



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**

**APLICACIÓN DE UN MODELO DE TEORÍA DE COLAS EN  
GARITAS DE ACCESO DE TRANSPORTE PESADO EN UN  
RECINTO PORTUARIO**

**Julio Roberto Ortiz Chang  
Asesorado por Ing. Víctor Manuel Carranza**

**Guatemala, septiembre de 2004**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE UN MODELO DE TEORÍA DE COLAS EN  
GARITAS DE ACCESO DE TRANSPORTE PESADO EN UN  
RECINTO PORTUARIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JULIO ROBERTO ORTIZ CHANG**

ASESORADO POR ING. VICTOR MANUEL CARRANZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2004



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
<b>VOCAL I</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL II</b>	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Julio David Galicia Celada
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÒ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Luis Emilio Rodas Samayoa
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **APLICACIÓN DE UN MODELO DE TEORIA DE COLAS EN GARITAS DE ACCESO DE TRANSPORTE PESADO EN UN RECINTO PORTUARIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial con fecha 18 de agosto de 2004.

Julio Roberto Ortiz Chang





## **ACTO QUE DEDICO A**

### **DIOS**

Por darme la oportunidad de vivir y ser el camino de luz, fortaleza y sabiduría en cada una de las etapas de mi vida.

### **MI PADRE**

Con infinito amor, gracias por toda la confianza, apoyo y cariño que siempre me has brindado y a quien le debo todo lo que soy.

### **MI MADRE**

Con todo mi amor, por su apoyo y amor incomparable.

### **MIS HERMANAS**

Susy y Jacky, con amor fraternal, por su amor y estímulo para que siguiera adelante, gracias por formar parte importante de mi vida

### **MI CUÑADO**

Luis, gracias por la ayuda, amistad y cariño.

### **MIS SOBRINOS**

Pedro Alejandro y Pablo Roberto, para que este logro les sirva de ejemplo y estímulo.

### **MI NOVIA**

Mónica, gracias por tu amor, apoyo y comprensión



**MIS AMIGOS**

Fredy y Jessica, por compartir momentos inolvidables y servirme de ejemplo para salir adelante.

**LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA**

Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por haber permitido mi formación como profesional.



## **AGRADECIMIENTO A**

**DIOS**

**LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LA ESCUELA DE MECÁNICA INDUSTRIAL**

**MI ASESOR**     Ing. Víctor Manuel Carranza

Por su valiosa ayuda, amistad y paciencia brindada en la realización de este estudio.

**EMPRESA PORTUARIA QUETZAL**     Y a todo el personal que en ella labora, por su confianza, ayuda y por permitirme realizar el presente trabajo.

**MIS PADRES, HERMANAS Y SOBRINOS**

**MIS CATEDRÁTICOS**

**MIS AMIGOS**

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE COLABORARON DESINTERESADAMENTE EN LA CULMINACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO DE GRADUACIÓN.

**A TODOS, INFINITAS GRACIAS.**



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de teoría de colas.....	2
1.2 Elementos básicos del modelo de teoría de colas .....	3
1.3 Funciones de las distribuciones de Poisson y exponencial.....	5
1.3.1 Distribución de Poisson.....	5
1.3.2 Distribución exponencial.....	5
1.4 Modelos de teoría de colas .....	6
1.4.1 Proceso de nacimiento puro.....	6
1.4.2 Proceso de muerte pura.....	6
1.4.3 Líneas de espera con llegadas y egresos combinadas.....	7
1.4.3.1 Medidas de desempeño de estado estable.....	7
1.4.4 Líneas de espera especializadas de Poisson.....	7
1.4.5 Líneas de espera que no obedecen la distribución de Poisson.....	9

1.4.6	Líneas de espera con prioridades de servicio.....	10
1.4.7	Líneas de espera sucesivas o en serie.....	10
<b>2.</b>	<b>EVALUACIÓN DEL PROCESO .....</b>	<b>13</b>
2.1	Descripción del proceso actual.....	13
2.2	Características del proceso actual.....	20
2.2.1	Distribución de llegadas .....	20
2.2.1.1	Registro de datos.....	20
2.2.1.2	Tabulación de datos.....	21
2.2.1.3	Cálculo de media .....	22
2.2.1.4	Cálculo de variancia.....	24
2.2.1.5	Histograma de frecuencia para la distribución de llegadas .....	28
2.2.2	Distribución del tiempo de servicio.....	31
2.2.2.1	Registro de datos.....	31
2.2.2.2	Tabulación de datos.....	32
2.2.2.3	Cálculo de media .....	33
2.2.2.4	Cálculo de variancia.....	36
2.2.2.5	Histograma de frecuencia .....	42
2.2.3	Instalación de servicio.....	47
2.2.4	Disciplina de servicio y prioridad de servicio.....	49
2.2.5	Tamaño de la línea de espera .....	49
2.3	Análisis de las operaciones que realiza el trabajador encargado del registro.....	50
2.3.1	Diagrama de proceso de la operación actual.....	52
2.3.2	Análisis cuálitativo de las operaciones.....	58
2.4	Aplicación del modelo de teoría de colas .....	60



2.4.1	Características del sistema de ingreso de camiones .....	60
2.4.2	Características del sistema de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	63
2.4.3	Características del sistema de egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	66
<b>3.</b>	<b>PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>71</b>
3.1	Acciones correctivas del proceso a implementar .....	71
3.2	Descripción del proceso mejorado .....	76
3.3	Características del nuevo proceso .....	82
3.3.1	Distribución de llegadas .....	83
	3.3.1.1 Registro de datos .....	83
	3.3.1.2 Tabulación de los datos.....	84
3.3.2	Distribución del tiempo de servicio .....	84
	3.3.2.1 Registro de datos .....	85
	3.3.2.2 Tabulación de datos .....	86
3.3.3	Instalación de servicio .....	86
3.3.4	Disciplina de servicio y prioridad de servicio .....	88
3.3.5	Tamaño de la línea de espera.....	88
3.4	Estandarización de operaciones de la persona encargada del registro de camiones .....	89
<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>93</b>
4.1	Proceso de ingreso de camiones mejorado .....	93
4.1.1	Reducción en el número de operaciones de ingreso .....	94
4.1.2	Tiempo a reducir en operación.....	96

4.2	Proceso de egreso de camiones mejorado .....	97
4.2.1	Reducción en el número de operaciones de egreso .....	98
4.2.2	Tiempo a reducir en operación .....	99
4.3	Tiempo de servicio.....	101
4.3.1	Incremento de la tasa de servicio .....	102
4.3.2	Reducción del tiempo en el sistema .....	103
4.4	Distribución de llegadas.....	105
4.4.1	Reducción de la tasa de espera.....	105
4.4.2	Aumento del número de camiones que se pueden atender.....	106
4.5	Instalaciones del servicio .....	107
4.5.1	Cantidad óptima de instalaciones de servicio .....	108
<b>5.</b>	<b>SEGUIMIENTO DEL PROYECTO.....</b>	<b>109</b>
5.1	Calidad del servicio.....	109
5.1.1	Funcionalidad del método propuesto .....	110
5.1.2	Confiabilidad del método propuesto.....	110
5.2	Aspectos personales .....	112
5.2.1	Capacitación del personal.....	112
5.2.2	Condiciones de trabajo ideales .....	113
5.3	Aspectos del proceso .....	114
5.3.1	Operaciones que realiza el personal de garitas .....	115
5.3.2	Operaciones que se realizan en el registro de datos .....	116
5.4	Aspectos tecnológicos .....	116
5.4.1	Mantenimiento preventivo al equipo .....	117
5.4.2	Actualización del software.....	117
5.4.3	Actualización del equipo de registro de datos.....	118

<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>119</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>123</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>125</b>
<b>APÉNDICE</b> .....	<b>127</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>129</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del ingreso de camiones.....	17
2.	Diagrama de flujo del egreso de camiones con carga contenedorizada ..	18
3.	Diagrama de flujo del egreso de camiones con carga a granel.....	19
4.	Distribución de llegadas en el ingreso de los camiones .....	29
5.	Distribución de llegadas en el .....egreso de camiones con carga contenedorizada .....	30
6.	Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general.....	31
7.	Distribución del tiempo de servicio ..... en de servicio en el ingreso de camiones .....	43
8.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 1 .....	44
9.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 2.....	45
10.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 1.....	46
11.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 2.....	47
12.	Instalación de servicio para el sistema de ingreso de camiones .....	48
13.	Instalación de servicio para el sistema de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	48

14.	Instalación de servicio para el sistema de egreso de camiones con carga a granel .....	48
15.	Diagrama de flujo del proceso de autorización de ingreso de camiones ..	53
16.	Diagrama de flujo del proceso de autorización de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	55
17.	Diagrama de flujo del proceso de autorización de egreso de camiones con carga a granel y carga general.....	57
18.	Sistema en paralelo del proceso de ingreso de camiones .....	63
19.	Sistema en serie del proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada.....	66
20.	Sistema en serie del proceso de egreso de camiones con carga general y carga a granel.....	69
21.	Diagrama de flujo del proceso de ingreso de camiones mejorado.....	78
22.	Diagrama de flujo para el proceso de egreso de camiones mejorado .....	81
23.	Instalación de servicio para el sistema de ingreso de camiones mejorado .....	87
24.	Instalación de servicio para el sistema de egreso de camiones mejorado .....	87
25.	Diagrama de flujo de la operación.....	91
26.	Formato para registro de datos para tiempo de llegada y tiempo de servicio .....	127
27.	Formato de toma de tiempos diarios para tiempo de llegadas y tiempo de servicio .....	128
28.	CM4: reporte de ciclos/históricos .....	129

## TABLAS

I.	Descripción del proceso de ingreso de camiones .....	14
II.	Descripción del proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	15
III.	Descripción del proceso de egreso de camiones con carga a granel .....	16
IV.	Ingreso de camiones .....	21
V.	Egreso de camiones con carga contenedorizada .....	22
VI.	Egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	22
VII.	Cálculo de media para ingreso de camiones .....	23
VIII.	Cálculo de media para el egreso de camiones con carga contenedorizada .....	23
IX.	Cálculo de media para el egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	24
X.	Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el ingreso de camiones .....	25
XI.	Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga contenedorizada .....	26
XII.	Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	27
XIII.	Distribución de llegadas en el ingreso de camiones .....	28
XIV.	Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga contenedorizada .....	29
XV.	Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	30
XVI.	Tiempo de servicio en el proceso de ingreso de camiones .....	32
XVII.	Tiempo de servicio en el proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	32

XVIII.	Tiempo de servicio en el proceso de egreso de camiones ..... con carga a granel y carga general .....	33
XIX.	Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el ingreso de camiones .....	37
XX.	Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada en estación de servicio 1 .....	38
XXI.	Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada en estación de servicio 2 .....	39
XXII.	Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en egreso de camiones con carga a granel y carga general en estación de servicio 1 .....	40
XXIII.	Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en egreso de camiones con carga a granel y carga general en estación de servicio 2 .....	41
XXIV.	Distribución del tiempo de servicio en el ingreso de camiones .....	42
XXV.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 1 .....	43
XXVI.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 2 .....	44
XXVII.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 1 .....	45
XXVIII.	Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 2 .....	46
XXIX.	Proceso de autorización de ingreso de camiones .....	52
XXX.	Proceso de autorización de egreso de camiones con carga contenedorizada .....	54
XXXI.	Proceso de autorización de egreso de camiones con carga a granel y carga general .....	56
XXXII.	Acciones correctivas .....	72



XXXIII	Características de las garitas de ingreso .....	73
XXXIV	Características para las garitas de egreso .....	73
XXXV.	Descripción del proceso de ingreso de camiones mejorado .....	77
XXXVI.	Descripción del proceso de egreso de camiones mejorado .....	80
XXXVII.	Actividades a realizar en garitas .....	90
XXXVIII.	Comparativo entre las actividades del proceso actual y el proceso mejorado en el ingreso de camiones .....	95
XXXIX.	Comparativo entre el proceso actual y el proceso mejorado en el ingreso de camiones .....	96
XXXX.	Comparativo entre las actividades del proceso actual y el proceso mejorado en el egreso de camiones .....	98
XXXXI.	Comparativo entre el proceso actual y el proceso mejorado en el egreso de camiones .....	100
XXXXII.	Tiempo de servicio en el proceso actual y el proceso mejorado ...	101
XXXXIII.	Tiempo en el sistema en el proceso actual y el proceso mejorado	104
XXXXIV.	Tiempo de espera en el proceso actual y el proceso mejorado ....	105



## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
$\bar{x}$	Media
$\Sigma$	Sumatoria
$S^2$	Variancia
$\lambda$	Lamda
$\mu$	Nu
$\lambda_{ef}$	Lamda efectiva
$\rho$	Probabilidad
$!$	Factorial
$W_s$	Tiempo estimado de espera en el sistema
$W_q$	Tiempo estimado de espera en la fila



## GLOSARIO

<b>Carga contenedorizada</b>	Mercadería transportada dentro de un contenedor el cual puede transportar todo tipo de carga.
<b>Carga general</b>	Es la carga seca que viene en unidades sueltas y corresponde a cualquier tipo de mercadería que se ve en el comercio.
<b>Cola</b>	Una cola se caracteriza por el número máximo de clientes que se pueden admitir.
<b>Determinística</b>	Categoría en la que se supone que los datos se conocen con certeza.
<b>Disciplina de servicio</b>	Se refiere al orden en el que se seleccionan sus miembros para recibir el servicio.
<b>Distribución exponencial</b>	Función de densidad que tiene un gran número de aplicaciones en teoría de colas, ya que relaciona el tiempo entre las llegadas a las instalaciones de servicio y el tiempo de servicio.

<b>Distribución de <i>Poisson</i></b>	Representa el número de resultados que ocurren en un intervalo de tiempo dado o en una región específica.
<b>ES</b>	Estación de servicio
<b>FCFS</b>	Primero en llegar es el primero en ser atendido.
<b>Forma de las llegadas</b>	Patrón estadístico mediante el cuál se generan los clientes a través del tiempo.
<b>Granel líquido</b>	Carga que es transportada en estado líquido y en grandes volúmenes
<b>Granel sólido</b>	Carga seca sin ningún embalaje
<b>LCFS</b>	El último en llegar es el primero en ser atendido.
<b><math>L_s</math></b>	Número esperado de clientes en el sistema
<b><math>L_q</math></b>	Número esperado de clientes en la fila
<b><math>(M/M/1):(DG/\infty/\infty)</math></b>	Modelo de una cola con un servidor infinito
<b><math>(M/M/1):(DG/N/\infty)</math></b>	Modelo de una cola con un servidor finito
<b><math>(M/M/c):(DG/\infty/\infty)</math></b>	Modelo de una cola con múltiples servidores infinitos

<b>(M/M/c):(DG/N/∞), <math>c \leq n</math></b>	Modelo de una cola con múltiples servidores finitos
<b>(M/M/∞):(DG/∞/∞)</b>	Modelo de autoservicio
<b>(M/M/r):(DG/k/k), <math>r &lt; k</math></b>	Modelo de servicio de máquinas
<b>Media</b>	Representación de la tendencia central de los datos
<b>P<sub>n</sub></b>	Probabilidad de que haya exactamente n clientes en el sistema
<b>Probabilística</b>	Categoría en la cuál los datos presentan variaciones aleatorias.
<b>SAT</b>	Superintendencia de Administración Tributaria
<b>SIRO</b>	Servicio en orden aleatorio
<b>Tamaño de la población</b>	Es el número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento, es decir el número total de clientes potenciales distintos (puede suponerse que el tamaño es infinito o finito).
<b>Teoría de colas</b>	Estudio matemático del comportamiento de líneas de espera.

**Tiempo de servicio**

Es el tiempo que transcurre desde el inicio del servicio para un cliente hasta su terminación.

**Variancia**

Medida de dispersión o de variación aleatoria alrededor del valor de la media.



## RESUMEN

En un recinto portuario se encuentran muchas situaciones donde se puede aplicar la teoría de colas una de ellas es: camiones que esperan ser atendidos en las garitas de acceso (ingreso o egreso) del recinto portuario. El sistema actual cuenta con cuatro garitas distribuidas en dos para el ingreso y dos para el egreso de camiones.

De acuerdo a las características del sistema se aplicó el modelo  $(M/M/c):(DG/\infty/\infty)$  Modelo de una cola con múltiples servidores infinitos, donde se determinó que el sistema se encuentra sobresaturado, sobretodo en el egreso de camiones. Aparte de la saturación del sistema se encontraron deficiencias en el mismo entre las que se pueden mencionar que el piloto desciende del camión para obtener documentos, la distancia entre las garitas no es la adecuada y la información no se centraliza en el sistema.

Para solucionar las deficiencias encontradas se proponen las siguientes acciones: aumentar el número de garitas, colocar personal diferente para la revisión de vehículos livianos y transporte pesado, garitas multifuncionales, modificar el software del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones, digitar la información del pase de salida a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones para las garitas de egreso, colocar personal capacitado en las garitas de ingreso y egreso, ubicar un área fuera del recinto portuario para realizar los controles de selectivo aleatorio de la SAT y rampas de revisión de carga, reubicar la garita de confirmación de la SAT.

En las garitas de egreso con carga contenedorizada, mantener la disciplina de servicio tipo FCFS para el ingreso y egreso de camiones y por último el ingreso de datos al sistema se realizará en cualquier garita sin ninguna restricción.

La implementación del proyecto se realizó comparando el modelo actual contra el modelo mejorado, donde se determinó que el sistema de ingreso de camiones disminuirá su tiempo de servicio en 27 segundos y el sistema de egreso de camiones en aproximadamente 11 minutos. En lo referente a la tasa de llegadas se tendrá un aumento para el sistema de ingreso de 55 camiones/hora a 111 camiones/hora y para el egreso de 57 camiones/hora a 120 camiones/hora.

Los parámetros a seguir para el seguimiento del proyecto serán la calidad de servicio, aspectos del proceso, aspectos personales y aspectos tecnológicos.

# OBJETIVOS

## General

Definir un modelo matemático aplicando la teoría de colas para solucionar el congestionamiento en el ingreso y salida del transporte pesado en la empresa portuaria.

## Específicos

1. Realizar un análisis cualitativo del proceso de ingreso y salida de transporte pesado en las garitas de acceso en la Empresa Portuaria.
2. Identificar las causas que provocan el congestionamiento de camiones en las garitas de acceso.
3. Minimizar el tiempo de espera en las garitas de acceso de transporte pesado.
4. Determinar la capacidad física que debe tener el sistema para brindar un servicio rápido y eficiente.
5. Definir procedimientos operacionales que ayuden a estandarizar el proceso.
6. Proponer acciones correctivas que agilicen el proceso.
7. Implementar instalaciones de servicio eficientes que cubran la demanda del sistema.



## INTRODUCCIÓN

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o de sistemas de colas. Los modelos de teoría de colas se aplican en muchas situaciones entre las que se pueden mencionar: determinar la longitud promedio de la línea de espera y el tiempo de espera promedio para un sistema dado, determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto o cuál es la mejor forma de distribuir un sistema. Esto no es sencillo, ya que el cliente no llega a un horario fijo, es decir, no se sabe con exactitud en que momento llegarán los clientes. El tiempo de servicio tampoco tiene un horario fijo.

En este proyecto se aplicará la teoría de colas para determinar cuál es la mejor forma de distribuir las nuevas garitas de acceso que fueron construidas en el recinto portuario de la Empresa Portuaria Quetzal. Para obtener antecedentes del comportamiento de los procesos de ingreso y egreso de camiones, se realizó una evaluación del proceso, la cuál consistió en realizar una investigación de campo en la que se obtuvieron los tiempos de llegadas y tiempos de servicio para cada uno de los procesos.

En esta evaluación también se analizaron las actividades que se realizan tanto en el proceso de ingreso como en el proceso de egreso de camiones con el propósito de determinar que actividades pueden ser eliminadas o si es necesario realizar algún cambio para lograr una optimización del proceso.

Luego de obtener los datos y analizar las actividades se realizó un estudio de teoría de colas aplicando el modelo  $(M/M/c):(DG/\infty/\infty)$  Modelo de una cola con múltiples servidores infinitos el cuál es el que mejor se adapta a las características que presenta el sistema y conforme los resultados obtenidos se hizo la propuesta de cómo deben de ir distribuidas las garitas para el proceso mejorado. La propuesta no solamente va a estar enfocada en la distribución de las nuevas garitas, ya que además se hará una propuesta de cómo debe de funcionar todo el nuevo modelo de ingreso y egreso de camiones al recinto portuario. Cuando se habla de un modelo nuevo incluye: distribución de garitas, procesos de ingreso y egreso mejorados y mejoras al software.

Debido a que este proyecto básicamente es una propuesta sustentada con datos obtenidos directamente en la actividad operacional, deberá ser analizado y evaluado por la administración para su aprobación. El paso de la implementación del mismo se hará realizando una comparación del modelo actual contra el nuevo modelo, donde se le pondrá mayor énfasis a la reducción de tiempo de servicio que se pueda alcanzar realizando las mejoras propuestas y el número de camiones que se podrán atender con el nuevo modelo. Por último para darle mayor vida al proyecto se plantea una propuesta de seguimiento donde se tocarán los aspectos personales, del proceso y tecnológicos.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

El fenómeno de la espera es el resultado directo de la aleatoriedad en la operación de instalaciones de servicio. En general, la llegada del cliente y su tiempo de servicio no se conocen con anticipación; pero por otra parte, la operación de la instalación se podría programar en forma tal que eliminaría la espera por completo.

En un recinto portuario se encuentran muchas situaciones donde se puede aplicar la teoría de colas como ejemplo se puede mencionar: camiones que esperan ser atendidos en las garitas de acceso (ingreso o egreso) del recinto portuario. El recinto portuario cuenta actualmente con dos garitas de ingreso y dos garitas de egreso para atender a los camiones que desean registrarse en el recinto portuario, se ha dado la situación donde ciertos días durante el mes estás no se dan abasto para atender la gran demanda de camiones que se presentan, por lo que provoca congestión y por consiguiente demoras al proceso.

Para determinar las causas que provocan dicho congestión será necesario determinar las medidas de desempeño del sistema tanto desde el punto de vista del cliente como del grado de utilización de las instalaciones de servicio. Evaluando estas medidas de desempeño se podrá seleccionar el nivel de servicio (o tasa de servicio) que producirá un equilibrio razonable entre las dos situaciones en conflicto.

En las instalaciones de servicio se puede observar que en las garitas de ingreso no tienen ninguna restricción con respecto al tipo de camiones que atienden, por el contrario, en las garitas de egreso se tiene la restricción que una de ellas solamente atiende camiones con carga contenedorizada y la otra queda libre para atender camiones con carga a granel y carga general. Otra situación que se presenta en las instalaciones de servicio es que en las garitas de egreso, específicamente en la que atiende los camiones con carga a granel y carga general, estos deben pasar previamente a obtener su pase de salida a otra instalación a unos 15 metros de la garita, lo que interrumpe el flujo del proceso. En la garita de egreso para camiones con carga contenedorizada también se encuentra el inconveniente que la fluidez del proceso lo impone otra instalación que se encuentra a un costado de la garita de egreso del recinto portuario y que es completamente independiente al mismo.

## **1.1 Definición de teoría de colas**

La teoría de colas es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Estas se presentan cuando clientes llegan a un lugar demandando un servicio a un servidor el cuál tiene cierta capacidad de atención. Si el servidor no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma cola en la línea de espera.



## **1.2 Elementos básicos del modelo de teoría de colas**

En los modelos de espera, las llegadas y los tiempos de servicio del cliente se resumen en términos de distribuciones de probabilidad que normalmente se conocen como distribuciones de llegadas y de tiempo de servicio.

Aunque los patrones de llegadas y egresos son los factores principales en el análisis de las líneas de espera, también pueden figurar otros factores en forma importante en la elaboración de los modelos. El primer factor es la forma como se elige a los clientes en la línea de espera para dar inicio al servicio. Esta se conoce como la disciplina de servicio. La disciplina más común, y en apariencia justa, es la regla FCFS (el primero en llegar es el primero en ser atendido). Las reglas LCFS (el último en llegar es el primero en ser atendido) y SIRO (servicio en orden aleatorio) pueden surgir también en situaciones prácticas.

El segundo factor tiene que ver con el diseño de la instalación y la ejecución del servicio. La instalación puede incluir más de un servidor, con lo cuál es posible atender a tantos clientes en forma simultánea como número de servidores haya. En este caso, todos los servidores ofrecen el mismo servicio y se dice que la instalación tiene servidores paralelos. Por otra parte, la instalación puede comprender un número de estaciones en serie por las que puede pasar el cliente antes de que se complete el servicio. Las situaciones resultantes se conocen normalmente como líneas de espera en serie o líneas de espera sucesivas. El diseño más general de una instalación de servicio incluye estaciones de procesamiento en serie y en paralelo. Esto da origen a lo que llamamos líneas de espera en red.

El tercer factor tiene que ver con el tamaño de la línea de espera admisible. En ciertos casos, sólo se puede admitir a un número limitado de clientes, posiblemente en virtud de la limitación del espacio. Cuando la línea de espera se llena a toda su capacidad, los clientes que llegan no se pueden formar en la línea de espera.

El cuarto factor se relaciona con la naturaleza de la fuente que genera llamadas solicitando servir (llegadas de clientes). La fuente de llamadas puede ser capaz de generar un número finito de clientes o (en teoría) infinitamente muchos clientes. Existe una fuente finita cuando una llegada afecta la tasa de llegada de nuevos clientes.

Los modelos de espera que representan situaciones en las que los seres humanos son clientes y/o servidores, deben estar diseñados para tomar en cuenta el efecto de la conducta del ser humano. Un servidor humano puede cambiarse de una línea de espera a otra, con la esperanza de reducir su tiempo de espera. Algunos clientes humanos pueden también eludir formarse en una línea de espera en virtud de que anticipen una demora apreciable, o bien, puede renunciar después de estar un momento en la fila debido a que su espera haya sido demasiado larga. Los elementos básicos de un modelo de espera dependen de los siguientes factores:

- Distribución de llegadas (llegadas individuales o masivas en grupo).
- Distribución del tiempo de servicio (servicio individual ó masivo).
- Diseño de la instalación de servicio (estaciones en serie ó en paralelo).
- Disciplina de servicio (FCFS, LCFS, SIRO) y prioridad de servicio.
- Tamaño de la línea de espera (finito o infinito).
- Fuente de llamadas (finita o infinita).
- Conducta humana (cambios, elusión y renuncia).

### **1.3 Funciones de las distribuciones de *Poisson* y exponencial**

Las distribuciones de *Poisson* y exponencial son importantes en el análisis de la espera. Éstas se caracterizan por instalaciones de servicio en las que las llegadas y el servicio son completamente aleatorios.

#### **1.3.1 Distribución de *Poisson***

La distribución de probabilidad de la variable aleatoria de *Poisson*  $n$ , representa el número de resultados que ocurren en un intervalo de tiempo dado o en una región específica.

#### **1.3.2 Distribución exponencial**

Es una función de densidad que tiene un gran número de aplicaciones en teoría de colas, ya que relaciona el tiempo entre las llegadas a las instalaciones de servicio y el tiempo de servicio.

La relación entre la distribución exponencial y el proceso de *Poisson* es que la distribución de *Poisson* se desarrolló como una distribución de un solo parámetro y la distribución exponencial se desarrolló para intervalos de tiempo entre eventos sucesivos, el número de eventos en un periodo dado debe corresponder a una distribución de *Poisson*.

## **1.4 Modelos de teoría de colas**

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o de sistemas de colas. Los modelos sirven para encontrar el comportamiento de estado estable, como la longitud promedio de la línea y el tiempo de espera promedio para un sistema dado. A continuación se describen los diferentes tipos de modelos de teoría de colas:

### **1.4.1 Proceso de nacimiento puro**

Situación de emitir actas de nacimiento para bebés recién nacidos. Este es un proceso completamente aleatorio que se puede describir por medio de una distribución de *Poisson*. Donde la emisión con que se emiten las actas son la tasa de llegada durante un periodo de tiempo, por lo tanto, el proceso de nacimiento puro ayuda a determinar cuantas actas se pueden emitir en determinado tiempo.

### **1.4.2 Proceso de muerte pura**

Situación en que se almacena cierta cantidad de artículos al inicio de la semana, para satisfacer la demanda de los clientes durante la misma. La demanda se presenta a una tasa determinada de unidades por día y el proceso de demanda es completamente aleatorio. El proceso de muerte pura ayudará a determinar la probabilidad asociada de tener un determinado número de artículos en almacén después de un tiempo específico.

### **1.4.3 Líneas de espera con llegadas y egresos combinadas**

Trata sobre situaciones de espera que combinan sistemas de llegadas y salidas. Se limita la atención a las líneas de espera donde los clientes son atendidos por cierto número de servidores en paralelo, de manera que se pueda dar servicio a un número de clientes al mismo tiempo. Todos los servidores ofrecen servicios iguales desde el punto de vista del tiempo que se requiere para atender a cada cliente. El número de clientes en el sistema en cualquier punto se define como aquel que incluye a aquellas personas que están en la línea de espera y en servicio.

#### **1.4.3.1 Medidas de desempeño de estado estable**

Entre las principales medidas de desempeño se cuentan: número esperado de clientes en el sistema ( $L_s$ ), número esperado de clientes en la fila ( $L_q$ ), tiempo estimado de espera en el sistema ( $W_s$ ) y tiempo estimado de espera en la fila ( $W_q$ ). El sistema abarca tanto a la fila como al servicio.

### **1.4.4 Líneas de espera especializadas de *Poisson***

Cada modelo se describe en términos de la notación extendida de *Kendall*. Como la deducción  $p_n$  es completamente independiente de la disciplina de la línea de espera, es apropiado usar el símbolo DG (disciplina general) en la notación de *Kendall*.

### **(M/M/1):(DG/∞/∞) Modelo de una cola con un servidor infinito**

Modelo de servidor único sin límite en la capacidad del sistema o de la fuente de llamadas. Se supone que las tasas de llegadas son independientes del número en el sistema.

Similarmente, se supone que el servidor único en el sistema completa el servicio a una tasa constante. Un ejemplo de este modelo: instalaciones de servicio de lavado de autos.

### **(M/M/1):(DG/N/∞) Modelo de una cola con un servidor finito**

La única diferencia entre este modelo y el (M/M/1):(DG/∞/∞) es que el número máximo de clientes permitido en el sistema es N (longitud máxima de la línea de espera = N - 1). Esto significa que cuando haya N clientes en el sistema, se impiden todas las nuevas llegadas o no se les permite unirse a la línea de espera. Un ejemplo de este modelo es un estacionamiento de automóviles, en donde se tiene un número limitado de parqueos.

### **(M/M/c):(DG/∞/∞) Modelo de una cola con múltiples servidores infinitos**

Los clientes llegan con una tasa constante y un número ilimitado de clientes que pueden ser atendidos simultáneamente. La tasa de servicio por servidor activo es también constante e igual, como por ejemplo las cajas registradoras en los supermercados.

**(M/M/c):(DG/N/∞),  $c \leq N$  Modelo de una cola con múltiples servidores finitos**

Esta situación de espera difiere de (M/M/c):(DG/∞/∞) en que se impone un límite N sobre la capacidad del sistema, como por ejemplo en los bancos que solamente permiten entrar cierta cantidad de personas.

**(M/M/∞):(DG/∞/∞) – Modelo de autoservicio**

El número de servidores es ilimitado porque el cliente mismo es también el servidor. Este es normalmente el caso en los establecimientos de autoservicio.

**(M/M/R):(DG/K/K),  $R < K$  - Modelo de servicio de máquinas**

Supone que se dispone de R técnicos en reparaciones para dar servicio a un total de K máquinas. Como una máquina descompuesta no puede generar nuevas llamadas mientras está en servicio, el modelo es un ejemplo de una fuente de llamadas finita.

**1.4.5 Líneas de espera que no obedecen la distribución de *Poisson***

Los modelos de líneas de espera donde los sistemas de llegada y/o egreso no siguen las hipótesis de *Poisson*, conducen a resultados sumamente complejos y tal vez poco manejables.

Esto debido a que el tiempo de servicio se describe por medio de una distribución general de probabilidades con media y variancia, quiere decir que la tasa de servicio es constante, al contrario a los modelos que obedecen una distribución de *Poisson* en donde la tasa de servicio varía dependiendo del cliente.

#### **1.4.6 Líneas de espera con prioridades de servicio**

En los modelos de espera con prioridad, se supone que se forman varias líneas de espera en paralelo enfrente del establecimiento con cada línea de espera, incluyendo a los clientes que pertenezcan a cierto orden de prioridad. Si la instalación tiene  $m$  líneas de espera o filas, suponemos que la fila 1 tiene la más alta prioridad de servicio y la línea de espera  $m$  incluye a clientes con la más baja prioridad. Por lo tanto, en los modelos con prioridad de servicio, el servicio a los clientes con más baja prioridad puede ser interrumpido para favorecer a un cliente que llegue con más alta prioridad. Esto es muy usual en las fábricas donde puede llegar un pedido urgente, por lo que la producción de otros productos con más baja prioridad se puede parar para dar prioridad al pedido urgente.

#### **1.4.7 Líneas de espera sucesivas o en serie**

Se considera una línea de subensamblaje de dos estaciones una detrás de la otra. Un cliente que llega para ser atendido debe pasar por la estación 1 y la estación 2.



Los tiempos de servicio en cada estación están exponencialmente distribuidos con la misma tasa de servicio. Las llegadas ocurren según una distribución de *Poisson* con una tasa de llegadas. No se permite ninguna cola enfrente de las estaciones 1 ó 2.



## 2. EVALUACIÓN DEL PROCESO

Se presentan los detalles del proceso de ingreso y egreso de transporte pesado en las garitas de acceso de la Empresa Portuaria Quetzal, con los cuales se pretende medir objetivamente la situación actual del proceso en lo referente a instalaciones, disciplina de servicio, prioridad de servicio y lo más importante la distribución de llegadas y el tiempo de servicio del proceso, factores principales en el análisis de la teoría de colas.

### 2.1 Descripción del proceso actual

Antes de hablar del proceso de ingreso y egreso de transporte pesado es importante mencionar qué tipo de carga es la que el camión irá a cargar o descargar dentro del recinto portuario, para esto es importante mencionar que de acuerdo a la forma en que se presenta la carga se clasifica en

**A. Granel líquido:** carga que es transportada en estado líquido y en grandes volúmenes, por ejemplo: gasolina, gas propano, sebo. Los vehículos que normalmente se utilizan serán los conocidos como cisternas, su contenido es altamente inflamable.

**B. Granel sólido:** carga seca sin ningún embalaje, por ejemplo azúcar y maíz. Los vehículos utilizados para la movilización de este tipo de carga son: camiones de volteo o cabezales con unidades especiales.

**C. Carga general:** es la carga seca que viene en unidades sueltas y corresponde a cualquier tipo de mercadería que se ve en el comercio, por ejemplo llantas, tubos, aceite en latas, etc.

**D. Carga contenedorizada:** actualmente la mayoría de la mercadería es transportada dentro de un contenedor el cuál puede transportar todo tipo de carga. Un contenedor puede ser de diferente tamaño hay de 20 pies, 40 pies y 45 pies de largo.

Luego de haber clasificado la carga, a continuación se describen los procesos de ingreso y egreso de camiones del recinto portuario.

**Tabla I. Descripción del proceso de ingreso de camiones**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE INGRESO	
PROCEDIMIENTO	NÚMERO DE PASOS 08	PROCESO ACTUAL	
INGRESO DE CAMIONES	DICIEMBRE 2003	HOJA 1 DE 1	
INICIA: PILOTO		FINAL: GARITA DE INGRESO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Camión se traslada hacia la garita	Piloto	El camión se traslada del parqueo de tráfico pesado hacia las garitas de ingreso del recinto portuario.
2	Esperar turno	Piloto	El camión espera turno para registrarse en las garitas de ingreso.
3	Ingresar a la garita	Piloto	Ingresa a la garita para registrarse.
4	Proporcionar los datos	Piloto	Proporciona datos personales y del camión
5	Registrar los datos	Encargado de garita	Registra los datos del piloto y del camión en el sistema
6	Revisar el camión	Agente de seguridad	Al mismo tiempo está realizando la revisión física del camión.
7	Entregar el ciclo	Encargado de garita	Entrega al piloto del camión el ciclo de identificación.
8	Autorizar el ingreso	Encargado de garita	Autoriza el ingreso del camión al recinto portuario.

## Egreso de camiones

Este proceso se describe en dos partes debido a que siguen actividades diferentes los camiones que transportan carga contenedorizada y los que transportan graneles y carga general.

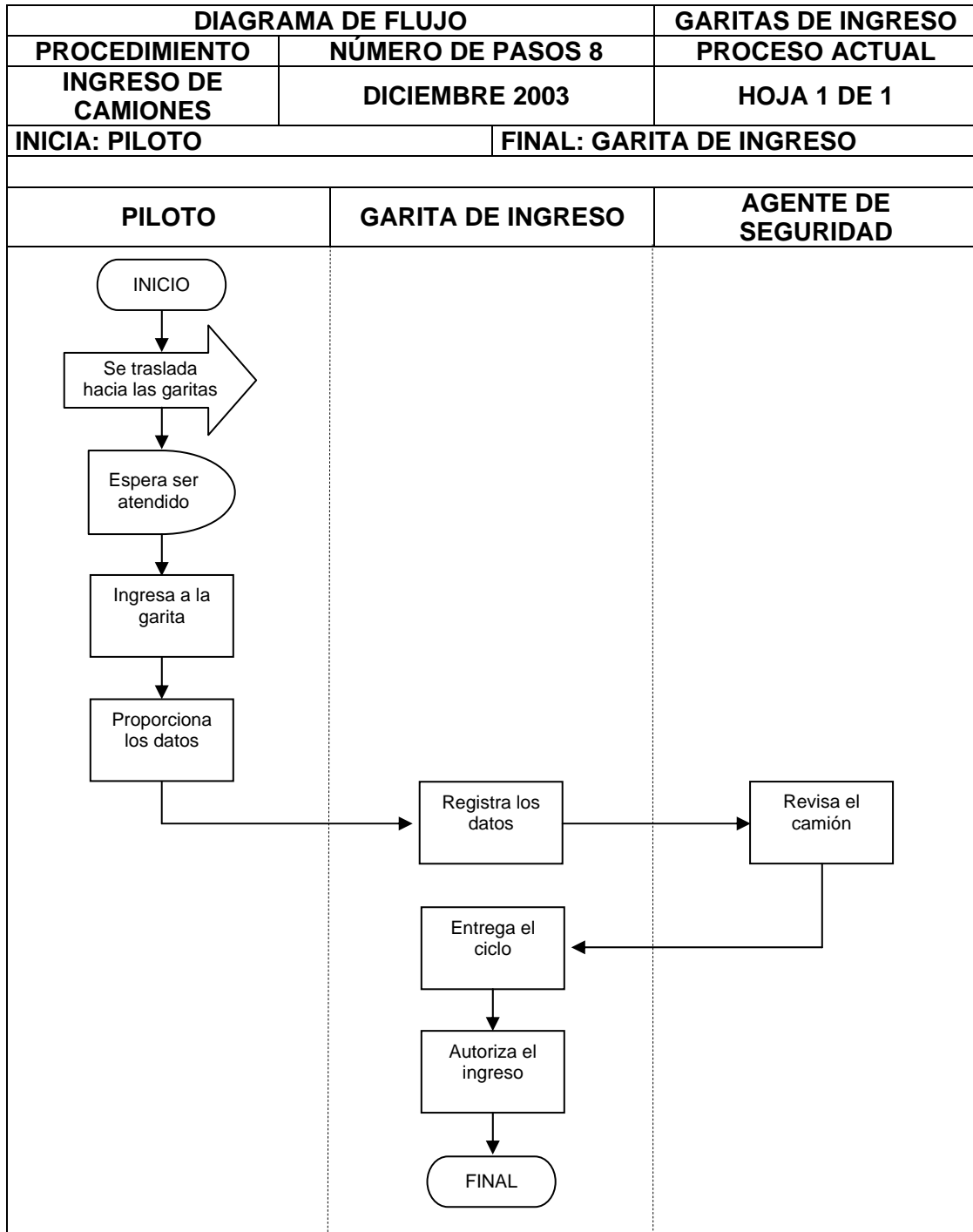
**Tabla II. Descripción del proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE EGRESO	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 09	
EGRESO DE CAMIONES CON CARGA CONTENEDORIZADA		DICIEMBRE 2003	
INICIA: PILOTO		FINAL: GARITA DE LA SAT	
ACTIVIDAD		EJECUTOR	
		DESCRIPCIÓN	
1	Camión se traslada hacia la garita	Piloto	El camión se traslada de las instalaciones de MAGA hacia las garitas de egreso del recinto portuario.
2	Descender del camión	Piloto	Desciende del camión a entregar los documentos a la persona encargada de llevar el registro de camiones llenos.
3	Registrar los datos	Persona encargada	Registra datos del piloto y del camión
4	Regresar al camión y dirigirse a la garita	Piloto	Regresa a camión y se dirige hacia la garita de egreso.
5	Entregar los documentos	Piloto	Entrega los documentos de carga y ciclo.
6	Cancelar el ciclo y autoriza el egreso	Encargado de garita	Compara el núm. de contenedor que indica el documento con lo real del contenedor, cancela el ciclo y autoriza el egreso.
7	Trasladar a la garita de la SAT	Piloto	Se traslada hacia la garita de verificación de la SAT.
8	Verificar el contenedor	Garita de la SAT	Verifica en el sistema de la SAT que el contenedor esté liberado y revisa el marchamo y numeración del contenedor.
9	Autorizar el egreso	Garita de la SAT	Autoriza el egreso final del contenedor.

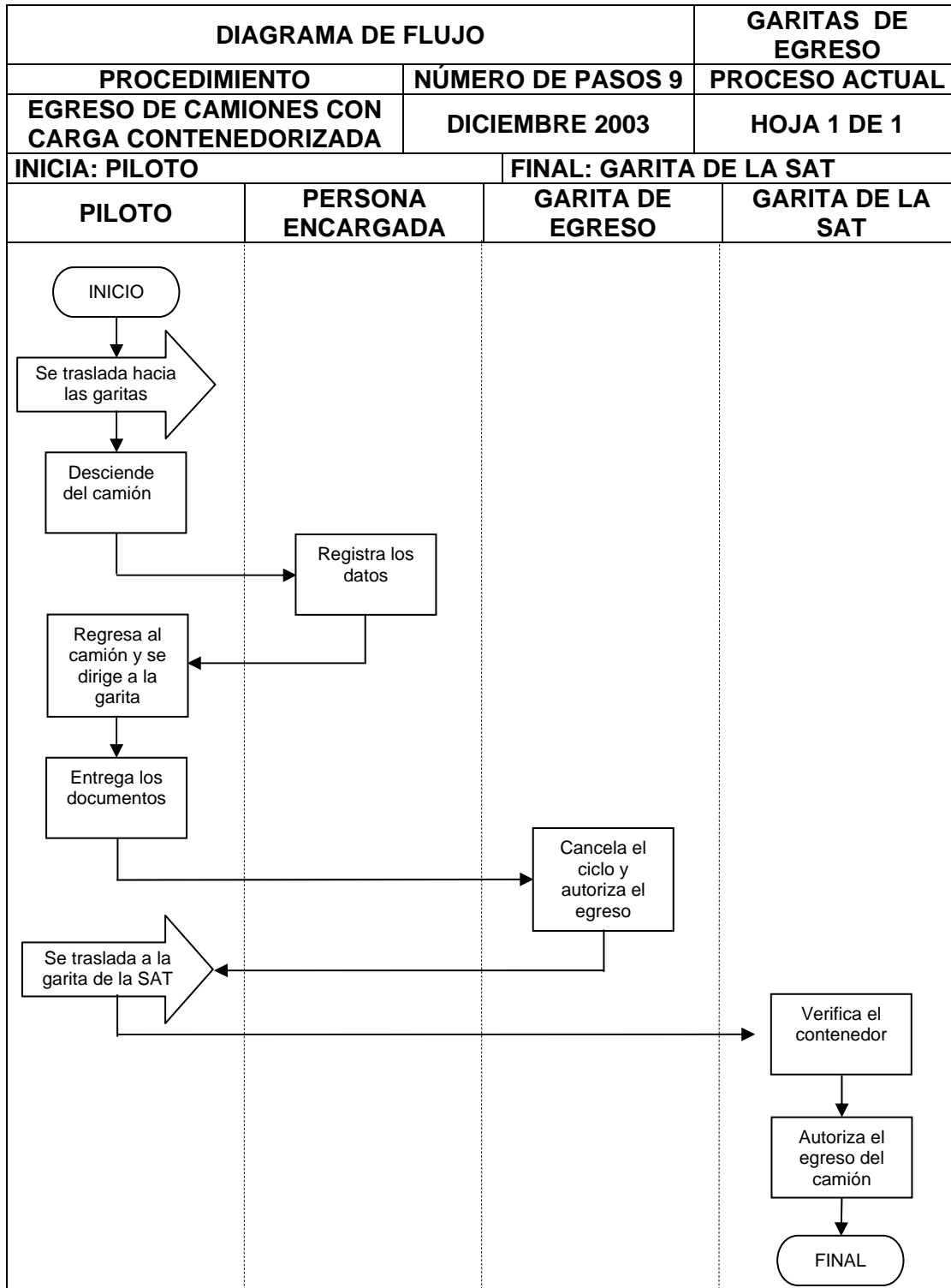
**Tabla III. Descripción del proceso de egreso de camiones con carga a granel y carga general**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE EGRESO	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 8	PROCESO ACTUAL
EGRESO DE CAMIONES CON CARGA A GRANDEL Y CARGA GENERAL		DICIEMBRE 2003	HOJA 1 DE 1
INICIA: PILOTO		FINAL: GARITA DE LA SAT	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Camión se traslada hacia la garita	Piloto	El camión se traslada de las básculas hacia la garita de egreso del recinto portuario.
2	Descender del camión	Piloto	Se detiene el camión y el piloto desciende para trasladarse a la oficina de despacho para obtener el pase de salida.
3	Entregar la boleta de pesaje	Piloto	Entrega la boleta de pesaje y datos personales.
4	Elaborar el pase de salida	Persona encargada	Recibe la boleta de pesaje y procede a elaborar el pase de salida.
5	Recibir el pase de salida y dirigirse a la garita	Piloto	Recibe el pase de salida y se dirige hacia la garita de egreso.
6	Entregar los documentos	Piloto	Entrega el pase de salida y ciclo.
7	Cancelar el ciclo	Encargado de garita	Recibe los documentos y revisa que estén en orden y cancela el ciclo.
8	Autorizar el egreso	Encargado de garita	Autoriza el egreso del camión.

**Figura 1. Diagrama de flujo del ingreso de camiones**

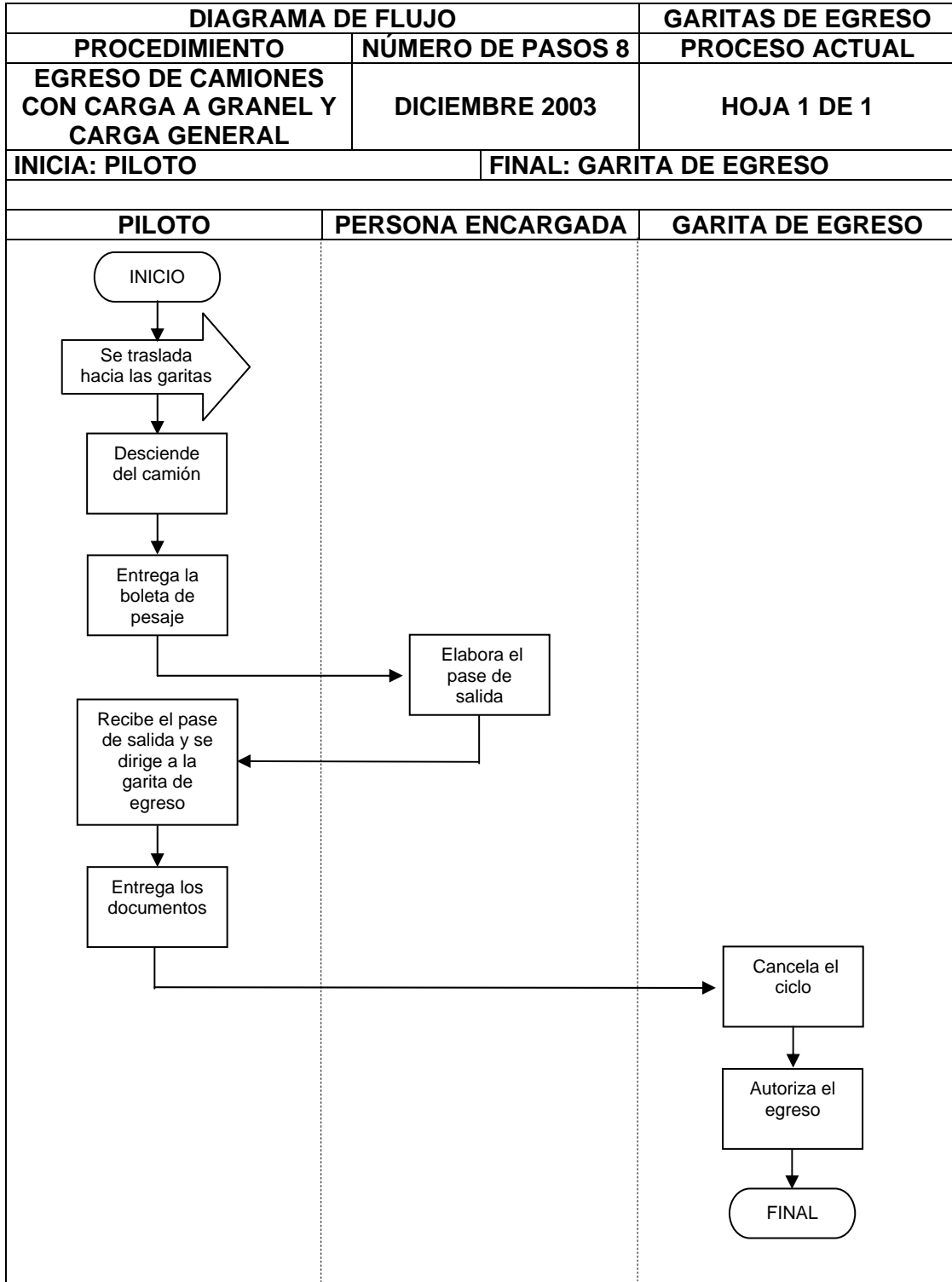


**Figura 2. Diagrama de flujo del egreso de camiones con carga contenedorizada**





**Figura 3. Diagrama de flujo del egreso de camiones con carga a granel**



## **2.2 Características del proceso actual**

El sistema actual cuenta con dos garitas de ingreso y dos garitas de egreso. En las garitas de ingreso se tiene un sistema de una cola con múltiples servidores ya que no hay ninguna restricción para el ingreso de camiones, por el contrario para las garitas de egreso se está utilizando un sistema de una cola con un servidor ya que se tiene una garita de egreso para camiones que transportan carga contenedorizada y otra garita de egreso para camiones con carga a granel y carga general.

Para poder obtener más información del sistema se procedió a hacer una evaluación de las características del sistema actual para poder determinar cuál es el comportamiento de la distribución de llegada, distribución de tiempo de servicio, el tipo de instalaciones de servicio, la disciplina de servicio y la prioridad que se le da a este y el tamaño de la línea de espera del sistema.

### **2.2.1 Distribución de llegadas**

Como su nombre lo indica es la forma en que van llegando los clientes al sistema, en este caso los camiones a las garitas, para este caso en particular la llegada de los camiones es en forma individual por lo que se tendrá un tiempo de llegada para cada uno de los camiones.

#### **2.2.1.1 Registro de datos**

El registro de datos para la distribución de llegadas se hace tomando como base el registro del sistema operativo del recinto portuario, el cuál lleva el control de los ingresos y egresos de los camiones.

Debido a que se tienen tres procesos diferentes, se realiza un registro de datos de la distribución de llegadas para cada uno de ellos, los cuáles consisten en: registro de datos para el ingreso de camiones, registro de datos para el egreso de camiones con carga contenedorizada y un registro para el egreso de camiones con carga a granel.

Para el registro de datos de la distribución de llegadas al recinto portuario se toma como base el mes con más afluencia de camiones, así como se toman los datos de lunes a viernes de dicho mes, ya que con esto se estarán registrando los puntos más críticos del sistema.

### 2.2.1.2 Tabulación de datos

Se tabulan los datos de los días de lunes a viernes del mes, debido a que es en estos días cuando se tiene una mayor demanda del servicio. Éstos a su vez serán agrupados en columnas para representar las cuatro semanas, por lo tanto la tabulación para cada uno de los procesos queda de la siguiente manera:

**Tabla IV. Ingreso de camiones**

PERIODO	MUESTRA			
	1	2	3	4
<b>Lunes</b>	682	590	751	474
<b>Martes</b>	738	871	853	624
<b>Miércoles</b>	779	867	1113	436
<b>Jueves</b>	765	951	1164	458
<b>Viernes</b>	835	918	955	488

**Tabla V. Egreso de camiones con carga contenedorizada**

PERIODO	MUESTRA			
	1	2	3	4
Lunes	175	312	282	359
Martes	355	369	290	313
Miércoles	387	380	343	321
Jueves	417	361	364	369
Viernes	367	317	247	299

**Tabla VI. Egreso de camiones con carga a granel y carga general**

PERIODO	MUESTRA			
	1	2	3	4
Lunes	419	213	552	230
Martes	409	415	728	565
Miércoles	327	574	749	350
Jueves	377	543	599	188
Viernes	432	644	307	169

### 2.2.1.3 Cálculo de media

La media o el valor promedio es una representación de la tendencia central de los datos, para calcularla se depende del tipo de variable que se esté tratando, estas pueden ser basadas en la observación o basadas en el tiempo. Este caso en particular se basa en la observación del sistema para el cálculo de media para la distribución de llegadas, por lo tanto la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

**Tabla VII. Cálculo de media para ingreso de camiones**

PERIODO	MUESTRA				TOTAL
	1	2	3	4	
<b>Lunes</b>	682	590	751	474	<b>2497</b>
<b>Martes</b>	738	871	853	624	<b>3086</b>
<b>Miércoles</b>	779	867	1113	436	<b>3195</b>
<b>Jueves</b>	765	951	1164	458	<b>3338</b>
<b>Viernes</b>	835	918	955	488	<b>3196</b>
					<b>15312</b>

$$\bar{x} = 15,312 / 20$$

$$\bar{x} = 765.6 \approx 766 \text{ camiones / día}$$

**Tabla VIII. Cálculo de media para el egreso de camiones con carga contenedorizada**

PERIODO	MUESTRA				TOTAL
	1	2	3	4	
<b>Lunes</b>	175	312	282	359	<b>1128</b>
<b>Martes</b>	355	369	290	313	<b>1327</b>
<b>Miércoles</b>	387	380	343	321	<b>1431</b>
<b>Jueves</b>	417	361	364	369	<b>1511</b>
<b>Viernes</b>	367	317	247	299	<b>1230</b>
					<b>6627</b>

$$\bar{x} = 6,627 / 20$$

$$\bar{x} = 331.35 \approx 331 \text{ camiones / día}$$

**Tabla IX. Cálculo de media para el egreso de camiones con carga a granel y carga general**

PERIODO	MUESTRA				TOTAL
	1	2	3	4	
<b>Lunes</b>	419	213	552	230	<b>1414</b>
<b>Martes</b>	409	415	728	565	<b>2117</b>
<b>Miércoles</b>	327	574	749	350	<b>2000</b>
<b>Jueves</b>	377	543	599	188	<b>1707</b>
<b>Viernes</b>	432	644	307	169	<b>1552</b>
					<b>8790</b>

$$\bar{x} = 8,790 / 20$$

$$\bar{x} = 439.50 \approx 440 \text{ camiones / día}$$

#### 2.2.1.4 Cálculo de variancia

La variancia es una medida de dispersión o de variación aleatoria alrededor del valor de la media. Esta es una medida del grado de incertidumbre, en el sentido que entre mayor sea el valor de la variancia, se está más inclinado a pensar que la variable es de carácter probabilístico. El cálculo de la variancia para la distribución de llegadas, al igual que en el caso del cálculo de la media se basará en la observación y la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

**Tabla X. Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el ingreso de camiones**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	682	766	7056
2	738	766	784
3	779	766	169
4	765	766	1
5	835	766	4761
6	590	766	30976
7	871	766	11025
8	867	766	10201
9	951	766	34225
10	918	766	23104
11	751	766	225
12	853	766	7569
13	1113	766	120409
14	1164	766	158404
15	955	766	35721
16	474	766	85264
17	624	766	20164
18	436	766	108900
19	458	766	94864
20	488	766	77284
<b>TOTAL</b>			<b>831106</b>

$$S^2 = \frac{831,106}{20 - 1}$$

$$S^2 = 43,742.42$$

Como se mencionó anteriormente la variancia es una medida del grado de incertidumbre que da la pauta para determinar si el análisis realizado tiende a ser de carácter probabilístico o determinístico. Luego de haber realizado este análisis se determina que para el ingreso de camiones, el sistema tiende a ser más de carácter probabilístico debido al valor tan alto que se ha obtenido con respecto a la media.

**Tabla XI. Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga contenedorizada**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	175	331	24336
2	355	331	576
3	387	331	3136
4	417	331	7396
5	367	331	1296
6	312	331	361
7	369	331	1444
8	380	331	2401
9	361	331	900
10	317	331	196
11	282	331	2401
12	290	331	1681
13	343	331	144
14	364	331	1089
15	247	331	7056
16	359	331	784
17	313	331	324
18	321	331	100
19	369	331	1444
20	299	331	1024
<b>TOTAL</b>			<b>58089</b>

$$S^2 = \frac{58,089}{20 - 1}$$

$$S^2 = 3,057.19$$

Al haber realizado el análisis anterior, se procede a definir para el egreso de camiones con carga contenedorizada, que el sistema adecuado es el de carácter probabilístico, debido al valor tan alto que se obtuvo con respecto a la media.



**Tabla XII. Cálculo de variancia para la distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	419	440	441
2	409	440	961
3	327	440	12769
4	377	440	3969
5	432	440	64
6	213	440	51529
7	415	440	625
8	574	440	17956
9	543	440	10609
10	644	440	41616
11	552	440	12544
12	728	440	82944
13	749	440	95481
14	599	440	25281
15	307	440	17689
16	230	440	44100
17	565	440	15625
18	350	440	8100
19	188	440	63504
20	169	440	73441
<b>TOTAL</b>			<b>579248</b>

$$S^2 = \frac{579,248}{20 - 1}$$

$$S^2 = 30,486.50$$

Al haber realizado el análisis anterior, se procede a definir para el egreso de camiones con carga a granel y carga general, que el sistema adecuado es el de carácter probabilístico, debido al valor tan alto que se obtuvo con respecto a la media.

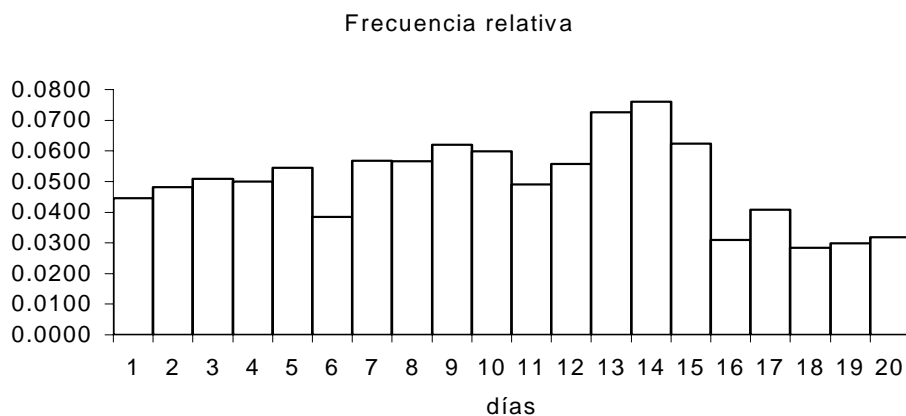
### 2.2.1.5 Histograma de frecuencia para la distribución de llegadas

Los datos primarios obtenidos del estudio proporcionan información de cada observación individual, los cuáles no permiten una interpretación descriptiva de la naturaleza de los mismos. La media y la variancia calculadas anteriormente, proporcionan las formas más simples de una representación descriptiva de los datos primarios. Una manera más apta para resumir los datos primarios es utilizar el histograma de frecuencia que se presenta en la página siguiente.

**Tabla XIII. Distribución de llegadas en el ingreso de camiones**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	682	0.0445	0.0445
[1, 2)	738	0.0482	0.0927
[2, 3)	779	0.0509	0.1436
[3, 4)	765	0.0500	0.1936
[4, 5)	835	0.0545	0.2481
[5, 6)	590	0.0385	0.2866
[6, 7)	871	0.0569	0.3435
[7, 8)	867	0.0566	0.4001
[8, 9)	951	0.0621	0.4623
[9, 10)	918	0.0600	0.5222
[10, 11)	751	0.0490	0.5713
[11, 12)	853	0.0557	0.6270
[12, 13)	1113	0.0727	0.6996
[13, 14)	1164	0.0760	0.7757
[14, 15)	955	0.0624	0.8380
[15, 16)	474	0.0310	0.8690
[16, 17)	624	0.0408	0.9097
[17, 18)	436	0.0285	0.9382
[18, 19)	458	0.0299	0.9681
[19, 20)	488	0.0319	1.0000
<b>Totales</b>	<b>15312</b>	<b>1.0000</b>	

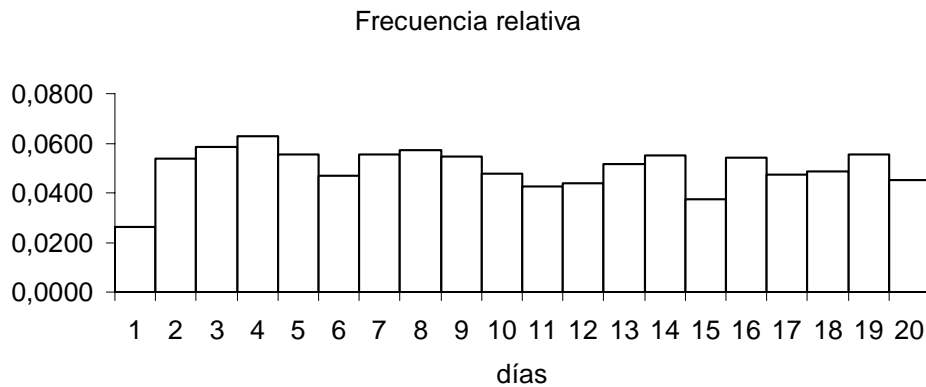
**Figura 4. Distribución de llegadas en el ingreso de los camiones**



**Tabla XIV. Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga contenedorizada**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	175	0.0264	0.0264
[1, 2)	355	0.0536	0.0800
[2, 3)	387	0.0584	0.1384
[3, 4)	417	0.0629	0.2013
[4, 5)	367	0.0554	0.2567
[5, 6)	312	0.0471	0.3038
[6, 7)	369	0.0557	0.3594
[7, 8)	380	0.0573	0.4168
[8, 9)	361	0.0545	0.4713
[9, 10)	317	0.0478	0.5191
[10, 11)	282	0.0426	0.5616
[11, 12)	290	0.0438	0.6054
[12, 13)	343	0.0518	0.6572
[13, 14)	364	0.0549	0.7121
[14, 15)	247	0.0373	0.7494
[15, 16)	359	0.0542	0.8035
[16, 17)	313	0.0472	0.8508
[17, 18)	321	0.0484	0.8992
[18, 19)	369	0.0557	0.9549
[19, 20)	299	0.0451	1.0000
<b>Totales</b>	<b>6627</b>	<b>1.0000</b>	

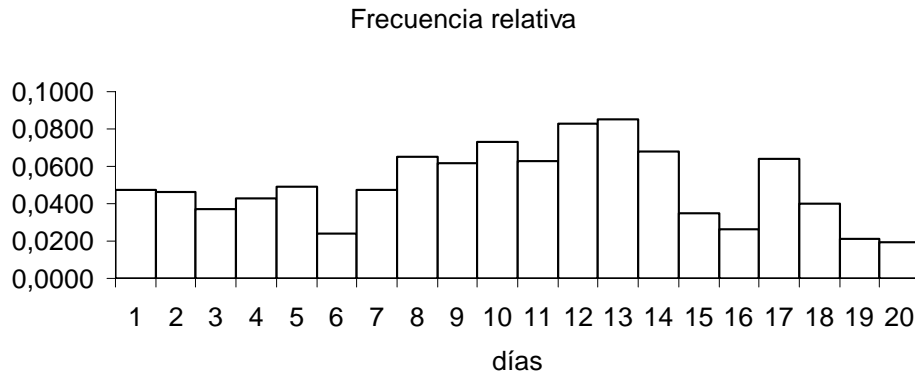
**Figura 5. Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga contenedorizada**



**Tabla XV. Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	419	0.0477	0.0477
[1, 2)	409	0.0465	0.0942
[2, 3)	327	0.0372	0.1314
[3, 4)	377	0.0429	0.1743
[4, 5)	432	0.0491	0.2234
[5, 6)	213	0.0242	0.2477
[6, 7)	415	0.0472	0.2949
[7, 8)	574	0.0653	0.3602
[8, 9)	543	0.0618	0.4220
[9, 10)	644	0.0733	0.4952
[10, 11)	552	0.0628	0.5580
[11, 12)	728	0.0828	0.6408
[12, 13)	749	0.0852	0.7261
[13, 14)	599	0.0681	0.7942
[14, 15)	307	0.0349	0.8291
[15, 16)	230	0.0262	0.8553
[16, 17)	565	0.0643	0.9196
[17, 18)	350	0.0398	0.9594
[18, 19)	188	0.0214	0.9808
[19, 20)	169	0.0192	1.0000
<b>Totales</b>	<b>8790</b>	<b>1.0000</b>	

**Figura 6. Distribución de llegadas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general**



## 2.2.2 Distribución del tiempo de servicio

Es el tiempo que pasa el camión en el sistema en el cuál le están prestando el servicio. Este tiempo dependerá del número de estaciones con que cuente el sistema y puede variar de uno a otro, en este caso como en el de la distribución de llegadas, los tiempos de los camiones se tomarán en forma individual por lo que se tendrá un tiempo de servicio para cada uno de los camiones.

### 2.2.2.1 Registro de datos

El registro de datos para la distribución de tiempo de servicio se aplica tomando como base la observación física del sistema. Para esto se toman en forma aleatoria tiempos a diferentes horas del día, y al final del día se calcula un promedio, esto se realiza durante veinte (20) días del mes seleccionado, estos datos serán los tiempos reales cronometrados en los cuáles el camión está en la estación de servicio.

La toma de los tiempos se realizan para cada uno de los tres procesos (ingreso de camiones, egreso de camiones con carga contenedorizada y egreso de camiones con carga a granel y carga general) que se están analizando. El procedimiento para obtener los datos cada día se realiza en forma repetitiva.

### 2.2.2.2 Tabulación de datos

Los datos que se obtienen diariamente representan las muestras del sistema, las cuáles son tabuladas en periodos de lunes a viernes durante las cuatro semanas del mes. Al final se realiza una sumatoria de los datos que servirán para obtener la sumatoria total de las muestras, por lo tanto la tabulación para cada uno de los procesos queda de la siguiente manera

**Tabla XVI. Tiempo de servicio en el proceso de ingreso de camiones**

PERIODO	MUESTRA				TOTAL
	1	2	3	4	
Lunes	0:01:22	0:01:45	0:01:34	0:01:53	0:06:34
Martes	0:01:11	0:01:29	0:02:01	0:01:45	0:06:26
Miércoles	0:01:49	0:01:27	0:02:00	0:01:18	0:06:34
Jueves	0:01:45	0:01:15	0:02:07	0:01:10	0:06:17
Viernes	0:01:08	0:01:44	0:02:11	0:01:52	0:06:55
	<b>TOTAL</b>				<b>0:32:46</b>

**Tabla XVII. Tiempo de servicio en el proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada**

Periodo	Muestra								TOTAL	
	1		2		3		4		TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>
	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>		
Lunes	0:02:01	0:03:52	0:02:12	0:04:30	0:02:31	0:04:44	0:01:32	0:05:52	0:08:16	0:18:58
Martes	0:02:30	0:04:08	0:02:23	0:04:46	0:01:58	0:04:47	0:01:39	0:05:25	0:08:30	0:19:06
Miércoles	0:02:43	0:04:16	0:02:18	0:04:35	0:02:26	0:05:25	0:01:47	0:05:33	0:09:14	0:19:49
Jueves	0:02:14	0:04:12	0:02:14	0:04:19	0:02:21	0:04:54	0:02:01	0:05:40	0:08:50	0:19:05
Viernes	0:02:21	0:04:10	0:02:28	0:05:06	0:01:59	0:04:54	0:01:35	0:04:29	0:08:23	0:18:39
	<b>TOTAL</b>								<b>0:43:13</b>	<b>1:35:37</b>

**Tabla XVIII. Tiempo de servicio en el proceso de egreso de camiones con carga a granel y carga general**

Periodo	Muestra								TOTAL	
	1		2		3		4		TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>
	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>	TE <sub>1</sub>	TE <sub>2</sub>		
<b>Lunes</b>	0:05:22	0:01:01	0:06:47	0:01:09	0:06:07	0:01:11	0:06:10	0:01:32	0:24:26	0:04:53
<b>Martes</b>	0:06:42	0:00:56	0:06:37	0:00:58	0:05:43	0:02:07	0:05:43	0:01:39	0:24:45	0:05:40
<b>Miércoles</b>	0:06:08	0:00:59	0:06:33	0:01:05	0:05:43	0:02:26	0:05:39	0:01:47	0:24:03	0:06:17
<b>Jueves</b>	0:06:30	0:01:02	0:06:23	0:01:05	0:05:48	0:02:21	0:05:40	0:02:01	0:24:21	0:06:29
<b>Viernes</b>	0:06:25	0:01:05	0:06:16	0:01:18	0:05:48	0:01:59	0:05:34	0:01:35	0:24:03	0:05:57
	<b>TOTAL</b>								<b>2:01:38</b>	<b>0:29:16</b>

### 2.2.2.3 Cálculo de media

La media se puede calcular basándose en las observaciones o basándose en el tiempo. Para la distribución del tiempo de servicio se calcula el tiempo de atención a un camión en la estación de servicio, estas observaciones se realizan para una cierta cantidad de camiones en un periodo de tiempo, por lo tanto la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Cálculo de media para ingreso de camiones

Se consideran los datos de la tabla XVI para realizar el cálculo de media en el ingreso de camiones. Luego de realizada la sumatoria de los datos de la tabla XVI se obtiene el siguiente resultado:

$$\sum_{i=1}^{20} X_i = 00:32:46 \text{ horas}$$

El formato de este resultado está dado en hh:mm:ss, por lo tanto la media para el tiempo de servicio del ingreso de camiones es el siguiente:

$$\bar{x} = 00:32:46 / 20$$

$$\bar{x} = 00:01:38 \text{ horas / camión}$$

Cálculo de media para el egreso de camiones con carga contenedorizada

Se consideran los datos de la tabla XVII para realizar el cálculo de media en el egreso de camiones con carga contenedorizada. Este como es un sistema con líneas de espera sucesivas se calcula la media para cada una de las estaciones de servicio. Luego de haber realizado la sumatoria de los datos de la tabla XVII se obtiene el siguiente resultado:

Tiempo estación de servicio 1

$$\sum_{i=1}^{20} TE_1 = 00:43:13 \text{ horas}$$

Tiempo estación de servicio 2

$$\sum_{i=1}^{20} TE_2 = 01:35:37 \text{ horas}$$

El formato de este resultado está dado en hh:mm:ss, por lo tanto la media para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada es el siguiente:



Media estación de servicio 1

$$\bar{X}_1 = 00:43:13 / 20$$

$$\bar{X}_1 = 00:02:10 \text{ horas / camión}$$

Media estación de servicio 2

$$\bar{X}_2 = 01:35:37 / 20$$

$$\bar{X}_2 = 00:04:47 \text{ horas / camión}$$

Cálculo de media para el egreso de camiones con carga a granel y carga general

Se consideran los datos de la tabla XVIII para realizar el cálculo de media en el egreso de camiones con carga a granel y carga general. Este como es un sistema con líneas de espera sucesivas se calcula la media para cada una de las estaciones de servicio. Luego de haber realizado la sumatoria de los datos de la tabla XVIII se obtiene el siguiente resultado:

Tiempo estación de servicio 1

$$\sum_{i=1}^{20} TE_1 = 02:01:38 \text{ horas}$$

Tiempo estación de servicio 2

$$\sum_{i=1}^{20} TE_2 = 00:29:16 \text{ horas}$$

El formato de este resultado esta dado en hh:mm:ss, por lo tanto la media para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general es el siguiente:

Media estación de servicio 1

$$\bar{X}_1 = 02:01:38 / 20$$

$$\bar{X}_1 = 00:06:05 \text{ horas / camión}$$

Media estación de servicio 2

$$\bar{X}_2 = 00:29:16 / 20$$

$$\bar{X}_2 = 00:01:28 \text{ horas / camión}$$

#### 2.2.2.4 Cálculo de variancia

La variancia es una medida de dispersión de la tendencia central, por lo que el cálculo de la variancia para la distribución de tiempo de servicio, al igual que en el caso del cálculo de la media se basa en la observación y la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

**Tabla XIX. Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el ingreso de camiones**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0:01:22	0:01:38	3,429E-08
2	0:01:11	0:01:38	9,766E-08
3	0:01:49	0:01:38	1,621E-08
4	0:01:45	0:01:38	6,564E-09
5	0:01:08	0:01:38	1,206E-07
6	0:01:45	0:01:38	6,564E-09
7	0:01:29	0:01:38	1,085E-08
8	0:01:27	0:01:38	1,621E-08
9	0:01:15	0:01:38	7,086E-08
10	0:01:44	0:01:38	4,823E-09
11	0:01:34	0:01:38	2,143E-09
12	0:02:01	0:01:38	7,086E-08
13	0:02:00	0:01:38	6,484E-08
14	0:02:07	0:01:38	1,127E-07
15	0:02:11	0:01:38	1,459E-07
16	0:01:53	0:01:38	3,014E-08
17	0:01:45	0:01:38	6,564E-09
18	0:01:18	0:01:38	5,358E-08
19	0:01:10	0:01:38	1,050E-07
20	0:01:52	0:01:38	2,626E-08
<b>TOTAL</b>			<b>1,003E-06</b>

$$S^2 = \frac{1.003E-06}{20 - 1}$$

$$S^2 = 5.275E-08$$

Como se mencionó anteriormente la variancia es una medida del grado de incertidumbre que da la pauta para determinar si el análisis realizado tiene carácter probabilístico o determinístico. Luego de realizado el análisis se puede determinar que para el ingreso de camiones, el sistema tiende a ser de carácter determinístico debido al valor tan pequeño que se ha obtenido con respecto a la media.

**Tabla XX. Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada en estación de servicio 1**

PERIODO	Xi	$\bar{X}$	(Xi - X)2
1	0:02:01	0:02:10	1,085E-08
2	0:02:30	0:02:10	5,358E-08
3	0:02:43	0:02:10	1,459E-07
4	0:02:14	0:02:10	2,143E-09
5	0:02:21	0:02:10	1,621E-08
6	0:02:12	0:02:10	5,358E-10
7	0:02:23	0:02:10	2,264E-08
8	0:02:18	0:02:10	8,573E-09
9	0:02:14	0:02:10	2,143E-09
10	0:02:28	0:02:10	4,340E-08
11	0:02:31	0:02:10	5,908E-08
12	0:01:58	0:02:10	1,929E-08
13	0:02:26	0:02:10	3,429E-08
14	0:02:21	0:02:10	1,621E-08
15	0:01:59	0:02:10	1,621E-08
16	0:01:32	0:02:10	1,934E-07
17	0:01:39	0:02:10	1,287E-07
18	0:01:47	0:02:10	7,086E-08
19	0:02:01	0:02:10	1,085E-08
20	0:01:35	0:02:10	1,641E-07
<b>TOTAL</b>			<b>1,019E-06</b>

$$S^2_1 = \frac{1.019E-06}{20 - 1}$$

$$S^2_1 = 5.362E-08$$

**Tabla XXI. Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada en estación de servicio 2**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0:03:52	0:04:47	4,052E-07
2	0:04:08	0:04:47	2,038E-07
3	0:04:16	0:04:47	1,287E-07
4	0:04:12	0:04:47	1,641E-07
5	0:04:10	0:04:47	1,834E-07
6	0:04:30	0:04:47	3,871E-08
7	0:04:46	0:04:47	1,340E-10
8	0:04:35	0:04:47	1,929E-08
9	0:04:19	0:04:47	1,050E-07
10	0:05:06	0:04:47	4,836E-08
11	0:04:44	0:04:47	1,206E-09
12	0:04:47	0:04:47	0,000E+00
13	0:05:25	0:04:47	1,934E-07
14	0:04:54	0:04:47	6,564E-09
15	0:04:54	0:04:47	6,564E-09
16	0:05:52	0:04:47	5,660E-07
17	0:05:25	0:04:47	1,934E-07
18	0:05:33	0:04:47	2,835E-07
19	0:05:40	0:04:47	3,763E-07
20	0:04:29	0:04:47	4,340E-08
<b>TOTAL</b>			<b>2,967E-06</b>

$$S^2_2 = \frac{2.967E-06}{20 - 1}$$

$$S^2_2 = 1.562E-07$$

Realizado el análisis para cada una de las estaciones de servicio, se determina que para el egreso de camiones con carga contenedorizada el sistema tiende a ser determinístico debido al valor tan pequeño que se ha obtenido con respecto a la media.

**Tabla XXII. Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general en estación de servicio 1**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0:05:22	0:06:05	2,477E-07
2	0:06:42	0:06:05	1,834E-07
3	0:06:08	0:06:05	1,206E-09
4	0:06:30	0:06:05	8,372E-08
5	0:06:25	0:06:05	5,358E-08
6	0:06:47	0:06:05	2,363E-07
7	0:06:37	0:06:05	1,372E-07
8	0:06:33	0:06:05	1,050E-07
9	0:06:23	0:06:05	4,340E-08
10	0:06:16	0:06:05	1,621E-08
11	0:06:07	0:06:05	5,358E-10
12	0:05:43	0:06:05	6,484E-08
13	0:05:43	0:06:05	6,484E-08
14	0:05:48	0:06:05	3,871E-08
15	0:05:48	0:06:05	3,871E-08
16	0:06:10	0:06:05	3,349E-09
17	0:05:43	0:06:05	6,484E-08
18	0:05:39	0:06:05	9,056E-08
19	0:05:40	0:06:05	8,372E-08
20	0:05:34	0:06:05	1,287E-07
<b>TOTAL</b>			<b>1,687E-06</b>

$$S^2_1 = \frac{1.687E-06}{20 - 1}$$

$$S^2_1 = 8.876E-08$$

**Tabla XXIII. Cálculo de variancia para el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general en estación de servicio 2**

PERIODO	$X_i$	$\bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0:01:01	0:01:28	9,766E-08
2	0:00:56	0:01:28	1,372E-07
3	0:00:59	0:01:28	1,127E-07
4	0:01:02	0:01:28	9,056E-08
5	0:01:05	0:01:28	7,086E-08
6	0:01:09	0:01:28	4,836E-08
7	0:00:58	0:01:28	1,206E-07
8	0:01:05	0:01:28	7,086E-08
9	0:01:05	0:01:28	7,086E-08
10	0:01:18	0:01:28	1,340E-08
11	0:01:11	0:01:28	3,871E-08
12	0:02:07	0:01:28	2,038E-07
13	0:02:26	0:01:28	4,506E-07
14	0:02:21	0:01:28	3,763E-07
15	0:01:59	0:01:28	1,287E-07
16	0:01:32	0:01:28	2,143E-09
17	0:01:39	0:01:28	1,621E-08
18	0:01:47	0:01:28	4,836E-08
19	0:02:01	0:01:28	1,459E-07
20	0:01:35	0:01:28	6,564E-09
<b>TOTAL</b>			<b>2,250E-06</b>

$$S^2_2 = \frac{2.250E-06}{20 - 1}$$

$$S^2_2 = 1.184E-07$$

Realizado el análisis para cada una de las estaciones de servicio, se determina que para el egreso de camiones con carga a granel el sistema tiende a ser determinístico debido al valor tan pequeño que se ha obtenido con respecto a la media.

### 2.2.2.5 Histograma de frecuencia

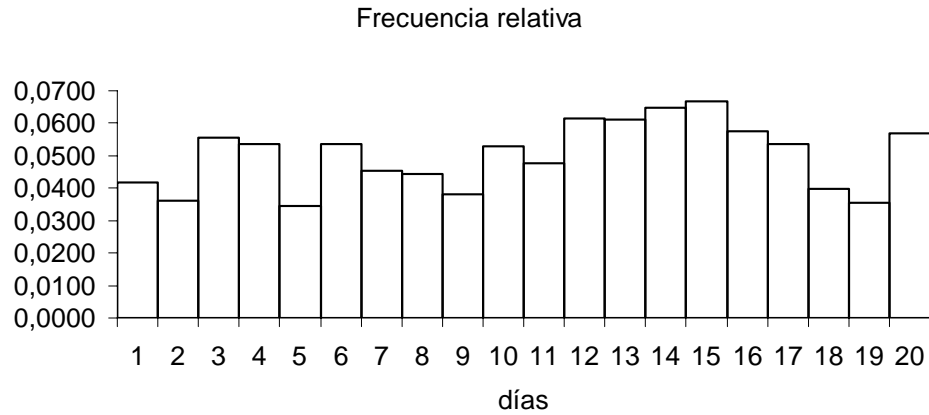
Los datos primarios obtenidos del estudio proporcionan información de cada observación individual, los cuáles no permiten una interpretación descriptiva de la naturaleza de los mismos. La media y la variancia calculadas, proporcionan las formas más simples de una representación descriptiva de los datos primarios. Una manera más apta para resumir los datos primarios es utilizar los histogramas de frecuencia que se muestran en la siguiente página.

**Tabla XXIV. Distribución del tiempo de servicio en el ingreso de camiones**

Intervalo	Frecuencia observada ni	Frecuencia relativa fi	Frecuencia relativa acumulada, Fi
[0, 1)	00:01:22	0.0417	0.0417
[1, 2)	00:01:11	0.0361	0.0778
[2, 3)	00:01:49	0.0554	0.1333
[3, 4)	00:01:45	0.0534	0.1867
[4, 5)	00:01:08	0.0346	0.2213
[5, 6)	00:01:45	0.0534	0.2747
[6, 7)	00:01:29	0.0453	0.3199
[7, 8)	00:01:27	0.0443	0.3642
[8, 9)	00:01:15	0.0381	0.4023
[9, 10)	00:01:44	0.0529	0.4552
[10, 11)	00:01:34	0.0478	0.5031
[11, 12)	00:02:01	0.0615	0.5646
[12, 13)	00:02:00	0.0610	0.6256
[13, 14)	00:02:07	0.0646	0.6902
[14, 15)	00:02:11	0.0666	0.7569
[15, 16)	00:01:53	0.0575	0.8143
[16, 17)	00:01:45	0.0534	0.8678
[17, 18)	00:01:18	0.0397	0.9074
[18, 19)	00:01:10	0.0356	0.9430
[19, 20)	00:01:52	0.0570	1.0000
<b>Totales</b>	<b>00:32:46</b>	<b>1.0000</b>	



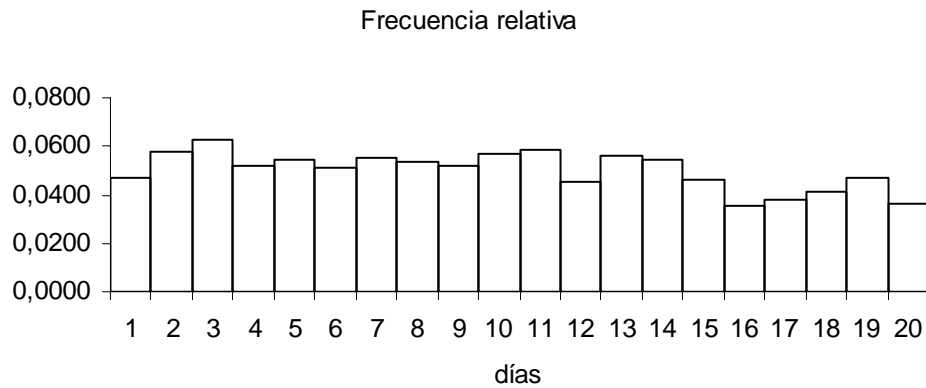
**Figura 7. Distribución del tiempo de servicio en de servicio en el ingreso de camiones**



**Tabla XXV. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 1**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	0:02:01	0,0467	0,0467
[1, 2)	0:02:30	0,0578	0,1045
[2, 3)	0:02:43	0,0629	0,1674
[3, 4)	0:02:14	0,0517	0,2191
[4, 5)	0:02:21	0,0544	0,2734
[5, 6)	0:02:12	0,0509	0,3243
[6, 7)	0:02:23	0,0551	0,3795
[7, 8)	0:02:18	0,0532	0,4327
[8, 9)	0:02:14	0,0517	0,4844
[9, 10)	0:02:28	0,0571	0,5415
[10, 11)	0:02:31	0,0582	0,5997
[11, 12)	0:01:58	0,0455	0,6452
[12, 13)	0:02:26	0,0563	0,7015
[13, 14)	0:02:21	0,0544	0,7559
[14, 15)	0:01:59	0,0459	0,8018
[15, 16)	0:01:32	0,0355	0,8373
[16, 17)	0:01:39	0,0382	0,8754
[17, 18)	0:01:47	0,0413	0,9167
[18, 19)	0:02:01	0,0467	0,9634
[19, 20)	0:01:35	0,0366	1,0000
<b>Totales</b>	<b>0:43:13</b>	<b>1,0000</b>	

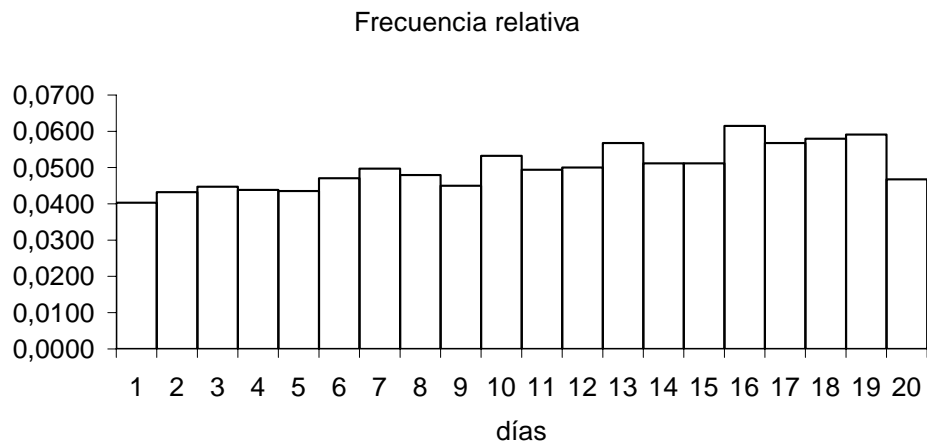
**Figura 8. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 1**



**Tabla XXVI. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 2**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	0:03:52	0,0404	0,0404
[1, 2)	0:04:08	0,0432	0,0837
[2, 3)	0:04:16	0,0446	0,1283
[3, 4)	0:04:12	0,0439	0,1722
[4, 5)	0:04:10	0,0436	0,2158
[5, 6)	0:04:30	0,0471	0,2629
[6, 7)	0:04:46	0,0499	0,3127
[7, 8)	0:04:35	0,0479	0,3606
[8, 9)	0:04:19	0,0451	0,4058
[9, 10)	0:05:06	0,0533	0,4591
[10, 11)	0:04:44	0,0495	0,5086
[11, 12)	0:04:47	0,0500	0,5587
[12, 13)	0:05:25	0,0566	0,6153
[13, 14)	0:04:54	0,0512	0,6666
[14, 15)	0:04:54	0,0512	0,7178
[15, 16)	0:05:52	0,0614	0,7792
[16, 17)	0:05:25	0,0566	0,8358
[17, 18)	0:05:33	0,0580	0,8938
[18, 19)	0:05:40	0,0593	0,9531
[19, 20)	0:04:29	0,0469	1,0000
<b>Totales</b>	<b>1:35:37</b>	<b>1,0000</b>	

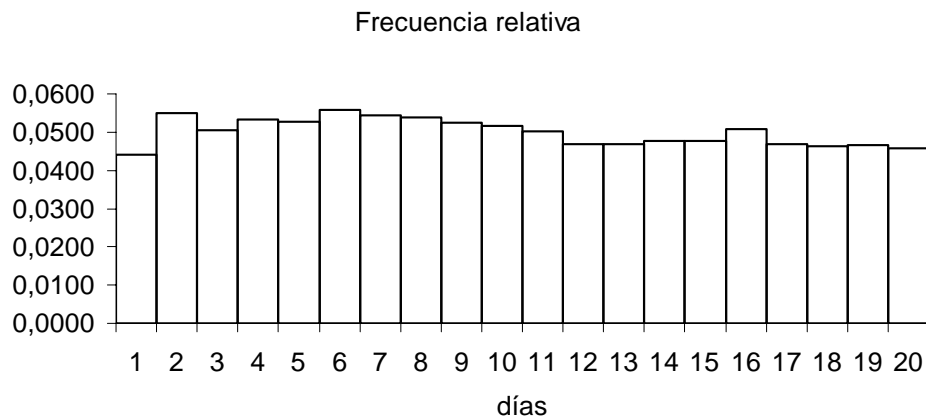
**Figura 9. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada estación de servicio 2**



**Tabla XXVII. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 1**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	0:05:22	0,0441	0,0441
[1, 2)	0:06:42	0,0551	0,0992
[2, 3)	0:06:08	0,0504	0,1496
[3, 4)	0:06:30	0,0534	0,2031
[4, 5)	0:06:25	0,0528	0,2558
[5, 6)	0:06:47	0,0558	0,3116
[6, 7)	0:06:37	0,0544	0,3660
[7, 8)	0:06:33	0,0539	0,4198
[8, 9)	0:06:23	0,0525	0,4723
[9, 10)	0:06:16	0,0515	0,5238
[10, 11)	0:06:07	0,0503	0,5741
[11, 12)	0:05:43	0,0470	0,6211
[12, 13)	0:05:43	0,0470	0,6681
[13, 14)	0:05:48	0,0477	0,7158
[14, 15)	0:05:48	0,0477	0,7635
[15, 16)	0:06:10	0,0507	0,8142
[16, 17)	0:05:43	0,0470	0,8612
[17, 18)	0:05:39	0,0465	0,9076
[18, 19)	0:05:40	0,0466	0,9542
[19, 20)	0:05:34	0,0458	1,0000
<b>Totales</b>	<b>2:01:38</b>	<b>1,0000</b>	

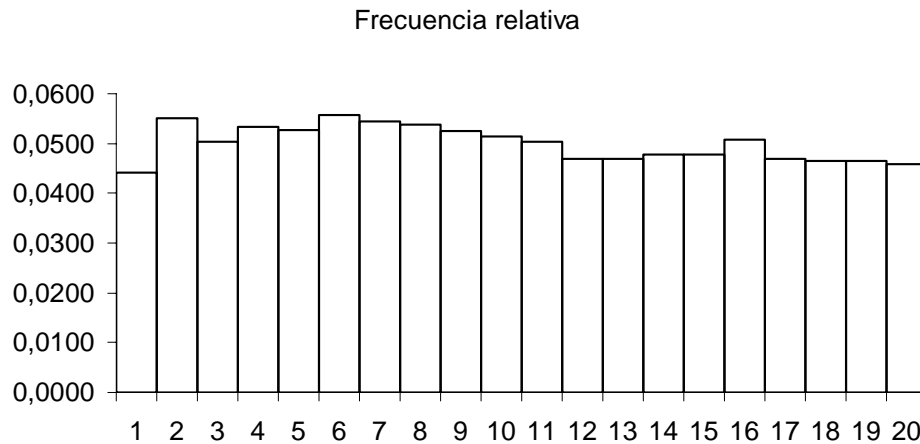
**Figura 10. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 1**



**Tabla XXVIII. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 2**

Intervalo	Frecuencia observada $n_i$	Frecuencia relativa $f_i$	Frecuencia relativa acumulada, $F_i$
[0, 1)	0:03:52	0,0404	0,0404
[1, 2)	0:04:08	0,0432	0,0837
[2, 3)	0:04:16	0,0446	0,1283
[3, 4)	0:04:12	0,0439	0,1722
[4, 5)	0:04:10	0,0436	0,2158
[5, 6)	0:04:30	0,0471	0,2629
[6, 7)	0:04:46	0,0499	0,3127
[7, 8)	0:04:35	0,0479	0,3606
[8, 9)	0:04:19	0,0451	0,4058
[9, 10)	0:05:06	0,0533	0,4591
[10, 11)	0:04:44	0,0495	0,5086
[11, 12)	0:04:47	0,0500	0,5587
[12, 13)	0:05:25	0,0566	0,6153
[13, 14)	0:04:54	0,0512	0,6666
[14, 15)	0:04:54	0,0512	0,7178
[15, 16)	0:05:52	0,0614	0,7792
[16, 17)	0:05:25	0,0566	0,8358
[17, 18)	0:05:33	0,0580	0,8938
[18, 19)	0:05:40	0,0593	0,9531
[19, 20)	0:04:29	0,0469	1,0000
<b>Totales</b>	<b>1:35:37</b>	<b>1,0000</b>	

**Figura 11. Distribución del tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga a granel y carga general estación de servicio 2**

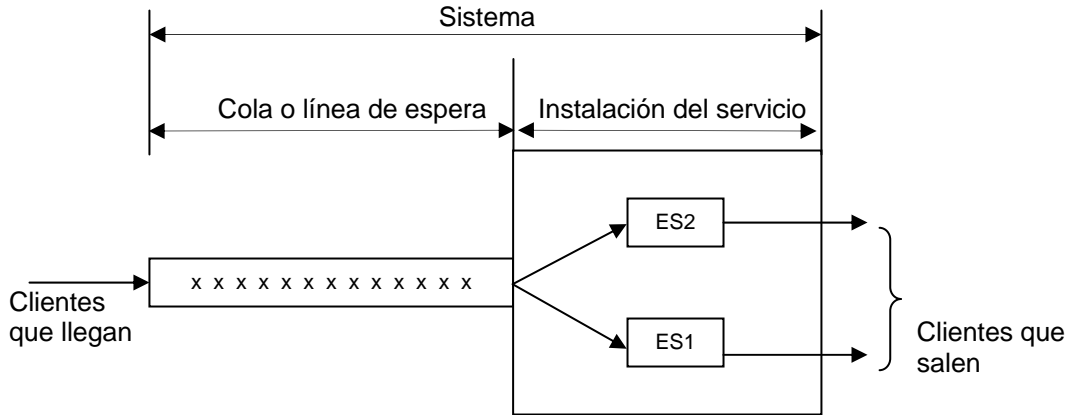


### **2.2.3 Instalación del servicio**

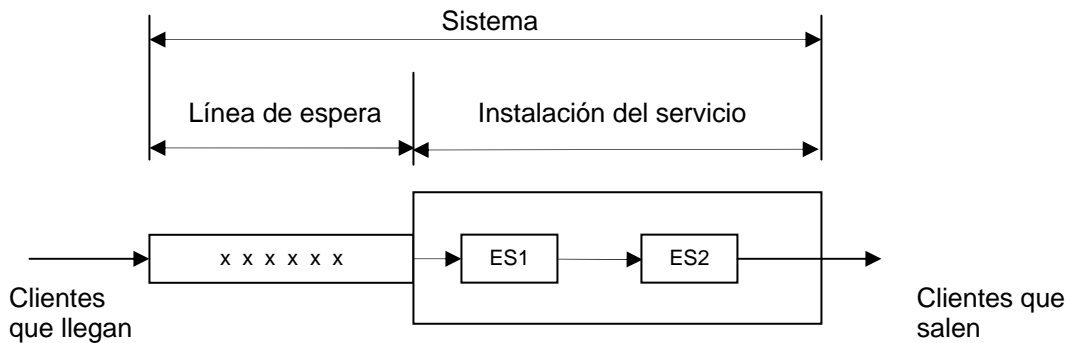
Esta se define como la instalación física donde se presta el servicio a los camiones que ingresan o egresan del recinto portuario.

El recinto portuario cuenta con cuatro garitas de acceso, las cuáles son dos para ingreso y dos para egreso. En el caso de las garitas de egreso se tiene una especialmente para camiones que transportan carga contenedorizada y la otra garita para camiones que transportan carga general y a granel.

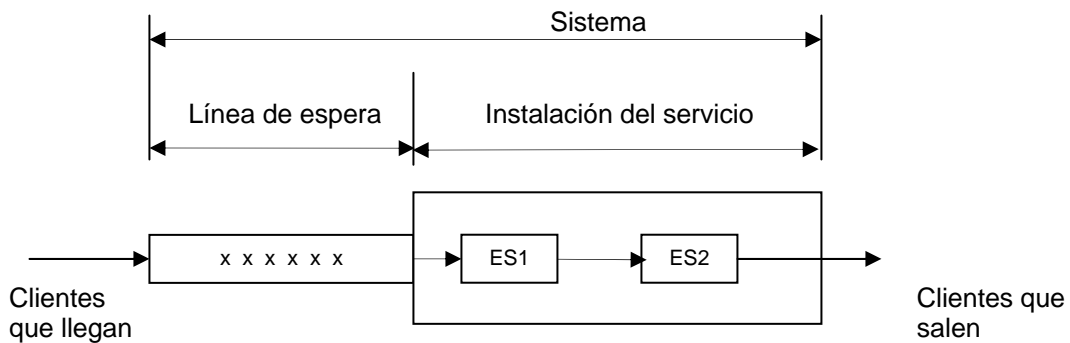
**Figura 12. Instalación del servicio para el sistema de ingreso de camiones**



**Figura 13. Instalación del servicio para el sistema de egreso de camiones con carga contenedorizada**



**Figura 14. Instalación del servicio para el sistema de egreso de camiones con carga a granel**



#### **2.2.4 Disciplina de servicio y prioridad de servicio**

Aunque los patrones de entradas y salidas son los factores principales en el análisis de las líneas de espera, también pueden figurar otros factores en forma importante en la elaboración de los modelos. Uno de estos factores es la forma como se elige a los clientes en las líneas de espera para dar inicio al servicio. Este se conoce como la disciplina de servicio. La disciplina más común, y en apariencia justa, es la regla FCFS (el primero en llegar es el primero en ser atendido). Las reglas LCFS (el último en llegar es el primero en ser atendido) y SIRO (servicio en orden aleatorio) pueden surgir también en situaciones prácticas.

El sistema de ingreso de camiones cuenta con dos líneas de espera en las cuáles se trabaja con la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido). En el sistema de egreso de camiones ya sea con carga contenedorizada o carga a granel y carga general se trabaja con la regla FCFS (el primero en llegar es el primero en ser atendido), ya que como solamente es una garita para cada sistema cada una tiene su línea de espera diferente por lo tanto camión que va llegando debe hacer cola atrás del que llegó primero.

#### **2.2.5 Tamaño de la línea de espera**

En ciertos casos sólo se puede admitir a un número limitado de clientes, debido a la limitación del espacio, esto tiene que ver con el tamaño de la línea de espera admisible con que cuenta el sistema.

Para los procesos de ingreso de camiones, egreso de camiones con carga contenedorizada y egreso de camiones con carga a granel y carga general del recinto portuario el tamaño de la línea de espera admisible es infinito ya que no hay ninguna restricción en la cantidad de camiones que se puedan admitir en el sistema.

### **2.3 Análisis de las operaciones que realiza el trabajador encargado del registro**

Se realiza un análisis cualitativo de las funciones que ejecuta la persona encargada de llevar el registro de camiones en las garitas de ingreso o egreso del recinto portuario. Entre las funciones principales se mencionan las siguientes:

- Recepción y revisión de los documentos que identifican la carga
- Entrega y cancelación del ciclo de identificación del transporte
- Ingreso de los datos al sistema operativo de software
- Autorización de ingreso y egreso de camiones al recinto

Se procedió a realizar el análisis cualitativo de las funciones que realiza cada persona que está en las garitas del recinto:

**A. Recepción y revisión de documentos que identifican la carga:** esto se da en los casos cuando los camiones vienen a dejar carga contenedorizada para exportación los cuáles deben traer documentos que autorizan la movilización de la mercadería en los contenedores.



Esta documentación se recibe y se revisa con el fin de comparar que la numeración del contenedor que aparece en los documentos concuerde con la numeración del contenedor que está siendo recepcionando en el recinto portuario.

- B. Entrega y cancelación del ciclo de identificación del transporte:** todo camión que ingresa al recinto portuario debe estar identificado con el fin de llevar un control del mismo en el software operativo, este control se lleva por medio del número que aparece en el ciclo el cuál se entrega al piloto cuando ingresa al recinto y se debe de cancelar a la hora que el camión egrese del mismo.
  
- C. Ingreso de datos al sistema operativo de software:** en el paso anterior se indicó que todo el control del camión se llevará por medio del número de ciclo, el cuál se ingresará en el sistema y éste desplegará toda la información del piloto y del transporte así como también la fecha y hora de ingreso y egreso del recinto.
  
- D. Autorización de ingreso y egreso del camión al recinto portuario:** luego de haber realizado todas las funciones anteriores y haber comprobado que todo esta en orden se le da la autorización al piloto de ingresar al recinto, en el caso de la autorización de egreso se da cuando el camión ya realizó todas sus operaciones y procede a salir del recinto luego de haber cumplido con todos los requisitos previos.

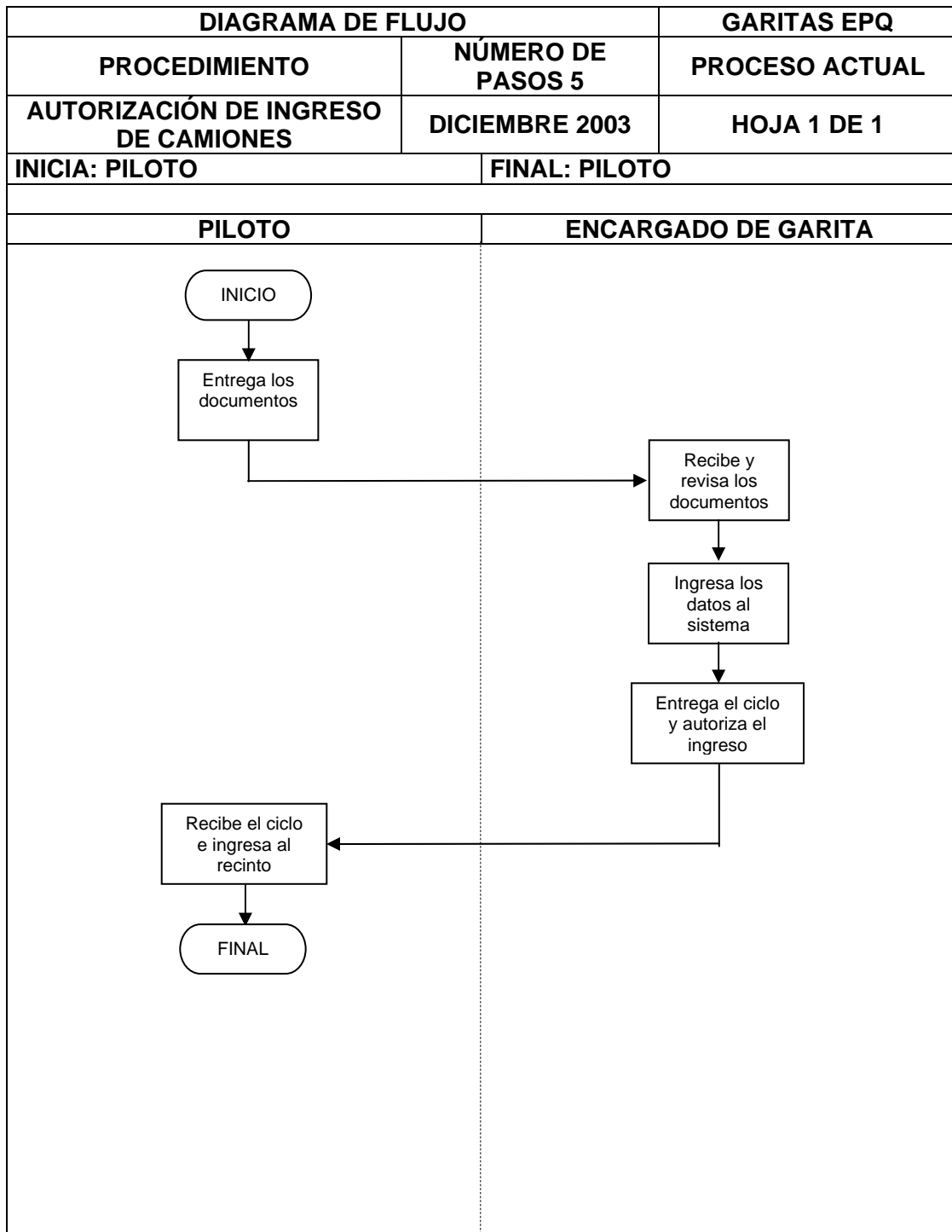
### 2.3.1 Diagrama del proceso de la operación actual

En la ejemplificación gráfica del proceso de la operación se procede a definir el procedimiento y el diagrama de las actividades que realiza el encargado en la garita de ingreso o egreso de camiones del recinto portuario. Se describen todas las operaciones que realiza el encargado desde que el piloto le entrega los documentos hasta que el encargado autoriza el ingreso o egreso del camión del recinto.

**Tabla XXIX. Proceso de autorización de ingreso de camiones**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS EPQ	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 5	PROCESO ACTUAL
AUTORIZACIÓN DE INGRESO DE CAMIONES		DICIEMBRE 2003	HOJA 1 DE 1
INICIA: PILOTO		FINAL: PILOTO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Entregar los documentos	Piloto	El piloto entrega al encargado los documentos personales y documentos que identifican la carga.
2	Recibir y revisar los documentos	Encargado	Recibe los documentos y revisa que correspondan al contenedor correspondiente.
3	Ingresar los datos al sistema	Encargado	Luego de revisar que todo está en orden procede a ingresar los datos al sistema del piloto y del camión.
4	Entregar el ciclo y autorizar el ingreso	Encargado	Entrega el ciclo al piloto con el número que lo identificará para las siguientes operaciones que realice y autoriza el ingreso al recinto portuario.
5	Recibir el ciclo	Piloto	Recibe ciclo y procede a ingresar al recinto a realizar sus operaciones.

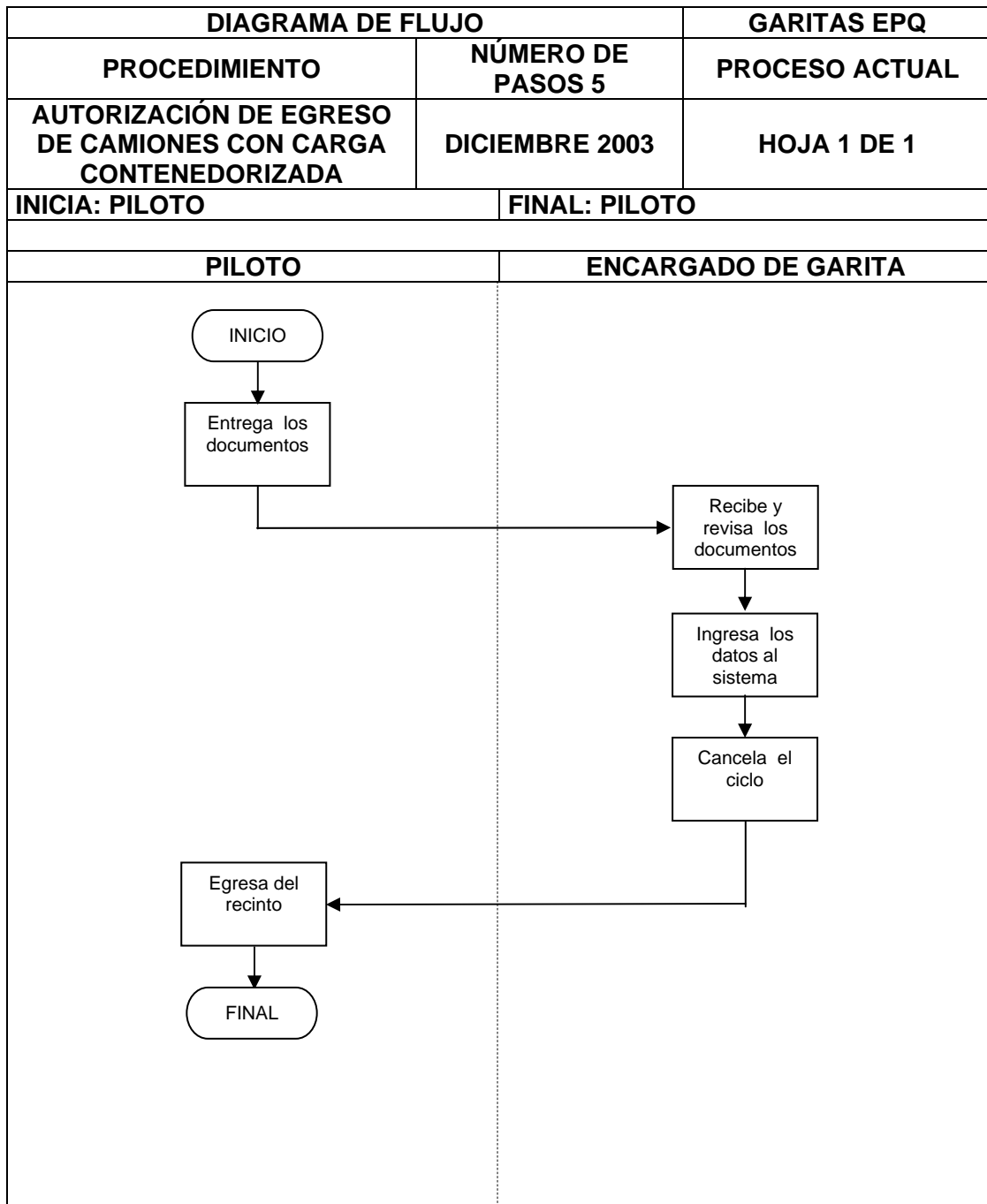
**Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de autorización de ingreso de camiones**



**Tabla XXX. Proceso de autorización de egreso de camiones con carga contenedorizada**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS EPQ	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 5	PROCESO ACTUAL
AUTORIZACIÓN DE EGRESO DE CAMIONES CON CARGA CONTENEDORIZADA		DICIEMBRE 2003	HOJA 1 DE 1
INICIA: PILOTO		FINAL: PILOTO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Entregar ciclo y documentos	Piloto	Entrega al encargado del ciclo documentos personales y los documentos que identifican la carga.
2	Recibir y revisar documentos	Encargado	Recibe el ciclo y los documentos, revisa que correspondan al contenedor.
3	Ingresar datos al sistema	Encargado	Luego de revisar que todo está en orden procede a ingresar el número de ciclo al sistema.
4	Cancela ciclo	Encargado	Cancela el ciclo en el sistema y autoriza el egreso del recinto. Entrega los documentos de la carga.
5	Egresar del recinto	Piloto	Recibe los documentos y procede a egresar del recinto.

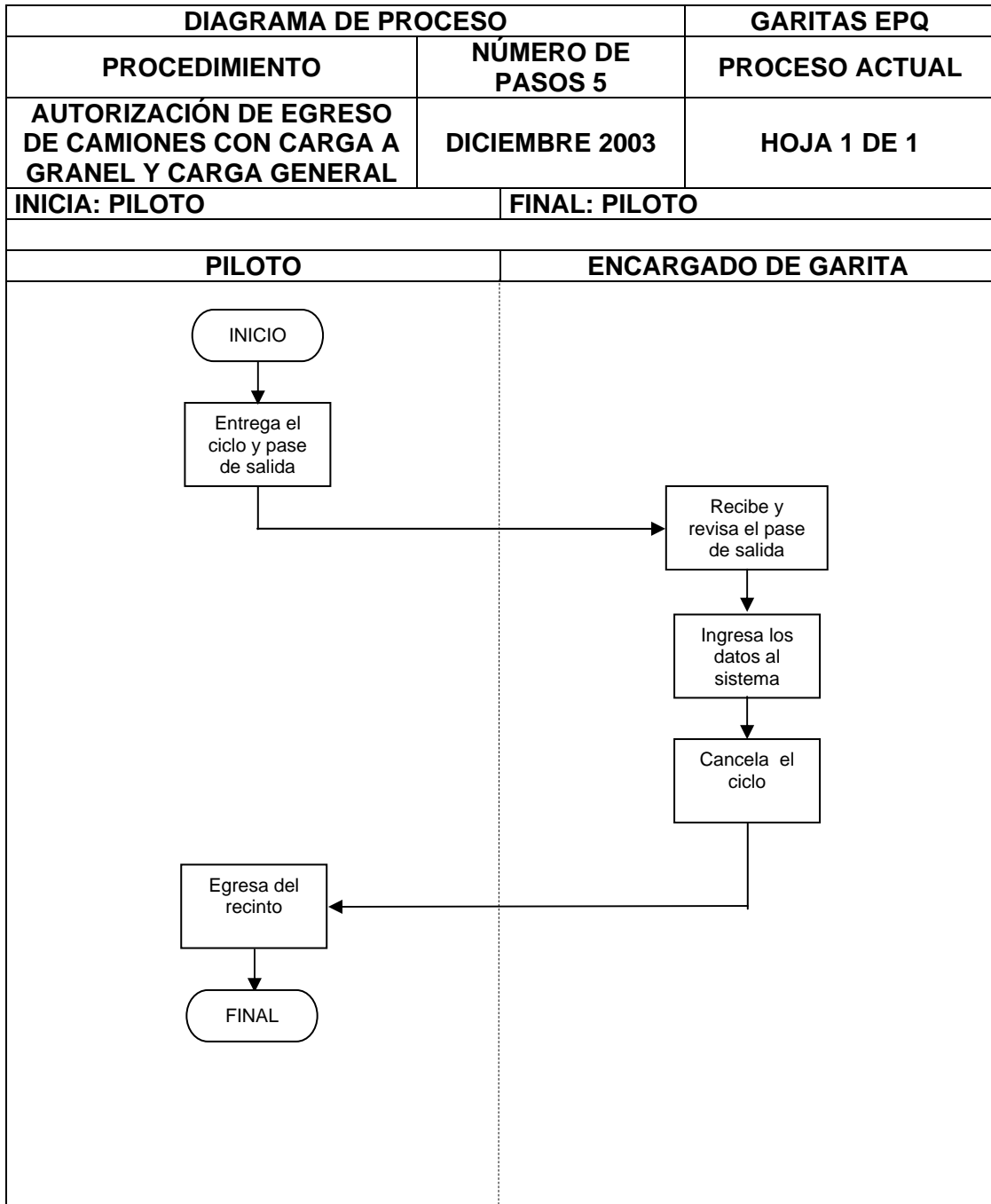
**Figura 16. Diagrama de flujo del proceso de autorización de egreso de camiones con carga contenedorizada**



**Tabla XXXI. Proceso de autorización de egreso de camiones con carga a granel y carga general**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS EPQ	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 5	PROCESO ACTUAL
AUTORIZACIÓN DE EGRESO DE CAMIONES CON CARGA A GRANEL Y CARGA GENERAL		DICIEMBRE 2003	HOJA 1 DE 1
INICIA: PILOTO		FINAL: PILOTO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Entregar el ciclo y pase de salida	Piloto	Entrega al encargado el ciclo y pase de salida
2	Recibir y revisar el pase de salida	Encargado	Recibe el ciclo y pase de salida, revisa que éste tenga el pesaje correspondiente y esté debidamente firmado y sellado.
3	Ingresar los datos al sistema	Encargado	Luego de revisar que todo está en orden procede a ingresar el número de ciclo al sistema.
4	Cancela el ciclo	Encargado	Cancela el ciclo en el sistema y autoriza el egreso del recinto.
5	Egresar del recinto	Piloto	Procede a egresar del recinto.

**Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de autorización de egreso de camiones con carga a granel y carga general**



### **2.3.2 Análisis cualitativo de las operaciones**

Luego de haber evaluado las características y actividades que se realizan en cada uno de los procesos (ingreso de camiones, egreso de camiones con carga contenedorizada, egreso de camiones con carga a granel y carga general), se encontraron ciertas deficiencias las cuales se detallan a continuación:

#### **A. Deficiencias encontradas en el ingreso de camiones**

Analizando el proceso actual del ingreso de camiones se observa que este proceso tiene un tiempo de espera para ser atendido, causa por la cuál se manifiesta la demora en la operación. Se descubrió que el problema se suscita debido a que en el momento en que el camión ingresa a la garita el encargado de la revisión del camión está atendiendo vehículos livianos provocando esto una demora de tiempo.

Otra causa que se observó es: cuando el piloto llega a la garita pierde tiempo en entregar documentos, se descubrió que esta pérdida de tiempo se debe a que el piloto ordena los mismos cuando está en la ventana de la garita, provocando esta acción agregar más tiempo al ciclo correspondiente.

#### **B. Deficiencias encontradas en el egreso de camiones con carga contenedorizada**

Se observó en este proceso que el piloto debe descender del camión para entregar sus documentos de identificación personal y de la carga al encargado de la garita que se encuentra al costado de la instalación de servicio.



Esta acción ocasiona que se interrumpa la fluidez del proceso y por consiguiente atrase la operación y el tiempo de servicio, otra deficiencia encontrada es que la distancia entre las garitas no es la adecuada, debido a que el largo del camión que se encuentra en la estación 2 bloquea automáticamente la estación 1 ocasionando un atraso más para la operación. Otra situación que se presenta es que muchas veces el sistema queda paralizado ya que la estación de servicio 2 se queda sin sistema de cómputo y por ser una estación de verificación es primordial contar con ese servicio. De acuerdo a lo observado en este sistema lo que provoca la mayoría de atrasos es que la estación 2 está bajo el control de la SAT y debido a que es una entidad ajena al recinto portuario no se puede tomar acciones para mejorar sus sistemas.

### **C. Deficiencias encontradas en el egreso de camiones con carga a granel y carga general**

En este proceso se interrumpe la fluidez del mismo ya que el piloto debe descender del camión e ir a una oficina ubicada a unos 20 metros de la garita de egreso para obtener el pase de salida, lo que provoca que el piloto pierda mucho tiempo y por consiguiente atrasos a la operación.

También se observó que el equipo que se utiliza para imprimir los pases de salida es demasiado lento lo que provoca aumentar aun más el tiempo de operación, además, los consignatarios de la carga tienen sus puestos de control a un costado del lugar donde se entregan los pases de salida, esto provoca que el piloto aparte de hacer cola para el pase de salida debe de hacer otra cola para llevar el control de lo descargado lo que provoca que se retrase aun más la operación.

## 2.4 Aplicación del modelo de teoría de colas

Debido a que se están trabajando tres diferentes procesos se realiza un análisis de las características de cada uno para determinar cuál modelo de teoría de colas se adapta mejor a las condiciones del sistema.

### 2.4.1 Características del sistema de ingreso de camiones

Distribución de llegadas:  $\lambda = 55$  camiones / hora

Distribución de tiempo de servicio:  $\mu = 37$  camiones / hora

Instalación de servicio: 2 estaciones de servicio

Disciplina de servicio y prioridad de servicio: se trabaja bajo la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido) y no se tiene ninguna prioridad de servicio.

Tamaño de la línea de espera: infinito

Debido a las características que tiene el sistema se determina que el modelo que mejor se adapta es el modelo  $(M/M/c):(DG/\infty/\infty)$  Modelo de una cola con múltiples servidores infinitos.

Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

$$\lambda_{ef} = \lambda, \quad n \geq 0$$

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

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$p_n = \begin{cases} \left( \frac{\rho^n}{n!} \right) p_0, & 0 \leq n \leq c \\ \left( \frac{\rho^n}{c^{n-c} c!} \right) p_0, & n > c \end{cases}$$

$$p_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c! (1 - \rho/c)} \right\}^{-1}$$

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)! (c-\rho)^2} \quad \rho_0 = \left( \frac{c\rho}{(c-\rho)^2} \right) p_c$$

$$L_s = L_q + \rho$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Donde sea:

$L_s$  = número esperado de clientes en el sistema

$L_q$  = número esperado de clientes en la cola

$W_s$  = tiempo estimado de espera en el sistema

$W_q$  = tiempo estimado de espera en la cola

Cálculos matemáticos para la aplicación del modelo

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$\rho = 55/37 = 1.486$$

$$p_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c! (1 - \rho/c)} \right\}^{-1}$$

$$p_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{2-1} \frac{1.486^n}{n!} + \frac{1.486^2}{2! (1 - 1.486/2)} \right\}^{-1}$$

$$p_0 = \left\{ \left( \frac{1.486^0}{0!} + \frac{1.486^2}{2! (1 - 1.486/2)} \right) + \left( \frac{1.486^1}{1!} + \frac{1.486^2}{2! (1 - 1.486/2)} \right) \right\}^{-1}$$

$$p_0 = 0.090$$

$$p_n = \left( \frac{\rho^n}{n!} \right) p_0$$

$$p_1 = \left( \frac{1.486^1}{1!} \right) 0.090 = 0.134$$

$$p_2 = \left( \frac{1.486^2}{2!} \right) 0.090 = 0.100$$

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)! (c-\rho)^2} p_0 = \left( \frac{c\rho}{(c-\rho)^2} \right) p_c$$

$$L_q = \left( \frac{2 \times 1.486}{(2 - 1.486)^2} \right) 0.100 = 1.123 \text{ clientes en cola}$$

$$L_s = L_q + \rho = 1.123 + 1.486 = 2.609 \text{ clientes en el sistema}$$

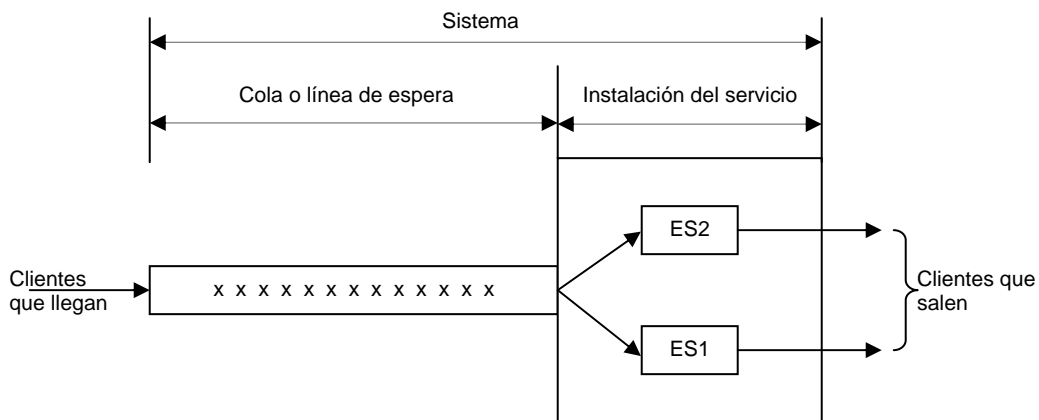
$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1.123}{55} = 0.020 \text{ horas en cola}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = 0.020 + \frac{1}{37} = 0.047 \text{ horas en el sistema}$$

$$\text{Factor de uso} = 100 \times (\lambda/c\mu) = 100 \times (55/(2 \times 37)) = 74.32\%$$

Luego de haber realizado los cálculos matemáticos se puede determinar que el sistema se encuentra ocupado el 74.32% del tiempo, los clientes esperan en cola aproximadamente 1 minuto 14 segundos con un tiempo en el sistema de 2 minutos 52 segundos.

**Figura 18. Sistema en paralelo del proceso de ingreso de camiones**



### 2.4.2 Características del sistema de egreso de camiones con carga contenedorizada

Distribución de llegadas:  $\lambda = 24$  camiones / hora

Distribución de tiempo de servicio:  $\mu_1 = 9$  camiones / hora

Instalación de servicio: una instalación de servicio en serie

Disciplina de servicio y prioridad de servicio: se trabaja bajo la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido) y no se tiene ninguna prioridad de servicio.

Tamaño de la línea de espera: infinito

Debido a las características que tiene el sistema se puede determinar que el modelo que se adecua es el modelo Líneas de espera sucesivas o en serie. Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$A = 3\rho^2 + 4\rho + 2$$

$$p_{00} = 2 / A$$

$$p_{01} = 2\rho / A$$

$$p_{10} = (\rho^2 + 2\rho) / A$$

$$p_{11} = \rho^2 / A$$

$$\lambda_{ef} = \lambda(p_{00} + p_{01})$$

$$L_s = (5\rho^2 + 4\rho) / A$$

$$W_s = L_s / \lambda_{ef}$$

Donde sea:

$L_s$  = número esperado de clientes en el sistema

$W_s$  = tiempo estimado de espera en el sistema

$p_{00}$  = probabilidad que las dos estaciones estén desocupadas

$p_{01}$  = probabilidad que la ES1 esté desocupada y la ES2 ocupada

$p_{10}$  = probabilidad que la ES1 esté ocupada y la ES2 desocupada

$p_{11}$  = probabilidad que las dos estaciones estén ocupadas

$\lambda_{ef}$  = tasa efectiva

Este sistema no acepta línea de espera entre estaciones y el tiempo de servicio está dado por la sumatoria de las dos estaciones debido a que la estación 2 bloquea a la estación 1 cuando está en servicio.

## Cálculos matemáticos para la aplicación del modelo

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$\rho = 24/9 = 2.667$$

$$A = 3\rho^2 + 4\rho + 2$$

$$A = 3 \times (2.667)^2 + 4 \times (2.667) + 2$$

$$A = 34.000$$

$$p_{00} = 2 / A$$

$$p_{00} = 2 / 34.000 = 0.059$$

$$p_{01} = 2\rho / A$$

$$p_{01} = (2 \times 2.667) / 34.000 = 0.157$$

$$p_{10} = (\rho^2 + 2\rho) / A$$

$$p_{10} = (2.667^2 + 2 \times 2.667) / 34.000 = 0.366$$

$$p_{11} = p_{b1} = \rho^2 / A$$

$$p_{11} = 2.667^2 / 34.000 = 0.209$$

$$\lambda_{ef} = \lambda(p_{00} + p_{01})$$

$$\lambda_{ef} = 24 \times (0.059 + 0.157) = 5.176$$

$$L_s = (5\rho^2 + 4\rho) / A$$

$$L_s = (5 \times 2.667^2 + 4 \times 2.667) / 34.000 = 1.359 \text{ clientes en el sistema}$$

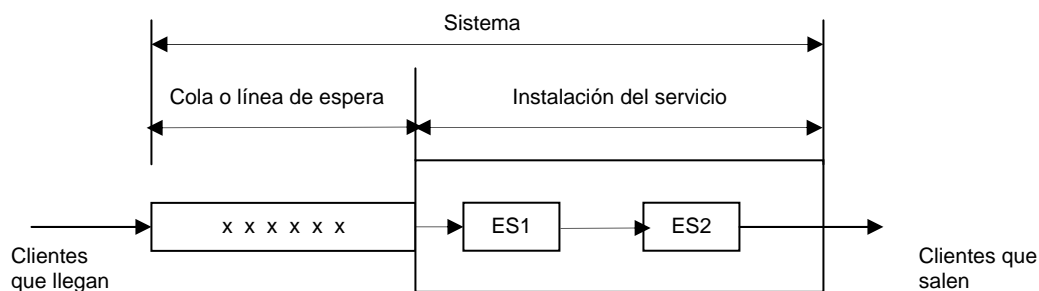
$$W_s = L_s / \lambda_{ef}$$

$$W_s = 1.359 / 5.176 = 0.263 \text{ tiempo estimado en el sistema}$$

$$\text{Factor de uso} = 100 \times (\lambda/\mu) = 100 \times (24/(9)) = 266.67\%$$

Con estos resultados se puede determinar que el sistema solamente puede tener 1.359 clientes ya que la cantidad de camiones de llegada es mucho mayor a los de camiones de egreso por lo que el sistema se encuentra sobrecargado en un 266.67%

**Figura 19. Sistema en serie del proceso de egreso de camiones con carga contenedorizada**



### 2.4.3 Características del sistema de egreso de camiones con carga a granel y carga general

Distribución de llegadas:  $\lambda = 32$  camiones / hora

Distribución de tiempo de servicio:  $\mu_1 = 10$  camiones / hora

Distribución de tiempo de servicio:  $\mu_2 = 46$  camiones / hora

Instalación de servicio: una instalación de servicio en serie

Disciplina de servicio y prioridad de servicio: se trabaja bajo la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido) y no se tiene ninguna prioridad de servicio.

Tamaño de la línea de espera: infinito



Debido a las características que tiene el sistema se puede determinar que el modelo que se adecua es el modelo Líneas de espera sucesivas o en serie. Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$A = 3\rho^2 + 4\rho + 2$$

$$p_{00} = 2 / A$$

$$p_{01} = 2\rho / A$$

$$p_{10} = (\rho^2 + 2\rho) / A$$

$$p_{11} = \rho^2 / A$$

$$\lambda_{ef} = \lambda(p_{00} + p_{01})$$

$$L_s = (5\rho^2 + 4\rho) / A$$

$$W_s = L_s / \lambda_{ef}$$

Donde sea:

$L_s$  = número esperado de clientes en el sistema

$W_s$  = tiempo estimado de espera en el sistema

$p_{00}$  = probabilidad que las dos estaciones estén desocupadas

$p_{01}$  = probabilidad que la ES1 esté desocupada y la ES2 ocupada

$p_{10}$  = probabilidad que la ES1 esté ocupada y la ES2 desocupada

$p_{11}$  = probabilidad que las dos estaciones estén ocupadas

$\lambda_{ef}$  = tasa efectiva

Este sistema no acepta línea de espera entre estaciones y el tiempo de servicio se basa en el de la estación 1 ya que es más lenta.

## Cálculos matemáticos para la aplicación del modelo

$$\rho = \lambda/\mu$$

$$\rho = 32/10 = 3.200$$

$$A = 3\rho^2 + 4\rho + 2$$

$$A = 3 \times (3.200)^2 + 4 \times (3.200) + 2$$

$$A = 45.520$$

$$\rho_{00} = 2 / A$$

$$\rho_{00} = 2 / 45.520 = 0.044$$

$$\rho_{01} = 2\rho / A$$

$$\rho_{01} = (2 \times 3.200) / 45.520 = 0.141$$

$$\rho_{10} = (\rho^2 + 2\rho) / A$$

$$\rho_{10} = (3.200^2 + 2 \times 3.200) / 45.520 = 0.366$$

$$\rho_{11} = \rho_{b1} = \rho^2 / A$$

$$\rho_{11} = 3.200^2 / 45.520 = 0.225$$

$$\lambda_{ef} = \lambda(\rho_{00} + \rho_{01})$$

$$\lambda_{ef} = 32 \times (0.044 + 0.141) = 5.905$$

$$L_s = (5\rho^2 + 4\rho) / A$$

$$L_s = (5 \times 3.200^2 + 4 \times 3.200) / 45.520 = 1.406 \text{ clientes en el sistema}$$

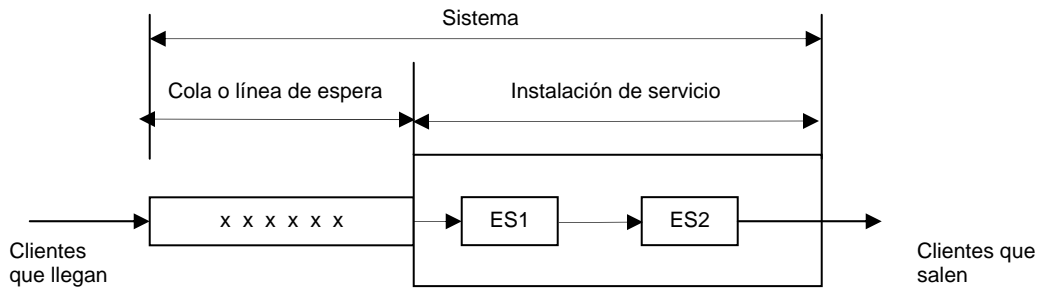
$$W_s = L_s / \lambda_{ef}$$

$$W_s = 1.406 / 5.905 = 0.238 \text{ tiempo estimado en el sistema}$$

$$\text{Factor de uso} = 100 \times (\lambda/\mu) = 100 \times (32/(10)) = 320\%$$

Con estos resultados se puede determinar que el sistema solamente puede tener 1.406 clientes ya que el tiempo de servicio lo rige la estación 1, por lo que el sistema se encuentra sobrecargado en un 320%.

**Figura 20. Sistema en serie del proceso de egreso de camiones con carga general y carga a granel**





### **3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROYECTO**

Enfoca la forma en que se pueden reducir los tiempos de servicio y por consiguiente los tiempos en cola de los camiones con el fin de tener un sistema más eficiente. La propuesta está basada en los resultados obtenidos en el capítulo 2, los cuáles brindan una mejor perspectiva de la situación actual de los diferentes procesos. Esto es de gran ayuda ya que basándose en los resultados se determina en donde los procesos muestran mayores deficiencias y por consiguiente poder emprender acciones correctivas en puntos específicos.

#### **3.1 Acciones correctivas del proceso a implementar**

En el capítulo anterior se encontraron deficiencias en el proceso las cuáles provocan que el sistema no trabaje a su máxima capacidad, estas acciones se corrigen con la propuesta de acciones concretas que vayan enfocadas a mejorar tanto al proceso de ingreso como al proceso de egreso de camiones del recinto portuario, con la finalidad de que los sistemas brinden un servicio rápido y eficiente.

A continuación en la tabla XXXII se muestran las acciones correctivas a seguir para cada uno de los procesos de ingreso y egreso de camiones:

**Tabla XXXII. Acciones correctivas**

ACCION CORRECTIVA	PROCESO	
	INGRESO	EGRESO
Aumentar el número de garitas	✓	✓
Colocar personal diferente para la revisión de vehículos livianos y transporte pesado	✓	✓
Garitas multifuncionales	✓	✓
Modificar el software del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones	✓	✓
Digitar la información del pase de salida a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones		✓
Colocar personal capacitado en las garitas de ingreso y egreso	✓	✓
Ubicar un área fuera del recinto portuario para realizar los controles de selectivo aleatorio de la SAT y rampas de revisión de carga.		✓
Reubicar la garita de confirmación de la SAT		✓
Mantener la disciplina de servicio tipo FCFS para el ingreso y egreso de camiones	✓	✓
El ingreso de datos al sistema se podrá realizar en cualquier garita	✓	✓

En las tablas XXXIII y XXXIV se muestran las características del sistema para los modelos de ingreso y egreso de camiones respectivamente:

**Tabla XXXIII. Características de las garitas de ingreso**

CARACTERÍSTICAS		GARITAS			
		1	2	3	4
Sistema multifuncional		✓	✓	✓	✓
Atender todo tipo de carga		✓	✓	✓	✓
Disciplina de servicio tipo FCFS		✓	✓	✓	✓
Ingreso de datos a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones		✓	✓	✓	✓
Tamaño de línea de espera infinito		✓	✓	✓	✓
Horario de atención	24 horas	✓	✓		
	7:30 a 21:30			✓	✓

**Tabla XXXIV. Características para las garitas de egreso**

CARACTERÍSTICAS		GARITAS			
		1	2	3	4
Sistema multifuncional		✓	✓	✓	✓
Atender todo tipo de carga		✓	✓	✓	✓
Disciplina de servicio tipo FCFS		✓	✓	✓	✓
Ingreso de datos a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones		✓	✓	✓	✓
Tamaño de línea de espera infinito		✓	✓	✓	✓
Horario de atención	24 horas	✓	✓		
	7:30 a 21:30			✓	✓

En la tabla XXXI se indicaron las acciones correctivas a seguir para los procesos de ingreso y egreso de camiones, a continuación se dará una explicación más detallada de lo que se trata cada una de las acciones correctivas.

**Aumentar el número de garitas:** se incrementarán dos garitas por sistema, por lo tanto el total de garitas será de ocho, éstas serán distribuidas en cuatro para el sistema de ingreso y cuatro para el de egreso. Estas garitas atenderán todo tipo de carga, durante el horario de 7:30 a 21:30 estarán disponibles las ocho garitas. Para el turno nocturno de 21:30 a 7:30 solamente se contará con dos garitas por sistema.

**Colocar personal diferente para la revisión de vehículos livianos y transporte pesado:** como parte del control que se debe llevar en la revisión de los vehículos que ingresan al recinto portuario habrá personal específicamente dedicado a revisar vehículos livianos y personal específicamente dedicado a revisar transporte pesado. Esta revisión estará a cargo del personal de la Policía Naval.

**Garitas multifuncionales:** tanto las garitas que se encuentran funcionando actualmente como las que se incrementarán deberán atender todo tipo de carga (carga general, carga contenedorizada, carga a granel, camiones vacíos y suministros que ingresen o egresen al puerto).



**Modificar el software del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones:** actualmente el software crea un registro de datos del camión pero solamente se alimenta con la información de ingreso y egreso, por lo que se modificará para que todas las actividades que realiza el camión dentro del recinto portuario tales como: pesaje neto, pesaje bruto y operaciones en los patios, queden registradas en el sistema para que se cree un solo registro del camión.

**Digitar la información del pase de salida a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones:** debido a que toda la información referente al camión estará ingresado en el sistema, el pase de salida se podrá emitir en la misma garita y con esto evitar que el piloto tenga que bajarse del camión.

**Colocar personal capacitado en las garitas de ingreso y egreso:** el personal recibirá una capacitación previa a ocupar el puesto en las garitas de ingreso y egreso, los programas de capacitación serán los siguientes:

- Uso del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones
- Manejo de la documentación que se recibe y revisa en las garitas de ingreso y egreso de camiones.

Por aparte se llevará un programa de inducción el cuál consistirá en que la primera semana en el puesto el supervisor estará con el encargado de la garita indicándole todas las actividades que se realizan en los procesos de ingreso y egreso de camiones.

**Ubicar un área fuera del recinto portuario para realizar los controles de selectivo aleatorio de la SAT y áreas de revisión:** para que la fluidez de los procesos de la empresa portuaria no se vean afectados por controles aduaneros, se creará un área al menos a unos 1000 metros del recinto portuario para realizar los controles de la SAT y áreas de revisión de la carga.

**Reubicar la garita de verificación de la SAT:** actualmente esta garita se encuentra a un costado de la garita de egreso de camiones con carga contenedorizada, por lo que se deberá reubicar en la zona que se designe para los controles de la SAT y rampas de revisión.

**Mantener la disciplina de servicio tipo FCFS para el ingreso y egreso de camiones:** en las garitas actuales se utiliza la disciplina de servicio tipo FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), por lo que en las garitas a incrementar en el ingreso y egreso de camiones se deberá mantener el mismo tipo de disciplina ya que es la que mejor se adapta a las condiciones de servicio.

**El ingreso de datos al sistema se podrá realizar en cualquier garita:** como se indicó anteriormente las garitas serán multifuncionales por lo que no habrá ningún tipo de restricción. Cualquiera de las cuatro garitas de ingreso y las cuatro garitas de egreso podrán atender cualquier tipo de camión que transporte todo tipo de carga.

### **3.2 Descripción del proceso mejorado**

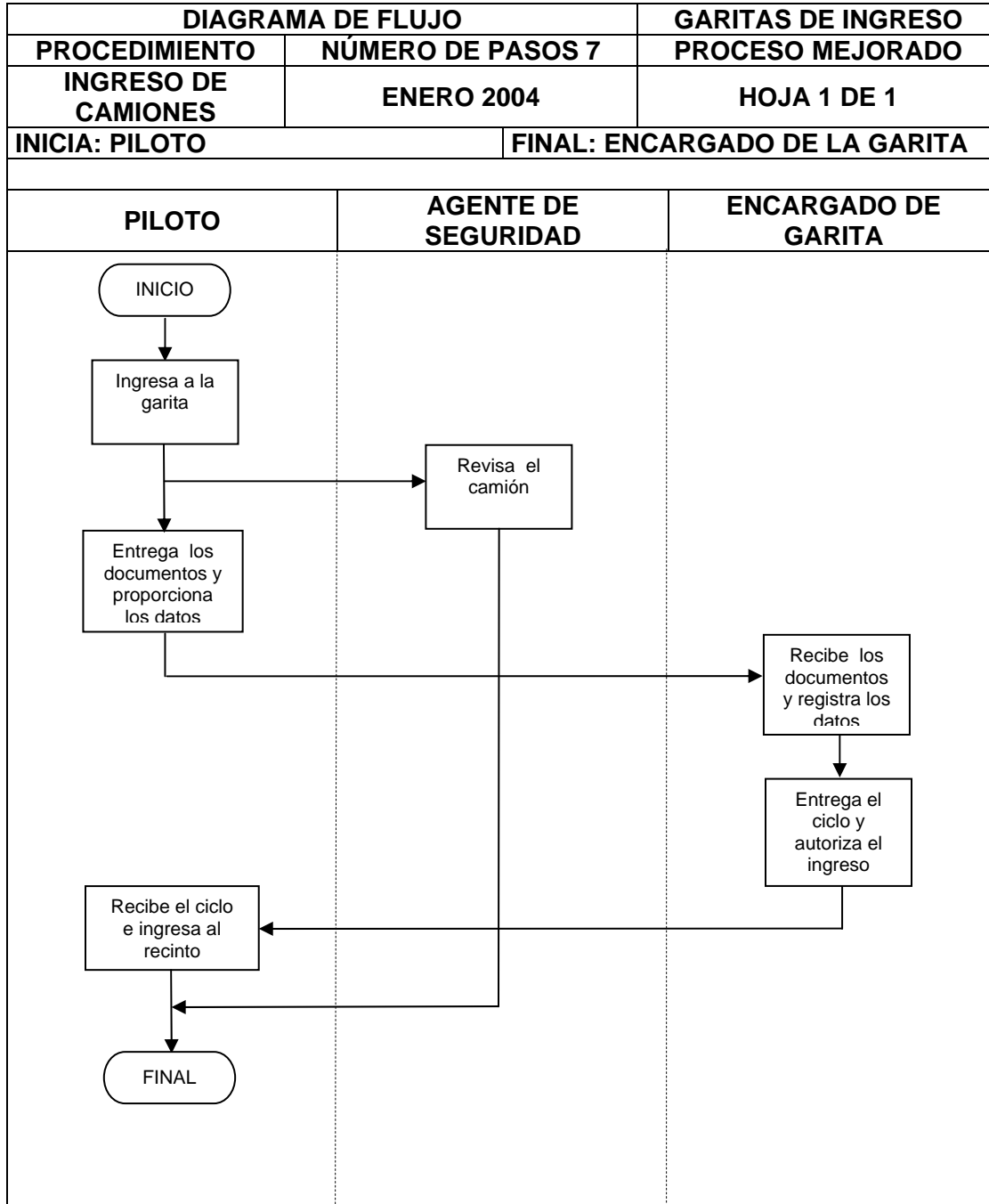
En lo que respecta al proceso de ingreso de camiones, el proceso iniciará cuando el camión ingrese a la garita para registrar los datos personales y del camión.

Luego que el camión ingrese a la garita será revisado por el policía naval y al mismo tiempo el piloto proporcionará al encargado de garita los documentos de identificación de la carga y personales, luego éste revisará la documentación y registrará los datos en el sistema para posteriormente entregarle el ciclo de identificación el cuál cumplirá las funciones de identificación del camión dentro del recinto y servirá como clave de ingreso para desplegar toda la información del camión en el sistema, por último el piloto recibe el ciclo de identificación e ingresa al recinto portuario.

**Tabla XXXV. Descripción del proceso de ingreso de camiones mejorado**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE INGRESO	
PROCEDIMIENTO	NÚMERO DE PASOS 6	PROCESO MEJORADO	
INGRESO DE CAMIONES	ENERO 2004	HOJA 1 DE 1	
INICIA: PILOTO		FINAL: PILOTO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Camión ingresa a la garita	Piloto	Camión ingresa a la garita para registrar datos.
2	Revisar el camión	Agente de seguridad	Al ingresar el camión en la garita se inicia la revisión física del mismo.
3	Entregar los documentos y proporcionar datos personales	Piloto	Al mismo tiempo que están revisando el camión el piloto proporciona datos personales y del camión, entrega documentos de la carga.
4	Recibir los documentos y registrar los datos	Encargado de garita	Recibe y revisa los documentos para luego registrar datos del piloto y del camión en el sistema.
5	Entregar el ciclo y autorizar el ingreso	Encargado de garita	Luego de haber registrado los datos, entrega al piloto el ciclo de identificación y autoriza el ingreso al recinto portuario.
6	Recibir el ciclo e ingresar al recinto	Piloto	Recibe ciclo del encargo de garita y procede a ingresar al recinto portuario.

**Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de ingreso de camiones mejorado**



El proceso de egreso de camiones iniciará luego que el camión egrese del control de fumigación y se dirija a las garitas de egreso para registrar los datos. Inmediatamente ingrese a la garita de egreso el policía naval procederá a realizar la revisión del camión, en los casos de carga contenedorizada anotará el número de contenedor.

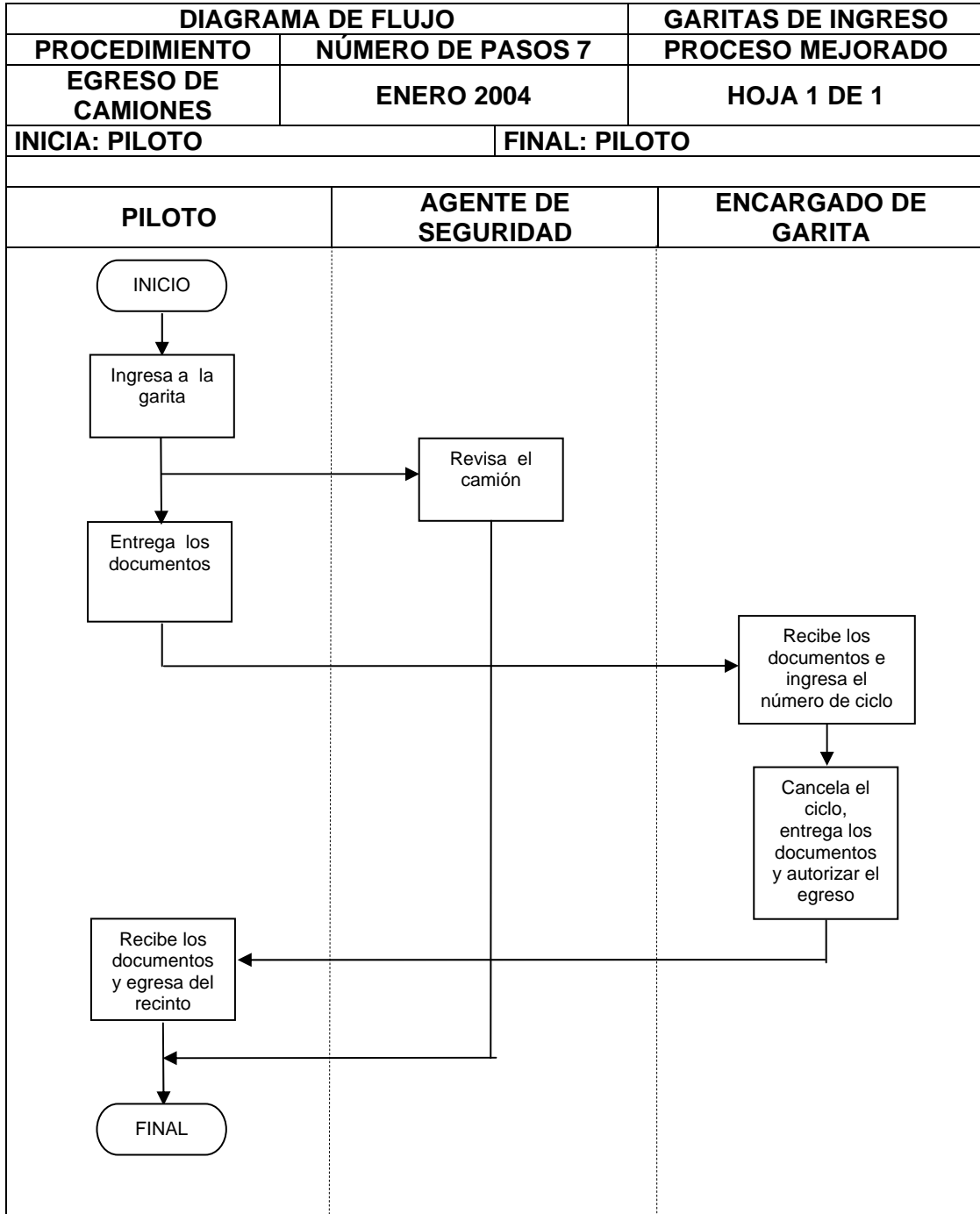
Durante la revisión del camión, el piloto entregará al encargado de garita los documentos de identificación de la carga así como el ciclo de identificación del camión. Luego que reciba los documentos, el encargado de la garita procederá a ingresar el número de ciclo de identificación del camión para desplegar los datos en el sistema y verificará que la información de los documentos de identificación de la carga coincida con lo que muestra el monitor en la pantalla.

En los casos de carga contenedorizada, número de contenedor, para carga general y a granel deberá comparar que los pesajes coinciden con lo desplegado en la pantalla y lo que indica la boleta de pesaje, luego procederá a cancelar el número de ciclo de identificación del sistema y entregará los documentos de identificación de la carga al piloto, posteriormente autorizará el egreso del camión del recinto portuario, por último el piloto recibe los documentos y procede a egresar del recinto portuario dando finalización al proceso de egreso de camiones.

**Tabla XXXVI. Descripción del proceso de egreso de camiones mejorado**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE EGRESO	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 6	
EGRESO DE CAMIONES		ENERO 2004	
INICIA: PILOTO		FINAL: PILOTO	
ACTIVIDAD	EJECUTOR	DESCRIPCIÓN	
1	Ingresar a garita	Piloto	Ingresar a garita para registrar los datos.
2	Revisar el camión	Agente de seguridad	Al ingresar el camión en la garita se inicia la revisión física del mismo.
3	Entregar los documentos	Piloto	Entrega los documentos de carga y el ciclo de identificación.
4	Recibir los documentos e ingresar número de ciclo al sistema	Encargado de la garita	Recibe los documentos e ingresa el número de ciclo al sistema, verifica que los datos coincidan con los registrados en los documentos.
5	Cancelar el ciclo, entregar los documentos y autorizar egreso	Encargado de la garita	Compara el número de contenedor que indica el documento con lo real del contenedor. En el caso de carga a granel debe comparar que lo que registra el sistema sea lo mismo con la boleta de pesaje de básculas y verifica que esté el total descargado y el consignatario de la carga luego cancela el ciclo, entrega los documentos al piloto y autoriza el egreso del recinto portuario.
6	Recibir los documentos y egresar del recinto	Piloto	Recibe los documentos y procede a egresar del recinto portuario.

**Figura 22. Diagrama de flujo para el proceso de egreso de camiones mejorado**



### **3.3 Características del nuevo proceso**

El nuevo modelo constará de dos procesos que serán: ingreso de camiones y egreso de camiones. Como se indicó anteriormente para el ingreso de camiones se contará con cuatro garitas las cuáles se colocarán horizontalmente una de la otra, el tamaño de la línea de espera será infinito siguiendo una disciplina de servicio conforme la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), ya colocado en la garita de ingreso el servicio se brindará sin prioridades atendiendo al camión que se encuentre colocado en ese instante.

Para el egreso de camiones se contará en total con cuatro garitas las cuáles se colocarán horizontalmente una de la otra, el tamaño de la línea de espera será infinito siguiendo una disciplina de servicio conforme la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido).

Una de las características fundamentales de este nuevo proceso es que las garitas son multifuncionales, lo que quiere decir es que si en algún momento se presenta congestionamiento en el ingreso o en el egreso de camiones las garitas están en la disponibilidad de atender cualesquiera de los dos procesos (ingreso de camiones y egreso de camiones) sin presentar ningún inconveniente, solamente se deberá coordinar entre las partes involucradas el respectivo cambio de vías en ese momento.

Otra característica es que toda la información será manejada a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones, evitando con esto pérdidas de tiempo en imprimir boletas y por consiguiente que el piloto tenga que descender del camión.



### **3.3.1 Distribución de llegadas**

Como su nombre lo indica es la forma en que irán llegando los clientes al sistema, en este caso los camiones a las garitas. La llegada de los camiones será en forma individual por lo que se tendrá un tiempo de llegada para cada uno.

En el sistema de ingreso de camiones, éstos llegarán provenientes de dos colas: una del parqueo de tráfico pesado y la otra de la calle. Estas dos colas se harán una sola previamente al llegar a las garitas de ingreso y posteriormente un encargado de seguridad le indicará al piloto la garita donde se le brindará el servicio.

Para el sistema de egreso de camiones el camión vendrá de las básculas y formará una cola donde un encargado de seguridad le indicará al piloto la garita donde se le brindará el servicio.

#### **3.3.1.1 Registro de datos**

Este se hará por medio del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones, el proceso de ingreso y egreso se hará por medio de la cantidad de camiones que se registran en las diferentes garitas con que cuenta cada uno de los sistemas, por lo que al programa CM4 (registro de camiones), se le ha creado un campo donde automáticamente cada hora desplegué un acumulado y al final del día calcule el promedio de camiones/hora que se atendieron.

### **3.3.1.2 Tabulación de los datos**

Se tabularán los datos que se obtengan del numeral anterior, estos datos serán agrupados por día y se calculará un promedio el cuál representará la muestra del día, como será necesario tomar varias muestras éstas se tabularán en tablas donde las columnas representaran las muestras y las filas representaran el periodo de tiempo. Este procedimiento se realizará para los dos procesos (ingreso de camiones y egreso de camiones).

### **3.3.2 Distribución del tiempo de servicio**

Es el tiempo que pasará el camión en el sistema en el cuál le estarán prestando el servicio. Este tiempo dependerá del número de estaciones con que cuente el sistema y puede variar de uno a otro, en este caso como en el de la distribución de llegadas, los tiempos de los camiones se tomarán en forma individual por lo que se tendrá un tiempo de servicio para cada uno de los camiones.

Para el sistema de ingreso de camiones el tiempo de servicio iniciará desde que el camión se encuentra en la línea de espera hasta que el piloto recibe el ciclo de identificación e ingresa al recinto, en este sistema se contará con cuatro garitas de servicio las cuáles pueden atender todo tipo de camión sin ninguna restricción.

Para el sistema de egreso de camiones, el tiempo de servicio inicia desde que el camión se encuentra en la línea de espera hasta que el piloto recibe los documentos y egresa del recinto.

Como en el sistema de ingreso de camiones también para el sistema de egreso de camiones se contará con cuatro garitas de servicio colocadas horizontalmente las cuáles podrán atender todo tipo de camión sin ninguna restricción.

### **3.3.2.1 Registro de datos**

El registro de datos para el tiempo de servicio se hará por medio del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones. Para esto se han creado dos nuevos campos en el programa CM4 del actual sistema, estos campos representarán el tiempo de servicio para el proceso de ingreso y el tiempo de servicio para el proceso de egreso.

El valor del tiempo de servicio de ingreso será el resultado de la resta de las columnas de ingreso recinto (fecha y hora en la cuál el camión entra a la garita de ingreso) entre ingreso puerto (fecha y hora en la cuál el camión sale de la garita de ingreso), datos que actualmente se registran en el sistema en el programa CM4. El tiempo de servicio de egreso será el resultado de la resta de las columnas de salida puerto (fecha y hora en la cuál el camión entra a la garita de egreso) entre salida recinto (fecha y hora en la cuál el camión sale de la garita de egreso).

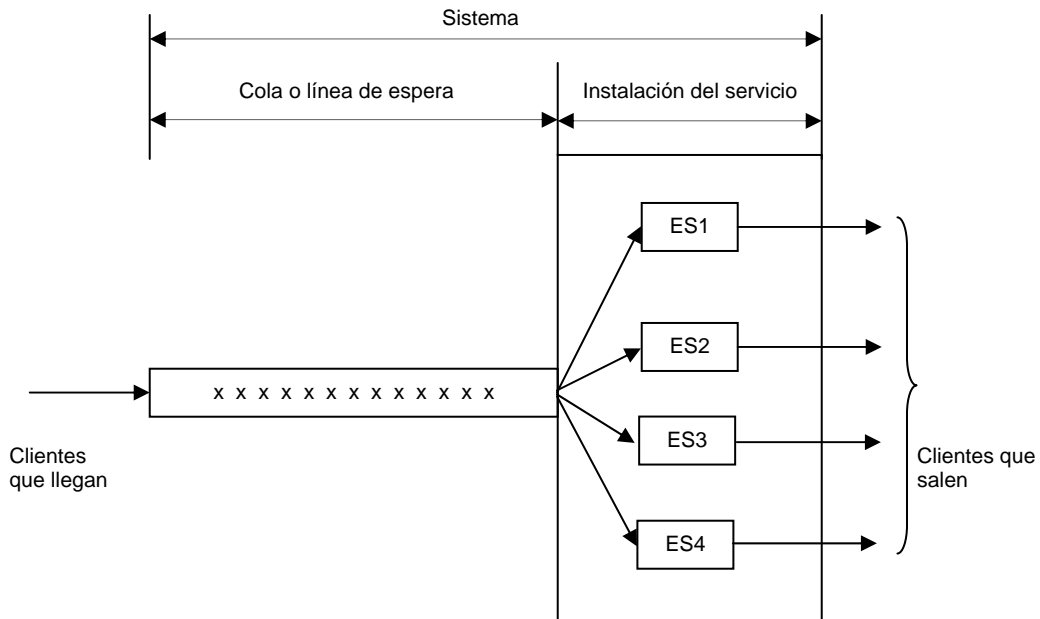
### **3.3.2.2 Tabulación de datos**

Como se indicó en la sección anterior se obtendrán datos diarios del tiempo de servicio, estos datos serán tabulados automáticamente por el sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones por medio de tablas donde las columnas indicarán el rubro y las filas indicarán cada camión que ingresa o egresa del recinto portuario.

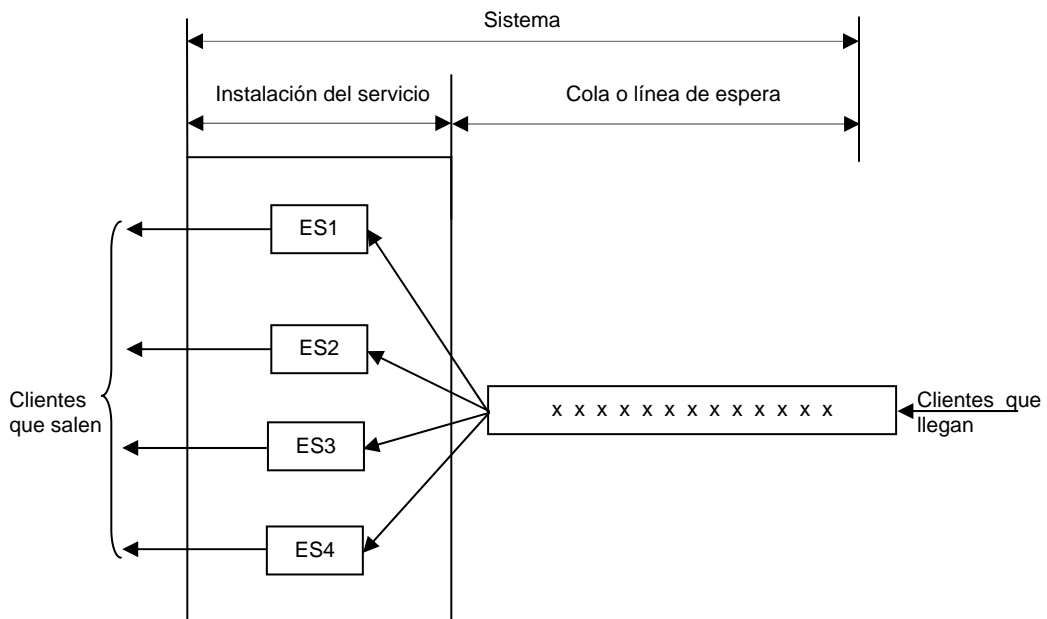
### **3.3.3 Instalación de servicio**

Esta se define como la instalación física donde se presta el servicio a los camiones que ingresan o egresan del recinto portuario. Consiste en aumentar el número de instalaciones de servicio o garitas de cuatro a ocho, estas instalaciones serán distribuidas de la siguiente manera: para el sistema de ingreso de camiones y para el de egreso de camiones se contará con cuatros garitas de servicio. En las figuras siguientes se ilustra la distribución de las garitas en los diferentes sistemas para el proceso mejorado.

**Figura 23. Instalación del servicio para el sistema de ingreso de camiones mejorado**



**Figura 24. Instalación del servicio para el sistema de egreso de camiones mejorado**



### **3.3.4 Disciplina de servicio y prioridad de servicio**

Es la forma como se elige a los clientes en las líneas de espera para dar inicio al servicio. Para el sistema de ingreso de camiones al recinto portuario se mantendrá la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), se determinó utilizar esta regla debido a que los camiones que ingresan al recinto portuario provienen directamente de la calle y otros provienen del parqueo de tráfico pesado, pero al ingresar al sistema forman una sola línea de espera antes de iniciar el servicio.

Para el sistema de egreso de camiones se seguirá trabajando con la regla FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), esta regla es la que mejor se adapta a las condiciones que se presentan para el sistema ya que los camiones provienen de básculas y formaran una cola para posteriormente dirigirse a la garita donde se le prestara el servicio según el orden como se presenten. El servicio en las garitas se prestará sin ninguna prioridad y se atenderán a los clientes conforme lleguen a las garitas.

### **3.3.5 Tamaño de la línea de espera**

Es el número de clientes admisibles en la línea de espera, debido a la limitación del espacio. Para los procesos de ingreso de camiones y egreso de camiones del recinto portuario el tamaño de la línea de espera admisible será infinito ya que no se tiene ninguna restricción en la cantidad de camiones que se puedan admitir en el sistema.

### **3.4 Estandarización de operaciones de la persona encargada del registro de camiones**

Los estándares representan las mejores prácticas comprobadas que se han institucionalizado en una organización. Es necesario capacitar al empleado previo a ocupar el puesto en las garitas de ingreso o egreso para que comprendan los estándares de operación y del proceso, los programas de capacitación serán los siguientes.

- Uso del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones
- Manejo de la documentación que se recibe y revisa en las garitas de ingreso y egreso de camiones.

Por aparte llevará un programa de inducción el cuál consistirá en que la primera semana en el puesto el supervisor estará con él indicándole todas las actividades que se realizan en los procesos de ingreso y egreso de camiones. Los buenos estándares ahorran tiempo y reducen al mínimo los errores humanos y por consiguiente reducen la repetición de un trabajo.

Otra razón por la cuál es necesario diseñar estándares es que en las garitas en cualquier momento se pueden utilizar para ingreso como para egreso de camiones y por lo tanto es necesario que la persona encargada esté capacitada para trabajar en los dos procesos.

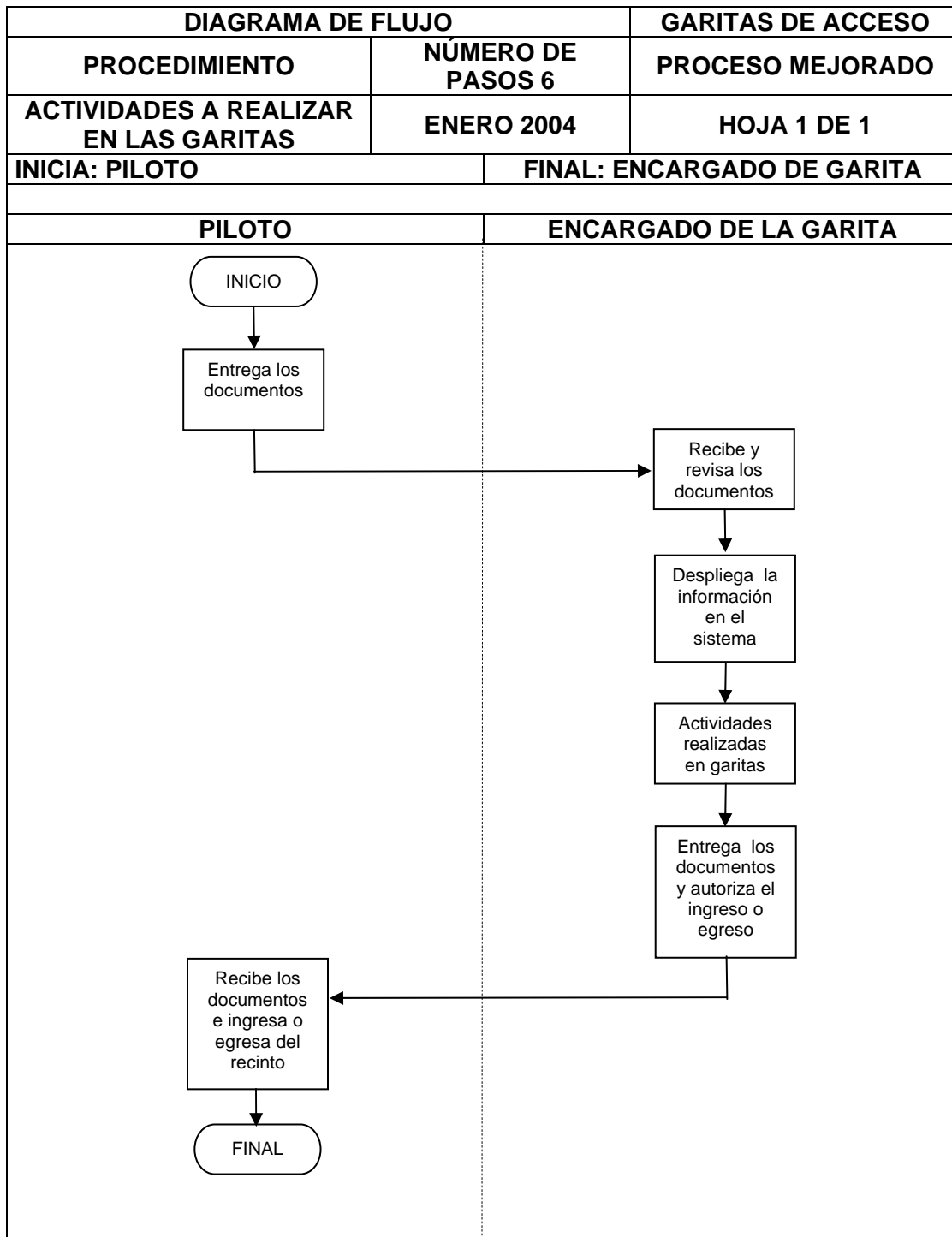
En la tabla XXXVII se describe el procedimiento a seguir en cada una de las diferentes garitas.

**Tabla XXXVII. Actividades a realizar en garitas**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		GARITAS DE ACCESO	
PROCEDIMIENTO		NÚMERO DE PASOS 6	
ACTIVIDADES A REALIZAR EN GARITAS		ENERO 2004	
INICIA: PILOTO		FINAL: ENCARGADO DE LA GARITA	
ACTIVIDAD		EJECUTOR	
		DESCRIPCIÓN	
1	Entregar los documentos	Piloto	Entrega al encargado de la garita los documentos de identificación personal y de la carga.
2	Recibir y revisar los documentos	Encargado de la garita	Recibe los documentos y revisa que correspondan a la carga y que estén firmados y sellados.
3	Desplegar la información del camión en el sistema	Encargado de la garita	Para desplegar la información del camión en el sistema de cómputo de la gerencia de operaciones deberá de realizar lo siguiente: <b>Garita de ingreso:</b> Ingresar el número de placa del camión <b>Garita de egreso:</b> Ingresar el número de ciclo
4	Actividades realizadas en garita	Encargado de garita	<b>Garita de ingreso:</b> el encargado de la garita asigna el número de ciclo de identificación del camión. <b>Garita de egreso:</b> el encargado de la garita verifica que los documentos correspondan a la carga y procede a revisar en el sistema que toda la información esté ingresada en caso de carga contenedorizada póliza, número de contenedor, datos del piloto y del camión. Para carga a granel debe revisar que esté ingresado el pesaje, consignatario, total descargado y faltante y datos del camión y piloto. Luego de realizar estas actividades procede a cancelar el número de ciclo del sistema.
5	Entregar los documentos y autorizar el ingreso o egreso del recinto	Encargado de garita	<b>Garita de ingreso:</b> entrega al piloto el número de ciclo y autoriza el ingreso al recinto portuario. <b>Garita de egreso:</b> entrega los documentos de la carga al piloto y autoriza el egreso del recinto portuario.
6	Recibir los documentos e ingresar o egresar del recinto	Piloto	Recibe los documentos por parte del encargado de la garita y procede a ingresar o egresar del recinto portuario.



**Figura 25. Diagrama de flujo de la operación**





## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

Lo más importante cuando se realizan estudios de teoría de colas es minimizar el tiempo de espera de los clientes en la cola con el fin de poder atender al mayor número de ellos en el menor tiempo posible. Para lograr este objetivo se realizan estudios a los procesos actuales y se proponen mejoras a los mismos. Esto fue lo que se realizó, para lograr que estas propuestas de mejoras sean aprobadas y se pongan en práctica es necesario demostrar que dichos cambios van encaminados a reducir los tiempos en el proceso. Para demostrar que los cambios propuestos van encaminados a reducir tiempos, para este capítulo se realizará una comparación del proceso actual y el proceso mejorado en la cuál se remarcarán las actividades que fueron mejoradas y el tiempo que se reducirá en el proceso realizando dichos cambios. Otro punto importante a tomar en cuenta es la capacidad que tiene el proceso actual para atender la demanda de servicio que se presenta en las garitas, por lo que se indicará a cuanto debe incrementarse el número de garitas sobre la base de los estudios realizados para brindar el servicio de forma eficiente y eficaz.

### **4.1 Proceso de ingreso de camiones mejorado**

Este proceso contará con cuatro garitas de ingreso, las cuáles estarán dos garitas a disposición las veinticuatro (24) horas del día los 365 días del año, y las otras dos estarán atendiendo en el horario de 7:30 a 21:30 los 365 días del año.

Cada garita será atendida por una persona que estará encargada de registrar los datos del camión en el sistema, así como de asignar el número de ciclo que servirá luego para identificar el camión dentro del recinto.

En estas garitas se atenderán camiones con el siguiente tipo de carga.

- Carga contenedorizada
- Carga a granel
- Carga general
- Todo tipo de camión que ingrese a dejar suministros al recinto portuario.

Estas garitas podrán ser utilizadas tanto para ingreso como para egreso de camiones, cuando esto sea necesario o viceversa, según sean las necesidades del puerto.

#### **4.1.1 Reducción en el número de operaciones de ingreso**

En el proceso de ingreso de camiones mejorado se reducirá el número de operaciones de ocho que se realizan actualmente a seis en el proceso mejorado. A continuación se realiza un comparativo entre el proceso actual y el mejorado para observar en que consisten los cambios.

**Tabla XXXVIII. Comparativo entre las actividades del proceso actual y el proceso mejorado en el ingreso de camiones**

<b>ACTIVIDADES PROCESO ACTUAL</b>	<b>ACTIVIDADES PROCESO MEJORADO</b>
1. Camión se traslada hacia la garita	1. Camión Ingresa a la garita
2. Esperar turno	2. Revisar el camión
3. Ingresar a la garita	3. Entregar los documentos y proporcionar los datos personales
4. Proporcionar los datos	4. Recibir los documentos y registrar los datos
5. Registrar los datos	5. Entregar el ciclo y autorizar el ingreso
6. Revisar el camión	6. Recibir el ciclo e ingresar al recinto
7. Entregar el ciclo	
8. Autorizar el ingreso	

Como se puede observar básicamente las dos operaciones que se eliminan son las que están directamente relacionadas con la espera que tenía que hacer el camión debido a la insuficiencia de garitas para atender a los clientes. Este problema se ve solucionado con el incremento en el número de garitas con lo que también se reducirá el tiempo en cola del camión y el tiempo de servicio en el sistema.

#### 4.1.2 Tiempo a reducir en operación

En el proceso actual, el tiempo de servicio en el ingreso de camiones es de dos minutos con cincuenta y un segundos (2 min. 51 seg.). Con este tiempo se calculó que el sistema se encuentra ocupado un 75% del tiempo, haciendo el sistema vulnerable ya que con cualquier incremento en la demanda del servicio saturaría el sistema ocasionando congestionamiento y por consiguiente atrasos al proceso. Con el aumento en el número de garitas el factor de ocupación es el siguiente:

$$\text{Factor de ocupación} = 100 \times (\lambda/c\mu) = 100 \times (55/(4 \times 37)) = 37.16\%$$

**Tabla XXXIX. Comparativo entre el proceso actual y el proceso mejorado en el ingreso de camiones**

	<b>ACTUAL</b>	<b>MEJORADO</b>
Modelo	(M/M/c) infinito	(M/M/c) infinito
Garitas	2	4
A = Tasa Llegada	55	55
S = Tasa de Servicio	37	37
r =	1,486	1,486
Po =	0,090	0,671
P1=	0,134	0,998
P2=	0,100	0,742
P3=		0,368
Lq=	1,123	0,473
Ls=	2,609	1,959
Wq=	0,020	0,013
Ws=	0,047	0,040
Factor de uso=	74,324	37,162

Como se puede observar en la comparación entre el sistema actual y el mejorado se puede determinar que el sistema con el aumento en una garita reducirá el tiempo de servicio de 0.047 hrs. (2 min. 51 seg.) a 0.040 hrs. (2 min. 24 seg.), lo que quiere decir que el tiempo de servicio por camión será 27 segundos menor al actual, incluso manteniendo la tasa de servicio actual de 37 camiones/hra.

#### **4.2 Proceso de egreso de camiones mejorado**

Este proceso en lugar de tener garitas exclusivas para atender camiones con carga contenedorizada y camiones con carga general y a granel, se propone trabajar con un sistema unificado donde se puedan atender a los camiones con cualquier tipo de carga en cualquier garita. Para esto se contará con cuatro garitas de egreso, dos de estas garitas estarán a disposición las veinticuatro (24) horas del día los 365 días del año, y las otras dos estarán atendiendo de 7:30 a 21:30 los 365 días del año. Cada garita será atendida por una persona que estará encargada de revisar los documentos de carga para egresar del recinto, así como de cancelar el número de ciclo del camión en el sistema.

En estas garitas se atenderán camiones con el siguiente tipo de carga.

- Carga contenedorizada
- Carga a granel
- Carga general
- Todo tipo de camión que ingrese a dejar suministros al recinto portuario.

Estas garitas podrán ser utilizadas tanto para egreso como para ingreso de camiones cuando esto sea necesario o viceversa según sean las necesidades del puerto.

#### 4.2.1 Reducción en el número de operaciones de egreso

En el proceso de egreso de camiones se unificarán los procesos, por lo que se definirá un proceso para que la persona que esté atendiendo en las garitas pueda darle egreso tanto a camiones con carga contenedorizada como a camiones con carga general y a granel.

**Tabla XXXX. Comparativo entre las actividades del proceso actual y el proceso mejorado en el egreso de camiones**

<b>EGRESO DE CAMIONES CON CARGA CONTENEDORIZADA</b>	<b>EGRESO DE CAMIONES CON CARGA A GRANEL Y CARGA GENERAL</b>	<b>EGRESO DE CAMIONES</b>
<b>ACTUAL</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>MEJORADO</b>
1. Camión se traslada hacia la garita	1. Camión se traslada hacia la garita	1. Camión ingresa a la garita
2. Descender del camión	2. Descender del camión	2. Revisar el camión
3. Registrar los datos	3. Entregar la boleta de pesaje	3. Entregar los documentos
4. Regresar al camión y dirigirse a la garita	4. Elaborar el pase de salida	4. Recibir los documentos e ingresar el número de ciclo al sistema
5. Entregar los documentos	5. Recibir el pase de salida y dirigirse a la garita	5. Cancelar el ciclo, entregar los documentos y autorizar el egreso
6. Cancelar el ciclo y autorizar el egreso	6. Entregar los documentos	6. Recibir los documentos y egresar del recinto
7. Camión se traslada a la garita de la SAT	7. Cancelar el ciclo	
8. Verificar el contenedor	8. Autorizar el egreso	
9. Autorizar el egreso		



Como se puede observar las operaciones en el proceso mejorado serán únicamente seis a diferencia de nueve que habían en el egreso de camiones con carga contenedorizada y ocho que habían en el egreso de camiones con carga general y a granel.

La razón por la cuál se eliminaron operaciones para el egreso de camiones es que actualmente el transportista debe descender del camión para obtener el pase de salida en el caso de camiones con carga a granel, o entregar los documentos de la carga en el caso de camiones con carga contenedorizada, pero debido a que estos trámites se harán a través del sistema, ya no será necesario que el transportista tenga que descender del camión sino que todo el trámite de egreso se hará en la garita respectiva. Otra acción que beneficiará el proceso de egreso es el aumento en el número de garitas con lo que también se reducirá el tiempo en cola del camión y el tiempo de servicio en el sistema.

#### **4.2.2 Tiempo a reducir en operación**

En el proceso actual, el tiempo de servicio en el egreso de camiones con carga contenedorizada es de diez minutos con cuarenta y cinco (10 min. 45 seg.). Con este tiempo se calculó que el sistema se encuentra ocupado un 192% del tiempo, sobrepasando su capacidad máxima en un 92%. Para el caso de los camiones con carga general y a granel, el tiempo de servicio es de catorce minutos con diecisiete segundos (14 min. 17 seg.) con un porcentaje de utilización del 320%, sobrepasando su capacidad máxima en un 220%.

Debido a que va a ser un sistema completamente rediseñado, no se tiene ninguna referencia para el cálculo del tiempo por lo que se hará una proyección donde se tomará como tiempo de llegada la sumatoria de la demanda de servicio de camiones con carga contenedorizada y la demanda de camiones con carga general y a granel. Como referencia del tiempo de servicio se tomará el sistema de egreso de camiones con carga general y a granel ya que es el sistema más lento actualmente.

$$\text{Factor de ocupación} = 100 \times (\lambda/c\mu) = 100 \times (57/(4 \times 40)) = 35.62\%$$

**Tabla XXXXI. Comparativo entre el proceso actual y el proceso mejorado en el egreso de camiones**

	<b>ACTUAL</b>	<b>MEJORADO</b>
Modelo	M/M/c infinito	M/M/c infinito
núm. de garitas	2	4
Tasa de llegada	32	57
Tasa de servicio	10	40
r =	3.200	1.425
A=	18.920	
Po =	0.106	2.453
P1=	0.338	3.495
P2=	0.879	2.490
P3=	0.541	1.183
P4=		0.421
Tasa efectiva =	14.207	
Lq=	1.962	0.362
Ls=	3.383	1.787
Wq=	0.138	0.006
Ws=	0.238	0.031

En la comparación entre el sistema actual y el mejorado se puede determinar que el sistema con el aumento en dos garitas reducirá el tiempo de servicio de 0.238 hrs (14 min. 18 seg.) a 0.031 hrs (1 min. 52 seg.), lo que quiere decir que el tiempo de servicio por camión será aproximadamente 11 minutos menor al actual. La razón por la cuál el tiempo se ve reducido en esa gran cantidad de tiempo es debido al cambio de sistema en el proceso de egreso de camiones, ya que actualmente se cuenta con un sistema de garitas en serie y en el proceso mejorado se esta planteando un sistema unificado de garitas con múltiples servidores.

### 4.3 Tiempo de servicio

Es el tiempo que transcurre, para un camión, desde que inicia hasta que concluye el servicio. Por lo tanto mientras menor sea el tiempo de servicio en las garitas más ágil será el flujo de camiones en el proceso de ingreso o egreso. Para calcular el tiempo de servicio en el proceso mejorado se utilizaron las fórmulas que se muestran en el capítulo dos a continuación se muestra un comparativo entre el tiempo de servicio en el proceso actual y el tiempo de servicio en el proceso mejorado.

**Tabla XXXXII. Tiempo de servicio en el proceso actual y el proceso mejorado**

<b>SISTEMA</b>	<b>PROCESO ACTUAL TIEMPO (HRS)</b>	<b>PROCESO MEJORADO TIEMPO (HRS)</b>
Ingreso de camiones	0.047	0.040
Egreso de camiones con carga contenedorizada	0.179	0.031
Egreso de camiones con carga general y a granel	0.238	

En el proceso mejorado para el egreso de camiones solamente se tiene un tiempo de servicio en lugar de dos como muestra el proceso actual, esto se debe a que en el proceso mejorado los procesos son unificados.

#### 4.3.1 Incremento de la tasa de servicio

En la sección anterior se muestra el tiempo de servicio que se reduce en el proceso mejorado, en esta sección se mostrará como la reducción de este tiempo se ve reflejada en el aumento del número de camiones que se pueden atender por hora en las garitas o en otras palabras la tasa de servicio con el proceso mejorado.

Para poder realizar el cálculo de la tasa de servicio en el proceso mejorado se procederá a realizar una regla de tres entre los datos que se tienen actualmente de la tasa de servicio y el factor de utilización y el dato a obtener sería cuando el sistema se encuentre en un factor de ocupación del 75%. A continuación se realiza los cálculos para el ingreso y el egreso de camiones:

Ingreso de camiones

Datos:

Tasa de servicio = 37 camiones/hora

Factor de ocupación = 37.16%

$$\begin{array}{ccc} 37 & \longrightarrow & 37.16\% \\ x & \longrightarrow & 75\% \end{array}$$

$$x = (37 * 75)/37.16 \approx 75 \text{ camiones/hora}$$

## Egreso de camiones

Datos:

Tasa de servicio = 40 camiones/hora

Factor de ocupación = 35.62%

$$\begin{array}{ccc} 40 & \longrightarrow & 35.62\% \\ x & \longrightarrow & 75\% \end{array}$$

$$x = (40 * 75)/35.62 \approx 84 \text{ camiones/hora}$$

Por lo tanto en el ingreso de camiones se incrementará la tasa de servicio en 38 camiones/hora y para el egreso de camiones podrá llegar la tasa de servicio a 84 camiones/hora.

### 4.3.2 Reducción del tiempo en el sistema

En la tabla XXXXII se compara el tiempo de servicio del proceso actual y el tiempo de servicio del proceso mejorado, en esta sección se realizará un comparativo donde se remarque el tiempo de servicio que se reducirá en cada proceso.

**Tabla XXXXIII. Tiempo en el sistema en el proceso actual y el proceso mejorado**

<b>SISTEMA</b>	<b>PROCESO ACTUAL TIEMPO (HRS)</b>	<b>PROCESO MEJORADO TIEMPO (HRS)</b>	<b>REDUCCIÓN DE TIEMPO (HRS)</b>
Ingreso de los camiones	0.047	0.040	0.007
Egreso de los camiones con carga contenedorizada	0.179	0.031	0.148
Egreso de los camiones con carga general y a granel	0.238		0.207

Como se puede observar en el ingreso de camiones el proceso disminuye en 0.007 hrs lo que equivale a 27 segundos. Para el egreso de camiones en los casos de egreso con carga contenedorizada el proceso disminuye en 0.148 hrs lo equivalente a 8 minutos 53 segundos y en el caso de egreso con carga general y a granel el proceso disminuye en 0.207 hrs lo equivalente a 12 minutos 25 segundos.

En el caso de ingreso de camiones la reducción de tiempo se justifica por el aumento de una garita, en el caso del egreso de camiones que es donde se presenta mayor variación en la reducción del tiempo se justifica ya que en el proceso actual son sistemas en serie donde el transportista pierde mucho tiempo en descender del camión y obtener documentos de salida, algo que se elimina en el proceso mejorado y se proponen garitas multifuncionales (múltiples servidores) donde el transportista ya no tiene que descender del camión.

#### 4.4 Distribución de llegadas

Esta distribución no es mas que la cantidad de camiones que llegan al sistema en un tiempo determinado, también se le llama tasa de llegada. La tasa de llegadas actual es el promedio de camiones por hora que ingresan al recinto.

Debido a que la tasa de servicio en el proceso mejorado es menor, la disponibilidad de prestar el servicio es mayor, por lo que el sistema está en la capacidad de prestar el servicio a un número mayor de clientes, ya que la tasa de llegada se puede aumentar.

##### 4.4.1 Reducción de la tasa de espera

En la tabla XXXIV se compara el tiempo de espera del proceso actual y el tiempo de espera del proceso mejorado, en esta sección se realiza un comparativo donde se remarca el tiempo de espera que se reduce en cada proceso.

**Tabla XXXIV. Tiempo de espera en el proceso actual y el proceso mejorado**

<b>SISTEMA</b>	<b>PROCESO ACTUAL TIEMPO (HRS)</b>	<b>PROCESO MEJORADO TIEMPO (HRS)</b>	<b>REDUCCIÓN DE TIEMPO (HRS)</b>
Ingreso de los camiones	0.020	0.013	0.007
Egreso de los camiones con carga contenedorizada	0.138	0.006	0.132
Egreso de los camiones con carga general o a granel	0.102		0.096

En el ingreso de camiones el proceso disminuye el tiempo de espera en 0.007 hrs lo que equivale a 27 segundos. Para el egreso de camiones en los casos de egreso con carga contenedorizada el proceso disminuye el tiempo de espera en 0.132 hrs, equivalente a 7 minutos 55 segundos y en el caso de egreso con carga general o a granel el proceso disminuye en 0.096 hrs, equivalente a 5 minutos 45 segundos.

#### 4.4.2 Aumento del número de camiones que se pueden atender

Para realizar el cálculo del incremento de la tasa de llegadas en el proceso mejorado se plantea una operación aplicando una regla de tres entre los datos que se tienen actualmente de la tasa de llegada y el factor de utilización y, el dato que se obtiene es cuando el sistema se encuentre en un factor de ocupación del 75%. A continuación se realizan los cálculos para el ingreso y el egreso de camiones:

Ingreso de camiones

Datos:

Tasa de llegadas = 55 camiones/hora

Factor de ocupación = 37.16%

$$\begin{array}{ccc} 55 & \longrightarrow & 37.16\% \\ x & \longrightarrow & 75\% \end{array}$$

$$x = (55 * 75)/37.16 \approx 111 \text{ camiones/hora}$$



## Egreso de camiones

Datos:

Tasa de llegadas = 57 camiones/hora

Factor de ocupación = 35.62%

$$\begin{array}{ccc} 57 & \longrightarrow & 35.62\% \\ x & \longrightarrow & 75\% \end{array}$$

$$x = (57 * 75)/35.62 \approx 120 \text{ camiones/hora}$$

Por lo tanto en el ingreso de camiones se incrementará la cantidad de camiones que se pueden atender en 56 camiones/hora y para el egreso de camiones podrá llegar la tasa de llegadas a 120 camiones/hora.

### 4.5 Instalaciones del servicio

Una de las propuestas del proceso mejorado es aumentar la cantidad de garitas tanto para el ingreso como para el egreso de camiones, se propone aumentar en cuatro la cantidad total de garitas de las cuáles se distribuirán: dos para el ingreso y dos para el egreso.

Se determino que era necesario aumentar el número de garitas debido al alto nivel de ocupación que mostraban las ya existentes, lo que causa que el proceso se sature y se produzca el congestionamiento de camiones ocasionando atrasos en el proceso.

#### 4.5.1 Cantidad óptima de instalaciones de servicio

Para calcular el número ideal de instalaciones de servicio se toma como base la tasa de llegadas que se espera con el proceso mejorado, la cual se cálculo siendo de 111 para el ingreso de camiones y de 120 para el egreso de camiones, con estos datos se realiza un cálculo utilizando la regla de tres como se muestra a continuación:

Ingreso de camiones

Datos:

Tasa de llegadas = 55 camiones/hora

Número de garitas = 2

$$\begin{array}{ccc} 55 & \longrightarrow & 2 \\ 111 & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$x = (111 * 2)/55 = 4 \text{ garitas}$$

Egreso de camiones

Datos:

Tasa de llegadas = 57 camiones/hora

Número de garitas = 2

$$\begin{array}{ccc} 57 & \longrightarrow & 2 \\ 120 & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$x = (120*2)/57 = 4.21 \text{ garitas} \approx 4 \text{ garitas}$$

Luego de realizar los cálculos correspondientes, se pudo comprobar que el número de garitas propuesto es el ideal para la funcionalidad del sistema.

## **5. SEGUIMIENTO DEL PROYECTO**

El seguimiento del proyecto se realizará en cuatro aspectos fundamentales los cuáles son: calidad del servicio, aspectos personales, aspectos del proceso y aspectos tecnológicos. Estos aspectos tendrán la función de ser los indicadores del buen funcionamiento del proyecto o al mismo tiempo mostrar las deficiencias del mismo ya en la práctica.

### **5.1 Calidad del servicio**

Esta se medirá en función de la funcionalidad del proyecto y la confiabilidad del método propuesto. Para medir estos parámetros, durante las primeras semanas, después de implementado el proyecto, se observará si los cambios propuestos están dando los resultados esperados en lo que respecta a agilización del proceso y mejoras en los tiempos de servicio y tiempo de espera de los camiones. La metodología a seguir para llevar el seguimiento del proyecto será la de realizar una investigación de campo en las garitas y tomar tiempos nuevamente para obtener el tiempo real del nuevo proceso y observar si éstos se asemejan a los tiempos esperados conforme los cálculos realizados. Luego de obtener los tiempos se tabularán tal como se hizo en el capítulo dos y se obtendrán los tiempos promedios por hora para luego realizar el análisis cuantitativo entre los tiempos esperados y los tiempos reales.

### **5.1.1 Funcionalidad del método propuesto**

El término funcionalidad significa: “cualidad que tienen algunas formas, objetos o elementos de cubrir o satisfacer una necesidad”. Por lo tanto funcionalidad del método propuesto, se refiere a si el método está satisfaciendo la necesidad por la cuál fue creado, que para el caso es la de un sistema más eficiente que logre atender el máximo número de camiones en el menor tiempo posible.

La metodología a utilizar para evaluar la funcionalidad del método propuesto está la de realizar una investigación de campo por lo menos cada seis meses, esto con el fin de determinar si las mejoras propuestas todavía están cumpliendo la función de la satisfacer la necesidad de hacer un sistema más eficiente y en caso que esta quede obsoleta, debido a una variación tecnológica o del proceso, poder realizar los cambios necesarios para lograr que sigan siendo funcionales.

### **5.1.2 Confiabilidad del método propuesto**

Confiabilidad es la probabilidad de que un producto determinado realice aquellas funciones para las que fue creado de manera satisfactoria durante un lapso vital predeterminado y bajo ciertas condiciones ambientales previamente definidas. Con base en la definición anterior, hay cuatro factores relacionados con la confiabilidad.

- Valor numérico
- Función específica
- Lapso vital de tiempo
- Condiciones ambientales.

Sobre la base de lo anterior para medir la confiabilidad del método propuesto se va a tomar el valor numérico como la probabilidad de que el proceso no falle durante determinado tiempo. Una forma de medirla es de acuerdo a la probabilidad de que el sistema se encuentre lleno o vacío conforme las fórmulas utilizadas en el capítulo dos.

La función específica del método propuesto es la de minimizar el tiempo de espera de los camiones en las garitas de ingreso y egreso del recinto portuario, para darle seguimiento a este factor será realizarán muestreos periódicos al sistema, los cuales consistirán en tomar tiempos en las garitas en las horas pico y determinar si el proceso está funcionado o presenta problemas de congestiónamiento.

Con respecto a la vida del proceso, según los cálculos realizados en el capítulo anterior a una tasa de ocupación del 75%, la demanda de servicio para el ingreso de camiones puede soportar un aumento de 55 camiones/hora a 111 camiones/hora en el proceso mejorado. Para el proceso de egreso de camiones el aumento será de 57 camiones/hora a 120 camiones/hora, lo que quiere decir aproximadamente un 51% más que la demanda actual en el proceso de ingreso de camiones. Esto brinda un parámetro para pensar que la vida del proceso será de por lo menos cinco años ya que el aumento de carga hacia el puerto está en una tasa de crecimiento de aproximadamente 10% anual.

El último factor tiene que ver con las condiciones ambientales, por lo tanto las garitas de ingreso y egreso deberán contar con todas las condiciones de higiene y salud, necesarias para que el personal que se asigna a ellas se sienta cómodo y pueda desempeñar su trabajo de la mejor manera.

## **5.2 Aspectos personales**

Ningún otro recurso es tan valioso para una organización como su personal. Si bien la frase anterior es de todos conocida, es muy cierto y especialmente aplicable a la calidad del servicio que se preste en las garitas, por lo tanto, se vuelve una parte fundamental para el éxito o fracaso del proyecto.

Se menciona esto ya que la fluidez del tráfico en las garitas dependerá en gran parte de la agilidad del personal, ya que éste deberá registrar los datos del camión en el caso del ingreso de camiones y para el egreso de camiones también dependerá mucho la habilidad del personal para revisar los documentos y cancelar los ciclos, por lo que es necesario que la organización mantenga al personal motivado por medio de una buena comunicación, programas de capacitación enfocados a mejorar sus habilidades y brindándole condiciones de trabajo ideales.

### **5.2.1 Capacitación del personal**

El costo que implica la educación y capacitación de todo el personal es enorme y para lograr resultados es necesario dedicarle un tiempo prolongado, por lo que el departamento de capacitación de la empresa portuaria deberá desarrollar las siguientes funciones para poner en práctica la capacitación del personal:

- Identificar los cursos que deberán impartirse a cada categoría laboral.
- Identificar posibles fuentes de donde obtener material y líderes para la capacitación

- Calcular la inversión requerida en términos de dinero, instalaciones y personal
- Recomendar un programa que incluya instructores, líderes y un horario.

Los elementos de los supervisores deberán participar como instructores en el programa. Su capacitación se realizará en parte con libros y mediante su experiencia en el campo.

### **5.2.2 Condiciones de trabajo ideales**

Como se mencionó en el cuarto factor de la confiabilidad del método propuesto, algo muy importante para el buen desarrollo de las actividades es brindar condiciones de trabajo ideales, cuando se menciona condiciones de trabajo ideales no se refiere solamente al lugar de trabajo, sino que también a un adecuado equipo que se proporcione para desarrollar las actividades y, lo más importante de todo será el trato de los superiores hacia el personal.

En lo referente al lugar de trabajo las condiciones mínimas con las que deberán contar cada garita de ingreso y egreso serán.

- a. Contar con mobiliario y equipo adecuado
- b. Orden y limpieza
- c. Iluminación apropiada
- d. Buena ventilación
- e. Tamaño físico adecuado
- f. Acceso telefónico
- g. Muebles de archivo

En lo referente al equipo de trabajo que se proporcione éste deberá ser el siguiente:

- a. Computadora Pentium IV
- b. Impresora para papel continuo
- c. Equipo de radio transmisor
- d. Equipo de oficina (engrapadora, lapiceros, etc.)
- e. Regulador de energía (UPS)

Por último los supervisores deberán mantener una comunicación abierta con el personal y apoyar la participación del empleado en el proceso de toma de decisiones ya que esto le permitirá mejorar la calidad del servicio y aumentar la productividad del proceso.

Una parte importante del seguimiento del proyecto serán las sugerencias que brinde el personal ya que el mismo tiene más elementos para detectar e indicar aquellas áreas susceptibles de mejora y por consiguiente están más capacitados para proponer acciones correctivas al proceso.

### **5.3 Aspectos del proceso**

Cuando se habla de los aspectos del proceso se refiere a todas las actividades que se realizan tanto en el ingreso como el egreso de camiones. Parte vital de la duración del proyecto será el seguimiento que se le dé a las actividades ya que éstas deberán de estar en un monitoreo constante con el fin de ir mejorando tiempos en el proceso y con ello mejorar el proceso.



Durante el seguimiento que se le dé al proceso se deberá enfocar tanto a las actividades como al medio que las rodea, ya que en muchas ocasiones no es necesario eliminar o realizarle ajustes a las actividades sino que únicamente se debe colocar ergonómicamente el mobiliario y el equipo que se utiliza, por lo tanto será necesario realizar estudios similares al realizado en el capítulo dos de este proyecto cada cierto tiempo con el fin de ir mejorando el proceso y con esto aumentar la vida del proyecto.

### **5.3.1 Operaciones que realiza el personal de garitas**

En los aspectos del proceso están todas las actividades que realiza la persona encargada de la garita, entre ellas están:

Ingreso de camiones

- a. Revisar los documentos de la carga
- b. Registrar los datos del piloto y del camión en el sistema
- c. Asignar el número de ciclo
- d. Autorizar el ingreso

Egreso de camiones

- a. Ingresar el número de ciclo
- b. Revisar si cumple con todos los documentos de la carga y el camión para el egreso
- c. Cancelar el número de ciclo
- d. Autorizar el egreso

En el seguimiento al proyecto se tendrá que tomar en cuenta que las actividades señaladas anteriormente se deberán realizar siempre en cada uno de los sistemas, por lo que se tendrá que analizar cuestiones tecnológicas y ergonómicas para lograr disminuir los tiempos.

### **5.3.2 Operaciones que se realizan en el registro de datos**

Como se mencionó anteriormente todos los datos de los camiones se registrarán en el sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones, por lo que se deberá tener especial cuidado a la hora que ingresar estos, ya que un error en esta actividad representará una desviación de la información. Para evitar que se presenten dichos problemas será necesario que la persona asignada a cada garita se encuentre concentrada en su trabajo, evitando al máximo todo tipo de distracciones.

## **5.4 Aspectos tecnológicos**

La tecnología será de suma importancia en el método propuesto, esto debido a que toda la información se registrará a través del sistema operativo de cómputo y un fallo podría ocasionar grandes problemas en el proceso. Para prever cualquier fallo será necesario programar un mantenimiento preventivo al equipo y al sistema, aparte del mantenimiento será de vital importancia estar siempre en constante actualización en los avances tecnológicos de software y del equipo de cómputo. Para efectuar el control la Empresa Portuaria cuenta con una unidad de informática la cuál deberá realizar una programación del mantenimiento al software y a los equipos de cómputo.

#### **5.4.1 Mantenimiento preventivo al equipo**

La unidad de informática deberá realizar la programación del mantenimiento preventivo al software y al equipo. Este mantenimiento aparte de la limpieza profunda de las máquinas, deberá también desarrollar las siguientes funciones para poner en práctica el mantenimiento del equipo:

- a. Identificar los días y horas donde la demanda de servicio sea menor
- b. Contar con el material y los repuestos necesarios para brindar el servicio
- c. Calcular la inversión requerida en términos de dinero, instalaciones y personal

Se deberá diseñar un plan de contingencia a la hora que sufra desperfectos el sistema, como una medida paliativa para llevar el control manual por medio de un cuadro previamente establecido donde el encargado de la garita conforme los documentos de la carga y el camión pueda llevar el control del movimiento.

#### **5.4.2 Actualización del software**

Para el aspecto tecnológico es necesario estar siempre en constante actualización no sólo en lo que se refiere a equipo sino que también a los tipos de software que están en el mercado.

Esta tarea se delegará a la unidad de informática la cuál deberá nombrar una comisión la cuál tendrá la función de realizar auditorías constantes al sistema, esto con el fin de revisar si es necesario implementar nuevas pantallas o encontrar nuevas formas de transmitir la información a través de la red de una forma más rápida y sencilla la cuál agilice las operaciones.

El seguimiento en lo que respecta al software no será solamente en el área de las garitas sino que también se deberá de realizar a todo el sistema operativo ya que la información es ingresada en el momento que el camión ingresa al parqueo de tráfico pesado, por lo tanto deberá de haber una comunicación constante entre todas las partes involucradas las cuáles deberán de proporcionar sugerencias en lo que respecta a la transmisión de la información.

#### **5.4.3 Actualización del equipo de registro de datos**

En lo que respecta al aspecto tecnológico se debe obtener información de los avances informáticos de equipos de cómputo con procesadores de información más rápidos y potentes los cuáles pueden agilizar las operaciones.

Como parte del seguimiento se deben programar fechas de posibles cambios de equipo de acuerdo a los avances tecnológicos y las necesidades de mejora continua.

## CONCLUSIONES

1. Con el análisis cualitativo realizado en el proceso de ingreso y egreso de transporte pesado en las garitas de acceso del recinto portuario se determinó que el sistema de ingreso, es un sistema que cuenta con dos garitas de acceso colocadas horizontalmente, las cuales pueden atender todo tipo de camiones sin restricción, la disciplina de servicio para el sistema de ingreso es del tipo FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), con una línea de espera infinita sin prioridad de servicio. El sistema de egreso de camiones cuenta con dos garitas colocadas horizontalmente, con la diferencia que una atiende solamente camiones con carga contenedorizada y la otra atiende camiones con carga a granel y carga general. Este sistema responde a la disciplina de servicio tipo FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), con una línea de espera infinita sin prioridad de servicio.
2. El congestionamiento de camiones es provocado por varias causas entre las que se pueden mencionar: sobresaturación del sistema tanto de ingreso como de egreso de camiones, falta de procedimientos definidos para la operación, uso inadecuado de las garitas especialmente en el egreso de camiones ya que éstas no son multifuncionales. El trámite de egreso no se realiza en una sola garita y por último el sistema de cómputo no está siendo aprovechado al máximo ya que la información de la carga no es totalmente transmitida a través de este.

3. En la evaluación del proceso se determinó que la causa por la cual se incrementa el tiempo de espera se debe a que la cantidad de garitas no es suficiente para la demanda de servicio que se tiene, por lo que los sistemas se encuentran sobresaturados ocasionando problemas de congestión y atrasos al proceso. Además, se incrementa el tiempo de espera debido a que no hay una centralización de la información y los pilotos tienen que bajarse del camión para obtener el pase de salida para poder egresar del recinto.
4. Durante la evaluación del proceso se determinó que la capacidad física para el sistema de ingreso es de un 74%, para el sistema de egreso de camiones con carga contenedorizada es de un 266% y para carga a granel y carga general es un 320%. Con estos resultados se puede determinar que el sistema se encuentra sobresaturado por lo que es necesario realizar modificaciones al proceso y aumentar el número de garitas.
5. Durante la evaluación del proceso se pudo observar que el personal no cuenta con lineamientos de mejora continua, ya que los procesos no están estandarizados, esto provoca que el personal no pueda corregir sus errores ya que no cuentan con ninguna base que determine cómo se debe de realizar la actividad,. Este problema se agudiza cuando se realiza rotación de personal ya que no cuentan con un programa de inducción, aprenden sobre la marcha o aprenden los mismos errores que se comenten con regularidad.

6. Se determinaron varias acciones que provocan demoras al proceso entre las cuales se pueden mencionar: la capacidad del sistema no es suficiente para la demanda del servicio, el sistema de egreso no es flexible, el personal no cuenta con lineamientos de mejora continua y por último el personal de seguridad provoca retrasos ya que la misma persona que revisa el transporte pesado también revisa los vehículos livianos.
  
7. Con respecto a las instalaciones de servicio se encontraron deficiencias entre las que se pueden mencionar: iluminación deficiente, tamaño inadecuado, ventilación deficiente, los muebles no están colocados ergonómicamente y el equipo de cómputo no recibe ningún tipo de mantenimiento.





## RECOMENDACIONES

1. Incrementar en un 100% la capacidad física del sistema, para evitar el congestionamiento de camiones por lo que se aumentarán dos garitas para el sistema de ingreso y dos garitas para el sistema de egreso.
2. Contar con cuatro garitas para ingreso y cuatro garitas para egreso, para disminuir el tiempo de espera del camión.
3. El sistema deberá tener las siguientes características: distribución de llegadas individual, tiempo de servicio individual y variará de una garita a otra, disciplina de servicio tipo FCFS (primero en llegar primero en ser atendido), tamaño de la línea de espera infinito y atención al cliente durante las 24 horas.
4. El personal deberá tener conocimientos de computación en especial en el ambiente Windows, y recibir un curso de inducción donde se le indique como usar el sistema operativo de cómputo, así como también las actividades que deberá realizar dentro de la garita.

5. Implementar las siguientes acciones correctivas: colocar personal diferente para la revisión de vehículos livianos y transporte pesado, garitas multifuncionales, modificar el software del sistema operativo de cómputo de la gerencia de operaciones, digitar la información del pase de salida a través del sistema de cómputo de la gerencia de operaciones, colocar personal capacitado en las garitas de ingreso y egreso, ubicar un área fuera del recinto portuario para realizar los controles de selectivo aleatorio de la SAT y rampas de revisión de carga, reubicar la garita de confirmación de la SAT, mantener la disciplina de servicio tipo FCFS para el ingreso y egreso de camiones y el ingreso de datos al sistema se podrá realizar en cualquier garita.
6. Programar el mantenimiento del software y del equipo de preferencia por las noches para no entorpecer las operaciones durante el día, este mantenimiento deberá de realizarse por lo menos una vez al mes y antes de programarlo se deberá de revisar si se cuentan con los repuestos tanto para el equipo de cómputo como los accesorios para las impresoras para evitar demoras por falta de repuestos.
7. Las instalaciones de servicio deberán contar con las condiciones de higiene y salud mínimas para que la persona encargada de prestar el servicio lo pueda realizar de forma rápida y eficiente. Dichas garitas deberán tener el espacio suficiente para que puedan estar en ellas por lo menos tres personas y deberán contar con mobiliario y equipo adecuado, orden y limpieza, iluminación apropiada, buena ventilación, acceso telefónico y muebles de archivo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Besterfield, Dale H., **Control de Calidad**, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México 1995, 4ª. Edición. 509pp.
2. Comisión Portuaria Nacional (CPN), **Instructivo Básico Operativo Portuario (BOP)**, Guatemala 1998. 92pp.
3. García Criollo, Roberto, **Estudio del Trabajo - Medición del Trabajo**, Editorial McGraw-Hill, México 1998, 218pp.
4. Hillier/Lieberman: **Introducción a la Investigación de Operaciones**. Editorial McGraw Hill, México, 1982. 3ª. Edición 1124pp
5. Instituto Politécnico Nacional (IPN), **Guía para la Elaboración e Integración de Manuales de Procedimientos**, División de Organización y Métodos, marzo de 2003. 65pp.
6. Moskowitz, H. y Wright G.P. **Investigación de Operaciones**. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1991. 3ª. Edición. 1120pp.
7. Taha, Hamdy A.: **Investigación de Operaciones**. Editorial Alfaomega, México, 1995. 5ª. Edición. 987pp.
8. [www.geocities.com/modelosdelineasdeespera](http://www.geocities.com/modelosdelineasdeespera), enero 2004
9. [www.monografias.com/teoriadecolas](http://www.monografias.com/teoriadecolas), enero 2004







# ANEXO

**Figura 28. CM4: reporte de ciclos/históricos**

Fecha:

Empresa Portuaria Quetzal  
Sistema de Operaciones Portuarias  
CM4: Reporte de Ciclos/Historico. Departamento de Seguridad Física

Selección:

Ciclo	Placa	Transportista Contenedor	Piloto	Nombre del piloto Destino	Op.	Ingreso Recinto	Ingreso Puerto	Egreso Puerto	Egreso Recinto	TS ingreso	TS egreso

