



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**LA SIMULACION EN EL SISTEMA
DE ADMINISTRACION PORTUARIA**

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA INDUSTRIAL**

P R E S E N T A N :
**ANIBAL MORA REYES
FRANCISCO ROMAN ALVAREZ VAREA**

DIRECTOR: ING. IRAN ZADOK ECHAVARRY GAYTAN

**FACULTAD DE
INGENIERIA**



MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	5
MUESTRA DE DATOS DEL PUERTO DE MANZANILLO	
1.1 La Información para el Estudio	5
1.2 Manzanillo y su Importancia como Puerto	6
1.3 En Donde Buscar los Datos	9
1.4 Agrupación y Tendencias de los Datos	12
CAPITULO II	15
TEORIA DE COLAS	
Evaluación de Llegadas y Servicio de las Embarcaciones	
II.1 Características de una Línea de Espera	17
II.2 Manzanillo, Características de su Sistema de Línea de Espera	24
CAPITULO III	31
SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISCRETOS	
III.1 Simulación, ¿la herramienta adecuada?	37
III.2 Generación de Números Aleatorios	40
III.3 Diseño de Reglamentos, Prioridades, o Convenciones a Utilizar en el Servicio	43
III.4 El Modelo	46
CAPITULO IV	57
SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN : un modelo en BASIC	
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFIA	79
APÉNDICE 1	81
APÉNDICE 2	87
APÉNDICE 3	92
APÉNDICE 4	93
PROGRAMA PEPS-N-R	101
APÉNDICE 5	106

Introducción.

México es un país que durante mucho tiempo tuvo sus fronteras un tanto cerradas al intercambio comercial. México está entrando en un periodo de apertura comercial y si quiere ser tan competitivo como el resto de los países con los que tiene intercambio, es de vital importancia que las vías de acceso de las mercancías, tanto para el interior como para el exterior, sean lo más eficiente posible.

La navegación marítima ha sido la principal vía por la cual la mercancía de los diferentes países ha flúido hacia sus diferentes destinos.

Cuando la construcción de los barcos cuesta millones de Dls., y su costo operativo se mueve por encima de los diez mil Dls. diarios, es de esperarse que los beneficios de una programación adecuada de los recursos disponibles, serán muchos. Sin embargo, poca investigación se ha hecho, en materia de la administración de los puertos en México.

La poca investigación hecha sobre el

tema, se debe principalmente a que la transportación marítima cuenta con múltiples factores que atentan contra planeaciones bien estructuradas, por lo que éstas deben de ser muy dinámicas. De los principales factores que afectan a la administración de un puerto son, los climatológicos, y la poca holgura que existe para la programación de un puerto. Esta última debido a que la operación naviera es de 24 horas al día. Sin embargo se pueden adoptar políticas y lineamientos que, por lo menos experimentalmente, demuestren mejorar la eficiencia del sistema sin incurrir en grandes inversiones.

El sistema que engloba la administración de un puerto es extremadamente complejo. Entre algunos de los sub-sistemas con los que cuenta el sistema en general, se encuentran: 1) Las llegadas de embarcaciones, las colas que forman en el sistema, y el servicio que se les proporciona, 2) El almacenamiento de

mercancías, unas perecederas, otras no, 3) Las revisiones aduanales (cuando se trate de altura), a sí como de plagas (en el caso de mercancía agrícola y ganadera), las llegadas, sus colas y servicios, 4) El sistema de carreteras, ferrocarriles, y aeropuertos que existan cerca del puerto, 5) El lay-out o distribución interna de las diferentes embarcaciones, así como su tamaño, la mercancía que transportan, su puerto de procedencia y de destino, y 6) Los sindicatos de estibadores. Se podrían enumerar muchos más sub-sistemas, pero el punto principal, es que en un sistema muy complejo, como éste, es necesario descomponerlo en sus diferentes sub-sistemas para poder analizarlo.

En este trabajo sólo se analiza uno de los sub-sistemas, que comprende: los arribos de las embarcaciones, el tamaño de éstas, su mercancía (la que carga y descarga el puerto de Manzanillo), las instalaciones de servicio del puerto, los tiempos de servicio y las colas que se generan. Por supuesto, como no son tomados todos los factores que están involucrados en la administración de puertos, será necesario hacer algunos supuestos para efectuar el análisis del sub-sistema.

El puerto que se tomó como base para este trabajo es el puerto de Manzanillo. Puerto mexicano del Pacífico, ubicado en el estado de Colima, que cuenta con múltiples factores que lo hacen interesante para el desarrollo de este trabajo. Además de una larga historia como puerto, es hoy en día el principal puerto de altura del Pacífico en materia de importaciones. Cuenta con maquinaria para el servicio y almacenaje de contenedores, así como vías de ferrocarril (insuficientes), y red carretera a las principales ciudades del país, entre las más importantes la supercarretera Manzanillo-Guadalajara.

El principal objetivo de este trabajo es determinar una manera con la cual se pueda medir e incrementar la eficiencia del puerto de Manzanillo. Haciendo uso de las herramientas que ofrece la investigación de operaciones para evaluar el desempeño del servicio que proporciona el puerto. Los modelos de líneas de espera, ya sean resueltos matemáticamente o analizados por simulación, le dan al analista una herramienta poderosa para evaluar el desempeño y diseñar sistemas de líneas de espera.

El enfoque que se le pretende dar a este trabajo es principalmente práctico. Planteado el problema como se lo puede plantear el administrador de un puerto, y encontrando una solución viable con la información que se tenga a la mano. De ninguna manera se pretende englobar la totalidad del sistema portuario nacional, ni siquiera el sistema completo del puerto de Manzanillo.

No por ésto el análisis que se hace a lo largo de este trabajo pierde validez ni aplicabilidad, dado el hecho que el administrador de un puerto no tiene control sobre el resto de los sistemas que interactúan con el puerto como serían la ampliación y el mejoramiento de la eficiencia de vías ferreas, carreteras y aeropuertos.

CAPITULO I

MUESTRA DE DATOS DEL PUERTO DE MANZANILLO

I.1 LA INFORMACIÓN PARA EL ESTUDIO

Los principales elementos que se tienen que determinar en un trabajo de esta naturaleza son; el puerto sobre el cual se va hacer el estudio, la llegada de embarcaciones al puerto que se escogió en un periodo determinado, y el servicio que se les dio a dichas embarcaciones. También es importante tener como elemento de análisis el tipo de carga que manejaron las embarcaciones, así como el muelle en el que atracó la embarcación.

Es importante empezar este capítulo señalando la magnitud y la importancia de la información disponible para la elaboración de un trabajo de esta naturaleza. Aunque exista poca literatura sobre la Administración Portuaria,^o la información sobre la llegada de barcos a los puertos nacionales, el servicio que se les dio a dichos barcos, el tiempo que duran éstos en el puerto, el tipo de mercancía cargada

y descargada, el muelle en el que atracó la embarcación, y las características particulares de la embarcación (nombre, nacionalidad, procedencia, destino, eslora, etc.) es abundante.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes por medio de la Subsecretaría de Operación y Desarrollo Portuario tiene a dos entidades encargadas de recolectar la información concerniente a la operación de los puertos nacionales. La primera de ellas, Puertos Mexicanos, publica el documento Estadístico del Movimiento de Carga y Pasajeros en el Sistema Portuario Nacional y el Programa de Modernización de la Infraestructura Portuaria para un plan sexenal. La segunda, la Dirección General de Puertos y Marina Mercante, maneja las Formas D-B y D-B-1 que presentan la relación de llegadas y servicios de las embarcaciones, y publica un resumen y análisis

^o Todavía menos de la Administración Portuaria Mexicana, no por que ésta sea diferente a la Administración Portuaria del resto del mundo, sino que no se encuentra literatura que hable de cómo se lleva de manera óptima una Administración Portuaria en los diversos puertos nacionales.

de la información que contienen las Formas D-B y D-B-1.

Toda la información de este trabajo fue obtenida de estas dos dependencias gubernamentales. En el caso de algunos documentos la información viene para un periodo sexenal de 1989-1994 (el actual periodo), en otros es anual, para 1989, y para 1992 y en el caso de las formas D-B vienen para el primer trimestre de 1989 y para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 1992.

Una vez recolectada la información fue necesario discriminar aquella información que fuera útil para los objetivos fijados para este trabajo de aquella que no lo fuera. "Nuestro conocimiento, nuestras actitudes y nuestras acciones están basadas, en gran parte, en muestras. Esto es igualmente cierto en la vida cotidiana y en la investigación científica".¹

I.2 MANZANILLO Y SU IMPORTANCIA COMO PUERTO

El primer elemento a determinar es el puerto en particular sobre el cual se basa el trabajo. Para este propósito se buscó un puerto que manejara un índice alto de arribo de altura, "ya que de entre los diversos modos de transporte, el marítimo se distingue por ser el de mayor importancia para el comercio entre las naciones, como lo demuestra el hecho de que aproximadamente el 80% del intercambio internacional de bienes se efectúa por esta vía".*

La información sumariada de arribos de embarcaciones a puertos mexicanos se encuentra en la Estadística del Movimiento de Carga y Pasajeros en el Sistema Portuario Nacional. En el Comparativo de Buques Atendidos 1989, Manzanillo aparece como el puerto del Pacífico con mayor número de arribos de altura con 241 buques (En transportación marítima un puerto de altura es aquel que atiende embarcaciones de procedencia internacional, y los de Cabotaje son aquellos

¹ Cochran, William G. pág. 19

* Esta cifra fue dada por el C.P. Francisco López Barredo en un seminario presentado en el ITAM "El Comercio Exterior de México por Vía Marítima: Actualidades y Perspectivas", el 26 de septiembre de 1990.

que atienden embarcaciones de procedencia nacional). Esto representa el 29% del total de los buques de altura que arribaron a los puertos mexicanos del Pacífico en 1989. Aunque la afluencia de buques de altura a los puertos del Golfo y Caribe es casi 2.5 veces mayor a la del Pacífico, Manzanillo se encuentra en tercer lugar en cuanto a arribos de buques de altura a nivel nacional después de Tampico y Veracruz.

En el Comparativo de Buques Atendidos 1992, Manzanillo aparece entre los primeros puertos de altura a nivel nacional. Esto representa el 28% del total de los buques de altura que arribaron a los puertos mexicanos del Pacífico en 1992. La afluencia de buques de altura a los puertos del Golfo y Caribe es casi 1.7 veces mayor a la del Pacífico, Manzanillo se encuentra en tercer lugar en cuanto a arribos de buques de altura a nivel nacional después de Veracruz, Tampico y Lázaro Cárdenas.

Los puertos nacionales en 1989 operaron un total de 26,421,600 toneladas de carga; 20,013,500 toneladas fueron de altura, y el resto de cabotaje. En tonelaje operado (de carga de altura) Manzanillo ocupa el tercer

lugar en el Pacífico con 1,467,200 toneladas operadas, después de Lázaro Cárdenas y de Guaymas. Sin embargo, de estas 1,467,200 toneladas operadas, 729,500 toneladas fueron de exportación, poniendo a Manzanillo como el segundo exportador (en tonelaje) del Pacífico, después de Guaymas que operó 764,400 toneladas de exportación.

Los puertos nacionales en 1992 operaron un total de 29,799,200 toneladas de carga; 21,749,900 toneladas fueron de altura, y el resto de cabotaje, representando un incremento del 8.7% en el manejo de carga de altura y un incremento del 12.8% del total de carga manejada. El crecimiento observado tiene una fuerte correlación con el incremento que se ha podido observar en el P.I.B. durante el mismo periodo, (aproximadamente de un 9.24%) En tonelaje operado (de carga de altura) Manzanillo ocupa el segundo lugar en el Pacífico para este periodo, con 2,301,600 toneladas operadas, después de Lázaro Cárdenas. Esto representa un incremento en el manejo de carga de altura en el puerto de Manzanillo de un 57% para el periodo de 1989 - 1992. Sin embargo,

de estas 2,301,600 toneladas operadas, tan solo 468,300 toneladas fueron de exportación, marcando un fuerte decremento en la carga manejada hacia fuera del país.

Por otro lado, el puerto de Manzanillo maneja 1,833,300 toneladas de importación, poniendo a Manzanillo como el tercer exportador (en tonelaje) a nivel nacional, después de Veracruz que opero 4,265,100 toneladas y Lazaro Cardenas con 1,952,100 toneladas.

La carga que se maneja en los puertos nacionales, es extremadamente diversa. Para este trabajo fue necesario agrupar en tres la carga, según el tipo: 1) **GENERAL**, que agrupa General (cajas, embalajes, rollos, velices, bultos, atados, sacos, jaulas, unidades o diversos), Granel Agrícola, Granel Mineral y Flúidos. 2) **GENERAL Y CONTENEDORES** y por último 3) **CONTENEDORES**. En el rubro de contenedores, Manzanillo ocupa el primer lugar, en el Pacífico, con 452,600. Un cuarto rubro, que no es precisamente carga, debería de ser tomado en cuenta: el pasaje. A nivel nacional se atendieron en 1992 a 1,914,862 pasajeros que llegaron en 2,024 cruceros. Sin embargo

Manzanillo fue uno de los puertos nacionales (de los que atienden pasaje) que menor número de pasajeros atendió, con solo 461 pasajeros, y el número de cruceros atendidos fue de solo 2. Por lo que no es difícil inferir que Manzanillo es un puerto principalmente de carga y no turístico. Este comportamiento lo ha tenido durante los últimos años.

Una vez que ya se determinó el puerto de interés, se puede proseguir a seleccionar la información a ser usada para el estudio del puerto de Manzanillo. La información con la que se cuenta es muy extensa. "Si los datos se obtienen únicamente de una pequeña fracción del total, los gastos son menores que los que se realizarían si se lleva a cabo un censo completo. En poblaciones muy grandes se pueden obtener resultados lo suficientemente exactos cuando se analizan muestras que representan sólo una pequeña fracción de la población. Por la misma razón, los datos pueden ser recolectados y sumariados más rápidamente con una muestra que con una enumeración completa. ESTA ES UNA CONSIDERACION VITAL CUANDO SE NECESITA URGENTEMENTE LA INFORMACION".²

² Ibid. pág. 20

I.3 EN DONDE BUSCAR LOS DATOS

Para hacer un estudio de la administración de la operación del puerto de Manzanillo, se pueden usar dos documentos; el anuario de Indicadores de Rendimiento Portuario, que es un resumen y un análisis de los puertos nacionales, o las formas D-B o D-B-I que contienen la información que registró la capitania de puerto. Como lo que se quiere hacer es un análisis detallado de las llegadas de las embarcaciones y el servicio que se les da a éstas, se usaron las formas D-B para el puerto de Manzanillo, y al terminar el análisis de esta información se podrá comparar con el análisis hecho por la Dirección General de Puertos y Marina Mercante.

Sin embargo tenemos que determinar el tamaño de la muestra que se va a utilizar. "Existe, actualmente, una gran variación de planes para seleccionar una muestra. Por cada plan que es considerado, se pueden hacer, grosso modo, estimaciones del tamaño de la muestra, partiendo de un conocimiento del nivel de precisión deseado. Los costos relativos

y el tiempo involucrado para cada plan son también comparados antes de tomar una decisión. Los resultados de las investigaciones por muestreo siempre están sujetas a cierta incertidumbre debido a que solo una parte de la población ha sido investigada y debido a los errores de medición. Esta incertidumbre puede ser reducida, tomando muestras más grandes y usando métodos de medición adecuados. Desgraciadamente esto, por lo general, cuesta tiempo y dinero; en consecuencia es un paso importante la especificación del nivel de precisión deseado".³ En el caso de este trabajo el costo de recabar la información no es tan importante, sin embargo el tiempo juega un papel muy importante, no sólo por el hecho de que el trabajo tiene una fecha límite de entrega, sino que, a su vez, la información recabada puede llegar a ser obsoleta si no es lo más reciente posible.

"Es tarea fácil el tomar una muestra de 5,000 tarjetas cuidadosamente arregladas y numeradas en un archivo. Pero la situación es otra si se desea tomar una muestra de los residentes de una región en donde el transporte

³ Ibid. pág. 28

es por ríos a través de la selva, en donde no hay mapas, en donde se hablan 15 dialectos diferentes y en donde los habitantes son recelosos con un extranjero inquisitivo".⁴ El conseguir parte de la información que se obtuvo para este trabajo fue algo parecido a la cita anterior. En particular las formas D-B han tenido un problema de disponibilidad. En el planteamiento original sólo se podía disponer del primer trimestre de 1989, ésto es enero-marzo 1989. En el caso de 1992 no se pudo contar con la información de todo el año, ya que esta no se encontraba en Puertos Mexicanos en el momento de recolectar la información.

En cuanto al resto de la información, se obtuvo para un periodo enero-diciembre 1989 y enero diciembre de 1992, o en su defecto el plan sexenal que contuviera dicho años. "En ciertos tipos de poblaciones se cuenta con disponibilidad limitada, para obtener la información, un censo completo es impracticable: la elección cae entre la obtención de la información por muestreo y el no obtenerla".⁵ Se empezó el trabajo fijando el tamaño de la muestra en 59 arribos de embarcaciones para

1989 y el servicio que se les dio a cada una de ellas en el puerto de Manzanillo, para el primer trimestre de 1989. Después, para la siguiente etapa de este trabajo se logró obtener información sobre una muestra de 105 embarcaciones en 1992.

"La población que va a ser muestreada (la población *muestreada*) debe de coincidir con la población acerca de la cual se desea hacer inferencia (la población *objeto*). Algunas veces, por razones prácticas, o de conveniencia, la población muestreada es más restringida que la población objeto. Si es así, se debe recordar que las conclusiones sacadas de la muestra se aplican a la población muestreada. El juicio acerca de si el alcance de estas conclusiones se aplicará también a la población objeto debe de depender de otras fuentes de información. Puede ser de utilidad cualquier información suplementaria que se tenga acerca de la naturaleza de las diferencias entre la población muestreada y la población objeto."⁶

A grosso modo tendremos que ver si la información que se obtuvo de las formas D-B en el periodo enero - marzo 1989 es semejante

⁴ Ibid. pág. 25

⁵ En el momento de recopilar los datos, la Dirección General de Puertos y Marina Mercante se estaba cambiando de oficinas, por lo que tenía todos sus documentos en cajas. Desgraciadamente las formas D-B no se encontraban todas juntas, y sólo se pudieron localizar las formas del primer trimestre de 1989. El personal encargado de estos documentos no sabía bien para cuando se tendrían el resto de las formas D-B de 1989 para el puerto de Manzanillo. En el caso de la información recabada para 1992, la información no se encontraba ni actualizada, ni en las oficinas de la dependencia.

⁶ Ibid. pág. 21

⁷ Ibid. pág. 26

a la información que se podría presentar para todo el año de 1989. De igual manera se tendrá que ver si la información obtenida para el periodo de mayo - octubre de 1992 tiene una tendencia similar a la vista en el año de 1989 para poder hacer una inferencia de como hacer una administración portuaria eficiente en el puerto de Manzanillo. En el documento Estadístico del Movimiento de Carga y Pasajeros

(EMCP) tenemos dos datos que pueden ser de utilidad para ver que tan representativos son los datos del primer trimestre de 1989 en comparación con los

datos de todo este año. Como ya se había citado anteriormente, en 1989 el puerto de Manzanillo atendió un total de 241 embarcaciones, en el primer trimestre de 1989 el puerto de Manzanillo atendió un total de 59 embarcaciones. Esto representa el 23% de los barcos atendidos durante todo el año de 1989. El segundo dato que viene en el EMCP es una tabla comparativa global mensual, que se muestra en la figura 1.1,

en donde podemos ver la variación que existe en tonelaje manejado a nivel nacional. Aquí podemos ver a grandes rasgos como la variación máxima que existió entre el mes en que menos tonelaje se operó a nivel nacional (febrero), y el que más tonelaje operó (octubre) fue de 5,000,000 toneladas, lo que en realidad no nos dice mucho de como se comportó en el caso de Manzanillo.

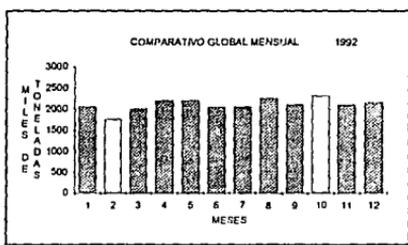


Fig 1.1

En 1992, el puerto de Manzanillo atendió un total de 314 embarcaciones. Entre los meses de julio y octubre fueron atendidas 105 embarcaciones, esto

representando el 23% de los barcos atendidos

En el anuario de Indicadores de Rendimiento Portuario se tiene un documento que puede ser de utilidad para determinar que tan similares son los datos que se obtuvieron de las formas D-B en comparación con la información del resto del año. El documento al que haremos referencia es el de Porcentaje de Ocupación de Areas de Atraque que viene

presentado en la figura 1.2. Estos datos tienen una media de 35.67% de ocupación de área de atraque, y una desviación estandar de .0937, pero como podemos ver estos datos sólo reflejan la varianza del porcentaje de ocupación de las áreas de atraque y no la razón de llegadas de los barcos. El tipo de administración de puerto que se está haciendo en Manzanillo puede afectar el porcentaje de ocupación de las áreas de atraque,

pero lo que se necesita encontrar es la varianza de las llegadas de los barcos al puerto para todo el año y esta información no está disponible. Sin embargo

el objetivo es ver la secuencia de los servicios desde el punto de vista de cómo se administra el puerto.

El arribo de embarcaciones a un puerto puede variar mucho durante todo el año debido a una multiplicidad de factores, entre ellos el más importante posiblemente sea el factor climatológico. Durante el periodo mayo - septiembre las costas del Pacífico Mexicano

sufren con cierta frecuencia temporales, lo que hace que las líneas navieras reduzcan la cantidad de barcos circulando en esta zona durante este periodo. Curiosamente el porcentaje de ocupación de áreas de atraque en el periodo mayo - septiembre muestra los porcentajes de ocupación más altos de todo el año, llevando a pensar que los barcos en esta temporada duran más tiempo en el puerto, buscando resguardo

de los temporales. Sin embargo los problemas con los que se pueda topa la administración del puerto de Manzanillo durante el periodo muestreado, serán

similares a los que sufra durante el resto del año.

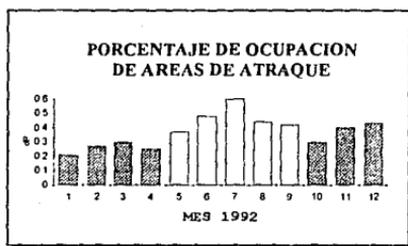


Fig 1.2

I.4 AGRUPACIÓN Y TENDENCIAS DE LOS DATOS

La información extraída de las formas D-B fue: 1) la fecha y hora de llegada de los barcos, 2) la fecha y hora de atraque, 3) la

fecha y hora (f,h) de inicio de operación 4) la f,h del termino de la operación , 5) la f,h de desatraque , 6) la f,h de salida de los barcos, 7) la eslora del barco (la longitud del barco), 8) el empaque o tipo de carga, y 9) el muelle en el que atracó el barco. (La información se registró en una hoja electrónica de calculo, y se muestra en el Apéndice I de este trabajo). La información se agrupó en el orden en el que fue proporcionada por la Dirección General de Puertos y Marina Mercante, ésto es, en el orden de salida de los barcos del puerto (posteriormente se ordenó por llegadas, como será explicado en el siguiente capítulo). El tipo de carga se clasificó para facilidad de manejo de la información como sigue: GENERAL = 1, GENERAL Y CONTENEDORES = 2, CONTENEDORES = 3.

El puerto de Manzanillo en 1992 cuenta con nueve muelles, 6 en el puerto interior de San Pedrito y 3 en el Muelle Municipal de Manzanillo, mismos que tenía en 1989. En la tabla 1.3 se muestran las características del muelle, el nombre, su longitud, así como la equivalencia que le fue dada para la captura en

la hoja de cálculo. Un par de las embarcaciones fue registrada doble, por el hecho de cambiar de muelle por motivos de descarga y carga de mercancías. Fuera de estos casos las embarcaciones llegan al puerto, atracan, cargan y descargan, desatracan y se van.

Es muy importante señalar que parte fundamental de este trabajo consiste en tener la información adecuada y en el tiempo requerido. Sin esta información nada de lo que se hará en los siguientes capítulos tendría mayor validez. En cuanto a qué tanto se puede inferir de la información de la muestra hacia la población objeto, no se tienen datos estadísticos con los cuales se puedan sustentar las inferencias hechas, dado que no se puede comprobar la homogeneidad de la información. Sin embargo, el análisis que se haga de esta información servirá para hacer recomendaciones de cómo poner en práctica medidas que mejoren la eficiencia del servicio que se le presta a una embarcación en puerto de Manzanillo.

INSTALACIONES PORTUARIAS ATRAQUE

Equivalencia en la Hoja de Cálculo	MUELLE	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD (m)	FINALIDAD
	Sn. Pedrito:			
1	Tramo 1-A	150	11	C. general
2	Tramo 2-A	150	11	C. general
3	Tramo 3-A	150	11	C. general
4	Tramo 4-B	200	11	C. general/ Contenedores
5	Tramo 5-B	170	11	Contenedores
6	Tramo 6-B	170	11	Contenedores
	Fiscal:			
7	Banda Este	236	11	C. general/ C. pesada
8	Banda Oeste	216	11	C. general
9	Cabecera	60	11	

Tabla 1.3

CAPITULO II

TEORIA DE COLAS

Evaluación de Llegadas y Servicio de las Embarcaciones

En este capítulo se tratará de evaluar la eficiencia del puerto de Manzanillo utilizando una de las herramientas de la administración de operaciones, la *Teoría de Colas*. Para poder determinar si es posible utilizar la Teoría de Colas es necesario ver a fondo cuales son sus condicionantes y sus limitaciones.

Alec M. Lee, que en los años 60's era Director de Investigación de Operaciones para Air Canada, comenta en el prefacio de su libro, *Applied Queueing Theory*, "Las revistas de investigación de operaciones del mundo se encuentran llenas de artículos de Teoría de Colas, y un lector casual puede con facilidad crearse la opinión de que las fronteras de este tema son ampliadas cada vez más. Este no es el caso. La mayoría de estos artículos se originan, o eso parece, en la zona crepuscular de la investigación académica. En estos artículos, los misterios más ocultos de los modelos más simples de la Teoría de Colas, son

valerosamente explorados por los investigadores. Mientras que el aparato matemático se vuelve cada vez más elaborado, sigue siendo difícil encontrar artículos en los cuales se aplique la teoría ya existente para resolver problemas de Teoría de Colas. Parece que existe mucho más de lo que pasa por investigación de lo que pueda pasar por aplicación".⁷ Este trabajo sólo se enfocará a la aplicación de la administración de operaciones para analizar un problema concreto, con Teoría de Colas. El énfasis a lo largo de este capítulo se pondrá en la estructura de dicha teoría, en vez de enfocarse al aspecto matemático del tema. Esto tiene dos motivos. El primero, la estructura matemática de la Teoría de Colas es, aun en los modelos más simples, bastante sofisticada, y no es el objetivo de este trabajo presentar sofisticados modelos matemáticos. El segundo y más importante, es el averiguar si una situación determinada puede ser sujeta, de

⁷ Lee, Alec M. pág. vii

hecho, a un análisis de Teoría de Colas.

La Teoría de Colas (a veces llamada Teoría de Líneas de Espera) fue originada a principios de los 1900 por un matemático danés, A. K. Erlang, quien lo empleó en el estudio de los problemas de tráfico telefónico. Desde este momento, y especialmente después de la segunda guerra mundial, la Teoría de Colas se ha usado en una diversidad de aplicaciones de tipo industrial, y se ha convertido en una de las herramientas comúnmente usadas en la administración de operaciones.

El problema de la formación de una cola surge cuando los diferentes arribos a una terminal de servicio (en este caso el puerto o el muelle) desean un servicio similar. Esto ocurre en casi cualquier sistema, y surge la problemática de comparar el costo extra de proveer más servicio, o uno más rápido (más área de atraque, maquinaria moderna que descargue más rápido la mercancía de la embarcación), contra el costo inherente de esperar (costo de tener un buque parado, pérdida de clientela). En algunos casos los costos de mantener una cola se pueden cuantificar, sin embargo existen otros en los

cuales el ponerle un costo a la espera es muy difícil de cuantificar. Veamos un ejemplo.

Un estudio hecho por Puertos Mexicanos indica que con una inversión de 5,633 millones de pesos para el año de 1989, en construcción, conservación de equipo e instalaciones, y a su vez compra de equipo, la eficiencia del servicio del puerto aumentará en un 10%. De no hacerse esta inversión para mejorar el actual servicio, uno de cada cien barcos que hagan una línea de espera se irá. Pero cómo se cuantifica el que un barco con mercancía médica no se detenga en el puerto, si contiene las vacunas contra la poliomiélitis para el año de 1989.

Actualmente podemos ver que todos los barcos son atendidos oportunamente.

El mero echo de tener una comparación de costos no garantiza que sean adecuadamente cuantificables ya que existen costos cualitativos, y éstos tienen que ser tomados en cuenta para poder hacer una decisión adecuada. Estas consideraciones van más allá de la Teoría de Colas.

II.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA LINEA DE ESPERA

En la figura 2.1 se muestra la estructura conceptual de una línea de espera formada en un puerto. En base a ésta veremos las características de una línea de espera, y determinaremos cuáles son las específicas del puerto de Manzanillo para Julio-Octubre de 1992.

Como se ve en la figura 2.1 el análisis de Teoría de Colas involucra seis etapas principales. Tres de éstas pertenecen al sistema de servicio; las

características físicas del puerto, la selección o política de servicio que se les va a dar a las embarcaciones, y las instalaciones de servicio del puerto. Con excepción de la política de servicio que se les da a los barcos, las reformas en el sistema de servicio implican una fuerte inversión.

El primer elemento de un sistema de

líneas de espera es la población que potencialmente puede requerir servicio. Esta población puede ser finita o infinita. Se considera una población finita aquella que en número, no represente una carga para ser servida que pueda ser definida, como sería el caso de maquinaria que necesita servicio en una fábrica. En contraste y en términos prácticos, una población infinita es aquella que es muy grande en comparación

al sistema de servicio. Por lo tanto la cantidad de embarcaciones que puedan requerir servicio en el puerto de Manzanillo, constituye un población infinita.

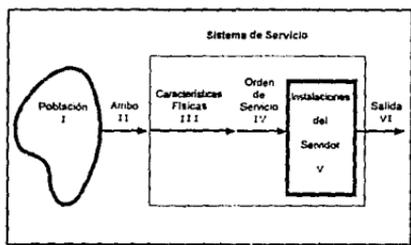


Fig 2.1

El segundo elemento de un sistema de líneas de espera lo constituyen las características de los arribos. Los arribos a su vez pueden ser divididos por *patrón*, *tamaño del arribo*, *distribución*, y *grado de paciencia*. "Aunque la idea general es de que los arribos a un sistema no son controlables, estos pueden ser manipulados para hacer más eficiente el servicio que presta el sistema, cambiando cuotas

en ciertas temporadas (como sería el caso de las líneas aéreas en temporadas bajas o los hoteles de igual manera), o delimitando horas de servicio. Sin embargo existen demandas de servicios que son claramente incontrolables, como sería el caso de la administración portuaria donde la red de distribución que involucra el transporte marítimo es muy compleja. Pero aún en estos casos se pueden manipular las llegadas al sistema de servicio, como sería el caso de reasignar una embarcación a otro puerto cercano, en caso de ser necesario".⁸ Con esto podemos marcar un patrón de llegada, controlable o incontrolable.

El tamaño del arribo tiene dos formas básicas en las cuales será dividido: *unitaria* y *por lote*. Entiéndase por unitaria, la unidad más pequeña a ser utilizada (que pueden ser docenas, o centenares). Por otro lado el lote es un múltiplo de la unidad. En el caso de la administración portuaria el tamaño del arribo es unitario en el caso de la embarcación, pero

en su mayoría, el tamaño del arribo de la carga, es por lote.

Uno de los elementos más importantes dentro del análisis de Teoría de Colas es la distribución de los arribos al sistema de servicio. Este elemento junto con la distribución de servicio es esencial para poder utilizar la Teoría de Colas, por lo que veremos a detalle las distribuciones más comunes dentro de dicha teoría.

Existen dos maneras de analizar los procesos de arribos a un sistema de servicio. Se puede ver el tiempo que existe entre los diferentes arribos con

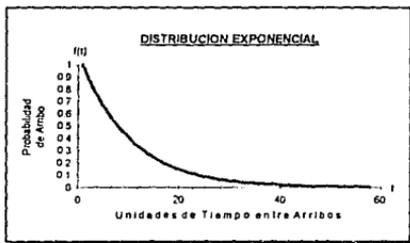


Fig 2.2

lo cual se puede tener una idea de cual es la probabilidad particular de los tiempos entre los arribos, o se puede determinar un tiempo y ver cuantos arribos pueden ocurrir dentro de este periodo.

La primera distribución es la de arribos constantes, que es periódica, con exactamente el mismo intervalo entre los arribos sucesivos, lo que se representa como una recta perpen-

⁸ Chase & Aquilano, pág. 337

dicular al eje Y, de un plano cartesiano. "En la producción posiblemente la única distribución de arribos que se comporte de esta manera sea la que está sujeta a control analógico-mecánico".⁹

Cuando los arribos a un sistema de servicio ocurren de manera completamente aleatoria, y analizamos el tiempo que existe entre los arribos, se obtiene una *distribución exponencial* como la mostrada en la figura 2.2. La fórmula para este tipo de distribución es la siguiente:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 10$$

La curva puede

ser usada de dos maneras; la primera, muestra directamente la probabilidad de que existan por lo menos t unidades de tiempo hasta que llegue el próximo arribo, y la segunda, la probabilidad de que el próximo arribo ocurra en un tiempo t o menor que t , que puede ser obtenido de restarle a 1 el valor de la curva. más adelante usaremos la gráfica de la función:

$$f(t) = 1 - \lambda e^{-\lambda t}$$

para compararla con la distribución de los datos de la muestra de las formas D-B.

Cuando estos mismos arribos se analizan viendo el número de arribos en un tiempo T , la distribución de los datos es como la que aparece en la figura 2.3, y se obtiene de encontrar la probabilidad de n arribos durante T . Si los arribos son aleatorios tienen una *distribución Poisson*, que corresponde a la siguiente

fórmula:

$$P_r(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad 11$$

Con la fórmula que arriba se presenta, se obtiene la probabilidad de que lleguen

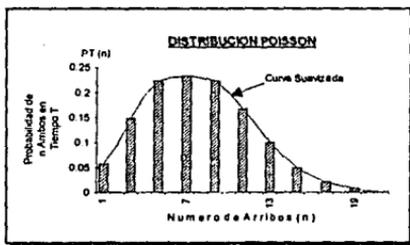


Fig 2.3

exactamente n arribos en un tiempo T . Es común encontrar la curva suavizada de la distribución Poisson, sin embargo la distribución es discreta (aun que mientras más grande sea n tenderá a suavizarse). Es discreta porque n se refiere, en este ejemplo, al número de arribos a un sistema, y este número debe ser entero.

El término *Erlang* se aplica a una clase de funciones de densidad que son útiles para

⁹ Ibid. pág. 339

¹⁰ Ibid. pág. 340

¹¹ Ibid. pág. 341

representar una variedad de distribuciones de intervalos de tiempo. La función genérica para una función Erlang es la siguiente:

$$f(t) = \frac{K\lambda (K\lambda t)^{K-1} e^{-K\lambda t}}{(K-1)!} \quad 12$$

“Todas las distribuciones de este tipo tienen una media de $1/\lambda$ y una varianza de $1/(K\lambda^2)$. En la fórmula presentada K es cualquier número entero-positivo y es usado

para distinguir una distribución Erlang de otra; esto es, si $K = 1$ nos estaríamos refiriendo a una distribución Erlang de primer-orden, si $K = 2$, sería

una distribución Erlang de segundo-orden, y así sucesivamente”.¹³ En la figura 2.4 se muestran las gráficas para diferentes valores de K de una distribución Erlang con $\lambda = 1$.

Existen infinidad de distribuciones en la vida real, y muchas de éstas difieren de las ecuaciones matemáticas anteriormente expuestas. El grado en que difieren las distribuciones reales de aquellas a las que deben

semejarse, se refleja directamente en la exactitud o precisión de los resultados que se obtienen al usar las distribuciones matemáticas planteadas en este capítulo. “Cuando esta diferencia es sustancial o cuando una mayor precisión es deseada, la técnica de simulación es la alternativa lógica”.¹⁴

Por último dentro de las características de los arribos se tiene el Grado de Paciencia.

Un *arribo paciente* es aquel que espera todo el tiempo que sea necesario hasta que la instalación de servicio esté lista para atenderlo.

Por otro lado existen dos tipos de arribos impacientes. Los primeros se caracterizan por llegar a la línea de espera, le examinan su largo y las instalaciones de servicio y luego se van. Los segundos se caracterizan por llegar a la línea de espera, examinan la situación, se incorporan a la línea de espera y después de un tiempo determinado se van. El comportamiento que siguen los del primer tipo se conoce como “*balking*” (obstaculizar,

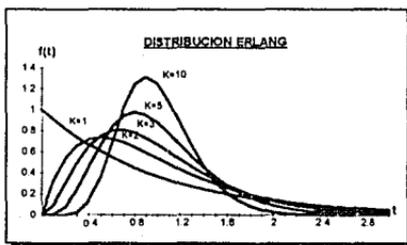


Fig 2.4

¹² Ibid. pág. 342

¹³ Ibid. pág. 342

¹⁴ Ibid. pág. 343

frustrar, evitar, negarse a)¹⁵, y el comportamiento que siguen los del segundo tipo se conoce como "renegeing" (renunciar, no cumplir, dar marcha atrás)¹⁶

El tercer elemento de un sistema de líneas de espera son las características físicas del sistema. Dentro de las características físicas de una línea se tienen dos principales; *el tamaño* y *el número de líneas*.

En términos prácticos una línea puede tener un *tamaño potencial infinito*, como sería el caso de una cola que da varias vueltas a la manzana para comprar boletos para una obra de teatro. "Sistemas como gasolineras, muelles, o estacionamientos tienen una *capacidad limitada* para la línea de espera, dada por reglamentación legal, o por espacio físico. Esto complica el problema de líneas de espera no sólo en términos de la utilización del sistema de servicio y en los cálculos de los tiempos de espera, sino también en términos de la forma de la distribución de los arribos. Al arribo que se le niega entrada a la cola por falta de espacio, puede reingresar a la población para luego tratar de entrar a la cola, o puede

buscar servicio en otro lugar".¹⁷

El número de líneas se clasificará en *sencillas* o en *múltiples*. Las líneas de espera sencillas son, por supuesto, una sola línea, con un solo servidor. Las líneas múltiples pueden ser aquellas que contengan a dos o más servidores y exista una sola línea de espera, o líneas independientes que convergen en algún punto central de redistribución.

El cuarto elemento de un sistema de líneas de espera es el orden de atención en que se proporciona el servicio. El orden de servicio son los reglamentos, prioridades o convenciones que se utilizan para determinar el orden en que se va a servir la cola. Las reglas que se escojan pueden tener un efecto dramático en el desempeño global del sistema. En el caso de líneas de espera, el número de clientes en la cola, el tiempo promedio en la cola, la varianza que existe en los tiempos en la cola, y LA EFICIENCIA DE LA INSTALACION DE SERVICIO (el puerto para este trabajo), son sólo algunos ejemplos de factores que se afectan por las reglas de prioridad que establece el servidor.

¹⁵ Larouese, pág. 24

¹⁶ *Ibid.*, pág. 341

¹⁷ Chase & Aquilano, pág. 343

“Si el objetivo principal del servidor es maximizar el número de trabajos procesados o servidos, puede probarse matemáticamente que la mejor regla de prioridades es la de usar la del tiempo más corto de proceso primero”.¹⁸ Sin embargo la regla de prioridades que probablemente es usada con más frecuencia, es la de primeras entradas, primeras salidas (PEPS). Esta regla estipula que los clientes serán servidos puramente en base a su arribo, sin tomar en cuenta ningún otro factor. En el caso de la administración portuaria nacional la regla de prioridad usada es la de PEPS. Pero las reglas de prioridad usadas en una cola pueden ser reservaciones primero, emergencias primero, cliente que aporta mayor utilidad primero, las órdenes mayores primero, el mejor cliente primero, el cliente que pasará mayor tiempo en la cola primero, o fecha de entrega más inmediata primero, por poner algunos ejemplos.

El quinto elemento de un sistema de líneas de espera son las instalaciones del servidor. Las características de las instalaciones de un servidor serán divididas en dos grandes rubros: *estructura y razón de servicio*. Cuando se

habla de la estructura de las instalaciones de servicio no nos referiremos a la estructura física que tiene una instalación, sino más bien al flujo que tenga el cliente a través de las instalaciones. El tipo más sencillo de estructura de líneas de espera es el de Canal Único, Fase Única. “Para este tipo de estructura existen fórmulas para resolver problemas de Teoría de Colas para patrones de distribución estandar * tanto de arribos como de servicio. Cuando las distribuciones no son estandar, el problema puede ser resuelto fácilmente, simulando con ayuda de una computadora”.¹⁹

Otro tipo de estructura de líneas de espera pueden ser Canal Unico, Multifase o Fase Tandem; Canal Múltiple, Fase Única; Canal Múltiple, Fase Múltiple y Mixtas. (Estas estructuras vienen ejemplificadas en la figura 2.5) Dentro de la denominación general de mixtas se pueden considerar dos subcategorías: (a) estructura *Múltiple-a-Unico-Canal* y (b) estructura *camino alterno*. Bajo (a) se pueden encontrar líneas que se unen en una para ser servidas por un servidor único. Bajo (b) aparecen dos tipos de estructura que difieren en

¹⁸ Chase & Aquilano, pág. 310

* Entiéndase por distribución estandar; distribución constante, distribución exponencial, distribución Poisson, o distribución Erlang.

¹⁹ Ibid. pág. 346

requerimientos de dirección de flujo. El primero es similar a la estructura de Canal Múltiple, Fase Múltiple, con la excepción de que puede haber cambios de un canal a otro después de haberse efectuado el primer servicio y el número de canales y fases puede cambiar después de haberse efectuado el primer servicio.

La segunda estructura no tiene ninguna restricción de flujo, donde el cliente que arriba puede recibir cualquier servicio que requiera y en el orden que sea. " Este tipo de estructura es conocida como formato "Job Shop", y con

éste, el problema de asignación se vuelve muy complejo. Hasta la fecha no existe ningún método para obtener una solución óptima para este tipo de problemas. La mayoría del avance que se ha hecho en este aspecto a sido a través de simulación con computadora, que usa una variedad de configuraciones y de reglas de prioridad, para encontrar una solución aceptable".²⁰

La razón de servicio utilizada con frecuencia es la distribución exponencial, pero es usada para aproximar la distinción actual de

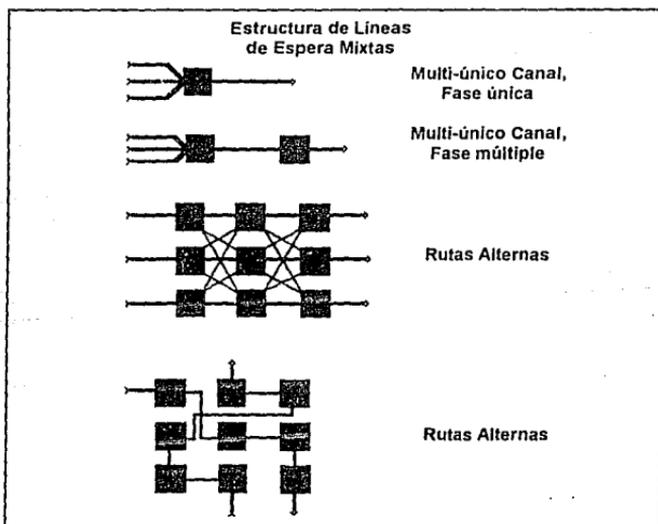


Fig 2.5

²⁰ Ibid. pág. 346

servicio. "Comúnmente esta práctica lleva a resultados incorrectos, dado que muy pocas distribuciones de servicios siguen una exponencial".²¹ El uso de teléfonos (el sujeto original con el que comenzó la Teoría de Colas) es uno de los pocos sistemas que contiene estas características. Esto se da por que el uso del teléfono puede variar desde unos pocos segundos hasta una conversación de varias horas. Sin embargo, aun la distribución de los servicios telefónicos tiene sus peculiaridades, como en el caso del intervalo de 20 a 30 segundos, donde la distribución de servicio no se comporta como una exponencial en lo absoluto.

"Servicios que tienen una dependencia fuerte del tiempo son pobremente caracterizados como una distribución exponencial. Desgraciadamente, los recolectores de datos para un problema determinado, frecuentemente agrupan sus datos en incrementos, de tal manera que cuando grafican sus datos en un histograma de frecuencias, la aproximación exponencial parece válida. Si se tomasen intervalos de tiempo menores, la inaplicabilidad de la

distribución exponencial sería obvia en los valores de menor tiempo".²²

El último elemento de un sistema de líneas de espera es la salida. Una vez que un cliente ha sido servido, dos tipos de salida se pueden dar. La primera es que el cliente regrese a la población e inmediatamente se convierta en un candidato a ser servido de nuevo. La segunda, el cliente puede entrar en una categoría de poca probabilidad de reentrada al sistema.

II.2 MANZANILLO, CARACTERÍSTICAS DE SU SISTEMA DE LÍNEA DE ESPERA

El primer elemento de un sistema de líneas de espera es la población que es factible de requerir servicio. La cantidad de embarcaciones que puedan requerir servicio en el puerto de Manzanillo, constituyen una población infinita. Para un análisis detallado, de Teoría de Colas, de cómo se comporta el puerto de Manzanillo, se podría pensar que es conveniente tener el dato de cuántas embarcaciones pueden requerir servicio en el puerto de Manzanillo en un periodo

²¹ Ibid. pág. 347

²² Ibid. pág. 347

determinado. El hecho de que la población sea infinita convierte el dato exacto en redundante, ya que la población que prácticamente no tiene límite, puede requerir servicio muy por encima de la capacidad del puerto.

El segundo elemento de un sistema de líneas de espera son las características de las llegadas. Las llegadas a su vez pueden ser divididos por *patrón, tamaño del arribo, distribución, y grado de paciencia*. El patrón de llegadas de embarcaciones al puerto de Manzanillo tiene un grado de controlabilidad, pero para fines prácticos, el patrón de llegadas es incontrolable.

Algunos autores dividen en tres tipos generales la operación de las embarcaciones: *lineal, tramp e industrial*. Una operación Lineal se asemeja a una línea de espera de un camión- publica tablas de tiempo y compete por carga. La operación tramp se asemeja a la de un taxi, las embarcaciones son enviadas donde existe carga para ser transportada y usualmente la carga ocupa la totalidad del espacio de carga de la embarcación, con un solo origen y uno o dos destinos. El objetivo de la línea naviera al

usar operación lineal o tramp es, usualmente, maximizar utilidades por unidad de tiempo.

La operación industrial es similar al flete que hace un camión particular, el dueño de la carga tiene su propia flota. "El objetivo primordial de una operación industrial usualmente es el asegurar servicio de transporte para la mercancía de la empresa y el reducir costos".²³

"En la operación de embarcaciones existe un grado muy elevado de incertidumbre en cuanto a su itinerario. Las embarcaciones se pueden demorar por condiciones climatológicas, problemas mecánicos, o huelgas (tanto a bordo como en alguno de los puertos en los que tiene que atracar) y usualmente existe muy poca holgura (si es que existe alguna) dentro de su itinerario, dado que trabajan las 24 horas. Levy, Lvov y Lovetsky ²⁴ estudiaron el desempeño de embarcaciones mercantes y su itinerarios, y encontraron una probabilidad de .3 de que las embarcaciones se apegaran a su itinerario (que constaba de tres viajes). Por lo tanto los itinerarios a mediano plazo sólo son utilizados como guías, y son sometidos a

²³Ronen, David. Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems. pág. 120

²⁴Levy, Lvov and Lovetsky. pg. 823-836

cambios constantes".²⁵ Por la complejidad en la que incurre la administración portuaria, no es de asombro que el patrón de llegadas no pueda ser controlado más que en muy contadas excepciones.

El tamaño del arribo tiene dos formas básicas en las cuales puede ser dividido: unitaria y por lote. En el caso de la administración portuaria el tamaño de el arribo es unitario en el caso de la embarcación, pero en su mayoría, el tamaño del arribo de la carga es por lote. Para este trabajo la carga se ha dividido en tres rubros: general, general y contenedores, y contenedores. En los tres tipos de carga el tamaño del arribo se manejará como lote, aun cuando existen autores que ven un cargamento de granel (que es uno de los tipos de carga contenidos dentro de general) tanto agrícola como mineral, así como flúidos, como un tamaño de arribo unitario.

Un elemento muy importante dentro del análisis de Teoría de Colas en este trabajo, que es la distribución de llegadas al sistema de servicio, nos determina si es posible utilizar la Teoría de Colas en este estudio. Como existen

dos maneras de analizar los procesos de arribos a un sistema de servicio, el determinar un tiempo y ver cuántos arribos pueden ocurrir dentro de este periodo, y el tiempo que existe entre los diferentes arribos, se analizarán los datos que se capturaron en la hoja de cálculo. Se tendrán que agrupar los datos de la muestra con el fin de poder comparar la distribución de estos, con aquellas distribuciones para las cuales existen modelos analíticos de Teoría de Colas.

Primero se ordenaron en forma decreciente los arribos al puerto de Manzanillo. Una vez hecho esto se calculó el tiempo que existía entre un arribo y el otro (esta información aparece en el Apéndice 2). Inmediatamente después se calcularon cuántos arribos ocurrieron en el intervalo 0-10 hr., 10-20 hr.,.....190-200 hr.; se obtuvieron las probabilidades de que ocurriera un arribo en un tiempo t ($t = 10, 20, \dots, 200$ hr.)* y los datos se graficaron contra los de una distribución Poisson cuyos resultados se muestran en la figura 2.6. Como se puede apreciar la distribución que tienen estos datos es una distribución bi-modal, para la cual no existe ningún modelo de Teoría de Colas.

²⁵ Ronen, pág. 119

* Esta información esta detallada en el apéndice 2 al final del trabajo.

Para buscar otra distribución, se agruparon los datos de los arribos de otra manera. Ahora se obtuvieron las probabilidades

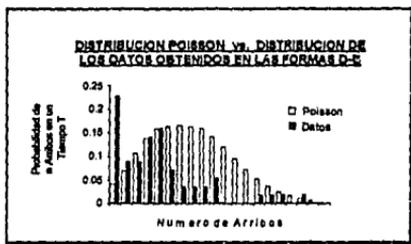


Fig. 2.6

de que un arribo ocurriera antes de t ($t < 10, 20, \dots, 200$ hr.) y se graficaron contra una distribución exponencial (con la función $f(t) = 1 - \lambda e^{-\lambda t}$), la cual aparece en la figura 2.7, obteniendo una distribución logarítmica, para la cual tampoco existe modelo de Teoría de Colas con el cual resolver este problema.

Modelos realistas y complejos que contienen características como distribuciones de servicios no-exponenciales y arribos no-Poisson, programación de servicios en base a prioridades y restricciones de capacidad del servidor, continúan desafiando al análisis matemático, y por lo tanto la simulación es una herramienta atractiva para analizar dicho

sistema²⁶.

Lee, en su libro de "Applied Queing Theory", encuentra una distribución similar a la que presentan los datos de los arribos de las embarcaciones en la figura 2.7; esto es, se distribuyen de forma logarítmica. Lee y un grupo de investigadores analizaron un problema de cómo manejar los autobuses que sirven a los pasajeros en un aeropuerto.

Miembros del grupo de trabajo registraron el tiempo que tomaban los pasajeros en abordar los camiones, una vez que éste se encontraba listo para servir al público. Los resultados de la recopilación de los datos se presenta en la figura 2.8, la cual sigue una

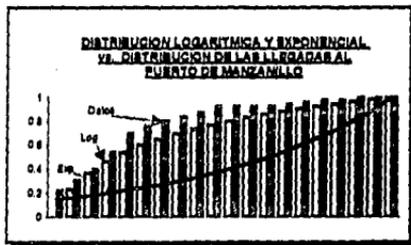


Fig. 2.7

distribución similar a la que presentaron los arribos de las embarcaciones al puerto de

²⁶ Esta información está detallada en el apéndice 2 al final del trabajo.

²⁶ Bank & Carson, pág. 165

Manzanillo en el periodo julio octubre de 1992.

Con la información que tenía a la mano el grupo de trabajo llegó a la conclusión de que el modelo razonable, de Teoría de Colas, a usar

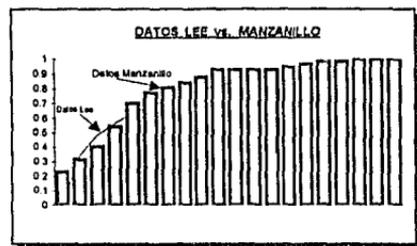


Fig. 2.8

en este caso sería un $D/Ek/c; (\infty/FIFO$ o $PEPS)$.²⁶

“Sin embargo el grupo de trabajo decidió no pensar en estos términos, ya que nadie ha podido encontrar los modelos matemáticos para la distribución del tiempo de espera, ni la distribución del tamaño de la cola para un modelo de esta naturaleza”.²⁷

Hubiera sido posible que el grupo de trabajo hiciera algún avance con el modelo matemático de $D/Ek/c$, si no existiera cierto grado de urgencia con los resultados del estudio. De no tenerse alguna idea de cuántos camiones y terminales se necesitarían, el grupo de trabajo tendría que adivinar, ya que la decisión debía

tomarse ya. “Por tal motivo, el proceso de Teoría de Colas se hizo a un lado, y un modelo de simulación, utilizando técnicas de números aleatorios se usó en su lugar”.²⁸

Por último, dentro de las características de los arribos se tiene el grado de paciencia. Un buque que llega a ser servido en un puerto, es paciente, espera a ser servido, con la excepción de cuando la capitania de puerto reasigna la embarcación a un nuevo puerto, pero para fines prácticos es paciente.

El tercer elemento de un sistema de líneas de espera son las características físicas del sistema. Los puertos tienen una capacidad limitada de tamaño de cola, más que nada por el costo de tener una embarcación detenida. Además dentro del puerto sólo pueden estar cierto número de embarcaciones, dadas las características específicas de cada puerto. Es cierto que las embarcaciones pueden esperar en cola fuera del puerto, dentro de una bahía, pero como se mencionó anteriormente, esto no sucede por motivos de costo. Las líneas de espera en los puertos son múltiples, con varias colas y con varios servidores; en este caso, los

²⁶ Encontrando la gran variedad de sistemas de líneas de espera, Kendall (1953), propuso la siguiente notación: $A/B/c/N/K(e)$, donde A representa la distribución del tiempo entre arribos, B la distribución del tiempo de servicio, número de servidores paralelos, N representa la capacidad del sistema, K representa el tamaño de la población, (e) disciplina o prioridad de servicio. En el apéndice 3 aparece una tabla con letras claves para denotar el tipo de distribución.

²⁷ Lee, Alec M. pág. 169

²⁸ Ibid. pág. 170

muelles en los que pueden atracar. Las embarcaciones no pueden llegar a cualquier muelle que esté desocupado, tienen que atracar en un muelle con las dimensiones y el equipo para servir adecuadamente a la embarcación.

El cuarto elemento de un sistema de líneas de espera es el orden de servicio que se va a proporcionar. En los puertos nacionales el orden de servicio está dado por PEPS, no siendo necesariamente este el orden más eficiente en el que se va a proporcionar el servicio. Si el objetivo principal del servidor es maximizar el número de trabajos procesados o servidos, puede ser probado matemáticamente que la mejor regla de prioridades es la de usar la de tiempo de proceso más corto. Sin duda utilizar esta regla tiene sus defectos, como dejar esperando mucho tiempo a las embarcaciones con tiempos de proceso largo, pero esto se discutirá en el siguiente capítulo, así como otras opciones que se tienen para implementar órdenes de servicio más o menos eficientes para la administración portuaria.

El quinto elemento de un sistema de líneas de espera son las instalaciones del servidor.

La forma en la que están estructuradas las instalaciones de un puerto son mixtas, de caminos alternativos. Se forma una cola independiente para cada tamaño e instalaciones de descarga del muelle. Una vez descargada la mercancía se almacena en patios (como los contenedores), en bodegas (como los granos), o se sube a trailers, o a un tren; otro tipo de mercancía necesita que las instalaciones de almacenaje contengan sistemas de refrigeración, y así sucesivamente.

En este trabajo, sólo se considera la llegada de la embarcación y el servicio de descarga que se le proporciona. Esto hace que la estructura de las instalaciones de servicio sean de canal múltiple, fase única.

La razón de servicio que muestran los datos obtenidos en las formas D-B aparecen en la figura 2.9. Como se puede observar en esta figura el comportamiento de la información se asemeja mucho a una curva exponencial. Para este tipo de distribución de servicio existen varios modelos de Teoría de Colas que pueden ser aplicados para determinar la manera en la

que se comporta la cola de las embarcaciones en el puerto de Manzanillo.



Fig 2.9

El último elemento de un sistema de líneas de espera es la salida. Una vez que una embarcación ha sido servida, regresa a la población e inmediatamente se convierte en un candidato a ser servido de nuevo.

A lo largo de todo este capítulo se han estudiado las diferentes características de una línea de espera. La herramienta de la Teoría de Colas, aunque muy eficiente para determinar la forma en que se debe de estructurar una administración de puertos y la estructura de las colas que se generan en el puerto, no puede ser implementada dada la distribución de los datos que se recopilaron del periodo jul-oct de 1992 en el puerto de Manzanillo. Como a lo largo de

este trabajo se ha venido sugiriendo, cuando la Teoría de Colas no puede ser aplicada a un problema particular, la herramienta de administración de operaciones a usar es la simulación Monte Carlo. Por tal motivo en el siguiente capítulo se atacará el problema de cómo administrar más eficientemente un puerto, simulando con diferentes órdenes de servicio.

CAPITULO III

Simulación de Sistemas Discretos

A lo largo de este trabajo, se ha tratado de encontrar una herramienta de la administración de operaciones que sea útil para determinar la eficiencia del servicio que se presta en el puerto de Manzanillo. Durante el análisis que se hizo para determinar si con las herramientas matemáticas que ofrece la teoría de colas era posible analizar este problema en concreto, varios autores sugieren a la simulación como alternativa a utilizar.

El método que se utilice, deberá tener la capacidad de ofrecer información concreta acerca de:

- 1) Tiempo promedio de una embarcación en la cola,
- 2) Tiempo promedio de servicio (separado por tipo de carga),
- 3) Tiempo promedio entre arribos,
- 4) Tiempo promedio que pasa una embarcación en el sistema,
- 5) Número de embarcaciones servidas en un tiempo t ,
- 6) Probabilidad de que una embarcación tenga que esperar, y
- 7) Probabilidad de que un muelle esté vacío.

Todo esto con el fin de determinar aquel método que ofrezca una mayor eficiencia al puerto. Por sus características, la simulación puede ser la herramienta que mejores resultados ofrezca para hacer un análisis del puerto. A lo largo de este capítulo se explicarán las ventajas y desventajas del uso de la simulación para resolver este problema en concreto, se explicarán los pasos a seguir en el planteamiento de el modelo a ser simulado, se correrá una simulación y se determinará la validez de los resultados obtenidos con dicha simulación, a fin de determinar la eficiencia del puerto de Manzanillo, y ofrecer alternativas al diseño de reglamentos, prioridades, o convenciones a utilizar en el servicio de embarcaciones.

Aunque la construcción de modelos arranca desde el Renacimiento, el uso moderno de la palabra simulación data de 1940, cuando los científicos Von Neuman y Ulam que

trabajaban en el proyecto Monte Carlo, durante la segunda Guerra Mundial, resolvieron problemas de reacciones nucleares cuya solución experimental sería muy cara y el análisis matemático demasiado complicado.

La manera en la que se encuentra definida la "simulación", varía de autor a autor. Por citar algunos, Thomas H. Naylor la define así: "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo".²⁹ En sentido más estricto, H. Maisel y G. Gnugnoli, definen simulación como: "Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo".³⁰ Aun otros estudiosos

del tema como Robert E. Shannon, definen simulación como: "Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema".³¹

Para fines de este trabajo, una simulación es la imitación de la operación de un proceso de la vida real o aquella que tenga un sistema determinado, en concreto la de un puerto. Ya sea hecho a mano o con el apoyo de una computadora, la simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema analizado, y en base a las observaciones hechas sobre dicha historia artificial, se harán inferencias concernientes a la operación del sistema real.

El comportamiento de un sistema, mientras evoluciona en el tiempo, se puede estudiar formulando un modelo que intenta simular al sistema real. Por lo general el modelo desarrollado, está sustentado en suposiciones de la operación del sistema real, suposiciones que se expresan en relaciones matemáticas,

²⁹ Coss, pág. 12

³⁰ Ibid, pág. 12

³¹ Ibid, pág. 12

lógicas y simbólicas entre los objetos de interés del sistema. Una vez que el modelo se ha desarrollado y validado, puede ser usado para investigar una amplia variedad de alternativas acerca del sistema de la vida real.

“Muchos de los sistemas de la vida real son tan complejos que los modelos de estos sistemas son virtualmente imposibles de resolver matemáticamente. En estos casos, simulaciones con computadora pueden ser usadas para imitar el comportamiento de un sistema a lo largo de un periodo de tiempo”³²

Los datos generados por la simulación son usados para estimar las medidas de desempeño del sistema, siendo este un grupo de objetos que se juntan en una interacción regular o interdependencia, hacia el cumplimiento de algún propósito.

“Los sistemas pueden ser categorizados como discretos o continuos. “Son pocos los sistemas que en la practica sean puramente continuos o discretos, pero siendo que uno de los dos predomina para la mayoría de los sistemas, por lo general será posible clasificar un sistema como discreto o continuo” [Law

and Kelton, 1982]. Un sistema discreto es aquel en el que las variables de estado sólo cambian en un grupo discreto de puntos en el tiempo. Un sistema continuo es aquel en el que las variables de estado cambian continuamente a través del tiempo”³³

Un modelo puede ser definido como una representación de un sistema con el fin de poder hacer estudios acerca del sistema.³⁴ Para la mayoría de los estudios, no es necesario considerar todos los detalles de un sistema; “de tal modo, un modelo no sólo es un sustituto del sistema, sino que también es una simplificación de éste [Mihram and Mihram]”³⁴ Por otra parte, el modelo debe ser lo suficientemente detallado como para permitir conclusiones validas acerca del sistema real. Diferentes modelos del mismo sistema podrán ser requeridos al irse desarrollando la investigación.

Los modelos pueden ser matemáticos, ó físicos (el caso de una maqueta). El modelo matemático usa notación simbólica y ecuaciones matemáticas para representar al sistema. Un modelo de simulación es un caso particular del modelo matemático de un sistema.

³² Banks & Carson, pág. 3

³³ Definido de otra manera, y citando el Diccionario Enciclopédico UTEHA, un sistema es un conjunto de reglas o principios sobre una materia enlazados entre sí. “Conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto. Tomo IX, pág. 794.

³⁴ Ibid. pág. 7

● Modelo: Representación en pequeño de alguna cosa. UTEHA, Tomo VII, Pág. 645

³⁴ Ibid. pág. 9

Los modelos de simulación adicionalmente pueden ser clasificados en estáticos o dinámicos, determinísticos o estocásticos, y discretos o continuos. Un modelo estático de simulación, comúnmente llamado simulación Monte Carlo, representa a un sistema en un punto particular en el tiempo. Los modelos dinámicos de simulación representan sistemas mientras cambian en el tiempo.

Los modelos de simulación que no contienen variables aleatorias se clasifican como determinísticos. Por otro lado, un modelo estocástico de simulación tiene una o más variables aleatorias como entradas. El hecho de tener entradas aleatorias, lleva a tener salidas de datos aleatorias. Como las salidas o resultados de una simulación de un modelo estocástico son aleatorias, sólo podrán ser tomados en cuenta como estimadores de las características reales del sistema.

Una vez que se tiene una idea más o menos general de lo que es una simulación, se deben de establecer los pasos a seguir para llevar a cabo una simulación. Aunque existan

algunas discrepancias entre los múltiples autores que tocan el tema, en general se tiene un consenso sobre los pasos que se deben tomar para la elaboración de una simulación. Sin embargo, el orden en el cual se deben de ejecutar y la cantidad de pasos varía un poco.

Por poner un ejemplo, Jon M. Smith dice que "el primer paso en una simulación es la determinación de las características tanto del dominio de la frecuencia como aquel del tiempo del sistema a ser simulado".³⁵ A continuación se presentarán algunos puntos de vista muy similares, para dar una idea general de cuales serán los pasos que se seguirán para realizar el estudio de simulación de la operación del puerto de Manzanillo. Los pasos a seguir para llevar a cabo una simulación según Coss son:

* Definición del Sistema: En este paso se hace un análisis preliminar del sistema que se desea simular, con el objetivo de determinar restricciones, interrelaciones, y medidas de efectividad del sistema. Banks y Carson ponen esto también como el primer paso a seguir, sin embargo lo dividen en dos actividades, 1) Formulación del Problema, y 2) Fijar Objetivos

³⁵ Smith, pág. 48

y Plan General del Proyecto.

* Formulación del Modelo: En este paso se define y construye el modelo con el cual se espera obtener los resultados deseados, mediante una buena definición de todas sus variables y las relaciones lógicas que existen entre ellas. Banks y Carson agregan en este paso, que la formulación del modelo debe de comenzar simple e ir aumentando en grado de complejidad hasta alcanzar una aproximación lo suficientemente buena al sistema como para poder hacer inferencias acerca de este. Elaborar un modelo demasiado complejo, o uno más complejo de lo necesario requerido para la resolución del problema solo aumentará el costo de elaboración del modelo y su simulación.

* Colección de Datos: La facilidad o dificultad de conseguir datos, puede influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Banks y Carson siguen al pie de la letra este paso.

* Implementación del modelo en la

computadora: En este paso se tiene que decidir en qué tipo de "lenguaje" (Fortran, Pascal, Basic, C), o "paquete", (GPSS, Simula, Simscript, SLAM, Lotus, Excel) se va a correr la simulación. Luego de decidir qué lenguaje o paquete se va a usar, se debe programar en una computadora el modelo a simular. Banks y Carson sugieren, subsecuente al paso de implementación, un paso de Verificación en el cual se determina si el programa que se hizo para la simulación está funcionando como se había previsto.

* Validación: Este paso posiblemente sea una de las principales etapas de un estudio de simulación. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados a este. Las formas más comunes de validar un modelo son:

1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación,
2. La exactitud con la que se predicen los datos históricos,
3. La exactitud en la predicción del futuro,
4. La comprobación de la falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real; y
5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

Banks y Carson afirman que “el paso crucial dentro de todo el proceso de simulación es el de validación, ya que de tener un modelo inválido, los resultados obtenidos por la simulación serán inválidos y, si llegan a implementarse, podrían traer consecuencias tanto peligrosas como costosas”³⁶.

* **Experimentación:** Este paso consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

* **Interpretación:** En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión. Banks y Carson dividen este paso en dos; 1) Producción de Corridos y Análisis y en 2) ¿Más Corridos?, donde adicionalmente al paso que sugiere Coss, y basado en el análisis que se hizo de la simulación, se determina si es necesario hacer más corridas para poder hacer una decisión acertada.

* **Documentación:** Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, la segunda se refiere al manual para el usuario del modelo.

Banks y Carson agregan que la documentación debe ser clara y concisa, y si se va a usar por gente con jerarquía superior a las que desarrollaron el modelo, la documentación final o reporte debe de contener algún tipo de certificación de uso y validación del modelo.

Por último Banks y Carson tocan el paso de **Implementación**, paso que será llevado a cabo exitosamente si todos los pasos anteriores se desarrollaron adecuadamente.

En el desarrollo del modelo de simulación que se pretende efectuar para la resolución de esta investigación, se usarán en mayor o menor grado los pasos enunciados anteriormente. Sin embargo, el primer paso que se tomará en cuenta para el uso de la simulación como herramienta de análisis en la administración portuaria del puerto de Manzanillo, será el determinar si la simulación es o no una herramienta adecuada. A su vez se determinarán las ventajas y desventajas que ofrece la simulación.

³⁶ Banks & Carson, pág. 18

III.1 SIMULACIÓN, ¿LA HERRAMIENTA ADECUADA?

“Dada la gran incertidumbre que existe en la operación de cargueros, y la gran cantidad de puertos en los que atracan, los principales métodos de modelado de arribos y servicio de embarcaciones han sido la simulación y reglas de decisión heurísticas”³⁷

Mucho se ha escrito sobre el tema de simulación y las aplicaciones que puede tener en la resolución de modelos demasiado complicados para tener un resultado aceptable con un modelo matemático.

“La simulación es una herramienta muy poderosa, que puede ser usada para analizar muchos sistemas complejos. Sin embargo, antes de usar técnicas de simulación como el método para solucionar el problema, se debe de hacer un esfuerzo por resolver el problema matemáticamente, posiblemente con modelos desarrollados para resolver problemas de líneas de espera”³⁸ Por otro lado otros autores opinan que “aunque la técnica de simulación generalmente se ve como último recurso,

recientes avances en las metodologías de la simulación y la gran disponibilidad del software que actualmente existe en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas”³⁹ Lo cierto es que la simulación ha sido una herramienta muy útil en la solución de problemas de la vida real en el área de líneas de espera.

Las circunstancias en las cuales la simulación es la herramienta apropiada es discutida en cierto grado por Naylor et al. Cita los siguientes casos en los cuales puede ser la herramienta adecuada para el análisis de un sistema:

1. En el estudio y experimentación de las interacciones de un sistema complejo, o en un subsistema de un sistema complejo,
2. Cuando se trata de sugerir mejoramientos a un sistema determinado bajo investigación,
3. Se utiliza para determinar qué variables son las que más afectan al sistema, así como la forma en la que interactúan entre ellas,
4. Puede ser usado para experimentar con nuevos diseños o políticas antes de ser implementadas, de tal manera de poder prever los acontecimientos y prepararse para estos, y
5. Se usa para verificar soluciones analíticas de un sistema. *

³⁷ Ronen, pág. 122

³⁸ Banks & Carson, pág. 19

³⁹ Coss, pág. 17

* Las circunstancias que arriba aparecen resaltadas son aquellas que justifican el uso de la simulación como herramienta de análisis en este trabajo. La circunstancia #5, que en un principio se pensó que sería la que justificaría mayormente el uso de la simulación, al tener como base de la investigación la Teoría de Colas, no es válida ya que por las distribuciones que se obtuvieron, en la muestra, de los arribos, no es posible usar dicha teoría. De tal manera que no es posible hacer una verificación de una solución analítica.

Por diversos factores, principalmente porque no existe un modelo analítico que pueda solucionar el problema, por medio de la Teoría de Colas, la simulación puede ser muy útil para analizar la administración portuaria del puerto de Manzanillo. El sistema completo de un puerto es muy complejo, involucrando sistemas de carreteras, sistemas ferroviarios, almacenes y bodegas, aduanas, cabotaje, y sindicatos de estibadores, por mencionar algunos. Crear un subsistema del sistema original es imperativo, y en base a éste se puede ir desarrollando el resto del sistema en un modelo más complejo. En la investigación que elaboramos en este capítulo, sólo se tomará un subsistema, constituido por los arribos de altura y el servicio de las embarcaciones en el puerto de Manzanillo.

Se experimentará con nuevas políticas, prioridades de descarga, reglamentos, o convenciones, a fin de sugerir políticas que hagan más eficiente el servicio del puerto a las embarcaciones. De no encontrar en la investigación políticas que mejoren el actual servicio, se podrá por lo menos determinar qué variables son aquellas que más afectan al modelo,

a fin de ver de que manera se pueden alterar para hacer más eficiente al puerto.

Para estos objetivos, la simulación ofrece una serie de ventajas y desventajas. Las principales ventajas de una simulación según lo discuten Schmidt y Taylor [1970] son:

1. Una vez que ha sido creado un modelo, éste puede ser usado repetidamente para estudiar las diferentes políticas o diseños sugeridos,
2. Por lo general, es mucho menos costosa la información obtenida de una simulación que información similar que se obtiene del sistema real,
3. Los métodos de simulación son generalmente más fáciles de aplicar que los métodos analíticos, lo que hace que existan mucho más usuarios potenciales del modelo,
4. En algunas instancias, la simulación es el único medio por el cual se le puede encontrar una solución al problema planteado.

De igual manera Thomas H. Naylor ha sugerido que un estudio de simulación es muy recomendable porque presenta las siguientes ventajas:

1. A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del mismo,
2. Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a su mejor entendimiento y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren su operación y eficiencia,

3. La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el mismo y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables, y
4. Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en su comportamiento.

“A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta el problema de requerir equipo computacional y recursos humanos costosos. Además, generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado. Finalmente, es posible que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y ello crea dificultad en vender la idea”.⁴⁰

Las simulaciones nos dan valores estimados del comportamiento del sistema y sobre esta estimación tenemos que tomar una decisión, que puede ser acertada para el modelo, más no para el sistema real. Existen condiciones iniciales que distorsionan los resultados de un sistema en estado estable. Aunado a esto, Schmit y Taylor agregan que “la simulación es a veces usada cuando una técnica analítica es

suficiente para resolver el problema. Esto ocurre cuando el investigador se familiariza con la técnica de simulación y se olvida de su formación matemática”.⁴¹

La mayoría de los modelos de simulación estocásticos se corren con la idea de estudiar al sistema en una situación de estado estable. Sin embargo, la mayoría de estos modelos presentan en su etapa inicial estados transitorios, los cuales no son típicos del estado estable. Para atacar este problema se plantean tres alternativas con las cuales se puede resolver el problema:

1. Usar un tiempo de corrida lo suficientemente grande de modo que los períodos transientes sean relativamente insignificantes con respecto a la condición de estado estable,
2. Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida, y
3. Utilización de simulación regenerativa. *

“De las tres alternativas, la que presenta menos desventajas es el uso de simulación regenerativa. Las otras alternativas presentan la desventaja de ser excesivas en costo cuando se utiliza un modelo muy complejo”.⁴² Aunque de no influir en el costo de la simulación en gran medida son acciones perfectamente válidas para la solución del problema de condiciones

⁴⁰ Ibid. pág. 18

⁴¹ Banks & Carson. pág. 5

* El enfoque se basa en el hecho de que muchos sistemas estocásticos se regeneran (empiezan en el mismo punto de partida) a intervalos regulares de tiempo. Esta particularidad permite al analista observar y estudiar durante el curso de la simulación, bloques de datos independientes e idénticamente distribuidos. Más generalmente, la simulación regenerativa resuelve los problemas de: 1) ¿Cómo empezar la simulación?, 2) ¿Cuándo empezar a coleccionar datos?, 3) Tamaño de corrida y número de corridas y 4) ¿Cómo manejar los resultados cuando estos están correlacionados?...Coss. pág. 110

⁴² Ibid. pág. 15

iniciales.

Uno de los factores principales a considerar en un estudio de simulación es el tamaño de la muestra (número de corridas en la computadora). La selección de un tamaño de muestra apropiado que asegure un nivel deseado de precisión y a la vez minimice el costo de operación del modelo, es un problema algo difícil pero muy importante. El tamaño de muestra puede ser obtenido de dos maneras:

1. Previa e independientemente de la operación del modelo, o
2. Durante la operación del modelo y basado en los resultados arrojados por el modelo. Para la última alternativa se utiliza la técnica estadística de intervalos de confianza.

A la hora de formular el modelo, y hacer las corridas, el tema de condiciones iniciales y tamaño de muestra serán retomados.

III.2 GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

Los tiempos entre arribos y los servicios proporcionados en un sistema de colas, son generalmente impredecibles, por lo menos en un cierto grado. Por lo general, este tipo de variables, son modeladas como números

aleatorios con una distribución determinada.

Si el modelo de simulación es estocástico, la simulación debe ser capaz de generar variables aleatorias no-uniformes de distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas. Lo anterior puede lograrse si se cuenta con un generador de números uniformes y una función que transforme estos números en valores de la distribución de probabilidad deseada. A este respecto, se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes como: La distribución normal, la distribución exponencial, la de Poisson, la de Erlang, la binomial, y demás distribuciones.

M. H. MacDougall comenta que "la determinación de qué distribución es la que se va a usar para representar una variable de un modelo es una de las actividades más complicadas de la simulación. Cuando el sistema que se desea simular existe, se podrá medir y obtener distribuciones reales y usarse en el modelo. Esto se puede hacer de dos maneras; podemos tabular los valores de la distribución y hacer una búsqueda en tablas para obtener un

valor muestra, o se puede ajustar una distribución teórica a la distribución original y usar un algoritmo para generar los valores muestra".⁴³

En todo modelo de simulación estocástico, existen una o varias variables aleatorias interactuando. Generalmente, estas variables siguen distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas diferentes a la distribución uniforme. Por consiguiente, para simular este tipo de variables, es necesario contar con un generador de números uniformes y una función que a través de un método específico, transforme estos números en valores de la distribución deseada. Existen varios procedimientos para lograr este objetivo. Entre los procedimientos más comunes y más difundidos se pueden mencionar: 1) El método de la transformada inversa, 2) El método de rechazo, 3) El método de composición y 4) procedimientos especiales.

El método de la transformada inversa utiliza la distribución acumulada de $F(x)$ de la distribución que se va a simular. Puesto que $F(x)$ está definida en el intervalo $(0;1)$, se puede generar un número aleatorio uniforme R y

tratar de determinar el valor de la variable aleatoria para la cual su distribución acumulada es igual a R , es decir, el valor simulado de la variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad $f(x)$, se determina al resolver la siguiente ecuación:

$$F(x) = R \text{ ó } x = F^{-1}(R)$$

La dificultad principal de este método descansa en el hecho de que en algunas ocasiones es difícil encontrar la transformada inversa. "Es un método claro y sencillo, pero no siempre el más eficiente como técnica computacional".⁴⁴ Además, MacDougall comenta, "desafortunadamente, una transformada inversa directa se da con sólo unas cuantas distribuciones; otras técnicas para generar valores de la variable aleatoria que sigan la distribución de probabilidad deseada tendrán que ser usadas".⁴⁵

Existe otro procedimiento para generar números al azar de distribuciones de probabilidad no-uniformes. A este procedimiento se le conoce con el nombre de método de rechazo. Este método consiste

⁴³ MacDougall, pág. 5

⁴⁴ Banks & Carson, pág. 294

⁴⁵ MacDougall, pág. 11

Primeramente en generar un valor de la variable aleatoria y en seguida probar que dicho valor simulado proviene de la distribución de probabilidad que se está analizando.

La teoría en la que se basa este método se apoya en el hecho de que la probabilidad $R_2 \leq f(x)/M$. Por consiguiente, si un número es escogido al azar de acuerdo a, $x = a + (b - a)R_1$ y rechazando si $R_2 > f(x)/M$, entonces la distribución de probabilidad de las x 's aceptadas será exactamente $f(x)$. Por otra parte, conviene señalar que si todas las x 's fueran aceptadas, entonces x estaría uniformemente distribuida entre a y b .

“Es necesario mencionar que algunos autores como Tocher, han demostrado que el número esperado de intentos para que x sea aceptada como una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad $f(x)$, es M . Esto significa que este método podría ser un tanto ineficiente para ciertas distribuciones de probabilidad en las cuales la moda es grande”.⁴⁶

Por último veremos el método de composición. Mediante este método la distribución de probabilidad $f(x)$ se expresa

como una mezcla de varias distribuciones de probabilidad $f(x)$ seleccionadas adecuadamente.

El procedimiento para la selección de las $f(x)$ se basa en el objetivo de minimizar el tiempo de computación requerido para la generación de valores de la variable aleatoria analizada.

Los pasos requeridos para la aplicación de este método en la simulación de variables aleatorias no-uniformes son los siguientes:

- 1) Dividir la distribución de probabilidad original en sub-áreas,
- 2) Definir una función de probabilidad para cada sub-área,
- 3) Expresar la función de probabilidad original en la siguiente forma:

$$f(x) = A_1 f_1(x) + A_2 f_2(x) + \dots + A_n f_n(x) \text{ y } \sum A_i = 1,$$

- 4) Obtener la distribución acumulada de las áreas,
- 5) Generar números uniformes R_1, R_2 ,
- 6) Seleccionar la distribución de probabilidad $f(x)$ con la cual se va a simular el valor de x , y
- 7) Utilizar el número uniforme R_2 para simular por el método de la transformada inversa o algún otro procedimiento especial, números al azar que sigan la distribución de probabilidad $f(x)$ seleccionada en el paso anterior.

⁴⁶ Coss, pág. 55

⁴⁷ Los métodos de transformada inversa, rechazo, y composición, así como sus pasos y lineamientos fueron obtenidos del libro de Raúl Coss Bú, SIMULACION, un enfoque práctico, y complementado con los libros Simulating Computer Systems Techniques and Tools [MacDougall] y Discrete-Event System Simulation [Bank & Carson].

Todos los métodos que se vieron anteriormente tienen sus ventajas y desventajas. Para el primer y tercer método que se plantean (transformada inversa y composición) se supone que los datos de nuestro sistema original serán ajustados a una distribución conocida (exponencial, Poisson, normal...). En el caso de la muestra que se obtuvo del periodo jul-oct de 1992 del puerto de Manzanillo, se encontró que la distribución de los arribos se comportaba como una bimodal, caso para el cual no sale una transformada inversa directa. Además de esto tiene dos modas muy marcadas lo que hace que el método de rechazo sea un tanto ineficiente.

Para el modelo de simulación que se pretende desarrollar en esta investigación, la distribución que generen los números aleatorios tendrá que semejar a las de las distribuciones empíricas obtenidas en la muestra. Para esto se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Dividir la distribución de probabilidad original en sub-áreas,
- 2) Definir una función de probabilidad para cada sub-área,
- 3) Obtener la distribución acumulada de las áreas, y
- 4) Generar números aleatorios uniformes y dada la sub-área en la que se encuentre asignar el

valor de la distribución de probabilidad empírica $f(x)$.

En la formulación del modelo aparecerá la tabla con las sub-áreas con la cual serán generados los números aleatorios no-uniformes. Se comparará la distribución de estos números generados con las distribuciones originales, con el fin de ver qué tanto se asemejan.

III.3 DISEÑO DE POLÍTICAS, PRIORIDADES, O CONVENCIONES A UTILIZAR EN EL SERVICIO.

Determinar la manera en la que se va a programar el servicio de embarcaciones no es tarea fácil. Sin embargo puede que sea una de las maneras más baratas en las que se puede mejorar la eficiencia del servicio proporcionado por un puerto. Un programa es un calendario de actividades enfocado a desarrollar actividades, utilizando recursos humanos y materiales, y asignando estos de la mejor manera posible. La programación de actividades debe de ser una actividad fundamental dentro de la administración de un puerto, y debe ser revisada continuamente, tanto en sus reglamentos como en su seguimiento.

“Parece que las principales restricciones en la aplicación del diseño de un programa, recae en hacer dicho programa entendible, para aquellos que tengan que usarlo, y hacerlo lo suficientemente flexible para poder hacer frente a las actividades diarias, triviales y mundanas, que conspiran contra planes bien hechos”.⁴⁷ Lo más justo que quede el programa (esto es, con holgura muy pequeña o cero), peor sera su desempeño”.⁴⁷

Los sistemas de servicio han sido divididos en dos grandes rubros, 1) Servicios Particularizados o a la Medida del Cliente, y 2) Servicios Estandarizados.

En términos de técnicas de programación, la mayoría de los servicios diseñados a la medida del cliente, usan métodos muy primitivos que varían desde “hacer una cita”, hasta “tomen un número”. La administración portuaria no es la excepción, ya que usa uno de los métodos más antiguos de todos, primeras llegadas primeros servidos. “Desafortunadamente la industria naviera a nivel internacional, que cuenta con muchos años de tradición, se muestra algo renuente al

cambio de políticas”.⁴⁸

Los servicios estandarizados, en contraposición a los servicios particularizados, están enfocados a las instalaciones del sistema de servicio y no al cliente. “La industria del transporte (colectivo) es un típico ejemplo de servicios estandarizados”.⁴⁹ Los programas de arribos y salidas, teóricamente por lo menos, son seguidos rigurosamente, sin tomar en cuenta las necesidades de un cliente particular.

A la hora de estar diseñando un programa para un sistema de servicio, ciertas medidas deben de ser tomadas para tener un eficiente desempeño de las siguientes funciones:

- 1) Asignación de órdenes, equipo, y personal a centros de servicio. Esta decisión se tomará en base a una comparación entre capacidad requerida y capacidad disponible,
- 2) Determinación de la secuencia en la que se desarrollan las actividades; en otras palabras se establecen prioridades,
- 3) El despacho de las ordenes,
- 4) La revisión constante, a lo largo del sistema, del servicio proporcionado,
- 5) Acelerar ordenes críticas o retrasadas, y
- 6) Revisión del calendario de actividades.⁵⁰

Al respecto de este último punto Ronen comenta que “el alto grado de incertidumbre que asociado con la operación de embarcaciones, limita la aplicación de modelos

* Frase extraída de un discurso de Joseph Orlicky, (Manufacturing Industry Education Manager), IBM.

⁴⁷ Chase & Aquiliano, pág. 328, 330

⁴⁸ Ronen, pág. 120

⁴⁹ Chase & Aquiliano, pág. 327

⁵⁰ Estas 6 medidas son sugeridas por Chase & Aquiliano, en el capítulo 7 Design of the Scheduling System.

determinísticos en el largo y mediano plazo. Por tal motivo los planes de mediano plazo solo servirán como guías, y tendrán que ser revisados y actualizados frecuentemente".⁵⁰

Los programas para sistemas de servicio no pueden ser diseñados, sin tomar en cuenta la infraestructura, y el sistema en general en el cual se está trabajando. Algunos programas se tendrán que diseñar con base a proyectos particulares que por lo general conjugan una serie de actividades que están dirigidas hacia un fin común y requieren una cantidad extensa de tiempo para que se lleve a cabo. Algunos programas que deben ser estructurados de esta manera son: la construcción de barcos, la producción de maquinaria pesada y la ingeniería aéreo-espacial.

En situaciones donde las actividades que se están efectuando están expuestas a las inclemencias del tiempo, el seguimiento del programa establecido es más difícil. Este es uno de los principales factores que hacen a la administración portuaria un área de difícil manejo.

Las reglas de prioridad que se utilizan

en un servicio son simplemente reglas para seleccionar qué servicio se proporcionará primero en una estación de trabajo. Ejemplos de estas reglas son: Primeras Llegadas Primera Salidas (PEPS), Tiempo de Proceso Más Corto (TPMC), Trabajo que se Tiene que Entregar Antes (TEA), Tiempo de Holgura de Trabajos Pendientes (el tiempo de holgura es tomado como, la cantidad de tiempo que queda antes de empezar el trabajo para que este se termine a tiempo HTP), y COVERT (costo sobre tiempo retrasado).

Según Richard Conway⁵¹ las siguientes reglas de prioridades de servicio son altamente usados en la industria:

- 1) Asignarle prioridad a las actividades con el tiempo de entrega más cercano, y
- 2) Asignarle prioridad a las actividades con la menor holgura.

Pero cada situación requiere de una regla de prioridades que satisfagan sus muy particulares necesidades.

Sin embargo, ha sido sugerido que muchas de las reglas de prioridad en realidad se acercan más al Tiempo de Proceso Más Largo Primero (TPML). La razón para esto es que muchas actividades tienen una prioridad según

⁵⁰ Ronen, pág. 125

⁵¹ Richard W. Conway, "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop", Journal of Industrial Engineering, vol. 16 no.4 (July-August 1965).

su importancia relativa, y como frecuentemente la importancia de un trabajo va fuertemente relacionada con el tiempo de proceso, trabajos más largos obtienen una mayor prioridad.

Un programa en particular puede ser evaluado en términos de cantidad de trabajos terminados, utilización de las instalaciones de servicio (tiempo que permanecen desocupadas las instalaciones), cumplir los objetivos de la organización, el tiempo promedio que espera un cliente a ser servido, la probabilidad de que un cliente tenga que esperar a ser servido, y tiempo promedio en proporcionar el servicio. Lo importante es establecer estos y otros parámetros, que deben de fijarse a la hora de formular el modelo a ser estudiado y que le den una mayor eficiencia al sistema.

III.4 El MODELO

El análisis de sistemas de colas frecuentemente ilustra la dificultad de construir un modelo matemático que contenga todos los elementos presentes en el sistema.

Generalmente, los modelos de colas asumen que el tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio siguen una distribución exponencial. También, estos modelos asumen que la cantidad de clientes que llegan al sistema por unidad de tiempo y la cantidad de clientes que el sistema sirve por unidad de tiempo siguen una distribución de Poisson. Además de las anteriores suposiciones, estos modelos generalmente suponen que:

- 1) La fuente que alimenta al sistema es de tamaño infinito,
- 2) El sistema ha alcanzado el estado estable,
- 3) La disciplina de servicio es de primeras entradas- primeras salidas,
- 4) Los clientes que llegan al sistema se unen a la cola,
- 5) Los clientes que están en la cola, permanecerán en ella hasta que sean servidos,
- 6) Los clientes llegan en forma individual, y
- 7) Las salidas del sistema son en forma individual.

Estas suposiciones generalmente originan que las decisiones que se toman con base en estos modelos no sean confiables.

“Si hay varias características especiales importantes, una modelación matemática completa resultaría difícil o casi imposible. En tales situaciones, el análisis completo del sistema puede ser logrado a través del uso de la técnica de simulación”⁵²

⁵² Cass, pág. 91

De las suposiciones que se mencionan arriba algunas se cumplen y otras no. La fuente que alimenta al sistema o población, en el caso del sistema que estamos analizando es considerada infinita. Para que el sistema alcance su estado estable se utilizará un tiempo de corrida lo suficientemente grande, de tal manera que se elimine el problema de condiciones iniciales. El modelo será simulado para PEPS, TPMC y TPML, con las distribuciones empíricas que se obtuvieron con la muestra (estas no cumplen las suposiciones de distribuciones exponencial, de Poisson, de Erlang o hiperexponencial). También será simulado el modelo para casos donde las instalaciones de servicio con las que cuenta cada muelle sean suficientes para cada tipo de carga contemplado en este trabajo. El resto de las suposiciones arriba citadas si se cumplen.

En el sistema de colas que se analiza, existen cuatro elementos estocásticos que deben ser considerados. Estos elementos son: El tiempo entre llegadas, el tamaño de eslora, el tipo de carga, y el tiempo de servicio (con distribución independiente para cada tipo de

carga). Las variables estocásticas, así como su probabilidades, sus probabilidades acumuladas y la asignación de los números aleatorios se presentan en las tablas 3.1 y 3.2. También aparecen las medias de los datos obtenidos en la muestra de las formas D-B, así como las medias estimadas que dará la simulación. Estas últimas se calcularon haciendo una sumatoria de la variable estocástica multiplicada por su probabilidad. De esta manera tenemos en el caso del tiempo entre llegadas ($10 \cdot .2280 + 20 \cdot .0877 + \dots + 180 \cdot .0115$) que da como valor estimado 49.12281.

Las variables de decisión para este modelo serán divididas en dos: los reglamentos prioridades o convenciones que se le asignarán a las estaciones de servicio (los muelles), y las instalaciones de servicio de cada muelle.

Se supondrá que la llegada de dos o más embarcaciones al mismo tiempo tiene una probabilidad de ocurrencia de 0, ya que en la muestra no se dió este caso. También se supondrá que las embarcaciones que llegen al puerto de Manzanillo no superaran 230 m. de eslora, ya que en la muestra ninguna

tabla 3.1

Tiempo Entre Llegadas en hrs	Probabilidad de llegada	Probabilidad Acumulada de Llegadas	Asignación de # Aleatorio
10	0.228070175	0.228070175	.0000 - .2280
20	0.087719298	0.315789474	.2281 - .3157
30	0.087719298	0.403508772	.3158 - .4035
40	0.140350877	0.543859649	.4036 - .5438
50	0.157894737	0.701754386	.5439 - .7017
60	0.070175439	0.771929825	.7018 - .7719
70	0.035087719	0.807017544	.7720 - .8070
80	0.035087719	0.842105263	.8071 - .8421
90	0.035087719	0.877192982	.8422 - .8771
100	0.052631579	0.929824561	.8772 - .9298
140	0.01754386	0.947368421	.9299 - .9473
150	0.01754386	0.964912281	.9474 - .9649
160	0.01754386	0.98245614	.9650 - .9824
180	0.01754386	1	.9825 - .9999

Medias Datos Muestra =

43.49702

Media Estimada Sim. =

49.12281

Tamaño de Esfera en (m)	Probabilidad de tamaño	Probabilidad Acumulada de Tamaño	Asignación de # Aleatorio
Menor o igual a 150	0.327586207	0.327586207	.0000 - .3275
Entre 150 y 170	0.396551724	0.724137931	.3276 - .7241
Entre 170 y 236	0.275862069	1	.7242 - .9999

Medias Datos Muestra =

160.67

Media Estimada Sim. =

159.18

Tipo de Carga (1, 2, o 3)	Probabilidad Tipo de Carga	Probabilidad Acumulada Tipo de Carga	Asignación de # Aleatorio
1	0.5439	0.5439	.0000 - .5438
2	0.3859	0.9298	.5439 - .9297
3	0.0702	1	.9298 - .9999

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Probabilidad Acumulada de Servicio T.C. #1	Asignación de # Aleatorio
19.00	0.0644	0.0644	.0000 - .0643
26.00	0.129	0.1934	.0644 - .1933
43.00	0.129	0.3224	.1934 - .3223
57.00	0.0968	0.4192	.3224 - .4191
66.00	0.0645	0.4837	.4192 - .4836
75.00	0.0323	0.516	.4837 - .5159
87.00	0.0968	0.6128	.5160 - .6127
98.00	0.0645	0.6773	.6128 - .6772
144.00	0.0323	0.7096	.6773 - .7095
181.00	0.0323	0.7419	.7096 - .7418
294.00	0.0968	0.8387	.7419 - .8386
386.00	0.0645	0.9032	.8387 - .9031
427.00	0.0645	0.9677	.9032 - .9676
452.00	0.0323	1	.9677 - .9999

Medias Datos Muestra = 144.1855
 Media Estimada Sim. = 143.0591

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Probabilidad Acumulada de Servicio T.C. #2	Asignación de # Aleatorio
14.00	0.0909	0.0909	.0000 - .0908
27.00	0.2727	0.3636	.0909 - .3635
39.00	0.1818	0.5454	.3636 - .5453
44.00	0.0909	0.6363	.5454 - .6362
64.00	0.1368	0.7731	.6363 - .7730
102.00	0.0455	0.8186	.7731 - .8185
115.00	0.0909	0.9095	.8186 - .9094
128.00	0.0455	0.955	.9095 - .9549
278.00	0.045	1	.9550 - .9999

Medias Datos Muestra = 62.00
 Media Estimada Sim. = 61.91

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Probabilidad Acumulada de Servicio T.C. #3	Asignación de # Aleatorio
1.00	0.50	0.50	.0000 - .4999
37.00	0.25	0.75	.5000 - .7499
56.00	0.25	1.00	.7500 - .9999

Medias Datos Muestra = 23.75
 Media Estimada Sim. = 23.75

embarcación superó esta cifra. En la simulación sólo se darán embarcaciones de 150 m, 170 m, y 200 m ya que se supondrá irrelevante si una embarcación es de 165.75 m. o de 170 m, si será servida en un muelle de 170 metros, y de 230 m si será servida en el muelle de 200 m.

El que un muelle acepte una embarcación depende de tres factores; 1) que el muelle esté vacío, 2) que el tamaño del muelle sea mayor o igual a la eslora de la embarcación, 3) y que el muelle tenga la maquinaria adecuada para atender el tipo de carga que trae la embarcación (también se hará una simulación suponiendo que los muelles pueden atender cualquier tipo de carga, con el fin de determinar si sería de conveniencia invertir en maquinaria de servicio), y 4) el cumplir con la regla de prioridad establecida (PEPS, TPMC, TPML). El primer muelle que llene estas características será el servidor de la embarcación. La longitud y manejo de carga de cada muelle se presentó en el Capítulo I, en la tabla 1.3.

En el caso de PEPS, cuando una embarcación tenga que esperar servicio, entrará en el primer muelle que se desocupe y llene las

condiciones de tamaño y tipo de carga. En el caso de TPMC, cuando una embarcación tenga que esperar servicio, se le dará preferencia a aquella que tarde menos en ser servida (de cuantas estén esperando), y entrará en el primer muelle que se desocupe, y llene las condiciones de tamaño y tipo de carga. En el caso de TPML, cuando una embarcación tenga que esperar servicio, se le dará preferencia a aquella que tarde más en ser servida (de cuantas estén esperando), y entrará en el primer muelle que se desocupe y llene las condiciones de tamaño y tipo de carga.

Para evaluar el desempeño de cada una de las variantes del modelo se usarán las siguientes medidas.

- 1) Tiempo promedio de espera de una embarcación para ser servida (TPE)

$$TPE = \frac{\text{total de tiempo de espera de las embarcaciones}}{\text{número total de embarcaciones servidas}}$$

- 2) La probabilidad de que una embarcación tenga que esperar para ser servido (PES)

$$PES = \frac{\text{número total de embarcaciones que esperaron servicio}}{\text{número total de embarcaciones servidas}}$$

3) Probabilidad de que el muelle x^* este vacío (PM_{xV})

$$PM_{xV} = \frac{\text{tiempo total que el muelle } x \text{ permaneció vacío}}{\text{tiempo total simulado}}$$

4) Tiempo promedio de servicio del tipo de carga y^e (TP_{yS})

$$TP_{yS} = \frac{\text{tiempo total de servicio del tipo de carga } y}{\text{número total de embarcaciones con carga } y}$$

5) Tiempo promedio entre arribos (TPA)

$$TPA = \frac{\text{último tiempo de arribo}}{\text{número de arribos} - 1}$$

6) Tiempo de espera promedio de las embarcaciones de tamaño z , con carga y que esperan (PE_{zyE})¹

$$PE_{zyE} = \frac{\text{tiempo total que esperan las embarcaciones}}{\text{número total de embarcaciones servidas}}$$

7) Tiempo promedio que pasa una embarcación en el sistema (TPS)

$$TPS = \frac{\text{tiempo total que pasan en el sistema las embarcaciones}}{\text{número total de embarcaciones}} \quad 1$$

8) # promedio de embarcaciones atendidas por año (PEA)

$$PEA = \frac{\text{\# total de embarcaciones atendidas} \cdot 6760}{\text{total de hr. para el cual se corre el modelo}}$$

9) # promedio de embarcaciones en la cola (PEC)

$$PEC = \frac{\text{total de embarcaciones en cola}}{\text{número total de colas}}$$

10) Mayor número de embarcaciones en una cola (MNEC)

11) Mayor tiempo de espera (MTE).

Los resultados de estas medias bajo las políticas actuales para la muestra son:

TPE= No viene la información sobre colas en las formas D-B,

PES= No viene la información sobre colas en las formas D-B,

PM_{1V} = 78.02% PM_{2V} = 91.39%

PM_{3V} = 64.01% PM_{4V} = 77.85%

PM_{5V} = 94.88% PM_{6V} = 63.14%

PM_{7V} = 48.05% PM_{8V} = 45.34%

TP_{1S} = 144.18 hr. TP_{2S} = 64 hr.

TP_{3S} = 23.75 hr. TPA = 43.49 hr.

PE_{zyE} = No viene la información sobre colas en las formas D-B

TPS = No viene la información sobre colas en las formas D-B.

PEA = 201.33 embarcaciones.

PEC = No viene la información sobre colas en las formas D-B.

MNEC = No viene la información sobre colas en las formas D-B.

MTE = No viene la información sobre colas en las formas D-B.

Para tener una idea más concreta de cómo es el modelo se presenta en la tabla 3.3 una simulación, paso a paso, del modelo de PEPS y se obtienen sus diferentes medidas de

* x representa el número de muelle, de tal forma que si se tiene PM_{xV} , se está refiriendo a la probabilidad de que el muelle 1 se encuentre vacío (x va de 1..8).

^e y representa el tipo de carga (y va de 1..3).

¹ El tamaño de las embarcaciones se fijaron en ($z = 150, 170, 200$) y el tipo de carga igual que se hizo anteriormente.

¹ El tiempo total que pasan las embarcaciones en el sistema es igual a la suma de los tiempos de servicio total + tiempo total que pasan las embarcaciones esperando servicio.

evaluación. Esta simulación se hace en una hoja de cálculo, ya que permite ver el desarrollo del modelo a lo largo de la simulación. La generación de números aleatorios es hecha por la misma hoja de cálculo (EXCEL). El modelo es simulado para 20 embarcaciones, con un tiempo de 984 horas.

La primera columna determina el número de cliente que se está atendiendo. En la segunda columna se selecciona un número aleatorio, con el cual se determina un tiempo entre llegadas en base a las tablas 3.1, 3.2. El tiempo entre llegadas es colocado en la tercera columna. En la cuarta columna se calcula el tiempo de arribo de la embarcación, esto es, el tiempo entre arribos más el tiempo de arribo anterior. En la quinta columna se generan números aleatorios con los cuales se determina el tamaño de eslora y se coloca el valor en la columna siguiente. La séptima columna genera números aleatorios con los cuales se determina el tipo de carga.

Una vez determinados el tiempo de arribo, la eslora de la embarcación, y el tipo de carga aparecen los muelles. En estos aparece

el tiempo de servicio que le resta al muelle para quedar desocupado. De tal manera se determina si una embarcación tiene que esperar servicio, y de ser así, cuál de los muelles que puedan atender a la embarcación se desocupará primero.

Se generan números aleatorios con los cuales se determina el tiempo de servicio que tendrá la embarcación. Esto se hace dependiendo del tipo de carga que traiga la embarcación.

Existe una columna en la cual aparece el tiempo de inicio de operación, la cual se obtiene de sumar el tiempo de llegada más el tiempo que la embarcación tuvo que esperar. A continuación de ésta aparece la columna en la cual se determina la hora en la que acaba el servicio. Esto se obtiene simplemente de sumar el tiempo de inicio de operación con el tiempo de servicio. La columna de tiempo en la que acaba el servicio de un embarcación, sirve para determinar cuándo estará disponible un muelle.

Finalmente se presentan ocho columnas en las que se representa el tiempo ocioso que tiene un muelle. Esta se obtiene de restar del tiempo transcurrido el tiempo de operación del muelle.

Barco #	# Aleatorio	Tiempo entre llegadas (hr.)	Tiempo de arribo	# Aleatorio	Tamaño de espora en (m)	# Aleatorio	Tipo de carga
1		0	0	0.209892	150	0.096426	1
2	0.648445	50	50	0.936507	200	0.785839	2
3	0.418846	40	90	0.575523	170	0.437569	1
4	0.866116	90	180	0.121337	150	0.009868	1
5	0.277399	20	200	0.422571	170	0.558315	2
6	0.017921	10	210	0.805397	200	0.847327	2
7	0.353397	30	240	0.136559	150	0.46858	1
8	0.455997	40	280	0.471667	170	0.581026	2
9	0.780458	70	350	0.071232	150	0.586179	2
10	0.680009	50	400	0.348281	170	0.238584	1
11	0.226144	10	410	0.736688	200	0.787244	2
12	0.646537	50	460	0.482989	170	0.458739	1
13	0.802204	70	530	0.570165	170	0.305504	1
14	0.785505	70	600	0.384948	170	0.102859	1
15	0.889037	100	700	0.304417	150	0.509835	1
16	0.322891	30	730	0.055199	150	0.245275	1
17	0.564515	50	780	0.079763	150	0.591067	2
18	0.407288	40	820	0.30671	150	0.978525	3
19	0.775435	70	890	0.072759	150	0.774551	2
20	0.345097	30	920	0.125561	150	0.654303	2

tabla 3.3

		# de muelle (ver fig. 1.3)							Tempo de espera en la cola (hr.)	# Aleatorio	Tempo de servicio
1	2	3	4	5	6	7	8				
150-1	150-1	150-1	200-1,2,3	200-2,3	170-2,3	216-1	236-1				
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0.584959	87	
37	0	0	0	64	0	0	0	0	0.697034	64	
0	0	0	57	24	0	0	0	0	0.33726	57	
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5486	87	
67	0	0	0	0	27	0	0	0	0.209892	27	
57	0	0	0	128	17	0	0	0	0.921865	128	
27	87	0	0	98	0	0	0	0	0.553839	87	
0	47	0	0	58	14	0	0	0	0.088114	14	
0	0	0	0	0	44	0	0	0	0.578798	44	
0	0	0	0	0	26	0	0	0	0.17473	26	
0	0	0	0	115	16	0	0	0	0.85374	115	
0	0	0	98	65	0	0	0	0	0.66116	98	
0	0	0	28	0	0	98	0	0	0.655849	98	
0	0	0	0	0	0	28	66	0	0.44699	66	
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0.326677	57	
27	43	0	0	0	0	0	0	0	0.31209	43	
0	0	0	0	0	27	0	0	0	0.186476	27	
0	0	0	0	0	56	0	0	0	0.758249	56	
0	0	0	0	0	39	0	0	0	0.412337	39	
0	0	0	64	0	9	0	0	0	0.737343	64	

tabla 3.3

Inicia el servicio	Acaba el servicio	Horas ociosas del muelle #							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	87	0	0	0	0	0	0	0	0
50	114	0	50	50	50	50	50	50	50
90	147	3	90	90	90	90	90	90	90
180	267	93	180	180	123	116	180	180	180
200	227	93	200	200	143	136	180	200	200
210	338	93	210	210	153	146	180	210	210
240	327	93	210	240	183	146	193	240	240
280	294	106	240	280	223	158	233	280	280
350	394	176	263	350	293	208	289	350	350
400	426	226	313	400	343	218	295	400	400
410	525	236	323	410	353	218	305	410	410
460	558	286	373	460	403	218	339	460	460
530	628	356	443	530	403	223	419	530	530
600	666	426	513	600	445	293	489	530	600
700	757	526	613	700	545	393	589	602	634
730	773	526	643	730	575	423	619	632	664
780	807	549	650	780	625	473	669	682	714
820	876	589	690	820	665	513	689	722	754
890	929	659	760	890	735	583	696	792	824
920	984	689	790	920	765	613	696	822	854
1) TPE =	0.00%								
2) PES =	0.00%								
3) PMxV =		74.89%	85.87%	100%	83.15%	66.63%	75.65%	89.35%	92.83%
4) TP1S =	70.6 hr.								
TP2S =	58 hr.								
TP3S =	56 hr.								
5) TPA =	48.42 hr.								
6) PEzyE=	0.00%								
7) TPS =	64.2 hr.								
8) PEA =	190.43 emb.								
9) PEC =	0 emb.								
10) MNEC=	0 emb.								
11) MTE =	0 hr.								

Tabla 3.3

Con esta simulación, se obtienen los siguientes resultados:

TPE= 0 hr.	PES= 0.00%
PM ₁ V= 74.89%	PM ₂ V= 85.87%
PM ₃ V= 100%	PM ₄ V= 83.15%
PM ₅ V= 66.63%	PM ₆ V= 75.65%
PM ₇ V= 89.35%	PM ₈ V= 92.83%
TP ₁ S= 70.6 hr.	TP ₂ S= 58 hr.
TP ₃ S= 56 hr.	TPA= 48.42 hr.
PE ₇ E= 0.00%	TPS= 64.2 hr.
PEA= 190.43 emb.	PEC= 0 emb.
MNEC= 0 emb.	MTE= 0 hr.

Aunque la simulación no haya sido muy larga, podemos hacer varias observaciones de importancia. Los datos obtenidos en la simulación, son muy similares a sus homólogos de la muestra, claro está, a aquéllos que existen en la muestra. No se generaron colas porque existen condiciones iniciales de tener todos los muelles vacíos al inicio de la simulación. Esto se corregirá haciendo una simulación lo suficientemente larga como para poder eliminar las condiciones transitorias del modelo.

Sin embargo los datos presentados en esta simulación carecen de un elemento muy importante para analizar la información de una simulación: los intervalos de confianza.

Cada vez que se cambien los números aleatorios generados los resultados obtenidos cambiarán. En algunos casos tendremos un TPE de 0 hr. y en otros un TPE de 10 hr., para el mismo modelo. ¿Cual de ellos usar? Basándose principalmente en la Teoría del Límite Central, se deriva la siguiente formula:

$$X \pm t_{\beta/2, n-1} * S/\sqrt{n} \quad 53$$

la cual nos determina un intervalo al 1-β% de confianza.

Si corremos 10 simulaciones del mismo modelo con diferentes números aleatorios, el valor de n será 10. X será la media de los diez valores simulados y S su desviación estandar. De tal manera se puede estimar un intervalo dentro del cual caerán la mayoría de los datos simulados, en un porcentaje determinado de confianza, para cuantas simulaciones se corran.

⁵³ MacDougall. pág.98

CAPITULO IV

Simulación y Validación : un modelo en BASIC

La simulación de un sistema en la actualidad tiene que ser asistido por computadora, ya que no importando el grado de complejidad del sistema modelado, las iteraciones podrán ser hechas mucho más rápidas que si son efectuadas a mano. Existen una gran variedad de herramientas en el mercado para resolver sistemas complejos de modelado utilizando simulación.

La primera decisión que se tuvo que realizar fué: usar un paquete de simulación (como es el GPSS, SIMSCRIPT, o SLAM), o usar un lenguaje de cómputo (como es el FORTRAN, BASIC, o PASCAL). "GPSS es un paquete altamente estructurado, especialmente diseñado para simulaciones de líneas de espera, relativamente sencillas. FORTRAN por el otro lado, es un lenguaje de programación científica. Ambos son usados ampliamente para la simulación de modelos de

eventos discretos".⁵⁴ Esto hacía evidente que alguno de estos dos podría ser la herramienta a ser utilizada para resolver el modelo planteado.

"A pesar de que, en general, las simulaciones en FORTRAN, BASIC, y Pascal se pueden programar para correr de manera más eficiente y mejor apegada a la realidad que aquellas desarrolladas en lenguajes de simulación, toman más tiempo para su desarrollo y su validación".⁵⁵ Por este motivo originalmente se planteo la simulación para correr en GPSS. Se tenían dos opciones de GPSS; GPSS-PC[®] y GPSS-H^{*}. Sin embargo las condiciones básicas que ofrece el GPSS-PC para el *servidor* sacrifica muchas condiciones reales del sistema modelado. "Las características físicas del *servidor* dentro de GPSS-PC que podrán ser variadas serán: el número de servidores y el tamaño máximo de unidades que permanecerán dentro de la cola

⁵⁴ Banks & Carson, pág. 71

⁵⁵ Chisman, James A. pág. 32

[®] Desarrollado por Minuteman Software

^{*} Desarrollado por Wolverine Software Corporation

particular de cada servidor⁵⁶, con lo cual las características de tamaño del muelle y el tipo de carga a ser manejada por dicho muelle, no se pueden introducir como características físicas de estos elementos del sistema.

En el caso de GPSS-II, si se puede encontrar el algoritmo para modelar el sistema, limitando el acceso de ciertos arribos a algunos muelles, pero se perdería la ventaja de menor tiempo de desarrollo y validación, ya que tomaría más esfuerzo hacer los "bloques"⁵⁷ necesarios para que se pudiera tener una semejanza con el modelo real, que modelar en FORTRAN, BASIC o Pascal. Por este motivo se buscó otra alternativa para correr la simulación.

Basandonos en la afirmación que hace Chisman, cualquiera de los tres lenguajes de programación mencionados anteriormente (FORTRAN, BASIC o Pascal) son igualmente válidos para correr la simulación que se deseaba modelar. Sin embargo el uso de un lenguaje como BASIC, en el que los autores ya contaban con cierta experiencia, mostró ser el más conveniente para diseñar el modelo a ser simulado.

El programa comienza con una selección de semilla, esto es, un número con el cual se comenzará a hacer la selección de números aleatorios por parte de Basic. Seguido de este paso se determina el número de embarcaciones para las cuales se correrá la simulación (se hará la simulación para 1000 embarcaciones), corre la simulación, y envía los resultados obtenidos a una base de datos. La base de datos es implantada en una hoja de cálculo, donde se despliegan los datos de diez simulaciones del mismo modelo, y se determinan sus intervalos de confianza. En el caso del cálculo del MTE, también se proporciona el dato del mayor tiempo de espera de las diez simulaciones, dado que el intervalo de confianza será muy grande como se verá más adelante.⁵⁸

El programa completo viene en la sección de Apéndices, así como las diferentes modalidades que se hicieron para cada una de las simulaciones. Los resultados con los cuales se determinaron los intervalos de confianza vienen en el Apéndice 4 de este trabajo. Los intervalos se harán con un 95% de confianza, para $n=10$. Cada corrida se hará para un total

⁵⁶ Ibid, pág. 9

⁵⁷ Schriber, Thomas J. pág. 208, 214

⁵⁸ El intervalo de confianza del MTE será grande ya que en realidad se está obteniendo el intervalo de 10 datos, mientras que en el caso de casi todos los demás datos el intervalo de confianza se obtiene para promedios de 1000 datos, lo que hace que los datos estén mucho más agrupados.

de 1000 embarcaciones. El valor en tablas para $t_{.05,2,9}$ es igual a 2.26.

Se plantean 12 modalidades del modelo de puertos. Las primeras nueve determinarán el cómo construir las restantes tres. En el primer caso se tomará la misma estructura que presenta el puerto, con restricciones de carga dependiendo de cada muelle, el tiempo entre arribos semejante al de la muestra y con reglamento de servicio en la cola de PEPS. A este modelo se le asignará el nombre de PEPS-N-R.

El segundo modelo que se simulará será igual al de PEPS-N-N, con la variante de no tener restricciones de carga en los muelles. Esto lo que representa es que todos los muelles del puerto están acondicionados para atender los tres tipos de carga que se contemplan en este estudio. A este modelo se le asignará el nombre de PEPS-N-L.

El tercer y cuarto modelo que se simularán serán iguales al de PEPS-N-R, sólo que en este caso el reglamento de servicio en la cola no será PEPS, si no que será TPMC en el tercer caso y TPML en el cuarto. A éstos se les

asignaran los nombres de TMCP-N-R y TPML-N-R, respectivamente.

Los cuatro modelos que se presentaron anteriormente se volverán a correr, sólo que en esta ocasión se correrán con el intervalo entre arribos a la mitad de lo normal según la muestra. En otras palabras, si se generaba un número aleatorio de .93 para la llegada de una embarcación con el modelo de PEPS-N-R, el valor del tiempo entre llegadas será de 140. Pero para el mismo número aleatorio, el modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -R, tendrá un valor entre llegadas de 70. De esta manera se tienen cuatro modelos más, PEPS- $\frac{1}{2}$ -R, PEPS- $\frac{1}{2}$ -L, TPMC- $\frac{1}{2}$ -R, TPML- $\frac{1}{2}$ -R.

El noveno modelo que será simulado tendrá un muelle modificado. El muelle 3, que en la simulación que se hizo en EXCEL para 20 embarcaciones mostró un porcentaje de tiempo ocioso del 100%, se convertirá en un muelle de 200 m. de longitud, con instalaciones de servicio para atender los tres tipos de carga contemplados en este estudio. El resto de los muelles se mantendrán con sus características actuales. Las llegadas se tomarán a la mitad de las

normales esperadas, y la regla de servicio será PEPS. A este modelo se le puso el nombre de PEPS- $\frac{1}{2}$ -M.

En la simulación de PEPS-N-R, se pretende establecer un parámetro con el cual poder medir una serie de alternativas propuestas para la administración del puerto de Manzanillo. En base a los resultados de esta simulación se podrá estimar la eficiencia de la administración del puerto. En la figura 4.1 y en la tabla 4.2, se muestran los datos del tiempo entre llegadas y del tiempo de servicio por tipo de carga, tanto de la muestra obtenida de las formas D-B como de los datos de la simulación. Comparándolos se puede ver cómo se ajustan los datos simulados con respecto a los de la muestra. Con este modelo se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) TPE = $2.39 \pm .73$ hr. | 2) PES = $4.13 \pm .82$ % |
| 3) $PM_{1,V}$ = 65.61 ± 1.96 % | 3) $PM_{1,V}$ = 87.03 ± 1.92 % |
| 3) $PM_{2,V}$ = $97.48 \pm .71$ % | 3) $PM_{2,V}$ = 79.14 ± 2.04 % |
| 3) $PM_{3,V}$ = $80.15 \pm .86$ % | 3) $PM_{3,V}$ = 71.03 ± 1.54 % |
| 3) $PM_{4,V}$ = 45.00 ± 1.99 % | 3) $PM_{4,V}$ = 66.55 ± 2.10 % |
| 4) $TP_{1,S}$ = 141.75 ± 3.36 hr. | 4) $TP_{2,S}$ = 62.68 ± 1.95 hr. |
| 4) $TP_{2,S}$ = 22.44 ± 1.99 hr. | 5) TPA = $49.29 \pm .95$ hr. |
| 6) $PE_{150,1}$ = $0 \pm .01$ hr. | 6) $PE_{150,2}$ = $.03 \pm .03$ hr. |
| 6) $PE_{150,3}$ = $.01 \pm .01$ hr. | 6) $PE_{170,1}$ = $1.17 \pm .35$ hr. |
| 6) $PE_{170,2}$ = $.05 \pm .02$ hr. | 6) $PE_{170,3}$ = $.01 \pm .02$ hr. |

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 6) $PE_{200,1}$ = $.80 \pm .30$ hr. | 6) $PE_{200,2}$ = $.24 \pm .11$ hr. |
| 6) $PE_{200,3}$ = $.09 \pm .08$ hr. | 7) TPS = 104.88 ± 2.00 hr. |
| 8) PEA = 177.82 ± 3.44 emb. | |
| 9) PEC = $1.71 \pm .19$ emb. | |
| 10) MNEC = $3.30 \pm .68$ emb. | |
| 11) MTE = 222.40 ± 51.05 hr. | |

En la figura 4.1 y en la tabla 4.2 se puede apreciar que la distribución de las llegadas y servicios (según tipo de carga), se asemejan muchísimo a la distribución de los datos de la muestra. Se puede también comparar el tiempo ocioso que tiene cada uno de los muelles y se

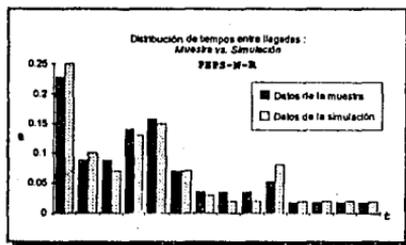


Fig 4.1

puede apreciar que son muy similares a los de la muestra.

Con esto obtenemos parámetros que nos indican que nuestro modelo se asemeja a la muestra del sistema que estamos analizando, y obtenemos estimaciones de datos que no

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0420	0.0224
26.00	0.1290	0.1335	0.0045
43.00	0.1290	0.1408	0.0118
57.00	0.0968	0.0859	0.0109
66.00	0.0645	0.0731	0.0086
75.00	0.0323	0.0470	0.0147
87.00	0.0968	0.1115	0.0147
98.00	0.0645	0.0731	0.0086
144.00	0.0323	0.0384	0.0061
181.00	0.0323	0.0183	0.0140
294.00	0.0968	0.1005	0.0037
386.00	0.0645	0.0603	0.0042
427.00	0.0645	0.0603	0.0042
452.00	0.0323	0.0274	0.0049
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	141.7500		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0844	0.0065
27.00	0.2727	0.2982	0.0255
39.00	0.1818	0.2005	0.0187
44.00	0.0909	0.0818	0.0091
64.00	0.1368	0.1135	0.0233
102.00	0.0455	0.0475	0.0020
115.00	0.0909	0.0950	0.0041
128.00	0.0455	0.0317	0.0138
278.00	0.0450	0.0475	0.0025
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	62.6800		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5135	0.0135
37.00	0.2500	0.1622	0.0878
56.00	0.2500	0.3243	0.0743
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	22.4400		

teníamos antes, como son todos aquellos que involucran la formación de colas en el sistema.

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo es de 2.39 hr, con un IC^{**} de $\pm .73$. Si suponemos un total de 181 embarcaciones en el puerto de Manzanillo al año (que es el límite superior del intervalo de confianza de este modelo) tenemos un total de 433 hr. que se pierden en que las embarcaciones hagan cola, esto representa 18 días. Aunque los costos de operación de los barcos son de alrededor de \$10,000 dolares diarios, no se llega a tener una pérdida de más de \$200,000 Dls. al año porque las embarcaciones hacen cola.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es de $4.13 \pm .82\%$, que no es alto pero puede ser mejorado.
- 3) Los muelles son altamente desaprovechados!
- 4) El tipo de carga 1 (General), tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación no es tan determinante en el tiempo que una embarcación hace cola. Sin embargo si se nota que las embarcaciones de 150 m. de eslora casi no tienen tiempos de espera (hay que resaltar que las embarcaciones de 150 m. o menores pueden entrar en cualquier muelle).
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa sólo una pequeña fracción del tiempo total en el sistema.
- 6) Aunque el tiempo promedio de espera es bajo, una embarcación puede esperar hasta un máximo de 222.4 ± 51 hr. La embarcación que

registro el mayor tiempo de espera esperó a ser servida 317 hr. que son poco más de 13 días.

En la simulación PEPS-N-L, se pretende simular una situación en la que los 8 muelles del puerto de Manzanillo estén acondicionados para atender cualquier tipo de carga que se tenga prevista en este trabajo. Comparando con los resultados del modelo de PEPS-N-R, se determinará que tanto más o menos eficiente sería el puerto. En la figura 4.3 y en la tabla 4.4, se muestran los datos del tiempo entre llegadas y del tiempo de servicio por tipo de carga, tanto de la muestra obtenida de las formas D-B como de los datos de la simulación. Con este modelo se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1) TPE = $.31 \pm .20$ hr. | 2) PES = $.78 \pm .37$ % |
| 3) $PM_1V = 57.70 \pm 1.80$ % | 3) $PM_2V = 81.28 \pm 1.82$ % |
| 3) $PM_3V = 94.16 \pm 1.08$ % | 3) $PM_4V = 95.54 \pm 1.09$ % |
| 3) $PM_5V = 88.80 \pm 2.02$ % | 3) $PM_6V = 52.36 \pm 1.75$ % |
| 3) $PM_7V = 49.87 \pm 3.04$ % | 3) $PM_8V = 72.23 \pm 1.82$ % |
| 4) $TP_1S = 140.51 \pm 2.59$ hr. | 4) $TP_2S = 61.40 \pm 1.45$ hr. |
| 4) $TP_3S = 24.37 \pm 1.22$ hr. | 5) $TPA = 48.57 \pm 1.21$ hr. |
| 6) $PE_{150,1}E = 0 \pm .00$ hr. | 6) $PE_{150,2}E = 0 \pm .00$ hr. |
| 6) $PE_{150,3}E = 0 \pm .00$ hr. | 6) $PE_{170,1}E = .08 \pm .07$ hr. |
| 6) $PE_{170,2}E = .06 \pm .06$ hr. | 6) $PE_{170,3}E = .01 \pm .02$ hr. |
| 6) $PE_{200,1}E = .08 \pm .07$ hr. | 6) $PE_{200,2}E = .07 \pm .09$ hr. |
| 6) $PE_{200,3}E = .02 \pm .02$ hr. | |
| 7) $TPS = 101.57 \pm 2.42$ hr. | |
| 8) $PEA = 180.59 \pm 4.44$ emb. | |

** Intervalo de Confianza

- 9) PEC = $1.64 \pm .30$ emb.
 10) MNEC = $2.40 \pm .77$ emb.
 11) MTE = 82.40 ± 38.55 hr.

La distribución de las llegadas y servicios (según tipo de carga), de nuevo se asemejan muchísimo a la distribución de los datos de la muestra. Otra vez el tiempo ocioso que tiene cada uno de los muelles son muy similares a los de la muestra.

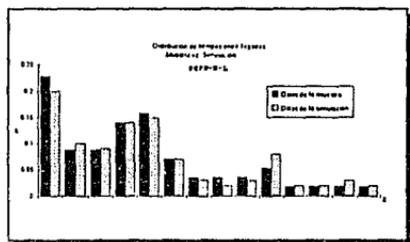


Fig 4.3

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo disminuyó a $.31 \pm .2$ hr. Si suponemos un total de 56 hr. que se pierden en que las embarcaciones hagan cola, son aproximadamente 2 días. Se ahorran cerca de \$180,000 Dis. al año adecuando los muelles con maquinaria para atender los tres tipos de carga previsto. El costo de acondicionar los muelles de esta manera supera por mucho el ahorro previsto.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola se reduce a 0.78% con un IC de $\pm .37$, lo que representa una disminución del 80% en la probabilidad de que una embarcación espere.
- 3) Los muelles siguen siendo altamente desaprovechados!
- 4) Se encuentra una ligera relación entre las embarcaciones de 170 metros de eslora con tipo de carga 1 y el tiempo de espera. En ambas simulaciones se encontró que esta era la situación donde se encontraba el mayor número de horas haciendo cola una embarcación, aunque en este caso sea despreciable.
- 5) El tiempo de espera es despreciable dentro del tiempo promedio que pasa una embarcación en el sistema.

En la simulación TPMC-N-R, no se alteran las instalaciones del puerto de Manzanillo. Con este modelo se pretende analizar su comportamiento, sin hacer una inversión muy elevada, como sería el caso de tener que invertir en maquinaria de servicio. Esto se pretende hacer cambiando las reglas de prioridades en la cola, atendiendo primero aquellas embarcaciones que están en cola, requiriendo un tiempo menor de servicio. En la figura 4.5 y en la tabla 4.6, se muestran los datos del tiempo entre llegadas y del tiempo de servicio por tipo de carga. Con este modelo se obtuvieron los siguientes datos:

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0568	0.0076
26.00	0.1290	0.1252	0.0038
43.00	0.1290	0.1331	0.0041
57.00	0.0968	0.1057	0.0089
68.00	0.0645	0.0705	0.0060
75.00	0.0323	0.0333	0.0010
87.00	0.0968	0.0802	0.0166
98.00	0.0645	0.0705	0.0060
144.00	0.0323	0.0313	0.0010
181.00	0.0323	0.0333	0.0010
294.00	0.0968	0.0978	0.0010
386.00	0.0645	0.0626	0.0019
427.00	0.0645	0.0665	0.0020
452.00	0.0323	0.0333	0.0010

Medias Datos Muestra = 144.1855
 Media Sim. = 144.0300

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0621	0.0288
27.00	0.2727	0.2768	0.0041
39.00	0.1818	0.1981	0.0163
44.00	0.0909	0.1002	0.0093
64.00	0.1368	0.1313	0.0055
102.00	0.0455	0.0358	0.0097
115.00	0.0909	0.0979	0.0070
128.00	0.0455	0.0501	0.0046
278.00	0.0450	0.0477	0.0027

Medias Datos Muestra = 62.0000
 Media Sim. = 63.4700

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5857	0.0857
37.00	0.2500	0.1571	0.0929
56.00	0.2500	0.2571	0.0071

Medias Datos Muestra = 23.7500
 Media Sim. = 20.8000

- | | |
|--|---|
| 1) TPE = 2.38 ± .78 hr. | 2) PES = 4.49 ± .87 % |
| 3) PM ₁ V = 67.07 ± 1.57 % | 3) PM ₂ V = 86.88 ± 1.87 % |
| 3) PM ₂ V = 96.73 ± .95 % | 3) PM ₃ V = 80.02 ± 2.63 % |
| 3) PM ₃ V = 80.10 ± .74 % | 3) PM ₄ V = 71.26 ± 1.37 % |
| 3) PM ₄ V = 45.54 ± 2.05 % | 3) PM ₅ V = 64.83 ± 2.00 % |
| 4) TP ₁ S = 142.42 ± 3.74 hr. | 4) TP ₂ S = 62.63 ± 1.99 hr. |
| 4) TP ₃ S = 24.40 ± 1.04 hr. | 5) TPA = 49.60 ± 1.14 hr. |
| 6) PE _{150,1} E = .01 ± .01 hr. | 6) PE _{150,2} E = .04 ± .03 hr. |
| 6) PE _{150,2} E = 0 ± .01 hr. | 6) PE _{170,1} E = 1.25 ± .32 hr. |
| 6) PE _{170,2} E = .04 ± .01 hr. | 6) PE _{170,3} E = .02 ± .03 hr. |
| 6) PE _{200,1} E = .81 ± .43 hr. | 6) PE _{200,2} E = .18 ± .11 hr. |
| 6) PE _{200,3} E = .03 ± .04 hr. | |
| 7) TPS = 105.24 ± 2.75 hr. | |
| 8) PEA = 176.76 ± 4.07 emb. | |
| 9) PEC = 1.74 ± .22 emb. | |
| 10) MNEC = 3.60 ± .90 emb. | |
| 11) MTE = 278.10 ± 56.40 hr. | |

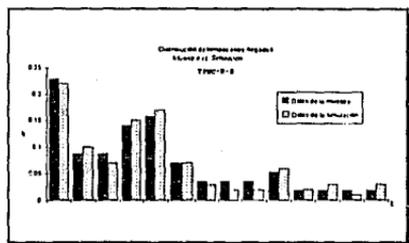


Fig 4.5

La distribución de las llegadas y servicios, de nuevo se asemejan muchísimo a la distribución de los datos de la muestra.

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una

embarcación en el puerto de Manzanillo es exactamente igual al modelo de PEPS-N-R.

- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es aproximadamente igual a la de PEPS-N-R.
- 3) Los muelles son altamente desaprovechados!
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 170 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el mayor tiempo promedio de espera, seguido por las embarcaciones de 200 m. de eslora y tipo de carga 1.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa sólo una pequeña fracción del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 278.1 ± 56.4 hr. La embarcación que registro el mayor tiempo de espera, espero a ser servida 372 hr. que son 15.5 días.

En la simulación TPML-N-R, el comportamiento y objetivo del modelo son iguales que en el de TPMC-N-R, pero se cambia la regla de prioridad de servicio. En la figura 4.7 y en la tabla 4.8, se muestran los datos del tiempo entre llegadas y del tiempo de servicio por tipo de carga. Con este modelo se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) TPE = 2.64 ± 1.05 hr. | 2) PES = 4.14 ± .86 % |
| 3) PM ₁ V = 67.01 ± 2.54 % | 3) PM ₂ V = 87.06 ± 2.13 % |
| 3) PM ₃ V = 97.14 ± .73 % | 3) PM ₄ V = 80.01 ± 1.70 % |
| 3) PM ₅ V = 80.78 ± 1.40 % | 3) PM ₆ V = 70.65 ± .95 % |

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0675	0.0031
26.00	0.1290	0.1113	0.0177
43.00	0.1290	0.1460	0.0170
57.00	0.0968	0.0821	0.0147
66.00	0.0645	0.0620	0.0025
75.00	0.0323	0.0328	0.0005
87.00	0.0968	0.1095	0.0127
98.00	0.0645	0.0529	0.0116
144.00	0.0323	0.0347	0.0024
181.00	0.0323	0.0255	0.0068
294.00	0.0968	0.1058	0.0090
386.00	0.0645	0.0748	0.0103
427.00	0.0645	0.0639	0.0006
452.00	0.0323	0.0310	0.0013
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	141.2400		
Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0818	0.0091
27.00	0.2727	0.2586	0.0141
39.00	0.1818	0.1979	0.0161
44.00	0.0909	0.1108	0.0199
64.00	0.1368	0.1266	0.0102
102.00	0.0455	0.0580	0.0125
115.00	0.0909	0.0818	0.0091
128.00	0.0455	0.0237	0.0218
278.00	0.0450	0.0607	0.0157
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	60.2900		
Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5205	0.0205
37.00	0.2500	0.2603	0.0103
56.00	0.2500	0.2192	0.0308
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	24.4400		

Tabla 4.6

- 3) $PM_1V = 44.68 \pm 2.56 \%$
- 4) $TP_1S = 142.00 \pm 5.30$ hr.
- 4) $TP_2S = 23.91 \pm 3.60$ hr.
- 5) $TPA = 49.87 \pm .92$ hr.
- 6) $PE_{150,1}E = .01 \pm .03$ hr.
- 6) $PE_{150,2}E = .05 \pm .04$ hr.
- 6) $PE_{150,3}E = .01 \pm .01$ hr.
- 6) $PE_{170,1}E = 1.25 \pm .62$ hr.
- 6) $PE_{170,2}E = .04 \pm .02$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E = 0 \pm 0$ hr.
- 6) $PE_{200,1}E = .93 \pm .37$ hr.
- 6) $PE_{200,2}E = .29 \pm .10$ hr.
- 6) $PE_{200,3}E = .06 \pm .06$ hr.
- 7) $TPS = 105.05 \pm 2.91$ hr.
- 8) $PEA = 176.81 \pm 3.31$ emb.
- 9) $PEC = 1.78 \pm .36$ emb.
- 10) $MNEC = 3.40 \pm .60$ emb.
- 11) $MTE = 300.00 \pm 73.08$ hr.

restricción de carga.

- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es aproximadamente igual a los modelos N-R.
- 3) Los muelles son altamente desaprovechados
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 170 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 200 m. de eslora y tipo de carga 1.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa sólo una pequeña fracción del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 300 ± 73 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 503 hr., que son casi 21 días.

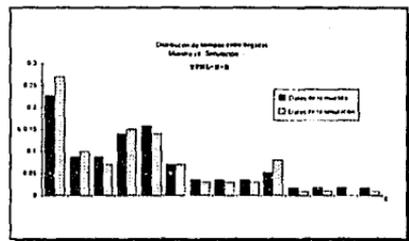


Fig 4.7

La distribución de las llegadas y servicios, de nuevo se asemejan muchísimo a la distribución de los datos de la muestra.

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo no varía mucho con respecto a los modelos con

Lo que estos cuatro modelos sugieren es que el puerto de Manzanillo en su primer trimestre tiene poca ocupación, pero como se ve en la figura 1.2, en los meses de mayo a septiembre la utilización del área de atraque aumenta casi al doble. Esto sugiere que aumenta el tráfico al puerto de Manzanillo en esta temporada.

El propósito de tener un tiempo entre arribos a la mitad del real, no es el de ver si un modelo con un tiempo entre arribos de un periodo de tiempo similar al de la muestra es

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0721	0.0077
26.00	0.1290	0.1351	0.0061
43.00	0.1290	0.1153	0.0137
57.00	0.0968	0.1063	0.0095
66.00	0.0645	0.0505	0.0140
75.00	0.0323	0.0180	0.0143
87.00	0.0968	0.1027	0.0059
98.00	0.0645	0.0703	0.0058
144.00	0.0323	0.0306	0.0017
181.00	0.0323	0.0432	0.0109
294.00	0.0968	0.0919	0.0049
386.00	0.0645	0.0757	0.0112
427.00	0.0645	0.0613	0.0032
452.00	0.0323	0.0270	0.0053
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	142.0000		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0902	0.0007
27.00	0.2727	0.2785	0.0058
39.00	0.1818	0.1883	0.0065
44.00	0.0909	0.0928	0.0019
64.00	0.1368	0.1512	0.0144
102.00	0.0455	0.0159	0.0296
115.00	0.0909	0.0822	0.0087
128.00	0.0455	0.0504	0.0049
278.00	0.0450	0.0504	0.0054
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	61.6200		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.6471	#¡VALOR!
37.00	0.2500	0.1471	0.1029
56.00	0.2500	0.2059	0.0441
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	23.9100		

Tabla 4.8

mejor que aquel que tenga la mitad de tiempo entre arribos. De antemano ya se sabe que el primer caso generará menos colas. El propósito de hacer esto es el de simular el arribo de embarcaciones en temporada alta, y ver como afectan al comportamiento de cada uno de los modelos planteados. Para esta serie de datos se presentarán sus tiempos entre arribos de la simulación vs. los de la muestra, así como las distribuciones de servicio por tipo de carga en el Apéndice 5.

Con la simulación PEPS-½-R se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|---|--|
| 1) TPE = 31.19 ± 5.95 hr. | 2) PES = 30.21 ± 3.36 % |
| 3) PM ₁ V = 49.39 ± 3.07 % | 3) PM ₂ V = 68.07 ± 3.73 % |
| 3) PM ₃ V = 86.20 ± 2.55 % | 3) PM ₄ V = 30.06 ± 4.61 % |
| 3) PM ₅ V = 55.52 ± 1.24 % | 3) PM ₆ V = 52.12 ± 1.47 % |
| 3) PM ₇ V = 19.11 ± 2.35 % | 3) PM ₈ V = 27.33 ± 3.78 % |
| 4) TP ₁ S = 142.74 ± 4.25 hr. | 4) TP ₂ S = 60.95 ± .93 hr. |
| 4) TP ₃ S = 25.19 ± 2.40 hr. | 5) TPA = 24.87 ± .59 hr. |
| 6) PE _{100,1} E = .30 ± .13 hr. | 6) PE _{150,2} E = .91 ± .27 hr. |
| 6) PE _{150,3} E = .20 ± .08 hr. | |
| 6) PE _{170,1} E = 14.98 ± 3.84 hr. | |
| 6) PE _{170,2} E = 1.10 ± .22 hr. | |
| 6) PE _{170,3} E = .30 ± .12 hr. | |
| 6) PE _{200,1} E = 10.68 ± 2.25 hr. | |
| 6) PE _{200,2} E = 2.37 ± .64 hr. | |
| 6) PE _{200,3} E = .35 ± .14 hr. | |
| 7) TPS = 133.61 ± 6.48 hr. | |
| 8) PEA = 352.56 ± 8.56 emb. | |
| 9) PEC = 5.19 ± .85 emb. | |
| 10) MNEC = 11.40 ± 2.03 emb. | |
| 11) MTE = 541.10 ± 125.28 hr. | |

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo aumentó en más de 1000%, aunque el tiempo entre arribos haya sido disminuido tan sólo a la mitad.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es aproximadamente 731% mayor que los modelos N-R.
- 3) Los muelles 7 y 8 son los más ocupados. Son muelles de longitud larga, y atienden tipo de carga 1. Uno de los muelles de 150 m. de longitud es altamente desaprovechado.
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 170 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 200 m. de eslora y tipo de carga 1. En ambos casos el tiempo promedio en la cola aumentó más de 10 veces comparado con los modelos N-R.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa una cuarta parte del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 541 ± 125 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 848 hr. que son más de 35 días.
- 7) Los costos para las navieras por concepto de esperar servicio se volverán excesivos, es necesario encontrar un modelo que disminuya el tiempo de espera para un sistema con intervalos entre arribos pequeños.

Con la simulación PEPS-½-L se obtuvieron los siguientes datos:

- 1) TPE = 8.24 ± 1.91 hr.
- 2) PES = 15.01 ± 1.52 %
- 3) $PM_{1,V}$ = 41.09 ± 2.27 %
- 3) $PM_{1,V}$ = 59.95 ± 2.02 %
- 3) $PM_{2,V}$ = 77.2 ± 3.06 %
- 3) $PM_{2,V}$ = 61.83 ± 4.55 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 48.23 ± 2.28 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 31.47 ± 2.58 %
- 3) $PM_{7,V}$ = 26.04 ± 1.61 %
- 3) $PM_{7,V}$ = 37.29 ± 1.84 %
- 4) $TP_{1,S}$ = 141.24 ± 3.49 hr.
- 4) $TP_{2,S}$ = 60.29 ± 2.67 hr.
- 4) $TP_{3,S}$ = 22.95 ± 1.45 hr.
- 5) TPA = $24.48 \pm .43$ hr.
- 6) $PE_{150,1}E$ = $.17 \pm .14$ hr.
- 6) $PE_{150,2}E$ = $.09 \pm .06$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E$ = $.02 \pm .02$ hr.
- 6) $PE_{170,1}E$ = $2.11 \pm .61$ hr.
- 6) $PE_{170,2}E$ = $1.27 \pm .36$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E$ = $.33 \pm .17$ hr.
- 6) $PE_{200,1}E$ = $2.13 \pm .67$ hr.
- 6) $PE_{200,2}E$ = $1.67 \pm .59$ hr.
- 6) $PE_{200,3}E$ = $.32 \pm .15$ hr.
- 7) TPS = 110.28 ± 3.44 hr.
- 8) PEA = 358.06 ± 6.19 emb.
- 9) PEC = $3.85 \pm .48$ emb.
- 10) MNEC = 7.80 ± 1.99 emb.
- 11) MTE = 236.30 ± 32.18 hr.

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo disminuye en un 74% en comparación al modelo de PEPS-½-R.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es aproximadamente 362% mayor que los modelos N-R, la mitad que el modelo PEPS-½-N.
- 3) El muelle 7 es el más ocupado. Uno de los muelles de 150 m. de longitud es altamente desaprovechado.
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 200 m. de eslora

con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 170 m. de eslora y tipo de carga 1. La diferencia es de tan sólo 1.2 minutos.

- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa una décima parte del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 236 ± 32 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 329 hr. que son aproximadamente 14 días.
- 7) El número promedio de embarcaciones atendidas por año es de 358 embarcaciones.

Con la simulación TPMC-½-R se obtuvieron los siguientes datos:

- 1) TPE = 28.76 ± 10.38 hr.
- 2) PES = 30.28 ± 3.94 %
- 3) $PM_{1,V}$ = 47.62 ± 4.04 %
- 3) $PM_{2,V}$ = 65.63 ± 3.18 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 83.06 ± 3.25 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 31.33 ± 4.99 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 56.29 ± 2.84 %
- 3) $PM_{3,V}$ = 53.47 ± 1.91 %
- 3) $PM_{7,V}$ = 17.51 ± 4.43 %
- 3) $PM_{7,V}$ = 27.23 ± 4.19 %
- 4) $TP_{1,S}$ = 141.57 ± 5.55 hr.
- 4) $TP_{2,S}$ = 60.63 ± 2.86 hr.
- 4) $TP_{3,S}$ = 24.34 ± 1.84 hr.
- 5) TPA = $24.64 \pm .32$ hr.
- 6) $PE_{150,1}E$ = $.38 \pm .39$ hr.
- 6) $PE_{150,2}E$ = $.71 \pm .18$ hr.
- 6) $PE_{150,3}E$ = $.12 \pm .05$ hr.
- 6) $PE_{170,1}E$ = 15.31 ± 7.63 hr.
- 6) $PE_{170,2}E$ = $.81 \pm .32$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E$ = $.12 \pm .04$ hr.
- 6) $PE_{200,1}E$ = 9.05 ± 2.92 hr.
- 6) $PE_{200,2}E$ = $1.89 \pm .61$ hr.
- 6) $PE_{200,3}E$ = $.38 \pm .15$ hr.
- 7) TPS = 131.41 ± 13.29 hr.
- 8) PEA = 355.6 ± 4.67 emb.
- 9) PEC = 5.29 ± 1.09 emb.
- 10) MNEC = 9.60 ± 1.82 emb.
- 11) MTE = 1706.1 ± 1078.9 hr.

De esta simulación se pueden destacar las siguientes observaciones:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo disminuye en un 9% en comparación al modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -N; esto es, 2.43 hr.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es igual que la del modelo PEPS- $\frac{1}{2}$ -N.
- 3) Los muelles 7 y 8 son los más ocupados. Uno de los muelles de 150 m. de longitud es altamente desaprovechado.
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 170 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 200 m. de eslora y tipo de carga 1.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa una cuarta parte del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 1706 \pm 1078 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 4942 hr. que son más de seis meses y medio.
- 7) El hecho de tener un modelo que contemple que una embarcación pueda pasar más de seis meses en cola es irrisorio. Este modelo tiene que ser descartado.

Con la simulación TPML- $\frac{1}{2}$ -R se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|--|---|
| 1) TPE = 59.03 \pm 18.32 hr. | 2) PES = 31.26 \pm 3.26 % |
| 3) PM ₁ V = 49.37 \pm 3.77 % | 3) PM ₂ V = 67.12 \pm 4.69 % |
| 3) PM ₃ V = 83.56 \pm 4.74 % | 3) PM ₄ V = 29.49 \pm 3.31 % |
| 3) PM ₅ V = 54.85 \pm 1.49 % | 3) PM ₆ V = 50.91 \pm 1.77 % |
| 3) PM ₇ V = 18.53 \pm 1.99 % | 3) PM ₈ V = 27.74 \pm 3.12 % |
| 4) TP ₁ S = 143.38 \pm 2.63 hr. | 4) TP ₂ S = 62.05 \pm 1.12 hr. |
| 4) TP ₃ S = 23.61 \pm 1.31 hr. | 5) TPA = 24.75 \pm .53 hr. |
| 6) PE _{150,1} E = .44 \pm .33 hr. | 6) PE _{150,2} E = 1.24 \pm .47 hr. |
| 6) PE _{150,3} E = .27 \pm .14 hr. | |
| 6) PE _{170,1} E = 32.31 \pm 11.37 hr. | |
| 6) PE _{170,2} E = 1.31 \pm .35 hr. | |
| 6) PE _{170,3} E = .20 \pm .11 hr. | |
| 6) PE _{200,1} E = 20.21 \pm 7.09 hr. | |
| 6) PE _{200,2} E = 2.39 \pm .78 hr. | |
| 6) PE _{200,3} E = .67 \pm .52 hr. | |
| 7) TPS = 162.49 \pm 18.60 hr. | |
| 8) PEA = 354.23 \pm 7.42 emb. | |
| 9) PEC = 6.45 \pm 1.27 emb. | |
| 10) MNEC = 17.50 \pm 3.77 emb. | |
| 11) MTE = 2056.2 \pm 665.41 hr. | |

De esta simulación se pueden destacar los siguientes factores:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo registra el valor más alto de todas las simulaciones. Un barco espera en promedio casi 60 hr.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es similar a la que tienen el resto de los modelos $\frac{1}{2}$ -N.
- 3) El muelle 7 es el más ocupado. Esta ocupado el 80% del tiempo. Le sigue el muelle 8, con solo 27% de tiempo ocioso.

- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 170 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 200 m. de eslora y tipo de carga 1. En ambos casos el tiempo promedio en la cola aumento más de 10 veces comparado con los modelos N-R.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa una tercera parte del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 2056 ± 665 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 4071 hr. que son más de 5 meses. ¡Imposible que una embarcación dure esta cantidad de tiempo esperando servicio!
- 7) Este modelo no es aplicable al puerto de Manzanillo, se descarta como opción por su tiempo en cola excesivo.

Hasta este punto es evidente que cuando los intervalos entre llegadas se hacen menores, las colas que se generan son mucho mayores. Si se utiliza un reglamento de prioridades de TPML, el tiempo promedio de espera representa una tercera parte de el tiempo en el sistema. Aunado a esto se generan tiempos de espera que pueden durar más de 5 meses. Por su parte el reglamento de prioridades TPMC, aunque si disminuye el tiempo promedio en cola por dos horas, le plantea la posibilidad a una embarcación

de servicio lento, que puede pasar 6 meses esperando a que un muelle se desocupe.

Por último se presentarán cuatro modelos en los cuales se pretenderá ver el efecto de modificar la longitud del muelle tres, dado que este a lo largo de las simulaciones mostró estar vacío la mayoría del tiempo (hay que recordar que el muelle 1,2,3 son iguales). Se supondrá que la ampliación del muelle podrá ser hecha dada la estructura actual del puerto de Manzanillo. También se supondrá que el costo de ampliar el muelle en 20 m., para los modelos $\frac{1}{2}$ -M, y de ampliar el muelle en 50 m., para los modelos $\frac{1}{2}$ -M1, sera menor que el costo de acondicionar todos los muelles con maquinaria para atender los tipos de carga previstos en este trabajo.*

Con la simulación PEPS- $\frac{1}{2}$ -M se obtuvieron los siguientes datos:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) TPE = 11.66 \pm 2.08 hr. | 2) PES = 19.17 \pm 1.83 % |
| 3) PM_1V = 49.58 \pm 2.84 % | 3) PM_1V = 68.49 \pm 2.77 % |
| 3) PM_2V = 36.74 \pm 2.52 % | 3) PM_2V = 45.11 \pm 2.51 % |
| 3) PM_3V = 56.71 \pm 2.05 % | 3) PM_3V = 51.92 \pm 1.86 % |
| 3) PM_4V = 30.85 \pm 1.88 % | 3) PM_4V = 42.03 \pm 3.27 % |
| 4) TP_1S = 142.91 \pm 2.96 hr. | 4) TP_1S = 61.60 \pm 1.46 hr. |
| 4) TP_2S = 23.94 \pm 1.74 hr. | 5) TPA = 24.66 \pm .43 hr. |
| 6) $PE_{150,1}E$ = .33 \pm .16 hr. | 6) $PE_{150,1}E$ = .71 \pm .29 hr. |

* Se escogieron como M y M1 muelles de longitud de 170 m. y 200 m. respectivamente dado que se observó que los barcos con tipo de carga 1 y eslora de 170 m. obtenían siempre el promedio de espera mayor. El muelle 7, un muelle de 236 m. de largo y con equipo para atender el tipo de carga 1 era el que por lo general estaba ocupado la mayor parte del tiempo.

- 6) $PE_{150,3}E = .16 \pm .06$ hr.
- 6) $PE_{170,1}E = 3.97 \pm 1.04$ hr.
- 6) $PE_{170,2}E = .73 \pm .19$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E = .10 \pm .04$ hr.
- 6) $PE_{200,1}E = 4.13 \pm .63$ hr.
- 6) $PE_{200,2}E = 1.34 \pm .54$ hr.
- 6) $PE_{200,3}E = .21 \pm .11$ hr.
- 7) TPS = 114.71 \pm 2.59 hr.
- 8) PEA = 355.81 \pm 6.11 emb.
- 9) PEC = 3.11 \pm .31 emb.
- 10) MNEC = 7.00 \pm 1.01 emb.
- 11) MTE = 299 \pm 40.25 hr.

De esta simulación se pueden destacar las siguientes observaciones:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo registra un valor relativamente bajo, solo 3 hr. 25 min. más alto que el modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -L.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es poco mayor que la del modelo PEPS- $\frac{1}{2}$ -L.
- 3) El muelle 7 sigue siendo el más ocupado.
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación. El tamaño de la embarcación 200 m. de eslora con tipo de carga 1 registró el tiempo promedio de espera mayor, seguido por las embarcaciones de 170 m. de eslora y tipo de carga 1.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa una décima parte del tiempo total en el sistema.
- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 299 \pm 40 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 385 hr.

Con la simulación PEPS- $\frac{1}{2}$ -M1 se obtuvieron los siguientes datos:

- 1) TPE = 9.15 \pm 1.67 hr.
- 2) PES = 16.43 \pm 1.65 %
- 3) $PM_1V = 50.74 \pm 2.49$ %
- 3) $PM_2V = 67.762.49 \pm 1.85$ %
- 3) $PM_3V = 54.48 \pm 2.34$ %
- 3) $PM_4V = 58.64 \pm 2.24$ %
- 3) $PM_5V = 24.76 \pm 1.99$ %
- 4) $TP_1S = 140.31 \pm 5.56$ hr.
- 4) $TP_2S = 23.64 \pm 1.15$ hr.
- 6) $PE_{150,1}E = .53 \pm .26$ hr.
- 6) $PE_{150,2}E = .34 \pm .12$ hr.
- 6) $PE_{150,3}E = .11 \pm .06$ hr.
- 6) $PE_{170,1}E = .58 \pm .24$ hr.
- 6) $PE_{170,2}E = .07 \pm .04$ hr.
- 6) $PE_{170,3}E = .07 \pm .04$ hr.
- 6) $PE_{200,1}E = 2.72 \pm .59$ hr.
- 6) $PE_{200,2}E = .71 \pm .18$ hr.
- 6) $PE_{200,3}E = .16 \pm .09$ hr.
- 7) TPS = 110.97 \pm 3.69 hr.
- 8) PEA = 354.55 \pm 5.08 emb.
- 9) PEC = 3.41 \pm .30 emb.
- 10) MNEC = 7.20 \pm .88 emb.
- 11) MTE = 304 \pm 31.71 hr.

De esta simulación se pueden destacar las siguientes observaciones:

- 1) El tiempo promedio de espera de una embarcación en el puerto de Manzanillo registra el segundo valor más bajo; solo 54 min. más alto que el modelo PEPS- $\frac{1}{2}$ -L.
- 2) La probabilidad de que una embarcación haga cola es casi igual que la del modelo PEPS- $\frac{1}{2}$ -L.
- 3) El muelle 7 continúa siendo el más ocupado.
- 4) El tipo de carga 1, tiene una alta influencia en el tiempo que espera servicio una embarcación.
- 5) El tiempo de espera de una embarcación representa el 8.25% del tiempo total en el sistema. Esto es sólo .77% más elevado que la

estimación que proporcione el modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -L, y además el intervalo de confianza es menor para el modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -M1.

- 6) Una embarcación puede esperar hasta un máximo de 304 ± 32 hr. La embarcación que registró el mayor tiempo de espera, esperó a ser servida 372 hr, 43 hr. por encima de la estimación obtenida en el modelo PEPS- $\frac{1}{2}$ -L.

Se plantearon otros dos modelos, que se desecharon por tener embarcaciones que pasaban más de un mes esperando servicio. Sin embargo es importante señalar que con uno de estos dos modelos se obtuvo el mismo tiempo promedio de espera para una embarcación que el estimado con el modelo de PEPS- $\frac{1}{2}$ -L. Estos dos modelos son TPMC- $\frac{1}{2}$ -M y TPMC- $\frac{1}{2}$ -M1, y se presentan sus resultados en el apéndice 4 (Intervalos de Confianza).

Con esta serie de simulaciones en BASIC, se pudo determinar de qué manera se comporta el puerto de Manzanillo ante diversas situaciones y cómo pueden ser solucionados problemas de colas con diversas alternativas.

Conclusiones.

En este trabajo se analizó como administrar uno de los aspectos del funcionamiento de un puerto. El problema planteado era de cómo encontrar una manera de incrementar la eficiencia del puerto de Manzanillo. Para esto se analizaron dos herramientas de la administración de operaciones, la Teoría de Colas y la simulación.

La primera de éstas, la Teoría de Colas, es la más adecuada para el análisis de líneas de espera. Sin embargo esta no pudo ser usada, ya que la distribución de los arribos al puerto de Manzanillo en la muestra que se obtuvo del primer trimestre de 1989 y el periodo mayo-octubre de 1992, mostró un comportamiento para el cual no existe solución analítica en la Teoría de Colas.

La segunda, la simulación, que en un principio se iba a usar para comparar los resultados obtenidos en el análisis hecho con

Teoría de Colas, se convirtió en la principal herramienta de análisis de este trabajo.

La distribución de los datos de las llegadas, así como la de los servicios que se obtuvieron en la simulación, son muy parecidas a las distribuciones obtenidas en las muestras del puerto de Manzanillo. Esto nos lleva a deducir que el comportamiento del modelo será muy similar al que tenga el sistema real.

Las estimaciones, y es importante reafirmar que los resultados que se obtienen con una simulación son "*estimaciones*", que se obtuvieron con la simulación sugieren que el tiempo promedio que espera una embarcación no es muy alto. De hecho, el puerto de Manzanillo muestra una eficiencia muy alta para la distribución de arribos que tuvo en el primer trimestre de 1989, comportamiento que se repite en el periodo mayo-octubre de 1992. El reglamento de primeras entradas, primeras

salidas **PEPS**, con la maquinaria de servicio distribuida como se tiene en los muelles así como la longitud de estos está muy bien diseñada para responder a las necesidades de embarcaciones que se comporten como aquéllas de la muestra.

Sin embargo de disminuir el tiempo entre arribos por parte de las embarcaciones, como se prevé que suceda a mediados de la década de los noventa (con la firma del TLC), el tamaño de las colas, el tiempo promedio de espera y el máximo tiempo en una cola, aumentan dramáticamente.

Las simulaciones corridas con modelos formulados en **BASIC** sugieren que de aumentarse uno de los muelles de 150 metros de largo, acondicionados para atender el tipo de carga 1, a 200 metros, se podrá reducir el tiempo promedio en la cola en un 70%. Asimismo este modelo sugiere que la probabilidad de esperar servicio será la mitad si se amplía 50 metros uno de los muelles de 150 metros (hay que recordar que los muelles 1,2 y 3 son iguales: 150 m., tipo de carga General ó la carga del tipo 1).

Los modelos de tiempo de proceso más corto **TPMC** y tiempo de proceso más largo **TPML**, mostraron ser muy ineficientes, no tanto por incrementar los tiempos promedios de espera, que se asemejaban mucho a los de los modelos **PEPS**, sino por registrar una embarcación que tiene un tiempo de espera muy elevado.

El tiempo de servicio de embarcaciones que transportan carga general es muy superior a aquélla que viene en contenedores. Si una embarcación descarga o carga mercancía que venga como general y con contenedores, el tiempo de servicio se reduce en más de un 50%. Si la mercancía viene puramente en contenedores, el tiempo de servicio disminuye en un 85% aproximadamente.

De la misma manera **TODOS** los modelos mostraron una relación muy elevada entre el tiempo de espera y el tipo de carga. Mientras que las embarcaciones que transportan tipo de carga 2 (*general y contenedores*) y 3 (*contenedores*) tienen tiempos de espera muy pequeños, (de minutos), las embarcaciones que transportan carga del tipo uno esperaban horas,

(en promedio el tiempo de espera de una embarcación con tipo de carga 1 será diez veces mayor al tiempo de espera de las embarcaciones con tipo de carga 2 ó 3).

Es imperativo que si en el puerto de Manzanillo se desea aumentar el número de embarcaciones atendidas al año, se deberán dar incentivos a las compañías navieras para que transporten su mercancía en contenedores. De hecho las autoridades del puerto están tomando medidas para ampliar el servicio de embarcaciones con contenedores, ya que se están empezando a ampliar los patios para almacenar contenedores.

Como se vió en el capítulo dos, las distribuciones de los arribos a un centro de servicio pueden ser alterados por el servidor en el largo plazo. El atender más embarcaciones beneficia al puerto, a sus habitantes, al país y al comercio internacional. El puerto de Manzanillo puede aumentar al doble la cantidad de embarcaciones atendidas por año, con hacer unas cuantas modificaciones en la estructura de sus muelles.

Es necesario hacer mejor uso de los recursos que se tienen a la mano para poder incrementar los beneficios que dejan los puertos sin incurrir en gastos excesivos.

El puerto de Manzanillo sólo se analizó en uno de sus sub-sistemas y a su vez Manzanillo es solo un sub-sistema del sistema nacional de puertos. Este trabajo sirvió para analizar este sub-sistema muy particular pero deja la puerta abierta para estudiar el resto de los sub-sistemas que comprende el sistema nacional de puertos mexicanos, en sus múltiples disciplinas; económicas, políticas, sociales, legales, administrativas, y por supuesto ingenieriles.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, Román. Administración Portuaria en el Puerto de Manzanillo, Investigación de Campo, México D.F., Abril 1991.

Banks, Jerry y J.S. Carson. Discrete-Event System Simulation. New Jersey, Prentice-Hall, 1984.

Chase, Richard B. y N.J. Aquilano. Production and operations management: a life cycle approach. 2a. ed. USA, IRWIN, 1977.

Chisman, James A. Introduction to Simulation Modeling using GPSS/PC. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1992.

Cochran, William G. Técnicas de Muestreo. Trad. Eduardo Casas Diaz, México, Compañía Editorial Continental, 1978.

Coss Bú, Raúl. Simulación un Enfoque Práctico. 1a. ed. México, Limusa, 1982.

Diccionario Enciclopédico UTEHA. México, UTEHA, 1951. 10 Tomos.

Larousse Diccionario Moderno: Español-Inglés. México, Larousse, 1983.

Lee, Alec M. Applied Queueing Theory. New York, St Martin's Press, 1966.

MacDougall, M.H. Simulating Computer Systems Techniques and Tools. USA, The MIT Press, 1987.

Ronen, David. "Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems". Journal of Operational Research. 12 119-126. Diciembre, 1983.

Ronen, David. "Review of cargo ships routing and scheduling". Journal of Business Logistics. 5 (1) 113-125. Mayo, 1984.

Schriber, Thomas J. An Introduction to Simulation using GPSS/H, USA, John Wiley & Sons, 1991.

Smith, Jon M. Mathematical modeling and Digital Simulation for Engineers and Scientists. USA, John Wiley & Sons, 1977.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	#GUIA	ARRIBO PUERTO		ATRAQUE		INICIO OPER.		TERMINO OPER.		DESATRAQUE
3		FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA
3	2	23/12/88	13.17	23/12/88	13.50	23/12/88	15.25	31/12/88	4.75	31/12/88
4	4	16/12/88	8.00	17/12/88	9.08	19/12/88	10.25	31/12/88	11.75	31/12/88
5	6	26/12/88	18.67	26/12/88	19.08	27/12/88	9.00	29/12/88	0.75	29/12/88
6	8	4/01/89	8.75	4/01/89	9.17	4/01/89	10.50	5/01/89	17.25	6/01/89
7	12	26/12/88	6.17	26/12/88	6.67	26/12/88	15.50	7/01/89	5.25	7/01/89
8	14	6/01/89	17.50	6/01/89	17.92	6/01/89	21.50	8/01/89	18.00	8/01/89
9	16	6/01/89	9.42	6/01/89	9.67	6/01/89	10.50	10/01/89	1.00	10/01/89
10	18	15/01/89	10.17	15/01/89	10.50	15/01/89	15.75	16/01/89	3.00	16/01/89
11	20	25/12/88	9.25	25/12/88	9.75	27/12/88	16.00	15/01/89	12.00	15/01/89
12	22	2/01/89	8.42	2/01/89	8.58	4/01/89	15.00	17/01/89	1.75	17/01/89
13	24	16/01/89	16.17	16/01/89	16.50	16/01/89	21.00	18/01/89	1.75	18/01/89
14	26	16/01/89	15.25	16/01/89	15.58	16/01/89	16.50	19/01/89	11.75	19/01/89
15	28	16/01/89	20.92	16/01/89	21.25	17/01/89	9.50	19/01/89	23.50	20/01/89
16	30	24/01/89	8.08	24/01/89	8.42	24/01/89	9.75	26/01/89	15.50	26/01/89
17	32	26/01/89	18.25	26/01/89	18.58	26/01/89	21.00	28/01/89	12.50	28/01/89
18	34	9/01/89	12.17	9/01/89	12.67	11/01/89	15.75	28/01/89	22.00	28/01/89
19	36	18/01/89	11.58	18/01/89	12.25	18/01/89	15.75	30/01/89	19.50	31/01/89
20	38	31/01/89	7.75	31/01/89	8.00	31/01/89	10.25	2/02/89	18.00	2/02/89
21	40	31/01/89	7.00	31/01/89	7.33	31/01/89	9.75	3/02/89	12.50	3/02/89
22	42	3/02/89	16.75	3/02/89	17.00	3/02/89	20.00	5/02/89	1.00	5/02/89
23	44	4/02/89	8.25	4/02/89	8.50	4/02/89	10.25	6/02/89	22.75	7/02/89
24	46	7/02/89	11.00	7/02/89	11.42	7/02/89	16.25	9/02/89	12.50	9/02/89
25	48	22/01/89	8.25	22/01/89	8.75	22/01/89	9.25	6/02/89	23.25	7/02/89
26	50	11/02/89	6.25	11/02/89	6.67	11/02/89	10.00	13/02/89	19.25	13/02/89
27	52	14/02/89	6.25	14/02/89	6.58	14/02/89	8.50	15/02/89	16.25	15/02/89
28	54	28/01/89	6.67	30/01/89	6.92	31/01/89	9.50	16/02/89	23.25	17/02/89
29	56	17/02/89	8.25	17/02/89	8.75	17/02/89	9.50	18/02/89	2.75	18/02/89
30	58	15/02/89	18.92	15/02/89	19.17	16/02/89	9.50	18/02/89	5.75	18/02/89
31	60	20/02/89	22.08	20/02/89	22.50	20/02/89	23.50	22/02/89	0.25	22/02/89
32	62	20/02/89	6.42	20/02/89	6.67	20/02/89	8.50	22/02/89	22.75	23/02/89
33	64	19/02/89	19.67	19/02/89	20.00	19/02/89	21.75	23/02/89	11.50	23/02/89
34	64	22/02/89	17.00	22/02/89	17.33	22/02/89	21.00	24/02/89	14.50	25/02/89
35	66	24/02/89	14.25	24/02/89	14.50	24/02/89	15.50	1/03/89	6.50	1/03/89
36	70	11/02/89	11.33	11/02/89	11.67	11/02/89	15.75	1/03/89	23.50	2/03/89
37	72	28/02/89	23.50	28/02/89	24.00	1/03/89	8.50	2/03/89	17.75	2/03/89
38	74	2/03/89	10.08	2/03/89	10.42	2/03/89	20.50	3/03/89	19.50	3/03/89
39	76	2/03/89	17.75	2/03/89	18.08	2/03/89	20.75	4/03/89	14.50	4/03/89
40	78	27/02/89	12.42	2/03/89	9.75	3/03/89	8.75	4/03/89	20.50	5/03/89
41	80	2/03/89	14.17	2/03/89	14.50	3/03/89	20.50	7/03/89	12.50	7/03/89
42	82	26/02/89	15.33	26/02/89	15.83	26/02/89	20.25	3/03/89	2.00	3/03/89
43	84	3/03/89	6.75	3/03/89	7.00	3/03/89	8.00	8/03/89	6.00	8/03/89
44	86	8/03/89	10.50	8/03/89	10.75	8/03/89	15.00	8/03/89	16.00	8/03/89
45	88	4/03/89	13.08	4/03/89	13.42	4/03/89	17.00	8/03/89	17.75	8/03/89
46	90	6/03/89	16.83	6/03/89	17.25	6/03/89	20.50	8/03/89	16.50	9/03/89
47	92	8/03/89	13.58	8/03/89	13.92	8/03/89	16.00	12/03/89	19.50	12/03/89
48	94	16/03/89	9.92	16/03/89	10.33	16/03/89	15.00	16/03/89	16.75	16/03/89
49	96	14/03/89	6.58	14/03/89	6.92	14/03/89	8.75	17/03/89	3.00	17/03/89
50	98	18/03/89	7.83	18/03/89	8.08	18/03/89	9.50	19/03/89	6.25	19/03/89
51	100	18/03/89	5.92	18/03/89	6.25	18/03/89	8.00	20/03/89	0.75	20/03/89
52	102	22/03/89	5.50	22/03/89	6.00	22/03/89	8.00	23/03/89	23.00	23/03/89
53	104	22/03/89	6.58	22/03/89	7.08	22/03/89	9.50	23/03/89	22.00	24/03/89
54	106	18/03/89	7.83	18/03/89	16.33	18/03/89	21.00	24/03/89	4.50	24/03/89
55	108	27/03/89	8.50	27/03/89	8.83	27/03/89	10.50	28/03/89	4.50	28/03/89
56	110	21/03/89	21.00	21/03/89	21.33	22/03/89	9.00	28/03/89	9.00	28/03/89
57	112	28/03/89	7.25	28/03/89	7.50	28/03/89	9.00	28/03/89	15.00	28/03/89
58	114	28/03/89	0.75	26/03/89	1.08	27/03/89	8.50	28/03/89	23.50	29/03/89
59	116	29/03/89	15.33	29/03/89	15.67	29/03/89	16.00	30/03/89	18.00	31/03/89
60	118	28/03/89	14.50	28/03/89	14.92	28/03/89	17.75	31/03/89	11.75	31/03/89

1	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
2	VE	SALIDA PUERTO	ESLORA	TIPO DE	MUELLE	TIEMPO EN	TIEMPO EN	TIEMPO DE	
3	HORA	FECHA	(M)	CARGA		PUERTO	MUELLE	OPERACION	
3	8.25	31/12/88	8.75	162.74	1	3	187.58	186.75	181.50
4	14.58	31/12/88	15.17	164.00	1	8	367.17	341.50	289.50
5	8.42	31/12/88	20.92	198.89	2	4	122.25	61.34	39.75
6	6.67	6/01/89	6.92	145.54	2	4	46.17	45.50	30.75
7	8.33	7/01/89	8.58	156.97	2	7	290.41	289.66	277.75
8	18.67	8/01/89	19.00	196.04	2	4	49.50	48.75	44.50
9	6.25	10/01/89	6.50	135.00	1	3	93.08	92.58	86.50
10	8.08	16/01/89	8.33	162.00	2	2	22.16	21.58	11.25
11	17.17	16/01/89	19.50	144.00	1	6	538.25	511.42	452.00
12	10.25	17/01/89	10.50	169.54	1	8	362.08	361.67	298.75
13	6.58	18/01/89	6.92	198.89	2	4	38.75	38.08	28.75
14	13.00	19/01/89	13.25	146.00	2	3	70.00	69.42	67.25
15	9.33	20/01/89	9.67	180.70	2	1	84.75	84.08	62.00
16	16.83	26/01/89	17.17	135.00	1	3	57.09	56.41	53.75
17	14.25	28/01/89	14.58	196.04	2	4	44.33	43.67	39.50
18	22.92	28/01/89	23.25	159.76	1	7	467.08	466.25	414.25
19	6.25	31/01/89	6.58	179.21	1	8	307.00	306.00	291.75
20	19.17	2/02/89	19.67	139.56	3	2	59.92	59.17	55.75
21	14.17	3/02/89	14.50	155.88	1	1	79.50	78.84	74.75
22	16.25	5/02/89	16.50	198.89	2	4	47.75	47.25	29.00
23	8.25	7/02/89	8.58	135.00	1	3	72.33	71.75	60.50
24	12.92	9/02/89	13.17	155.75	1	2	50.17	49.50	44.25
25	7.33	7/02/89	8.00	164.35	1	6	383.75	382.58	374.00
26	21.25	13/02/89	21.58	181.68	1	2	63.33	62.58	57.25
27	18.33	15/02/89	18.67	128.30	1	3	36.42	35.75	31.75
28	11.00	17/02/89	11.17	173.50	1	7	484.50	436.08	397.75
29	6.83	18/02/89	7.08	162.00	2	2	22.83	22.08	17.25
30	12.17	18/02/89	13.33	164.35	1	4	66.41	65.00	44.25
31	1.50	22/02/89	1.75	186.54	2	4	27.67	27.00	24.75
32	0.08	23/02/89	0.33	164.30	2	1	65.91	65.41	62.25
33	13.83	23/02/89	14.08	135.00	1	3	90.41	89.83	85.75
34	11.00	25/02/89	11.42	164.35	1	4	66.42	65.67	41.50
35	8.67	1/03/89	8.92	146.00	2	1	114.67	114.17	111.00
36	8.67	2/03/89	8.92	169.54	1	8	453.59	453.00	439.75
37	19.25	2/03/89	19.67	168.50	1	4	44.17	43.25	33.25
38	23.25	3/03/89	23.58	181.62	2	5	37.50	36.83	23.00
39	16.75	4/03/89	17.00	128.30	1	3	47.25	46.67	41.75
40	10.67	5/03/89	10.92	109.04	1	8	142.50	72.92	35.75
41	14.33	7/03/89	14.67	150.37	1	6	120.50	119.83	88.00
42	6.50	3/03/89	6.75	153.97	2	7	111.42	110.67	101.75
43	6.42	8/03/89	6.75	153.97	2	1	120.00	119.42	118.00
44	19.25	8/03/89	19.67	162.43	3	2	9.17	8.50	1.00
45	19.58	8/03/89	20.00	170.70	1	7	102.92	102.16	96.75
46	8.25	9/03/89	8.67	198.89	2	4	63.84	63.00	44.00
47	21.67	12/03/89	21.92	135.00	1	3	104.34	103.75	99.00
48	17.67	16/03/89	18.00	150.17	3	5	8.08	7.34	1.75
49	7.08	17/03/89	7.58	154.37	1	4	73.00	72.16	66.25
50	6.33	19/03/89	6.58	94.50	1	2	22.75	22.25	20.75
51	5.42	20/03/89	5.75	128.30	1	3	47.83	47.17	40.75
52	23.58	23/03/89	23.83	154.80	2	4	42.33	41.58	39.00
53	1.17	24/03/89	1.50	196.04	3	5	42.92	42.09	36.50
54	7.83	24/03/89	8.17	161.54	2	1	144.34	135.50	127.50
55	6.42	28/03/89	7.00	139.56	1	4	22.50	21.59	18.00
56	11.33	28/03/89	11.58	135.00	1	3	158.58	158.00	144.00
57	16.67	28/03/89	17.08	162.00	3	2	9.83	9.17	6.00
58	0.25	29/03/89	0.75	181.63	2	1	72.00	71.17	39.00
59	6.33	31/03/89	6.92	198.89	2	4	39.59	38.66	26.00
60	14.42	31/03/89	14.75	193.84	1	5	72.25	71.50	66.00

1	A	B	F	G	K	L	P	Q
2	Nombre		ARRIBO	PUERTO	A T R A C O		INICIO OPERACION	
3			FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA
3	59	TOLUCA	02-Jul-92	07:00 AM	02-Jul-92	07:16 AM	02-Jul-92	08:52 AM
4	61	MORIDIO Q	03-Jul-92	06:23 AM	03-Jul-92	07:16 AM	06-Jul-92	02:29 PM
5	63	MASTRO.GI	03-Jul-92	12:31 PM	03-Jul-92	01:12 PM	03-Jul-92	04:59 PM
6	65	LADY ULLA	06-Jul-92	06:51 AM	06-Jul-92	07:12 AM	06-Jul-92	12:43 PM
7	67	GUAYAQUIL	07-Jul-92	06:50 AM	07-Jul-92	07:16 AM	08-Jul-92	01:48 AM
8	69	INDIAM	08-Jul-92	08:16 AM	08-Jul-92	08:24 AM	08-Jul-92	12:14 PM
9	71	NIDLIDYD	10-Jul-92	06:23 AM	10-Jul-92	07:16 AM	10-Jul-92	08:47 AM
10	73	JOVIALITY	10-Jul-92	08:52 AM	10-Jul-92	07:16 PM	10-Jul-92	01:59 PM
11	75	AREMAR	10-Jul-92	10:19 PM	10-Jul-92	10:32 PM	11-Jul-92	10:00 AM
12	77	OAXACA	12-Jul-92	07:16 AM	12-Jul-92	05:15 PM	12-Jul-92	09:14 PM
13	79	GLORIA	14-Jul-92	07:45 AM	14-Jul-92	08:09 AM	14-Jul-92	09:50 AM
14	83	BETA	14-Jul-92	09:14 PM	14-Jul-92	09:21 PM	14-Jul-92	11:21 PM
15	85	MASTRO.GI	14-Jul-92	11:13 PM	14-Jul-92	11:24 PM	15-Jul-92	01:49 AM
16	87	AMEHSIAND	15-Jul-92	07:49 AM	15-Jul-92	08:19 AM	15-Jul-92	03:50 PM
17	89	FITONIA	16-Jul-92	01:14 PM	16-Jul-92	01:26 PM	16-Jul-92	04:48 PM
18	91	LUGATI	17-Jul-92	07:59 PM	17-Jul-92	08:16 PM	18-Jul-92	10:19 PM
19	93	PORTURA 3	18-Jul-92	03:50 PM	18-Jul-92	04:16 PM	20-Jul-92	09:50 AM
20	95	LAKE.GIO	18-Jul-92	10:00 PM	18-Jul-92	11:16 PM	19-Jul-92	10:26 AM
21	97	ATLAS	19-Jul-92	07:33 AM	19-Jul-92	08:00 AM	23-Jul-92	09:25 AM
22	99	SENSEI	19-Jul-92	09:14 AM	19-Jul-92	09:23 AM	20-Jul-92	10:00 AM
23	101	MORELOS	22-Jul-92	06:30 AM	22-Jul-92	07:16 AM	22-Jul-92	09:00 AM
24	103	REP. COLO	24-Jul-92	07:59 AM	24-Jul-92	09:15 AM	24-Jul-92	10:26 AM
25	105	MASTRO.GI	24-Jul-92	03:50 PM	24-Jul-92	04:00 PM	24-Jul-92	07:59 PM
26	107	EXPRESS	24-Jul-92	07:14 PM	25-Jul-92	07:58 AM	25-Jul-92	08:52 AM
27	109	RIESA	26-Jul-92	01:00 AM	26-Jul-92	10:26 AM	26-Jul-92	12:50 PM
28	111	VERBENA	26-Jul-92	07:00 AM	26-Jul-92	07:33 AM	27-Jul-92	08:24 AM
29	113	NEDLLOXP	27-Jul-92	06:24 AM	27-Jul-92	06:51 AM	27-Jul-92	08:24 AM
30	115	BUTO ALEO	27-Jul-92	07:40 AM	27-Jul-92	07:59 AM		
31	117	ORLANDIA	29-Jul-92	11:22 AM	04-Ago-92	07:59 PM	04-Ago-92	02:49 PM
32	121	ERIKSON	30-Jul-92	06:30 AM	30-Jul-92	06:40 AM	30-Jul-92	06:50 AM
33	123	COLIMA	31-Jul-92	09:00 AM	31-Jul-92	09:50 AM	31-Jul-92	10:46 AM
34	125	COLIMA	31-Jul-92	09:00 AM	31-Jul-92	10:00 AM	31-Jul-92	10:48 AM
35	127	FORUASIM	03-Ago-92	06:33 PM	03-Ago-92	07:00 PM	04-Ago-92	10:00 AM
36	129	MANTRO G	04-Ago-92	09:00 PM	04-Ago-92	09:04 PM	04-Ago-92	10:48 PM
37	131	FORTUNA 1	04-Ago-92	10:00 PM	04-Ago-92	11:26 PM	06-Ago-92	07:59 AM
38	133	CELIA DAN	05-Ago-92	07:12 AM	05-Ago-92	07:58 AM	07-Ago-92	10:00 AM
39	135	TAISHAN	05-Ago-92	04:59 PM	05-Ago-92	05:06 PM	05-Ago-92	05:52 PM
40	137	FEETAL	06-Ago-92	07:00 AM	06-Ago-92	07:45 AM	06-Ago-92	09:50 AM
41	139	NOMATIC	06-Ago-92	06:21 PM	06-Ago-92	06:43 PM	07-Ago-92	09:00 AM
42	141	HIUNDAI	07-Ago-92	12:28 PM	07-Ago-92	12:25 PM	07-Ago-92	03:00 PM
43	143	MORELIA	09-Ago-92	12:25 AM	09-Ago-92	01:59 PM	09-Ago-92	03:25 PM
44	145	LAKEGEORG	09-Ago-92	11:02 AM	09-Ago-92	01:00 PM	09-Ago-92	10:59 PM
45	147	MONTERREY	10-Ago-92	03:05 PM	10-Ago-92	03:50 PM	10-Ago-92	04:48 PM
46	149	MADRAS	11-Ago-92	06:51 AM	11-Ago-92	07:00 AM	11-Ago-92	08:24 AM
47	151	DANIA MA	12-Ago-92	07:00 AM	12-Ago-92	07:26 AM	12-Ago-92	07:59 AM
48	153	TRIBIO C	12-Ago-92	07:33 AM	12-Ago-92	08:52 AM	12-Ago-92	11:26 AM
49	155	IRENES	12-Ago-92	08:00 AM	12-Ago-92	12:57 PM	18-Ago-92	08:49 AM
50	157	CASTRO.G	13-Ago-92	10:50 AM	13-Ago-92	10:59 AM	13-Ago-92	03:00 PM
51	159	PAN EXPRE	15-Ago-92	03:00 PM	15-Ago-92	03:51 PM	15-Ago-92	05:55 PM
52	161	HITLA	19-Ago-92	10:59 PM	20-Ago-92	12:31 AM	20-Ago-92	01:59 AM
53	163	EXPRESS	20-Ago-92	06:21 PM	20-Ago-92	07:00 PM	21-Ago-92	08:51 AM
54	165	MASTRO.G	22-Ago-92	08:41 AM	22-Ago-92	09:00 PM	22-Ago-92	10:48 PM
55	167	AFELINA	24-Ago-92	01:33 AM	24-Ago-92	02:13 AM	25-Ago-92	07:49 PM
56	169	MAYORBASI	24-Ago-92	02:29 PM	24-Ago-92	03:31 PM	27-Ago-92	07:59 AM

	U	V	Z	AA	AE	AF	AG	AH	AI
1	TERMINO	OPERACION	DESATRAQUE		SALIDA	PUERTO	ESLORA	TIPO DE	MUELLE
2	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	(M)	CARGA	
3	03-Jul-92	05:45 PM	03-Jul-92	06:14 PM	03-Jul-92	06:30 PM	198.89	3	4
4	10-Jul-92	06:00 PM	10-Jul-92	01:26 PM	10-Jul-92	08:16 PM	178	1	7
5	06-Jul-92	11:24 PM	07-Jul-92	01:59 AM	07-Jul-92	02:52 AM	180.64	1	5.6
6	06-Jul-92	09:00 AM	06-Jul-92	07:26 PM	06-Jul-92	07:53 PM	146	1	4
7	20-Jul-92	04:00 PM	20-Jul-92	07:49 PM	20-Jul-92	08:09 PM	186.21	1	6
8	10-Jul-92	10:48 AM	11-Jul-92	08:42 AM	11-Jul-92	09:14 AM	155.23	1	3
9	10-Jul-92	03:21 PM	10-Jul-92	06:14 PM	10-Jul-92	04:59 PM	186.13	3	4
10	11-Jul-92	09:00 PM	11-Jul-92	09:28 PM	11-Jul-92	09:43 PM	192.88	1	3
11	16-Jul-92	06:00 PM	16-Jul-92	08:24 PM	16-Jul-92	08:52 PM	99.2	1	5.4
12	20-Jul-92	07:59 PM	14-Jul-92	10:00 PM	14-Jul-92	10:52 PM	199.06	2	4
13	16-Jul-92	09:00 AM	16-Jul-92	10:19 AM	16-Jul-92	10:48 AM		1	4
14	16-Jul-92	09:50 PM	17-Jul-92	10:19 AM	17-Jul-92	10:50 AM	183.6	1	ESTE
15	18-Jul-92	08:24 PM	18-Jul-92	09:57 PM	18-Jul-92	10:14 PM	180.64	1	5
16	21-Jul-92	02:52 PM	21-Jul-92	03:15 PM	23-Jul-92	07:59 PM	159	1	1
17	25-Jul-92	03:00 PM	25-Jul-92	05:15 PM	25-Jul-92	05:24 PM	146.07	1	3
18	19-Jul-92	12:28 PM	19-Jul-92	01:00 AM	19-Jul-92	01:40 AM	164.1	3	7
19	24-Jul-92	03:50 PM	24-Jul-92	05:52 PM	24-Jul-92	06:00 PM	195.65	1	8
20	26-Jul-92	04:00 PM	26-Jul-92	06:00 PM	27-Jul-92	05:52 AM	198.16	1	5.6
21	10-Ago-92	04:50 AM	10-Ago-92	08:00 AM	19-Ago-92	06:24 PM	173.15	1	ST3
22	25-Jul-92	10:59 PM	26-Jul-92	09:21 AM	26-Jul-92	05:24 PM	155.23	1	3
23	23-Jul-92	06:00 PM	23-Jul-92	08:15 PM	23-Jul-92	08:24 PM	198.79	2	4
24	24-Jul-92	07:00 PM	24-Jul-92	10:00 PM	24-Jul-92	10:48 PM	158.99	1	4
25	27-Jul-92	06:00 AM	28-Jul-92	08:16 AM	28-Jul-92	09:15 AM	180.64	1	5
26	26-Jul-92	12:00 PM	26-Jul-92	05:24 PM	26-Jul-92	05:29 PM	155.23	1	4
27	26-Jul-92	08:52 PM	26-Jul-92	10:50 PM	26-Jul-92	11:16 PM	146.07	1	3
28	27-Jul-92	10:19 AM	28-Jul-92	03:25 PM	28-Jul-92	07:26 PM	167.8	1	1
29	27-Jul-92	12:25 PM	27-Jul-92	01:43 PM	27-Jul-92	02:15 PM	186.13	3	3
30	#;NUM!		06-Ago-92	05:02 PM	06-Ago-92	05:16 PM	151.04	1	6
31	15-Ago-92	08:51 PM	15-Ago-92	04:59 PM	15-Ago-92	03:33 PM	187	1	5
32	30-Jul-92	04:00 PM	30-Jul-92	04:12 PM	30-Jul-92	06:31 PM	109	1	3
33	01-Ago-92	04:29 PM	01-Ago-92	06:33 PM	01-Ago-92	07:00 PM	196.04	3	4
34	01-Ago-92	04:26 PM	01-Ago-92	06:31 PM	01-Ago-92	07:00 PM	196.4	3	4
35	23-Ago-92	01:49 PM	23-Ago-92	04:33 PM	23-Ago-92	04:43 PM	182.57	1	JOESTE
36	08-Ago-92	01:00 AM	08-Ago-92	06:37 AM	08-Ago-92	07:00 AM	180.64	1	5
37	11-Ago-92	01:00 AM	11-Ago-92	05:45 AM	11-Ago-92	06:00 AM	105.65	1	3.8
38	14-Ago-92	12:00 PM	14-Ago-92	01:19 PM	14-Ago-92	01:58 PM	144.25	1	7
39	08-Ago-92	07:59 PM	08-Ago-92	09:00 PM	08-Ago-92	11:45 PM	153.15	1	1
40	07-Ago-92	12:00 PM	07-Ago-92	02:31 PM	07-Ago-92	02:57 PM	121.83	1	CONT
41	18-Ago-92	12:00 PM	18-Ago-92	03:17 PM	18-Ago-92	03:30 PM	179	1	*
42	08-Ago-92	03:00 PM	08-Ago-92	03:28 PM	08-Ago-92	03:57 PM	186.3	1	OESTE
43	13-Ago-92	04:50 PM	13-Ago-92	06:00 PM	13-Ago-92	06:50 PM	173.1	2	1
44	12-Ago-92	10:59 PM	12-Ago-92	12:00 AM	13-Ago-92	12:31 AM	196.16	3	5
45	12-Ago-92	01:59 PM	12-Ago-92	03:00 PM	12-Ago-92	03:08 PM	199.06	1	3
46	11-Ago-92	04:48 PM	11-Ago-92	04:10 PM	11-Ago-92	04:49 PM	186.13	3	8
47	12-Ago-92	11:29 PM	13-Ago-92	01:14 AM	13-Ago-92	01:40 AM	188.21	1	8.2
48	14-Ago-92	05:51 PM	14-Ago-92	05:52 PM	14-Ago-92	05:47 PM	132	1	FONDE P
49	29-Ago-92	08:00 AM	29-Ago-92	10:59 AM	29-Ago-92	11:52 AM	177	1	5.6
50	16-Ago-92	09:51 PM	16-Ago-92	10:00 PM	16-Ago-92	10:50 PM	180.64	1	5
51	17-Ago-92	11:24 AM	17-Ago-92	01:26 PM	17-Ago-92	01:59 PM	181.44	1	ESTE
52	21-Ago-92	05:00 AM	22-Ago-92	06:33 AM	22-Ago-92	07:00 AM	196.41	1	4
53	22-Ago-92	06:25 PM	22-Ago-92	09:24 PM	22-Ago-92	09:56 PM	155.22	3	3
54	25-Ago-92	10:24 PM	25-Ago-92	12:00 AM	26-Ago-92	12:51 AM	180.64	1	5
55	09-Sep-92	10:59 AM	09-Sep-92	01:33 PM	09-Sep-92	02:13 PM	128.77	1	3
56	29-Ago-92	09:00 PM	30-Ago-92	09:50 AM	30-Ago-92	10:00 AM	173.16	1	7

	U	V	Z	AA	AE	AF	AG	AH	AI
57	03-Sep-92	10:48 AM	03-Sep-92	03:57 PM	03-Sep-92	03:24 PM	152.8	1	8
58	15-Sep-92	11:49 PM	16-Sep-92	08:13 AM	16-Sep-92	07:59 PM	186.1	1	OESTE
59	30-Ago-92	10:49 AM	30-Ago-92	11:15 AM	30-Ago-92	11:02 AM	161	1	4
60	29-Ago-92	03:00 AM	29-Ago-92	06:33 AM	29-Ago-92	07:00 AM	186.13	3	1
61	02-Sep-92	06:53 PM	02-Sep-92	08:52 PM	02-Sep-92	09:00 PM	198.85	3	4
62	04-Sep-92	06:00 AM	04-Sep-92	10:00 AM	04-Sep-92	10:23 AM	180.64	1	5
63	01-Sep-92	07:00 PM	01-Sep-92	09:25 PM	01-Sep-92	10:00 PM	161.82	3	6
64	11-Sep-92	04:24 AM	12-Sep-92	07:09 AM	12-Sep-92	07:39 AM	154.33	1	6
65	08-Sep-92	09:00 PM	09-Sep-92	08:34 PM	09-Sep-92	02:49 PM	107.55	1	7
66	12-Sep-92	02:13 PM	16-Sep-92	10:14 PM	16-Sep-92	06:00 PM	93.8	1	8.2
67	06-Sep-92	07:24 PM	06-Sep-92	12:00 AM	06-Sep-92	12:24 PM	162.2	1	4
68	05-Sep-92	12:48 AM	05-Sep-92	08:13 AM	05-Sep-92	06:14 PM	187.62	3	1
69	06-Sep-92	03:59 AM	06-Sep-92	07:33 AM	06-Sep-92	03:14 PM	155.23	1	5
70	08-Sep-92	08:24 PM	09-Sep-92	12:24 AM	09-Sep-92	12:59 AM	121.97	1	1
71	13-Sep-92	11:49 PM	14-Sep-92	07:14 AM	14-Sep-92	07:33 AM	180.14	1	5
72	14-Sep-92	09:24 AM	14-Sep-92	10:59 AM	14-Sep-92	11:24 AM	196.06	3	4
73	14-Sep-92	04:49 PM	14-Sep-92	06:24 PM	14-Sep-92	07:14 PM	179.4	1	3
74	22-Sep-92	01:24 PM	22-Sep-92	05:24 PM	22-Sep-92	06:14 PM	187.76	1	7.6
75	19-Sep-92	10:24 PM	19-Sep-92	09:24 AM	19-Sep-92	09:48 AM	155.23	2	4
76	25-Sep-92	05:49 PM	25-Sep-92	06:34 PM	25-Sep-92	07:14 PM	173.1	3	4
77	23-Sep-92	05:24 PM	23-Sep-92	07:24 PM	23-Sep-92	07:43 PM	198.75	3	3
78	27-Sep-92	12:00 PM	27-Sep-92	03:00 PM	27-Sep-92	02:13 PM	172.26	1	5
79	28-Sep-92	06:00 PM	28-Sep-92	09:24 PM	28-Sep-92	09:48 PM	146	2	3
80	07-Oct-92	01:59 AM	07-Oct-92	10:16 AM	07-Oct-92	10:30 AM	197.68	1	ESTE
81	29-Sep-92	06:00 AM	30-Sep-92	12:48 AM	30-Sep-92	09:24 AM	182.6	1	BOESTE
82	01-Oct-92	01:24 AM	01-Oct-92	06:14 AM	01-Oct-92	06:24 AM	161	1	4.3
83	14-Oct-92	01:30 AM	14-Oct-92	01:16 PM	#NUM!		175	1	8.7
84	08-Oct-92	10:48 AM	08-Oct-92	02:24 PM	10-Oct-92	10:00 AM	156	1	OESTE
85	04-Oct-92	10:00 AM	04-Oct-92	02:13 PM	04-Oct-92	02:31 PM	193.64	1	2.6
86	02-Oct-92	10:19 AM	02-Oct-92	10:49 AM	02-Oct-92	11:13 AM	128.77	1	7
87	05-Oct-92	12:00 PM	06-Oct-92	01:55 PM	06-Oct-92	02:15 PM	177.03	1	9
88	11-Oct-92	08:24 PM	12-Oct-92	04:59 PM	14-Oct-92	10:55 PM	115.65	1	1
89	04-Oct-92	02:13 PM	04-Oct-92	02:13 PM	04-Oct-92	04:19 PM	155.23	3	4
90	05-Oct-92	06:00 PM	05-Oct-92	07:16 PM	05-Oct-92	07:26 PM	180.64	1	5
91	03-Oct-92	07:16 PM	03-Oct-92	07:50 PM	03-Oct-92	08:16 PM	196.41	3	3
92	07-Oct-92	02:16 AM	07-Oct-92	02:16 PM	10-Oct-92	01:59 PM	172.26	1	5
93	15-Oct-92	09:00 PM	16-Oct-92	07:30 PM	16-Oct-92	07:55 PM	176.78	3	3
94	14-Oct-92	01:14 AM	15-Oct-92	01:52 AM	15-Oct-92	02:16 AM	180.64	1	5
95	18-Oct-92	12:00 PM	18-Oct-92	02:13 PM	18-Oct-92	02:52 PM	155.7	1	6
96	11-Oct-92	01:14 PM	11-Oct-92	03:53 PM	11-Oct-92	04:16 PM	223.91	1	3
97	13-Oct-92	03:00 PM	13-Oct-92	07:16 PM	13-Oct-92	07:30 PM	199	3	4
98	16-Oct-92	11:51 AM	16-Oct-92	01:16 PM	16-Oct-92	01:52 PM	167.8	1	4
99	17-Oct-92	10:59 PM	17-Oct-92	11:08 PM	17-Oct-92	11:49 PM	195.42	1	8
100	19-Oct-92	10:00 PM	20-Oct-92	06:00 AM	20-Oct-92	06:33 AM	106.47	1	7
101	19-Oct-92	11:24 AM	19-Oct-92	08:57 PM	19-Oct-92	07:16 PM	155.25	3	4
102	21-Oct-92	01:59 PM	21-Oct-92	03:15 PM	21-Oct-92	03:21 PM	180.64	1	5
103	25-Oct-92	10:00 AM	25-Oct-92	12:57 PM	25-Oct-92	01:14 PM	192.7	1	6
104	23-Oct-92	04:00 PM	30-Oct-92	08:24 PM	30-Oct-92	08:47 PM	93.8	1	7
105	21-Oct-92	01:55 PM	21-Oct-92	03:41 PM	21-Oct-92	07:26 PM	109	1	4
106	23-Oct-92	11:48 AM	24-Oct-92	12:28 AM	24-Oct-92	01:00 AM	172.26	1	8.7
107	23-Oct-92	11:12 AM	23-Oct-92	11:21 AM	23-Oct-92	11:51 AM	196.4	3	3
108	29-Oct-92	04:59 AM	29-Oct-92	08:12 AM	29-Oct-92	09:15 AM	180.64	1	5
109	31-Oct-92	01:00 PM	31-Oct-92	03:14 PM	31-Oct-92	03:21 PM	172.26	1	5
110									
111							223.91		
112							93.8		

#GUA	ARRIBO PUERTO		ATRAQUE		INICIO OPER.		TERMINO OPER.		DESATRAQUE	
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	FECHA	HORA
4	16/12/88	8.00	17/12/88	9.08	19/12/88	10.25	31/12/88	11.75	31/12/88	14.58
2	23/12/88	13.17	23/12/88	13.50	23/12/88	15.25	31/12/88	4.75	31/12/88	8.25
20	25/12/88	9.25	25/12/88	9.75	27/12/88	16.00	15/01/89	12.00	15/01/89	17.17
12	26/12/88	6.17	26/12/88	6.67	26/12/88	15.50	7/01/89	5.25	7/01/89	8.33
6	26/12/88	18.67	26/12/88	19.08	27/12/88	9.00	29/12/88	0.75	29/12/88	8.42
22	2/01/89	8.42	2/01/89	8.58	4/01/89	15.00	17/01/89	1.75	17/01/89	10.25
8	4/01/89	8.75	4/01/89	9.17	4/01/89	10.50	5/01/89	17.25	6/01/89	6.67
16	6/01/89	9.42	6/01/89	9.67	6/01/89	10.50	10/01/89	1.00	10/01/89	6.25
14	6/01/89	17.50	6/01/89	17.92	6/01/89	21.50	8/01/89	18.00	8/01/89	18.67
34	9/01/89	12.17	9/01/89	12.67	11/01/89	15.75	28/01/89	22.00	28/01/89	22.92
18	15/01/89	10.17	15/01/89	10.50	15/01/89	15.75	16/01/89	3.00	16/01/89	8.08
26	16/01/89	15.25	16/01/89	15.58	16/01/89	16.50	19/01/89	11.75	19/01/89	13.00
24	16/01/89	16.17	16/01/89	16.50	16/01/89	21.00	18/01/89	1.75	18/01/89	6.58
28	16/01/89	20.92	16/01/89	21.25	17/01/89	9.50	19/01/89	23.50	20/01/89	9.33
36	18/01/89	11.58	18/01/89	12.25	18/01/89	15.75	30/01/89	19.50	31/01/89	6.25
48	22/01/89	8.25	22/01/89	8.75	22/01/89	9.25	6/02/89	23.25	7/02/89	7.33
30	24/01/89	8.08	24/01/89	8.42	24/01/89	9.75	26/01/89	15.50	26/01/89	16.83
32	26/01/89	18.25	26/01/89	18.58	26/01/89	21.00	28/01/89	12.50	28/01/89	14.25
54	28/01/89	6.67	30/01/89	6.92	31/01/89	9.50	16/02/89	23.25	17/02/89	11.00
40	31/01/89	7.00	31/01/89	7.33	31/01/89	9.75	3/02/89	12.50	3/02/89	14.17
38	31/01/89	7.75	31/01/89	8.00	31/01/89	10.25	2/02/89	18.00	2/02/89	19.17
42	3/02/89	16.75	3/02/89	17.00	3/02/89	20.00	5/02/89	1.00	5/02/89	16.25
44	4/02/89	8.25	4/02/89	8.50	4/02/89	10.25	6/02/89	22.75	7/02/89	8.25
46	7/02/89	11.00	7/02/89	11.42	7/02/89	16.25	9/02/89	12.50	9/02/89	12.92
50	11/02/89	6.25	11/02/89	6.67	11/02/89	10.00	13/02/89	19.25	13/02/89	21.25
70	11/02/89	11.33	11/02/89	11.67	11/02/89	15.75	1/03/89	23.50	2/03/89	8.67
52	14/02/89	6.25	14/02/89	6.58	14/02/89	8.50	15/02/89	16.25	15/02/89	18.33
58	15/02/89	18.92	15/02/89	19.17	16/02/89	9.50	18/02/89	5.75	18/02/89	12.17
56	17/02/89	8.25	17/02/89	8.75	17/02/89	9.50	18/02/89	2.75	18/02/89	6.83
64	19/02/89	19.67	19/02/89	20.00	19/02/89	21.75	23/02/89	11.50	23/02/89	13.83
62	20/02/89	6.42	20/02/89	6.67	20/02/89	8.50	22/02/89	22.75	23/02/89	0.08
60	20/02/89	22.08	20/02/89	22.50	20/02/89	23.50	22/02/89	0.25	22/02/89	1.50
64	22/02/89	17.00	22/02/89	17.33	22/02/89	21.00	24/02/89	14.50	25/02/89	11.00
66	24/02/89	14.25	24/02/89	14.50	24/02/89	15.50	1/03/89	6.50	1/03/89	8.67
82	26/02/89	15.33	26/02/89	15.83	26/02/89	20.25	3/03/89	2.00	3/03/89	6.50
78	27/02/89	12.42	2/03/89	9.75	3/03/89	8.75	4/03/89	20.50	5/03/89	10.67
72	28/02/89	23.50	28/02/89	24.00	1/03/89	8.50	2/03/89	17.75	2/03/89	19.25
74	2/03/89	10.08	2/03/89	10.42	2/03/89	20.50	3/03/89	19.50	3/03/89	23.25
80	2/03/89	14.17	2/03/89	14.50	3/03/89	20.50	7/03/89	12.50	7/03/89	14.33
76	2/03/89	17.75	2/03/89	18.08	2/03/89	20.75	4/03/89	14.50	4/03/89	16.75
84	3/03/89	6.75	3/03/89	7.00	3/03/89	8.00	8/03/89	6.00	8/03/89	6.42
88	4/03/89	13.08	4/03/89	13.42	4/03/89	17.00	8/03/89	17.75	8/03/89	19.58
90	6/03/89	16.83	6/03/89	17.25	6/03/89	20.50	8/03/89	16.50	8/03/89	8.25
86	8/03/89	10.50	8/03/89	10.75	8/03/89	15.00	8/03/89	16.00	8/03/89	19.25
92	8/03/89	13.58	8/03/89	13.92	8/03/89	16.50	12/03/89	19.50	12/03/89	21.67
96	14/03/89	6.58	14/03/89	6.92	14/03/89	8.75	17/03/89	3.00	17/03/89	7.08
94	16/03/89	9.92	16/03/89	10.33	16/03/89	15.00	16/03/89	16.75	16/03/89	17.67
100	18/03/89	5.92	18/03/89	6.25	18/03/89	8.00	20/03/89	0.75	20/03/89	5.42
98	18/03/89	7.83	18/03/89	8.08	18/03/89	9.50	19/03/89	6.25	19/03/89	6.33
106	18/03/89	7.83	18/03/89	16.33	18/03/89	21.00	24/03/89	4.50	24/03/89	7.83
110	21/03/89	21.00	21/03/89	21.33	22/03/89	9.00	28/03/89	9.00	28/03/89	11.33
102	22/03/89	5.50	22/03/89	6.00	22/03/89	8.00	23/03/89	23.00	23/03/89	23.58
104	22/03/89	6.58	22/03/89	7.08	22/03/89	9.50	23/03/89	22.00	24/03/89	1.17
114	26/03/89	0.75	26/03/89	1.08	27/03/89	8.50	26/03/89	23.50	29/03/89	0.25
108	27/03/89	8.50	27/03/89	8.83	27/03/89	10.50	28/03/89	4.50	28/03/89	6.42
112	28/03/89	7.25	28/03/89	7.50	28/03/89	9.00	28/03/89	15.00	28/03/89	16.67
118	28/03/89	14.50	28/03/89	14.92	28/03/89	17.75	31/03/89	11.75	31/03/89	14.42
116	29/03/89	15.33	29/03/89	15.67	29/03/89	16.00	30/03/89	18.00	31/03/89	6.33

SALIDA PUERTO FECHA HORA	ESLORA (M)	TIPO DE CARGA	MUELLE	TIEMPO EN PUERTO	TIEMPO EN MUELLE	TIEMPO DE OPERACION	TIEMPO DE LLEGADAS	<10	<20	<30	
31/12/88	15.17	164.00	1	8	367.17	341.50	289.50	173.17	0	0	0
31/12/88	8.75	162.74	1	3	187.58	186.75	181.50	44.08	0	0	0
16/01/89	19.50	144.00	1	6	538.25	511.42	452.00	20.92	0	0	1
7/01/89	8.58	156.97	2	7	290.41	289.66	277.75	12.5	0	1	1
31/12/88	20.92	198.89	2	4	122.25	61.34	39.75	157.75	0	0	0
17/01/89	10.50	169.54	1	8	362.08	361.67	298.75	48.33	0	0	0
6/01/89	6.92	145.54	2	4	46.17	45.50	30.75	48.67	0	0	0
10/01/89	6.50	135.00	1	3	93.08	92.58	86.50	8.08	1	1	1
8/01/89	19.00	196.04	2	4	49.50	48.75	44.50	66.67	0	0	0
28/01/89	23.25	159.76	1	7	467.08	466.25	414.25	142	0	0	0
16/01/89	8.33	162.00	2	2	22.16	21.58	11.25	29.08	0	0	1
19/01/89	13.25	146.00	2	3	70.00	69.42	67.25	0.92	1	1	1
18/01/89	6.92	198.89	2	4	38.75	38.08	28.75	4.75	1	1	1
20/01/89	9.67	160.70	2	1	84.75	84.08	62.00	38.66	0	0	0
31/01/89	6.58	179.21	1	8	307.00	306.00	291.75	92.67	0	0	0
7/02/89	8.00	164.35	1	6	383.75	382.58	374.00	47.83	0	0	0
26/01/89	17.17	135.00	1	3	57.09	56.41	53.75	58.17	0	0	0
28/01/89	14.58	196.04	2	4	44.33	43.67	39.50	36.42	0	0	0
17/02/89	11.17	173.50	1	7	484.50	436.08	397.75	72.33	0	0	0
3/02/89	14.50	155.88	1	1	79.50	78.84	74.75	0.75	1	1	1
2/02/89	19.67	139.56	3	2	59.92	59.17	55.75	81	0	0	0
5/02/89	16.50	198.89	2	4	47.75	47.25	29.00	15.5	0	1	1
7/02/89	8.58	135.00	1	3	72.33	71.75	60.50	74.75	0	0	0
9/02/89	13.17	155.75	1	2	50.17	49.50	44.25	91.25	0	0	0
13/02/89	21.58	181.68	1	2	63.33	62.58	57.25	5.08	1	1	1
2/03/89	8.92	169.54	1	8	453.59	453.00	439.75	66.92	0	0	0
15/02/89	18.67	128.30	1	3	36.42	35.75	31.75	36.67	0	0	0
18/02/89	13.33	164.35	1	4	66.41	65.00	44.25	37.33	0	0	0
18/02/89	7.08	162.00	2	2	22.83	22.08	17.25	59.42	0	0	0
23/02/89	14.08	135.00	1	3	90.41	89.83	85.75	10.75	0	1	1
23/02/89	0.33	164.30	2	1	65.91	65.41	62.25	15.66	0	1	1
22/02/89	1.75	186.54	2	4	27.67	27.00	24.75	42.92	0	0	0
25/02/89	11.42	164.35	1	4	66.42	65.67	41.50	45.25	0	0	0
1/03/89	8.92	146.00	2	1	114.67	114.17	111.00	49.08	0	0	0
3/03/89	6.75	153.97	2	7	111.42	110.67	101.75	21.09	0	0	1
5/03/89	10.92	109.04	1	8	142.50	72.92	35.75	35.08	0	0	0
2/03/89	19.67	168.50	1	4	44.17	43.25	33.25	34.58	0	0	0
3/03/89	23.58	181.62	2	5	37.50	36.83	23.00	4.09	1	1	1
7/03/89	14.67	150.37	1	6	120.50	119.83	88.00	3.58	1	1	1
4/03/89	17.00	128.30	1	3	47.25	46.67	41.75	13	0	1	1
8/03/89	6.75	153.97	2	1	120.00	119.42	118.00	30.33	0	0	0
8/03/89	20.00	170.70	1	7	102.92	102.16	96.75	51.75	0	0	0
9/03/89	8.67	198.89	2	4	63.84	63.00	44.00	41.67	0	0	0
8/03/89	19.67	162.43	3	2	9.17	8.50	1.00	3.08	1	1	1
12/03/89	21.92	135.00	1	3	104.34	103.75	99.00	137	0	0	0
17/03/89	7.58	154.37	1	4	73.00	72.16	66.25	51.34	0	0	0
16/03/89	18.00	150.17	3	5	8.08	7.34	1.75	44	0	0	0
20/03/89	5.75	128.30	1	3	47.83	47.17	40.75	1.91	1	1	1
19/03/89	6.58	94.50	1	2	22.75	22.25	20.75	0	1	1	1
24/03/89	8.17	161.54	2	1	144.34	135.50	127.50	85.17	0	0	0
28/03/89	11.58	135.00	1	3	158.58	158.00	144.00	8.5	1	1	1
23/03/89	23.83	154.80	2	4	42.33	41.58	39.00	1.08	1	1	1
24/03/89	1.50	196.04	3	5	42.92	42.09	36.50	90.17	0	0	0
29/03/89	0.75	181.63	2	1	72.00	71.17	39.00	31.75	0	0	0
28/03/89	7.00	139.56	1	4	22.50	21.59	18.00	22.75	0	0	1
28/03/89	17.08	162.00	3	2	9.83	9.17	6.00	7.25	1	1	1
31/03/89	14.75	193.84	1	5	72.25	71.50	66.00	24.83	0	0	1
31/03/89	6.92	198.89	2	4	39.59	38.66	26.00				

13 18 23

Distribucin Erlang

0.001	2.72831E-23	1.29559E-10	1.34596E-05	0.003992008	0.9990005
0.101	1.09772E-05	0.008177218	0.101715067	0.330106351	0.903933033
0.201	0.001977286	0.077795962	0.298432633	0.53786052	0.817812432
0.301	0.027549203	0.237296628	0.495791233	0.659448992	0.740077773
0.401	0.133972434	0.453373189	0.651877891	0.719283652	0.669650061
0.501	0.365562085	0.670011113	0.75381472	0.735757413	0.605924432
0.601	0.691826796	0.841553537	0.803618196	0.722624191	0.548263099
0.701	1.016938784	0.944732145	0.809931908	0.690076353	0.496088967
0.801	1.242312376	0.976831024	0.78341009	0.645583984	0.44887986
0.901	1.317549086	0.948508665	0.734320015	0.594546909	0.406163293
1.001	1.249844262	0.876458199	0.671452962	0.540799792	0.367511746
1.101	1.083279668	0.778031057	0.601774433	0.487002131	0.332538379
1.201	0.871459696	0.668147651	0.530465037	0.434938301	0.300893168
1.301	0.658508563	0.558036186	0.461144463	0.385747434	0.272259397
1.401	0.471752807	0.455154117	0.396159734	0.340098713	0.24635049
1.501	0.322777329	0.36373196	0.336873896	0.298324313	0.222907142
1.601	0.212179929	0.28554646	0.283922647	0.260519594	0.201694722
1.701	0.134656292	0.220689396	0.237431127	0.226618039	0.182500932
1.801	0.082835551	0.168217751	0.197182382	0.19644681	0.165133672
1.901	0.049560755	0.126647959	0.162748342	0.169767474	0.149419125
2.001	0.028921991	0.094299816	0.133585146	0.14630547	0.135200016
2.101	0.016502296	0.069515149	0.109100754	0.125771034	0.122334033
2.201	0.009225625	0.05078181	0.08870077	0.107873737	0.110692411
2.301	0.005062564	0.036791478	0.071817817	0.092332247	0.100158635
2.401	0.002731215	0.026454659	0.057928854	0.078880572	0.090627281
2.501	0.001450625	0.018890396	0.046563933	0.067271744	0.082002955
2.601	0.000759453	0.013402952	0.037309088	0.057279662	0.074199342
2.701	0.000392342	0.009453446	0.029805386	0.048699644	0.067138341
2.801	0.000200201	0.006631274	0.023745617	0.041348086	0.060749283
2.901	0.000100991	0.004627945	0.018869672	0.035061552	0.054968224
3.001	5.04027E-05	0.003214505	0.014959344	0.029695491	0.049737306

D	Distribución Constante
E_k	Distribución Erlang con parametro k
G	Distribución General
GI	Distribución General asumiendo Independencia
M	Arribos al azar, pero con un flujo promedio constante λ por unidad de tiempo
M	Distribución del tiempo de servicio, exponencial-negativa, con un valor promedio constante
z	La variable de la transformada de Laplace
δ_{ij}	Kronecker's delta
λ	Razón media de arribo
μ	Razón media de servicio por canal
ρ	Intensidad de tráfico en erlangs
ε	$= \lambda/\mu$ Oferta de tráfico en erlangs

100 RANDOMIZE

200 CLS

101

300 REM

400 REM tll tiempo de llegada; tes() tamaño eslora

500 REM tca() tipo de carga; toc(carga,x) tiempo de operacion

600 REM p() tiempo en que queda libre el puerto x

700 DIM TLL(15), AAT(15), TOC(3,15), PAS(3,15), PEZYE(3,3)

800 DIM TBTL(15), TBTOC(3,15), DCS(3,15)

900 DIM COLA(30), CTES(30), CTCA(30), CTSE(30), CCTL(30), CENT(30)

1000 COLA=0 : CMC=0 : TME=0

1100 AAT(0)=0 : AAE(0)=0 : AAC(0)=0 : PAS(1,0)=0 : PAS(2,0)=0 : PAS(3,0)=0

1200 TLL(1)=10 : AAT(1)=.228 : TES(1)=1 : AAE(1)=.3275

1300 TLL(2)=20 : AAT(2)=.3157 : TES(2)=2 : AAE(2)=.7241

1400 TLL(3)=30 : AAT(3)=.4035 : TES(3)=3 : AAE(3)=.9999

1500 TLL(4)=40 : AAT(4)=.5438 : TCA(1)=1 : AAC(1)=.5438

1600 TLL(5)=50 : AAT(5)=.7017 : TCA(2)=2 : AAC(2)=.9297

1700 TLL(6)=60 : AAT(6)=.7719 : TCA(3)=3 : AAC(3)=.9999

1800 TLL(7)=70 : AAT(7)=.807

1900 TLL(8)=80 : AAT(8)=.8421

2000 TLL(9)=90 : AAT(9)=.8771

2100 TLL(10)=100 : AAT(10)=.9298

2200 TLL(11)=140 : AAT(11)=.9473

2300 TLL(12)=150 : AAT(12)=.9649

2400 TLL(13)=160 : AAT(13)=.9824

2500 TLL(14)=180 : AAT(14)=.9999

2600 TOC(1,1)=19 : PAS(1,1)=.0643

2700 TOC(1,2)=26 : PAS(1,2)=.1933

2800 TOC(1,3)=43 : PAS(1,3)=.3223

2900 TOC(1,4)=57 : PAS(1,4)=.4191

3000 TOC(1,5)=66 : PAS(1,5)=.4836

3100 TOC(1,6)=75 : PAS(1,6)=.516

3200 TOC(1,7)=87 : PAS(1,7)=.6128

3300 TOC(1,8)=98 : PAS(1,8)=.6773

3400 TOC(1,9)=144 : PAS(1,9)=.7096

3500 TOC(1,10)=181 : PAS(1,10)=.7419

3600 TOC(1,11)=294 : PAS(1,11)=.8387

3700 TOC(1,12)=386 : PAS(1,12)=.9032

3800 TOC(1,13)=427 : PAS(1,13)=.9677

3900 TOC(1,14)=452 : PAS(1,14)=.9999

4000 TOC(2,1)=14 : PAS(2,1)=.0908

4100 TOC(2,2)=27 : PAS(2,2)=.3635

4200 TOC(2,3)=39 : PAS(2,3)=.5453

4300 TOC(2,4)=44 : PAS(2,4)=.6362

4400 TOC(2,5)=64 : PAS(2,5)=.773

4500 TOC(2,6)=102 : PAS(2,6)=.8185

4600 TOC(2,7)=115 : PAS(2,7)=.9094

4700 TOC(2,8)=128 : PAS(2,8)=.9549

4800 TOC(2,9)=278 : PAS(2,9)=.9999

4900 TOC(3,1)=1 : PAS(3,1)=.4999

5000 TOC(3,2)=37 : PAS(3,2)=.7499

5100 TOC(3,3)=56 : PAS(3,3)=.9999

5200 INPUT "cantidad de barcos";NBARCO

5300 FOR BARCO=1 TO NBARCO

5400 GOSUB 21400

REM SELECCIONA UN BARCO

5500 TBTOC(TC,TS)=TBTOC(TC,TS)+1

5600 PRINT "PROXIMO BARCO: ";

5700 PRINT USING "####";BARCO,TLL,TES,TCA,TSE

5800 TIEMP=TLL : PASA=1

5900 IF COLA=0 THEN 6300

6000 FOR I=1 TO 8

```

6100 IF P(I)<>0 AND TIEMP=>P(I) THEN TIEMP=P(I) : PASA=0
6200 NEXT I
6300 TDA=TDA+TIEMP
6400 IF PASA=0 THEN TLL=TLL-TIEMP : GOTO 6800
6500 COLA=COLA+1
6600 COLA(COLA)=BARCO : CTLL(COLA)=TLL : CTES(COLA)=TES
6700 CTCA(COLA)=TCA : CTSE(COLA)=TSE : CENT(COLA)=TDA
6800 GOSUB 26800 : REM ACTUALIZA LOS PUERTOS
6900 REM IF COLA>1 THEN GOSUB 18200 : REM ORDENA LOS BARCOS EN COLA
7000 GOSUB 19500 : REM SELECCIONA MUELLE DE ACCESO
7100 IF PUERTO=0 AND PASA=0 THEN 5800
7200 IF PUERTO=0 AND PASA=1 THEN PRINT "NO HAY MUELLES DISPONIBLES LOS BARCOS"
7300 IF PUERTO=0 THEN GOTO 8100
7400 P(PUERTO)=P(PUERTO)+PTSE : REM TIEMPO EN QUE SE LIBERA EL MUELLE
7500 UP(PUERTO)=UP(PUERTO)+PTSE : REM TIEMPO TOTAL DE USO POR MUELLE
7550 UBP(PUERTO)=UBP(PUERTO)+1 : REM TOTAL DE BARCOS POR MUELLE
7600 TTSI=TTSI+(TDA-PENT)+PTSE : REM TIEMPO TOTAL EN EL SISTEMA
7700 TDTE(PTES,PTCA)=TDTE(PTES,PTCA)+(TDA-PENT) : REM TIEMPO DE ESPERA
7750 IF TME<(TDA-PENT) THEN TME=(TDA-PENT)
7800 IF TDA<>PENT THEN NTEC=NTEC+1
7900 PRINT "PASO EL BARCO ";PBARC;" AL MUELLE ";PUERTO;
8000 PRINT " ENTRO A LAS: ";PENT; " SALIO A LAS: ";TDA
8100 PRINT TDA;
8200 PRINT USING "####";P(1);P(2);P(3);P(4);P(5);P(6);P(7);P(8)
8300 IF PUERTO<>0 THEN GOSUB 27600 : REM LIBERA EL BARCO DE LA COLA
8400 IF PUERTO<>0 AND PASA=0 THEN 5800
8450 IF CMC<COLA THEN CMC=COLA
8455 IF COLA=0 THEN BIN=1
8456 IF BIN=1 AND COLA>0 THEN BIN=0 : TDC=TDC+1
8500 NEXT BARCO
8600 PRINT : PRINT "ESTE FUE EL ULTIMO BARCO QUE LLEGO" : PRINT
8700 IF COLA=0 THEN 10410
8800 GOSUB 18200 : REM ORDENA LA COLA POR ULTIMA VEZ
8900 FOR ULT=1 TO COLA
9000 TIEMP=99999!
9100 FOR I=1 TO 8
9200 IF P(I)<>0 AND TIEMP>P(I) THEN TIEMP=P(I)
9300 NEXT I
9400 IF TIEMP<>99999! THEN TDA=TDA+TIEMP
9500 GOSUB 26800 : REM ACTUALIZA LOS PUERTOS
9600 GOSUB 19500 : REM SELECCIONA MUELLE DE ACCESO
9700 IF PUERTO=0 THEN 9000
9800 PRINT "PASO EL BARCO ";PBARC;" AL MUELLE ";PUERTO;
9900 PRINT " ENTRO A LAS: ";PENT; " SALIO A LAS: ";TDA
10000 P(PUERTO)=P(PUERTO)+PTSE
10050 UP(PUERTO)=UP(PUERTO)+PTSE : REM TIEMPO TOTAL DE USO POR MUELLE
10055 UBP(PUERTO)=UBP(PUERTO)+1 : REM TOTAL DE BARCOS POR MUELLE
10060 TTSI=TTSI+(TDA-PENT)+PTSE : REM TIEMPO TOTAL EN EL SISTEMA
10070 TDTE(PTES,PTCA)=TDTE(PTES,PTCA)+(TDA-PENT) : REM TIEMPO DE ESPERA
10075 IF TME<(TDA-PENT) THEN TME=(TDA-PENT)
10080 IF TDA<>PENT THEN NTEC=NTEC+1
10100 PRINT TDA;
10200 PRINT USING "####";P(1);P(2);P(3);P(4);P(5);P(6);P(7);P(8)
10300 GOSUB 27600 : REM LIBERA EL BARCO DE LA COLA
10400 NEXT ULT
10410 TIEMP=0
10420 FOR I=1 TO 8
10425 IF TIEMP<P(I) THEN TIEMP=P(I)
10426 NEXT I
10430 TDA=TDA+TIEMP

```

```
10440 GOSUB 26800
10450 PRINT TDA;
10460 PRINT USING "####";P(1);P(2);P(3);P(4);P(5);P(6);P(7);P(8)
10470 PRINT
10500 REM
10600 REM IMPRIME RESULTADOS
10700 REM
10800 LPRINT
10900 LPRINT "PROBABILIDAD DE QUE UN BARCO ESPERE SERVICIO: ";NTEC/NBARCO*100;"
"
11000 LPRINT
11100 LPRINT "TIEMPO PROMEDIO DE ESPERA:"
11200 LPRINT
11300 LPRINT "","BARCO 150","BARCO 170","BARCO 200"," TOTAL"
11400 FOR I= 1 TO 3
11500 LPRINT "CARGA ";I,
11600 FOR J=1 TO 3
11700 LPRINT USING " #####.## " ;TDTE(J,I)/NBARCO;
11800 TDTEJ(I)=TDTEJ(I)+TDTE(J,I)
11900 TDTEI(J)=TDTEI(J)+TDTE(J,I)
12000 NEXT J
12100 LPRINT USING " #####.## " ;TDTEJ(I)/NBARCO
12200 TDTEI=TDTEI+TDTEJ(I)
12300 NEXT I
12400 LPRINT "TOTAL",
12500 LPRINT USING " #####.## " ;TDTEI(1)/NBARCO;TDTEI(2)/NBARCO;TDTEI(3)/NBARCO;TDTEI/NBARCO
12600 LPRINT
12700 LPRINT "TIEMPO PROMEDIO EN EL SISTEMA: ";TTSI/NBARCO
12800 LPRINT : LPRINT "TIEMPO DE SERVICIO POR CARGA" : LPRINT
12805 K=14
12810 FOR I=1 TO 3
12815 FOR J=1 TO K
12820 TBTC(I)=TBTC(I)+TBTOC(I,J)
12830 NEXT J
12835 IF K=9 THEN K=3
12836 IF K=14 THEN K=9
12837 NEXT I
12900 K=14
13000 FOR I=1 TO 3
13100 LPRINT "CARGA ";I
13200 LPRINT "TIEMPO","CANTIDAD"
13300 LPRINT "SERVICIO","BARCOS"
13400 FOR J=1 TO K
13500 LPRINT TOC(I,J),TBTOC(I,J),
13505 LPRINT USING "###.##";TBTOC(I,J)/TBTC(I)*100; : LPRINT "%
13600 TBTOC=TBTOC+TBTOC(I,J) : TTTOC=TTTOC+ (TBTOC(I,J)*TOC(I,J))
13700 NEXT J
13800 IF K= 9 THEN K=3
13900 IF K=14 THEN K= 9
14000 LPRINT "TIEMPO PROMEDIO DEL SERVICIO: ";TTTOC/TBTOC
14100 LPRINT : LPRINT
14200 TTTOC=0 : TBTOC=0
14300 NEXT I
14400 LPRINT "TIEMPO PROMEDIO ENTRE ARRIBOS: ";TDA/NBARCO
14500 LPRINT
14600 LPRINT "TIEMPO POR MUELLE ","BARCOS"
14700 LPRINT
14750 FOR I=1 TO 8
14751 TUBP=TUBP+UBP(I)
```

```

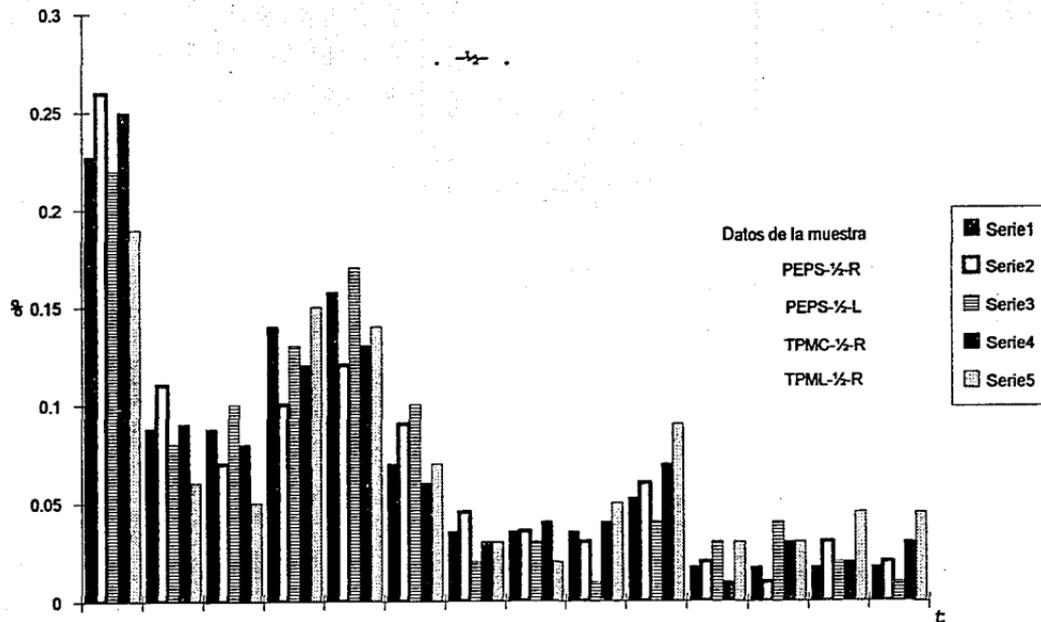
14752 NEXT I
14800 FOR I=1 TO 8
14900 LPRINT "MUELLE ";I;": ";:LPRINT USING "###.###";UP(I)/TDA*100;:LPRINT "%",
14950 LPRINT USING "###";UBP(I);:LPRINT USING "###.###";UBP(I)/TUBP*100;:LPRINT
"%%"
15000 NEXT I
15100 LPRINT
15150 LPRINT "          BARCOS ATENDIDOS AL AÑO: ";NBARCO*8760/TDA
15200 LPRINT "MAXIMA CANTIDAD DE BARCOS EN COLA: ";CMC
15300 LPRINT "          MAYOR TIEMPO DE ESPERA: ";TME
15400 LPRINT "          BARCOS PROMEDIO EN COLA: ";NTEC/TDC
15500 END
18000 REM
18100 REM SUBROUTINA      ORDENA  BARCOS EN COLA
18200 FOR I=1 TO COLA
18300 FOR J=I+1 TO COLA
18400   IF CTSE(I)<CTSE(J) THEN 19100
18500   TEMP=CTSE(I) : CTSE(I)=CTSE(J) : CTSE(J)=TEMP
18600   TEMP=COLA(I) : COLA(I)=COLA(J) : COLA(J)=TEMP
18700   TEMP=CTES(I) : CTES(I)=CTES(J) : CTES(J)=TEMP
18800   TEMP=CTCA(I) : CTCA(I)=CTCA(J) : CTCA(J)=TEMP
18900   TEMP=CTLL(I) : CTLL(I)=CTLL(J) : CTLL(J)=TEMP
19000   TEMP=CENT(I) : CENT(I)=CENT(J) : CENT(J)=TEMP
19100 NEXT J
19200 NEXT I
19300 RETURN
19400 REM SUBROUTINA      SELECCIONA MUELLE PARA EL BARCO
19500 FOR I=1 TO COLA
19600 LIBRE=I
19700 PTES=CTES(I) : PTCA=CTCA(I) : PTSE=CTSE(I)
19800 PBARC=COLA(I) : PTLL=CTLL(I) : PENT=CENT(I)
19900 IF PTES=1 AND PTCA=1 AND P(1)=0 THEN PUERTO=1 : I=COLA :GOTO 20800
20000 IF PTES=1 AND PTCA=1 AND P(2)=0 THEN PUERTO=2 : I=COLA :GOTO 20800
20100 IF PTES=1 AND PTCA=1 AND P(3)=0 THEN PUERTO=3 : I=COLA :GOTO 20800
20200 IF PTES=<=2 AND PTCA=>2 AND P(6)=0 THEN PUERTO=6 : I=COLA :GOTO 20800
20300 IF PTES=<=3 AND PTCA=1 AND P(7)=0 THEN PUERTO=7 : I=COLA :GOTO 20800
20400 IF PTES=<=3 AND PTCA=1 AND P(8)=0 THEN PUERTO=8 : I=COLA :GOTO 20800
20500 IF PTES=<=3 AND PTCA=>2 AND P(5)=0 THEN PUERTO=5 : I=COLA :GOTO 20800
20600 IF PTES=<=3 AND P(4)=0 THEN PUERTO=4 : I=COLA :GOTO 20800
20700 PUERTO=0
20800 NEXT I
20900 RETURN
21000 REM
21100 REM
21200 REM calcula el tiempo de llegada  TLL
21300 REM
21400 GOSUB 26400
21500 FOR I=0 TO 13
21600 IF AAL>AAT(I) AND AAL<=AAT(I+1) THEN TL=I+1 : TLL=TLL(TL)
21700 NEXT I
21800 IF BARCO=1 THEN TLL=0
21900 REM Tiempo total (suma de tll)
22000 REM
22100 REM TAMANO DE BARCO
22200 REM
22300 GOSUB 26400
22400 FOR I=0 TO 2
22500 IF AAL>AAE(I) AND AAL<=AAE(I+1) THEN TB=I+1 : TES=TES(TB)
22600 NEXT I
22700 REM

```

```
22800 REM TIPO DE CARGA
22900 REM
23000 GOSUB 26400
23100 FOR I=0 TO 2
23200 IF AAL>AAC(I) AND AAL<=AAC(I+1) THEN TC=I+1 : TCA=TCA(TC)
23300 NEXT I
23400 REM ***** MUELLES
23500 REM
23600 REM TIEMPO DE OPERACION DE SERVICIO
23700 REM
23800 GOSUB 26400
23900 REM
24000 REM segun tipo de carga TC elige tiempo de operacion
24100 REM
24200 ON TC GOTO 24600,25300,26000
24300 REM
24400 REM CARGA 1
24500 REM
24600 FOR I=0 TO 13
24700 IF AAL>PAS(1,I) AND AAL<=PAS(1,I+1) THEN TS=I+1 : TSE=TOC(1,TS)
24800 NEXT I
24900 RETURN
25000 REM
25100 REM CARGA 2
25200 REM
25300 FOR I=0 TO 8
25400 IF AAL>PAS(2,I) AND AAL<=PAS(2,I+1) THEN TS=I+1 : TSE=TOC(2,TS)
25500 NEXT I
25600 RETURN
25700 REM
25800 REM CARGA 3
25900 REM
26000 FOR I=0 TO 2
26100 IF AAL>PAS(3,I) AND AAL<=PAS(3,I+1) THEN TS=I+1 : TSE=TOC(3,TS)
26200 NEXT I
26300 RETURN
26400 AAL=RND
26500 RETURN
26600 REM
26700 REM ACTUALIZA TIEMPOS DE OPERACION
26800 FOR I=1 TO 8
26900 P(I)=P(I)-TIEMP
27000 IF P(I)<0 THEN P(I)=0
27100 NEXT I
27200 RETURN
27300 REM
27400 REM LIBERA EL BARCO DE LA COLA
27500 REM
27600 IF COLA=1 THEN 28100
27700 FOR I=LIBRE TO COLA-1
27800 COLA(I)=COLA(I+1) : CTLL(I)=CTLL(I+1) : CTES(I)=CTES(I+1)
27900 CTCA(I)=CTCA(I+1) : CTSE(I)=CTSE(I+1) : CENT(I)=CENT(I+1)
28000 NEXT I
28100 COLA(COLA)=0 : CTLL(COLA)=0 : CTES(COLA)=0
28200 CTCA(COLA)=0 : CTSE(COLA)=0 : CENT(COLA)=0
28300 COLA=COLA-1
28400 RETURN
```

Apéndice 5

Distribución de tiempos entre llegadas:
Muestra vs. Simulación



Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0498	0.0146
26.00	0.1290	0.1384	0.0094
43.00	0.1290	0.1218	0.0072
57.00	0.0968	0.0659	0.0309
66.00	0.0645	0.0812	0.0167
75.00	0.0323	0.0332	0.0009
87.00	0.0968	0.1162	0.0194
98.00	0.0645	0.0517	0.0128
144.00	0.0323	0.0405	0.0083
181.00	0.0323	0.0295	0.0028
294.00	0.0968	0.0530	0.0438
386.00	0.0645	0.0701	0.0056
427.00	0.0645	0.0590	0.0055
452.00	0.0323	0.0295	0.0028
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	142.7400		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0763	0.0146
27.00	0.2727	0.3181	0.0454
39.00	0.1818	0.1858	0.0040
44.00	0.0909	0.0891	0.0018
64.00	0.1368	0.1043	0.0325
102.00	0.0455	0.0280	0.0175
115.00	0.0909	0.11.96	#¡VALOR!
128.00	0.0455	0.0407	0.0048
278.00	0.0450	0.0382	0.0068
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	60.9500		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.4385	0.0615
37.00	0.2500	0.3308	0.0808
56.00	0.2500	0.2308	0.0192
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	25.1900		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0620	0.0024
26.00	0.1290	0.1335	0.0045
43.00	0.1290	0.1408	0.0118
57.00	0.0968	0.0859	0.0109
66.00	0.0645	0.0731	0.0086
75.00	0.0323	0.0670	0.0347
87.00	0.0968	0.0915	0.0053
98.00	0.0645	0.0731	0.0086
144.00	0.0323	0.0384	0.0061
181.00	0.0323	0.0183	0.0140
294.00	0.0968	0.0805	0.0163
386.00	0.0645	0.0603	0.0042
427.00	0.0645	0.0603	0.0042
452.00	0.0323	0.0274	0.0049
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	141.7500		
Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0844	0.0065
27.00	0.2727	0.2882	0.0155
39.00	0.1818	0.2005	0.0187
44.00	0.0909	0.0918	0.0009
64.00	0.1368	0.1135	0.0233
102.00	0.0455	0.0475	0.0020
115.00	0.0909	0.0950	0.0041
128.00	0.0455	0.0317	0.0138
278.00	0.0450	0.0475	0.0025
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	62.6800		
Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5135	0.0135
37.00	0.2500	0.1822	0.0678
56.00	0.2500	0.3043	0.0543
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	22.4400		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0568	0.0076
26.00	0.1290	0.1252	0.0038
43.00	0.1290	0.1231	0.0059
57.00	0.0968	0.1057	0.0089
66.00	0.0645	0.0705	0.0060
75.00	0.0323	0.0333	0.0010
87.00	0.0968	0.0902	0.0066
98.00	0.0645	0.0705	0.0060
144.00	0.0323	0.0313	0.0010
181.00	0.0323	0.0333	0.0010
294.00	0.0968	0.0978	0.0010
386.00	0.0645	0.0726	0.0081
427.00	0.0645	0.0665	0.0020
452.00	0.0323	0.0233	0.0090
Medias Datos Muestra =	144.1855		
Media Sim. =	143.0300		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0821	0.0088
27.00	0.2727	0.2768	0.0041
39.00	0.1818	0.1981	0.0163
44.00	0.0909	0.0802	0.0107
64.00	0.1368	0.1313	0.0055
102.00	0.0455	0.0358	0.0097
115.00	0.0909	0.0979	0.0070
128.00	0.0455	0.0501	0.0046
278.00	0.0450	0.0477	0.0027
Medias Datos Muestra =	62.0000		
Media Sim. =	62.4700		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5357	0.0357
37.00	0.2500	0.2071	0.0429
56.00	0.2500	0.2571	0.0071
Medias Datos Muestra =	23.7500		
Media Sim. =	21.8000		

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #1	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
19.00	0.0644	0.0675	0.0031
26.00	0.1290	0.1113	0.0177
43.00	0.1290	0.1260	0.0030
57.00	0.0968	0.0821	0.0147
66.00	0.0645	0.0620	0.0025
75.00	0.0323	0.0328	0.0005
87.00	0.0968	0.1095	0.0127
98.00	0.0645	0.0729	0.0084
144.00	0.0323	0.0347	0.0024
181.00	0.0323	0.0255	0.0068
294.00	0.0968	0.1058	0.0090
386.00	0.0645	0.0748	0.0103
427.00	0.0645	0.0639	0.0006
452.00	0.0323	0.0310	0.0013

Medias Datos Muestra = 144.1855

Media Sim. = 142.3400

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #2	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
14.00	0.0909	0.0918	0.0009
27.00	0.2727	0.2586	0.0141
39.00	0.1818	0.1879	0.0061
44.00	0.0909	0.1108	0.0199
64.00	0.1368	0.1266	0.0102
102.00	0.0455	0.0580	0.0125
115.00	0.0909	0.0818	0.0091
128.00	0.0455	0.0237	0.0218
278.00	0.0450	0.0607	0.0157

Medias Datos Muestra = 62.0000

Media Sim. = 61.2900

Tiempo de Operación de Tipo de Carga #3	Probabilidad Tiempo de Servicio	Porcentaje del Servicio Real de la Simulación	Diferencia entre la Probabilidad y el % Real
1.00	0.5000	0.5205	0.0205
37.00	0.2500	0.2403	0.0097
56.00	0.2500	0.2392	0.0108

Medias Datos Muestra = 23.7500

Media Sim. = 22.4000