

Simulación en tiempo discreto de un proceso de abastecimiento de combustible como una herramienta de toma de decisiones: Caso estación de servicios en Barranquilla

Discrete time simulation of a fuel supply process as a making decision tool: Service station case in Barranquilla

Por Erick Eduardo Orozco Acosta*
eorozco15@unisimonbolivar.edu.co

INTRODUCCIÓN

En la actualidad mucho se habla de la palabra simulación pero muy pocas veces se puntualiza en sus verdaderos alcances. Según Kelton, Sadowski, & Sturrock (2004), la simulación puede ser aplicada a lo largo de muchos campos, industria y aplicaciones. Por eso, en estos días es más popular y poderosa que desde que las computadoras y el software son mejores. Aunque de forma general, el término simulación tiene varios significados dependiendo de su aplicación, en negocios normalmente se refiere al uso de una computadora para llevar a cabo experimentos en un modelo de un sistema real (Chase, Jacobs & Aquilano, 2009). Asimismo, "La aplicación de la simulación para buscar la esencia de un sistema implica, por lo general, el manejo de un volumen considerable de datos y la ejecución de un alto número de repeticiones del proceso, ya que se pretende lograr una adecuada historia artificial que permita tomar una decisión con alto grado de confiabilidad; solo es factible que este manejo se haga en el computador con la ayuda de un software especializado; de este tipo existen en el mercado una alta gama" (Ariza, Rojas, Arboleda & Herrera, 2003), pero en este trabajo se usará el Arena Software.

A partir de lo anterior, se puede deducir que como la simulación busca la creación de un modelo virtual de una situación real con mínima incertidumbre, se puede constituir en una gran herramienta para el proceso de toma de decisiones. Según Greasley (2003) "la simulación se utiliza para ayudar a la toma de decisiones al proporcionar una herramienta que permite que el comportamiento actual de un sistema pueda ser analizado y comprendido. También puede ayudar a predecir el rendimiento de ese sistema en una serie de escenarios determinados por el tomador de decisiones". Aunque, "el resultado de la simulación se ha convertido en un método sistemático para las organizaciones para examinar los procesos como parte de una estrategia de gestión del riesgo o la incertidumbre" (Helquist, Deokar, Cox & Walker, 2012). Es decir, ya está dentro de la planeación estratégica que son los cimientos de una compañía.

Por otro lado, según Zaccaria (1995), para hacer la escogencia de la herramienta de simulación, se debe hacer un análisis detallado de algunas variables como costo eficiente, flexibilidad y versatilidad. Pero, "los mo-

delos de simulación animada son una herramienta de gran valor para banco y otras industrias de servicios. La visualización de los modelos animados monitoreando las características de servicio proporciona administrativamente una gran información. En adición a lo anterior, el desarrollo del uso en tiempo real ha hecho resultados más razonables, haciendo que cada vez más organizaciones usen estos modelos día a día como una herramienta de administración" (Verma, Gibbs & Gilgan, 2000). Es muy común encontrar simulaciones en hojas de cálculo bajo el procedimiento usado por una computadora para obtener números aleatorios. Estas, contienen algoritmos que producen secuencias de números (tienen como particularidad ser enteros o uniformes) que siguen una distribución de probabilidad específica y tienen la apariencia de aleatoriedad (Hillier & Lieberman, 2010). Cabe resaltar, que la base de la simulación es la probabilidad e inferencia estadística, que es clave en el uso correcto de esta herramienta y que según Blanco (2012), se tienen los siguientes conceptos de Distribuciones de Probabilidad:

- Distribución de Poisson

Sea λ = "Número promedio de ocurrencia de eventos que ocurren en el intervalo $[0, t]$ ". Entonces la probabilidad de que ocurran k eventos en el intervalo $[0, t]$ está dada por:

$$P(X = k) = \frac{1}{k!} e^{-\lambda} \lambda^k, k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Ahora para las variables de tipo continuo,

- Distribución Exponencial

Para un parámetro $\lambda > 0$, la función de densidad es:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ para } x > 0$$

- Distribución Normal

Una variable aleatoria X , con parámetros $\mu \in \mathbb{R}$ y $\sigma^2 > 0$, tiene función de densidad:

$$\varphi(x; \mu, \sigma) = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ para todo } x \in \mathbb{R}$$

En el componente de inferencia, es pertinente retomar el concepto de Pruebas de Bondad y Ajuste, que Walpole, Myers & Myers (1998), de forma trivial realizan un

Resumen

Se presenta un análisis de un modelo de líneas de espera, específicamente en una estación de servicio que posee algunos problemas de tráfico y productividad, lo cual afecta negativamente el nivel de servicio y la sostenibilidad de la empresa. A partir de conceptos de la simulación y modelaje de procesos, soportados en la teoría de la probabilidad, estadística matemática y modelos de colas de espera, se obtuvo un modelo computacional de simulación que recrea la realidad que vive el sistema actual, generando estadísticas vitales para el proceso de toma de decisiones. La investigación tiene un enfoque descriptivo dentro de un estudio piloto de un proyecto de simulación de tráfico en una de las localidades de la ciudad de Barranquilla, Colombia y su interacción con el sistema de transporte masivo. El modelo permite diagnosticar el comportamiento estadístico de las estaciones de suministro apoyando la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la capacidad instalada.

Abstract

We present an analysis of a queue model, specifically in a service station that has some traffic problems and productivity, which negatively affects the fill rate and sustainability of the company. Based on concepts of simulation and modeling of processes, supported in probability theory, mathematical statistics and queuing models, we obtained a computer model simulation that recreates the reality of the current system, generating vital statistics the decision making process. The research is descriptive into a pilot study of a traffic simulation project in one of the towns of the city of Barranquilla, Colombia and its interaction with the massive transportation system. The model allows a diagnostic the statistical behavior of supply stations supporting strategic decisions related to capacity.

Palabras clave: Simulación, Capacidad, Colas, Productividad, Probabilidad, Toma de decisiones.

Key words: Simulation, Capacity, Queue, Productivity, Probability, Decision making process.

Recibido: Octubre 19 de 2011 • Aceptado: Mayo 8 de 2012

* Magíster en Estadística Aplicada (C), Universidad Simón Bolívar.

contraste de hipótesis de la distribución que toman los datos y la contraria a esta, con el siguiente estadístico de prueba:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde X^2 es un valor de la variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima muy cerca con una distribución ji-Cuadrada con $v - 1$ grados de libertad. Los símbolos o_i y e_i representan las frecuencias observada y esperada de la i -ésima celda. Los supuestos bajo los cuales se hace este contraste se exponen con más detalle en los trabajos de Mayorga & Muñoz (2010), Hogg & Craig (1995), Grimmett & Stirzaker (2001) y Mayorga (2004).

En adición a lo anterior, es posible establecer variables perturbadoras al experimento y analizarlas sin que dichos datos cumplan supuestos como la Normalidad, Igualdad de varianzas e Independencia. En este caso, Gómez (2008), usa la prueba de Kruskal-Wallis, que es la alternativa no paramétrica del método Anova, es decir, sirve para contrastar la hipótesis de que muestras cuantitativas han sido obtenidas de la misma población. La única exigencia versa sobre la aleatoriedad en la extracción de las muestras.

Por otro lado, es pertinente abordar los modelos de líneas de espera. Según Taha (2005), parte del tiempo de la vida cotidiana radica en esperar algún servicio. Se espera para entrar a un restaurante, se hace 'cola' en la caja de un almacén, y demás aplicaciones. Estas no son fáciles de erradicar por los altos costos desmesurados de recursos. Es decir, reducir el impacto desfavorable a niveles tolerables. Entonces, debido a lo ideal de los modelos de un solo servidor, a continuación se presentan algunos modelos de varios servidores.

- (M/M/c): (DG/ ∞/∞)

En este modelo hay c servidores en paralelo. La frecuencia de llegadas es λ y la rapidez de servicio es μ por servidor. Como no hay límite en la cantidad en el sistema, $\lambda_{ef} = \lambda$.

El efecto de usar c servidores en paralelo es un aumento en la tasa de servicio de la instalación proporcional a c .

Entonces ahora sí se pueden definir λ_n y μ_n , así:

$$\lambda_n = \lambda, \quad n \geq 0$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & n < c \\ c\mu, & n \geq c \end{cases}$$

- (M/M/c): (DG/N/ ∞), $c \leq N$

En este modelo existe un límite en el sistema N , que es finito. Esto quiere decir que el tamaño de la cola es $N - c$. Las tasa de llegadas y de servicio son λ y μ . La frecuencia efectiva de llegadas λ_{ef} es menor que λ , a causa del límite N del sistema. Entonces:

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda, & 0 \leq n \leq N \\ 0, & n \geq N \end{cases}$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & 0 \leq n \leq c \\ c\mu, & c \leq n \leq N \end{cases}$$

- Modelo de autoservicio. (M/M/ ∞): (DG/N/ ∞)

En este modelo, la cantidad de servidores es ilimitada, porque el cliente también es el servidor. Aquí, se supone una llegada continua, con las tasas de servicio λ y μ , respectivamente, queda:

$$\lambda_n = \lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\mu_n = n\mu, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

- Modelo de servicio a máquinas. (M/M/R): (DG/K/K), $R \leq K$

Se tienen K máquinas y cuando se avería una se llama a un mecánico para que venga a repararla. La frecuencia es λ descomposturas por máquina por unidad de tiempo. μ es la tasa de reparación de máquinas por unidad de tiempo. Ambas acciones, siguen una distribución de Poisson. Entonces se tiene:

$$\lambda_n = (K - n) \lambda, \quad 0 \leq n \leq K$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & 0 \leq n \leq R \\ R\mu, & R \leq n \leq K \end{cases}$$

- (M/G/1): (DG/ ∞/∞). Fórmula de Pollaczek-Khintchine ($P - K$)

Los modelos de colas en que las llegadas y las salidas no siguen una distribución de Poisson son complicados. Por esto se aconseja aplicar simulación. Pero, este modelo, presenta una de las pocas clases de colas que no son de Poisson para lo cual se tienen resultados. En-

tonces, sea λ la frecuencia de llegadas a la instalación con un servidor. Dadas $E\{t\}$ y $var\{t\}$ de la distribución del tiempo de servicio, y como $\lambda E\{t\} < 1$, se llega por Cadenas Markovianas a:

$$L_s = \lambda E\{t\} + \frac{\lambda^2(E\{t\}^2 - var\{t\})}{2(1 - \lambda E\{t\})}, \quad \lambda E\{t\} < 1$$

Es trivial, saber que la probabilidad de que la estación esté vacía es:

$$p_0 = 1 - \lambda E\{t\} = 1 - \rho$$

En concordancia con lo anterior, se escoge Arena Software para este trabajo, porque, según Ariza, Rojas, Arboleda & Herrera (2003), "Es una poderosa herramienta de simulación, comprende en un entorno amigable para personas que no poseen conocimientos de programación (usa Lenguaje SIMAN), las utilidades son de fácil uso, cuenta con una excelente capacidad gráfica, es muy versátil y es compatible con Microsoft Office". Aunque, la gran incertidumbre es la poca claridad de las metodologías para hacer modelos de simulación en un nivel exploratorio, aspecto en que este trabajo es propositivo.

En términos generales, este trabajo apunta al diseño de un modelo de simulación como una herramienta de toma de decisiones enfocada a la mejora del tiempo de atención al cliente en una estación de servicio de gas y gasolina. Para esto, es necesario determinar las condiciones actuales del servicio de aprovisionamiento de combustible para modelar y analizar el sistema, que a su vez dan respuesta a preguntas como: ¿Qué análisis computacional proveerá a la administración del lugar un panorama claro de lo que verdaderamente está ocurriendo en función de costos, trabajo en proceso y tiempos improductivos, que oriente a un óptimo proceso de toma de decisiones? Todo esto ante problemáticas como: largas colas de los automóviles esperando servicios, operadores de servicio con muchas asignaciones de máquinas, llegadas muy frecuentes de los móviles, maquinaria ineficiente para que el servicio sea rápido, entre otras, que se presentan en el lugar.

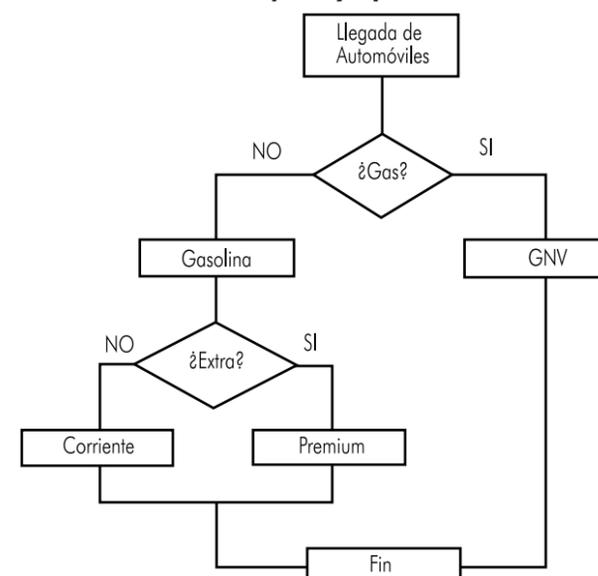
Y, como respuesta a los propósitos anteriores, en los materiales y métodos se presenta la descripción del sis-

tema, el comportamiento de las llegadas y del servicio y la construcción del modelo. Después, en los resultados, se presentan las estadísticas recopiladas en cada proceso del modelo. Se termina con las conclusiones de los resultados del modelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso estudiado es una estación de servicio de aprovisionamiento de combustible. Se presenta el caso del gas natural vehicular y de la gasolina en sus tipos premium y corriente. Un esquema general de la prestación del servicio se muestra en la Figura 1, donde se observa una llegada de entidades al sistema representadas por vehículos, seguidamente una decisión acerca del tipo de combustible. Si es gas, se procede al servicio y si es gasolina se toma otra decisión correspondiente a la clase de gasolina. Después, se presenta la finalización del servicio.

Figura 1. Esquema general de prestación de servicio en la estación
Análisis Descriptivo y Ajuste de Datos



Los datos de las llegadas se registraron con un conteo de los carros que ingresan a la estación de servicio en intervalos de 1 minuto. De estos, se tomaron 40 observaciones. Y, en los tiempos de servicios se registraron como referencia 45 tiempos. Cabe resaltar, que la medida inició desde que el vehículo se estaciona hasta que el operador de la empresa de servicio cierra su dispositivo de seguridad. Con estas consideraciones, se

procede a mostrar en las secciones siguientes el análisis exploratorio de los datos para las llegadas y los tiempos de servicio usando las salidas del analizador de datos de entrada o *Input Analyzer*. Este "Es una poderosa herramienta que se encuentra en el ambiente ARENA que se puede utilizar para determinar qué distribución de probabilidad se ajusta a los datos de entrada; también para ajustar una distribución específica a los datos, con el fin de comparar funciones de distribución, buscando visualizar los efectos de cambios en los parámetros de una misma distribución. También puede generar números aleatorios que se pueden analizar a través de la función de ajuste del programa" (Ariza, Rojas, Arboleda & Herrera, 2003).

Tiempos de llegadas

Al introducir los datos en el analizador de datos de entrada se tiene:

Figura 2. Salidas de analizador de datos de entrada para los tiempos de llegadas al sistema

Distribution Summary	
Distribution:	Poisson
Expression:	POIS (2.13)
Square Error:	0,017164
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 2
Test statistic	= 2.99
Corresponding p-value	= 0.232
Data Summary	
Number of Data Points	= 40
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 6
Sample Mean	= 2.13
Sample Std Dev	= 1.3

La Figura 2 es una salida que está dividida en tres partes:

- En *Distribution Summary*, es el resumen de la distribución probada en los datos tomados. Es decir, que muestra que asumiendo que los datos provienen de una distribución de Poisson con un error del 1,7 %.
- Seguidamente, está *Chi Square Test*, que es la Prueba de Bondad y ajuste Chi-Cuadrado, que según Llinás (2010) hace el siguiente contraste de hipótesis:

$H_0 = \text{Los Datos Proviene de una Distribución de Poisson}$

v.s.

$H_1 = \text{Los Datos no Proviene de una Distribución de Poisson}$

Entonces H_0 se rechaza si el *Test Statistic* o estadístico de prueba es mayor al valor crítico. Así:

$$X^2 > X_{\alpha, conv}^2 = n - 2 \text{ grados de libertad}$$

Por lo anterior, $X^2 = 2,99$ y $X_{0,05}^2 = 5,991$ (Con $v = 4^1 - 2 = 2$). También,

$$P - \text{Valor} = P(X^2 > 2,99) = 0,232$$

Como $P - \text{Valor} > \alpha$, no se puede rechazar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución de Poisson.

- Y, el *Data Summary*, según Llinás y Rojas (2012), es análisis descriptivo básico de los datos. Son los valores la media, desviación estándar muestral, valor menor, valor máximo y el número total de datos.

Tiempo de servicio

Al introducir los datos en el analizador de datos de entrada se tiene:

Figura 3. Salidas de analizador de datos de entrada para los tiempos de servicio

Distribution Summary	
Distribution:	Exponential
Expression:	EXPO (2.92)
Square Error:	0.015168
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 0.915
Corresponding p-value	= 0.368
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0761
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 35
Min Data Value	= 0.1
Max Data Value	= 8.44
Sample Mean	= 2.92
Sample Std Dev	= 2.47

1. Son 4 intervalos porque de las 6 marcas de clase, 3 de ellas eran menores que 5, por lo tanto, se agregaron y se convirtieron en un solo intervalo.

La Figura 3 es una salida que está dividida en tres partes:

- En *Distribution Summary*, es el resumen de la distribución probada en los datos tomados. Es decir, que muestra que asumiendo que los datos provienen de una distribución exponencial con un error del 1,5 %.
- Seguidamente, está *Chi Square Test*, que es la Prueba de Bondad y ajuste Chi-Cuadrado, cuya utilidad se abordó en la sección anterior, se hace el siguiente contraste de hipótesis:

$H_0 = \text{Los Datos Proviene de una Distribución de Poisson}$

v.s.

$H_1 = \text{Los Datos no Proviene de una Distribución de Poisson}$

Entonces H_0 se rechaza si el *Test Statistic* o estadístico de prueba es mayor al valor crítico. Así:

$$X^2 > X_{\alpha, conv}^2 = n - 2 \text{ grados de libertad}$$

Por lo anterior, $X^2 = 0,915$ y $X_{0,05}^2 = 3,8414$ (Con $v = 3 - 2 = 1$). También,

$$P - \text{Valor} = P(X^2 > 0,915) = 0,368$$

Como $P - \text{Valor} > \alpha$, no se puede rechazar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución exponencial. De igual forma, la prueba de Kolmogorov-Smirnov es un test de bondad y ajuste como el anterior y en este caso particular, genera las mismas conclusiones.

- Y, el *Data Summary*, es el análisis descriptivo básico de los datos. Son los valores la media, desviación estándar muestra, valor menor, valor máximo y el número total de datos.

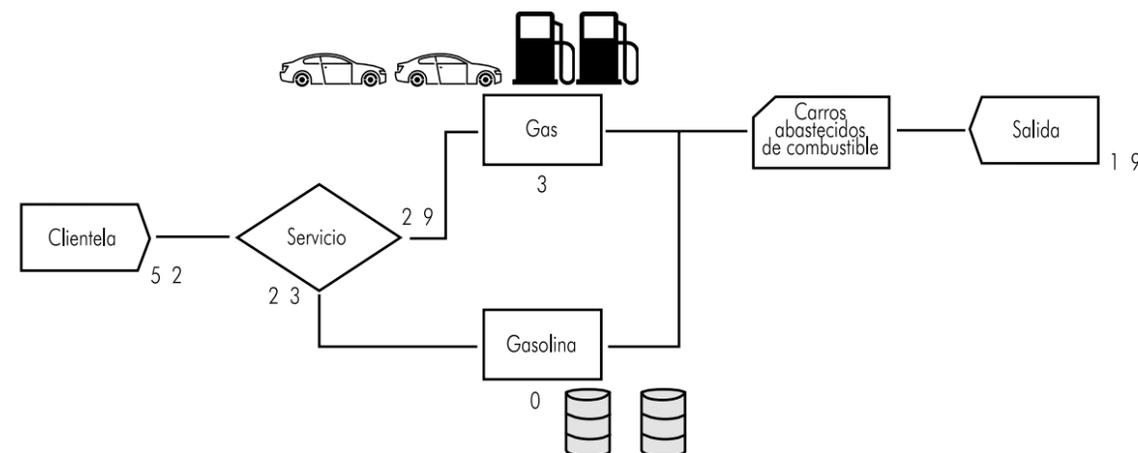
Modelo de simulación

El modelo de simulación, se construye bajo las siguientes condiciones iniciales:

- Las réplicas del modelo son de 8 horas (480 minutos) debido a que la versión académica de la herramienta informática solamente proporciona 250 entidades.
- El modelo de línea de espera simulado sigue los parámetros de las distribuciones de probabilidad para llegadas y servicios que se exponen en las Figuras 2 y 3. Por lo tanto, el modelo de simulación es M/M/2: (DG/ ∞ / ∞).
- Los tiempos de servicio y de llegadas están con base en minutos, pero las estadísticas están en horas.
- La experiencia de la administración de la estación de servicio, en un estudio preliminar, llegó a la conclusión de que el 65 % de los vehículos llegan para solicitar el aprovisionamiento de GNV y el resto de gasolina. Y en esta última, la preferencia es por la gasolina corriente.
- La ramificación entre el servicio de gasolina corriente y premium, no se contempló en este estudio, debido a que no genera traumatismos en la prestación del servicio.

A continuación, el modelo de simulación:

Figura 4. Modelo de simulación en modo ejecución



RESULTADOS

Se enmarcan por las partes del modelo como se observa en las secciones siguientes:

Análisis por vehículos

Este análisis se caracteriza por tener como referencia la entidad en el modelo de simulación. La entidad física es el elemento que fluye por el modelo que para este caso es el vehículo. A continuación, se muestra la primera salida de Arena:

La Tabla 1 muestra el tiempo promedio sin valor agregado para los vehículos que es de 0,035 horas, que equivale a 2,1 minutos por vehículos. Seguidamente, el tiempo de espera por vehículos que es de 0,033, que es igual a 1,98 minutos. Lo anterior, para un tiempo total de 4 minutos, combinando el tiempo de espera y el considerado sin valor agregado. También, se encuentra el Work In Process (WIP), que es el número promedio de entidades en proceso que para este caso es de 2,05 vehículos, es decir 3 vehículos. A modo más general, al sistema entraron 244 vehículos y salieron 243, en una réplica de 480 minutos (Ver Tabla 2).

Tabla 1. Tiempos sin valor agregado (NVA Time), Tiempos de espera (Wait Time), Tiempos ociosos total (Total Time) y Trabajo en Proceso (WIP)

		Average	HalfWidth	Minimum Value	Maximum Value
NVA Time	Vehicles	0,03451978	(Insufficient)	0,00006617	0,2336
Wait Time	Vehicles	0,03313367	(Insufficient)	0,00	0,1906
Total Time	Vehicles	0,06765345	(Insufficient)	0,00058420	0,2515
WIP	Vehicles (Number)	2,0550	(Correlated)	0,00	7,0000

Tabla 2. Vehículos que entran y salen del sistema

		Value
Number In	Vehicles	244,00
Number Out	Vehicles	243,00

Tabla 3. Tiempos sin valor agregado (NVA Time), Tiempos de espera (Wait Time) y Tiempos ociosos total (Total Time)

		Average	HalfWidth	Minimum Value	Maximum Value
NVA Time Per Entity	Gas	0,03472199	(Insufficient)	0,00006617	0,2336
	Gasolina	0,03412998	(Insufficient)	0,00058420	0,1768
Wait Time Per Entity	Gas	0,04539719	(Insufficient)	0,00	0,1906
	Gasolina	0,00949315	(Insufficient)	0,00	0,1002
Total Time Per Entity	Gas	0,08011918	(Insufficient)	0,00156229	0,2515
	Gasolina	0,04362313	(Insufficient)	0,00058420	0,1768

Análisis por procesos

Este análisis se enfoca en los dos procesos que maneja el modelo de simulación. Estos, son el de abastecimiento de GNV y el de gasolina.

En la Tabla 3, el tiempo sin valor agregado para el proceso de GNV es de 0,035 y el de gasolina es 0,034, que equivalente en minutos es de 2,1 y 2,0, respectivamente. También, se encuentra el tiempo de espera que es 0,045 y 0,009 horas que son equivalentes a 2,7 y 0,6 minutos. Los que se resumen en 3,3 minutos de tiempo improductivo en promedio.

Seguido a lo anterior, teniendo en cuenta el número de vehículos que atendió cada proceso y a su vez multiplicando por el tiempo respectivo se obtiene el tiempo acumulado sin valor agregado y de espera, que está en la Tabla 4 y de forma comparativa en la Figura 5.

Y, de forma global, en la Tabla 5, se tienen los vehículos que entraron y salieron de cada proceso y su respectiva gráfica comparativa (Ver Figura 6). Cabe resaltar que es una réplica del modelo en 480 minutos.

Tabla 4. Tiempo improductivo y de espera acumulado

		Value
Accum NVA Time	Gas	5,5555
	Gasolina	2,8328
Accum Wait Time	Gas	7,2636
	Gasolina	0,7879

Figura 5. Gráfico comparativo entre el Tiempo sin valor agregado y de espera para cada proceso

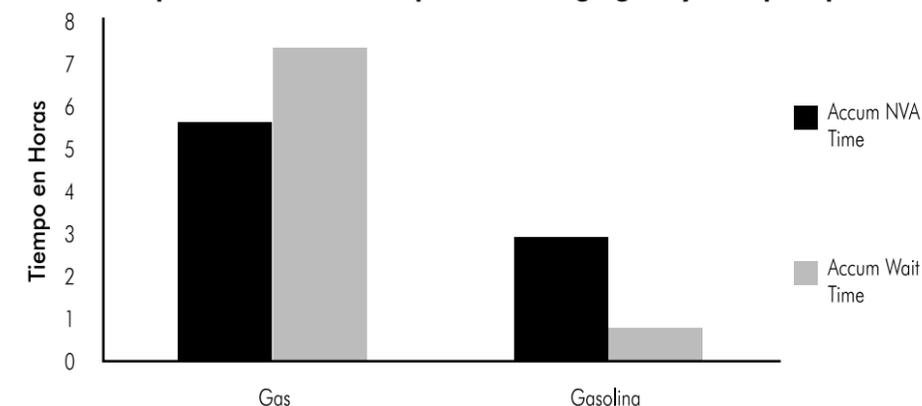
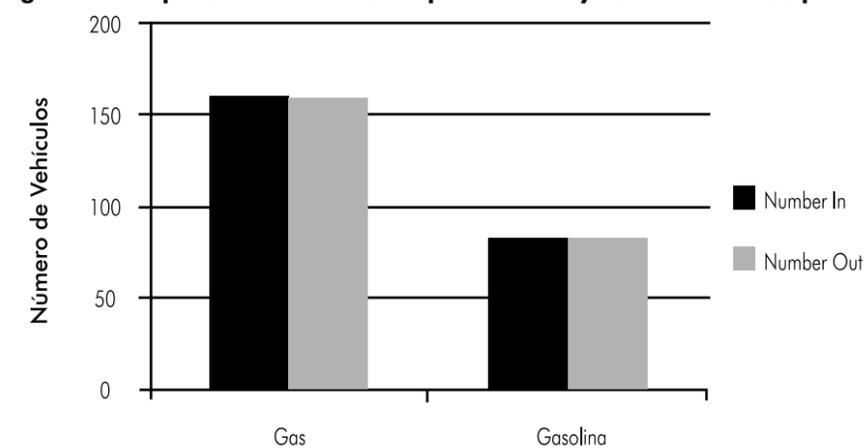


Tabla 5. Vehículos que entraron y salieron en cada proceso

		Value
Number In	Gas	161,00
	Gasolina	83,0000
Number Out	Gas	160,00
	Gasolina	83,0000

Figura 6. Comparativo de vehículos que entraron y salieron en cada proceso





Análisis por línea de espera

Este análisis, es uno de los más neurálgicos porque impacta directamente con el nivel de servicio en un sistema de líneas de espera. Por ejemplo, para el proceso de GNV, el tiempo de espera en la cola de carros tiene un promedio de 0,0451 horas que es equivalente a 2,70 minutos. Aunque, fácilmente se puede demorar 11,43 minutos que es la equivalencia en minutos de 0,1906 horas, que es el valor máximo. En comparación con el proceso de gasolina, el tiempo de espera es de 0,00949 horas (0,5 minutos). Cabe resaltar, que en el más extremo de los casos, se puede exceder hasta los 6 minutos (0,1002 horas, valor máximo) (Ver Tabla 6).

Análisis por recursos

Esto, es un análisis de la utilización de los recursos usados en cada proceso, como se muestra en la Tabla 7.

CONCLUSIONES

- Inicialmente es evidente que existen problemas de

tránsito que se presenta en el servicio de gas, por ende es importante examinar alternativas de disminución del tiempo promedio de espera de los vehículos. Esto, se puede mostrar en la disciplina y las métricas de rendimiento evaluadas del modelo de líneas de espera presentado.

- En el modelo de simulación, en la réplica estudiada, se observa que el porcentaje de entidades que entra a cada proceso es de 66 % para GNV y de 34 % para gasolina, manteniéndose una tendencia bastante equilibrada ante la hipótesis inicial que se manejó que era de 65 y 35 %, respectivamente.
- En el uso de los recursos, existe un aspecto relevante en el proceso, debido a que el porcentaje de uso de las bombas de gasolina es del 34 %, es decir, por cada 8 horas de trabajo, ellas solamente están generando dinero en 2,72 horas. Aquí, es necesario, examinar qué tanto impacta este producto en las utilidades de la compañía y ver una política de aumento de la fuerza de ventas con el fin de ganar productividad.

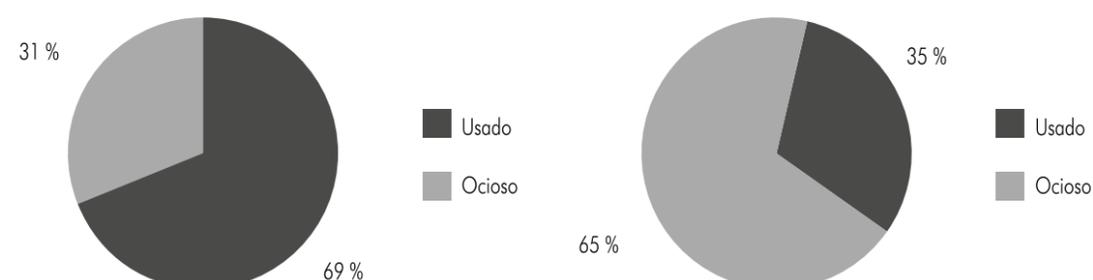
Tabla 6. Análisis de las esperas de arena

		Average	HalfWidth	Minimum Value	Maximum Value
Waiting Time	Gas. Queue	0,04511522	(Insufficient)	0,00	0,1906
	Gasolina. Queue	0,00949315	(Insufficient)	0,00	0,1002
Number Waiting	Gas. Queue	0,9079	(Insufficient)	0,00	6,0000
	Gasolina. Queue	0,0985	(Insufficient)	0,00	3,0000

Tabla 7. Utilización de los recursos

Utilization	Average	HalfWidth	Minimum Value	Maximum Value
Bomba A (Gas)	0,6944	(Insufficient)	0,00	1,0000
Bomba B (Gas)	0,6944	(Insufficient)	0,00	1,0000
Pump A (Gasolina)	0,3541	(Insufficient)	0,00	1,0000
Pump B (Gasolina)	0,3541	(Insufficient)	0,00	1,0000

Figura 7. Comparativos en los usos de los recursos por procesos. Izquierda GNV y derecha gasolina



- El problema de las colas puede tener causa asignable debido a la baja presión de suministro que manejan las bombas de gas pero antes de recomendar alguna inversión, es necesario, hacer un estudio de tiempos y movimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, F., Rojas, W., Arboleda, P. & Herrera, M. (2003). *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Bogotá: Ediciones Uninorte.
- Blanco, L. (2012). *Probabilidad* (segunda edición). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Chase, R., Jacobs, F. & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministro* (Duodécima edición). (E. Zúñiga, Ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Gómez, F. (2008). Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: Herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente. *Revista Universidad EAFIT*, 44(150), 51-63.
- Greasley, A. (2003). Using business-process simulation within a business-process reengineering approach. *Business Process Management Journal*, XI(4), 408-420.
- Grimmett, G. & Stirzaker, D. (2001). *Probability and Random Processes*. London: Oxford University Press.
- Helquist, J., Deokar, A., Cox, J. & Walker, A. (2012). Analyzing process uncertainty through virtual process simulation. *Business Process Management Journal*, XVII(1), 4-19.

- Hillier, F. & Lieberman, G. (2010). *Introduction to Operations Research*. Columbus: McGraw-Hill Higher Education.
- Hogg, R. & Craig, A. (1995). *Introduction to Mathematical Statistics*. China: Higher Education Press.
- Kelton, W., Sadowski, R. & Sturrock, D. (2004). *Simulation with Arena* (tercera edición). Boston: McGraw-Hill.
- Llinás, H. (2010). *Estadística Inferencial*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Llinás, H. & Rojas, C. (2012). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Barranquilla: Editorial Universidad del Norte.
- Mayorga, J. (2004). *Inferencia estadística* (primera edición). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Mayorga, J. & Muñoz, L. (junio de 2010). Bondad de ajuste empleando la función generadora de momentos. *Revista Colombiana de Estadística*, XXXIII(1), 111-125.
- Taha, H. (2005). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Education.
- Verma, R., Gibbs, G. & Gilgan, R. (2000). Redesigning check-processing operations using animated computer simulation. *Business Process Management Journal*, VI(6), 54-64.
- Walpole, R., Myers, R. & Myers, S. (1998). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (sexta edición). México D.F., México: Pearson Educations.
- Zacchea, N. (1995). The use of computer modelling and simulation in the audit process. *Managerial Auditing Journal*, X(1), 25-30.