamentalmente de las características del mismo. Entre los métodos de solución de estos sistemas, se encuentran los modelos clásicos de optimización, que tienen declaradas las fórmulas a usar en dependencia de la modelación que se realice y de la clasificación de estos modelos. Los más usados son: Una sola fila y un solo servidor, múltiples filas y un solo servidor, una fila y múltiples servidores en serie, una fila y múltiples servidores en paralelo, múltiples filas y múltiples servidores en serie, múltiples filas y

múltiples servidores en paralelo, entre otros. A su vez existen modelos, para los que no existen formas de soluciones definidas, para los que se pueden usar diferentes heurísticas o técnicas de simulación, muy usado en los últimos tiempos, las que si bien no dan soluciones optimas a los mismos, describen muy bien lo que está pasando en la realidad y proporcionan la posibilidad de probar diferentes alternativas y de estas seleccionar la mejor entre ellas.

La simulación es un término definido por varios autores de formas diferentes, pero la definición más aceptada es la dada por Thomas Naylor, que plantea que la Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, las cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en períodos extensos de tiempo real. Un modelo de simulación busca imitar el comportamiento del sistema que se investiga estudiando las interacciones entre sus componentes. Los resultados de un modelo de simulación se presentan normalmente en términos de medidas que reflejan el desempeño del sistema. La simulación se debe tratar como un experimento estadístico (Forero Paez & Giraldo, 2016).

A diferencia de los modelos matemáticos clásicos, que presentan un comportamiento estable a largo plazo, los resultados que se obtienen en un modelo de simulación, son observaciones que están sujetas al error experimental, lo que significa que cualquier inferencia que se haga relativa al desempeño del sistema simulado debe estar sujeta a pruebas adecuadas de análisis estadístico (Ceballos, 2014). La naturaleza de los modelos de simulación, permiten una mayor flexibilidad en la representación de sistemas complejos, que generalmente son difíciles de analizar a través de otros tipos de modelos. Se emplea para analizar problemas teóricos en el área de las ciencias básicas y problemas prácticos en todos los aspectos del mundo real. (Taha, 2012)

Existen dos tipos de modelos de simulación, la simulación discreta y la simulación continua. En la simulación discreta, el sistema se observa únicamente en puntos seleccionados en el tiempo, mientras que en las simulaciones continuas el sistema se verifica en todos y cada uno de los puntos en el tiempo (Vargas & Giraldo, 2014). El objetivo de estas simulaciones es el de recolectar estadísticas que se pueden utilizar para describir el comportamiento de los sistemas en estudio. (Taha, 2012). En el presente trabajo se realiza una simulación discreta, por las características del proceso que se analiza, que más tarde serán explicadas en este artículo.

Existen tres formas de presentar los modelos de simulación discreta: Programación del evento siguiente, análisis de actividades y orientación a los procesos. En este último caso, que será el utilizado para esta investigación, el analista puede visualizar el sistema mediante una fuente que genera la llegada de los clientes, una cola para dar espacio a los clientes que esperan y una instalación para dar atención a los clientes. (Molina, Furfaro, Malena, & Parise, 2015)

Para realizar la simulación de un sistema de servicio se deben tener en cuenta los siguientes elementos: la fuente (tiempo entre las llegadas), fila de espera (disciplina de espera) e Instalación (tiempo de servicio). (Taha, 2012). Se puede representar el modelo de simulación en forma gráfica como se indica en la figura siguiente.

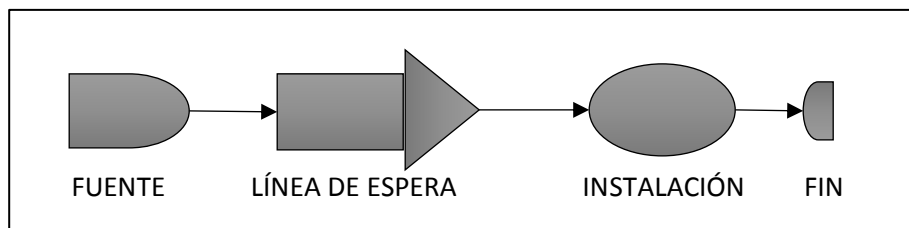


Figura 2. Elementos principales de un sistema de simulación.

Fuente: (Taha, 2012)

MÉTODOS

La Empresa objeto de estudio en Luanda, es una de las empresas encargadas de la venta del combustible a las empresas de aviación. La misma se encuentra subdivida en diferentes áreas: comercial, administrativa, control de crédito, facturación, control de gestión, control de inventarios, red industrial, operacional, y de supervisión. Esta última es la encargada de efectuar las ventas del combustible a las diferentes compañías de aviación.

El trabajo se realiza en un área específica de la empresa en Luanda, utilizando métodos estadísticos y Técnicas de Investigación de Operaciones. Las variables en estudio para esta investigación son:

Variables independientes.

- Tiempo entre llegadas.
- Tiempo de llenado de los formularios.
- Tiempo en caja.
- Tiempo de abastecimiento por carro o por bomba.

Variable dependiente:

- Tiempo en el sistema

Estas variables son cuantitativas y continuas.

Se hace el análisis de cuatro de los cinco turnos de trabajo, pues fue imposible recoger los datos del turno de la madrugada, por cuestiones de seguridad y porque los datos de este turno no se encontraban con la calidad necesaria.

El experimento se diseña de la siguiente forma:

1. Recogida de los datos de las variables en estudio, definidas anteriormente.
2. Realizar el análisis de las distribuciones de probabilidad que siguen las variables.
3. Construir el modelo de simulación correspondiente al sistema estudiado.
4. Resolución del modelo de simulación y análisis de los resultados obtenidos.
5. Proponer alternativas que mejoren el servicio en caso de que sea necesario.
6. Realizar comparaciones de las alternativas entre sí y con el modelo real.

La selección de un método para evaluar una situación de espera está determinada fundamentalmente por los tiempos de llegada y los tiempos de servicio. La determinación de estas distribuciones en la práctica conlleva a observar el sistema durante las operaciones y registrar los datos pertinentes. Es importante saber cuándo observar y como recolectar los datos. (Fritzson, 2015)

Luego de recolectar los datos, se resume la información, se analiza y se determina una distribución aproximada asociada a cada variable. Esto normalmente se hace agrupando los datos, mediante una tabla de frecuencia y su respectivo histograma, sugiriendo luego una distribución teórica que se ajuste a los datos observados, realizando la prueba de bondad de ajuste, que permite comprobar que efectivamente la distribución observada se corresponde la distribución teórica sugerida. (Rodríguez Franco, Pierdant Rodríguez, & Rodríguez Jiménez, 2016)

Para esta verificación, se utiliza la prueba de bondad de ajuste, usando la estadística χ^2 mediante la fórmula: (Weitz, 2016)

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j} \quad (1)$$

Se plantean dos hipótesis

H₀: La variable aleatoria sigue una determinada distribución.

H_a: La variable aleatoria no sigue una determinada distribución.

La hipótesis nula será rechazada si a comparar la estadística χ^2 con los valores de la distribución de probabilidad que corresponda al nivel de significación α con k-m-1 grados

de libertad donde k es el número de términos adicionados en la fórmula de χ^2 y m es el número de parámetros de la distribución de probabilidades que deben ser estimados con base en los datos muestrales, mostrándose que $\chi^2 \geq \chi_{\alpha}^2$ con $k-m-1$ grados de libertad. (Freud, 2014)

Se recolectaron los datos de un mes de trabajo. Estos se compararon con los registros mensuales existentes en la empresa, validando para cada una de las variables que las diferencias entre sus medias no fueran estadísticamente significativas, mediante un análisis de varianza. Una vez comprobado esto, se decide que los datos recogidos son suficientes para la realización de la investigación.

Se realizó un muestreo no probabilístico, de tipo casual o incidental, ya que los datos se recogieron a partir de los clientes que llegaban a la empresa, en cada uno de los turnos de trabajo y de los registros existentes en la organización.

Para realizar el análisis estadístico de las observaciones obtenidas se utilizó el sistema estadístico IBM SPSS Statística 15, pues fue el programa del cual se tenía la licencia, en el momento de realizada la investigación. Las observaciones se realizaron, como fue determinado en el diseño de experimento, en las siguientes variables:

- Tiempo entre llegadas.
- Tiempo de llenado de los formularios.
- Tiempo en caja.
- Tiempo de abastecimiento por carro o por bomba.
- Tiempo total en el sistema

En media se observaron unos 114 clientes mensuales en cada turno, siendo esta una muestra casual, no probabilística, pues fueron los clientes que llegaron a recibir el servicio en el tiempo que se realizó la observación. La población son todos los clientes potenciales de la empresa, de los cuales no se tenían datos exactos de la cantidad.

Se comprobó estadísticamente que las variables tiempo entre llegadas, tiempo de llenado de los formularios, tiempo en caja, tiempo de abastecimiento por carro o por bomba y el tiempo total en el sistema, siguen una distribución exponencial, procediendo a realizar el modelo de simulación para este sistema.

El proceso que se analiza es un modelo con cuatro servidores, el GUICHET, la CAIXA, ABAST1 e ABAST2 (abastecedores por bomba y por carro). El servidor GUICHET y CAIXA están en serie y los servidores ABAST1 e ABAST2 están en paralelo. Los clientes llegan según una distribución exponencial, pasan por una ventanilla llamada GUICHET donde solicitan un formulario para la adquisición del combustible, luego van para la fila

perteneciente a la caja donde efectúan el pago y después pasan a la plazoleta para que los aviones sean abastecidos también según una distribución exponencial. Existen clientes que luego de pagar se van y regresan posteriormente para recibir el servicio, esto ocurre con una probabilidad de 10 %. En el caso de los aeroabastecedores, 68 % de los clientes abastecen por carro y el otro 32 % por bombas. El modelo se presenta en el gráfico siguiente.

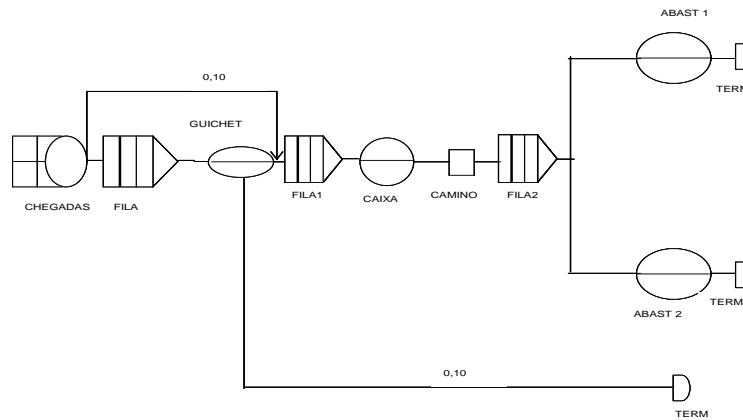


Figura 3. Sistema de servicio de la empresa SDL- AL.

RESULTADOS

Para la simulación de este sistema de servicio, se utiliza el sistema computacional SIMNET II. El diseño de SIMNET II se basa en el acercamiento de una red que utiliza tres nodos: una fuente, donde llegan los clientes, una fila de espera, donde la espera tiene lugar y una instalación donde se lleva a cabo el servicio. Se agrega un cuarto nodo llamado auxiliar, para incrementar las capacidades de la modelación del lenguaje. Durante la ejecución de la simulación, se mantiene el control de las transacciones colocándolas en los archivos calendario de eventos, fila de espera e instalación. (Taha, 2012)

Este modelo cuenta con cuatro servidores situados en serie y en paralelo, resolviendo el mismo mediante técnicas de simulación apoyándonos en el sistema antes descrito. Para tal, se realiza el programa que representa la situación antes descrita. El programa se describe a continuación:

```

$PROJECT;AEROINSTALACÃO;28/6/2018;CARMEN PINO:
$DIMENSION;ENTITY(50);A(2):
$VARIABLES;SYS TIME;OBS.BASED;TRANSIT(2):
    TIME CAIXA;OBS.BASED;TRANSIT(2):
$BEGIN:
    CHEGADAS*S;ex(16.57);;2;/s/*COLA1/.10,COLA1.90:
    COLA*Q:
    GUICHET *F;;EX(5.25);/S/*TERM/.10,COLA1/.90:
    COLA1 *Q:
    
```

```
CAIXA *F;;EX(19.30):
    *B;CAMINO;/V/TIME CAIXA%;
CAMINO *A;1.5:
COLA2 *Q;/S/*ABAST1/68,ABAST2/32:
ABAST1 *F;;EX(21.69):
    *B;TERM;/V/SYS TIME%;
ABAST2 *F;;EX(21.69):
    *B;TERM;/V/SYS TIME%;

$END:
$RUN-LENGTH=360:
$RUNS=1:
$STOP:
```

Los resultados medios al hacer la corrida de la situación real se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos para los datos iniciales

Indicadores	Turno A	Turno B	Turno C	Turno E
Tiempo de ocupación del servidor guichet (minutos)	7,75	9,54	8,45	8,40
Utilización bruta del servidor guichet (%)	26,85	34,98	30,38	29,78
Tiempo de espera en la FILA 1 (minutos)	40,35	37,72	20,30	26,89
Tiempo de espera en la caja (CAIXA) (minutos)	55,05	49,77	184,18	38,35
Tiempo de ocupación del servidor ABAST1 (minutos)	26,58	14,92	15,56	14,65
Utilización bruta del servidor ABAST1 (%)	41	32	32	30
Tiempo de ocupación del servidor ABAST2 (minutos)	24,66	16,78	15,62	15,93
Utilización bruta del servidor ABAST2 (%)	24	22	20	18
Tiempo total en el sistema (minutos)	201,03	187,64	194,32	191,32

De forma general, entre los principales problemas del sistema se encuentran la poca utilización del servidor GUICHET, el elevado tiempo de permanencia en la COLA 1, en el servidor CAIXA y en el sistema de forma general. Como consecuencia de esto la ocupación de los servidores ABAST1 e ABAST2 es bastante baja y existen personas que quedan para ser atendidas en el turno siguiente. Al realizar un análisis estadístico de los resultados de los indicadores para los diferentes turnos de trabajo se verifica que existen diferencias significativas entre los mismos para los diferentes turnos, lo que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza.

```
ANOVA Table                                Analysis of Variance
-----
Source          Sum of Squares      Df  Mean Square      F-Ratio      P-Value
-----
Between groups      559500,0           15   37300,0          47,90         0,0000
Within groups      143271,0           184   778,648
-----
Total (Corr.)      702771,0           199
```

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de un grupo. La relación F, que en este caso es igual a 47,9035, es una relación de la estimación entre grupos para la estimación dentro del grupo. Aquí podemos observar que el valor P de la prueba F es menor que 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables en los diferentes turnos con un nivel de confianza del 95,0%. Esto puede ser un

indicador de que los trabajadores en los diferentes turnos no tienen la misma capacitación, ni la misma destreza para realizar la función que desempeñan

Con estos resultados se verifica que existen grandes problemas en el servicio, siendo necesario proponer soluciones alternativas. Para esto se recurre a los expertos y directivos de la empresa, se les expone la situación, mediante los resultados obtenidos, y se solicita que propongan variantes, que ellos consideran factibles, para poder mejorar el servicio. A partir de las sugerencias y planteamientos se consideran las alternativas siguientes:

Alternativa1. Unir el servidor Guichet con el servidor Caixa y aumentar un operador.

Alternativa2. Unir el servidor Guichet con el servidor Caixa, manteniendo dos operadores.

Alternativa3. Mantener el servidor Guichet separado y aumentar un operador en el servidor Caixa.

Para analizar estas alternativas, fue necesario modelar nuevamente el sistema original a partir de las transformaciones realizadas en cada una de las alternativas presentadas y rehacer el programa SIMNET para cada una de ellas.

Tabla 3. Resultados obtenidos para la aplicación de la Alternativa 1.

INDICADORES	Turno A	Turno B	Turno C	Turno E
Tiempo de ocupación del servidor guichet (minutos)	-	-	-	-
Utilización bruta del servidor guichet (%)	-	-	-	-
Tiempo de espera en la fila1 (minutos)	8,49	5	5,81	12,50
Tiempo de espera en la caja (caixa) (minutos)	23,72	31,03	17,93	18,99
Tiempo de ocupación del servidor abast1 (minutos)	119,65	55,34	22,61	36,62
Utilización bruta del servidor abast1 (%)	61,45	62,88	61,61	56,84
Tiempo de ocupación del servidor abast2 (minutos)	51,53	22,98	20,76	18
Utilización bruta del servidor abast2 (%)	37,94	37,94	29,30	30,24
Tiempo total en el sistema (minutos)	162,85	48,62	49,03	49,37

Tabla 4. Resultados obtenidos para la aplicación de la Alternativa 2.

INDICADORES	Turno A	Turno B	Turno C	Turno E
Tiempo de ocupación del servidor guichet (minutos)	-	-	-	-
Utilización bruta del servidor guichet (%)	-	-	-	-
Tiempo de espera en la fila1 (minutos)	31,29	24	13,31	23,18
Tiempo de espera en la caja (caixa) (minutos)	35,70	14,02	22,06	27,08
Tiempo de ocupación del servidor abast1 (minutos)	53,92	32,38	20,29	20,29
Utilización bruta del servidor abast1 (%)	63,49	63,06	41,12	46,92
Tiempo de ocupación del servidor abast2 (minutos)	38,90	18,50	17,48	17,44
Utilización bruta del servidor abast2 (%)	32,15	34,01	34,26	33,61
Tiempo total en el sistema (minutos)	202,88	199,7	200,6	200,2

Tabla 5. Resultados obtenidos para la aplicación de la Alternativa 3.

INDICADORES	Turno A	Turno B	Turno C	Turno E
Tiempo de ocupación del servidor guichet (minutos)	10,90	9,84	13,65	6,66
Utilización bruta del servidor guichet (%)	27,06	33,40	26,25	28,53
Tiempo de espera en la fila1 (minutos)	15,49	9	8,45	11,73
Tiempo de espera en la caja (caixa) (minutos)	27,70	21,76	19,42	23,29
Tiempo de ocupación del servidor abast1 (minutos)	54,48	21,42	22,82	33,80
Utilización bruta del servidor abast1 (%)	48,39	49,14	37,44	45,44
Tiempo de ocupación del servidor abast2 (minutos)	48,92	31,70	24,37	47,52
Utilización bruta del servidor abast2 (%)	50,53	57,83	24,62	30,85
Tiempo total en el sistema (minutos)	203,53	203,3	191,8	198,80

Con el uso de la simulación en el primer modelo, fueron vistos de forma clara las dificultades existentes en el sistema, señalando que los indicadores más problemáticos en los servicios de suministro de combustible son:

- Tiempo de ocupación del servidor GUICHET.
- Tiempo de espera promedio en COLA1.
- Tiempo de espera promedio en la CAIXA.
- Tiempo promedio de ocupación de los servidores ABAST1 y ABAST2.
- Tiempo promedio en el sistema

Las diferencias en estos indicadores para cada uno de los cambios son significativas, constituyendo una excepción al servidor GUICHET y los abastecedores que presentan poca utilización en todos los turnos. Los turnos que presentan mayores problemas en la eficiencia del servicio, con valores más negativos en los indicadores que se consideran más representativos son los turnos A y C, mientras que los turnos de los mejores resultados son B y E, destacando especialmente el E, pudiendo ser la causa de estas diferencias la formación desigual, entre los de trabajadores.

DISCUSIÓN

Para analizar las alternativas propuestas y comprobar que realmente mejoran los problemas existentes en las operaciones del proceso de servicio de suministro de combustible se corrieron los programas correspondientes y se comprobó que cualquiera de las tres alternativas, mejora considerablemente la eficiencia del proceso estudiado, para cualquiera de los turnos analizados, con excepción del servidor GUICHET, en la alternativa tres, cuya utilización continua siendo muy baja, por lo que se propone la no utilización de esta alternativa, para el caso de que se pueda prescindir del servicio del GUICHET de forma independiente. No existen grandes diferencias entre los resultados de los indicadores

analizados en las dos primeras alternativas, para los diferentes turnos de trabajo, aunque se debe destacar que continúan siendo más negativos en los turnos A y B observándose nuevamente la diferencia en la eficiencia entre los turnos.

De forma visual se puede observar que la alternativa 1 presenta mejores resultados en los indicadores COLA1, CAIXA, ABAST1, ABAST2 en los turnos A, B, C, y E, mientras que en las alternativas 2 y 3 presentan mejores resultados los indicadores CAIXA, ABAST1, ABAST2 nos turnos B, C, y E. Estos resultados se ven reflejados en las tablas 2, 3 y 4.

Al realizar el análisis estadístico de los resultados, mediante los correspondientes análisis de varianzas, que permiten comparar los valores obtenidos de cada una de las alternativas con los del sistema original se puede afirmar que en todos los turnos existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores estudiados del modelo original y las alternativas propuestas con un 95% de confianza.

En el turno A, el tiempo en la cola 1, en la caja y en el sistema de manera general es mucho más pequeño con la alternativa 1, el abastecimiento 1, en cualquiera de las alternativas mejora considerablemente su ocupación, pero sigue siendo mejor para la alternativa 1, al igual que para el abastecimiento 2. Donde único no se evidencia una diferencia significativa es en la ocupación del servidor Guichet.

En el Turno B, C y E, el comportamiento de los indicadores es similar al turno A, por lo que se puede afirmar que, si se aplica la alternativa 1, mejorará de forma significativa la atención a los clientes, disminuyendo la permanencia en el sistema, aunque se debe destacar, que con la alternativa 2, también aumenta significativamente la ocupación de los servidores y disminuye el tiempo en el sistema de manera general.

Con la alternativa 3, disminuye el tiempo en el sistema, también aumenta el uso de los servidores, excepto el servidor GUICHET, que mantiene la misma baja ocupación que en el modelo inicial.

De todas formas, la decisión de la alternativa a adoptar, es puramente empresarial, pues se deben tener en cuenta, además de los resultados obtenidos con cada una de ella, las consecuencias económicas y los costos que implican cada una de ellas.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó un estudio del funcionamiento del sistema de servicio de una empresa de abastecimiento de combustible a aviones de pequeño y gran tamaño, aplicando los sistemas de simulación.

Se identifican de forma clara las dificultades existentes, siendo los más significativos el tiempo medio en la COLA1, en el servidor CAIXA y en el sistema, además de la ociosidad de los servidores ABAST1 e ABAST2, presentando diferencias significativas para los diferentes turnos.

A partir de las dificultades existentes se recomienda realizar algunos cambios en el sistema, comprobando que cualquiera de ellas mejora considerablemente la eficiencia del proceso.

A pesar de lo planteado en la conclusión cuatro, es de señalar que en la alternativa tres se mantiene ociosidad del servidor GUICHET, no recomendando la utilización de esta.

Se mantienen las diferencias entre los resultados de los indicadores para los diferentes turnos.

No se realiza en este trabajo un análisis económico de las alternativas propuestas, por lo que solo se ha tenido en cuenta la satisfacción de los clientes con el servicio recibido.

REFERENCIAS

- Cano, J. A., Campo, E. A., & Gómez, R. A. (2018). Simulación de eventos discretos en la planificación de producción para sistemas de confección modular. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 41(1), 50-58.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2017). *Modelos de filas de espera*. En *Administración de las operaciones* (págs. 1-18). Mar del Plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar Del Plata.
- Ceballos, F. B. (2014). Simulación Discreta Aplicada a los Modelos de Atención en Salud. *Investigación e innovación en ingenierías*, 2(2).
- Cervantes Gómez, L. (2015). *Modelización Matemática. Principos y aplicaciones*. México D. F., México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Dirección de Fomento Editorial.
- Chingaté Avila, V. M. (2012). *Estrategias de mejoramiento en el sistema de líneas de espera en Bancamía S.A. empleando simulación discreta*. (Tesis de Grado). Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá D.C., Colombia.
- Forero Paez, Y., & Giraldo, J. A. (2016). Simulación de un proceso de fabricación de bicicletas. Aplicación didáctica en la enseñanza de la Ingeniería Industrial. *Formación universitaria*, 9(3), 39-50.
- Freud, J. (2014). *Estatística Aplicada á Economia Administração e Contabilidade*. (11ª ed.) Porto Alegre, Brasil: Bookman.

- Fritzson, P. (2015). *Introducción al modelado y simulación de sistemas técnicos y físicos con modelica*. Madrid, España: Linköping University Electronic Press.
- González, M. H., Garbarini, E. M., Dominguez, D. A., Cariaga, M. L., & Marcuzzi, E. (2017). *La predicción estadística de la lluvia estacional como herramienta para la toma de decisiones en un contexto de cambio climático*. Buenos Aires, Argentina: Creative Commons.
- Molina, L., Furfaro, A., Malena, G., & Parise, A. (2015). Ataques Distribuidos de Denegación de Servicios: modelación y simulación con eventos discretos . XV *Jornada Internacional de Seguridad Informática- ACIS 2015*, (pág. 8). Bogotá, Colombia
- Rodríguez Franco, J., Pierdant Rodríguez, A. I., & Rodríguez Jiménez, E. C. (2016). *Estadística para la Administración*. México, DF, México: Patria.
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. México D.F., México: Pearson.
- Uribe Mejia, N., Vazquez, N., Usuga, D., & Ceballos, Y. (2017). Propuesta de mejora a los altos tiempos de espera en puntos de atención al usuario en una entidad promotora de salud empleando simulación discreta. *Scientia et technica*, 22(4), 345-51.
- Vargas, J. M., & Giraldo, J. A. (2014). Modelo de Predicción de Costos en Servicios de Salud Soportado en Simulación Discreta. *Información tecnológica*, 25(4), 175-84.
- Weitz, D. (2016). *Herramienta didáctica para la enseñanza de contenidos y procedimientos en un curso universitario de simulación de eventos discretos*, (págs. 1201- 1211). Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/55718>.