

Análisis de colas aplicado al servicio de descargue de camiones con coque en la empresa Puerto de Barranquilla[®] mediante la utilización del software ARENA[®]

Recibido: 15 Febrero 2014 – Revisado: 30 Abril 2014

Aceptado: 30 Mayo 2014 – Publicado: 30 Julio 2014

Carlos Acosta A.

Estudiante de Maestría de Ingeniería,
Universidad de la Costa, Carrera 55 #58-66,
Barranquilla, Colombia.
aacosta8108@gmail.com,

Gina Acosta Martínez

Estudiante de Maestría de Ingeniería,
Universidad de la Costa, Carrera 55 #58-66,
Barranquilla, Colombia.
bgina.acosta@gmail.com

Alfredo Gómez F

Estudiante de Maestría de Ingeniería,
Docente catedrático. Ingeniería Industrial,
Universidad de la Costa, Carrera 55 #58-66,
Barranquilla, Colombia.
algofo@gmail.com

H. A. Lambis-Miranda

Docente Investigador, Ingeniería de Procesos,
Grupo de Investigación CIPTec,
Fundación Universitaria Tecnológica
Comfenalco (FUTCO), Sede A, Barrio España,
Cra 44D No. 30A-91, Cartagena de Indias, Colombia.
hlambis@tecnocomfenalco.edu.co



Resumen: Este artículo describe la aplicación de la simulación de eventos discretos utilizando el software ARENA[®] para el análisis de colas en el servicio de descargue de coque (carbón siderúrgico) en Puerto de Barranquilla[®]. A partir de este análisis, la empresa puede tener una herramienta para tomar decisiones y así, mejorar su servicio, en este caso, reduciendo el tiempo de los camiones dentro de las instalaciones portuarias, que redundaría en una optimización de los costos asociados. El análisis de datos arroja que el cuello de botella de este proceso es el punto de entrada al puerto.

Palabras clave: ARENA[®]; discreta; matemática; puerto; simulación.

Abstract: This article describes the application of discrete event simulation using Arena[®] software for analyzing queues in truck download service with coal (siderurgic coal) in Puerto de Barranquilla[®]. From this analysis, the company may have a tool to make decisions and thus improve their service, in this case reducing the time of trucks within the port facility, which would result in an optimization of the associated costs. Data analysis reveals that the bottleneck in this process is the point of entry to the port facilities.

Key words: ARENA[®]; discrete; modeling; port; simulation; statistics.

1. INTRODUCCIÓN

La modelación de sistemas productivos depende en gran medida de parámetros aleatorios, como la demanda o tiempos de servicio, lo cual los convierte hoy día en un amplio campo de investigación (Urquía, 2013). En particular, la modelación asistida por computador es empleada en diversas áreas como la prestación de servicios. Tiene un gran auge en las empresas de transporte portuario, en especial, en las empresas que se encaminan a convertirse en plataforma logística del sector, donde apuntan a la estrategia de océano azul. Es decir, pretenden dejar a un lado la competencia mediante la innovación en sus servicios y en este caso en particular, ofrecer una excelente plataforma desde el cargue del producto en su punto de origen hasta el descargue del mismo en su punto de llegada. Todo lo anterior sin utilizar intermediarios, sino directamente con la compañía. Este planteamiento no es una tarea fácil, por lo que se debe comenzar paso a paso mejorando el servicio que actualmente ofrece (Rodríguez et al., 2013).

Por lo anterior, este artículo pretende por medio de la simulación de procesos (como la prestación del servicio de descargue y almacenamiento de coque (carbón siderúrgico) en las instalaciones portuarias a la espera del buque que lo transportará a su punto de destino), lograr encontrar los puntos débiles o cuellos de botella. Esto con el fin de realizar mejoras que se traduzcan en clientes satisfechos, ya que cuanto menos tiempo el camión permanezca dentro de las instalaciones, mayor tiempo tendrá el recurso disponible (camión) para realizar más movimiento de mercancía desde el punto de origen hacia las instalaciones portuarias.

2. ANTECEDENTES

Al momento de comenzar este estudio, Puerto de Barranquilla® facilitó el query (base de datos de movimientos) donde se registran los tiempos de

llegada, salida y las diferentes etapas de los camiones dentro de las instalaciones portuarias correspondientes a un mes del año 2014.

Se deja claro que la simulación del servicio prestado no se puede extrapolar hacia otros periodos, puesto que realmente el ingreso de los camiones no es un evento estocástico 100% puro (Montgomery, 1996). Este fenómeno está relacionado directamente con la demanda del mercado, los arribos de los buques y de las estrategias comerciales que tiene la empresa para conseguir nuevos clientes.

Todas estas variables son muy distintas en los diferentes meses del año. Y aunque hay una tendencia de meses con mayor movimiento de cargas, estos son muy diferentes entre sí, comparado con los distintos años, de acuerdo al histograma de movimiento de carga que lleva Puerto de Barranquilla®.

Otro punto es la simplificación para el caso académico, este modelo no tiene en cuenta variables como la capacidad de los patios (restricciones), cantidad de toneladas de producto y distribución de la carga a almacenar de acuerdo al cliente, ya que puede ser el mismo producto, pero el cliente no acepta que lo mezcle o se lo cambie con otro producto del cual desconoce su procedencia. Otra variable que no tiene en cuenta este modelo es la prioridad y los recursos disponibles en Puerto de Barranquilla®; en general, se colocan o nomás cuadrillas y equipos para ciertos clientes (naviera) que para otros.

A continuación, se explica cómo es el proceso paso a paso del servicio de descargue de los camiones con coque, desde el momento de arribo hasta el momento de salida de los camiones de las instalaciones portuarias: Todos los camiones que se dirigen al patio de almacenaje de carbón de Puerto de Barranquilla® deben llegar primero al parqueadero Covadonga, allí es donde obtiene el turno de ingreso al patio dependiendo del tipo de carga; cada una se dirige a sitios diferentes y de acuerdo a la prioridad

por arribo de buque, se asignan más recursos para descargar a un determinado producto.

Una vez se tenga disponibilidad de equipo para el descargue, los camiones se dirigen a la entrada, a Patio Carbón, donde el departamento de seguridad revisa la afiliación a EPS, ARL y pensión del conductor, antes de ingresar a los patios.

Una vez esté autorizado de ingresar, se dirige hacia la báscula camionera para un pesaje inicial y a continuación, al patio para iniciar el proceso de descargue. Después, el camión nuevamente se traslada hacia la báscula para el pesaje final y, por último, se dirige hacia la salida. Solo hay una báscula que atiende los camiones llenos y vacíos.



Figura 1. Ubicación del parqueadero Covadonga con respecto al patio de almacenamiento de coque de Puerto de Barranquilla®. Fuente: Google Maps.

Para el mes en cuestión del 2014, se asignaron más recursos para el descargue de producto coque con granulometría de 10x40mm (2 frentes de trabajo) y 40x100mm (3 frentes de trabajo). Para los otros productos coque con granulometría 5x15mm y 5x30mm, solo se contaron con un frente de trabajo para cada uno.

Con lo anterior, se necesita simular los tiempos en que los camiones permanecen en las instalaciones de Puerto de Barranquilla®, para ver dónde están los cuellos de botella o debilidades en la prestación de servicio.

3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología a emplear

Para este estudio se utilizó el software de simulación de eventos discretos llamado ARENA® Simulation Software de Rockwell Automation y una tabla de consulta de los tiempos de los camiones dentro de las instalaciones de Puerto de Barranquilla, suministrada por Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla S.A. (Kelton et. al, 2000).

3.2 Obtención de las Distribuciones de los Tiempos de Arribo de los Camiones y Tiempo de Servicio en cada punto

Para este caso, con ayuda de la tabla de consulta (query) y la herramienta del software ARENA® Input Analyzer, se obtuvo el comportamiento o la distribución de arribo de camiones y el tiempo de demora o espera en cada punto.

Inicialmente, se definió la distribución de llegada de los camiones hacia el parqueadero Covadonga. Como se puede observar en la

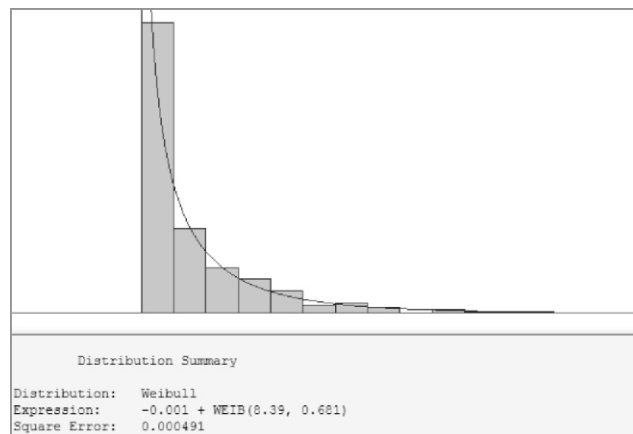


Figura 1. la distribución de llegada de los camiones no es uniforme y depende del día y la hora del mismo.

Como se observa en la Fig. 1, la densidad de arribo de los camiones es muy diferente entre los días, por lo que no se puede tener una distribución que se ajuste al 100% a los días de la semana. Pero, si notamos que

hay un comportamiento similar dependiendo de la hora.



Figura 1. Densidad de arribos de camiones cargados por hora, durante un día laborable (2014).

Tomando esta información como base, se aproximarán distribuciones estadísticas para modelar la llegada de camiones en diferentes intervalos de tiempo en el día (Solo se muestra una distribución, ver Apéndice 2).

Para este trabajo, se tomará únicamente la distribución de los días de lunes a viernes. No se tendrá en cuenta los sábados y domingos, ya que se centrará el trabajo en los días de mayor tráfico de carga.

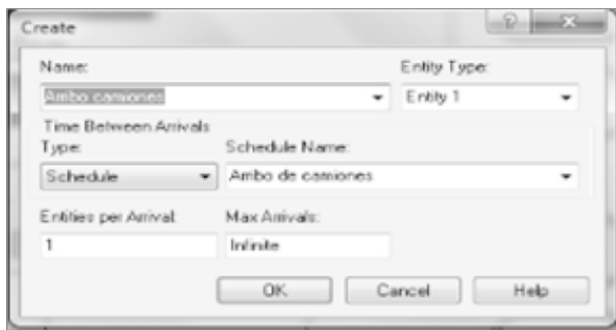


Figura2. Distribución de cantidad de arribos de camiones por hora de lunes a viernes desde 00:00 hasta las 6:00 (mostrada); desde 6:00 hasta las 16:00 y desde las 16:00 hasta las 00:00 (Apéndice B).

Figura 3. Schedule. Distribución de cantidad de arribos de camiones.

Para determinar el tipo de carga con la que los camiones llegan, se utilizó un condicional de acuerdo a la siguiente probabilidad (Fig. 4), este dato fue obtenido de la tabla de consulta entregado por Puerto de Barranquilla® para el mes en cuestión.

Tabla 1. Distribución de camiones por producto.

PRODUCTO	CAMIONES	%
COQUE 5X15 mm	251	13,5
COQUE 10X30 mm	289	15,5
COQUE 10X40 mm	414	22,2
COQUE 40X100 mm	912	48,9
TOTAL	1866	100,0

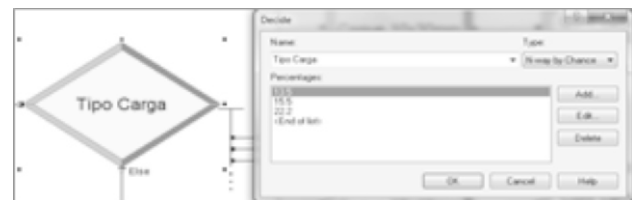


Figura 4. Tipo de carga que arriba a Puerto de Barraquilla® en un mes de 2014 y su equivalente lógico en el software.

De la distribución mostrada en la Fig. 5, se obtiene la información del tiempo en que tardan los camiones en recorrer desde el parqueadero de Covadonga hacia la entrada de la báscula de puerto de Barranquilla (Tiempo de llegada del camión a SPRG – Tiempo de salida del parqueadero de Covadonga).

Se omitieron datos donde el tiempo era mayor a una hora, puesto que el tiempo se incrementaba en

demasía (hasta más de 24 horas de diferencia), por lo que se asume que el conductor se lleva el camión hacia otro sitio y después volvía (posiblemente mantenimiento, descanso, etc.).

El tiempo de un camión desde el parqueadero de Covadonga hacia Puerto de Barranquilla es de aproximadamente dos minutos sin tráfico. Sin embargo, usualmente el tráfico está congestionado y los camiones demoran mucho tiempo debido a que ellos mismos se bloquean el camino. Adicional a esto, las vías no están en buen estado y estos camiones (carga coque) comparten la misma vía donde transitan los camiones que transportan granel limpio, contenedores, carga general y vehículos de transporte público y privado.

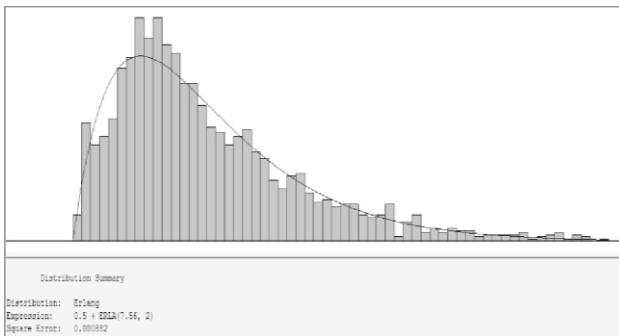


Figura 5. Distribución del tiempo en minutos de la demora del recorrido desde la salida del parqueadero Covadonga hacia el ingreso de las instalaciones de Puerto de Barranquilla.

Para la obtención del tiempo de pesado en la báscula se realizó una medición en campo, el tamaño del muestreo fue de 10 camiones. Se obtuvo la siguiente distribución (Fig. 6) con la ayuda de la herramienta Input Analyzer de Arena.

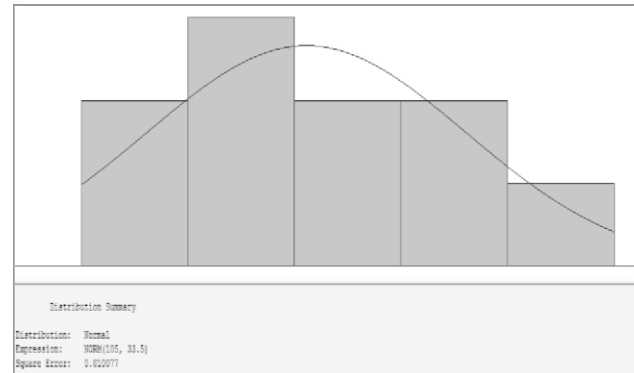


Figura 6. Distribución del tiempo en segundos del pesaje de los camiones en la báscula camionera.

El tiempo de descargue es el tiempo que el camión se demora desde la báscula hacia el punto de descargue y nuevamente hacia la báscula. Con ayuda de la herramienta de ARENA® Input Analyzer, se aproximan las distribuciones de ese tiempo en minutos. Posterior a la obtención de la distribución de los tiempos de descargue de los camiones, tiempo de pesaje, tiempo en movilizarse el camión de un sitio a otro; se procede a realizar el modelo para la simulación en el software ARENA®.

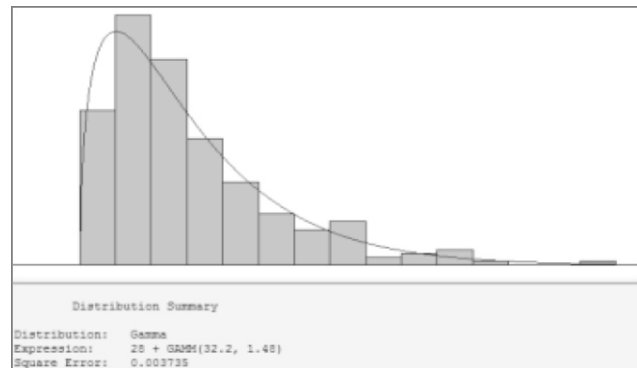


Figura 7. Distribución en minutos del tiempo de descargue del material coque 5X15mm.

3.3 Modelo del sistema de descargue de camiones con producto coque en el puerto de Barranquilla

Una vez que se tienen todos los datos y el flujo lógico de los procesos, se realiza el modelo en el software para simular el comportamiento del sistema modelado en comparación con el sistema real.

En este modelo se pueden ver dos etapas, (Fig. 8) áreas o fases bien definidas, que son la parte donde los camiones esperan en el parqueadero Covadonga la disponibilidad del equipo y personal que realizará el descargue y la parte del descargue dentro de las instalaciones de Puerto de Barranquilla®.

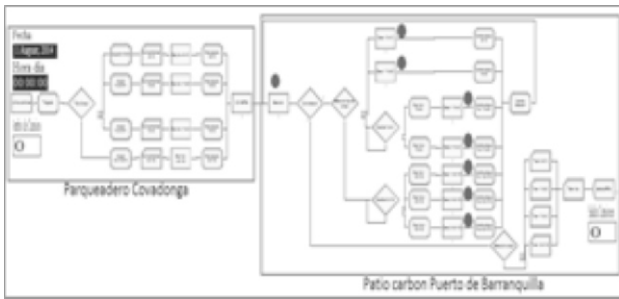


Figura 8. Modelo de secuencia lógica en el software ARENA®.

Para este modelo se utilizaron los siguientes módulos del software Arena:

- Modulo Créate: este se empleó para la creación de entidades, es decir, los camiones con producto a descargar.
- Módulo Dispose: este se utilizó para retirar las entidades creadas con el Módulo Créate de la simulación.
- Módulo Assign: Permite cumplir dos objetivos: asignarle atributos a las entidades y asignarle valores a las variables que se manejaron en esta simulación.
- Modulo Record: este se utilizó para dejar el registro de los atributos, como por ejemplo, el tiempo en que una entidad dura en el sistema al momento de la simulación.

- Módulo Decide: Permite tomar decisiones y en este caso en particular, se utilizó para definir el tipo de producto y los caminos que deben tomar las entidades en determinados puntos.
- Módulo Process: este se utiliza para asignar los recursos y para asignar el tiempo en que demora una determinada actividad antes de pasar al siguiente módulo.
- Y por último, se utilizó el Módulo Hold: este permite detener una entidad hasta que ocurra un nuevo evento. En este caso en particular, simula la estadía de los camiones en el parqueadero Covadonga esperando la disponibilidad de los equipos y personal para realización del descargue.

Un punto especial es la utilización del condicional para que el modelo conozca cuándo una entidad “camión” se dirija hacia el área de descargue o hacia la salida. Lo anterior se debe a que los camiones para el pesaje inicial y final se deben dirigir a la misma báscula camionera.

Para esto, se le asignó un atributo a todas las entidades que ingresan a la simulación con la siguiente condición: es igual a cero (0) para decirle al sistema que la entidad se debe dirigir al descargue del material coque y uno (1) cuando se debe dirigir hacia la salida.

4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos después de la simulación: de una sección.

Tabla 2. Esta muestra en minutos el tiempo de duración y el tiempo de espera en cola promedio de los módulos process del modelo.

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bascula	2.6439	0.020332337	1.0924	3.8164
COV SPRB	12.8865	0.313849291	0.8865	30.1478
Desc 1 10x30	70.0040	(Insufficient)	28.3899	235.23
Desc 1 10x40	106.52	(Insufficient)	45.5194	268.60
Desc 1 40x100	97.2149	6.69410	39.8350	781.99
Desc 1 5x15	80.0928	(Insufficient)	28.7105	251.61
Desc 2 10x40	106.54	(Insufficient)	44.4887	382.63
Desc 2 40x100	93.9138	5.17078	38.2548	527.11
Desc 3 40x100	100.09	6.29444	40.7495	472.31

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bascula	0.3999	0.048662067	0.00	8.1670
Desc 1 10x30	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Desc 1 10x40	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Desc 1 40x100	0.00	0.000000000	0.00	0.00
Desc 1 5x15	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Desc 2 10x40	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Desc 2 40x100	0.00	0.000000000	0.00	0.00
Desc 3 40x100	0.00	0.000000000	0.00	0.00

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Bascula	3.0438	0.056011934	1.0924	11.1504
COV SPRB	12.8865	0.313849291	0.8865	30.1478
Desc 1 10x30	70.0040	(Insufficient)	28.3899	235.23
Desc 1 10x40	106.52	(Insufficient)	45.5194	288.60
Desc 1 40x100	97.2149	6.89410	39.8350	761.99
Desc 1 5x15	80.0929	(Insufficient)	28.7105	251.61
Desc 2 10x40	106.54	(Insufficient)	44.4887	362.63
Desc 2 40x100	93.9138	5.17078	38.2548	527.11
Desc 3 40x100	100.09	6.29444	40.7495	472.31

Como se observa en la Tabla 2, el tiempo de espera promedio de los camiones en el parqueadero de Covadonga oscila entre 78 y 273 minutos. Este último corresponde a los camiones con producto coque de 40x100 mm. A pesar de tener 3 frentes, este no tiene la capacidad suficiente para ofrecer un servicio con un tiempo similar a los otros. Dicha demora se debe principalmente a la cantidad de camiones que llegaron con este producto en el mes de agosto y, además, debido al número de camiones en cola al mismo tiempo esperando el turno de la disponibilidad del equipo para realizar el descargue.

Finalmente, en la Tabla 4 se muestra los resultados definidos por el usuario. Para este caso en particular que se desea evaluar el servicio por medio del tiempo en que los camiones estuvieron dentro de las instalaciones de Puerto de Barranquilla®, se utilizaron módulos records para grabar el tiempo en que estuvo una entidad en el modelo al momento de la simulación.

Como se puede apreciar, se tiene un cuello de botella o debilidad en el servicio muy visible en los frentes de descargue para los camiones con producto coque de granulometría 40x100 mm.

Tabla 3. Muestra en minutos el tiempo de duración de las entidades en los módulos hold del modelo.

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Esp Cov 10x30.Queue	84.6170	(Insufficient)	0.00	459.82
Esp Cov 10x40.Queue	78.3287	24.01641	0.00	441.02
Esp Cov 40x100.Queue	273.69	(Correlated)	0.00	940.67
Esp Cov 5x15.Queue	90.9599	(Insufficient)	0.00	600.45

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Esp Cov 10x30.Queue	0.6150	0.203339860	0.00	5.0000
Esp Cov 10x40.Queue	0.8268	0.282265174	0.00	8.0000
Esp Cov 40x100.Queue	6.6268	(Correlated)	0.00	27.0000
Esp Cov 5x15.Queue	0.5474	(Insufficient)	0.00	7.0000

Tabla 4. Muestra en minutos el tiempo de duración de las entidades en el modelo al momento de la simulación.

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T serv 10x30	173.50	(Insufficient)	38.6435	544.63
T serv 10x40	203.53	25.62142	55.5695	603.04
T serv 40x100	390.54	(Correlated)	51.5518	1210.46
T serv 5x15	190.14	(Insufficient)	39.6195	665.76
T Servicio	291.39	(Correlated)	38.6435	1210.46

5. CONCLUSIONES

Después de realizar la simulación, se aprecia claramente (de acuerdo a las condiciones iniciales) dónde podría estar inconforme el cliente y el transportista con el servicio de descargue de producto coque dentro de las instalaciones de Puerto de Barranquilla®.

El punto crítico es el descargue del coque con granulometría 40x100mm, pero no en el proceso de descargue como tal, sino en el tiempo de espera de los camiones en el parqueadero Covadonga. Con este estudio, Puerto de Barranquilla® puede tomar acciones correctivas para disminuir el tiempo de espera, por ejemplo, abrir otro frente de trabajo, coordinar la llegada de los camiones con un sistema de asignación de citas.

Cabe resaltar que el modelo presentado en el presente estudio únicamente es válido con las condiciones iniciales aquí planteadas y para el caso de cualquier cambio, el modelo se debe ajustar a las nuevas condiciones de operación o en sus procesos.

El valor agregado a este estudio es que Puerto de Barranquilla® puede contar con una herramienta (software Arena) para poder simular sus procesos y representar adecuadamente una amplia gama de posibles escenarios antes de llevar a cabo cualquier cambio. De esta manera obtiene no solo medidas de desempeño, sino también una representación gráfica adecuada para el entendimiento del proceso por parte de los encargados de la operación portuaria y así, poder optimizarlos.

AGRADECIMIENTOS A Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla, por facilitar información a través de las tablas de consultas o llamados query para establecer los tiempos de servicios en sus diferentes etapas.

REFERENCIAS

- Banks, J. et al. (2000) Discrete-Event System Simulation. New Jersey, USA: Prentice Hall Series in Industrial and Systems Eng.
- Barceló, J. (1996) Simulación de Sistemas Discretos. Madrid: Ed. Idefe.
- Bueno, J., et al. (2013). Modelado y simulación por eventos discretos del ciclo de cosecha del maíz forrajero. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Ponencia llevada a cabo en Madrid, España los días del 23 al 29 de agosto de 2013.
- Calvo G., Juliana y Motta P., C. (2001). Simulación de un evento discreto aplicada a una empresa multinacional XYZ en el sector de alimentos (Tesis de pregrado). Departamento de Ing. Industrial. Univ. ICESI. Santiago de Cali, Colombia.
- Chemweno, P. et al. (2014). Discrete event simulation case study: Diagnostic path for stroke patients in a stroke unit. Simulation Modelling Practice and Theory, (48), 45–57.
- Fabregas, A., Wadnipar, R., Paternina, C. y Mancilla, A. (2003). Simulación de Sistemas Productivos con ARENA. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Flores de la Mota, I. (2013). Simulación y Optimización Aplicada a Problemas Industriales. Recuperado de: <http://www.ingenieria.unam.mx/sistemas/PDF/Aviss/Seminarios/ProblemasIndustriales.pdf>
- Guerrero Hernandez, M. A., Henriques Librantz, A. F., (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. Ingeniare. Rev. Chil. Ing. [Online], 22(2), 257-262.
- Gyimesi, M. (2008). Web Service with generic simulation models for discrete event simulation. Mathematics and Computers in Simulation. (79), 964-971.

Montgomery, Douglas C., Runger George C. (1996). Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. México: McGraw-Hill.

Orozco Acosta, E.E. (2012). Simulación en Tiempo Discreto de un Proceso de Abastecimiento de combustible Como una herramienta de toma de decisiones: Caso estación de servicios en Barranquilla. Dictamen Libre, 10-11, 14-23.

Pérez, J. F., Riano, G. (2007). Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos. Revista de Ingeniería, 25, 12-21.

Rodríguez, B. et al. (2013). Modelación de una situación empresarial para la enseñanza de simulación discreta. Innovation in research and engineering education: key factors for global competitiveness. Proceeding of World Engineering Education Forum, WEEF 2013 Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia, September 24 – 27, 2013.

Urquía M., A. (2013). Modelado y Simulación de Eventos Discretos. Madrid, España: Ed. UNED.

Kelton, W.D., Sadowski, R., y Sturrock, D. (2000). Simulation with ARENA. New York, EUA: McGraw-Hill Higher Education.

APÉNDICES

Apéndice A

Cantidad total de arribos de camiones por hora en un determinado día de la semana en todo el mes estudiado.

Apéndice B

Distribución de cantidad de arribos de camiones por hora de lunes a viernes desde 00:00 hasta las 6:00 hs (B1); desde 6:00 hasta las 16:00 hs (B2) y desde las 16:00 hasta las 00:00 hs (B3)

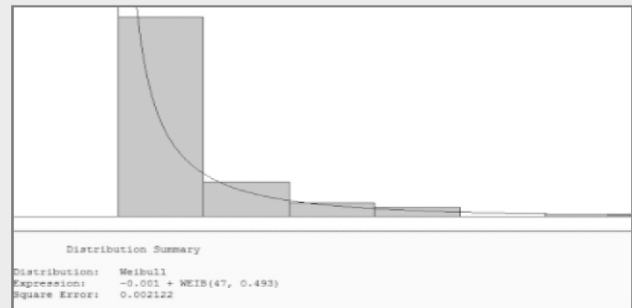


Figura B1.

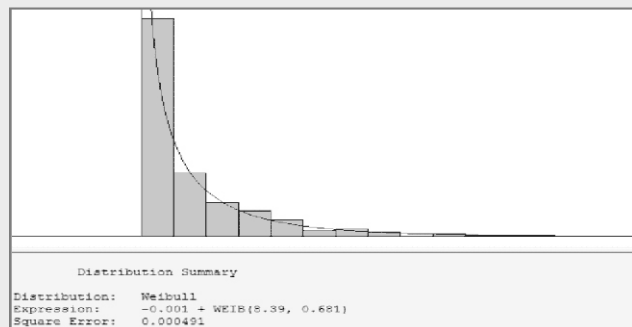


Figura B2.

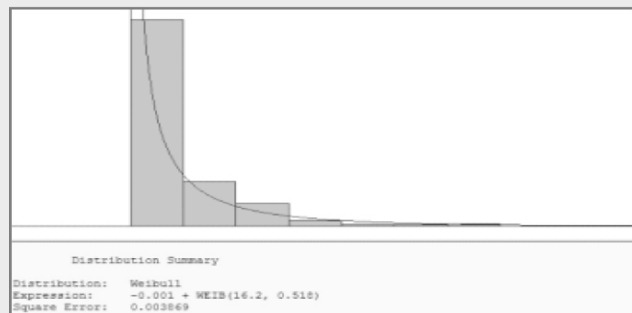


Figura B3.