

# Diseño de propuestas de mejora para la configuración de la puerta de acceso de camiones de la Terminal De Contenedores De Cartagena – Contecar S.A. mediante un estudio de simulación de eventos discretos



José David Orozco Castellar  
Josefina Ciodaro Orjuela

Contecar



**DISEÑO DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA CONFIGURACION DE LA  
PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES  
DE CARTAGENA – CONTECAR S.A. MEDIANTE UN ESTUDIO DE  
SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS**

**JOSE DAVID OROZCO CASTELLAR  
JOSEFINA CIODARO ORJUELA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA  
2012**

**DISEÑO DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA CONFIGURACION DE LA  
PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES  
DE CARTAGENA – CONTECAR S.A. MEDIANTE UN ESTUDIO DE  
SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS**

**JOSE DAVID OROZCO CASTELLAR  
JOSEFINA CIODARO ORJUELA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero  
Industrial**

**DIRECTOR:  
MAURICIO FRANCO MARTINEZ  
Ingeniero de Proyectos Contecar S.A.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA**

**2012**



TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A.  
NIT. 800.116.164-0

Cartagena de Indias, D.T. y C. 27 de Noviembre de 2012

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
Cartagena

Respetados Señores

Por medio de la presente informamos que los estudiantes: **José David Orozco Castellar** y **Josefina Ciodaro Orjuela**, en el marco de sus estudios de pregrado, les otorgamos nuestro apoyo para realizar su trabajo de grado titulado **“Diseño de propuestas de mejora para la configuración de la puerta de acceso de camiones de la Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A. mediante un estudio de simulación de eventos discretos.”**, para optar por el título de **Ingenieros Industriales**.

Atentamente,



**MARÍA CECILIA JAIME DE LA VALLE**

Coordinadora de Capacitación y Desarrollo

Cartagena de Indias D.T. y C., 29 de Noviembre de 2012.

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

**Apreciados señores,**

En mi calidad de director del trabajo de grado titulado “**Diseño de propuestas de mejora para la configuración de la puerta de acceso de camiones de la Terminal de Contenedores de Cartagena – CONTECAR S.A. mediante un estudio de simulación de eventos discretos**”, elaborado por José David Orozco Castellar y Josefina Ciodaro Orjuela, manifiesto que he participado en la orientación y desarrollo del trabajo de grado, en todas y cada una de sus etapas y por consiguiente estoy totalmente de acuerdo con los resultados obtenidos.

---

**Mauricio Franco Martínez**

Ingeniero de Proyectos

Contecar S.A.

Asesor

## AUTORIZACIÓN

Yo, JOSE DAVID OROZCO CASTELLAR, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“DISEÑO DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA CONFIGURACION DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA – CONTECAR S.A. MEDIANTE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”** producto de mi actividad académica para optar el título de INGENIERO INDUSTRIAL de la Universidad Tecnológica de Bolívar. La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

---

**JOSE DAVID OROZCO CASTELLAR**

C.C. 1'044.916.994 de Arjona – Bolívar

## AUTORIZACIÓN

Yo, JOSEFINA CIODARO ORJUELA, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“DISEÑO DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA CONFIGURACION DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA – CONTECAR S.A. MEDIANTE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”** producto de mi actividad académica para optar el título de INGENIERO INDUSTRIAL de la Universidad Tecnológica de Bolívar. La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

---

**JOSEFINA CIODARO ORJUELA**

C.C. 1'047.427.200 de Cartagena – Bolívar

Cartagena de Indias D.T. y C., 29 de Noviembre de 2012.

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Por medio de la presente, hacemos entrega formal del trabajo de grado titulado **“Diseño de propuestas de mejora para la configuración de la puerta de acceso de camiones de la Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A. mediante un estudio de simulación de eventos discretos”**, para someterlo a su evaluación y consideración. Por consiguiente sírvase de impartirle su aprobación.

Muchísimas gracias por su atención, y estaremos a la espera de su respuesta.

Atentamente,

---

**José David Orozco Castellar**

Código: T00017233

---

**Josefina Ciodaro Orjuela**

Código: T00018630



Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., 05 de Octubre de 2012

*A Dios por ser el impulsor, la guía y sobretodo la razón de todo lo que soy; Él es la inspiración fundamental para el alcance de todas mis metas.*

*A mis padres, José Alfredo Orozco y Elvia Castellar por todo el esfuerzo, dedicación y amor que han invertido en mí, y sobre todo por creer en lo que hago.*

*A mis hermanas Sharin Michelle y Cristen Valentina, por su apoyo y afecto, ellas son un fuerte motivo para mi crecimiento.*

*A Josefina por su apoyo, comprensión y esfuerzo durante todo este tiempo.*

*A mis amigos y familiares por ese la atención y gran apoyo a lo largo de mi vida.*

**José David Orozco Castellar**

*A Dios que me ha dado la oportunidad de llevar a cabo este trabajo, por estar presente en mi vida, ser el conductor de mis acciones, mis proyectos y la razón de mi existir.*

*A mis padres, Franciso Ciodaro y Regina Orjuela por todo el esfuerzo y amor con el que me han educado, por el apoyo y consejos, y por ser el motor de vida.*

*A mis hermanas, por el apoyo incondicional y por ser mis ejemplos en cada momento.*

*A José por ser mi amigo, por su constancia y apoyo durante todo este tiempo.*

*A mis amigos de la universidad por regalarme su apoyo y compañía durante esta etapa de mi vida.*

**Josefina Ciodaro Orjuela**

## **Agradecimientos**

Principalmente a nuestro Director de Tesis, Ingeniero Mauricio Franco Martínez, por su orientación y seguimiento en la realización de este trabajo, por transmitirnos parte de su conocimiento. Su tiempo fue y será valioso siempre para nuestro desarrollo profesional.

A las áreas de seguridad física y operaciones, y a todo el personal administrativo y operativo de la empresa Terminal de Contenedores de Cartagena Contecar S.A., por brindarnos la información, elementos y materiales necesarios para cumplir con los objetivos de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
OBJETIVOS.....	4
1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO .....	6
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	11
1.5 MARCO CONCEPTUAL.....	15
1.6 MARCO TEÓRICO.....	18
1.7 MARCO METODOLÓGICO .....	23
1.7.1 Tipo de investigación.....	24
1.7.2 Recolección y procesamiento de la información .....	24
2. GENERALIDADES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A.....	26
2.1 HISTORIA .....	27
2.2 DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO .....	30
2.2.1 Misión.....	30
2.2.2 Visión y Mega (Meta Grande y Ambiciosa) 2017 .....	31
2.2.3 Propuesta de Valor y Clientes objetivo.....	31
2.2.4 Política del Sistema de Gestión Integrado .....	32

2.2.5	Mapa de Procesos. Cadena de Valor y Caracterización de Procesos .....	32
2.3	PROPUESTA DE VALOR Y CLIENTES OBJETIVO .....	35
3.	MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A. ....	37
3.1	DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES EN CONTECAR S.A. ....	38
3.1.1	Procedimiento de asignación de cita para camiones .....	42
3.1.2	Modelo Conceptual de la puerta de acceso de camiones de Conotecar S.A. 43	
3.2	DATOS Y DISTRIBUCIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	44
3.3	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	65
3.3.1	Supuestos del modelo de simulación .....	69
3.3.2	Validación y calibración del modelo .....	71
4.	EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE CONTECAR S.A. ....	77
4.1	MODELO ACTUAL.....	77
4.1.1	Variación modelo actual a 2-2-2.....	81
4.2	PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA ACTUAL Y EL FUTURO	84
4.2.1	Modelo puerta de acceso 2-2-3 (2 Interchange, 2 Seguridad Física, 3 Básculas) .....	86
4.2.2	Modelo puerta de acceso futura 4-4-7.....	92
4.2.3	Modelo puerta de acceso futura 5-4-7.....	93
4.3	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO A PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES FUTURA EN CONTECAR S.A. ....	99
4.4	ANÁLISIS IMPACTO PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE CONTECAR S.A. ....	103

5. CONCLUSIONES.....	111
BIBLIOGRAFIA.....	113
ANEXOS.....	115

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de operación de un puerto .....	7
Figura 2. Foto del proceso de puerta actual en Contecar S.A. ....	8
Figura 3. Pasos para realizar una simulación .....	20
Figura 4. Tipos de Sistema .....	23
Figura 5. Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. - CONTECAR S.A. ....	26
Figura 6. Ubicación Geográfica del Puerto de Cartagena.....	27
Figura 7. Mapa de Procesos del Puerto de Cartagena (Contecar S.A.) .....	32
Figura 8. Mapa Estratégico del Grupo Puerto de Cartagena (Contecar S.A.) .....	34
Figura 9. Diagrama de Flujo del procedimiento del Interchange en Contecar S.A.	39
Figura 10. Diagrama de Flujo del procedimiento de Seguridad Física en Contecar S.A. ....	40
Figura 11. Diagrama de Flujo del procedimiento de Básculas o Radicación en Contecar S.A.....	41
Figura 12. Modelo conceptual de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A. ....	44
Figura 13. Resultado Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov para Distribución Gamma y Pearson VI en servidor de Seguridad Física.....	59
Figura 14. Resultado Prueba de Bondad de Ajuste Chi-cuadrado para Distribución Gamma y Pearson VI en servidor de Seguridad Física .....	60
Figura 15. Detalle notación en flexsim de la distribución exponencial para el proceso de arribo de camiones. ....	64
Figura 16. Vista del Modelo de Simulación en Flexsim.....	69
Figura 17. Resultados StatGraphics para la prueba de Hipótesis de diferencia de medias Realidad vs Simulación .....	76
Figura 18. Vista del modelo de simulación para configuración 2-2-2.....	81



Figura 19. Vista del modelo de simulación para propuesta de mejora - configuración 2-2-3 .....87

Figura 20. Vista del modelo de simulación para propuesta de mejora - configuración 5-4-7 .....94

Figura 21. Esquema Puerta de camiones futura - Plan Maestro de Contecar ..... 100

Figura 22. Muestra del Sistema de Inspección OCR ..... 104

Figura 23. Muestra del Sistema de Atención en Kiosko de básculas..... 105

Figura 24. Vista del modelo de simulación para propuesta de puerta de acceso de camiones automática de Contecar..... 106

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Proyección Volumen de Carga Contecar .....	15
Gráfica 2. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor interchange. ....	49
Gráfica 3. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Interchange .....	50
Gráfica 4. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Interchange .....	50
Gráfica 5. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor seguridad física. ....	51
Gráfica 6. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Seguridad Física .....	52
Gráfica 7. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Seguridad Física .....	52
Gráfica 8. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor báscula. ....	53
Gráfica 9. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Báscula .....	54
Gráfica 10. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Báscula.....	54
Gráfica 11. Distribuciones de probabilidad para servidor interchange. ....	56
Gráfica 12. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio interchange. ....	57
Gráfica 13. Distribuciones de probabilidad para servidor de seguridad física.....	58
Gráfica 14. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio seguridad física. ....	61
<b>Gráfica 15. Distribuciones de probabilidad para servidor de báscula. ....</b>	<b>62</b>
Gráfica 16. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio báscula. ....	63

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de la puerta de acceso actual de Contecar .....	45
Tabla 2. Tamaño de la muestra para la toma de tiempos en cada servidor del sistema. ....	47
Tabla 5. Distribuciones de Probabilidad utilizadas en el modelo de simulación ....	65
Tabla 6. Descripción de objetos de Flexsim utilizados en la construcción del modelo de simulación .....	67
Tabla 7. Equivalencias entre los elementos del sistema real y objetos de Flexsim .....	68
Tabla 8. Calculo del tamaño de la muestra para datos de la realidad .....	72
Tabla 9. Calculo tamaño de la muestra para determinar número de corridas del modelo de simulación .....	73
Tabla 10. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación.....	78
Tabla 11. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema. ....	79
Tabla 12. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física .....	80
Tabla 13. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema.....	80
Tabla 14. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 2-2-2 .....	83
Tabla 15. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 2-2-2 .....	83
Tabla 16. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 2-2-2.....	84
Tabla 17. Capacidades individuales para servidores y colas de la puerta de acceso de Contecar .....	86

Tabla 18. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 2-2-3 .....	88
Tabla 19. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 2-2-3 .....	89
Tabla 20. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 2-2-3.....	89
Tabla 21. Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A. ....	91
Tabla 22. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 4-4-7 .....	92
Tabla 23. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 5-4-7 .....	94
Tabla 24. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 5-4-7 .....	95
Tabla 25. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 5-4-7 .....	96
Tabla 26. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema para propuesta configuración 5-4-7 .....	96
Tabla 27. Total de camiones atendidos en el sistema con propuesta de configuración 5-4-7 .....	97
Tabla 28. Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A. ....	98
Tabla 29. Costo Anual Persona que trabaja en la puerta de acceso de Contecar .....	101
Tabla 30. Criterios de evaluación económica para propuestas de configuración futura de la puerta de acceso .....	102
Tabla 31. Resultados contenido promedio Cola Interchange para propuesta de puerta de acceso de camiones automática.....	107
Tabla 32. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema en propuesta de puerta de acceso de camiones automática .....	108

Tabla 33. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física para propuesta puerta de acceso de camiones automática.....108

Tabla 34. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema para propuesta puerta de acceso de camiones automática.....109

Tabla 35. Total de camiones atendidos en el sistema con propuesta puerta de acceso de camiones automática.....109

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Datos Premuestra y cálculo del tamaño de la muestra para recolección de datos .....	115
ANEXO B. Toma de tiempo para los servidores de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A. (Ver CD) .....	118
ANEXO C. Diagrama de Flujo del Sistema de la puerta de acceso de Contecar S.A. ....	119
ANEXO D. Calculo del número de réplicas para validación del modelo de simulación actual y modelos de propuestas de mejora. (Ver CD) .....	119
ANEXO E. Proyecciones de crecimiento de la demanda en Contecar S.A. ....	120
ANEXO F. Resultados simulación configuración puerta actual 2-3-2 (Ver CD) ...	121
ANEXO G. Resultados simulación configuración puerta 2-2-2 (Ver CD) .....	121
ANEXO H. Resultados simulación configuración puerta 2-2-3 (Ver CD) .....	121
ANEXO I. Resultados simulación configuración puerta futura 4-4-7 (Ver CD).....	121
ANEXO J. Resultados simulación configuración puerta futura 5-4-7 (Ver CD) ....	121
ANEXO K. Resultados simulación configuración puerta automática 1-4-4 (Ver CD) .....	121

## GLOSARIO

**ARIM:** Es el documento que exige el puerto, en la puerta de acceso de camiones, para autorizar el retiro e ingreso de carga a las instalaciones portuarias.

**Cita:** Son espacios de tiempo reservado por los transportadores en los cuales se permitirá el ingreso de los camiones para retirar e ingresar contenedores llenos o vacíos.

**Contenedor Domestico o de Exportación:** Es todo contenedor que ingresa al puerto lleno con mercancías de Exportación y que será embarcado en una Motonave sin importar su modalidad aduanera (EXPORTACION, DEX, MEMORIAL, DTA, etc.) que le fue autorizada para embarque.

**OTM:** Es el documento que exige el puerto en la puerta de acceso de camiones, para autorizar el retiro o ingreso de contenedores vacíos.



## INTRODUCCIÓN

Una terminal marítima de contenedores es un sistema complejo que comprende un conjunto de servicios demandados por los clientes. La evolución y dinámica de los procesos que lo componen contribuyen a la rapidez en la gestión de las operaciones, las cuales llevan de la mano el mejoramiento de los medios de transporte de mercancías en el país. Colombia presenta un desarrollo comercial y un crecimiento del comercio portuario, debido a esta razón el puerto de Contecar S.A. debe prepararse para esta demanda futura; frente a la situación actual económica del país y la apertura económica a través de tratados como el TLC con EEUU entre otros, cobra relevancia el estado actual de las operaciones portuarias y además precisar acciones para enfrentar los nuevos desafíos de competitividad, debido a que el crecimiento esperado incide directamente en el desarrollo de la infraestructura y los servicios logísticos actualmente instalados, por lo tanto los terminales marítimos deben propiciar la prestación de servicios portuarios eficientes con un alto nivel de calidad.

Para soportar el crecimiento de la demanda, basados en las proyecciones de carga en Contecar S.A., es necesario tener la habilidad y rendimiento del manejo con la movilización de las cargas. Así podrá cumplir con las proyecciones del modo más eficiente posible. El presente trabajo de grado hace referencia a diseños de mejoras para un proceso que es clave dentro del desarrollo de la terminal marítima, es el proceso de la puerta de acceso de camiones al puerto; es un subsistema de recepción de carga, que se encarga de atender al medio de transporte terrestre, su objetivo principal es facilitar la recepción de mercancías de una manera rápida, pero que vaya acorde con las condiciones de seguridad necesarias para la revisión y verificación de las partes documentales y físicas de la carga. Por esto se hace necesario definir el diseño del subsistema de la puerta de acceso camiones de Contecar S.A., para conseguir una solución total del proceso y lograr una terminal





integrada, buscando coordinar físicamente los procedimientos del sistema en general.

En el presente trabajo de grado se proporcionaran propuestas de mejoras para la solución de una problemática futura, presente en la terminal de contenedores de Cartagena - Contecar S.A. Por ello el estudio realizado para el desarrollo de este trabajo, abarca una recopilación de información sobre el funcionamiento y procesos presentes en el ingreso de un camión al puerto, este estudio se realizó basado en la proyección de movilización de carga de la terminal.

Se emplearon herramientas de simulación, donde se describieron detalladamente los procesos de la puerta de acceso de camiones. A través del Software de simulación Flexsim se realizaron las imitaciones de los procesos y sus interacciones, para que a partir de sus resultados se evalúen los comportamientos de cada servidor del subsistema y hacer el análisis de los resultados obtenidos.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar la configuración de la puerta de acceso de camiones de la **Terminal de Contenedores de Cartagena - Contecar S.A.**, identificando opciones de mejora en el proceso y determinando, mediante herramientas de simulación, el número de servidores y espacios de cola requeridos para manejar la demanda actual y soportar el crecimiento de la demanda futura.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Describir el proceso de operación del Subsistema de Recepción y Entrega de Carga presente y futuro de la Terminal de Contenedores Cartagena S.A. – Contecar S.A., con el fin de identificar cada uno de sus procesos y procedimientos.
- ✓ Recolectar y analizar datos históricos del proceso actual de Recepción y Entrega de Carga en Contecar S.A., que permitan caracterizar y determinar el comportamiento del sistema.
- ✓ Crear un Modelo de Simulación que permita analizar la operación de la puerta de acceso diseñada, para identificar el comportamiento de cada uno de sus procesos.



- ✓ Evaluar la configuración actual de la puerta de acceso del terminal, proponer mejoras en el proceso, y determinar el número mínimo de servidores que permitan atender la demanda de acuerdo a las expectativas de tiempos de espera, al mismo tiempo que se evite un desbordamiento de la cola hacia el corredor de carga.
- ✓ Estimar la configuración futura de la puerta de acceso para cuando la demanda alcance aproximadamente 600.000 camiones anuales, lo que representa casi cuatro veces la demanda actual.
- ✓ Evaluar el impacto de la propuesta de automatización de la puerta de acceso, para establecer su configuración bajo este esquema de trabajo.
- ✓ Analizar la propuesta de configuración futura de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A. y la mejora determinada en el presente estudio a través de un estudio costo – beneficio.



## 1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A. es un eslabón esencial para el comercio y desarrollo, tanto del país como de la región, se encuentra ubicada en la Zona Industrial de Mamonal, una de la más importante de Colombia, por lo cual constituye la puerta ideal para las compañías industriales que necesitan importar y exportar materias primas y productos terminados<sup>1</sup>.

Contecar es un puerto que funciona como un sistema de intercambio intermodal de carga, es decir, es un nodo de conexiones, en donde las cargas cambian de modo de transporte o son re-enrutadas a diferentes destinos. Todos los puertos poseen una capacidad determinada de almacenamiento que condiciona los ritmos de llegada de los medios de transporte tanto, terrestres como marítimos, por lo cual es importante proporcionar los medios y la organización necesarios para que el intercambio de la carga se produzca en las mejores condiciones.

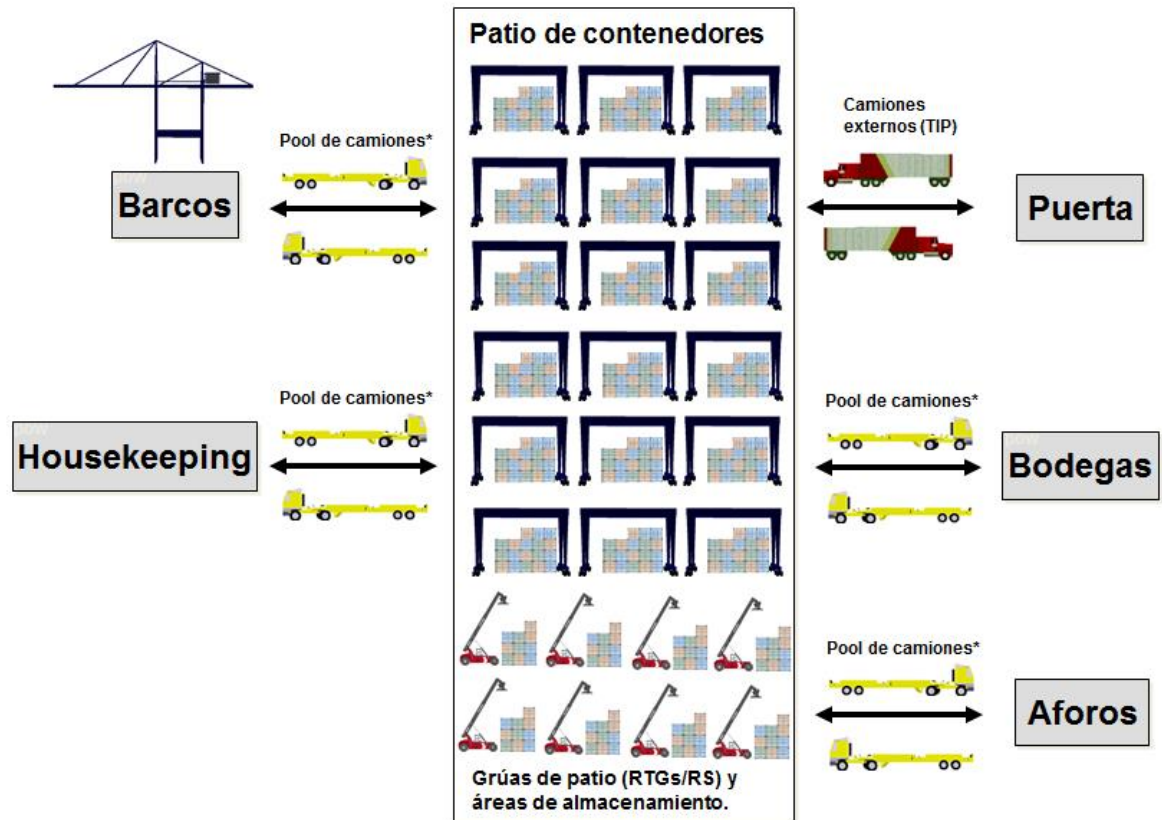
Básicamente en un puerto se manejan tanto importaciones como exportaciones de carga. Durante una importación, la carga arriba en un barco, es almacenada en pilas en los patios, para luego ser despachadas a camiones, los que la llevan a su destino final. Para el caso de las exportaciones, el proceso es similar, la carga arriba en camión, es almacenada en los patios del terminal, para luego ser despachada hacia el barco. Durante ambos procesos, los camiones deben ser inspeccionados y pesados en la puerta de acceso del terminal.

---

<sup>1</sup> TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A. – CONTECAR S.A. Porthandbook 2011 - 12. Cartagena de Indias. 2011.



Figura 1. Diagrama de operación de un puerto



Fuente: Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A.

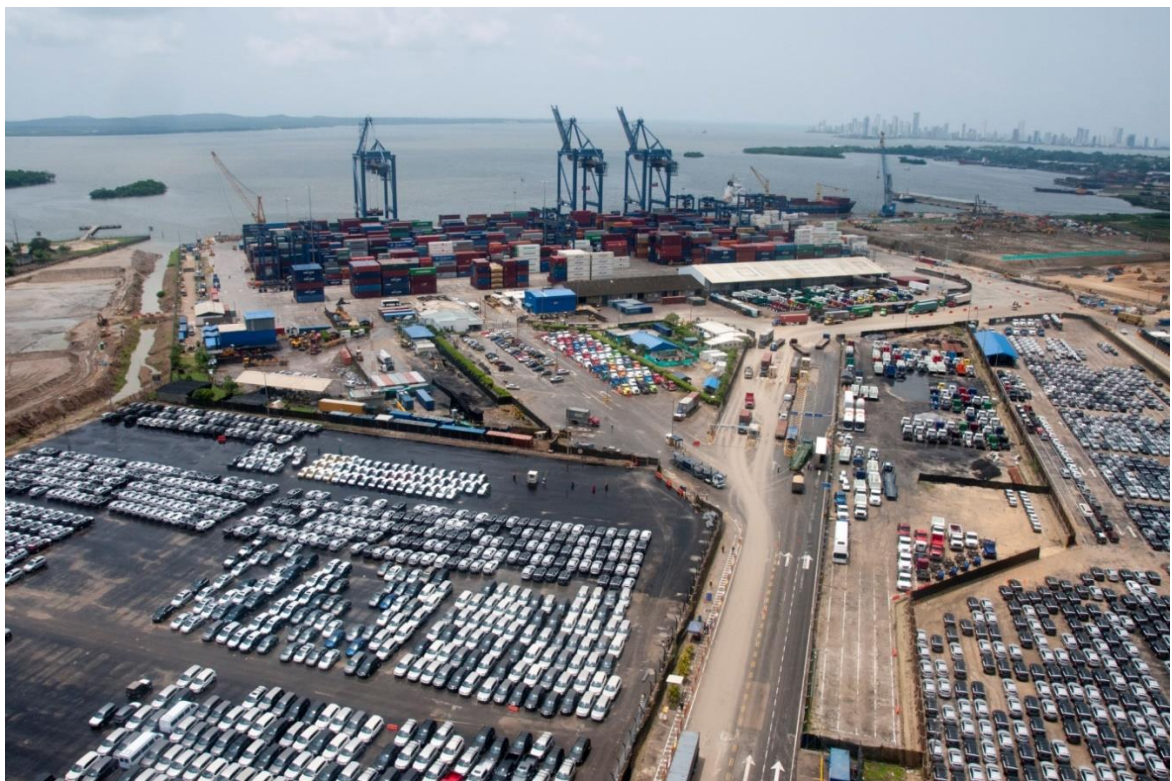
El proceso de recepción y despacho de camiones es un proceso fundamental dentro de la operación del terminal. Para la administración del puerto es importante que este proceso se realice de forma expedita de modo que el tiempo de espera de los camiones sea el menor posible. Así mismo, se debe controlar el tamaño de la cola de camiones para que esta no sobrepase los límites de las instalaciones del terminal.

Consecuente con lo anteriormente descrito, la Terminal de Contenedores de Cartagena - Contecar S.A., cuenta con una configuración de servidores, básculas y personal para llevar a cabo el proceso de recepción de camiones. Las directivas del



terminal desean evaluar si la configuración de la puerta de acceso existente puede ser mejorada y de qué forma podría ajustarse para soportar el crecimiento de la demanda, valorando propuestas y estableciendo soluciones integrales. A la vez, una propuesta de automatización de la puerta y su impacto en el proceso, según la proyección que tiene Contecar para el año 2020, cuando se espera que este terminal movilice 900.000 TEU's (*Twenty Foot Equivalent Unit*, unidad de medida de transporte marítimo en contenedores de 20 pies) domésticos anualmente, garantizando buena prestación del servicio en el futuro. Para las directivas del terminal también es importante que el número de servidores y el tamaño de la puerta de acceso sea el mínimo necesario con el fin de reducir el monto de la inversión en la futura puerta de acceso.

**Figura 2. Foto del proceso de puerta actual en Contecar S.A.**



Fuente: Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A.



Por otro lado, Cartagena, siendo una ciudad-puerto, cuenta con cuatro terminales públicas para el manejo de contenedores como son SPRC, Muelles El Bosque, Contecar y Puerto Mamonal. Todas estas terminales comparten con la zona industrial de la ciudad, la vía del corredor de carga, por lo cual se hace indispensable que la cola de camiones a la entrada de los puertos, y para este caso en especial Contecar, no alcance a afectar esta vía de tráfico pesado constante, aun durante horas pico.

## 1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto tiene un gran impacto en la operación de una terminal de contenedores, puesto que su eje temático gira en torno a la mejora de la prestación del servicio que estas facilitan y, a la toma de decisiones en cada subsistema. Por ello el tema a tratar es la simulación de eventos discretos, ya que se convierte en una excelente herramienta para la evaluación de diferentes políticas de operación, configuraciones físicas de la terminal y automatización de procesos, logrando comprender los procesos que esta encierra, para hacer sugerencias de mejora para el sistema, minimizando los costos y riesgos de implementar los cambios en el contexto real.

Para llevar a cabo el estudio se utilizarán diversos métodos, entre los cuales se encuentran la recopilación de información, análisis estadístico de las características de tiempo de arribo y atención de camiones en cada estación del subsistema, y conocimientos en el manejo del software *Flexsim* para el diseño, ejecución y validación del modelo, pues permitirán determinar si el diseño futuro del subsistema en estudio, está acorde con los pronósticos establecidos para la demanda del servicio en el año 2022.



Delimitando el problema de investigación en cuanto a espacio, tiempo y universo, quedaría definido de la siguiente manera:

- ✓ **De Espacio:** Este proyecto se llevará a cabo en la puerta de acceso de camiones de la empresa Contecar S.A. de la ciudad de Cartagena de Indias, teniendo en cuenta la configuración actual y futura de dicho proceso.
- ✓ **De Tiempo:** El tiempo en el cual se evaluará la problemática de investigación y se tomarán los datos corresponde a los datos recolectados en el último año de operación del subsistema y se proyectaran hasta el año 2022, según los cálculos que hace Contecar S.A.
- ✓ **De Universo:** La población objeto de estudio de esta investigación está conformada por el total elementos que componen la puerta de acceso de carga de la empresa Contecar S.A., que corresponde a las colas, servidores (zonas de inspección de seguridad, y basculas), y los clientes, que en este caso son los camiones que arriban al terminal.

### 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo establecer una mejor configuración para la puerta de acceso de camiones de la **Terminal de Contenedores de Cartagena - Contecar S.A.**, que minimizando el uso de recursos o servidores de las colas, fortalezca la eficiencia del proceso actual soportando el crecimiento de la demanda futura, sin afectar entes externos como el corredor de carga de la ciudad?





## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Un puerto es la principal puerta de entrada y salida para la economía de un país, pues le permite establecer los medios de intercambio de sus productos o bienes con el resto de las naciones, por ello resulta necesario saber si la Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. es competitiva y adecuada para dicho intercambio. Hoy en día esta inquietud se ha acentuado debido a la globalización de la economía y los acuerdos en el comercio entre los diferentes países, los cuales han generado mayor libertad y facilidad para la importación y exportación de mercancías. Todo esto hace cada vez más necesario crear herramientas encaminadas a mejorar la capacidad y el nivel de servicio de un puerto, puesto que son estos dos parámetros los que determinarán y permitirán conocer su grado de competitividad y permanencia dentro del comercio y mercado mundial portuario, cada vez más exigente.

Existen distintos factores que hacen que los puertos no se organicen de la misma manera y ejecuten los mismos procesos y operaciones utilizando los mismos métodos, procesos o procedimientos, pues esto está relacionado directamente con las características operacionales de cada terminal. Sin embargo, en todas las Terminales Portuarias predominan dos procesos comunes, uno es el marítimo, en donde se encuentran la infraestructura necesaria para atender los barcos que arriban al puerto, y el otro es el terrestre, que tiene en cuenta todos los medios y sistemas de transporte que facilitan la comunicación o interconexión con otras herramientas o equipos del terminal y sus usuarios. Es por esto que se denominará sistema a todos los elementos que forman la terminal, y este sistema estará dividido en cuatro subsistemas muy importantes que son los siguientes:

- I. **Conexión buque-muelle:** en este subsistema se realiza la carga y descarga (importación y exportación) de los buques que llegan a puerto.



- II. Almacenamiento:** espacialmente hablando, ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal, comprende las actividades de almacenaje de la carga, atendiendo los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques, y la recepción y entrega de las mercancías a los modos de transporte terrestre.
- III. Recepción y entrega:** lo integran las puertas de acceso terrestres y la infraestructura disponible para facilitar la captación del alto volumen de información que en esa zona se obtiene y procesa. En este subsistema los contenedores son transportados, cargados y descargados hacia otros medios de transporte. Este subsistema puede ser dividido en dos pequeños procesos que citan a continuación:
- ✓ **Proceso 1:** incluye la llegada y salida de camiones a la terminal a través de las puertas de acceso, incluye la generación de colas a la entrada y los tiempos de servicio, en el que se ejecutan operaciones administrativas, control de la carga, inspecciones, radicación de documentos y las instrucciones a los conductores de camiones indicándoles la localización de la zona de carga o descarga.
  - ✓ **Proceso 2:** Es el conjunto de actividades y operaciones que tienen lugar desde que el camión cruza la puerta de entrada hasta que es cargado y está listo para salir de la terminal.
- IV. Interconexión y transferencia de contenedores:** aquí se desarrollan el conjunto de operaciones o conexiones entre muelle-patio (bodegas) y patio (bodegas)-acceso terrestre. En este subsistema se toman decisiones a nivel



estratégico para definir la elección del tipo de sistema operativo que se utilizará para realizar dichas conexiones<sup>2</sup>.

Definida la manera en que opera una Terminal Portuaria, el propósito del presente estudio es analizar el *Subsistema de la puerta de acceso de camiones* de Contecar S.A., y realizar un modelo de simulación, utilizando el software especializado ***Flexsim***, evaluando el proceso actual y futuro para proponer mejoras en su configuración y operación, buscando determinar la capacidad y fluidez del subsistema, la longitud de las colas que en él tienen lugar por motivo del ingreso y salida de los medios de transportes que reciben o entregan carga en el puerto, y de esta manera establecer el desempeño de dicho subsistema, de tal manera que se cumpla eficientemente con la planeación de las operaciones y compromisos establecidos, mejorando la calidad de todo el subsistema (nivel de servicio) y su interrelación con los demás entes internos y externos, como lo es el corredor de carga, que es la vía principal de la ciudad para la movilización de la carga del sector industrial, como lo cita el periódico el Universal de Cartagena: “El Corredor es indispensable para Cartagena. Aunque es un híbrido entre autopista moderna y vía urbana caótica del Tercer Mundo, comienza a ser víctima de su propio éxito y del dinamismo del país. Como casi todo lo nuestro, fue improvisada, con parqueaderos y patios de contenedores a medio montar a sus veras, que con pocas excepciones, usan las calzadas públicas como área de operaciones de sus espacios privados, maximizados a costillas de los usuarios de la vía.”<sup>3</sup> Para Contecar es importante no afectar el funcionamiento normal de esta vía, y así garantizar el acceso y circulación de la carga al terminal, mejorando el flujo del proceso, y demás, no incurrir en sanciones por parte de las autoridades.

---

<sup>2</sup> MARTIN ALCALDE, Enrique. Optimización de la operativa del subsistema de recepción y entrega en terminales portuarias de contenedores [En línea]. [Revisión: 14 de Julio de 2012]. Disponible en la web: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5906/1/00.pdf>>

<sup>3</sup> EL UNIVERSAL. El Corredor de Carga [En línea]. Cartagena de Indias. 02 de Mayo de 2012. [Revisión: 01 de Agosto de 2012] Disponible en la web: <<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/editorial/el-corredor-de-carga>>



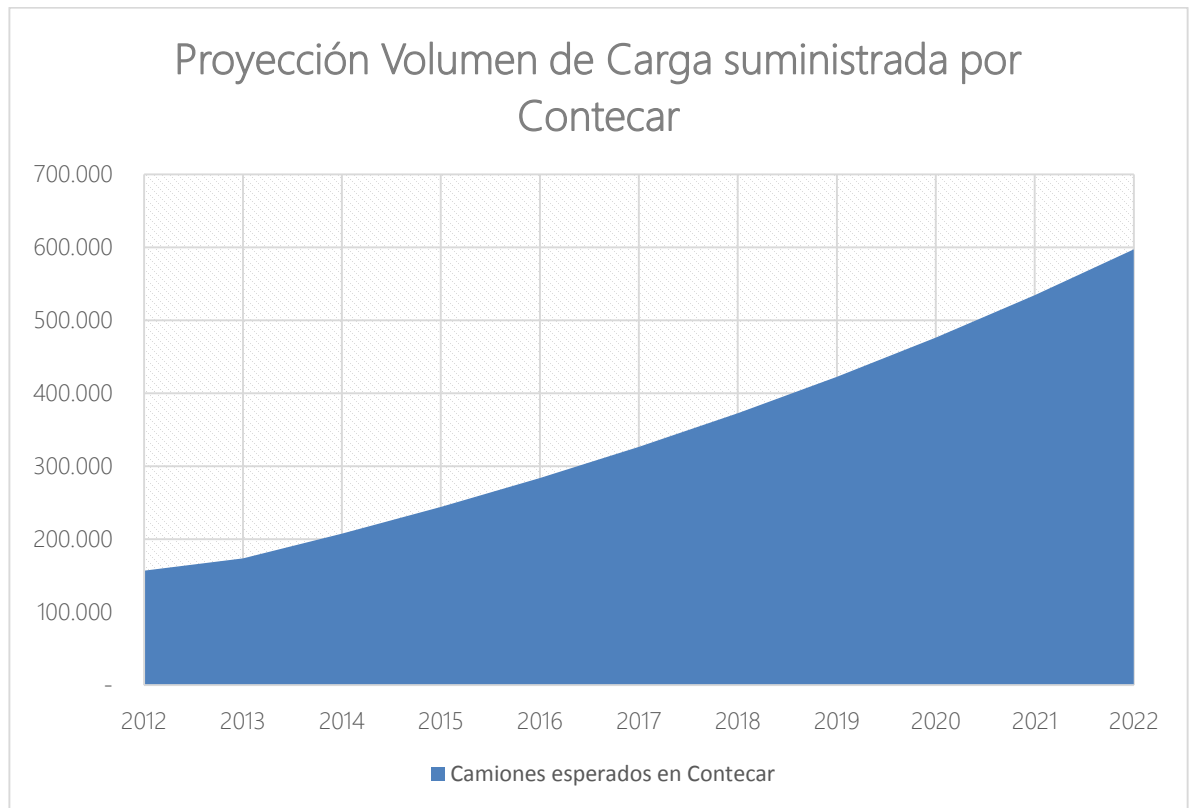
Al mejorar el subsistema objeto de estudio se establecería una relación de ganancia mutua entre transportadores y la terminal, al permitirles a los transportistas mejorar los tiempos de entrega de la carga, debido a que esperarían menos en el sistema; mientras que para el terminal representaría mayor productividad en sus operaciones, lo cual se transformaría en mayor calidad de la prestación de sus servicios y mayores ingresos económicos.

Por último, un objetivo de las directivas del terminal es minimizar el número de servidores y el tamaño de la puerta de acceso, a nivel que garantice la eficiencia del proceso, con el fin de reducir el monto de la inversión en la futura puerta de acceso, que teniendo en cuenta el valor de los equipos necesarios, como las basculas (120 millones de pesos aproximadamente), son sumamente costosos, lo que hace necesario controlar el monto a invertir en el desarrollo del subsistema para no incurrir en gastos exagerados e innecesarios, sin dejar de lado las proyecciones del manejo de volumen de carga del terminal. La proyección del volumen de camiones fue realizada por la firma de consultoría norteamericana Moffatt & Nichol, contratada por Contecar S.A., quienes a partir del análisis del comportamiento histórico de carga (con un crecimiento del 12% anual), y de la proyección del crecimiento macroeconómico del país (crecimiento del PIB al 4% anual), estimó, bajo un escenario conservador, una tasa de crecimiento anual de contenedores domésticos del 8%. Este volumen de carga se distribuyó entre las terminales de SPRC y Contecar, dando como resultado para Contecar, la proyección de camiones mostrada en la Gráfica 1. El detalle de cómo se derivaron los cálculos se encuentra en el Anexo E del presente estudio. Lo anterior conlleva a trabajar para que las operaciones de recepción de los contenedores se realicen en el menor tiempo posible para evitar retrasos en el itinerario de las rutas de los barcos y camiones, por esta razón, la productividad se convierte en un aspecto muy importante para la operación del sistema, junto a la capacidad, en términos de equipamiento, espacio de almacenamiento y el acceso por la puerta, las cuales



deben ser suficientes y bien equilibradas para evitar congestiones, cuellos de botella y el desperdicio de recursos.

**Gráfica 1. Proyección Volumen de Carga Contecar**



Fuente: Terminal de Contenedores de Cartagena – Contecar S.A.

## 1.5 MARCO CONCEPTUAL

**CAPACIDAD:** número máximo de ítems que pueden ser procesados por un sistema, por unidad de tiempo, a un cierto nivel de calidad de servicio. Además, es una característica propia de las infraestructuras, indicando la habilidad para ofrecer



un servicio y anuncia que variaciones provocan modificaciones en los tiempos de servicio y costos.

**COLA O FILA DE ESPERA:** es donde los clientes esperan, dentro de un sistema, antes de ser atendidos Toda cola tiene tres grandes componentes: (1) la población fuente y la manera en que los clientes llegan al sistema, (2) el sistema de prestación del servicio y (3) la condición del cliente que sale del sistema<sup>4</sup>.

**COMUNIDAD PORTUARIA:** grupo de asociaciones, agentes, instituciones y autoridades que intervienen en el desarrollo de las actividades portuarias.

**HORA PICO:** es la denominación que se le da al periodo de tiempo en el que regularmente se producen congestiones dentro de un sistema o donde se dan el mayor número de incidencias.

**MODELO:** es la representación simplificada de un sistema real para su estudio. Este debe ser lo suficientemente detallado de modo que permita obtener conclusiones validas sobre el comportamiento del sistema real.

**NIVEL DE SERVICIO:** es el grado de satisfacción o la medida de calidad que percibe el cliente o usuario por la prestación de un servicio, siendo este un valor subjetivo debido a que cada uno de ellos genera su propia apreciación según sus necesidades.

**OPERADOR PORTUARIO:** es la empresa que presta servicios de puertos, directamente relacionados con la entidad portuaria, tales como cargue y descargue, almacenamiento, remolque, estiba y desestiba, manejo terrestre o porteo de la carga, dragado, clasificación, reconocimiento de la carga.

**PUERTO:** es el conjunto de elementos físicos que incluyen obras de canales de acceso, instalaciones de servicio, que permiten aprovechar un área frente a la costa

---

<sup>4</sup> CHASE, Richard.; AQUILANO, Nicholas y JACOBS, Robert. Administración de producción y operaciones: manufactura y Servicios. 8 Ed. Bogotá D.C.: McGraw Hill. 2000. 869p.



o ribera de un río en condiciones favorables para realizar operaciones de cargue y descargue de toda clase de naves, intercambio de mercancía entre el tráfico terrestre, marítimo y/o fluvial. Dentro del puerto quedan los terminales portuarios, muelles y embarcaderos

**SIMULADOR:** es un elemento o herramienta que permite reproducir el comportamiento de un sistema, por medio de un lenguaje especial de programación que es interpretado por una computadora.

**TERMINAL DE CONTENEDORES:** es un espacio o locación que provee un paquete de servicios para manejar y controlar el flujo de contenedores o carga entre las diferentes rutas, modos y medios de transporte. Los contenedores arriban o dejan la terminal por diferentes modos (terrestre, tren o camión; marítimo, buques). La terminal recibe los contenedores usando grúas especializadas y los almacena en celdas dispuestas en un patio. Los contenedores usualmente permanecen en la terminal varios días antes de salir a su destino; sin embargo, en ciertos casos se puede transferir la carga de un modo de transporte a otro directamente sin ser almacenados en la terminal.

**TEU:** (*Twenty-feet Equivalent Unit*) Representa la unidad de medida de capacidad de carga de las terminales de contenedores o barcos de carga. Un TEU es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies.

**TEU's DOMÉSTICOS:** representan la unidad de medida para los contenedores nacionales, es decir, los que entran al puerto para el mercado de las exportaciones.



## 1.6 MARCO TEÓRICO

**SIMULACIÓN<sup>5</sup>:** Es la imitación de cómo opera un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo. Ya sea hecho a mano (modelo matemático) o por computador, la simulación implica la generación de un comportamiento artificial de un sistema y la observación de ese comportamiento para hacer inferencias relacionadas con las características de operación del sistema real. Con la simulación se puede obtener mayor conocimiento e interpretación de los fenómenos que se manifiestan en los sistemas, mejorando el control de los mismos y obteniendo sensibles beneficios en su operación.

El comportamiento de un sistema y su evolución en el tiempo es estudiado mediante un *modelo de simulación* que operará de forma probabilística, mediante distribuciones de probabilidad, que generan eventos aleatorios que permitirán imitar al sistema real. Así, el modelo toma la forma de una serie de parámetros concernientes a la operación del sistema. Estos parámetros son expresados en forma de relaciones matemáticas, lógicas y simbólicas entre los objetos de interés del sistema. Para ello se debe validar y verificar el modelo construido, con el fin de plantear varios interrogantes referentes al comportamiento del sistema en la realidad, ya sea con el propósito de hacer un análisis sobre los efectos que podría generar algún cambio en el sistema existente, o como herramienta de diseño para pronosticar el comportamiento de proceso en distintas circunstancias.

En algunos casos, un modelo puede ser desarrollado de manera que puede ser resuelto por diversos métodos matemáticos, los cuales encierran el cálculo, la probabilidad, los métodos algebraicos entre otros. La solución a estos modelos generalmente consiste uno o varios parámetros numéricos, que se llaman medidas de rendimiento del sistema. Sin embargo, muchos sistemas del mundo real son tan

---

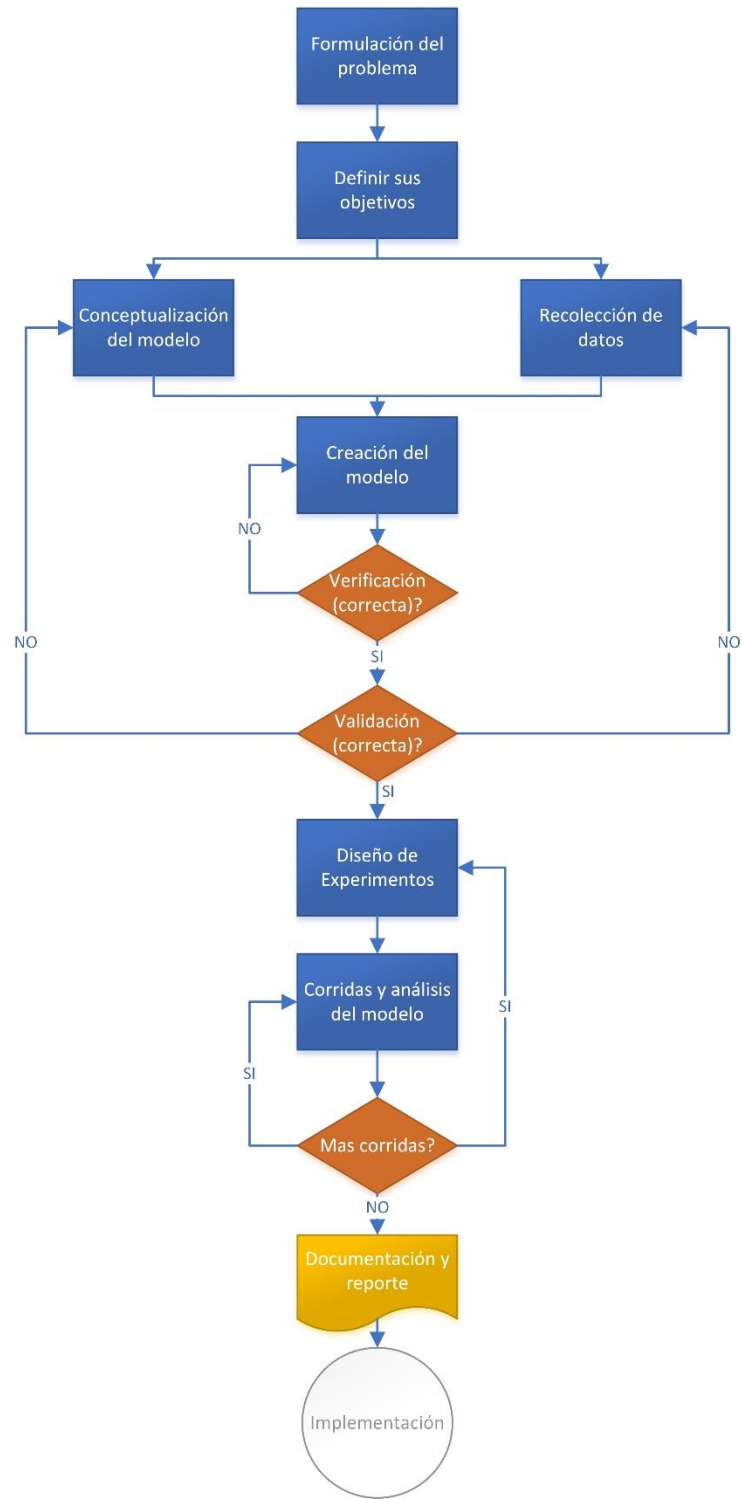
<sup>5</sup> BANKS, Jerry; NELSON, Barry L.; CARSON, John S. y NICOL, David M. Discrete- Event System Simulation. 5 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 622 p.



complejos que los modelos de estos sistemas son prácticamente imposibles de resolver matemáticamente. En estos casos, la simulación por computadoras es una buena herramienta ya que logra imitar los procesos del sistema a través del tiempo, permitiendo interpretar su comportamiento. Todo esto implica tener en cuenta una serie de pasos al momento de realizar una simulación, tal como se describe en el siguiente diagrama de flujo, según describe Jerry Banks.



**Figura 3. Pasos para realizar una simulación**



Fuente: Discrete Event System Simulation. Jerry Banks.



**SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS:** En este tipo de simulación, la operación de un sistema se representa como una secuencia cronológica de eventos; cada evento ocurre en un determinado instante aleatorio de tiempo y, marca un cambio de estado en el sistema<sup>6</sup>, es decir, se generan y administran eventos en el tiempo por medio de una cola de eventos ordenada según el tiempo de simulación en que deben ocurrir y de esta forma, el simulador lee la cola y dispara nuevos eventos. Entre otros, un evento puede ser: la llegada de un cliente, la llegada de un camión, el inicio del proceso de una pieza, la finalización de un proceso de fabricación. Esta modalidad de simulación se usa típicamente en el diseño de la mayoría de eslabones de la cadena de suministro tales como: líneas de producción, plantas de procesamiento, bodegas de materia prima, bodegas de producto terminado, puntos de atención a clientes, hospitales, centros de atención médica<sup>7</sup> y en terminales de contenedores.

**TEORIA DE COLAS:** es el estudio del comportamiento de las colas o líneas de espera. Los principales actores en un modelo de colas son los clientes y los servidores. Los clientes que requieren un servicio se generan en el tiempo en un *source o fuente de entrada*. Los clientes entran al *sistema* y pueden ser atendidos inmediatamente o esperar en una cola (por un servidor) si el sistema está ocupado, el sistema “automáticamente” toma a un cliente en espera siguiendo una regla conocida como *disciplina de la cola*, se lleva a cabo el servicio solicitado por el cliente y este procede a salir del sistema. Si no hay clientes en la cola el sistema permanece vacío hasta que un nuevo cliente haga su arribo<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> STEWART, Robinson. Simulation - The practice of model development and use [En línea]. [Revisión: 02 de Agosto de 2012]. Disponible en la web: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete\\_event\\_simulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_event_simulation)>

<sup>7</sup> QUIÑONES, Luis Eduardo. La simulación de eventos discretos como técnica fundamental en la toma de decisiones de alto impacto [En línea]. [Revisión: 02 de Agosto de 2012]. Disponible en la web: <<http://www.vaticgroup.com/unlimitpages.asp?id=147>>

<sup>8</sup> TAHA, Hamdy. Operations Research: An Introduction. 8 Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 2007. 838p.

Desde ese punto, la teoría permite hacer un análisis matemático sobre las líneas de espera, que incluirá mediciones para los tiempos entre arribos al sistema, el tiempo de espera en la cola, tiempo de servicio, el tamaño de la cola, las salidas del proceso, la probabilidad de encontrar el sistema en cierto estado entre otras.

**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD:** son todos los posibles valores que resultan de un experimento aleatorio, junto con la probabilidad asociada a cada valor.

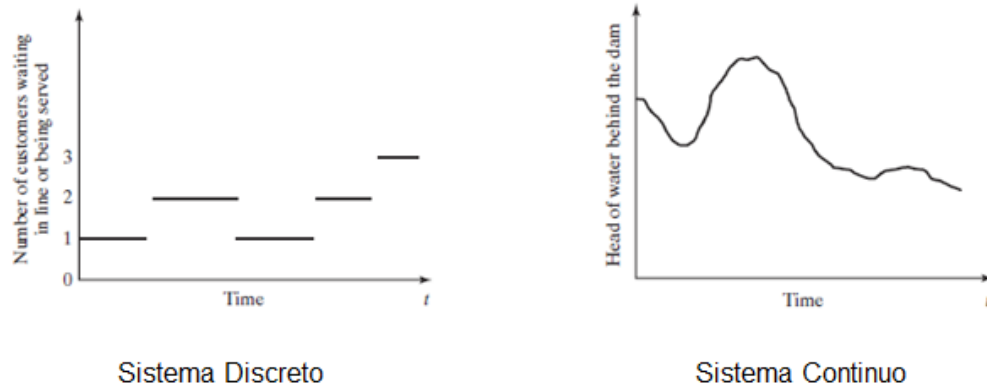
**ANALISIS DE CORRELACION DE DATOS:** permite medir o determinar cuan estrecha es la relación con la cual se asocian dos o más variables.

**SISTEMA<sup>9</sup>:** es un grupo de objetos que interactúan entre sí para completar un determinado propósito. Un sistema puede ser afectado frecuentemente por cambios ocurridos fuera de él. Para comprender y analizar un sistema, se debe definir los siguientes términos: una **entidad**, que es el objeto de interés en el estudio de un sistema; un **atributo**, que es una propiedad de una entidad; una **actividad**, que representa la duración de un determinado periodo de tiempo; el **estado**, que es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier momento, teniendo en cuenta el o los objetivos del estudio; y finalmente, un **evento** es una ocurrencia que puede cambiar el estado del sistema. Un sistema se categoriza como discreto o continuo. Un *sistema discreto*, es aquel en el que la variable(s) de estado u objeto de estudio cambia en ciertos puntos de tiempo. Un *sistema continuo*, es aquel en el que la variable(s) de estado cambia a través del tiempo constantemente.

---

<sup>9</sup> BANKS, Jerry; NELSON, Barry L.; CARSON, John S. y NICOL, David M. Discrete- Event System Simulation. 5 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 622p.

**Figura 4. Tipos de Sistema**



Fuente: Discrete Event System Simulation. Jerry Banks.

## 1.7 MARCO METODOLÓGICO

Una terminal de contenedores es un espacio en el que se realizan operaciones de conexión e intercambio entre los diversos tipos de transporte marítimo y terrestre (transporte intermodal). Como anteriormente se citó, para fines de este trabajo se dividirá a una terminal de contenedores en cuatro subsistemas, siendo el objeto del presente trabajo, analizar el proceso que se ejecuta en la puerta de acceso de camiones para el caso de Contecar, teniendo en cuenta que los camiones acceden al puerto para recoger o entregar contenedores según el mercado de importación o exportación.

La metodología de estudio se centrará en la simulación de la puerta de acceso de camiones de Contecar. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

- ✓ Levantamiento del proceso actual de la puerta de acceso.
- ✓ Recolección de datos para establecer el comportamiento de la demanda y tiempos de los procesos.



- ✓ Análisis estadísticos de los datos para construir las distribuciones de probabilidad que serán usadas como entradas en el modelo de simulación.
- ✓ Construcción, verificación y validación del modelo de puerta actual en un software de simulación.
- ✓ Determinar las variables de desempeño que se usarán para el análisis, tales como: tiempo total en el sistema, tamaño de colas, utilización de los servidores.
- ✓ Correr la simulación de la puerta actual con una demanda de 150.000 camiones anuales, y probar diferentes alternativas de mejoramiento.
- ✓ Correr la simulación de la puerta futura con una demanda de 600.000 camiones anuales y probar diferentes configuraciones y alternativas de mejoramiento.
- ✓ Correr la simulación de la propuesta de puerta automática, probar diferentes configuraciones y alternativas de mejoramiento.
- ✓ Documentar y reportar los resultados obtenidos con la simulación de la puerta de acceso de camiones en Contecar.

**1.7.1 Tipo de investigación** El tipo de investigación que seguirá el presente trabajo de grado estará fundamentada en un proceso metodológico de tipo descriptivo, analítico y propositivo, con el fin de abordar con profundidad los objetivos del estudio y conocer cada una de las partes que le agregan valor al resultado del estudio, analizando contenidos históricos y actuales, logrando así proponer un mejor resultado en la mejora continua del proceso futuro de recepción de carga en la Terminal de Contenedores Cartagena S.A. – Contecar S.A.

**1.7.2 Recolección y procesamiento de la información** La recolección de información debe asegurar la confiabilidad y validez de los datos que se generan para solucionar el planteamiento del problema.



El desarrollo del trabajo contiene análisis estadísticos y recolección de información en donde se toman diferentes datos e información del proceso para analizar y obtener conclusiones en cuanto al comportamiento del sistema de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.



## 2. GENERALIDADES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A.

**NOMBRE DE LA EMPRESA:** Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. – CONTECAR S.A.

**DIRECCIÓN:** Cartagena de Indias, Colombia. Vía Mamonal Km 1, Sector Ceballos.

**Figura 5. Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. - CONTECAR S.A.**



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/50038071?source=wapi&referrer=www.panoramio.com>

Contecar es un terminal marítimo, ubicado en la Bahía de Cartagena de Indias, especializado en el manejo de carga contenedorizada. Se proyecta como el terminal de contenedores más grande de Colombia y el único con capacidad para recibir



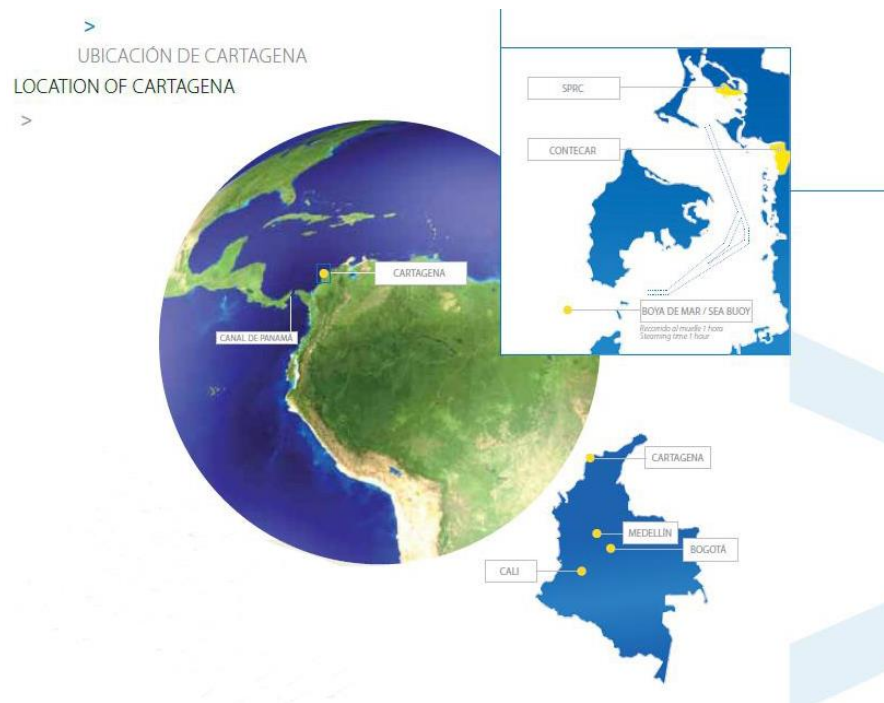
barcos Panamax II de hasta 14,000 TEU, que serán los barcos más grandes que circulen en la región luego de la ampliación del Canal de Panamá.

Este Terminal hace parte del Grupo Puerto de Cartagena, quienes presupuestan un costo de USD 600 millones, con lo cual la infraestructura proyectada incluye 100 Ha, 1.000 metros de muelle, 12 grúas pórtico STS de última generación, 60 grúas RTG para apilamiento de contenedores en los patios, más de 120 tractocamiones y 80,000 m<sup>2</sup> en bodegas y centros de distribución.

## 2.1 HISTORIA

El terminal marítimo de CONTECAR S.A esta situado en latitud: 10°22'27'' y longitud: 75°30'39'' sobre la costa Caribe Colombiana.

**Figura 6. Ubicación Geográfica del Puerto de Cartagena**



Fuente: PortHandbook 2011-12

Entre los años 1986 y 1989, la Flota Mercante Gran Colombiana S.A (FMG) seleccionó, por su posición geográfica, la Bahía de Cartagena, para la construcción de un terminal marítimo de contenedores; adquiriendo, para tal fin, los terrenos necesarios y estructurando el desarrollo del proyecto.

Mediante la resolución No. 1049 del 31 de Agosto de 1989 de la Dirección General Marítima y Portuaria le fue otorgada a la Sociedad Flota Mercante Gran Colombiana S.A; la concesión para el uso de la zona de playa y bajamar para la construcción de un muelle y demás instalaciones portuarias indispensables para la operación del mismo, en un área de 40 hectáreas y con una inversión inicial de 51 millones de dólares americanos.

El 14 de Diciembre de 1990 se constituye la Sociedad Portuaria Terminal de Contenedores de Cartagena S.A.- CONTECAR S.A., con el objeto de construir y explotar comercialmente el Terminal Marítimo, cediendo, de esta forma la FMG, la concesión de la zona de playa y bajamar. Finalmente, la empresa comienza el desarrollo de su objeto social, el 1º de Junio de 1994, soportando su marco legal en la ley 1ª de 1991 y demás normas concordantes

A partir de enero de 2005, la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena S.A., inicia la administración y operación de la instalación portuaria, alineándose todos los procesos de CONTECAR S.A., bajo sus directrices; asimilando también, su visión, misión, objetivos estratégicos y políticas.

El Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. en el año 2008, adquirió la draga de corte y succión “Don Rodo” para trabajar en las obras de ampliación del Terminal Portuario, que incluyen extensiones de la línea de muelle marginal y ampliaciones de la zona de maniobras para las embarcaciones.

La draga Don Rodo, de fabricación Norteamericana, tiene un cortador de 400 caballos de potencia y una tubería de descarga de 20” de diámetro interno. Su eslora es de 49 m y su manga de 9 m y tiene un alcance de 17 m. Esta draga cuenta



con la mayor capacidad de dragado en Colombia, para movilizar 2,3 millones de contenedores en CONTECAR, es necesario dragar 3 millones de metros cúbicos.

Bajo esta nueva administración, el desarrollo de la empresa se ha venido dando en varias fases, la primera con inversiones en infraestructura, desde el año 2005, como:

- La extensión del muelle hacia el sur y la instalación de un muelle flotante para atender naves RO-RO, graneleros y buques con carga general, hoy CONTECAR cuenta con una línea útil de 670 metros. Al final del proyecto se busca un muelle lineal de 1000 metros, donde se atenderán hasta tres buques de 12000 TEUs.
- La instalación de rieles para el desplazamiento y operación de las grúas Pórtico.
- Se adoquinaron ocho hectáreas de patio para el acondicionamiento estructural del terminal.
- Mediante un dragado de la zona donde se construirá la futura extensión del muelle, se producirán suelos con los que se construirán nuevas celdas de almacenamiento para contenedores. Al culminar el proyecto habrán 57000 celdas.

Y también adquisiciones de diversos equipos como:

- Seis Grúas Pórtico Panamax II cuya productividad individual llega a los 50 movimientos por hora.
- Una grúa móvil para completar tres equipos, que garantizan flexibilidad operativa con todo tipo de carga, desde contenedores hasta gráneles y carga general.
- 24 grúas RTGs, que permiten almacenar los contenedores en patio, mediante su apilamiento por 6 de alto, con un eficiente sistema de orientación satelital.



- Cinco grúas Reach Stacker para cargar y descargar contenedores de los camiones al patio.
- Dos equipos para apilar contenedores vacíos de los camiones al patio, con una capacidad de 8 por alto.
- 64 camiones de puerto con sus respectivas plataformas, para movilizar contenedores, optimizar los desplazamientos, aprovechar mejor el espacio, y agilizar las operaciones en el patio.
- Una draga de corte y succión que se emplea en el acondicionamiento del área de operaciones (diques y muelles).

## **2.2 DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO**

La Gestión de la Estrategia en la Organización comprende:

- Definición y seguimiento de la visión, misión, objetivos estratégicos, valores corporativos, políticas.
- Análisis de oportunidades y propuestas de innovación, crecimiento y desarrollo.
- Análisis de oportunidades y propuestas de negocios.
- Definición de metas e iniciativas
  - Planes de acción
  - Indicadores de Gestión

### **2.2.1 Misión**



El Grupo Puerto de Cartagena es una Organización dedicada a la prestación de Servicios portuarios y Logísticos que agregan valor y generan ventajas competitivas a los participantes del comercio internacional.

### **2.2.2 Visión y Mega (Meta Grande y Ambiciosa) 2017**

- En el año 2017 el Grupo Puerto de Cartagena habrá consolidado sus ventas en \$600 millones de USD anuales. Movilizará 3 millones de TEUS al año en la red logística.
- Habrá diversificado sus negocios relacionados con la actividad logística y portuaria, con ventas equivalentes a \$300 millones de USD anuales.
- Habrá consolidado valiosas alianzas estratégicas en sus negocios
- La organización ocupará un puesto destacado como sitio para trabajar, por su gestión ambiental y por su responsabilidad social.
- Garantizará la calidad y cumplimiento de los servicios prestados.

### **2.2.3 Propuesta de Valor y Clientes objetivo**

“El Grupo Puerto de Cartagena ofrece a las navieras, propietarios de carga y operadores logísticos:

- Óptimo manejo de su carga, brindándoles una ventaja económica, a través de una excelente infraestructura, productividad y manejo de información, un completo portafolio de servicios, y altos niveles de confiabilidad y seguridad.
- Servicios logísticos personalizados y acceso a una red de distribución nacional e internacional.
- Infraestructura adecuada y servicios complementarios a cruceros.



#### **2.2.4 Política del Sistema de Gestión Integrado**

“La Organización Puerto de Cartagena, se compromete a generar valor a sus clientes, mediante procesos ágiles y sencillos, bajo estándares operativos internacionales certificados, innovación y mejora continua, a través de un talento humano competente y la aplicación eficaz de tecnología.

Como empresa socialmente responsable, es nuestro compromiso trabajar con calidad y seguridad integral, enmarcados en el cumplimiento de la legislación aplicable, la protección del medio ambiente, la salud y bienestar de las personas.”

#### **2.2.5 Mapa de Procesos. Cadena de Valor y Caracterización de Procesos**

El Mapa de Procesos o Cadena de Valor define los procesos que realiza la Organización para el cumplimiento de la planificación estratégica basada en su misión y visión y en los objetivos estratégicos establecidos por la alta dirección.

A su vez, el Mapa de Procesos constituye la base de aplicación de los Sistemas de Gestión implementados. Los procesos aparecen agrupados en Procesos Estratégicos o Visiónales, Procesos claves o Misionales, Procesos de Apoyo Crítico, y Procesos de Apoyo Administrativo.

**Figura 7. Mapa de Procesos del Puerto de Cartagena (Contecar S.A.)**





Fuente: Intranet Corporativa Grupo Puerto de Cartagena.

El **Balanced Scorecard o Cuadro de Mando Integral** es un modelo de gestión que traduce la Estrategia en Objetivos relacionados, medidos a través de indicadores y ligados a unos planes de acción que permiten alinear el comportamiento de los miembros de la organización.

A través de un sistema coherente de elementos –como el Mapa Estratégico, la asignación de recursos y la evaluación de desempeño-, el Cuadro de Mando Integral ayuda a enlazar piezas normalmente descoordinadas en nuestras organizaciones, para adecuar el comportamiento de las personas a la Estrategia empresarial.



Podríamos decir que el Balanced Scorecard nos proporciona una “fotografía” que nos permite examinar cómo estamos acometiendo hoy nuestra Estrategia a medio y largo plazo.

**Figura 8. Mapa Estratégico del Grupo Puerto de Cartagena (Contecar S.A.)**



Fuente: Intranet Corporativa Grupo Puerto de Cartagena.





## 2.3 PROPUESTA DE VALOR Y CLIENTES OBJETIVO

El Grupo Puerto de Cartagena ofrece a las Líneas Navieras, Propietarios de Carga y Operadores Logísticos:

- Optimo manejo de su carga, brindándoles una ventaja económica, a través de una excelente infraestructura, productividad y manejo de información, un completo portafolio de servicios y altos niveles de seguridad y confiabilidad.
- Servicios Logísticos personalizados y acceso a una red de distribución nacional e internacional.

El objetivo del Puerto de Cartagena es, ***Prestar Servicios Portuarios a las Naves y a la carga.*** De esta manera, los principales servicios por la organización, son los siguientes:

### **Servicios portuarios a Motonaves**

- Muellaje.
- Estiba y desestiba de la carga de la motonave.
- Otros servicios a la motonave, como: Suministro de agua, recolección de desechos sólidos, etc.

### **Servicios portuarios a Contenedores**

- Cargue y descargue en patio.
- Movilización de contenedores para servicios.
- Servicios de inspección, repeso.
- Almacenaje.

### **Servicios Portuarios a la Carga General y Vehículos**

- Servicios de Cargue y Descargue en sitio de reposo.



- Servicios de Llenado, vaciado, inspección.
- Almacenaje.

### **Puerta de acceso a la Instalación Portuaria**

- Control de Entrada y Salida de vehículos para ingreso o retiro terrestre de carga.
- Control de entrada y Salida de personas para actividades en el puerto.



### **3. MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A.**

La simulación es una herramienta muy útil y poderosa al momento de estudiar un sistema o proceso de interés, puesto que permite, de manera sencilla y sin experimentar directamente sobre los procesos reales, crear conceptos y tener una visión general del funcionamiento u operación del sistema que se estudia y cada uno de los elementos que lo componen. De esta manera, se puede experimentar con distintos conceptos y puntos de vista, sobre un modelo simplificado que representa el sistema, y obtener distintas respuestas a cada uno de ellos que permitan determinar o establecer cambios que ofrezcan mejoras en el desempeño del conjunto al aplicarlas en la realidad después de ser probadas y analizadas en la simulación.

El proceso del subsistema de la puerta de acceso de Contecar S.A. se especula que a futuro va a verse afectado, debido a su futuro crecimiento de esta manera cada vez arribarán más camiones al puerto, por eso es necesario que el tiempo de espera de los camiones sea el mínimo posible para que la operación del terminal se realice de forma rápida y sin retrasos. Consecuente con lo anterior, para este proceso no se están evaluando los aspectos y variables que se pueden alterar su comportamiento a causa de su crecimiento; es por esto que deben prepararse para enfrentar las proyecciones futuras de carga, y controlar el tamaño de la cola de los camiones para que esta no sobrepase los límites de las instalaciones del terminal.

En Contecar S.A., implementar modelos de simulación que imiten el funcionamiento de cada uno de los subsistemas que componen la Terminal, permitirá planificar y tomar decisiones rápidamente, las cuales contribuirán para ajustarlos a las condiciones y cambios del medio, junto con las proyecciones de crecimiento que tenga la organización y así, proponer mejoras en el proceso del subsistema de la puerta de acceso de camiones para disminuir el tiempo de espera de los camiones,



no afectar factores externos y mejorar la operación. Buscando siempre un mayor beneficio para el desarrollo de la actividad portuaria.

Este estudio tiene como propósito crear un modelo de simulación que imitará la operación del subsistema de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A., teniendo en cuenta la configuración actual de este y las proyecciones de manejo de carga que tiene el Terminal para su etapa de crecimiento. Para ello se utilizará el software de simulación Flexsim, usado por Contecar S.A. para el desarrollo de sus proyectos y apoyo en la toma de decisiones, que al generar los reportes de las corridas de cada escenario, y después de su respectivo análisis permitirá emitir o establecer la mejor combinación que mejora el rendimiento operacional de dicho subsistema.

### **3.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES EN CONTECAR S.A.**

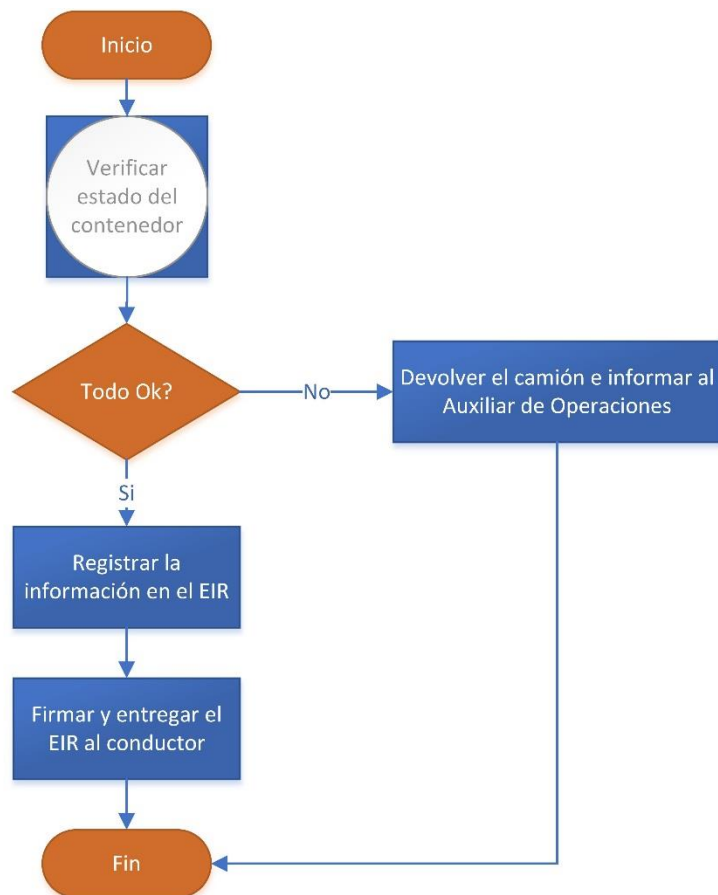
Actualmente la puerta de acceso de camiones de Contecar está compuesta por una calle de acceso principal que posee dos carriles vehiculares, su longitud es de 162 metros, con capacidad para colas máxima de 16 camiones, sin afectar el corredor de carga, al final de ella se encuentra los dos primeros servidores del sistema, llamados Interchange. Luego se pasa al proceso de seguridad física que está compuesto por tres servidores, cada uno con capacidad para dos camiones en la cola. La última etapa del sistema es el proceso de báscula, que comprende 2 servidores, cada uno con capacidad para tres camiones en cola.

De esta manera, se establece que el subsistema es una cola, compuestas por tres tipos de servidores ubicados en serie, interchange, seguridad física y báscula. Como ya se comentó, el primer proceso que se encuentra en el subsistema es el **Intercahnge**, compuesto por dos servidores, estos se encargan de inspeccionar o



diagnosticar el estado del o los contenedores en un camión a la entrada del terminal, cumpliendo con unos requisitos establecidos y estandarizados a nivel mundial. Solicita el ARIM al conductor para tomar algunos datos, los cuales registra en el EIR, junto con el diagnóstico realizado. A continuación se describe el procedimiento que debe seguir el interchange al momento de atender un camión, mediante un diagrama de flujo (Ver Figura 9).

**Figura 9. Diagrama de Flujo del procedimiento del Interchange en Contecar S.A.**

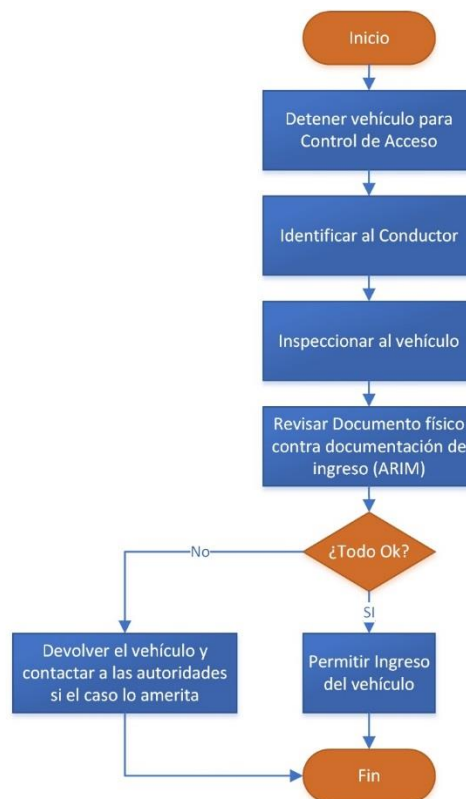


Fuente: Contecar



Una vez el interchange termina su tarea, el camión procede a la segunda etapa del proceso, los controles de **Seguridad Física**, como se dijo anteriormente son tres servidores los que componen este proceso, independientes el uno del otro, estos ejecutan actividades relacionadas con la revisión de camiones de carga, física y documentalmente, además de identificar a cada conductor, realizando la comparación entre cada una de ellas, validando la información. Lo anterior es con el propósito de descartar posibles amenazas en contra de la seguridad de las instalaciones portuarias. El diagrama de flujo para las actividades de los servidores de seguridad física se muestra en la Figura 10.

**Figura 10. Diagrama de Flujo del procedimiento de Seguridad Física en Contecar S.A.**

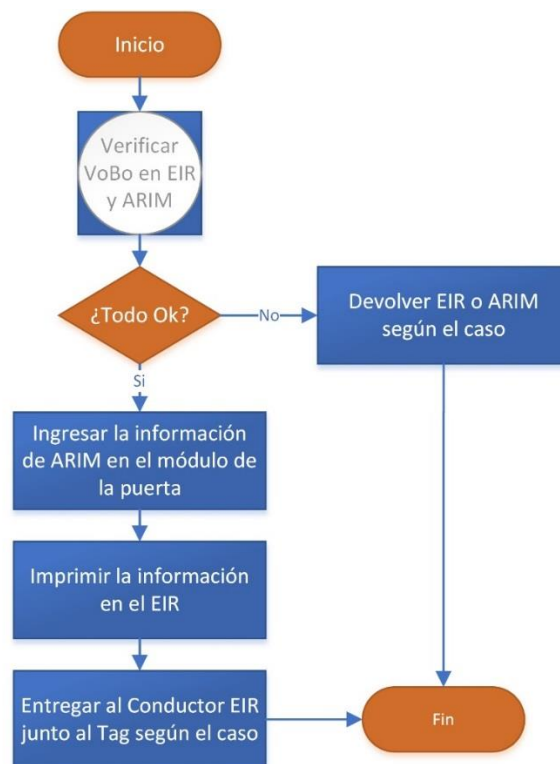


Fuente: Contecar



La última etapa del subsistema, se ejecuta en las **Básculas o Radicación**, una vez concluyen exitosamente las actividades en seguridad física. Las básculas son dos servidores independientes, cada uno encierra las actividades de radicación de camiones que ingresan al puerto. Para este proceso se tiene en cuenta que tanto el ARIM como el EIR tengan las valoraciones de las etapas anteriores al igual que la firma del conductor, y que la información de estos concuerde con la misión del camión y la planeación hecha por la terminal. Por último imprime en el EIR la información necesaria sobre el tipo de carga, entre otras y, lo devuelve al conductor junto a la ubicación de la carga o contenedor en la terminal. El diagrama de flujo para las actividades de los servidores de báscula se muestra en la Figura 11

**Figura 11. Diagrama de Flujo del procedimiento de Básculas o Radicación en Contecar S.A.**



Fuente: Contecar

### **3.1.1 Procedimiento de asignación de cita para camiones**

En Contecar se utiliza un sistema de asignación de citas o franjas horarias a los diferentes transportistas, con el propósito de simplificar y controlar el ritmo de llegadas de los camiones al puerto, buscando aumentar la productividad de la Terminal mediante una adecuada planeación de las actividades, con el fin de reducir el tiempo total de los camiones en el puerto y las colas que tienen lugar en el subsistema de R/E, las cuales dependen en gran medida de cómo se distribuyen las llegadas o arribos al sistema, el volumen de camiones, la cantidad y el tiempo operativo de las puertas o accesos, basculas y demás elementos del Subsistema de R/E, y sus respectivos tiempos de servicio.

El ingreso al puerto de los camiones para retirar e ingresar contenedores llenos de importación y exportación y vacíos, es regulado mediante la asignación de parte del puerto de unos cupos o cantidad de vehículos que pueden pasar por la puerta en un lapso de tiempo al igual que el ingreso y retiro de contenedores vacíos. En consecuencia cada transportador deberá solicitar un cupo (Cita) de acuerdo al momento en que pretenda ingresar, retirar o descargar cada contenedor en el puerto y se le asignará la cita en función a la disponibilidad de cupos.

Se han definido lapsos de tiempo de 1 horas, entre las 07:00 y las 19:00 horas, durante los cuales es necesario que cada camión tenga una cita para poder ingresar. Pueden existir horarios libres durante el cual no es necesaria una cita para entrar el puerto. Estos horarios pueden ser modificados, pero siempre serán notificados a los usuarios con la suficiente anticipación.

A través de SPRCONline será posible para los transportadores hacer el trámite de las citas para las ARIMs previamente expedidas y también para los documentos OTM.





A través del sistema SPRCOOnline se pueden visualizar las ARIMs y OTM's en las cuales cada transportador tiene injerencia, para mediante procesos de selección poder solicitar las citas que requieran e inmediatamente imprimir las nuevas ARIMs y OTM's. Igualmente es posible planear nuevamente las citas o cancelarlas cuando sea necesario.

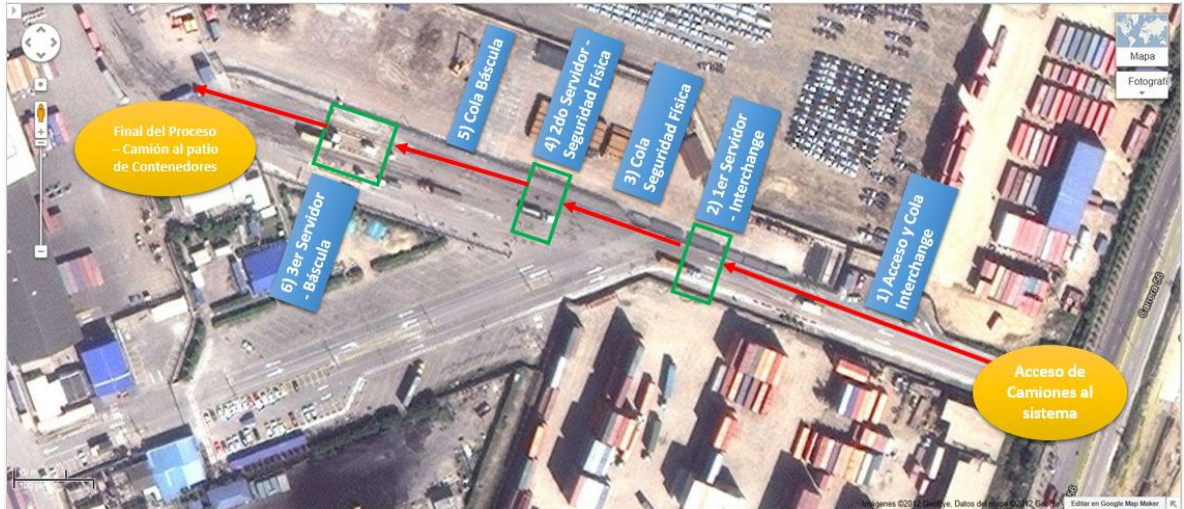
Las ARIMs y OTM's tienen impresa la fecha y hora de cita otorgada por el puerto. Cuando un camión se presente a la entrada del puerto, debe mostrar el ARIM u OTM y el puerto en su responsabilidad verificará si se trata de un ARIM u OTM con cita válida y corresponde al horario del momento del arribo del vehículo. De serlo, le anota en el ARIM u OTM la hora y se le permite al camión pasar a la báscula para ingresar, de lo contrario debe devolverse y no podrá ingresar al puerto.

### **3.1.2 Modelo Conceptual de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.**

A continuación se describe el modelo conceptual del sistema de acceso de camiones de Contecar S.A.



**Figura 12. Modelo conceptual de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.**



Fuente: Modelo creado por los autores, con imagen de la puerta de acceso de Contecar, obtenida de Google Maps.

El proceso se describe como un conjunto de tres colas con tres servidores ubicados en serie, uno tras otro, en el cual el camión una vez ingresa debe pasar por todas y cada una de ellas, tal como lo muestra la Figura 12, es decir, por los servidores Interchange, Seguridad Física, Báscula y sus respectivas colas, las cuales se rigen mediante la política FIFO (*First In – First Out*).

### **3.2 DATOS Y DISTRIBUCIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Para el modelo de simulación de la puerta de acceso de camiones de Contecar existen unos valores constantes, los cuales ya se han referido anteriormente, obtenidos a través de la verificación y observación del sistema; los datos se resumen en la siguiente tabla:



**Tabla 1. Características de la puerta de acceso actual de Contecar**

	Capacidad Max. Cola	No. Carriles	No. Servidores
Interchange	16	2	2
Seg. Física	6	3	3
Báscula	3	2	2
Horas Operativas	12		
Días Operativos	292		

Fuente: Los autores

Para la construcción del modelo de simulación es necesario definir las variables claves para el sistema, las cuales permitirán determinar la manera en que se comporta el sistema en estudio, por medio de un análisis estadístico por el cual se logrará identificar y determinar las distribuciones de probabilidad que seguirán los datos para una muestra representativa del sistema. Estas variables toman importancia al momento de tomar decisiones sobre el desempeño operativo del proceso de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.

Para estas variables se efectuará una medición para emitir un juicio sobre el comportamiento estadístico de las mismas, así se podrá determinar la naturaleza de la distribución de los datos muestrales.

El criterio para escoger las variables relevantes estuvo basado en el aporte que pueden generar sobre la construcción y funcionamiento del modelo, teniendo en cuenta que en la operación de un sistema de colas lo que principalmente condiciona su funcionamiento son los tiempos de atención para cada servidor y el ritmo de llegadas al sistema. De esta manera se logra reunir información acerca de los puntos críticos del sistema, en donde se pueda identificar oportunidades de mejora para el nivel de desempeño de las operaciones realizadas en la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.



Las variables más importantes para la construcción del modelo de simulación son las siguientes:

- **Tiempo de atención a camiones por el servidor Interchange:** tiempo que demora el operador del servidor de interchange en revisar el estado del contenedor (expresado en minutos).
- **Tiempo de atención a camiones por el servidor de Seguridad Física:** Tiempo que tarda el operador del servidor de Seguridad Física en realizar la revisión documentaria y física del camión (expresado en minutos).
- **Tiempo de atención a camiones por el servidor de Báscula:** Tiempo que se tarda un camión en ser radicado para ingreso al puerto en el servidor de báscula (expresado en minutos).
- **Tiempo entre arribo para camiones:** diferencia de tiempo entre la llegada de un camión y otro al sistema de la puerta de acceso (expresado en minutos).

Las variables anteriormente identificadas serán medidas para efectos de conocer la naturaleza de los datos, para ello se seguirá la siguiente metodología:

- a. Premuestreo de datos o muestra piloto:** servirá como base para calcular el tamaño de la muestra necesaria para asegurar el comportamiento de las variables del modelo. Para ello se tomaron 40 tiempos durante dos días por cada variable identificada.
- b. Calculo del tamaño de la muestra:** para este cálculo se utilizará la siguiente formula,

$$\eta_{\alpha} = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad (1)$$

La anterior formula se rige bajo los siguientes parámetros:



- ✓ Error establecido (e): 5%
- ✓ Nivel de confianza ( $\alpha/2$ ): 95%
- ✓ Valor de Z: 1,96
- ✓ Varianza  $\sigma^2$ , este parámetro cambia dependiendo de cada variable como se muestra en la tabla siguiente:

<b>Variables</b>	<b><math>\sigma^2</math></b>
Servidor Interchange	0.0886487
Servidor Seguridad Física	0.2994699
Servidor Báscula	0.4093528

Al reemplazar los parámetros anteriores en la formula (1) se halló que el número requerido de datos (muestra representativa) para cada variable se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Tamaño de la muestra para la toma de tiempos en cada servidor del sistema.**

<b>VARIABLES</b>	<b>n</b>
<b>Servidor Interchange</b>	136
<b>Servidor Seguridad Física</b>	460
<b>Servidor Báscula</b>	629

Fuente: Los autores

Para ampliar la información del análisis de datos, remitirse al **Anexo A**.

- c. Toma de datos para la muestra:** En el periodo de dos semanas se tomaron los tiempos requeridos para cada variable según el tamaño de la muestra descrito en la *Tabla 2* mediante la utilización de herramientas para



cronometraje vuelta a cero. La tabla en la que se muestran los datos obtenidos se puede revisar en el **Anexo B**.

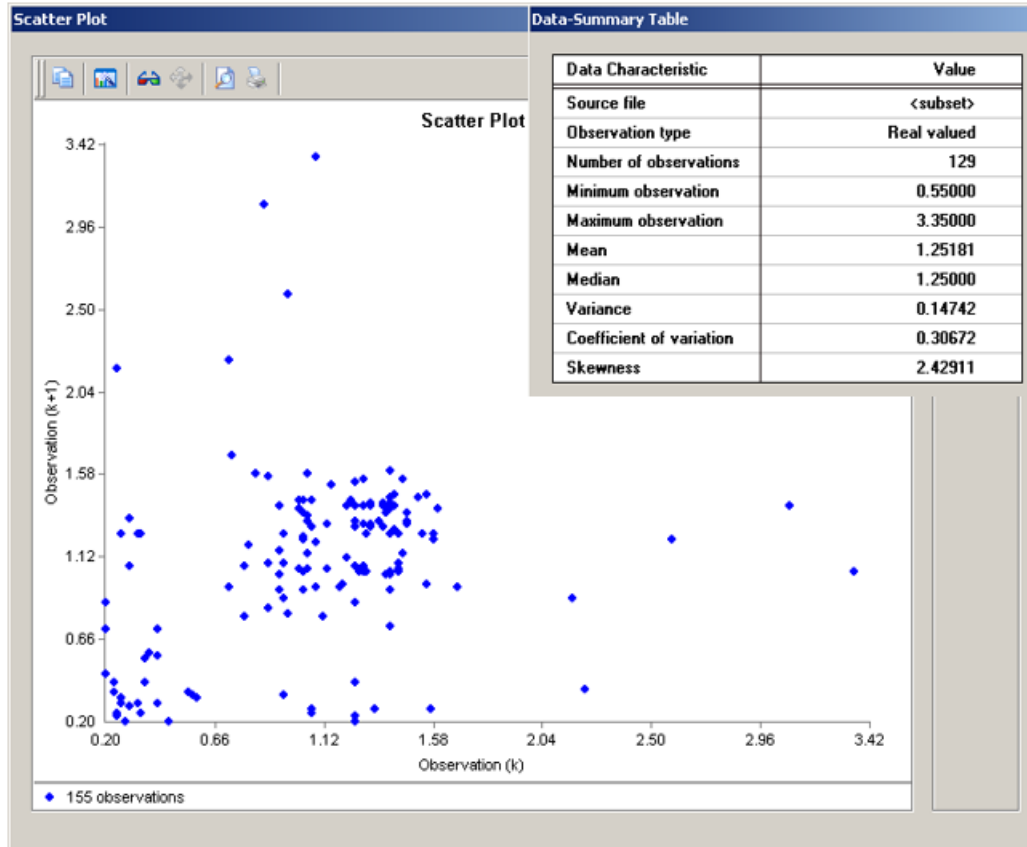
- d. Verificación y ajuste de los datos de la muestra:** a los tiempos de la muestra se les realiza un análisis de independencia (correlación) para verificar la aleatoriedad de los datos. Posteriormente se hará un análisis estadístico para cada una de las variables de la muestra con el propósito de ajustar los datos a la distribución de probabilidad que mejor represente su comportamiento. Este procedimiento se hará con la ayuda de Expertfit, el cual determinará, dentro de 40 distribuciones de probabilidad<sup>10</sup>, cual representa en mayor grado al conjunto de datos. La distribución seleccionada será codificada en un formato adecuado para que sea interpretada por el simulador Flexsim.

Para empezar con el desarrollo de este análisis se tendrán en cuenta gráficos de dispersión que muestra que el dato  $n$ , no está relacionado con el dato  $n-1$ . Es decir, la muestra es independiente en el tiempo. El valor que tomaron en un momento dado no tenía ninguna relación con el valor anterior. También se hace un análisis estadístico en Statgraphics de autocorrelación, determinando si los datos son o no aleatorizados, haciendo referencia a la gráfica de residuos, que relaciona los residuos de los datos con los datos de cada una de las variables, de esta forma se determina si los datos son independientes, junto con el apoyo del estadístico de Durbin-Watson, el cual inspecciona los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan los datos. A continuación se presentan los respectivos gráficos para los tiempos de servicio de cada servidor.

---

<sup>10</sup> LAW, Averill M. Simulation Modeling and Analysis. 4 Ed. New York: McGraw Hill (Series in Industrial Engineering and Management Science). 2007. p354.

**Gráfica 2. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor interchange.**

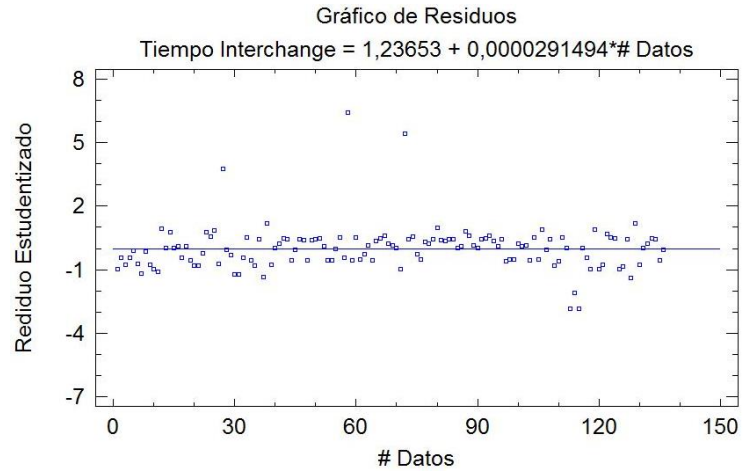


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 2 muestra que los datos son independientes (aleatorios), puesto que no siguen un patrón en específico.



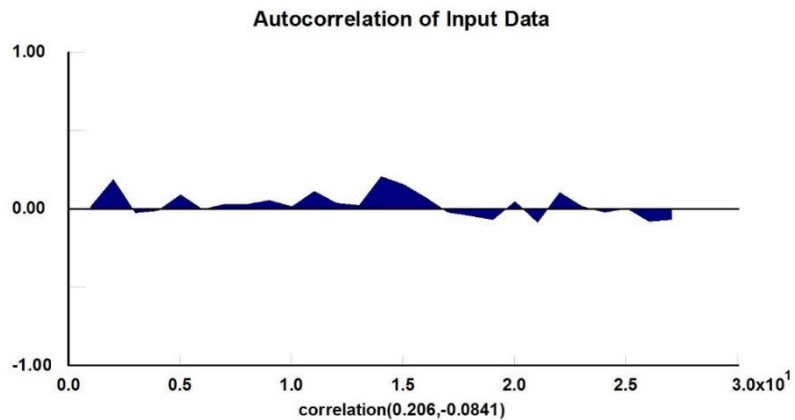
**Gráfica 3. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Interchange**



Fuente: Análisis en StatGraphics realizado por los autores.

**Estadístico Durbin-Watson** = 1,96033 (P=0,4090); Teniendo en cuenta el resultado del estadístico de Durbin-Watson como el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

**Gráfica 4. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Interchange**



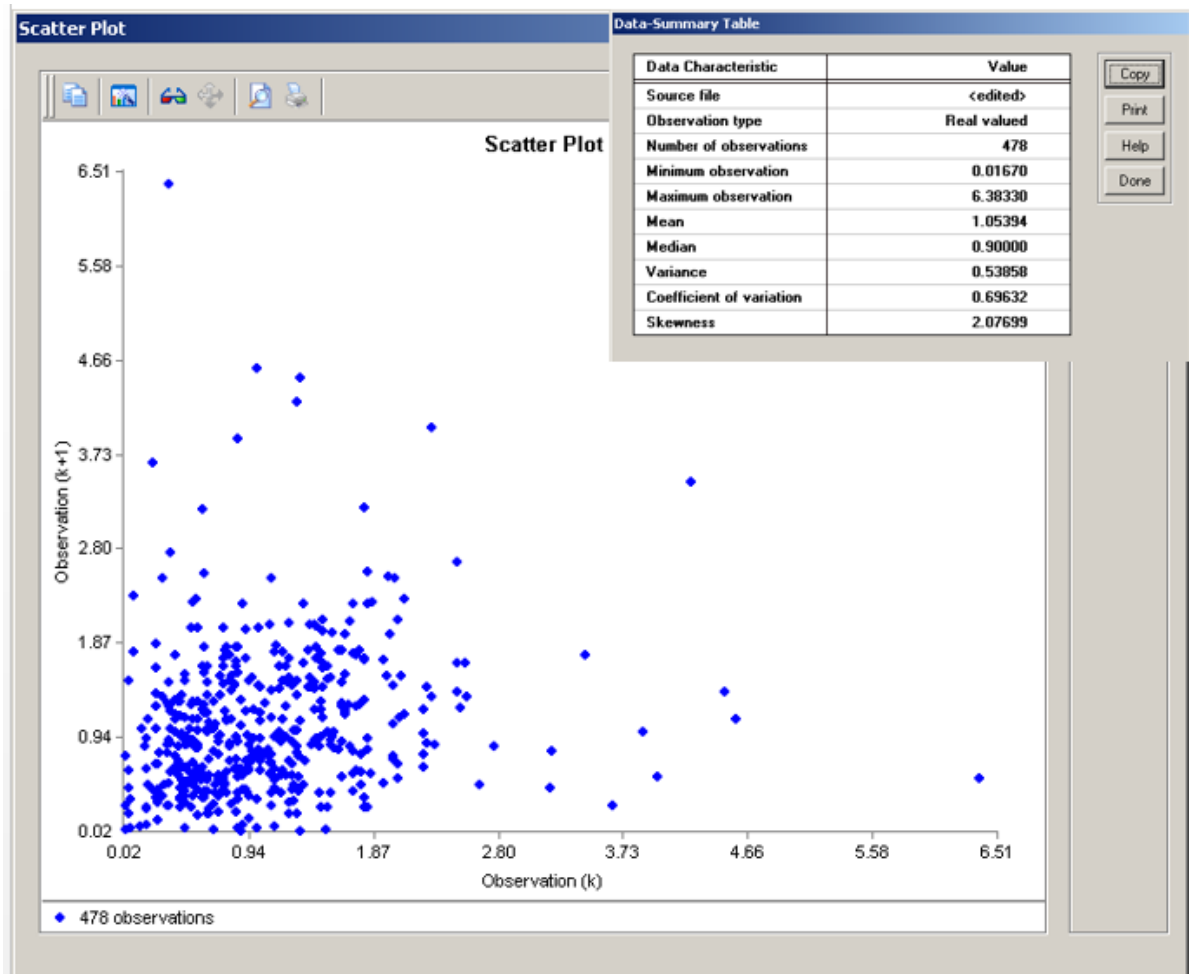
Fuente: Análisis en StatFit realizado por los autores.





La gráfica anterior, refleja que los datos se encuentran en un intervalo de correlación por debajo de 0,5, por lo cual, se cumple el supuesto de independencia.

**Gráfica 5. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor seguridad física.**

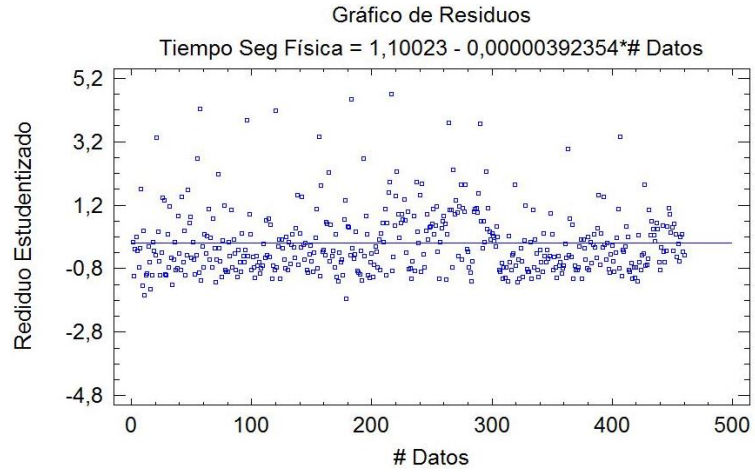


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 5 muestra que los datos son independientes (aleatorios), puesto que no siguen un patrón en específico.



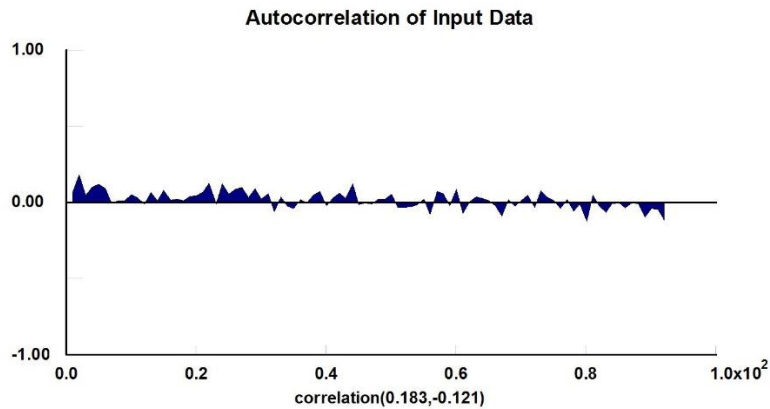
**Gráfica 6. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Seguridad Física**



Fuente: Análisis en StatGraphics realizado por los autores.

**Estadístico Durbin-Watson** = 1,87247 ( $P=0,0859$ ); Teniendo en cuenta el resultado del estadístico de Durbin-Watson como el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

**Gráfica 7. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Seguridad Física**

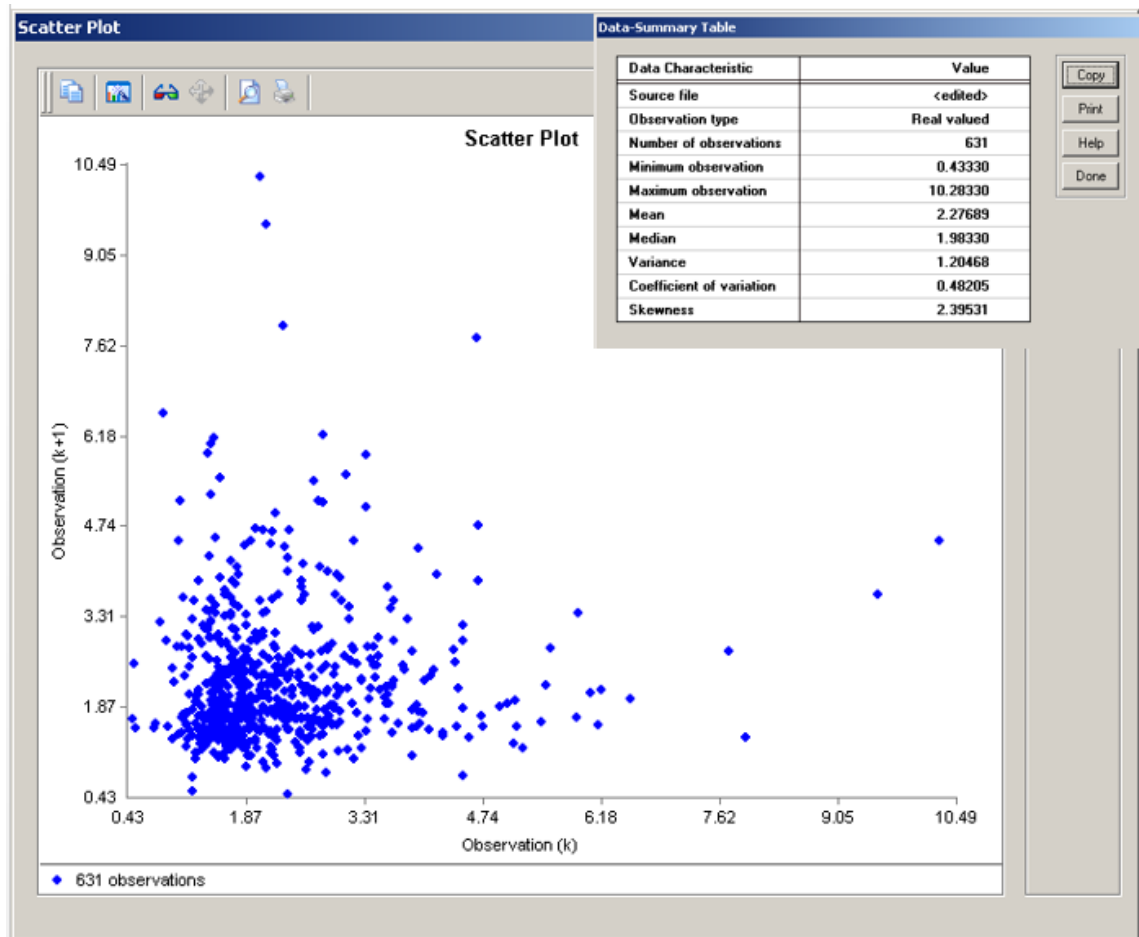


Fuente: Análisis en StatFit realizado por los autores.



La gráfica anterior, refleja que los datos se encuentran en un intervalo de correlación por debajo de 0,5, por lo cual, se cumple el supuesto de independencia.

**Gráfica 8. Diagrama de dispersión de la muestra de tiempos de servicio del servidor báscula.**

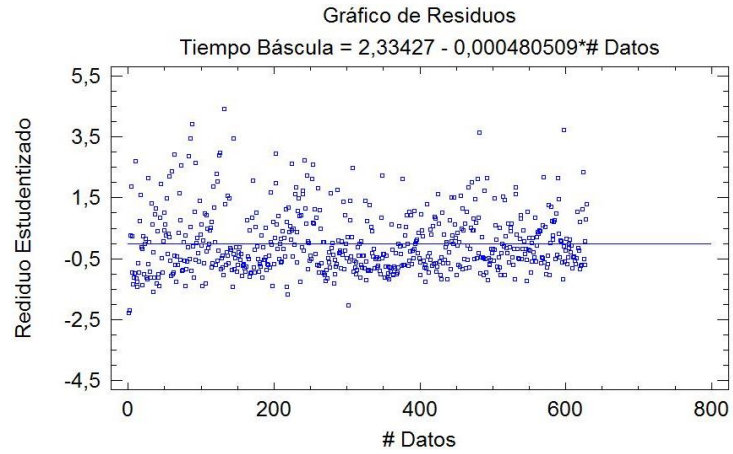


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 8 muestra que los datos son independientes (aleatorios), puesto que no siguen un patrón en específico.



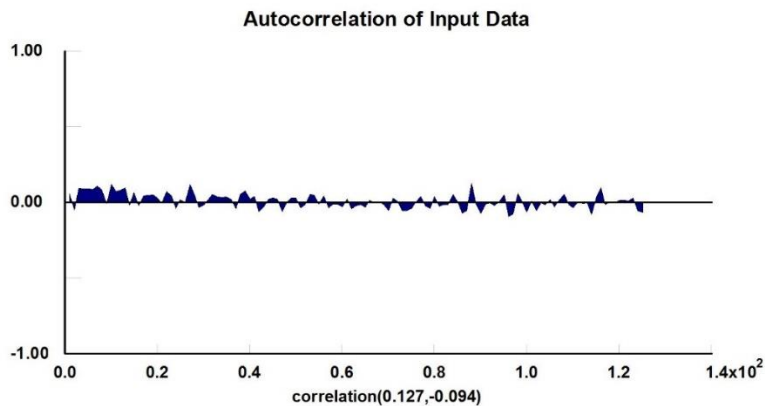
**Gráfica 9. Gráfico de Residuos Tiempo de Atención Báscula**



Fuente: Análisis en StatGraphics realizado por los autores.

**Estadístico Durbin-Watson** = 1,89814 ( $P=0,1007$ ); Teniendo en cuenta el resultado del estadístico de Durbin-Watson como el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

**Gráfica 10. Gráfico Autocorrelación Tiempo de Atención Báscula**



Fuente: Análisis en StatFit realizado por los autores.

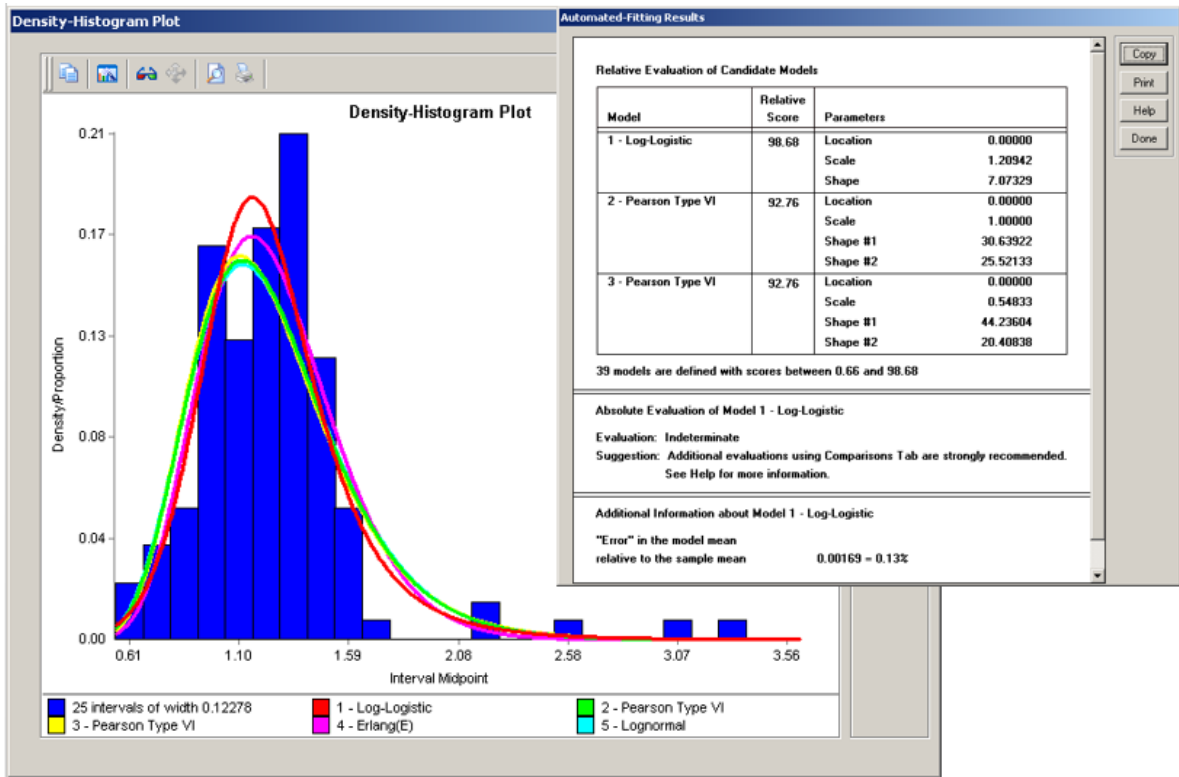


La gráfica anterior, refleja que los datos se encuentran en un intervalo de correlación por debajo de 0,5, por lo cual, se cumple el supuesto de independencia.

Continuando con el análisis de datos se procede a evaluar la distribución de probabilidad que mejor representa el comportamiento de cada servidor en cuanto a tiempo de servicio. Con la ayuda de Expertfit, en la opción “Automated Fitting”, se ajusta, clasifica y evalúan las distribuciones continuas, diferentes a la normal, debido a que esta puede tomar valores negativos, los cuales resultarían inconsistentes con el rango de los tiempos de servicio. Para tal fin se utilizaran graficas como histogramas, gráficas P-P (probabilidad-probabilidad) y la gráfica de diferencia entre distribuciones, las cuales permiten hacer comparaciones entre los histogramas de la muestra y el modelo de distribución de probabilidad. Del análisis se obtienen los siguientes resultados:



**Gráfica 11. Distribuciones de probabilidad para servidor interchange.**



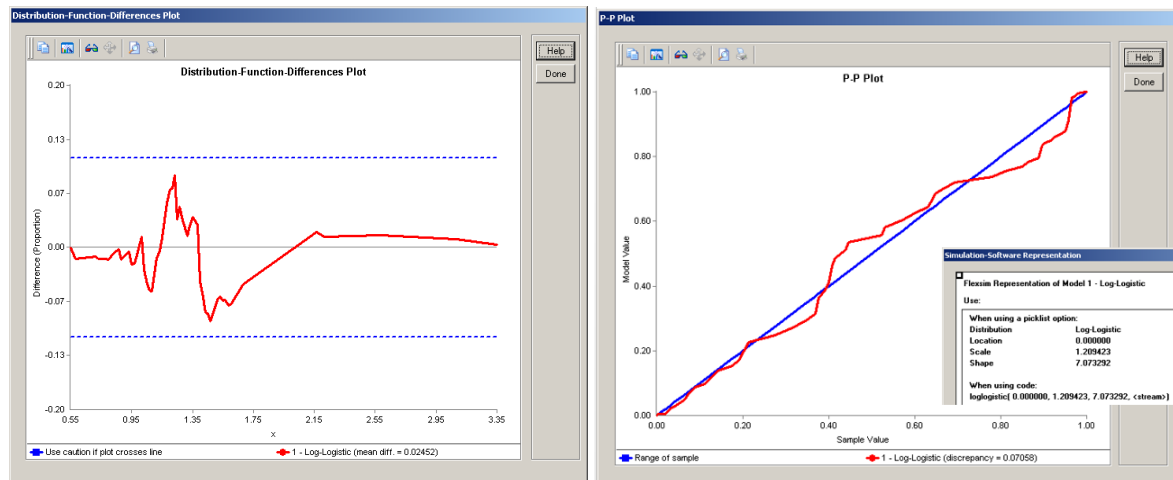
Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 11 muestra el histograma de los datos para los tiempos de servicio del interchange, junto a los resultados de las distribuciones que más se ajustan identificando cada uno de sus parámetros. En este análisis la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos es la Log-Logistics con parámetros, Location: 0; Scale: 1,2094; Shape: 7,0732; Experfit además sugiere 2 distribuciones adicionales. Es de notar que las distribuciones no ofrecen un gran ajuste al histograma, pero se toma como válida para representar el comportamiento del interchange, puesto que no fue posible conseguir más datos como los que se tomaron para, puesto que Contecar no lo permitió al considerar peligroso la toma de estos por estar expuestos a los peligros que se pueden generar en la zona de



acceso de camiones en la que se ubica dicho servidor, colocando en riesgo nuestra seguridad personal y la de las operaciones portuarias.

### Gráfica 12. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio interchange.

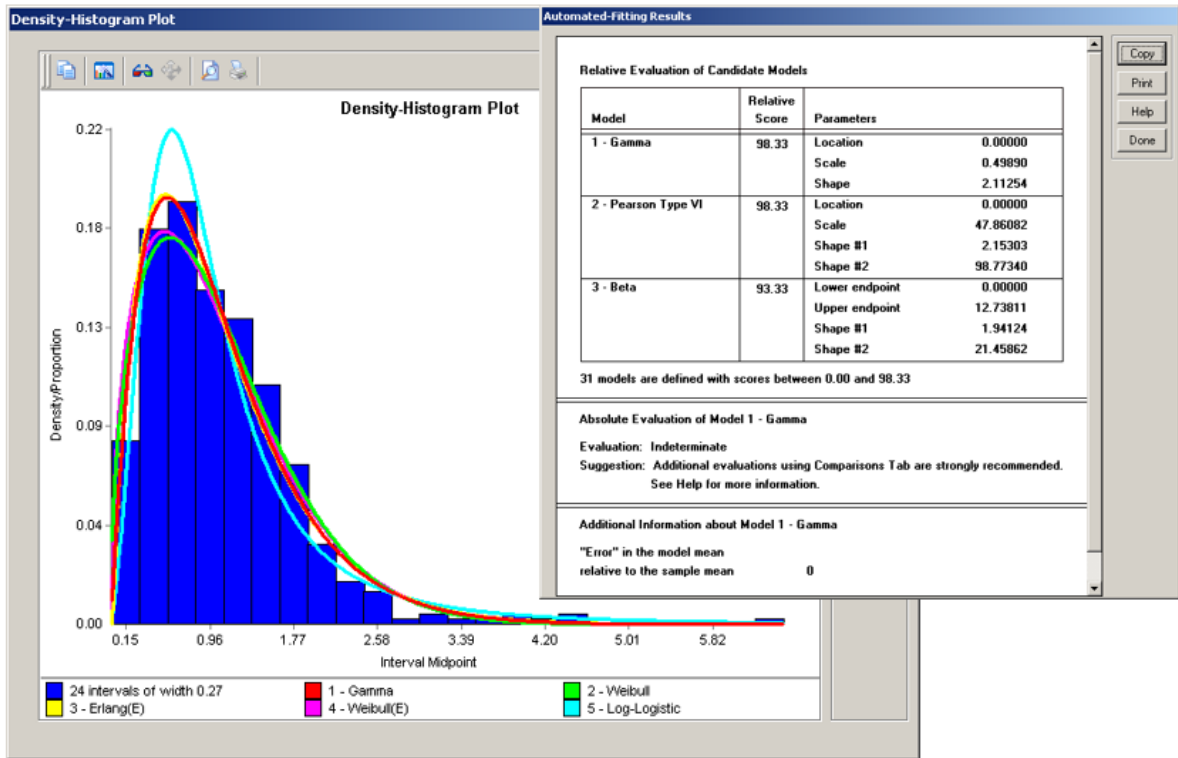


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 12 muestra el ajuste que presentan los datos a la Distribución Log-Logistics. La gráfica de diferencia entre distribuciones muestra que existe variabilidad en los datos hacia la parte central del grafico pero muestra un buen ajuste al final de este con tendencia hacia la línea central, además la proporción entre las diferencias (línea roja) se mantiene dentro de los límites de error (líneas punteadas) los cuales dependen del tamaño de la muestra utilizada. En ambas gráficas se nota una tendencia de ajuste hacia la línea central. La notación de la distribución Log-Logistics en Flexsim, para el servidor interchange, es la siguiente: **loglogistics(0.00000, 1.209423, 7.073292, <stream>).**



**Gráfica 13. Distribuciones de probabilidad para servidor de seguridad física.**



Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 13 muestra el histograma de los datos para los tiempos de servicio de seguridad física, junto a los resultados de las distribuciones que más se ajustan identificando cada uno de sus parámetros. En este análisis la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos es la Gamma con parámetros, Location: 0; Scale: 0,49890; Shape: 2,11254.

Se llega a esta conclusión, al tener en cuenta el empate resultante con el puntaje relativo para las 2 mejores distribuciones: 1 – Gamma y 2 – Person Tipo VI. Esto llevó a realizar Pruebas de Bondad de Ajuste, que es un test, con una hipótesis estadística, usado para evaluar si los datos de una muestra aleatoria son

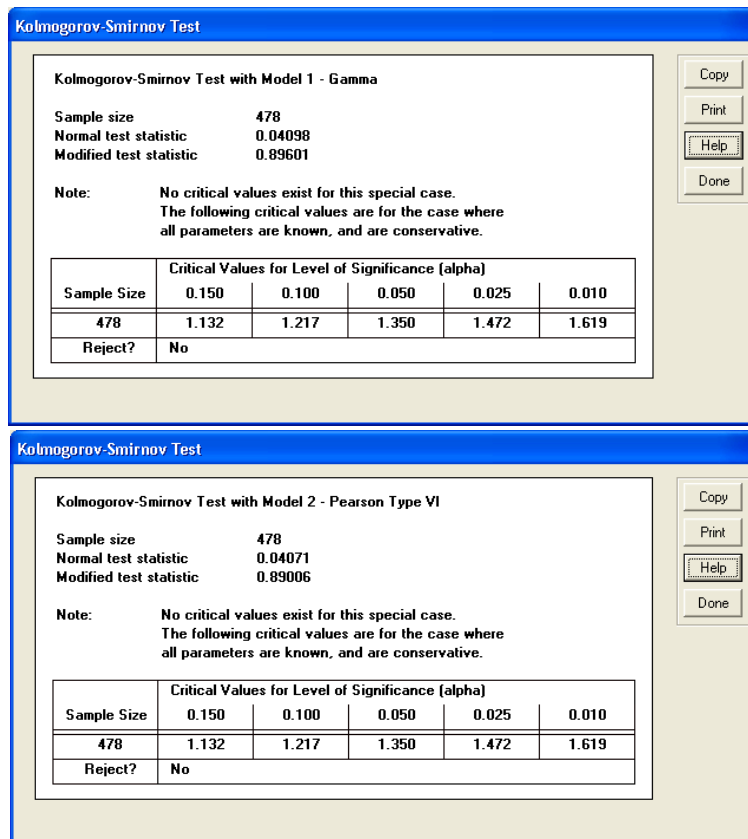




independientes para una distribución ajustada a ellos<sup>11</sup>, es decir, este test mide la compatibilidad en el ajuste entre la distribución seleccionada y nuestros datos. Las pruebas que se tendrán en cuenta para ello son: Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado.

En las figuras siguientes se muestra el resultado para cada una de las pruebas, con las distribuciones empatadas.

**Figura 13. Resultado Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov para Distribución Gamma y Pearson VI en servidor de Seguridad Física**

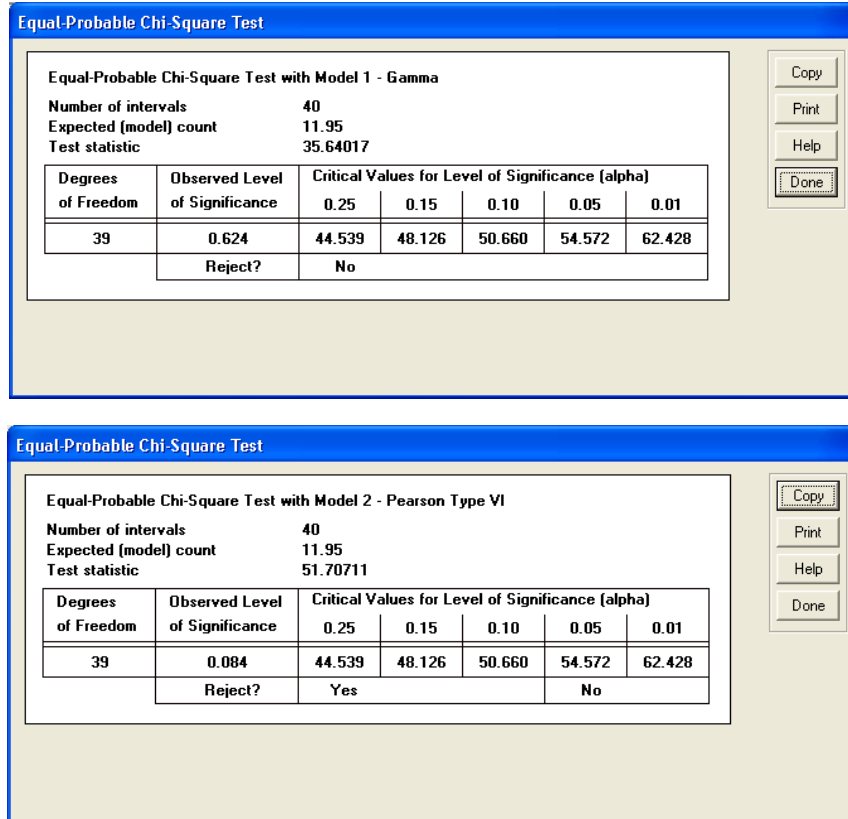


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

<sup>11</sup> LAW, Averill M. Simulation Modeling and Analysis. 4 Ed. New York: McGraw Hill (Series in Industrial Engineering and Management Science). 2007. p236.



**Figura 14. Resultado Prueba de Bondad de Ajuste Chi-cuadrado para Distribución Gamma y Pearson VI en servidor de Seguridad Física**



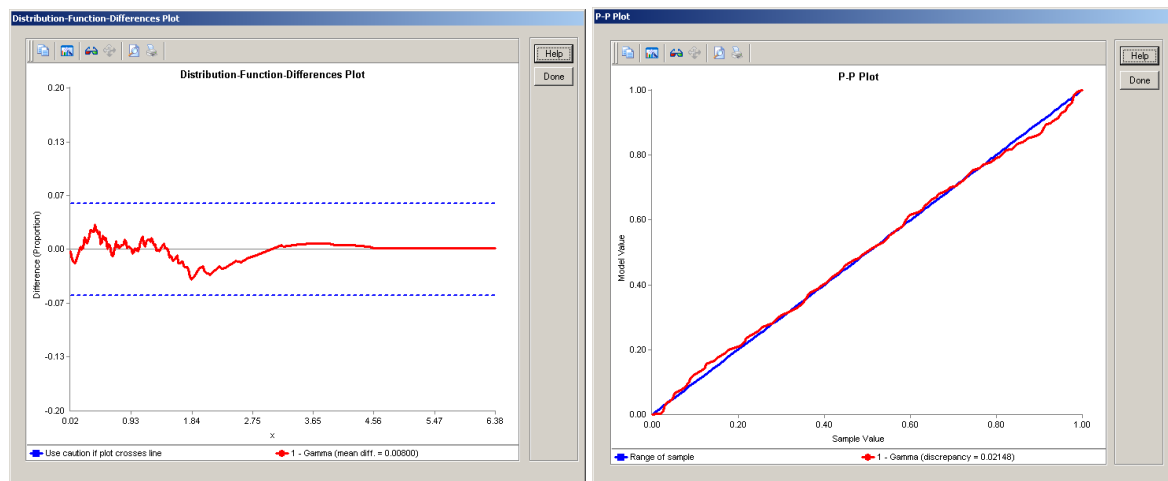
Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado, para las distribuciones Gamma y Pearson VI, se observa que para la prueba Kolmogorov-Smirnov se aceptan ambas distribuciones teniendo en cuenta los valores críticos de  $\alpha$ , mientras que existe una diferencia en la prueba Chi-cuadrado, al rechazar la distribución Pearson VI para los valores críticos con nivel de significancia:  $\alpha=0,25$ ,  $\alpha=0,15$  y  $\alpha=0,10$ ; puesto que el estadístico (51,70711) es mayor que los valor críticos de  $\alpha$  (44,539 – 48,126 – 50,660). Se anota además, que en experfit, la diferencia de la distribución Gamma con la muestra es de 0.0080, mientras que la de la Pearson es 0.0083; y la discrepancia relativa de la



Gamma es 0.02148 mientras que la de la Pearson es 0.02233. Son estos los motivos por los que la Distribución Gamma se elige para representar el comportamiento de atención a camiones para el servidor de Seguridad Física de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A., a pesar de que gráficamente, ambas distribuciones sean muy parecidas.

### Gráfica 14. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio seguridad física.

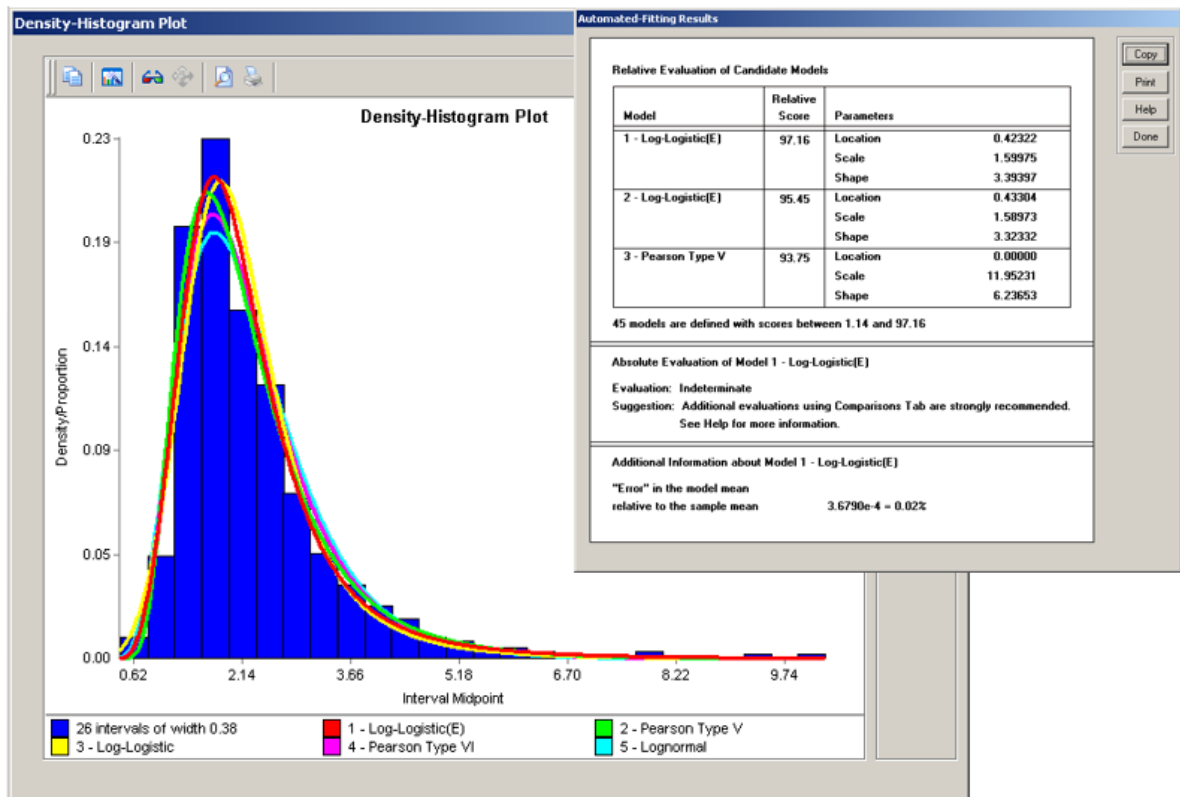


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 14 muestra el ajuste que presentan los datos a la Distribución Gamma. La gráfica de diferencia entre distribuciones muestra que existe variabilidad en los datos en la parte inicial del grafico pero muestra un buen ajuste al final de este con tendencia hacia la línea central, además la proporción entre las diferencias (línea roja) se mantiene dentro de los límites de error (líneas punteadas) los cuales dependen del tamaño de la muestra utilizada. En la gráfica P-P se nota una fuerte tendencia de ajuste hacia la línea central. La notación de la distribución Gamma en

Flexsim, para el servidor de seguridad física, es la siguiente: **gamma(0.00000, 0.498896, 2.112544, <stream>).**

**Gráfica 15. Distribuciones de probabilidad para servidor de báscula.**

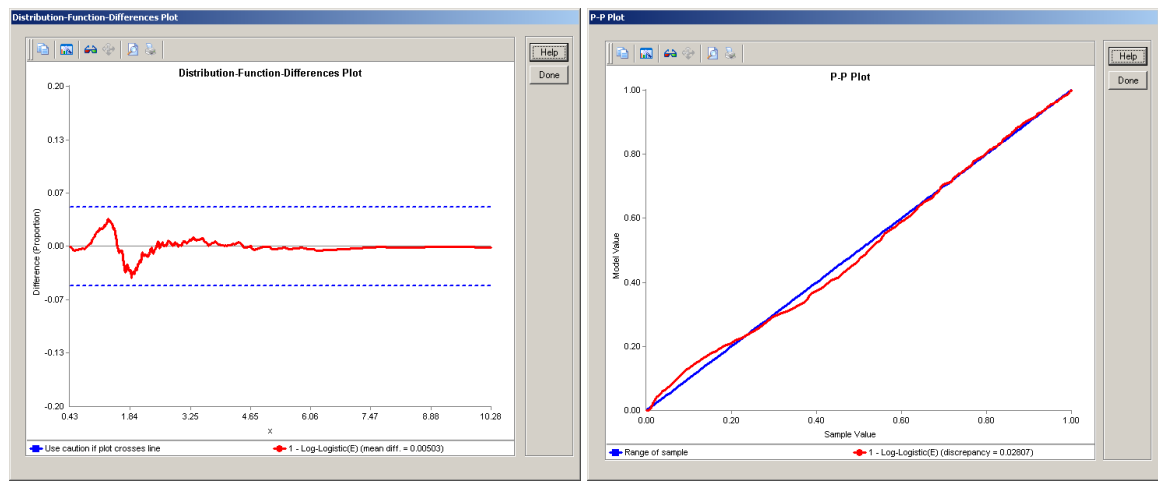


Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La **Gráfica 15** muestra el histograma de los datos para los tiempos de servicio de seguridad física, junto a los resultados de las distribuciones que más se ajustan identificando cada uno de sus parámetros. En este análisis la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos es la Log-Logistics con parámetros, Location: 0,42322; Scale: 1,59975; Shape: 3,39397; Experfit además sugiere

distribuciones adicionales: Log-Logistics y Pearson VI, identificando los parámetros que se muestran en la gráfica anterior.

**Gráfica 16. Gráficas de Diferencia de Distribuciones y P-P de para tiempo servicio báscula.**



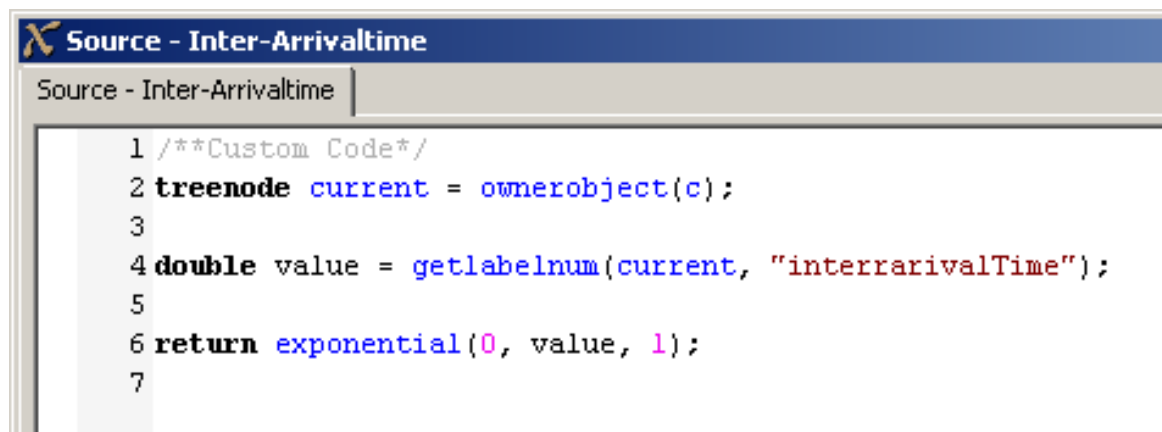
Fuente: Análisis en Experfit realizado por los autores.

La Gráfica 16 muestra el ajuste que presentan los datos a la Distribución Log-Logistics. La gráfica de diferencia entre distribuciones muestra que existe variabilidad en los datos en la parte inicial del gráfico pero muestra un buen ajuste al final de este con tendencia hacia la línea central, además la proporción entre las diferencias (línea roja) se mantiene dentro de los límites de error (líneas punteadas) los cuales dependen del tamaño de la muestra utilizada. En la gráfica P-P se nota una fuerte tendencia de ajuste hacia la línea central. La notación de la distribución Log-Logistics en Flexsim para el servidor báscula es la siguiente: **loglogistics(0.432322, 1.59975, 3.39397, <stream>).**



Al modelo también se anexaron comportamientos para el arribo o tiempo entre llegadas de camiones al puerto, se utilizó una distribución exponencial puesto que el número de camiones que arriban dentro de una hora está uniformemente distribuido alrededor del promedio. No se especificó un tiempo promedio entre arribos, más bien se dejó como una variable abierta que varía dependiendo los diferentes escenarios y experimentos que se ejecutaron. En Flexsim se representó como: **exponential(0, promedio, <stream>)**, en donde <stream> hace referencia a un generador de números aleatorios específico de Flexsim. Para mayor detalle se muestra el código fuente que muestra el comportamiento de la distribución a continuación.

**Figura 15. Detalle notación en flexsim de la distribución exponencial para el proceso de arribo de camiones.**



```
1 /**Custom Code*/
2 treenode current = ownerobject(c);
3
4 double value = getlabelnum(current, "interrarivalTime");
5
6 return exponential(0, value, 1);
7
```

Fuente: Los autores.

A continuación se presenta una tabla para resumir las distribuciones de probabilidad a utilizar en el modelo de simulación, para el comportamiento de los tres tipos de servidores y el arribo de camiones al sistema.



**Tabla 3. Distribuciones de Probabilidad utilizadas en el modelo de simulación**

ELEMENTO	DISTR. PROBABILIDAD	NOTACIÓN FLEXSIM
Arribo de Camiones	Exponencial	exponential(0, value, 1)
Tiempo de Servicio Interchange	Log-Logistic	loglogistics(0.00000, 1.209423, 7.073292, <stream>)
Tiempo de Servicio Seg. Física	Gamma	gamma(0.00000, 0.498896, 2.112544, <stream>)
Tiempo de Servicio Báscula	Log-Logistic	loglogistics(0.432322, 1.59975, 3.39397, <stream>)

Fuente: Los autores

### 3.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Flexsim es un software especializado utilizado para la simulación de eventos discretos, esto quiere decir, que con él se puede modelar sistemas en los cuales se presentan cambios de estados en puntos discretos de tiempo como resultado de la ocurrencia de ciertos eventos. Al construir un modelo de simulación con Flexsim, se debe tener en cuenta la Librería de Objetos, la cual está compuesta por objetos que al incluirlos en el modelo interactúan entre sí, según flujos establecidos, simulando el comportamiento de los diferentes recursos en el sistema.

Para la construcción del modelo de simulación de la puerta de acceso de Contecar en Flexsim, se deben definieron las unidades de tiempo y distancia que regirán el modelo, además de los diferentes objetos (Objects) que tendrá el modelo, tales como: Source, Queue, Processor y Sink; además de las conexiones entre estos, las cuales permitirán que las entidades o camiones (flowitems) se muevan en el sistema pasando por las diferentes etapas. El Source tiene como fin crear los camiones que se moverán en el modelo. Los Queue representan las colas de los distintos servidores, mientras que los Processor imitan el comportamiento de estos, es decir, el Interchange, Seguridad Física y Básculas.



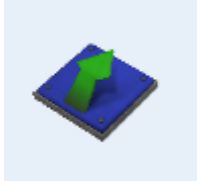
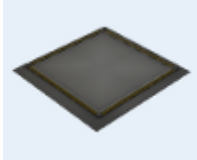

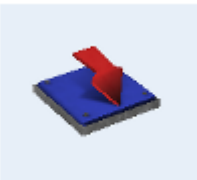
El modelo de simulación fue construido teniendo en cuenta la situación actual de la Terminal, actualmente la puerta de acceso de camiones de Contecar está compuesta por una calle de acceso principal que posee cuatro carriles vehiculares, dos de acceso y dos de salida, su longitud es de 162 metros y corresponde al primer servidor del sistema llamado Interchange. Luego se pasa al proceso de seguridad física que está compuesto por seis carriles, tres de acceso y tres de salida, para llegar a la última etapa del sistema que es el proceso de báscula.

En las siguientes tablas, se describen los objetos de Flexsim utilizados en la elaboración del modelo de simulación, y los elementos del sistema real que representan.





**Tabla 4. Descripción de objetos de Flexsim utilizados en la construcción del modelo de simulación**

OBJETO	DESCRIPCIÓN
<p><b>Source</b></p> 	<p>Tiene como fin crear los Flowitems que se moverán en el modelo del sistema. Un source puede crear un solo tipo de flowitem, además asigna las propiedades que estos deben tener según el modelo, incluyendo el tiempo entre arribos.</p>
<p><b>Queue</b></p> 	<p>Es usada para almacenar los flowitems que un objeto siguiente a esta no puede aceptar o atender. La decisión que implica dicha acción es tomada según las políticas que rigen el comportamiento de la cola.</p>
<p><b>Processor</b></p> 	<p>Son usados para simular el procesamiento o transformación de los flowitems en el modelo, siguiendo unos parámetros de tiempo y capacidad determinados según el sistema real.</p>
<p><b>Sink</b></p> 	<p>Es usado para sacar del sistema los flowitems que finalizaron su proceso.</p>

Fuente: Los autores



**Tabla 5. Equivalencias entre los elementos del sistema real y objetos de Flexsim**

<b>ELEMENTOS DEL MODELO DE LA PUERTA DE ACCESO</b>	
<b>Elementos Reales</b>	<b>Objetos Flexsim</b>
<b>Camiones</b>	Flowitems
<b>Cola Interchange</b>	Queu
<b>Cola Seg. Física</b>	Queu
<b>Cola Báscula</b>	Queu
<b>Interchange</b>	Processor
<b>Seguridad Física</b>	Processor
<b>Básculas</b>	Processor
<b>Generador de Camiones</b>	Source
<b>Fin. Ciclo de Camiones</b>	Sink

Fuente: Los autores

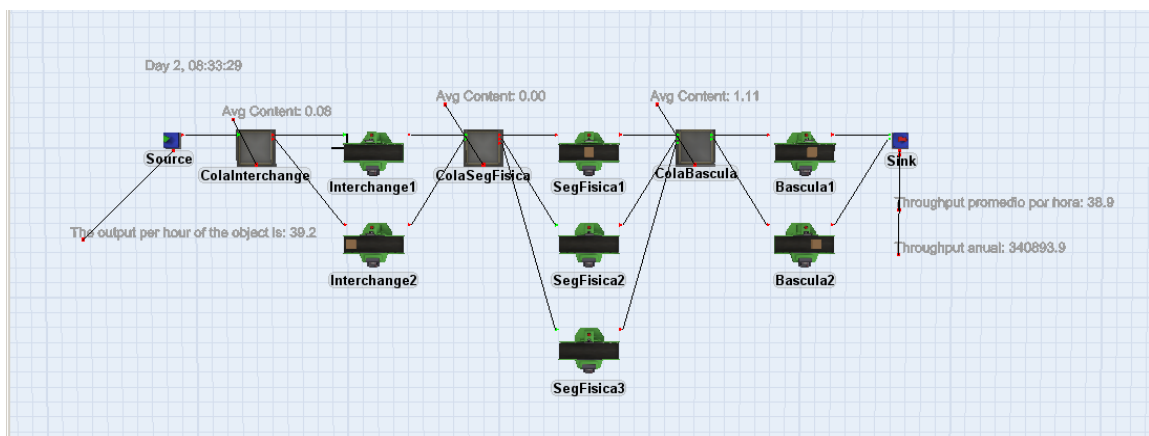
La introducción de dichos objetos se realiza por medio de la librería de objetos de Flexsim, la cual los tiene predefinidos. Posteriormente, se le pueden dar características a cada objeto desde su ventana de propiedades, como por ejemplo el nombre, capacidad, tiempos de operación, condiciones de funcionamiento y otra serie de particularidades que definirán su comportamiento a lo largo de la simulación. Una vez se establecen las propiedades de cada objeto del modelo, se especifican las conexiones entre ellos, determinando así los movimientos de las entidades (flowitems) a través del sistema. Es de anotar que todos los objetos se definen de diferente manera de acuerdo con su propósito.

El modelo de simulación debe seguir la estructura descrita en la Sección 3.1, el cual inicia con el arribo de camiones y avanzará en el sistema al pasar por todos los servidores y sus colas, es decir el camión arriba al sistema, pasa a la cola del



interchange para ser atendido por este, una vez finaliza este proceso pasa a la cola de seguridad física para esperar ser atendido, superada esta etapa llega a báscula pasando antes por la fila de espera del proceso. Para mayor ilustración con respecto al proceso se muestra la Figura 16, que describe conceptualmente la interacción entre las colas y los servidores de la puerta de acceso de Contecar, además en el **Anexo C** se muestra el diagrama de flujo para todo el sistema. Cabe anotar que su operación está marcada por la información descrita en las *Tablas 1 y 2*.

**Figura 16. Vista del Modelo de Simulación en Flexsim**



Fuente: Los autores

### 3.3.1 Supuestos del modelo de simulación

- ✓ El Puerto cuenta con un sistema de Citas para arribo de Camiones, las citas se otorgan de 07: AM a 07:00 PM de lunes a sábado.
- ✓ De 365 días - año se tienen en cuenta sólo los días laborales, de lunes a sábado, que son  $292 - ((6/7)*365)-20$



- ✓ La puerta, según el diseño del modelo, opera 12 horas al día.
- ✓ El tiempo de la simulación está representado en minutos.
- ✓ Las corridas de los modelos son de 720 minutos cada una (12 hrs x 60 min).
- ✓ La máxima capacidad que el sistema puede otorgar es:  $(292 \times 12) = 3504$  Horas.
- ✓ Los modelos de simulación son construidos y diseñados con datos reales obtenido de la Terminal de Contenedores de Cartagena.
- ✓ No se consideran interrupciones en la operación del sistema.

#### Conversión de Camiones por Hora a Capacidad Anual

- ✓ **Capacidad anual del sistema** =  $292 \times 12 \times$  camiones procesados por hora (Resultados Simulador)
- ✓ Para cada uno de los Modelos a simular, se crearon veinte escenarios distintos, que se generarán de acuerdo con el tiempo entre arribos para camiones al sistema, siguiendo el siguiente patrón:

Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario ...	Scenario 18	Scenario 19	Scenario 20
2	1,9	1,8	1,7	...	0,3	0,2	0,1

- ✓ En el Source se creó una etiqueta, con un valor numérico, llamada InterarrivalTime. Se especificó el tiempo entre arribos como una distribución exponencial, que como media usa el valor almacenado en la etiqueta.
- ✓ Las capacidades para cada una de las colas, en el sistema actual, son las siguientes:

Cola	Capacidad
Interchange	8
Seguridad Física	2
Báscula	3



### 3.3.2 Validación y calibración del modelo

Calibrar y validar el modelo es quizá la etapa más crítica y fundamental de la construcción de un modelo de simulación, puesto que tiene como propósito asegurar la capacidad de reproducir y obtener datos fiables que reflejen o se asemejen a los que se logran en la realidad de la Terminal, mediante el establecimiento de indicadores de desempeño del sistema. Para el presente estudio, los indicadores que mejor representan y aportan para el conocimiento del funcionamiento del sistema son:

- Cantidad promedio de camiones atendidos en el sistema por día
- Tiempo de duración de un camión en el sistema
- Cantidad de camiones en cola interchange en promedio por día

Es de anotar que los indicadores descritos, el que se utilizará para validar el modelo es la cantidad de camiones atendidos en el sistema por día y año, puesto que es el único de los indicadores que hoy se miden por la Terminal. Los otros dos indicadores no se miden hoy día en Contecar, y medirlos representa un esfuerzo enorme y gran cantidad de tiempo y recursos que para efectos del presente trabajo no es viable.

Para validar el modelo de simulación se seguirá la metodología siguiente, teniendo en cuenta solo la cantidad de camiones atendidos por el sistema en un día:

La fórmula para calcular el tamaño de la muestra es:

$$\eta_{\alpha} = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad (1)$$

Esta se rige bajo los siguientes parámetros:

- ✓ Error establecido (e): 5%
- ✓ Nivel de confianza ( $\alpha/2$ ): 95%



- ✓ Valor de Z: 1,96
- ✓ Varianza  $\sigma^2$  de los datos

**a. Toma de datos para premuestra y cálculo de la muestra con datos reales:** Se tomará una muestra piloto de 20 datos, para la cantidad de camiones atendidos en la puerta de acceso de Contecar, con el fin de determinar el tamaño de observaciones necesarias para comparar los estadísticos reales con los simulados. Estos datos se muestran a continuación:

**Tabla 6. Calculo del tamaño de la muestra para datos de la realidad**

Cantidad de Camiones Atendidos		Calculo de la Muestra	
574	496	Media	528
451	543	Desv. Stand	38,47
555	549	Varianza	1480,24
517	536	N. Confianza	95%
478	468	Error	5%
532	524	Valor Z	1,96
575	596		
482	544	Tam. Muestra	2274595
555	536		
546	496		

Fuente: Los autores

La tabla anterior muestra que el tamaño de la muestra representativa según los cálculos es de 2.274.595 datos.

**b. Toma de datos para premuestra y cálculo de la muestra con datos modelo de simulación:** se harán corridas piloto del modelo de simulación, para determinar la muestra representativa o el número de corridas



necesarias que garanticen resultados parecidos a los de la realidad al hacer las comparaciones de los parámetros estadísticos para cada uno. Para ello se tomó como premuestra 50 corridas del modelo inicial, obteniendo los resultados descritos a continuación.

**Tabla 7. Calculo tamaño de la muestra para determinar número de corridas del modelo de simulación**

Cantidad de Camiones Atendidos					Calculo de la Muestra	
503	522	534	523	544	Media	509,46
528	503	518	500	513	Desv. Stand	19,50
509	472	498	497	512	Varianza	380,38
496	512	506	508	479	N. Confianza	95%
503	492	511	503	464	Error	5%
500	481	495	530	544	Valor Z	1,96
526	527	488	502	513		
500	538	490	555	492	Tam. Muestra	584501
499	533	532	527	503		
530	490	529	489	510		

Fuente: Los autores

La tabla anterior muestra que el tamaño de la muestra representativo según los cálculos es de 584.501 corridas.

- c. **Recolección datos reales para la muestra:** recolectar 2.274.595 de datos, representa una cantidad muy grande de datos, que en realidad nunca podría recolectarse tal información. Por tal motivo, para resultados de este trabajo se tomaron datos correspondientes al último año de operación del subsistema de la puerta de acceso, los cuales mostrarán y permitirán tomar buenas decisiones con respecto a su comportamiento actual, estos datos se muestran en el **Anexo D** y fueron suministrados por Contecar S.A.



- d. Corridas para la muestra en Flexsim:** la cantidad de corridas que se calculó para el modelo de simulación fue de 246.631, cantidad considerada por los autores como muy elevada, puesto que esta cantidad de corridas demanda de mucho tiempo (aproximadamente 4 días corridos). Por tal motivo, para resultados de este trabajo se tomará como muestra 100 corridas del subsistema de la puerta de acceso que mostraran e imitaran su comportamiento, considerando esta una cantidad de réplicas suficientes para emitir conceptos al respecto del modelo, para ello se manejará un intervalo de confianza del 95% en los resultados que arroja el simulador.
- e. Prueba de hipótesis:** para validar el modelo se recurrirá a la formulación de hipótesis, en este caso para el promedio de camiones atendidos en la puerta de acceso de Contecar S.A., y de esta manera establecer si existe relación o correspondencia entre los resultados de la realidad y los del modelo de simulación. Para realizar esta prueba se tomará la ayuda del software estadístico StatGraphics.

### **Prueba de hipótesis para diferencia de medias para la cantidad promedio de camiones atendidos en el sistema por día.**

#### **Hipótesis**

$H_0: \mu_1 = \bar{x}_2$ , No existe diferencia significativa entre el promedio de camiones atendidos de la realidad y el promedio de camiones atendidos del modelo de simulación actual.

$H_a: \mu_1 \neq \bar{x}_2$ , Existe diferencia significativa entre el promedio de camiones atendidos de la realidad y el promedio de camiones atendidos del modelo de simulación actual.





StatGraphics ofrece el siguiente resultado, después de introducir los requerimientos correspondientes, con un intervalo de confianza del 95,0% para la diferencia entre medias:

**Estadístico t calculado = 1,56502**

**Valor-P = 0,118394**

**No rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05**

Por lo anterior, la decisión es la siguiente:

Puesto que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza. Por esto se afirma que no existe diferencia significativa entre el promedio de camiones atendidos de la realidad y el promedio de camiones atendidos del modelo de simulación actual. Por lo tanto se concluye que entre el sistema real y el modelo de simulación de este, existe una correspondencia para el promedio de camiones atendidos.



## Figura 17. Resultados StatGraphics para la prueba de Hipótesis de diferencia de medias Realidad vs Simulación

### Pruebas de Hipótesis

Medias muestrales = 530,0 y 511,0  
Desviaciones estándar muestrales = 225,64 y 24,42  
Tamaños de muestra = 360 y 100

Intervalo aproximado del Intervalos de confianza del 95,0% para la diferencia entre medias: 19,0 +/- 23,8694 [-4,86938;42,8694]

Hipótesis Nula: diferencia entre medias = 0,0  
Alternativa: no igual  
Estadístico t calculado = 1,36502  
Valor-P = 0,118394  
No rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05.

(No asumiendo varianzas iguales).

### El StatAdvisor

Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la diferencia entre dos medias ( $\mu_1 - \mu_2$ ) de muestras provenientes de distribuciones normales. Las dos hipótesis a ser evaluadas aquí son:

Hipótesis nula:  $\mu_1 - \mu_2 = 0,0$   
Hipótesis alterna:  $\mu_1 - \mu_2 \neq 0,0$

Dada una muestra de 360 observaciones con una media de 530,0 y una desviación estándar de 225,64 y una segunda muestra de 100 observaciones con una media de 511,0 y una desviación estándar de 24,42, el estadístico t calculado es igual a 1,36502. Puesto que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores de  $\mu_1 - \mu_2$  soportados por los datos caen entre -4,86938 y 42,8694.

NOTA: al realizar esta prueba, no se ha supuesto que las desviaciones estándar de las dos muestras sean iguales. Se puede hacer esta suposición pulsando el botón secundario del ratón y eligiendo Opciones de Análisis.

Fuente: Análisis en StatGraphics realizado por los autores.

Por lo anterior, se puede decir que el modelo de simulación creado en Flexsim es totalmente válido para hacer inferencias y replicar el comportamiento real de la puerta de acceso de camiones de Contecar para la toma de decisiones tácticas y estratégicas de operación.



#### **4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE CONTECAR S.A.**

Una vez construido el modelo de simulación y superadas las fases de validación y calibración, se procede a la fase experimental, de esta forma se podrá determinar soluciones que ofrezcan un buen nivel de servicio de acuerdo con las proyecciones de crecimiento de la demanda y de igual manera satisfaga los compromisos de los transportistas y la terminal.

Este estudio consiste en analizar las variaciones que surgen como resultado de las modificaciones de los parámetros que gobiernan el comportamiento de la terminal. Las variables más significativas del proceso de la puerta de acceso de camiones son: número de puertas de los accesos y configuración del sistema operativo; flujo de llegadas de los camiones; y tiempos de servicio en cada servidor del sistema. Todos los experimentos realizados en este estudio se han ejecutado a partir de la situación actual de la Terminal de Contenedores de Cartagena y concretamente con el modelo del sistema construido en Flexsim.

##### **4.1 MODELO ACTUAL**

La representación del Modelo de Simulación que imita la operación actual de la puerta de acceso de camiones de Contecar se mostró en la Figura 16 y se describió en el *Capítulo 3*.

Después de su validación, para iniciar con el análisis de este modelo, se tienen en cuenta los resultados obtenidos una vez se hicieron las corridas en Flexsim, teniendo en cuenta los supuestos descritos en la Sección 3.3.1 para el sistema.



Este modelo de simulación fue construido teniendo en cuenta la situación actual de la Terminal, actualmente el subsistema de la puerta de acceso en Contecar está compuesto por una calle de acceso principal que posee dos carriles vehiculares, su longitud es de 162 metros y corresponde a la cola del primer proceso del sistema, Interchange, luego se pasa al proceso de Seguridad física y finalmente a la última etapa del sistema es el proceso de báscula. Las capacidades y demás datos para estos servidores y sus colas se describieron en la Tabla 1.

**Tabla 8. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación.**

	Mean (95% Confidence)					Sample Standard Deviation	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	2.9	<	3.04	<	3.18	0.7	2	5
<b>Scenario 2</b>	3.07	<	3.22	<	3.37	0.77	2	5
<b>Scenario 3</b>	3.2	<	3.36	<	3.52	0.79	2	5
<b>Scenario 4</b>	3.38	<	3.55	<	3.72	0.86	2	6
<b>Scenario 5</b>	3.52	<	3.7	<	3.88	0.88	2	6
<b>Scenario 6</b>	3.83	<	4.01	<	4.19	0.88	2	6
<b>Scenario 7</b>	4.21	<	4.37	<	4.53	0.82	3	7
<b>Scenario 8</b>	4.59	<	4.82	<	5.05	1.15	3	9
<b>Scenario 9</b>	5.18	<	<b>5.58</b>	<	5.98	1.99	3	16
<b>Scenario 10</b>	13.74	<	16.57	<	19.4	14.21	4	57
<b>Scenario 11</b>	57.44	<	62.81	<	68.18	26.94	12	127
<b>Scenario 12</b>	133.71	<	139.84	<	145.97	30.79	68	203
<b>Scenario 13</b>	232.98	<	239.37	<	245.76	32.09	152	310
<b>Scenario 14</b>	357.3	<	363.93	<	370.56	33.28	272	439
<b>Scenario 15</b>	527.73	<	534.92	<	542.11	36.07	461	619
<b>Scenario 16</b>	765.71	<	773.68	<	781.65	40.02	682	856
<b>Scenario 17</b>	1127.4	<	1136.3	<	1145.17	44.75	1050	1251
<b>Scenario 18</b>	1727.9	<	1738	<	1748.13	50.83	1620	1892
<b>Scenario 19</b>	2925.5	<	2938.2	<	2950.91	63.72	2755	3111
<b>Scenario 20</b>	6519.8	<	6535	<	6550.22	76.24	6313	6678

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



La tabla anterior muestra el resumen del comportamiento de la cola de interchange para cada uno de los 20 escenarios simulados, y cada una de sus réplicas (100), teniendo en cuenta lo explicado en la sección 3.3.2 *Validación y calibración del modelo*, para lo cual se cambia el tiempo de arribo de camiones teniendo en cuenta las variaciones establecidas, con esto se logra establecer el ritmo de llegadas para el cual el sistema alcanza su nivel de servicio más alto. Se logra identificar que la máxima capacidad del sistema se alcanza en el **Escenario 9**, en el que se maneja un tiempo entre arribos de 1,1 minuto, y muestra que en promedio, la cola del servidor de Interchange mantiene 5.58 camiones durante el tiempo de simulación, con un nivel de confianza de los resultados del 95% [5.18, 5.98], lo que quiere decir que con ese ritmo de llegadas el sistema logra estar en el límite de la cola para no afectar en gran medida el flujo vehicular del corredor de carga de Cartagena. Por esta razón, se afirma que el sistema actual no afecta las variables externas, debido a que alcanza a cubrir el manejo de carga que se está movilizand, con un tiempo entre arribos para hoy día de 1,4 minutos, pero si nos vamos a las proyecciones de la demanda futura (**VER ANEXO E**), Contecar S.A., necesita realizar cambios en su sistema para satisfacer los cambios de dicha demanda.

**Tabla 9. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema.**

Idle Time	Interchange	Seg. Física	Báscula
<b>Media</b>	47.58	<b>66.88</b>	7.26
<b>Desv. St</b>	4.28	9.81	3.73
<b>Min</b>	17.59	8.49	0.64
<b>Max</b>	53	73.54	16.47

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



**Tabla 10. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física**

Servidor	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Interchange	0.66	3.05	0.05 - 1.27	0	26.56
Seg. Física	4.14	9.12	2.32 - 5.95	0	60.57

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

El análisis realizado para la cola interchange, nos lleva a examinar los tiempos ociosos y de bloqueo para todos los servidores del sistema. En la *Tabla 9*, se puede observar que el servidor de seguridad física tiene en promedio 66.88% de tiempo ocioso, debemos tener en cuenta que esto tiene relación directa con el proceso de las básculas, puesto que cuando éstos servidores y sus colas llegan a su máxima capacidad, bloquean los procesos anteriores a estas, representando un porcentaje de tiempo bloqueado del 0.66% y 4.14% como se observa en la siguiente *Tabla 10* para los servidores Interchange y Seguridad Física respectivamente. Con esto se demuestra que la estación de la báscula es la que genera el menor tiempo ocioso, debido a que es aquí donde se crea el cuello de botella del proceso.

**Tabla 11. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema.**

	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Cola Interchange	2.52	5.37	3.59-4.66	0.19	29.27
Interchange	1.44	0.26	1.49-1.54	1.23	2.14
Cola Seg. Física	2.13	2.3	2.59-3.05	0	7.73
Seg. Física	2.53	1.46	2.82-3.12	1.05	6.83
Cola Báscula	14.51	4.6	15.43-16.35	4.93	23.88
Báscula	2.27	0.05	2.28-2.29	2.16	2.42

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



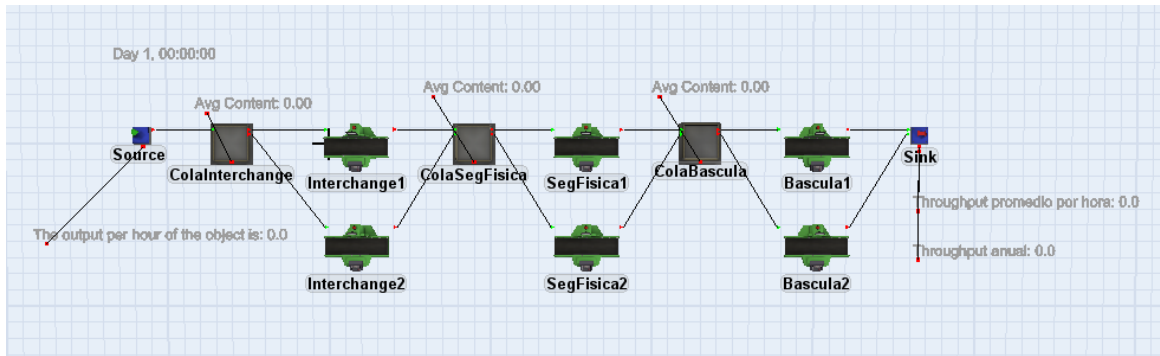
Los tiempos de espera en la cola del servidor de básculas para cada camión son considerablemente altos (14.51 minutos) en comparación con los del resto del sistema, tal como se muestra en la *Tabla 11*, esto corrobora la conclusión que los servidores de las básculas son el cuello de botella del sistema, para su mejora se debe reducir el tiempo de atención de la báscula o colocar una báscula adicional, y así dinamizar el sistema de tal manera que se logre conseguir reducciones en los tiempos de atención a camiones, mejorando el tiempo productivo para cada servidor y al final conseguir la eficiencia del sistema y el aumento de la capacidad, que para su configuración actual tiene máxima capacidad de **597 camiones diarios**, equivalentes a **174324 camiones anuales**, esto permite afirmar que Contecar S.A en su sistema de citas para camiones (con el cual entrega un lapso de tiempo de 1 hora al camión para que arribe al terminal) no debe programar más de 50 camiones por hora y con lo cual lograría atender la demanda hasta el año 2013, ver **Anexo E**.

#### **4.1.1 Variación modelo actual a 2-2-2**

La configuración del sistema actual de la puerta de acceso de Contecar S.A. tiene la estructura **2-3-2** (notación que hace referencia a los servidores del proceso: Interchange, Seguridad Física y Báscula, respectivamente), a continuación se harán experimentos con el sistema para comprender mejor su comportamiento, en la figura siguiente se detalla esta configuración.

**Figura 18. Vista del modelo de simulación para configuración 2-2-2**





Fuente: Los autores

Este modelo se creó para buscar comprender la variaciones en el funcionamiento que podría generar el disminuir la cantidad de servidores de inspección física y atender a la situación que le representa al sistema el total de tiempo ocioso y bloqueado que tienen los servidores de Seguridad Física.





**Tabla 12. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 2-2-2**

	Mean (95% Confidence)					Sample Standard Deviation	Min	Max
		<		<				
<b>Scenario 1</b>	2.84	<	2.99	<	3.14	0.76	2	5
<b>Scenario 2</b>	2.96	<	3.12	<	3.28	0.82	2	6
<b>Scenario 3</b>	3.12	<	3.29	<	3.46	0.87	2	6
<b>Scenario 4</b>	3.32	<	3.51	<	3.7	0.97	2	7
<b>Scenario 5</b>	3.52	<	3.71	<	3.9	0.98	2	7
<b>Scenario 6</b>	3.7	<	3.9	<	4.1	0.98	2	7
<b>Scenario 7</b>	3.98	<	4.18	<	4.38	1.02	2	8
<b>Scenario 8</b>	4.41	<	4.68	<	4.95	1.36	3	13
<b>Scenario 9</b>	5.45	<	6.39	<	7.33	4.73	3	31
<b>Scenario 10</b>	16.78	<	20.26	<	23.74	17.49	3	79
<b>Scenario 11</b>	65	<	70.49	<	75.98	27.54	13	145
<b>Scenario 12</b>	139.55	<	145.7	<	151.85	30.85	71	232
<b>Scenario 13</b>	235.39	<	242.4	<	249.41	35.22	144	339
<b>Scenario 14</b>	362.2	<	369.39	<	376.58	36.11	261	476
<b>Scenario 15</b>	532	<	539.5	<	547	37.65	426	647
<b>Scenario 16</b>	768.67	<	777.38	<	786.09	43.7	675	894
<b>Scenario 17</b>	1126.23	<	1135.61	<	1144.99	47.11	1026	1265
<b>Scenario 18</b>	1723.56	<	1734.46	<	1745.36	54.74	1608	1868
<b>Scenario 19</b>	2920.85	<	2932.95	<	2945.05	60.72	2775	3067
<b>Scenario 20</b>	6520.85	<	6539.78	<	6558.71	95.03	6321	6813

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

**Tabla 13. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 2-2-2**

Idle Time	Interchange	Seg. Física	Báscula
<b>Media</b>	29.98	26.92	1.86
<b>Desv. St</b>	11.87	14.2	1.97
<b>Min</b>	5.39	3.85	0.32
<b>Max</b>	48.17	56.48	11.22

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



**Tabla 14. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 2-2-2**

Servidor	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Interchange	9.57	11.4	11.84-14.11	0	37.65
Seg. Física	20.81	13.91	23.58-26.35	0	51.77

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Para esta simulación se puede observar en las tablas anteriores 12, 13 y 14, que para el escenario simulado al disminuir, en uno, los servidores de seguridad física el sistema sobrepasa su máxima capacidad manteniendo en promedio 20.26 camiones en la cola interchange. Esto quiere decir que el sistema siempre se encontrará trabajando al máximo y que se encontrará afectando el corredor de carga al saturarse el sistema. Con este experimento se logra concluir que a pesar de que logra disminuir el tiempo ocioso de los servidores de seguridad Física de 39.36% como se mostró en el modelo actual, a 26.92% con esta simulación, el servidor de Interchange pasa a ser el que genera mayor tiempo ocioso con 29.98%. Con relación a ello también el porcentaje de tiempo de bloqueo para el servidor de la cola de Seguridad Física que solo logra reducirse en un 1,06%, y para el servidor de la cola Interchange logra aumentarse en un 1.16% en comparación con el modelo actual, esta mejora no es viable para el proceso porque no muestra mejoras significativas y reduce un poco la capacidad del sistema.

#### **4.2 PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA ACTUAL Y EL FUTURO**



Las propuestas de mejora que se harán a continuación estarán sustentadas en el análisis de los modelos de simulación creados y descritos en esta sección, los cuales se evaluarán mediante la metodología de las 5W – 2H, es una teoría utilizada en la planeación de acciones a la hora de implementar una solución a determinada problemática<sup>12</sup>. Todas las propuestas se muestran como factibles desde el punto de vista de los recursos necesarios y de los que dispone Contecar para su implementación, teniendo en cuenta las proyecciones de expansión de la empresa.

Para cada propuesta se mantienen las capacidades de cola establecidas para el modelo de simulación de la situación actual del sistema, manteniendo los dos carriles de acceso de la cola interchange, con capacidad de 16 camiones. Lo que variará en el modelo son las cantidades de servidores para interchange, seguridad física y báscula, en donde se aclara, que para estos dos últimos también incrementarían el número de colas en igual proporción, para mayor claridad en la siguiente tabla se exponen las cantidades de servidores y capacidades de cola individuales.

---

<sup>12</sup> HERRAMIENTA 5W+2H.PDF. [En línea]. Disponible en Web: <[http://www.trema.gov.br/qualidade/cursos/5w\\_2h.pdf](http://www.trema.gov.br/qualidade/cursos/5w_2h.pdf)>

**Tabla 15. Capacidades individuales para servidores y colas de la puerta de acceso de Contecar**

Servidor	No. Servidores	Capacidad de cola
Interchange	1	No importa el número de servidores, la capacidad de la cola siempre será 16 camiones
Seg. Física	1	2
Báscula	1	3

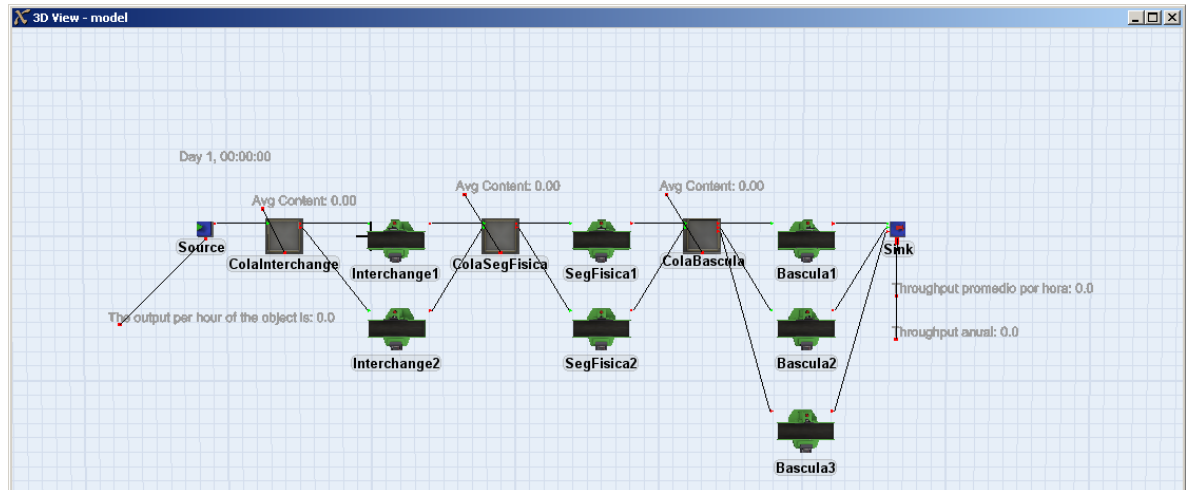
Fuente: Los autores

#### **4.2.1 Modelo puerta de acceso 2-2-3 (2 Interchange, 2 Seguridad Física, 3 Básculas)**

La situación que recrea el modelo se creó para buscar atender a la situación que le representa al sistema el total de tiempo ocioso y bloqueado que tienen los servidores de Seguridad Física, para ello recomienda quitar un servidor, y de esta manera conseguir que estos servidores utilicen su capacidad al máximo y así no generar o disminuir la cantidad de tiempos muertos; para la situación que también se presenta con relación a los altos tiempos de espera de los camiones en cola del servidor báscula, para esto se recomienda adicionar un nuevo servidor de báscula. La configuración se muestra en la **Figura 17**. Este modelo surge a partir del análisis de los resultados del modelo actual del sistema (2-3-2), en el cual se encontró que los servidores de seguridad física mantienen un porcentaje de tiempo ocioso del 39.32%, por lo que se demuestra que le sobra capacidad, mientras que el incremento en una báscula corresponde a la evidente necesidad de disminuir el tiempo de bloqueo que genera en los servidores anteriores a este, y no los afecte en gran medida por ser el cuello de botella de todo el proceso.



**Figura 19. Vista del modelo de simulación para propuesta de mejora - configuración 2-2-3**



Fuente: Los autores

Para esta simulación se puede observar en la Tabla 16, que para el modelo simulado con veinte escenarios y 100 réplicas, al disminuir en uno, los servidores de seguridad física y adicionar un servidor de Básculas el sistema logra trabajar manteniendo en promedio 11.75 camiones en la cola interchange, con un intervalo de confianza del 95% [10.63, 12,87]. Esto quiere decir que el sistema podrá trabajar con un ritmo entre llegadas de 0,7 minutos, sin afectar en gran medida la operación o el flujo normal del corredor de carga de la ciudad de Cartagena.



**Tabla 16. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 2-2-3**

	Mean (95% Confidence)					Sample Standard Deviation	Min	Max
		<		<				
<b>Scenario 1</b>	2.84	<	2.99	<	3.14	0.76	2	5
<b>Scenario 2</b>	2.96	<	3.12	<	3.28	0.82	2	6
<b>Scenario 3</b>	3.12	<	3.29	<	3.46	0.87	2	6
<b>Scenario 4</b>	3.32	<	3.51	<	3.7	0.97	2	7
<b>Scenario 5</b>	3.52	<	3.71	<	3.9	0.98	2	7
<b>Scenario 6</b>	3.7	<	3.9	<	4.1	0.98	2	7
<b>Scenario 7</b>	3.98	<	4.18	<	4.38	1.02	2	8
<b>Scenario 8</b>	4.35	<	4.56	<	4.77	1.05	3	8
<b>Scenario 9</b>	4.84	<	5.08	<	5.32	1.22	3	10
<b>Scenario 10</b>	5.39	<	5.64	<	5.89	1.26	3	10
<b>Scenario 11</b>	6.14	<	6.43	<	6.72	1.44	4	11
<b>Scenario 12</b>	7.71	<	8.04	<	8.37	1.64	5	13
<b>Scenario 13</b>	10.63	<	<b>11.75</b>	<	12.87	5.6	6	40
<b>Scenario 14</b>	63.02	<	69.41	<	75.8	32.07	9	158
<b>Scenario 15</b>	223.03	<	230.77	<	238.51	38.85	115	332
<b>Scenario 16</b>	458.01	<	466.84	<	475.67	44.33	363	569
<b>Scenario 17</b>	815.06	<	824.49	<	833.92	47.34	712	944
<b>Scenario 18</b>	1411.8	<	1422.93	<	1434.11	56.14	1288	1543
<b>Scenario 19</b>	2609	<	2621.31	<	2633.64	61.88	2456	2753
<b>Scenario 20</b>	6208.9	<	6227.96	<	6247.02	95.66	6003	6499

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

En la Tabla 17 se observa que con este experimento se logra concluir que se alcanza mantener el rango del tiempo ocioso del sistema de hoy día, con un ligero aumento en esta propuesta.



**Tabla 17. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 2-2-3**

Servidor	Media	Desv. St	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Interchange	21.29	4.41	20.41 – 22.17	5.56	29.88
Seg. Física	31.46	7.01	30.07 – 32.86	8.32	42.56
Báscula	6.18	3.22	5.54 – 6.82	0.78	15.75

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

El analizar los tiempos de ocio, nos conduce a revisar los tiempos de bloqueo para los servidores. Con este experimento se logra determinar que los tiempos de bloque representan una pequeña proporción resultando admisibles para la operación de la puerta de acceso, como se logra ver en la Tabla siguiente.

**Tabla 18. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 2-2-3**

Servidor	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Interchange	0.94	2.65	0.42 – 1.47	0	11.77
Seg. Física	3.09	5.59	1.97 – 4.2	0	23.23

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Implementar la configuración propuesta en este modelo podría mejorar la dinámica del sistema, consiguiendo reducciones en los tiempos de atención a camiones, mejoras en el tiempo productivo para cada servidor y el consecuente aumento de la capacidad del sistema, que para la configuración 2-2-3 (2 Interchange, 2 Seguridad Física, 3 Básculas), alcanzaría una capacidad máxima capacidad para



atención de camiones de **899 camiones diarios**, en promedio, equivalentes a **262508 camiones anuales**, con lo cual Contecar S.A. podría atender su demanda proyectada hasta el año 2015, cuando la demanda esperada es de 244.376 camiones anuales (ver **Anexo E**), asignando, como máximo, 75 citas para camiones en el lapso de tiempo de 1 hora y con lo cual se cumple con la meta de no afectar la circulación vehicular en el corredor de carga.

A continuación se expondrá la metodología de las 5W+2H, para la propuesta descrita anteriormente, con lo cual se dará respuesta a cualquier inquietud, y mayor conocimiento sobre la mejora a trabajar.





**Tabla 19. Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A.**

5W+2H	Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A.
¿Qué?	<b>Mejorar el desempeño de las operaciones realizadas en la puerta de acceso de camiones, estableciendo una nueva configuración de colas y servidores (2-2-3)</b>
¿Quién?	Dirección de Operaciones
¿Cuándo?	Se recomienda implementar en el menor termino posible ara así aprovechar las ventajas que ofrece esta nueva configuración - Plazo mínimo de 6 meses.
¿Dónde?	Puerta de acceso de camiones actual de la empresa Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. - Contecar S.A.
¿Por qué?	Al analizar los resultados del modelo actual se logra identificar que con su configuración (2-3-2), los servidores de interchange y seguridad física pasan un tiempo considerable entre el ocio y el bloqueo, por lo que se considera que su capacidad no está siendo utilizada adecuadamente, como consecuencia de que la báscula es el cuello de botella del sistema. Con esta nueva configuración se lograría atender la demanda proyectada para el año 2015, a diferencia de lo que ofrece el sistema actual (año 2013)
¿Cómo?	La propuesta seguirá el método o procedimiento utilizado en cada servidor del sistema hoy día. Este proceso implica el uso de dos básculas, las cuales son el punto débil para la operación del sistema al convertirse en el cuello de botella, puesto que tienen el mayor tiempo de servicio del sistema y además es el último proceso, por lo que retrasa los anteriores. Con la propuesta se busca añadir un nuevo servidor báscula y al reemplazarlo por uno de seguridad física que se elimina, lo cual se traduce en el sistema como una disminución en los tiempos de ocio y bloqueo de los servidores anteriores, aprovechando de mejor manera sus capacidades, repartiendo mejor las cargas de trabajo, al dinamizar la operativa de la puerta de acceso
¿Cuánto costará?	Con esta propuesta se seguirá utilizando la misma cantidad de personal que el sistema actual utiliza, por el cual solo se incurrirá en gastos de instalación de una nueva báscula, con costos de \$150,000,000, según datos suministrados por Contecar S.A. para el valor de la Báscula y su instalación.

Fuente: Los autores



#### 4.2.2 Modelo puerta de acceso futura 4-4-7

Este modelo de simulación se construyó basándose en las proyecciones de carga para la Terminal, debido a que el sistema actual no soportará el volumen de carga que espera movilizar para los próximos 10 años. De esta manera se ha definido esta propuesta en donde se seguirá contando con dos carriles de acceso vehicular y con la misma longitud de 162 metros que corresponden a la cola del primer servidor (Interchange). Para este modelo se necesita adicionar dos servidores de Interchange, al igual que dos servidores de Seguridad Física que corresponde al segundo proceso del sistema. Para el último servidor (Báscula) es necesario adicionar cinco básculas, de esta manera el sistema logrará cumplir con la demanda futura.

Con las modificaciones antes mencionadas para el modelo realizado con un escenario y cien replicas, podemos observar en la siguiente Tabla 20 que la cola Interchange del sistema sobrepasa su capacidad máxima manteniendo en promedio 19.81 camiones en ella durante el tiempo de la simulación, con esto se identifica que esta simulación afectará el corredor de carga, debido a que la cola de este servidor solo puede soportar 16 camiones en la cola. Con lo que se concluye que este modelo no es viable.

**Tabla 20. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 4-4-7**

	Mean (95% Confidence)				Sample Standard Deviation	Min	Max	
<b>Scenario 1</b>	18.82	<	19.81	<	20.8	5.94	11	42

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

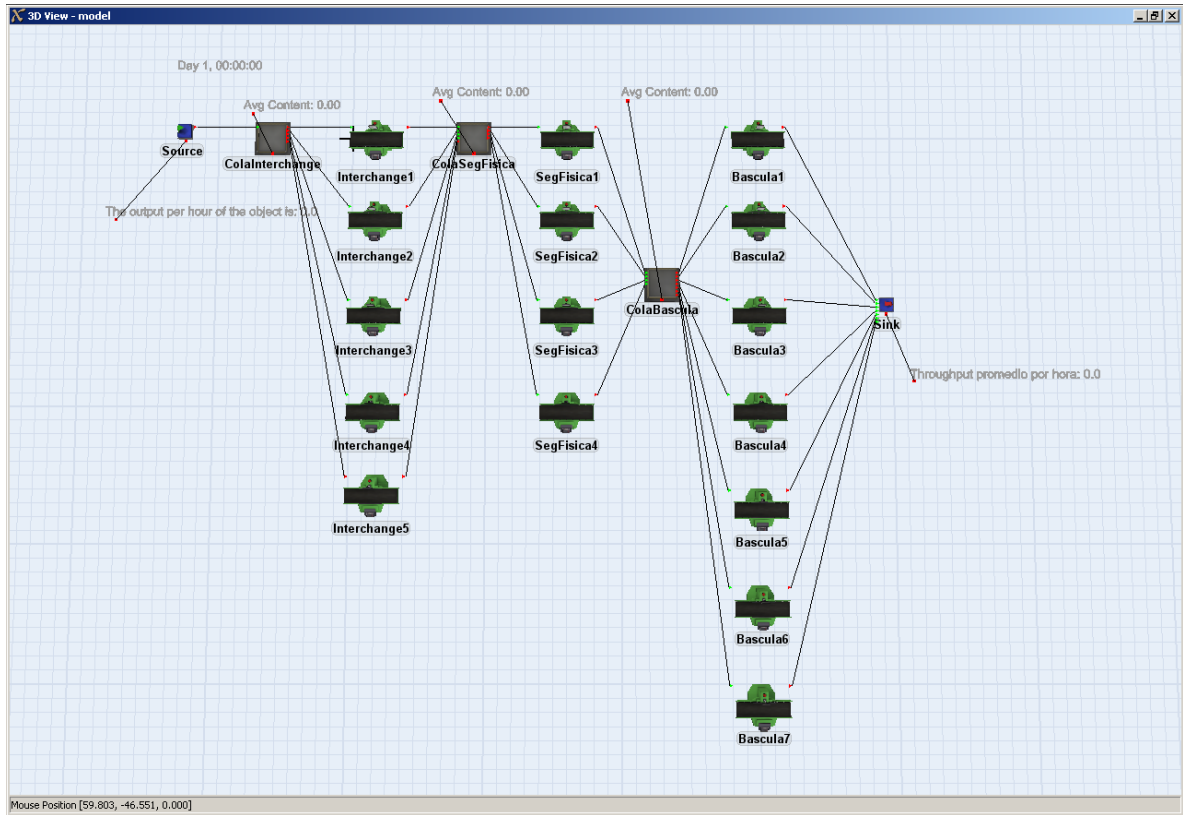


### 4.2.3 Modelo puerta de acceso futura 5-4-7

El modelo de simulación fue construido basándose en las proyecciones de crecimiento de carga para la Terminal, teniendo en cuenta que el sistema actual no podrá soportar el volumen de carga que se espera para el año 2022. El subsistema de la puerta de acceso de Contecar S.A, estará compuesta por una calle de acceso principal con dos carriles vehiculares, con una longitud de 162 metros, correspondientes a la cola del primer servidor (Interchange), contando con cinco servidores que fueron definidos de esta manera, gracias a las pruebas realizadas al modelo actual y con base en los resultados del modelo 4-4-7, se decide agregar un servidor interchange para buscar disminuir la cola promedio que se mostró en la Tabla 20. Seguido por el segundo proceso del subsistema, Seguridad Física, donde se estableció que se necesita contar con cuatro servidores de seguridad física, para la última etapa del subsistema se definió que Contecar necesita comprar cinco básculas más, para un total de siete básculas que logren cumplir con la atención a la demanda futura del puerto, ver **Anexo E**. El esquema del modelo de simulación se muestra a continuación.



**Figura 20. Vista del modelo de simulación para propuesta de mejora - configuración 5-4-7**



Fuente: Los autores

**Tabla 21. Resultados contenido promedio Cola Interchange simulación configuración 5-4-7**

	Mean (95% Confidence)			Sample Standard Deviation	Min	Max		
<b>Scenario 1</b>	9.37	<	10.08	<	10.79	3.57	6	32

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



En la tabla anterior se observa el comportamiento de la cola de Interchange para el escenario simulado y cada una de sus réplicas, se identifica que la cola Interchange del sistema disminuye en referencia al modelo 4-4-7. Este nuevo modelo mantiene en promedio 10.08 camiones en cola, con un nivel de confianza del 95%. Con esto se logra concluir que la cola no alcanzará a afectar el corredor de carga, así podrá soportar los 16 camiones máximos en la cola Interchange, al igual que las colas de Seguridad Física y Báscula.

Siguiendo con el análisis, para cada servidor del subsistema se examinaron los porcentajes tiempo ocioso. La Tabla 22, nos muestra que el servidor de Interchange tiene en promedio 28.29% de tiempo ocioso, este porcentaje nos demuestra que este proceso cumple a cabalidad con su demanda y a la vez logra cumplir con objetivos propuestos, esto representa que no se afectará el corredor de carga y que al mismo tiempo puede cubrir el crecimiento de la demanda. Cuando el proceso de básculas y sus colas llegan a su máxima capacidad, bloquean los procesos anteriores a estas como se muestra en la siguiente Tabla 23. Interchange y Seguridad Física 0.28% y 0.66% respectivamente, con esto se indica que los servidores (Interchange, Seguridad Física y Báscula) están aprovechando al máximo su capacidad ya que los porcentajes de bloqueo de Interchange y Seguridad Física son relativamente bajos.

**Tabla 22. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema configuración 5-4-7**

Scenario 1	Mean (95% Confidence)				Sample Standard Deviation	Min	Max
Interchange	27.77	<	28.29	<	28.8	2.59	16.18 32.77
Seg. Física	23.37	<	24.04	<	24.71	3.35	10.26 29.74
Báscula	7.32	<	7.78	<	8.24	2.31	3.48 13.62

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



**Tabla 23. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física modelo 5-4-7**

<b>Servidor</b>	<b>Mean</b>	<b>St. Dev.</b>	<b>Confidence Interval (95%)</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Interchange</b>	0.58	1.5	0.28 - 0.88	0	12.27
<b>Seg. Física</b>	1.06	2	0.66 - 1.45	0	14.76

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Si se analizan los tiempos de atención en el sistema como se ilustran en la Tabla 24, el servidor de Básculas tiene en promedio 2.28 minutos y es considerablemente alto en comparación con los del resto del sistema, esto no quiere decir que está afectando el proceso del sistema, es aquí donde se observa que este servidor es el que más tiempo requiere para realizar su trabajo. En este punto también se logra observar notablemente, que con la nueva configuración se disminuye el tiempo de espera en la cola de la báscula de 14.51 minutos pasó a ser 1.63 minutos.

**Tabla 24. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema para propuesta configuración 5-4-7**

	<b>Mean</b>	<b>St. Dev.</b>	<b>Confidence Interval (95%)</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Cola Interchange</b>	0.2	0.18	0.23-0.27	0.13	1.81
<b>Interchange</b>	1.25	0.03	1.26-1.27	1.23	1.48
<b>Cola Seg. Física</b>	0.32	0.2	0.36-0.4	0.17	1.65
<b>Seg. Física</b>	1.06	0.03	1.07-1.08	1.01	1.27
<b>Cola Báscula</b>	1.63	0.75	1.78-1.93	0.69	5.1
<b>Báscula</b>	2.28	0.03	2.28-2.29	2.22	2.39

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.



Para esta configuración en promedio se atenderán 2051 camiones por día como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 25. Total de camiones atendidos en el sistema con propuesta de configuración 5-4-7**

TotalTrucks							
	Mean (95% Confidence)				Sample Standard Deviation	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	2041.71	<	2051.29	<	2060.87	48.09	1938 2160

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Lo anterior se traduce en la atención de 598892 camiones anuales, que teniendo en cuenta la demanda proyectada de Contecar para contenedores domésticos en el año 2022, de 597274 camiones anuales, se estaría cumpliendo a cabalidad con dicho pronóstico, ver **Anexo E**. Por lo que esta configuración sería apropiada para la estructura funcional de la puerta futura de Contecar en el año 2022.

A continuación se expondrá la metodología de las 5W+2H, para la propuesta descrita anteriormente, con lo cual se dará respuesta a cualquier inquietud, y mayor conocimiento sobre la mejora a trabajar.



**Tabla 26. Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A.**

5W+2H	Propuesta de mejora para el desempeño de la puerta de acceso de camiones actual de la empresa Contecar S.A.
¿Qué?	Establecer el diseño de la configuración de colas y servidores de la puerta de acceso de Contecar a 5-4-7, para atender la demanda proyectada para el año 2022
¿Quién?	Dirección de Operaciones
¿Cuándo?	Dar inicio a la propuesta de diseño hacia el año 2015 (fecha en que se alcanza la capacidad máxima de la propuesta de mejora del sistema actual (2-2-3))
¿Dónde?	Puerta de acceso de camiones actual de la empresa Terminal de Contenedores de Cartagena S.A. - Contecar S.A.
¿Por qué?	Al analizar los resultados de la configuración propuesta, mediante los resultados de la simulación del modelo correspondiente, se identifica que se podrá atender la demanda proyectada para el año 2022, que es de 597274 camiones anuales, sin afectar la operación del corredor de carga, utilizando para ello una cantidad de recursos (servidores y colas) relativamente baja, teniendo en cuenta el análisis de la configuración 4-4-7, la cual no cumple la meta descrita anteriormente. Además se logra establecer tiempos de operación en el sistema adecuados para mantener un tiempo de ocio y bloqueo bajos, aprovechando la capacidad que puede dar el diseño del sistema.
¿Cómo?	La propuesta seguirá el método o procedimiento utilizado en cada servidor del sistema hoy día, pudiendo considerar un crecimiento incremental de acuerdo a la demanda proyectada para cada año.
¿Cuánto costará?	Con esta propuesta, incrementará la cantidad de personal que el sistema actual utiliza, necesitando una persona por cada servidor del sistema, para un total de 16, es decir, 5 interchange, 4 personas para seguridad y 7 en básculas; además de los respectivos costos de instalación de una nueva báscula que son de aproximadamente \$150,000,000, en la actualidad. Se anota además que el Salario de cada persona que trabaja en el sistema es de 3 Salarios mínimos. Es de anotar que estos valores son establecidos o estimados por Contecar S.A. según su situación hoy día.

Fuente: Los autores





### **4.3 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO A PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES FUTURA EN CONTECAR S.A.**

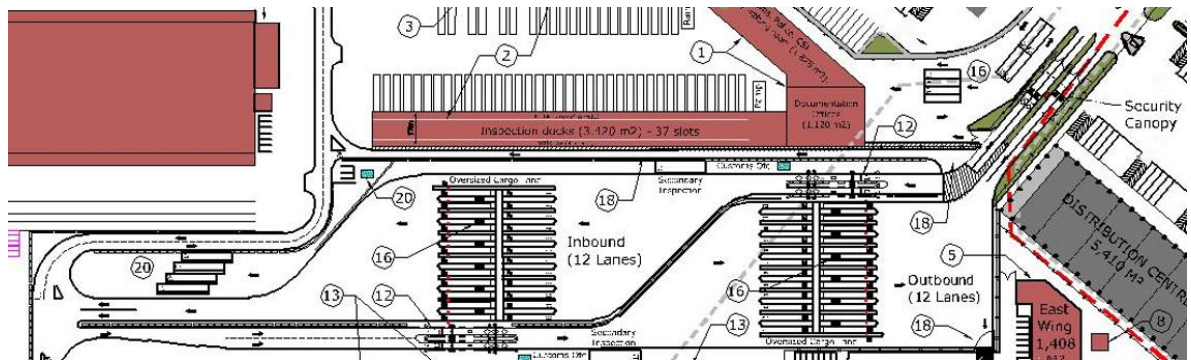
La diferencia entre la propuesta futura hecha a Contecar en otro estudio, con relación a este, son los costos asociados a la implementación del Plan maestro futuro de Contecar S.A., correspondiente a 12 servidores para cada proceso del sistema de la puerta de acceso de camiones y propuesta futura escogida como las más recomendada para el diseño de la puerta equivalente a 5 servidores de Interchange, 4 servidores de Seguridad Física y 7 Básculas, radican en la cantidad de servidores (Interchange, Seguridad Física y Báscula) y recursos que se utilizarán. Para el caso de los servidores Interchange y Seguridad Física serían la cantidad de personas (personal operativo) y para el servidor de básculas sería la cantidad de equipos a utilizar y el personal requerido.

Contecar cuenta con una propuesta, realizada por la firma norteamericana Moffatt & Nichol, que consiste en una puerta de 12 carriles de entrada y 12 de salida. El cálculo se realizó sobre los supuestos de que el proceso de básculas tomaba 3 minutos, por lo que cada báscula podía procesar únicamente 20 camiones por hora. Bajo estas consideraciones la puerta estaba diseñada para atender 12 carriles x 3,200 horas anuales x 20 camiones, alrededor de 768,000 camiones anuales. En el presente estudio se revisaron los supuestos de tiempos de atención y la proyección de camiones, así mismo se realizó un análisis más detallado de cada etapa del proceso, con lo que se obtuvo una mejor disposición de la puerta.

Para comprender mejor la disposición de la propuesta de la firma Moffatt & Nichol, ver la Figura 21 que muestra el diseño o configuración de la puerta de acceso de camiones.



**Figura 21. Esquema Puerta de camiones futura - Plan Maestro de Contecar**



Fuente: Imagen suministrada por Contecar.

De esta manera se establecerán los costos en los que incurrirían las propuestas tanto del plan maestro como la de este estudio, y así establecer puntos de comparación entre las dos configuraciones de la Puerta de acceso de camiones de Contecar S.A.

En la Tabla 27 se muestran a modo de referencia los criterios de costos incurridos para el personal operativo, donde Contecar S.A., asigna para atender en cada servidor una persona (Operario), y cada uno recibe un salario equivalente a 3 salarios mínimos mensuales (por ser una información confidencial se ha establecido para efectos del trabajo).



**Tabla 27. Costo Anual Persona que trabaja en la puerta de acceso de Contecar**

Costo Anual Persona	
Salario Mínimo	\$ 566,700
Factor Prestacional	1.5412
Total meses	12
<b>Total</b>	<b>\$ 31,442,329</b>

Fuente: Los autores

Los costos de depreciación son estimados con base en los equipos utilizados para la implementación del Plan Maestro de la empresa y la mejora futura propuesta, para dicho caso hacemos referencia a las básculas. Estos costos fueron determinados teniendo en cuenta la vida útil de los equipos correspondientes a 10 años.

Con base en lo siguiente se logra determinar los costos de depreciación anuales:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo Equipo}}{\text{Vida Útil Equipos}} = \frac{\$ 120.000}{10 \text{ años}} = \$12.000.000$$

Para el caso de área disponible para implementación, cabe anotar que Contecar S.A cuenta y dispone de espacio necesario para realizar dichas modificaciones.

Los beneficios que se generaran se darán, a partir del análisis de los criterios económicos en términos monetarios de la siguiente tabla.



**Tabla 28. Criterios de evaluación económica para propuestas de configuración futura de la puerta de acceso**

<b>COSTOS</b>	
Costo Anual Operario	\$ 31,442,329
Costo equipo (Báscula)	\$ 120,000.00

<b>CRITERIOS ECONOMICOS DE EVALUACION</b>				
	<b>Propuesta Contecar</b>		<b>Propuesta de este estudio</b>	
Item	Cant.	Costos	Cant.	Costos
Operarios	36	\$1.131.923.859,84	16	\$503.077.271,04
Báscula	12	\$144.000.000,00	7	\$84.000.000,00
<b>TOTAL</b>		\$1.275.923.859,84		\$587.077.271,04
		<b>Diferencia económica entre propuestas</b>		<b>\$688.846.588,80</b>

Fuente: Los autores

Esta inversión tendrá un beneficio económico para la empresa, debido a que al reducir servidores en el diseño de la puerta de acceso de camiones se incurrirá en un ahorro correspondiente a \$ 629.446.588.80 en términos monetarios. Cuando se reduce el total de servidores da como resultado una disminución en los tiempos ociosos en los que se incurren.

El crecimiento de la demanda futura de movilización de carga en Contecar S.A seguirá aumentando, lo que llevará a que las operaciones en el puerto se realicen de forma expedita y rápida. La inversión de este proyecto, se verá recuperada en los próximos diez años aproximadamente, tomando como referencia los costos expuestos en la Tabla 28.



#### **4.4 ANÁLISIS IMPACTO PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE LA PUERTA DE ACCESO DE CAMIONES DE CONTECAR S.A.**

Esta propuesta tiene como tarea para Contecar S.A. revisar las necesidades de las instalaciones, al igual que la revisión del procesamiento de la puerta e identificar lo que debe incorporarse en la puerta, tanto ahora como a largo plazo.

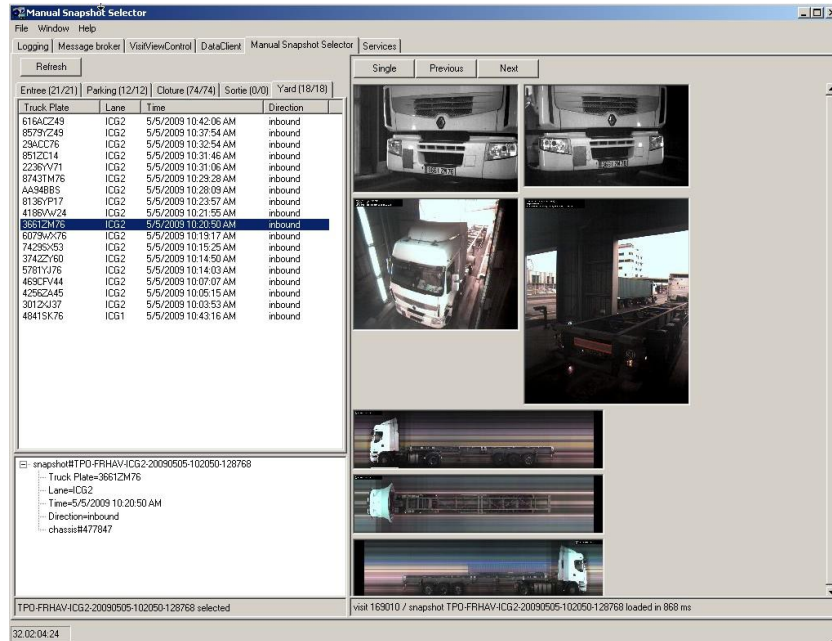
El proceso de automatización de la puerta de acceso de camiones es el siguiente: el camión se proyectará para verificar si tiene una cita y si llega dentro del lapso de tiempo correcto; los camiones que lleguen antes de lo previsto se dirigirán a un área de espera destinada. El camión entrante llega a la pre-puerta (carriles de acceso) y se detiene, unas cámaras realizan los registros fotográficos de los números de los contenedores y un sistema de escáner para materiales radiactivos a través del software de OCR (reconocimiento óptico de caracteres) así se captura la información correspondiente.

El camión entra y para en un kiosco (atención automática), donde el conductor del camión desliza su documento de identidad y la información es detectada por un lector, que asocia los datos de OCR del contenedor para seguridad. Los datos de peso de escala se adjuntan automáticamente a la documentación de la puerta.

El modelo de simulación fue construido, debido a que Contecar S.A. está analizando la alternativa de aplicar tecnologías de automatización para agilizar los procesos que se llevan a cabo en la puerta de acceso del terminal. Para el primer proceso del sistema llamado Interchange contempla la instalación de cámaras y tecnologías OCR como se muestra en la siguiente Figura 22. Muestra del Sistema de Inspección OCR para realizar el proceso de forma automática. De esta forma, el proceso de interchange no necesitaría la presencia de un operador, y el tiempo del proceso se espera sea entre 10 y 20 segundos.



**Figura 22. Muestra del Sistema de Inspección OCR**



Fuente: Imagen suministrada por Contecar.

Asimismo se contempla la instalación de un kiosko de atención en el servidor de las básculas, que permita realizar el proceso de pesado y lectura de cédula de forma expedita y automática, reduciendo la necesidad de operadores y el tiempo de atención a un valor cercano entre 1 y 1.5 minutos – Ver siguiente imagen.



**Figura 23. Muestra del Sistema de Atención en Kiosko de básculas**



Fuente: Imagen suministrada por Contecar.

Para analizar esta alternativa se modificaron los tiempos de los procesos de interchange y báscula en el modelo de simulación de la siguiente manera:

**Tiempo de interchange:** distribución uniforme entre 10 y 20 segundos. La notación en Flexsim es: `uniform(0.167, 0.33, <stream>)`

**Tiempo de báscula:** distribución uniforme entre 1 y 1.5 minutos. La notación en Flexsim es: `uniform(1, 1.5, <stream>)`

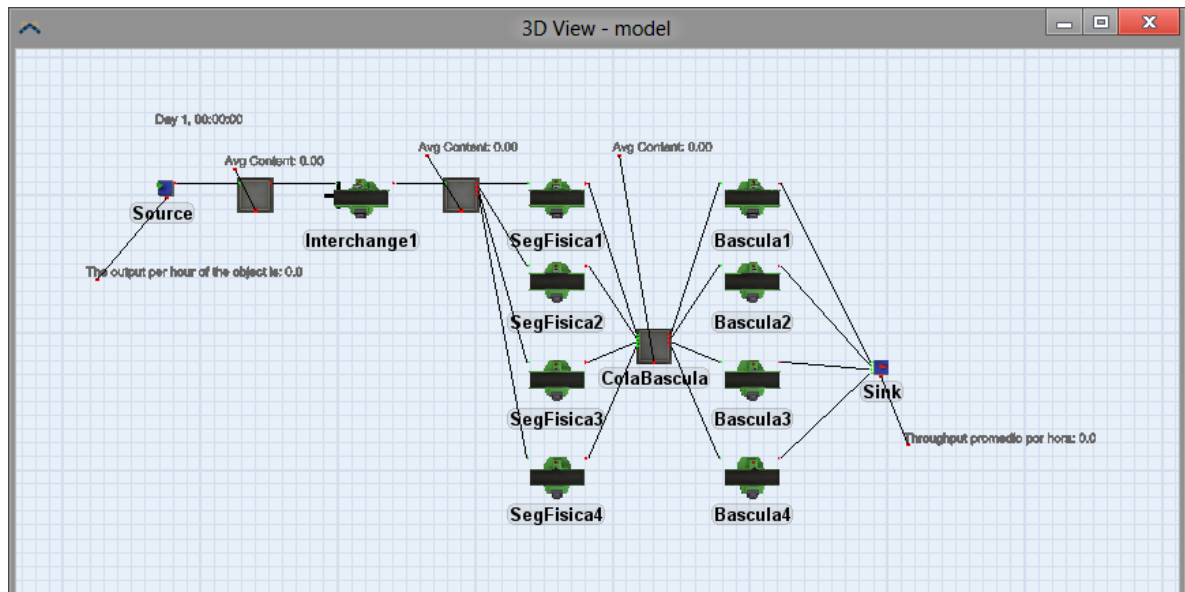
Para ambos casos no se cuenta con datos históricos, por lo que se escogió utilizar distribuciones uniformes con base en las expectativas de Contecar.

El modelo de simulación fue construido basándose en la propuesta de automatización de Contecar S.A referente a la proyección futura de crecimiento de carga para la Terminal, basado en que el sistema actual no podrá soportar la demanda para el 2022. El subsistema de la puerta de acceso de Contecar S.A, estará compuesta por un servidor de Interchange, fueron definidos de esta manera gracias a los análisis anteriormente expuestos. Para el segundo proceso del



subsistema, llamado Seguridad Física, se estableció que se necesita contar con cuatro servidores, y para la última etapa del subsistema, se definió que Contecar necesita contar con cuatro básculas, para lograr cumplir con la atención a la demanda futura del puerto. El siguiente es el esquema del modelo de simulación creado para representar la propuesta de la puerta automática.

**Figura 24. Vista del modelo de simulación para propuesta de puerta de acceso de camiones automática de Contecar**



Fuente: Los autores

En la siguiente se muestra el comportamiento de la cola de Interchange para el escenario simulado y cada una de sus réplicas, se identifica que la cola Interchange mantiene en promedio 9.81 camiones, con un nivel de confianza de 95%; se logra concluir que con la automatización se logra una disminución en los tiempos de atención en el servidor, así la cola no afectará el corredor de carga, y podrá soportar





16 camiones máximos en la cola Interchange, al igual que las colas de Seguridad Física y Báscula.

**Tabla 29. Resultados contenido promedio Cola Interchange para propuesta de puerta de acceso de camiones automática**

	Mean (95% Confidence)					Sample Standard Deviation	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	9.41	<	9.81	<	10.21	1.99	7	18

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Siguiendo con el análisis, para cada servidor del subsistema se examinaron los porcentajes tiempo ocioso. La Tabla 30. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema en propuesta de puerta de acceso de camiones automática nos muestra que el servidor de Interchange tiene en promedio 29.05% de tiempo ocioso, este porcentaje nos demuestra que este proceso cumple a cabalidad con su demanda y a la vez logra cumplir con objetivos propuestos, esto representa que no se afectará el corredor de carga y que al mismo tiempo puede cubrir el crecimiento de la demanda. Cuando el proceso de básculas y sus colas llegan a su máxima capacidad, bloquean los procesos anteriores a estas como se muestra en la Tabla 31. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física para propuesta puerta de acceso de camiones automática. Interchange y Seguridad Física 0.19% y 0.05% respectivamente, con esto se indica que los servidores (Interchange, Seguridad Física y Báscula) están aprovechando al máximo su capacidad ya que los porcentajes de bloqueo de Interchange y Seguridad Física son relativamente bajos.



**Tabla 30. Porcentaje de tiempo ocioso (IdleTime) para cada servidor del sistema en propuesta de puerta de acceso de camiones automática**

Scenario 1	Mean (95% Confidence)				Sample Standard Deviation	Min	Max
Interchange	28.7	<	29.05	<	29.39	1.73	24.61 33.25
Seg. Física	24.53	<	24.96	<	25.39	2.17	17.88 29.69
Báscula	10.96	<	11.37	<	11.77	2.03	6.13 16.58

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

**Tabla 31. Porcentaje de tiempos de bloqueo para los servidores Interchange y Seguridad Física para propuesta puerta de acceso de camiones automática**

Servidor	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
Interchange	0.19	0.25	0.14 - 0.19	0	1.51
Seg. Física	0.05	0.19	0.01 – 0.08	0	1.45

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Los tiempos de atención en el sistema se ilustran en la Tabla 32; el servidor de Básculas tiene en promedio 1.2 minutos y es considerablemente alto en comparación con los del resto del sistema. En este punto también se logra observar notablemente, que con la propuesta de automatización se disminuye el tiempo de espera en la cola de la báscula de 14.51 minutos, en la actualidad, y 1,64 minutos en la propuesta que se hace en este trabajo (5-4-7), a ser 0.86 minutos con la automatización.



**Tabla 32. Tiempo de espera en minutos para cada etapa del sistema para propuesta puerta de acceso de camiones automática**

	Mean	St. Dev.	Confidence Interval (95%)	Min	Max
<b>Cola Interchange</b>	0.32	0.05	0.31-0.32	0.23	0.54
<b>Interchange</b>	0.25	0	0.25-0.25	0.25	0.25-0.25
<b>Cola Seg. Física</b>	0.27	0.06	0.25-0.28	0.14	0.52
<b>Seg. Física</b>	1.06	0.02	1.05-1.06	1.01	1.11
<b>Cola Báscula</b>	0.86	0.26	0.81-0.91	0.47	1.91
<b>Báscula</b>	1.25	0	1.25-1.25	1.24	1.26

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Para esta configuración en promedio se atenderán 2051 camiones por día como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 33. Total de camiones atendidos en el sistema con propuesta puerta de acceso de camiones automática**

TotalTrucks								
	Mean (95% Confidence)			Sample Standard Deviation	Min	Max		
<b>Scenario 1</b>	2041.71	<	2051.29	<	2060.87	48.09	1938	2160

Fuente: Resultado corridas del modelo por los autores.

Lo anterior se traduce en la atención de 598892 camiones anuales, que teniendo en cuenta la demanda proyectada de Contecar para contenedores domésticos en el año 2022, de 598892 camiones anuales, se estaría cumpliendo a cabalidad con dicho pronóstico. Esta propuesta de automatización ofrece resultados parecidos a



la realizada por los autores del trabajo, con la diferencia en que con la automatización los procesos se agilizan y se necesitan una menor cantidad de recurso, refiriéndose a equipos, básculas y personal.



## 5. CONCLUSIONES

La Terminal de Contenedores de Cartagena - Contecar S.A., es uno de los puertos más importantes para el desarrollo de Cartagena, el Caribe y Colombia, al convertirse en un nodo de conexiones supremamente importante para el soporte de la economía nacional. Su misión es prestar servicios portuarios y logísticos que agreguen valor y generen ventajas competitivas a los participantes del comercio internacional. Uno de estos servicios es la puerta de acceso a la instalación Portuaria, en donde se lleva a cabo el control de entrada de vehículos para ingreso terrestre de carga.

Para el desarrollo y crecimiento de la empresa, y en el caso de estudio de la puerta de acceso de camiones, Contecar S.A. debe anticiparse a los cambios del mercado y adaptarse rápidamente a ellos, por ello mediante el uso de proyecciones en este trabajo se establece que:

- Mediante un modelo de simulación elaborado en Flexsim, se representaron las variables e interacciones de cada uno de los elementos que corresponden a los procesos que tienen lugar en la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A., con lo que se diagnosticó del sistema el funcionamiento del sistema actual, para proponer mejoras y evaluarlas a través de la implementación en el modelo.
- El Sistema de la puerta de acceso de camiones de Contecar, que opera actualmente, ofrece capacidad para atención del manejo de la carga o camiones hasta aproximadamente el año 2013, con 173848 camiones. Con lo cual surge la necesidad de ampliar la capacidad que ofrece la puerta de acceso.
- Para atender la demanda de los próximos tres años, se propone en este estudio una nueva configuración de los servidores y colas de la puerta actual cambiando de 2-3-2 (2 Interchange, 3 Seguridad Física, 2 Básculas) a 2-2-3



(2 Interchange, 2 Seguridad Física, 3 Básculas), con lo cual se conseguirá ampliar la capacidad del sistema y atender la demanda proyectada hasta el año 2015, con 244376 camiones, y con una reducción considerable de los tiempos de atención a camiones.

- La propuesta anterior, forma parte de una propuesta de incremento de capacidad de dos fases, la segunda fase es la propuesta de configuración de la puerta futura de acceso de Contecar para atender la demanda pronosticada para el año 2022, cuando se espera atender un total aproximado de 600.000 camiones anuales. Para ello el resultado de este estudio proyecta una configuración de los servidores y colas de la puerta a 5-4-7 (5 Interchange, 4 Seguridad Física, 7 Básculas), con la cual se satisfacen las necesidades que implican los pronósticos de demanda y el manejo de unos tiempos de servicio adecuados, que permiten usar adecuadamente el potencial de todos los servidores del sistema.
- Mediante un análisis costo – beneficio se determinó que la propuesta de los autores del trabajo tiene una ventaja económica y funcional contra la que tenía Contecar, determinada por otro estudio ejecutado anterior a este, lo cual representa una diferencia entre propuestas o ahorro de \$688.846.588,80; de esta forma se logra minimizar o mitigar gastos innecesarios de recursos.
- Se determinó que la implementación de tecnología para conformar una puerta automática de acceso para camiones en Contecar S.A. reduce el número de servidores y la cantidad de personal necesario para su funcionamiento y cumpliría, con una configuración de servidores y colas 1-4-4 (1 Interchange, 4 Seguridad Física, 4 Básculas), con la demanda proyectada para el año 2022 de aproximadamente 600000 camiones anualmente. Con esta configuración se consiguen resultados parecidos a los conseguidos con la propuesta de configuración futura de los autores del trabajo 5-4-7, atendiendo 598892 camiones anuales, pero con diferencias en el número de servidores y tiempos de servicio.



## BIBLIOGRAFIA

BANKS, Jerry; NELSON, Barry L.; CARSON, John S. y NICOL, David M. Discrete-Event System Simulation. 5 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 622 p.

CHASE, Richard.; AQUILANO, Nicholas y JACOBS, Robert. Administración de producción y operaciones: manufactura y Servicios. 8 Ed. Bogotá D.C.: McGraw Hill. 2000. 869p.

EL UNIVERSAL. El Corredor de Carga [En línea]. Cartagena de Indias. 02 de Mayo de 2012. [Revisión: 01 de Agosto de 2012] Disponible en la web: <<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/editorial/el-corredor-de-carga>>

INTRANET CORPORATIVA GRUPO PUERTO CARTAGENA.

LAW, Averill M. Simulation Modeling and Analysis. 4 Ed. New York: McGraw Hill (Series in Industrial Engineering and Management Science). 2007. 768p.

MARTIN ALCALDE, Enrique. Optimización de la operativa del subsistema de recepción y entrega en terminales portuarias de contenedores [En línea]. [Revisión: 14 de Julio de 2012]. Disponible en la web: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5906/1/00.pdf>>

TAHA, Hamdy. Operations Research: An Introduction. 8 Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 2007. 838p.

TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A. – CONTECAR S.A. Manual del Sistema de Gestión Integrado CONTECAR S.A. Cartagena de Indias, 2002.



TERMINAL DE CONTENEDORES DE CARTAGENA S.A. – CONTECAR S.A.  
Porthandbook 2011 - 12. Cartagena de Indias. 2011.

QUIÑONES, Luis Eduardo. La simulación de eventos discretos como técnica fundamental en la toma de decisiones de alto impacto [En línea]. [Revisión: 02 de Agosto de 2012]. Disponible en la web:  
<<http://www.vaticgroup.com/unlimitpages.asp?id=147>>

STEWART, Robinson. Simulation - The practice of model development and use [En línea]. [Revisión: 02 de Agosto de 2012]. Disponible en la web:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete\\_event\\_simulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_event_simulation)>





## ANEXOS

### ANEXO A. Datos Premuestra y cálculo del tamaño de la muestra para recolección de datos

Premuestra Interchange			
1	1,25	<b>Media</b>	1,32
2	1,32	<b>Varianza</b>	0,08864875
3	1,42	<b>Desv. Stand</b>	0,29773939
4	1,40		
5	1,03	<b>Nivel de Confianza</b>	0,95
6	1,22	<b>Error</b>	0,05
7	1,40	<b>Valor Z</b>	1,96
8	1,38		
9	1,02		
10	1,38	<b>Tamaño de Muestra</b>	<b>136</b>
11	1,40		
12	1,42		
13	1,27		
14	1,03		
15	1,03		
16	1,23		
17	1,43		
18	1,08		
19	1,03		
20	1,43		
21	1,05		
22	1,13		
23	1,30		
24	1,03		
25	1,37		
26	1,42		
27	1,47		
28	1,32		
29	1,30		
30	1,25		



31	2,88
32	1,40
33	1,45
34	1,13
35	1,05
36	1,35
37	1,32
38	1,40
39	1,60
40	1,38

**Premuestra Seg.  
Física**

1	1,13
2	0,98
3	1,22
4	0,95
5	1,00
6	1,35
7	1,03
8	1,13
9	0,95
10	1,32
11	0,92
12	2,00
13	1,95
14	1,83
15	1,12
16	1,63
17	2,17
18	2,02
19	1,35
20	1,50
21	1,62
22	1,12
23	1,03
24	1,27
25	0,90

<b>Media</b>	1,42
<b>Varianza</b>	0,29946994
<b>Desv. Stand</b>	0,54723847
<b>Nivel de Confianza</b>	0,95
<b>Error</b>	0,05
<b>Valor Z</b>	1,96

<b>Tamaño de Muestra</b>	<b>460</b>
--------------------------	------------



26	1,78
27	1,20
28	1,58
29	1,00
30	1,00
31	1,15
32	1,85
33	1,02
34	1,45
35	3,18
36	0,95
37	1,03
38	3,20
39	1,83
40	1,25

**Premuestra  
Báscula**

1	2,55
2	2,52
3	1,62
4	3,65
5	2,52
6	3,42
7	3,12
8	3,27
9	2,65
10	3,02
11	2,67
12	3,15
13	2,83
14	2,53
15	3,55
16	2,57
17	1,85
18	2,58
19	2,93
20	4,95
21	2,75

<b>Media</b>	2,98
<b>Varianza</b>	0,40935282
<b>Desv. Stand</b>	0,63980686
<b>Nivel de Confianza</b>	0,95
<b>Error</b>	0,05
<b>Valor Z</b>	1,96

<b>Tamaño de Muestra</b>	<b>629</b>
--------------------------	------------

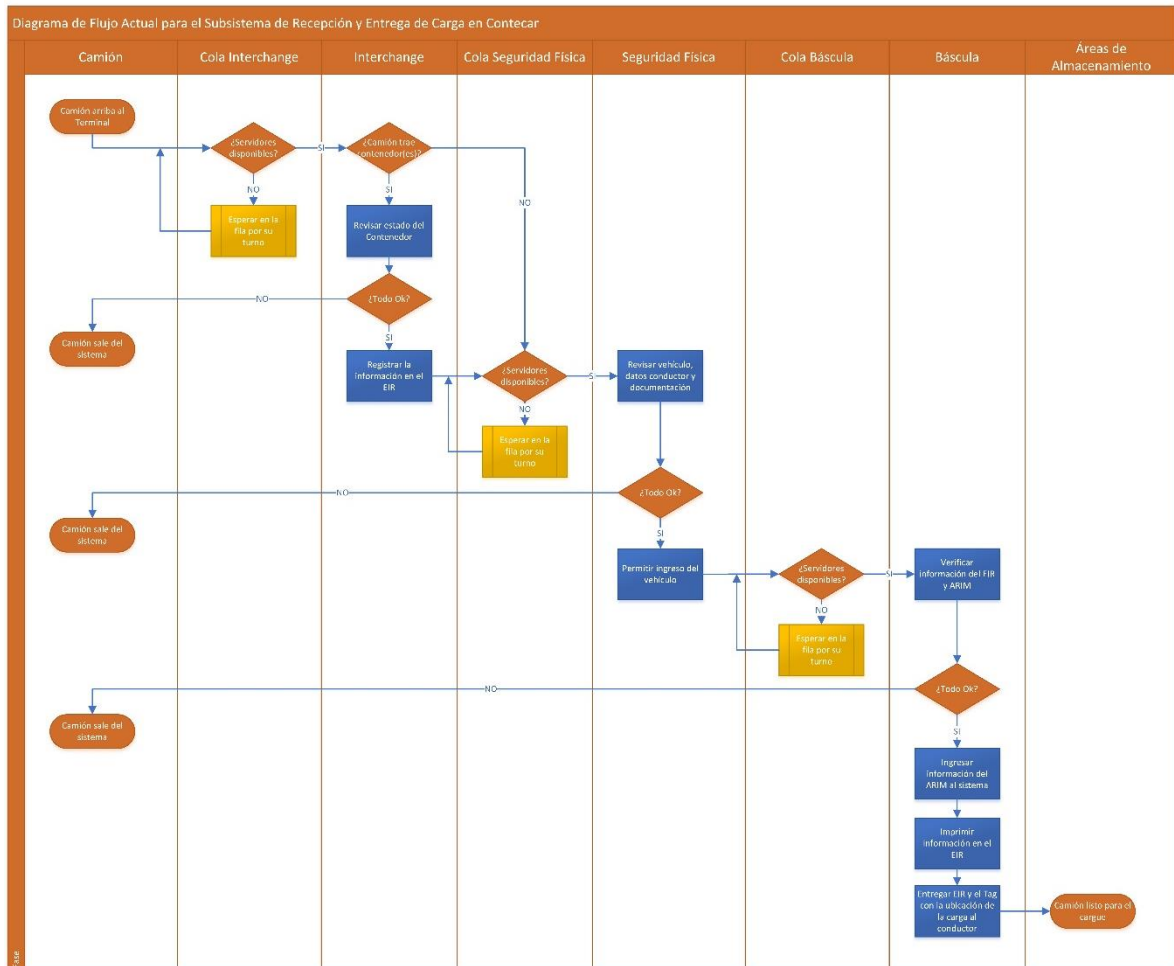


22	3,17
23	2,43
24	3,45
25	2,53
26	2,80
27	3,10
28	3,07
29	2,68
30	2,65
31	2,70
32	2,88
33	3,27
34	3,35
35	3,00
36	2,58
37	3,22
38	5,05
39	2,70
40	3,72

**ANEXO B.** Toma de tiempo para los servidores de la puerta de acceso de camiones de Contecar S.A. (Ver CD)



## ANEXO C. Diagrama de Flujo del Sistema de la puerta de acceso de Contecar S.A.



## ANEXO D. Calculo del número de réplicas para validación del modelo de simulación actual y modelos de propuestas de mejora. (Ver CD)

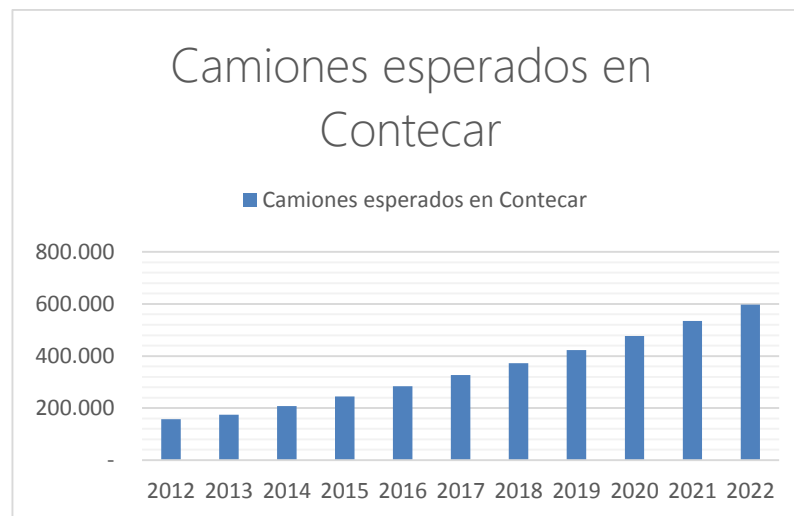


## ANEXO E. Proyecciones de crecimiento de la demanda en Contecar S.A.

### Volúmenes

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Crecimiento</b>		8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%
<b>TEUs domésticos (SPRC y CTC)</b>	588.677	635.772	686.633	741.564	800.889	864.960	934.157	1.008.890	1.089.601	1.176.769	1.270.910
<b>Contenedores domésticos</b>	392.452	423.848	457.756	494.376	533.926	576.640	622.771	672.593	726.401	784.513	847.274
<b>Contenedores domésticos SPRC</b>	235.471	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000
<b>Camiones esperados en Contecar</b>	156.981	173.848	207.756	244.376	283.926	326.640	372.771	422.593	476.401	534.513	597.274
<b>Camiones por hora esperados</b>	45	50	59	70	81	93	106	121	136	153	170
<b>Minutos entre arribos</b>	1,34	1,21	1,01	0,86	0,74	0,64	0,56	0,50	0,44	0,39	0,35

	2000 - 2010	2011 - 2020
<b>Rata de crecimiento</b>	12,6%	8,0%



La proyección del volumen de camiones fue realizada por la firma de consultoría norteamericana Moffatt & Nichol, contratada por Contecar S.A., quienes a partir del análisis del comportamiento histórico de carga (con un crecimiento del 12% anual), y de la proyección del crecimiento macroeconómico del país (crecimiento del PIB al 4% anual), estimó, bajo un escenario conservador, una tasa de crecimiento anual de contenedores domésticos del 8%. Este volumen de carga se distribuyó entre las terminales de SPRC y Contecar, dando como resultado para Contecar, la proyección de camiones mostrada en el gráfico de barras anterior en este mismo anexo.

**ANEXO F.** Resultados simulación configuración puerta actual 2-3-2 (Ver CD)

**ANEXO G.** Resultados simulación configuración puerta 2-2-2 (Ver CD)

**ANEXO H.** Resultados simulación configuración puerta 2-2-3 (Ver CD)

**ANEXO I.** Resultados simulación configuración puerta futura 4-4-7 (Ver CD)

**ANEXO J.** Resultados simulación configuración puerta futura 5-4-7 (Ver CD)

**ANEXO K.** Resultados simulación configuración puerta automática 1-4-4 (Ver CD)

