

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGISTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”**

**TEMA:**

**“APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE CALENDARIO DE SERVICIOS  
DE ATENCIÓN PARA EL DESPACHO DE UNIDADES REFRIGERADAS EN UN  
PATIO DE CONTENEDORES”**

**AUTORES:**

**ING. VLADIMIR LENIN CARRILLO MOREIRA  
ING. CIRO REINALDO PACA PONCE**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2014**

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

### **Ing. Ciro Paca**

Ante todo agradezco a Dios, por darme las fuerzas y la salud necesaria para lograr otro objetivo más en mi vida, sin él nada fuera posible y todos los logros son gracias a las bendiciones otorgadas.

A mis padres y hermanas, por estar siempre ahí en todo momento y darme ese abrazo cálido cuando más lo necesite.

A mis amigos que durante el desarrollo de este masterado siempre estuvieron atentos a brindarme su ayuda, infinitamente gracias.

Un agradecimiento especial al Ing. Victor Vega, por su apoyo incondicional en el desarrollo de la tesis.

### **Ing. Vladimir Carrillo**

A Dios todopoderoso por su infinito amor, sin su bendición la consecución de mis metas no serían posibles. A mis padres y hermanas, por ser la fuente eterna de apoyo, por enseñarme que la humildad es el don más valioso que se puede tener.

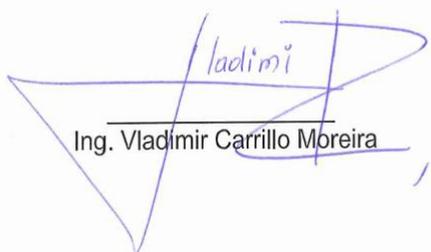
De todo corazón a mi amada esposa, Paola Cáceres por su apoyo incondicional, su paciencia y comprensión, por ser el pilar más fuerte en la consecución de este título académico; pero sobretodo por ser mi pareja ideal.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, nos corresponden exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Ing. Ciro Paca Ponce



Ing. Vladimir Carrillo Moreira

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Fernando Sandoya Sánchez, P.h.D.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Msc. Víctor Vega Chica

DIRECTOR DE LA TESIS



---

M.Sc. Daniel Agreda De La Paz

VOCAL DEL TRIBUNAL

# TABLA DE CONTENIDO

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág. VIII</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>VIII</b>

## 1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación del Problema.....	6
1.4. Objetivo General.....	7
1.5. Objetivos Específicos.....	7
1.6. Metodología.....	8

## 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Principales Actividades de un Patio de Contenedores.....	12
2.1.1 Recepción de Contenedores.....	12
2.1.2 Almacenamiento de Contenedores.....	12
2.1.3 Manipuleo de Contenedores.....	12
2.1.4 Reparación y Mantenimiento de Contenedores.....	13
2.1.5 Inspección y mantenimiento de Contenedores.....	13
2.1.6 Limpieza de Contenedores Refrigerados.....	13
2.1.7 Preparación de Contenedores.....	14
2.1.8 Elaboración del Recibo de intercambio de equipo -EIR-.....	14
2.1.9 Entrega de Contenedores a transportista terrestre.....	15
2.2 Trabajos relacionados con el desarrollo del marco teórico.....	15

### 3. SIMULACIÓN

3.1	Pruebas de bondad de ajuste.....	22
3.2	Caso de estudio a desarrollar a través del software FLEXSIM.....	22
3.2.1	Terminología del Flexsim.....	23
3.2.2	Objetos del Flexsim.....	23
3.2.3	Flowitems.....	23
3.3	Desarrollo de la simulación.....	24
3.3.1	Tiempo de arribo.....	25
3.3.2	Tiempo de posicionamiento de contenedores.....	26
3.3.3	Tiempo de Procesamiento.....	26
3.3.4	Tiempo de Lavado del contenedor.....	27
3.3.5	Tiempo de Posicionamiento del generador.....	28
3.3.6	Cola en estación 1.....	29
3.3.7	Cola en estación 3.....	30
3.4	Resultados de la simulación.....	31
3.4.1	Análisis del tiempo de arribo.....	31
3.4.2	Análisis del proceso de posicionamiento de contenedores.....	34
3.4.3	Análisis de cola en estación 2.....	36
3.4.4	Análisis del proceso de lavado de contenedores (Primer procesador).....	37
3.4.5	Análisis del proceso de lavado de contenedores (Segundo procesador).....	39
3.5	Simulación con un solo proceso de lavado de contenedor.....	41
3.5.1	Análisis de cola en estación 2.....	41
3.5.2	Análisis del proceso de lavado de contenedores.....	43
3.5.3	Análisis de cola en estación 3 (1er escenario).....	44
3.5.4	Análisis de cola en estación 3 (2do escenario).....	45
3.5.5	Análisis del proceso de posicionamiento de generador (1er escenario).....	46
3.5.6	Análisis del proceso de posicionamiento de generador (2do escenario).....	47

#### **4. CASO DE ESTUDIO: FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE CALENDARIO DE SERVICIOS DE ATENCIÓN PARA RESOLVER LA PROBLEMÁTICA DE DESPACHO DE UNIDADES REFRIGERADAS EN UN PATIO DE CONTENEDORES.**

4.1	Introducción.....	50
4.2	Programación Lineal.....	51
4.3	Definición del problema.....	53
4.4	Diseño y aplicación del modelo matemático.....	53
4.4.1	Índices del modelo.....	53
4.4.2	Variables de decisión.....	55
4.4.3	Tablas.....	55
4.4.4	Parámetros.....	56
4.4.5	Función Objetivo.....	56
4.4.6	Restricciones.....	57
4.4.7	Datos de Entrada.....	57
4.5.	Aplicación del modelo matemático.....	59
4.6.	Resultados Obtenidos.....	59

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	Conclusiones.....	62
5.2.	Recomendaciones.....	63

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
--------------------------	-----------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>
--------------------	-----------

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 3.1</b> Porcentaje de contenedores a los que debe colocarse generador.....	30
<b>Tabla 4.1</b> Índices del modelo.....	54
<b>Tabla 4.2</b> Variables de decisión.....	55
<b>Tabla 4.3</b> Tablas del modelo matemático.....	55
<b>Tabla 4.4</b> Parámetros del modelo matemático.....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1.1</b> Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Unidad Refrigerada...4	
<b>Figura 1.2</b> Diagrama de flujo del proceso de Despacho de Unidad Refrigerada...5	
<b>Figura 1.3</b> Diagrama de flujo del proceso de formulación del calendario de servicios de atención.....	10
<b>Figura 3.1</b> Situación Actual del depósito de contenedores.....	24
<b>Figura 3.2</b> Tiempo de Arribo en Flexsim.....	25
<b>Figura 3.3</b> Tiempo de posicionamiento de contenedores en Flexsim.....	26
<b>Figura 3.4</b> Tiempo de procesamiento en Flexsim.....	27
<b>Figura 3.5</b> Tiempo de lavado del contenedor en Flexsim.....	27
<b>Figura 3.6</b> Tiempo de posicionamiento del generador en Flexsim.....	28
<b>Figura 3.7</b> Cola en estación 1 en Flexsim.....	29
<b>Figura 3.8</b> Cola en estación 3 en Flexsim.....	30
<b>Figura 3.9</b> Resultados en Flexsim del tiempo de arribo.....	31
<b>Figura 3.9.1</b> Resultados en Flexsim del tiempo promedio y máximo en cola.....	32
<b>Figura 3.9.2</b> Resultados en Flexsim de ocupación.....	33
<b>Figura 3.9.3</b> Resultados en Flexsim, tiempos de permanencia de los cabezales en la cola.....	33
<b>Figura 3.9.4</b> Resultados en Flexsim del proceso de posicionamiento de contenedores.....	34

<b>Figura 3.9.5</b>	Resultados en Flexsim de la ocupación del posicionamiento de contenedores.....	35
<b>Figura 3.9.6</b>	Resultados en Flexsim, tiempos de permanencia de un cabezal en el proceso de posicionamiento del contenedor.....	36
<b>Figura 3.9.7</b>	Resultado en Flexsim de la cola en estación dos.....	37
<b>Figura 3.9.8</b>	Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor (Primer procesador).....	38
<b>Figura 3.9.9</b>	Resultado en Flexsim del porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (Primer procesador).....	39
<b>Figura 3.9.10</b>	Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor (Segundo procesador).....	40
<b>Figura 3.9.11</b>	Resultado en Flexsim del porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (Segundo procesador).....	41
<b>Figura 3.9.12</b>	Simulación con un solo proceso de lavado de contenedor.....	41
<b>Figura 3.9.13</b>	Resultados en Flexsim de la cola en estación 2.....	42
<b>Figura 3.9.14</b>	Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor.....	43
<b>Figura 3.9.15</b>	Resultado en Flexsim de cola estación 3 (1er escenario).....	44
<b>Figura 3.9.16</b>	Resultado en Flexsim de cola estación 3 (2do escenario).....	45
<b>Figura 3.9.17</b>	Resultado en Flexsim del proceso de posicionamiento de generador (1er escenario).....	47
<b>Figura 3.9.18</b>	Resultado en Flexsim del proceso de posicionamiento de generador (2do escenario).....	48
<b>Figura 3.9.19</b>	Resultado en Flexsim de la salida del patio de contenedores.....	49
<b>Figura 4.1</b>	Tabla de la demanda de los clientes.....	58
<b>Figura 4.2</b>	Matriz de preferencia de clientes por día.....	59
<b>Figura 4.3</b>	Programación de atención a clientes obtenida en GAMS.....	60

## **CAPÍTULO 1**

### **OBJETIVOS Y GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

En la actualidad el flujo de exportaciones e importaciones en el Ecuador ha crecido a pasos agigantados, donde los depósitos de contenedores juegan un papel importante.

Diariamente miles de contenedores se mueven en el Ecuador para el ingreso y salida de mercadería, y es justo por aquel motivo que se genera el problema de su almacenamiento una vez que han sido descargados. En nuestro país, por ejemplo, desde hace muchas décadas la carga de importación es mayor a la carga de exportación; por lo que, uno de los grandes problemas ha sido no poder dar salida a todos los contenedores.

Allí radica la importancia de los depósitos o terminales de contenedores, los cuales son intercambiadores intermodales dotados de amplias extensiones de almacenamiento en tierra donde se agrupan unidades de contenedores para su posterior uso; estos juegan un papel muy importante dentro de la logística del contenedor vacío que va mucho más allá del almacenamiento, su finalidad es proporcionar los medios y la organización necesaria para que el intercambio de el contenedor entre los modos de transporte terrestre y marítimo se produzca en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, respeto al medio ambiente y las normas regularizadoras. Se encuentran ubicados generalmente cerca de las zonas portuarias con el fin de evitar movimientos adicionales.

Los servicios que brindan los depósitos de contenedores consisten en la recepción, inspección, reparación, almacenaje y despacho de todo tipo de contenedores que ingresan al país; de esta forma, estos quedan preparados para poder ser empleados en la siguiente operación de la cadena logística de exportación e importación.

En la ciudad de Guayaquil existen alrededor de 11 patios de almacenaje para contenedores. Para los clientes de estos (líneas navieras) los aspectos más importantes que determinan la preferencia del servicio son:

- Costo del servicio,
- Cercanías,
- Gestión interna de los depósitos,
- Espacio,
- Disponibilidad de instalaciones,
- Mejores condiciones para la operación,
- Tiempo de atención.

Teniendo en cuenta la importancia que revisten los tiempos logísticos, conocer cuáles son los puntos de mayor criticidad que producen demoras en las fases en las que actúan las operaciones de los patios de contenedores reduciría los sobrecostos y lucro cesante que se tiene en la actualidad, mejorando también el nivel de servicio a lo largo de la cadena logística de abastecimiento de bienes.

El presente trabajo se centrará en el análisis de los contenedores refrigerados (reefers) debido a que nuestro país por ser esencialmente agrícola exporta banano y plátano, así como también productos congelados como el camarón y el pescado.

## 1.2 Planteamiento del Problema

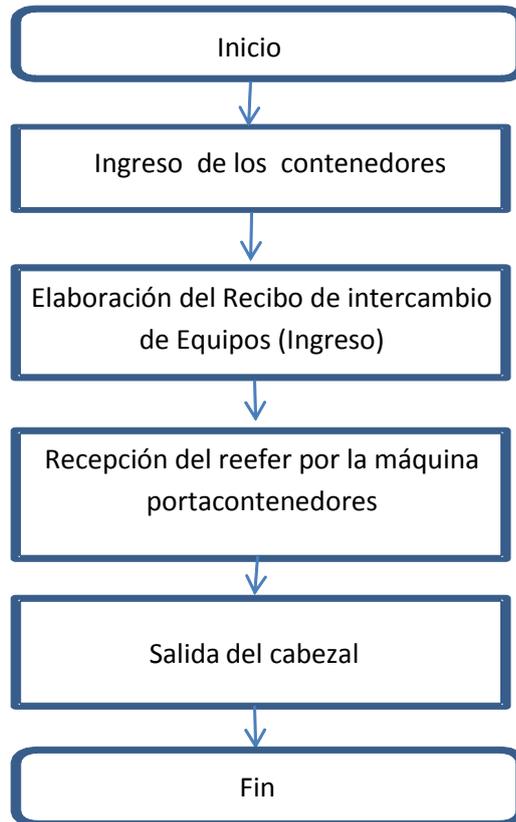
A diario los camiones deben hacer colas de espera para entrar al patio de contenedores, se generan grandes tiempos de operaciones y transacciones en las puertas de acceso, reduciendo así la productividad de otras operaciones y la eficiencia en el uso de estos medios y de los recursos. Los retrasos del servicio, congestión vehicular y la agilidad en que se ejecute el servicio pueden traer graves pérdidas en los costos que se vinculan finalmente al costo de las mercaderías.

En los procesos de recepción y de despacho de contenedores, se empieza con el ingreso del transportista al patio y finaliza con la salida de éste, con el cumplimiento de otras fases que se detallan en las figuras 1.1 y 1.2. Para el apilamiento de los contenedores se utiliza un equipo especial (máquina portacontenedores).

A lo anteriormente expuesto, también la normativa municipal sanciona al depósito de contenedores en caso de que éste conserve una columna de ingreso en la parte exterior causando una obstrucción al libre paso de vehículos, por lo cual es necesaria canalizar eficientemente el ingreso de los cabezales al patio de contenedores para no incurrir contra la ordenanza municipal.

**FIGURA 1.1**

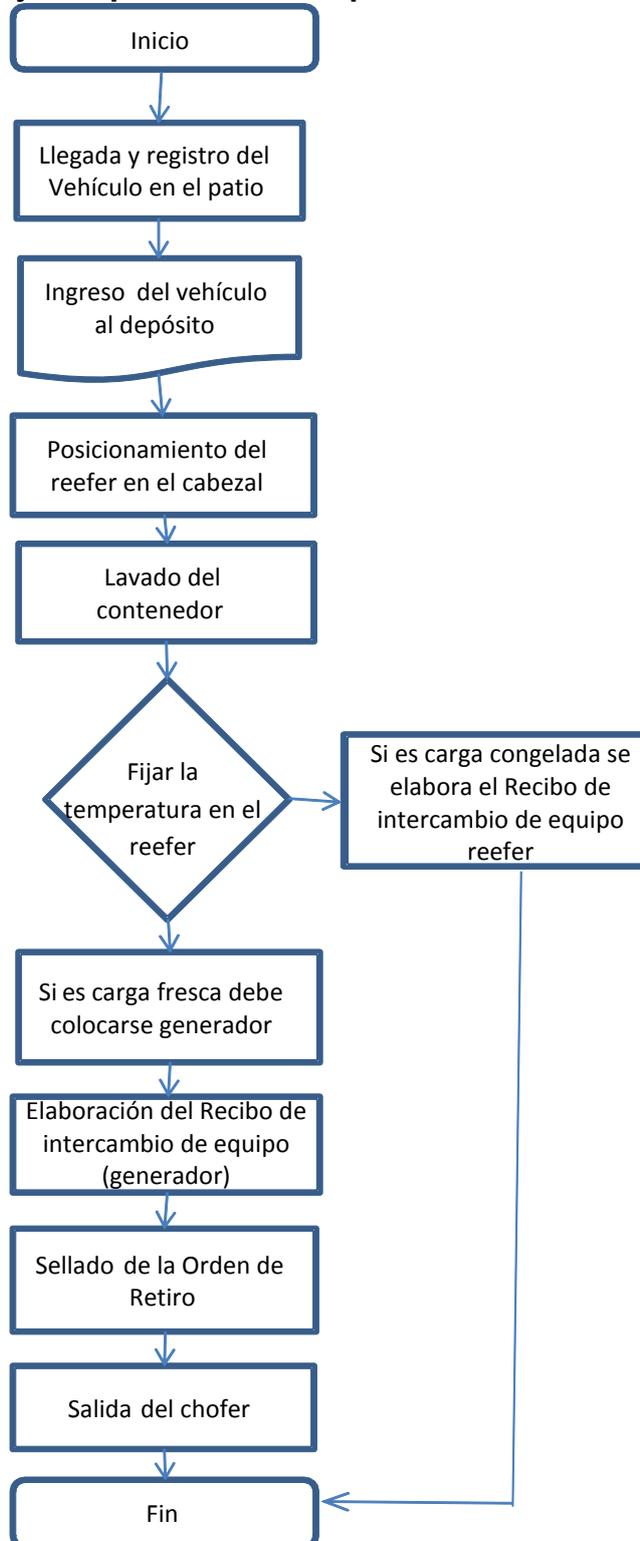
**Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Unidad Refrigerada**



*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

**FIGURA 1.2**

**Diagrama de flujo del proceso de Despacho de Unidad Refrigerada**



*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

### 1.3 Justificación del Problema

El comercio mundial se ha desarrollado en gran parte gracias al transporte de los cuales el marítimo ha progresado debido al desarrollo de una infraestructura logística eficiente más aún cuando se necesita que las mercaderías sean movilizadas de la forma más económica posible.

La cadena logística del transporte marítimo no solo comprende la infraestructura de los puertos sino también la de los patios de almacenamiento de contenedores, los cuales han desarrollado el uso tecnologías de información para acoplarse a las nuevas demandas existentes. Aquí a su vez entra un nuevo participante en la cadena, el transporte terrestre, debido que a las actividades vinculadas a la recepción y despacho de contenedores son realizadas por los camioneros que necesitan tener una mejor productividad en las operaciones de movilización de contenedores basados en una correcta atención por parte de los depósitos y/o terminales.

Un depósito de contenedores en la actualidad no maneja exclusivamente una sola línea naviera sino que maneja la flota de contenedores de algunas, lo que ocasiona que los tiempos de atención no sean los adecuados y la disponibilidad de equipos para el despacho sea en ocasiones limitada debido al status en el que se encuentren las unidades. Por lo general los depósitos tienen varios patios para canalizar la entrega de equipos y dividen los mismos en un patio para despacho de contenedores de carga seca y otro para el despacho de contenedores de carga refrigerada o de ambos.

Este proyecto hará un aporte significativo a los depósitos de contenedores al implementar un calendario de servicios de atención y una vez que se aplique el modelo ayudará al despacho de contenedores de una manera ordenada y rápida.

## **1.4 Objetivo General**

Mejorar el sistema actual de asignación de turnos de recepción y despacho de unidades refrigeradas mediante la elaboración de un calendario de horarios de atención al cliente, con el fin de minimizar el tiempo de las operaciones logísticas del negocio y mejorar la calidad del servicio prestado.

## **1.5 Objetivos Específicos**

1. Evaluar los procesos actuales en el despacho y recepción de contenedores a través del análisis de los tiempos de arribo y tiempos de permanencia de los cabezales en el depósito de contenedores usando el software Flexim.
2. Diseñar un modelo de simulación del sistema de entrega recepción de unidades refrigeradas, incluyendo cada uno de los procesos intermedios (posicionamiento en cabezal, lavado de equipo, mantenimiento, etc) con la finalidad de analizar el comportamiento del sistema.
3. Proponer mejoras en el sistema a través de los resultados obtenidos en el análisis del modelo de simulación del estado inicial.
4. Elaborar la planificación de turnos de servicio al cliente, que conlleve a la reducción de costos, mejora en el servicio y maximización de la productividad del patio de contenedores.
5. Establecer las deficiencias de la prestación del servicio a través de la observación e investigación de campo.

## 1.6 Metodología

Para recopilar los datos se realizó trabajo de campo, mediante la cual se visitó el patio de contenedores para obtener los tiempos en los procesos de recepción y despacho. Se utilizaron fuentes de datos internos y entrevistas con los empleados que brindan diariamente estos servicios para definir y sustentar adecuadamente la tesis propuesta.

Para representar el comportamiento aleatorio del modelo de simulación se necesitó la recolección de información para el modelamiento estadístico de las variables que controlan el modelo de simulación. Es necesario conocer la distribución de la cantidad de movimientos por día y la distribución de los diferentes tiempos de proceso.

Se requiere conocer la distribución de los tipos de movimientos que se deben ejecutar por recepción y despacho, es decir:

- Cantidad de movimientos de carga de contenedores vacíos. (Número de contenedores vacíos a cargar).
- Cantidad de movimientos de descarga de contenedores vacíos. (Número de contenedores vacíos a descargar).

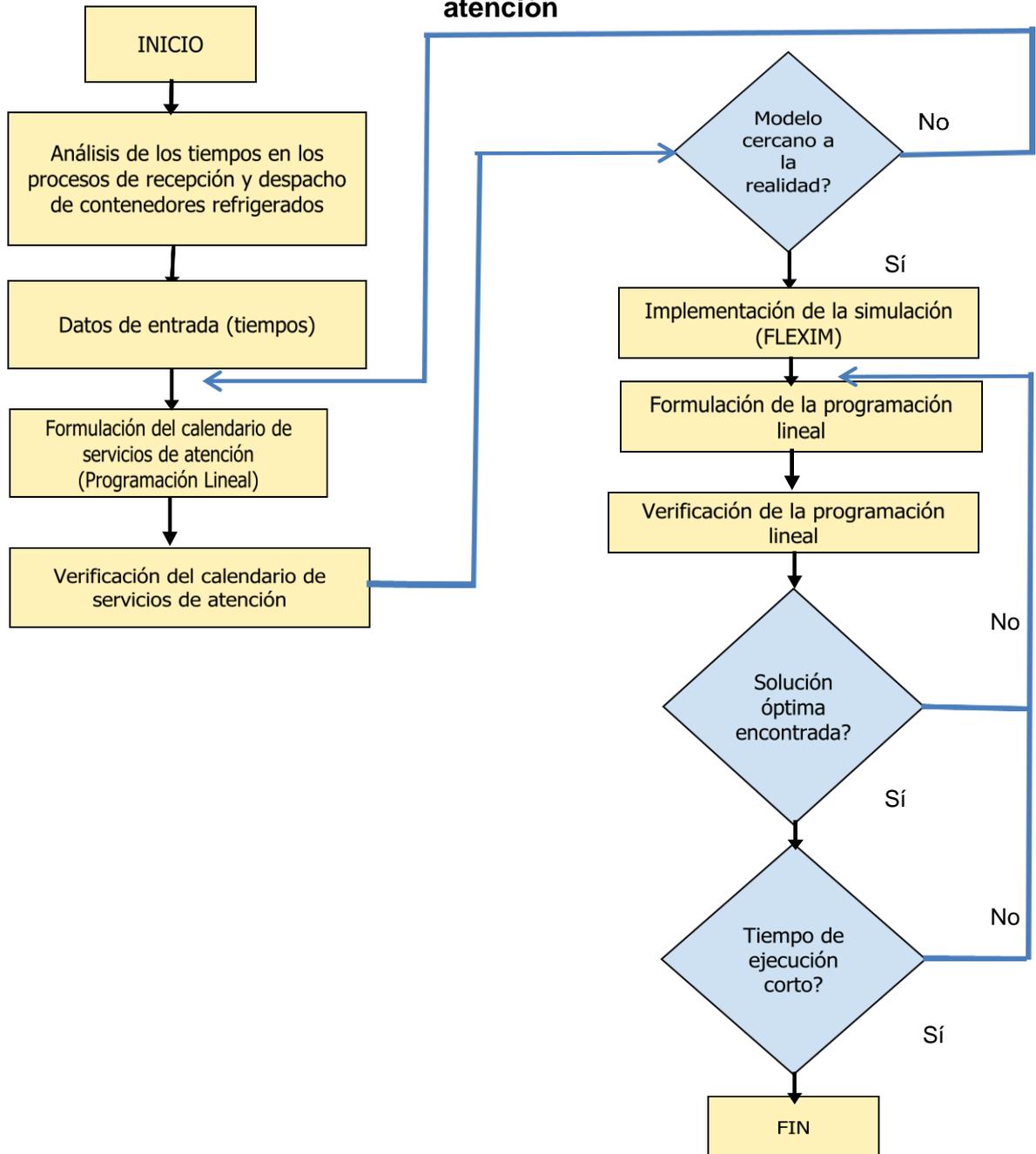
Además, se requiere conocer la distribución de los siguientes tiempos:

- Tiempo de descarga de contenedores del cabezal (chasis) al patio de acopio utilizando una grúa portacontenedores.
- Tiempo de carga de contenedores desde el patio al cabezal (chasis) utilizando una grúa portacontenedores.

En la figura 1.3 se puede apreciar el diagrama de flujo de la metodología utilizada para la realización de este proyecto.

**FIGURA 1.3**

**Diagrama de flujo del proceso de formulación del calendario de servicios de atención**



*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

A la hora de contratar los fletes y solicitar espacio en el buque para el transporte de los contenedores, en nuestro medio el exportador se dirige en casi la mayoría de los casos directamente con la línea naviera, dichas demandas son atendidas por el departamento comercial de estas. El exportador comunica que la mercancía está lista y que puede iniciar la operación para su carga, para esto él debe suministrar toda la información necesaria sobre la mercancía y sobre su destino. La solicitud, conocida como Solicitud de Booking, conlleva la reserva del contenedor vacío así como del espacio en el que será transportada la mercancía en la nave, esta petición puede realizarse por teléfono, fax o Internet.

El agente marítimo o la línea naviera confirman la aceptación de la reserva de contenedor y de espacio solicitado en la nave. Esta aceptación se conoce como Orden de retiro, (documento en el que se indica el lugar y hora en que se recogerá el contenedor, vacío en este caso. Con esto se notifica al depósito de contenedores vacíos para que entregue el contenedor vacío al transportista que presenta el documento) el cual se envía al exportador vía Internet. En la orden de retiro se incluye la reserva del equipo necesario (según las características de los contenedores).

El agente marítimo o la línea naviera contacta al depósito de contenedores vacíos para solicitar el contenedor, informando el nombre del exportador, agente de aduanas/ agente de carga destinatario de dicha reserva. De esta forma, el agente marítimo o la línea naviera autorizan al exportador, agente de aduanas/ agente de carga a disponer del contenedor vacío.

El exportador, agente de aduanas o agente de carga contrata el servicio de transporte terrestre, y entrega al transportista la orden de retiro para que se dirija al depósito a recoger el contenedor vacío.

El transportista terrestre se dirige al depósito de contenedores vacíos especificado en la orden de retiro y presenta dicho documento a la entrada. El depósito de contenedores vacíos realiza las verificaciones necesarias y hace entrega al transportista del contenedor vacío según las características indicadas en el documento (clase, reforzado, no reforzado, refrigerado, seco, tipo, dimensión, etc).

El depósito de contenedores entrega al transportista el contenedor que había sido reservado previamente. La entrega se acredita mediante un EIR<sup>1</sup>. Este es el documento que se presenta en la garita de salida y representa el traspaso de la responsabilidad del contenedor. En este documento se describe el estado del contenedor para limitar la responsabilidad del depósito en caso de se produjesen daños o desperfectos posteriores al retiro del mismo. Adicionalmente, algunos depósitos utilizan a modo de control interno un ticket denominado: Salida de Vacío (Empty Gate Out) que sirve de autorización de salida para el transportista.

Una vez que ha sido cargado el contenedor vacío en el vehículo, el transportista terrestre abandona las instalaciones del depósito de contenedores para dirigirse al almacén del exportador o lugar indicado por el mismo, allí se procede al llenado del contenedor con la mercancía a exportar.

---

<sup>1</sup>EIR (Equipment Interchange Receipt o Recibo de Intercambio de equipo), es el documento que se emite en la garita de entrada/salida de un depósito de contenedores o garita de puerto para registrar las novedades en que se recibe/despacha un contenedor.

Cuando se dispone de la carga en el contenedor el transportista terrestre emite la Guía de Remisión y el exportador emite una Guía del remitente para ser llevada al terminal portuario.

## **2.1.- Principales Actividades de un Patio de Contenedores.**

### **2.1.1 Recepción de contenedores.**

Los depósitos de contenedores reciben unidades refrigeradas de dos maneras: Una es por reposición de equipos vacíos para cubrir la demanda de la agencia naviera o por entrega del importador, cuando éste ya retiró su carga del respectivo equipo y dentro del tiempo de vigencia de la Carta de Salida.

En el caso de reposición de equipos contenedores vacíos, la agencia naviera debe obtener la autorización por parte de la aduana para que el depósito retire los equipos desde el terminal portuario y así ingresar al patio. Por lo general, los depósitos realizan esta actividad por las noches para no interferir en el despacho diario a los clientes de las navieras.

### **2.1.2 Almacenamiento de contenedores.**

Los contenedores como van ingresando al patio van siendo apilados a dos o tres de alto tomando en consideración el criterio de la naviera, por lo general el sistema de almacenamiento utilizado es FIFO<sup>2</sup>.

### **2.1.3 Manipuleo de Contenedores.**

El manipuleo se refiere al sistema de manipulación que permite el movimiento de los contenedores dentro del patio, el cual es necesario por diversos factores tales como: recepción, inspección, reparación y despacho. Para esta operación el patio tiene dos máquinas portacontenedores modelo "Reach Stacker".

---

<sup>2</sup>First in First out (FIFO), lo primero que llegue al almacén es lo primero que debe salir.

#### **2.1.4 Reparación y Mantenimiento de Contenedores.**

Dependiendo de las instrucciones de cada agencia naviera los depósitos son autorizados para realizar la reparación de sus equipos refrigerados, en este caso cuando ingresan al patio se les elabora una “Inspección previa al viaje” (Pre Trip Inspection –PTI-) donde se verifica el estado de la maquinaria y de esta manera determinar si se necesita reemplazar algún componente eléctrico. Adicional se realiza la inspección de la estructura para determinar el estado en que se recibe el equipo. Una vez realizadas ambas inspecciones, el depósito procede a elaborar los respectivos estimativos de reparación para que sean autorizados por la respectiva agencia naviera.

#### **2.1.5 Inspección y mantenimiento de contenedores.**

Los depósitos de contenedores realizan la inspección de los equipos bajo los estándares IICL<sup>3</sup>.

#### **2.1.6 Limpieza de contenedores refrigerados.**

Los contenedores al momento de su despacho son lavados por personal de limpieza, para esta operación el depósito cuenta con dos personas que lavan simultáneamente los equipos mientras se encuentran en columnados.

---

<sup>3</sup>The Institute of International Container Lessors (IICL), organizada en 1971, es la asociación comercial para la industria del Leasing internacional de contenedores y es la encargada de certificar los conocimientos de los inspectores a través de un examen el cual es válido por 5 años.

### **2.1.7 Preparación de Contenedores.**

Si el producto a embarcar necesita de un contenedor especial, la orden de retiro enviada desde agencia debe mencionarlo para que el depósito de contenedores asigne el equipo correcto o en su defecto enviar pre-asignada la unidad.

Los contenedores que deben prepararse son los que se embarcan bajo el servicio de atmósfera controlada, atmósfera regulada y tratamiento de frío (cold treatment). Todos estos servicios se brindan para mejorar la calidad de la carga por tiempos de tránsitos muy largos o por disposiciones de salud de los países de destino final de la carga.

### **2.1.8 Elaboración del Recibo de Intercambio de equipo -EIR-.**

El depósito de contenedores cada vez que recibe y despacha un contenedor debe elaborar su respectivo "Recibo de intercambio de equipo" para constatar el estado en que se encuentra el equipo; en este documento se debe mencionar todas las novedades que el equipo presenta a simple vista como: golpes, cantidad de parches que presenta, numeración del sello plástico con el que sale despachado desde el patio de contenedores y la numeración de los stickers adhesivos que van colocados en los paneles de los motores evaporadores.

En caso que el reefer deba salir del depósito de contenedores con un generador, también debe elaborarse un "Recibo de intercambio de equipo" y el documento deberá mencionar las horas que marca el horómetro con el que sale del patio y la cantidad de combustible despachado al generador.

### **2.1.9 Entrega de contenedores a transportista terrestre.**

El depósito de contenedores entrega los equipos a la compañía de transporte terrestre una vez que el chofer presenta la orden de retiro entregada por la agencia naviera, más la respectiva carta de temperatura que indica a que grados centígrados debe ser fijada la temperatura en la unidad y el porcentaje de ventilación que la unidad debe tener para el respectivo intercambio de aire; en caso que no lleve alguno de estos documentos no podrá retirar un contenedor.

## **2.2. Trabajos relacionados con el desarrollo del marco teórico**

El presente trabajo tiene afinidad con el desarrollado en el año 2006 por Joaquín Pacheco y Silvia Casado Yusta de la Universidad de Burgos (España) donde desarrollaron un sistema para la resolución del problema de programación de horarios de trabajo en un modelo de flujo de pasajeros en el aeropuerto de Madrid-Barajas.

El objetivo del trabajo fue racionalizar los costos del personal de facturación y de seguridad y a la vez garantizar un nivel de fluidez mínimo requerido en el tránsito de los pasajeros, medido en términos de los tiempos de espera. Concretamente se buscó planificar los turnos del personal encargado de los controles de seguridad y los mostradores de facturación (counters).

El sistema estuvo compuesto por tres herramientas o etapas principales:

**1.- *Simulador***, programa que simula el comportamiento del flujo de pasajeros en el aeropuerto, de forma global como también en cada una de las estaciones (seguridad y facturación).

Los elementos significativos del sistema son cuatro: mostradores de facturación (F), puertas de controles de salida y pasaporte (CP – CS) y puertas de embarque (E).

En este trabajo solo se consideran los recorridos de los viajeros que salen, o en tránsito:

*“A) Pasajeros de vuelos nacionales que inician su recorrido*

$$F \rightarrow CS \rightarrow E$$

*B) Pasajeros de vuelos internacionales que inician su recorrido*

$$F \rightarrow CP \rightarrow CS \rightarrow E$$

*C) Pasajeros de vuelos internacionales en tránsito (sin maletas)*

$$CP \rightarrow E$$

**2.- Optimizador de Simulaciones**, donde se hace uso de la etapa anterior de simulación para determinar en cada estación y en cada período el número de recursos humanos necesarios para garantizar la fluidez mínima requerida.

A partir del tiempo de llegada del pasajero, se calculó el tiempo de espera, se genera su tiempo de servicio y se calcula su tiempo de salida (y llegada a la siguiente estación). *“En cada iteración hay que determinar previamente, que acontecimiento es el más temprano en el tiempo para procesarlo. Para ordenar los acontecimientos en el tiempo, se usó en este trabajo la estructura de árbol binario, Williams (1964). En cada nodo  $k$  del árbol binario se sitúa un acontecimiento  $i$  de forma que en los nodos que salen de él,  $2k$  y  $2k+1$ , se sitúan dos acontecimientos  $i'$  e  $i''$  posteriores a  $i$ . Claramente en el vértice situado en la primera posición estará en cada iteración el acontecimiento más próximo en el tiempo”.*

Se identificó que la interacción entre las diferentes estaciones siempre se da en el mismo sentido, es decir, nunca es recíproca, el pasajero nunca va a retroceder desde el inicio en el mostrador de facturación hasta el final en la puerta de embarque del vuelo. *“El orden siempre es el mismo. Para el resto de los recorridos de los pasajeros, pueden aparecer menos elementos o estaciones, pero los que aparecen respetan este orden y sentido. Lo que ocurre en los mostradores de facturación puede influir en los puntos de control de pasaporte; lo que ocurre en estos a su vez influyen en los puntos de control de salida, etc., pero no al revés”.*

La estrategia diseñada fue denominada por los autores “optimización por estaciones y etapas” sigue el siguiente esquema:

- “1. Ordenar las estaciones (primero F, después CP, CS y E).*
- 2. Introducir los tiempos de llegada de los pasajeros en el sistema.*
- 3. Para cada estación (según el orden) y para cada hora hacer*
  - 3.1 Determinar la lista de los tiempos de llegada de los pasajeros a esa estación y en esa hora.*
  - 3.3 Determinar los recursos necesarios.*
  - 3.3 Ejecutar la simulación con k recursos y actualizar la información de los pasajeros que han intervenido”.*

**3.- “ Método para resolver los Labor Scheduling Problem correspondientes, con los datos anteriores plantear y resolver para cada estación el problema de programación de turnos que minimice el costo de personal y respete el número de recursos anteriores en cada hora”.**

Analizada la asignación de turnos de horarios correspondientes a cada estación, se apreció que se ajustaban al clásico modelo de Dantzig (1954). *“En este caso, todos los turnos tienen el mismo costo, y por tanto, se trata de*

*minimizar el número de trabajadores. Se debe resolver este problema en cada estación, para cada solución que el sistema integro genera”.*

El sistema obtiene una gran diversidad de soluciones, que vienen medidas en función de los costos del personal y los tiempos de espera de los pasajeros; facilitando así la tarea del decisor que puede seleccionar la alternativa más adecuada dependiendo de sus preferencias. Las soluciones generadas se aproximan a la curva de eficiencia teniendo en cuenta los objetivos de costos de personal y nivel de servicio ofrecido. Además el sistema se adapta fácilmente a posibles cambios en los datos (cancelaciones de vuelos, cambios de horario, averías, etc.).

Otro documento que guarda relación al presente trabajo es el realizado por María José Contreras, Felipe Baesler y Loreto Maldonado de la Universidad del Desarrollo de Chile en el año 2010, ellos realizaron un modelo de simulación con la finalidad de mejorar las operaciones de tipo portuarias en la carga y descarga de contenedores en un muelle específico de Chile. *“Básicamente la problemática implica definir los requerimientos de equipamiento necesarios (grúas portacontenedores y camiones) que permitan el cumplimiento de estándares de utilización y eficiencia del proceso de carga y descarga de contenedores al menor costo de inversión posible”.*

Para resolver este problema, ellos diseñaron un modelo de simulación de eventos discreto, que imite el comportamiento del proceso de carga y descarga de contenedores en el puerto. Con el fin de representar el comportamiento aleatorio del modelo de simulación ellos recolectaron información a través de observación de campo.

Con esta información determinaron el tipo de distribución que sigue la cantidad de movimientos por nave para cada tipo de contenedor, y la distribución de los diferentes tiempos de proceso.

La representatividad de los resultados se comprobó a través de pruebas de bondad de ajuste, Chi-Cuadrado o Kolmogorov-Smirnov, dependiendo de las características de los datos. A partir de esta información procedieron a la construcción del modelo de simulación, utilizaron el software de simulación de eventos discretos ARENA y para la validación del modelo de simulación consideraron la variable de respuesta tiempo total de proceso de un buque. Realizaron una prueba t de comparación de medias entre los datos reales del puerto y los resultados de la simulación.

El paso siguiente correspondió a la aplicación del diseño experimental, el cual permitió establecer la significancia estadística en cada uno de los factores considerados en el modelo. Los autores definieron tres factores: cantidad de camiones plataforma o tractores (factor 1), grúas portacontenedores para contenedores llenos (factor 2), y grúas portacontenedores para contenedores vacíos (factor 3). Para cada uno de estos factores se definieron dos niveles, teniendo así un diseño factorial del tipo 2<sup>3</sup>. Se realiza el diseño experimental por separado para dos tipos de escenarios (un buque o dos buques en puerto).

En función de los resultados obtenidos de la aplicación de diseño de experimentos, se consideran sólo los factores que se han encontrado importantes para construir un metamodelo que explique el comportamiento del modelo de simulación. Este metamodelo obtenido a través de metodología de superficie de respuesta, toma la forma de una ecuación de regresión que predice el valor de la variable respuesta en función de las combinaciones de los niveles de los factores de interés y la interacción entre ellos, logrando reducir un sistema complejo a una expresión que puede optimizarse utilizando técnicas de fácil uso y acceso.

Finalmente, utilizando las expresiones obtenidas a través de la aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta, se busca la combinación óptima de

factores que minimice los costos de inversión en equipamiento manteniendo al menos un 95% de utilización de las grúas pórtico de muelle para el escenario de una nave, y de al menos un 85% para el escenario de dos naves. Para llevar a cabo la obtención de los porcentajes óptimos los autores utilizan la herramienta Solver de MS Excel, debido a que el tamaño del problema no amerita la utilización de un software más sofisticado.

## **CAPÍTULO 3**

### **SIMULACIÓN**

La Simulación es el intento de reproducir los rasgos, aspectos y características de un sistema real, a través de un modelo informático.

Para nuestro caso de estudio simularemos el escenario actual en el que se desenvuelve el depósito de contenedores. Para ello es necesario conocer los tiempos de arribo (tiempo en que llegan los cabezales al depósito de contenedores) y los tiempos de permanencia (tiempo que el cabezal se encuentra dentro del sistema); hay que considerar que dentro de las tareas vinculadas al despacho de unidades refrigeradas se generan tres actividades o procesos previo a la salida del sistema, estas actividades son: posicionamiento del contenedor al cabezal, lavado del contenedor y posicionamiento del generador al contenedor cuando este sea necesario.

Generalmente, la distribución que sigue la variable que representa el tiempo entre llegadas es exponencial, esta hipótesis será justificada realizando una prueba de bondad de ajuste. Dentro del despacho de contenedores surgirá una cola única que garantiza al cliente el despacho de un equipo en estricto orden de llegada.

Se tomó una muestra de despacho de contenedores en tres días lunes de varias semanas y de esta manera se obtuvo la información necesaria para realizar la simulación. (Anexos 1, 2 y 3)

### 3.1 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son una herramienta para determinar el comportamiento de un conjunto de datos. Lo que se desea es probar la hipótesis que un modelo de probabilidad teórico (normal, exponencial, poisson, etc) en particular será un modelo satisfactorio de la población en estudio.

Este ajuste de los datos a un modelo de distribución de probabilidad se puede realizar por medio de las pruebas estadísticas más conocidas como lo son las pruebas de bondad de ajuste chi cuadrado y la de Kolmogor-Smirnov.

En nuestro caso de estudio realizamos la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado ( $\chi^2$ ) para los siguientes tiempos:

1. Tiempo de arribo del cabezal al depósito de contenedores.
2. Tiempo de posicionamiento de contenedor al cabezal.
3. Tiempo de lavado del contenedor en el cabezal.
4. Tiempo de posicionamiento de generador al contenedor.

En los anexos 4, 5 y 6 se observan los cálculos realizados y la aceptación de las hipótesis, donde el tiempo de arribo del cabezal al depósito de contenedores tiene un comportamiento exponencial y que el resto de tiempos tienen un comportamiento uniforme (anexos 7, 8 y 9).

### 3.2 Caso de estudio a desarrollar a través del software FLEXSIM

El programa usado para desarrollar la simulación fue el software **Flexsim** (4).

---

(4) Flexsim, es un evento de manufactura discreta de simulación de software desarrollado por Flexsim Productos de Software, Inc.

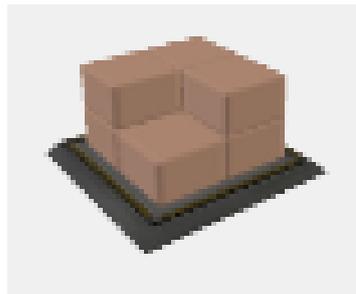
### 3.2.1. Terminología del Flexsim

Antes de comenzar con la simulación es necesario dar a conocer los términos básicos del software.

### 3.2.2. Objetos del Flexsim

Los objetos de Flexsim simulan diferentes tipos de recursos en la simulación. El objeto llamado **“Queue”**, actúa como un buffer o un área de almacenamiento.

Este objeto puede representar una fila de personas esperando, una fila de camiones esperando, etc.



El objeto llamado **“Processor”**, simula un tiempo de demora o proceso. Este objeto puede representar una máquina de una fábrica, un cajero atendiendo a un cliente en un banco, etc.



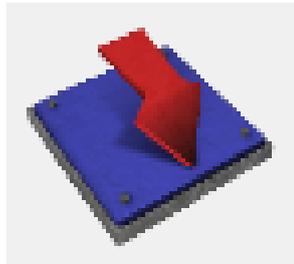
### 3.2.3. Flowitems.-

Los flowitems son los objetos que se mueven a través del modelo. Los flowitems pueden representar productos, partes, contenedores o cualquier cosa

que se mueva a lo largo del proceso que se está simulando. En Flexsim, los flowitems son creados con el objeto denominado “**Source**”.



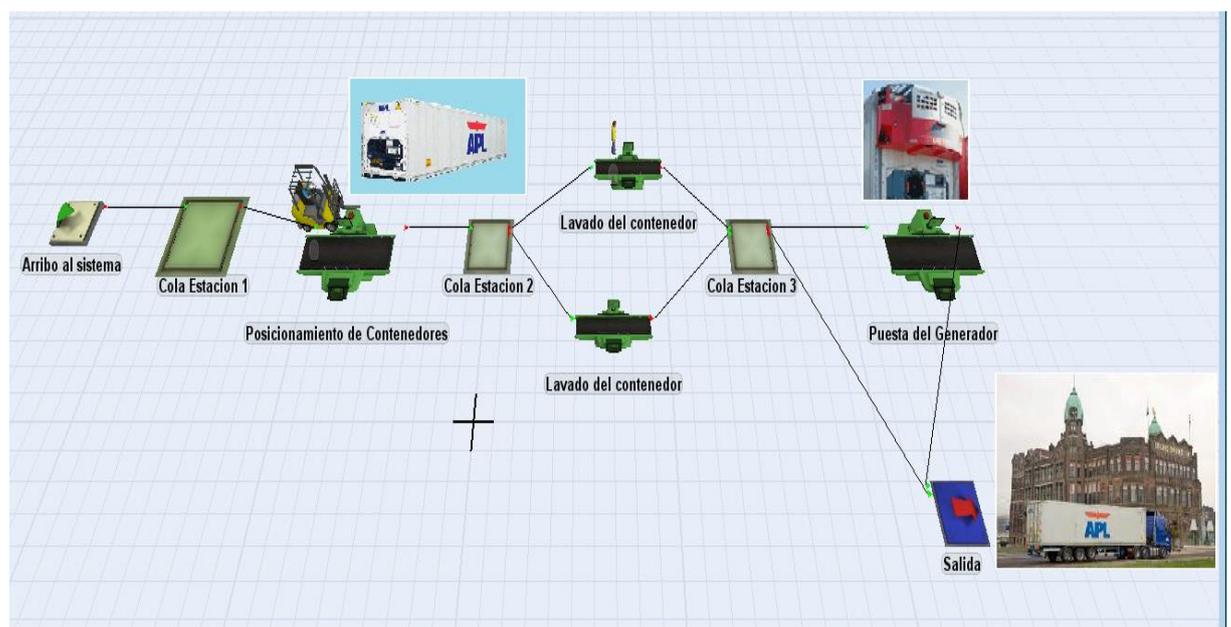
Una vez que los flowitems han pasado a través del modelo, estos son enviados a un objeto llamado “**Sink**” que se lo coloca al final del proceso.

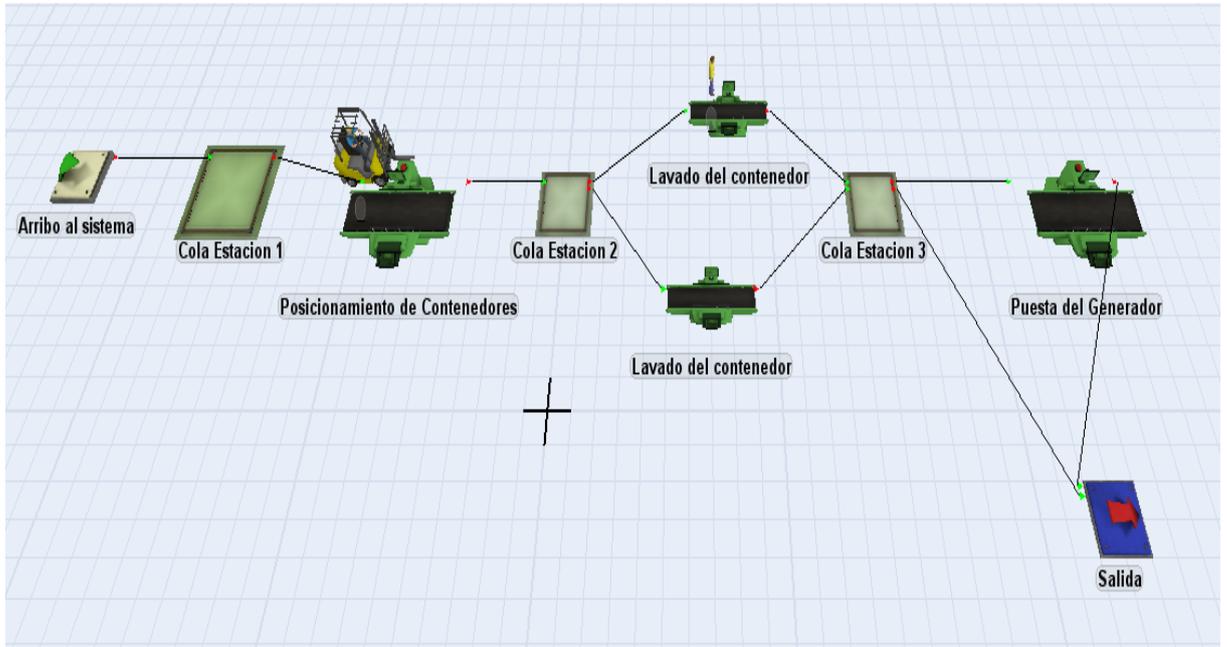


### 3.3. Desarrollo de la simulación

Las condicionales actuales del depósito de contenedores se demuestran a continuación:

*Figura 3.1 Situación Actual del depósito de contenedores*



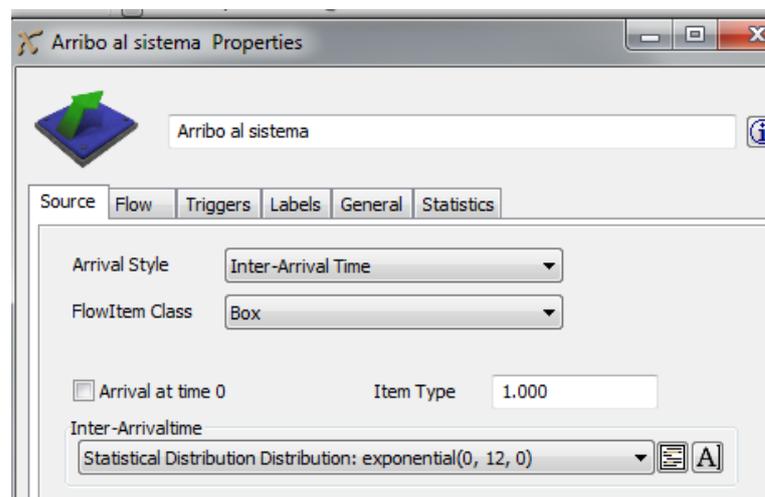


Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

### 3.3.1 Tiempo de Arribo.-

Como se determinó en la prueba de bondad de ajuste el valor que se obtuvo como tiempo medio de llegada de una muestra de 49 cabezales es de 12 minutos con una distribución exponencial.

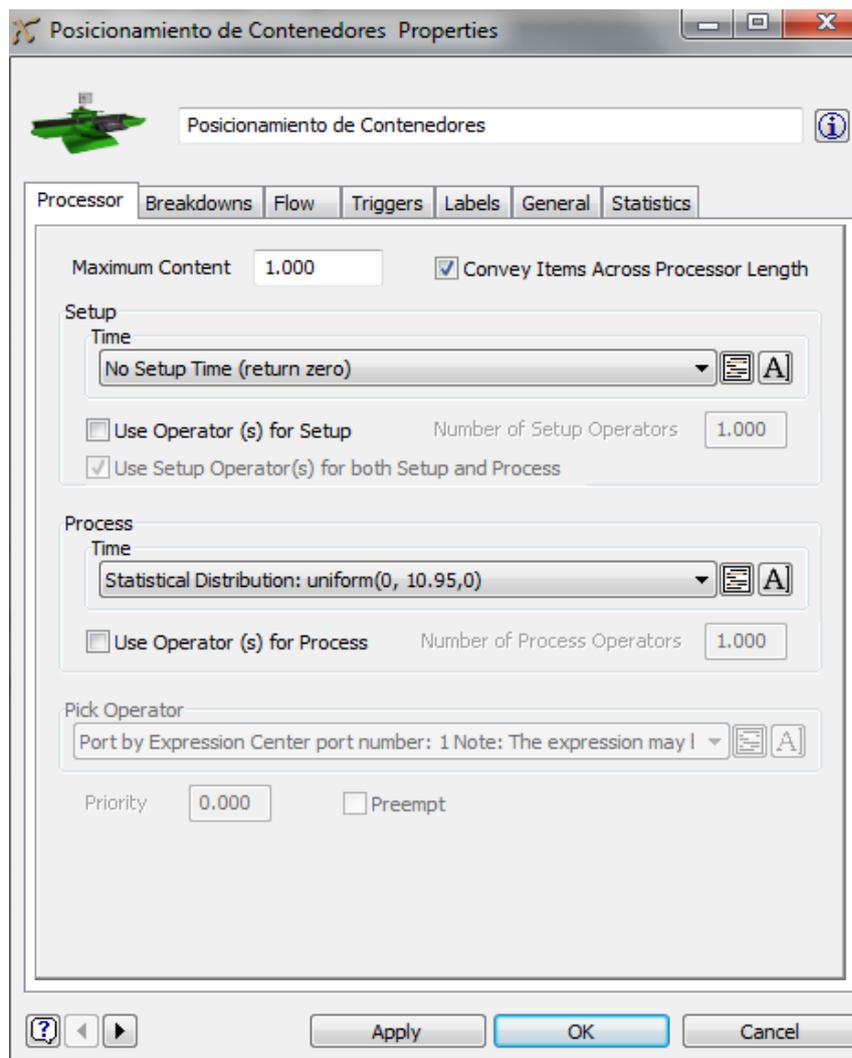
Figura 3.2 Tiempo de Arribo en Flexsim



### 3.3.2. Tiempo de posicionamiento de contenedores.-

El tiempo de posicionamiento de contenedores es a razón de 10.95 minutos con una distribución uniforme.

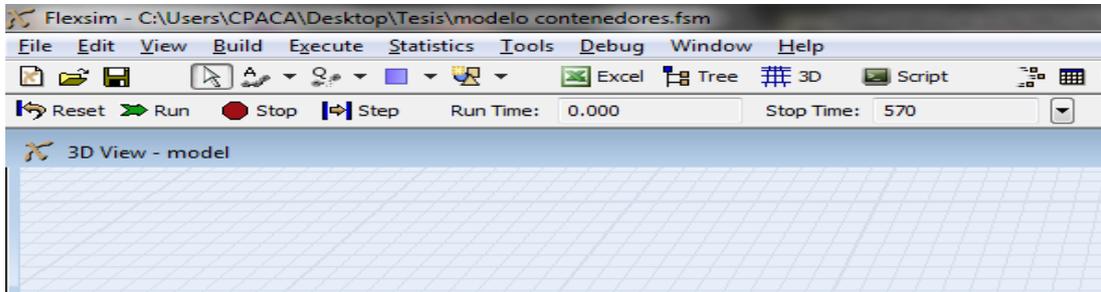
Figura 3.3 Tiempo de posicionamiento de contenedores en Flexsim



### 3.3.3. Tiempo de procesamiento.-

El tiempo de procesamiento corresponde a 9 horas con 30 minutos que corresponden a 570 minutos. Horario de Atención del patio de contenedores es desde las 08h30 a 18h00.

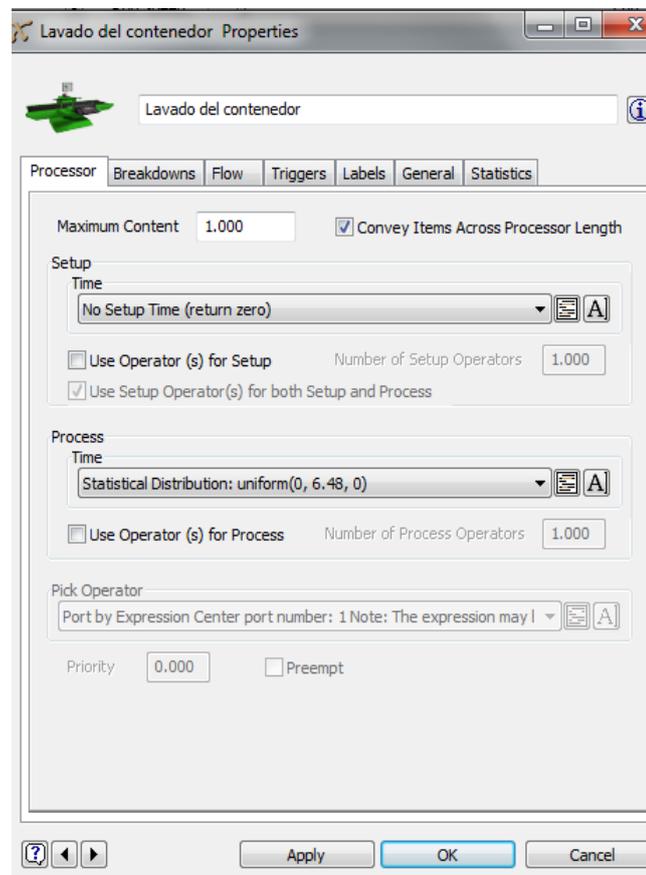
Figura 3.4 Tiempo de procesamiento en Flexsim



### 3.3.4. Tiempo de lavado del contenedor.-

El tiempo de lavado del contenedor es a razón de 6.48 minutos con una distribución uniforme.

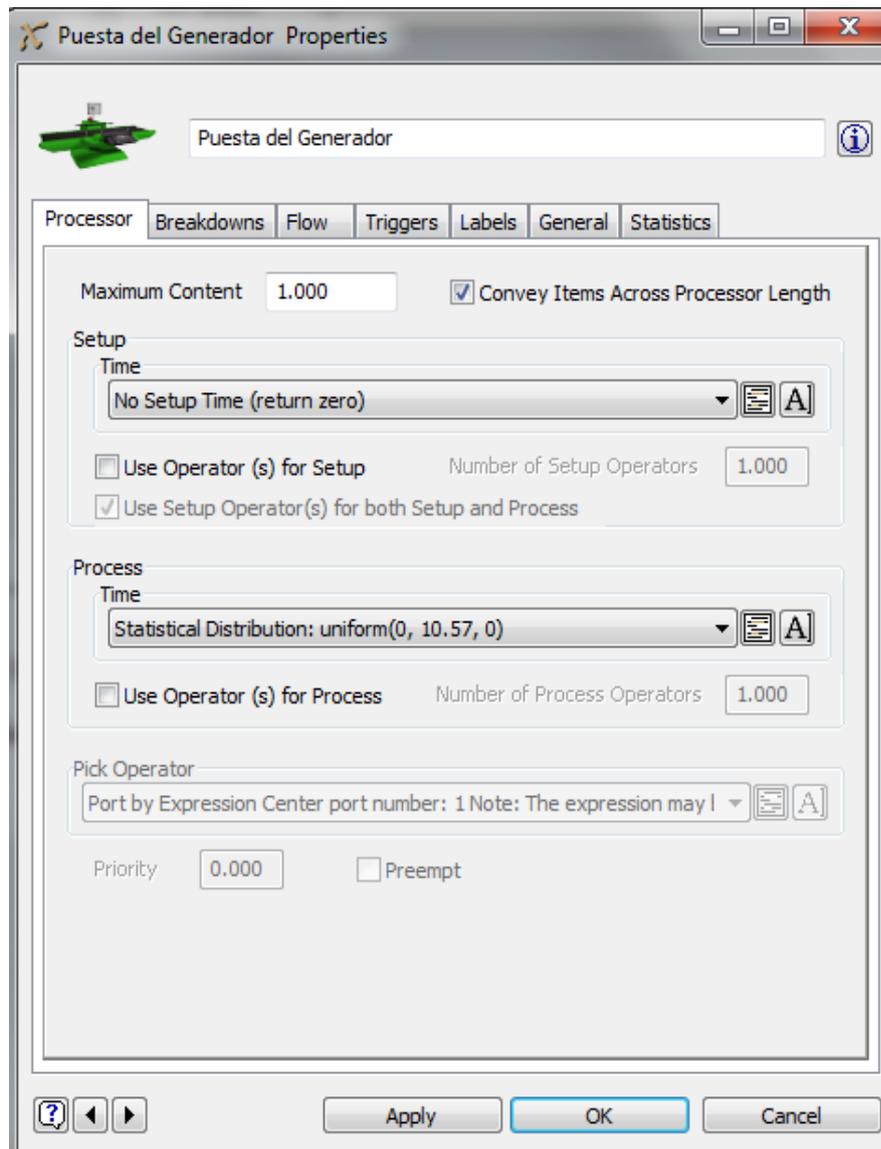
Figura 3.5 Tiempo de lavado del contenedor en Flexsim



### 3.3.5 Tiempo de posicionamiento del generador.-

El tiempo de posicionamiento del generador es a razón de 10.57 minutos con una distribución uniforme.

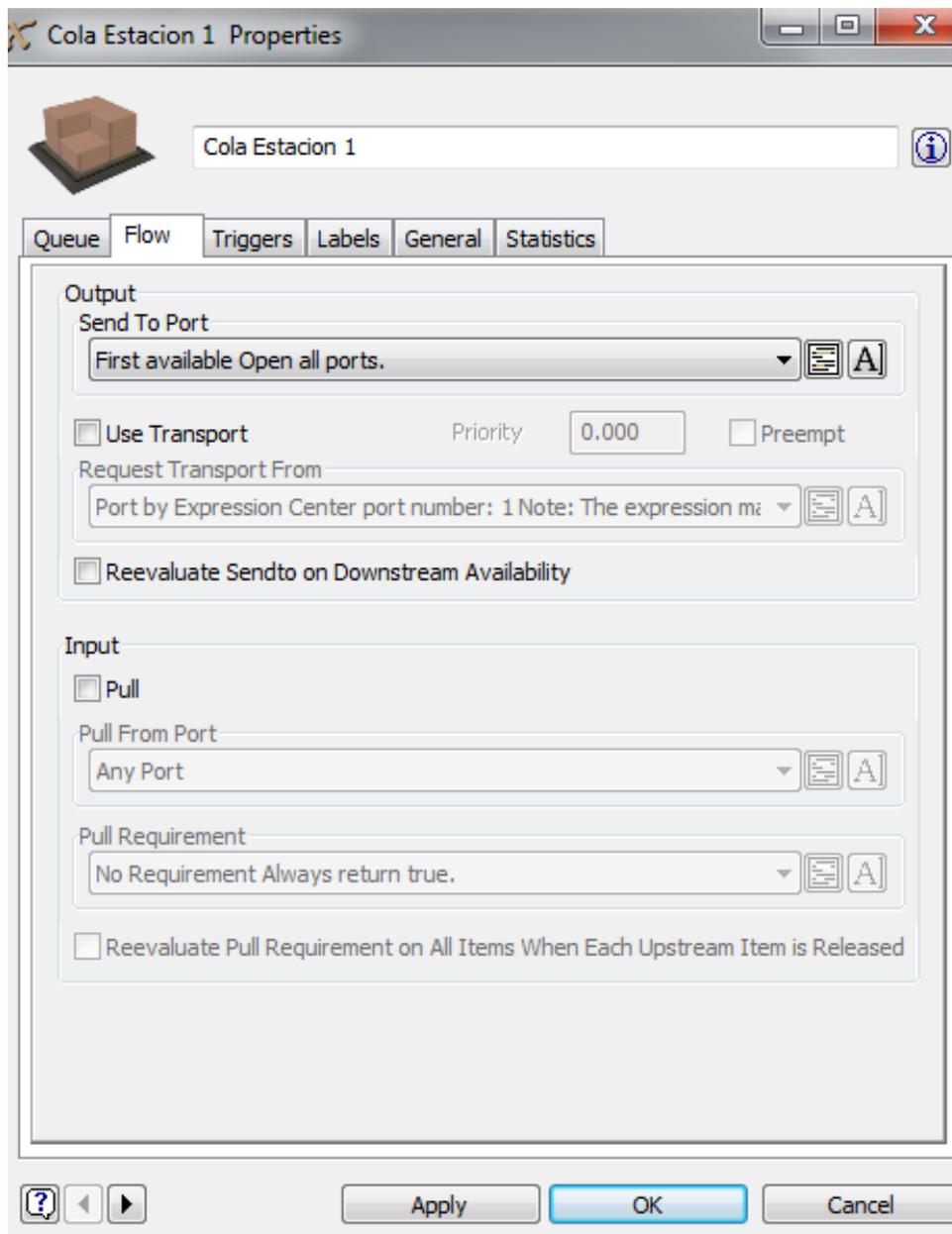
Figura 3.6 Tiempo de posicionamiento del generador en Flexsim



### 3.3.6 Cola en estación 1.-

En esta parte del modelo se selecciona la opción ir al primer puerto disponible para que se coloque el contenedor en el cabezal.

Figura 3.7 Cola en estación1 en Flexsim



### 3.3.7 Cola en estación tres.-

Como se obtuvo en la recolección de datos, el porcentaje de contenedores a los cuales debe de colocarse generador (\*) antes de salir del patio de contenedores es del 35% y la diferencia no. Se expresa de la siguiente manera en el flexsim.

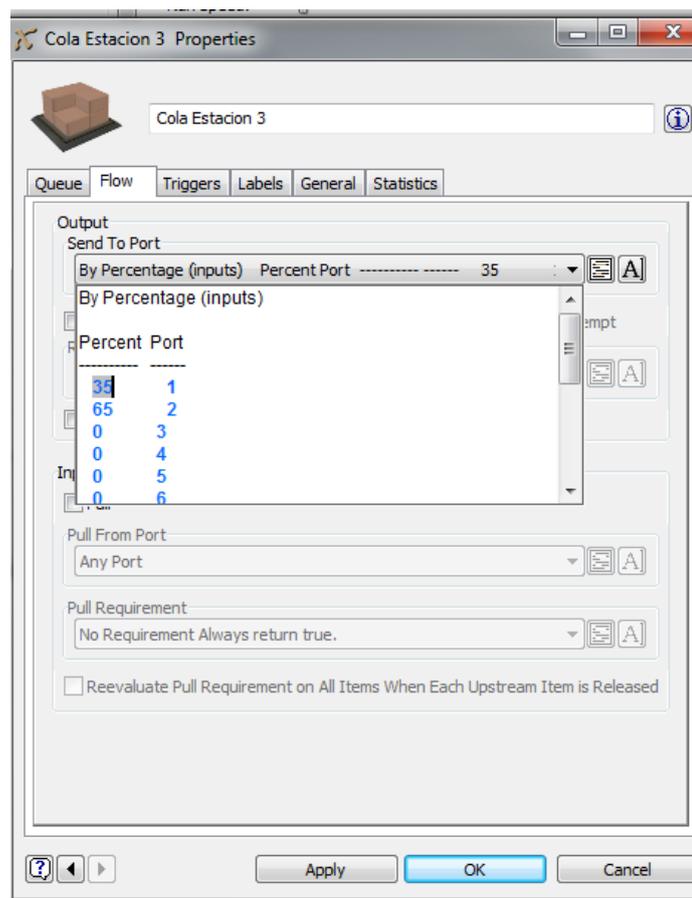
**Tabla 3.1**

**Porcentaje de contenedores a los que debe colocarse generador**

Contenedores	Muestra	%
sin generador	32	65,3061225
con generador	17	34,6938776
total	49	100

*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

**Figura 3.8 Cola en estación 3 en Flexsim**



\*Generador: Equipo que provee de energía al contenedor refrigerado mientras este no se encuentre conectado a una toma de corriente.

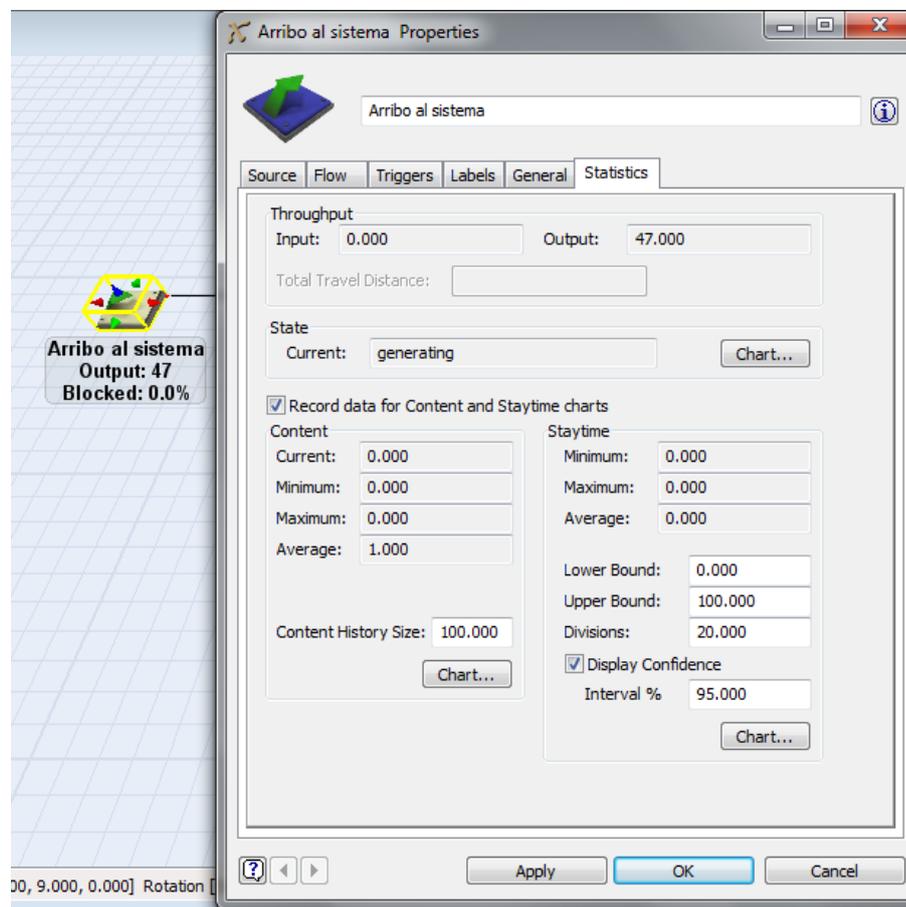
Una vez establecido las condiciones en que se debe correr la simulación procedemos a obtener los siguientes resultados:

### 3.4 Resultados de la Simulación

#### 3.4.1 Análisis del tiempo de arribo.-

La cantidad de cabezales que ingresan desde las 08h30 a 18h00 son 47.

Figura 3.9 Resultados en Flexsim del tiempo de arribo



- Cantidad de cabezales atendidos 47.
- Cantidad final de cabezales que se quedan en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 0.

- Cantidad mínima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 0.
- Cantidad máxima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 4.
- Cantidad promedio de cabezales en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 0.
- Tiempo mínimo de los cabezales en cola: 0
- Tiempo promedio de los cabezales en cola 3 minutos.
- Tiempo máximo de los cabezales en cola 18 minutos.
- Se observa una ocupación del 16 %.

*Figura 3.9.1 Resultados en Flexsim del tiempo promedio y máximo en cola*

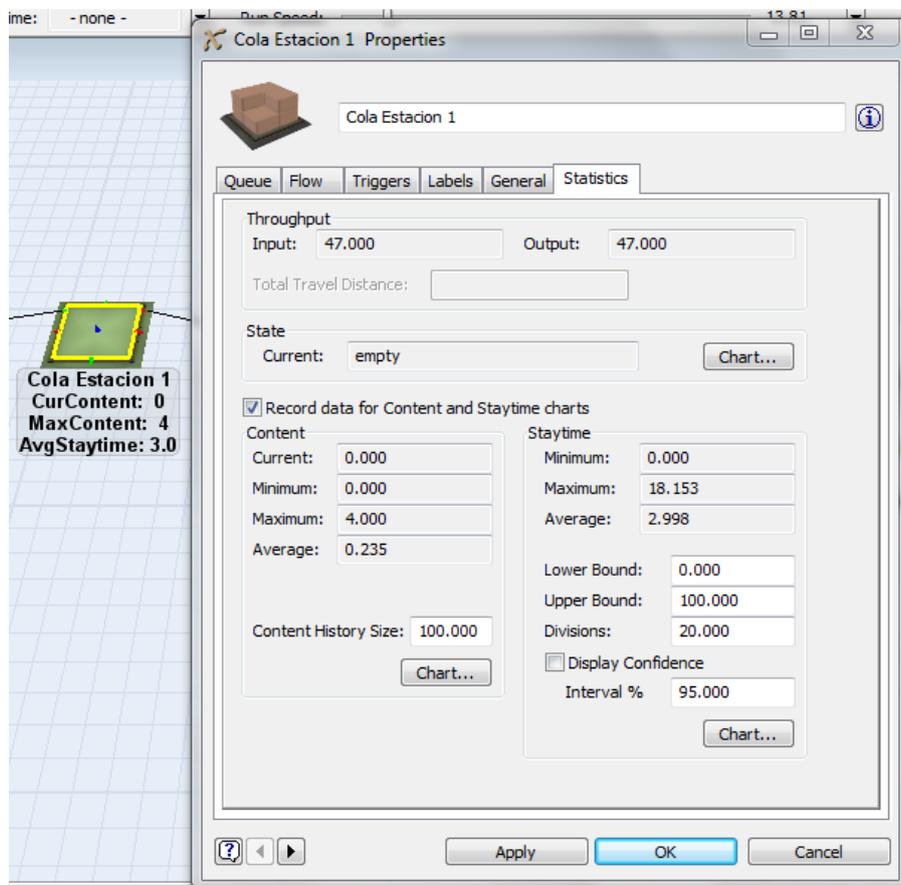


Figura 3.9.2 Resultados en Flexsim de ocupación

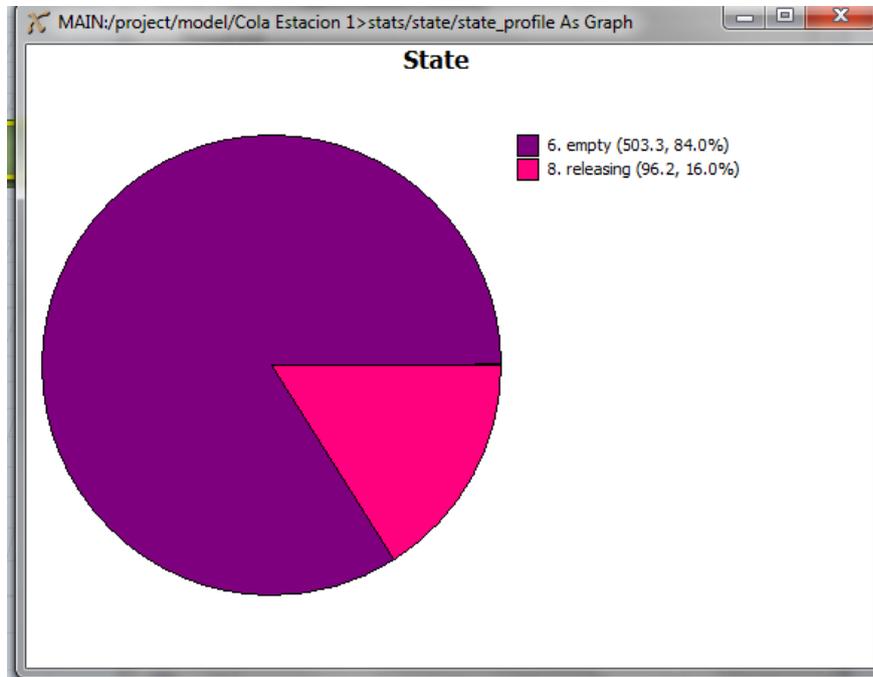
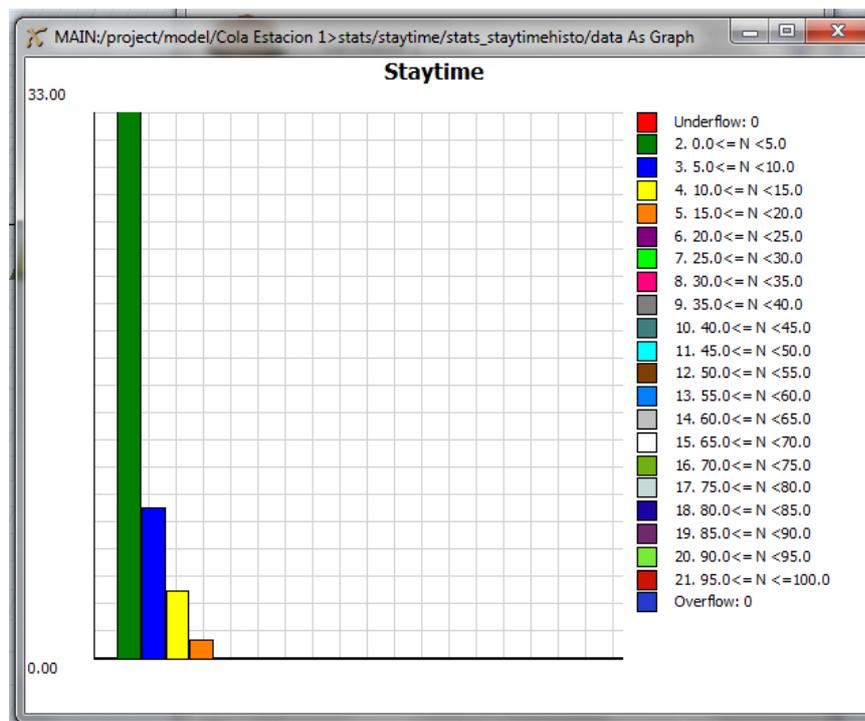


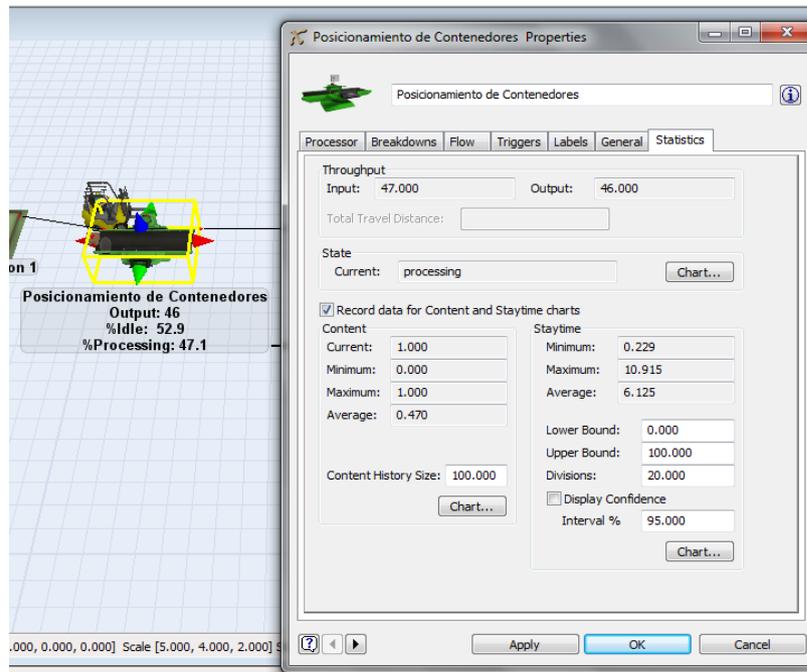
Figura 3.9.3 Resultados en Flexsim, tiempos de permanencia de los cabezales en la cola.



### **3.4.2 Análisis del proceso de posicionamiento de contenedores.-**

- Cantidad de cabezales a los que se les posicionó un contenedor: 46
- Cantidad de cabezales en proceso de posicionamiento de contenedor: 1
- Cantidad mínima de cabezales en proceso de posicionamiento de contenedor: 0
- Cantidad máxima de cabezales en proceso de posicionamiento de contenedor: 1
- Cantidad promedio de cabezales en cola en proceso de posicionamiento de contenedor 0.47 equivalente a 1.
- Tiempo mínimo de permanencia de los cabezales mientras se le posiciona un contenedor: 0.229 minutos.
- Tiempo máximo de permanencia de los cabezales mientras se le posiciona un contenedor: 10.91 minutos
- Tiempo promedio de permanencia de los cabezales mientras se le posiciona un contenedor: 6.125 minutos.

Figura 3.9.4 Resultados en Flexsim, del proceso de posicionamiento de contenedores



- Porcentaje de ocupación del proceso posicionamiento del contenedor: 47%

Figura 3.9.5 Resultados en Flexsim de la ocupación de posicionamiento de contenedores

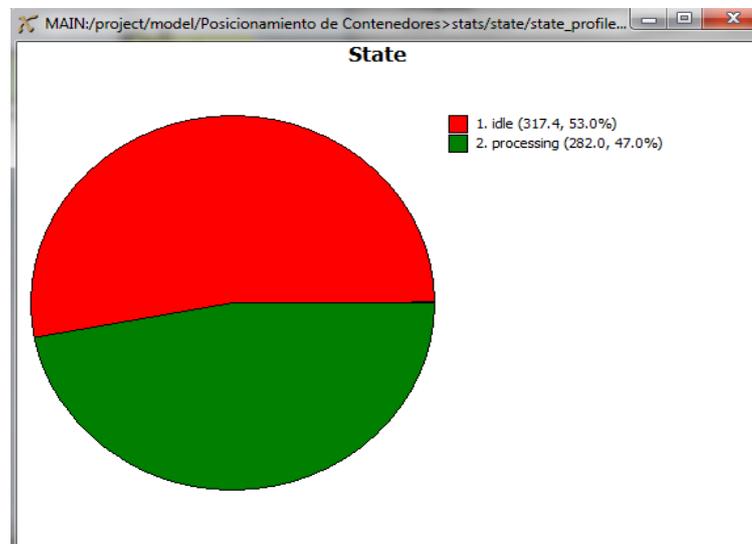
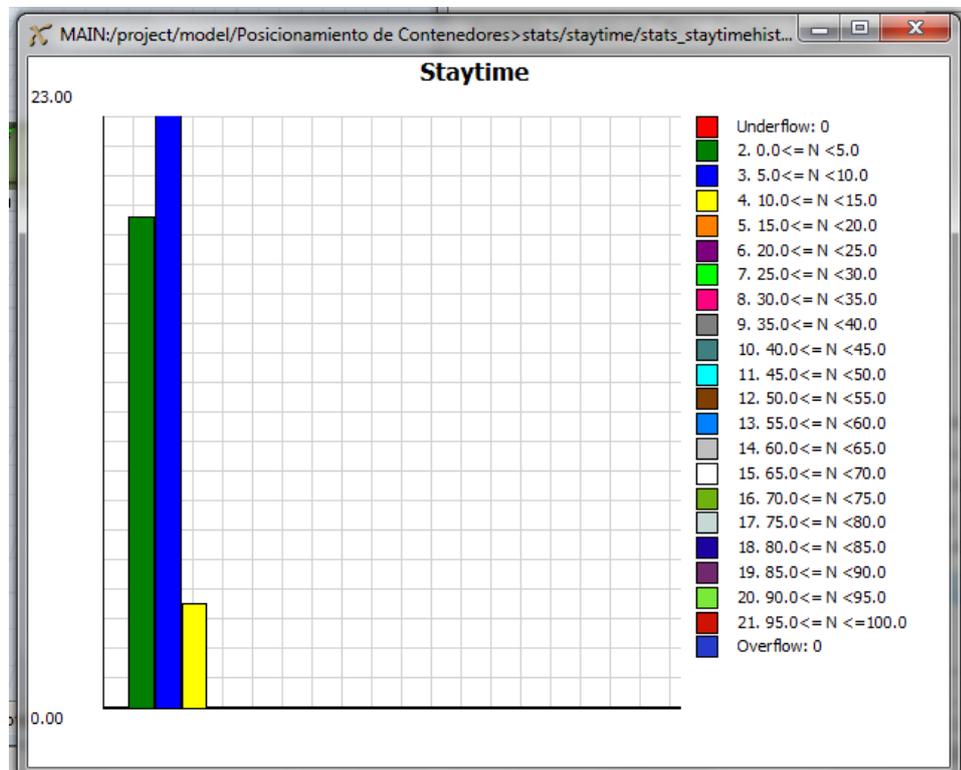


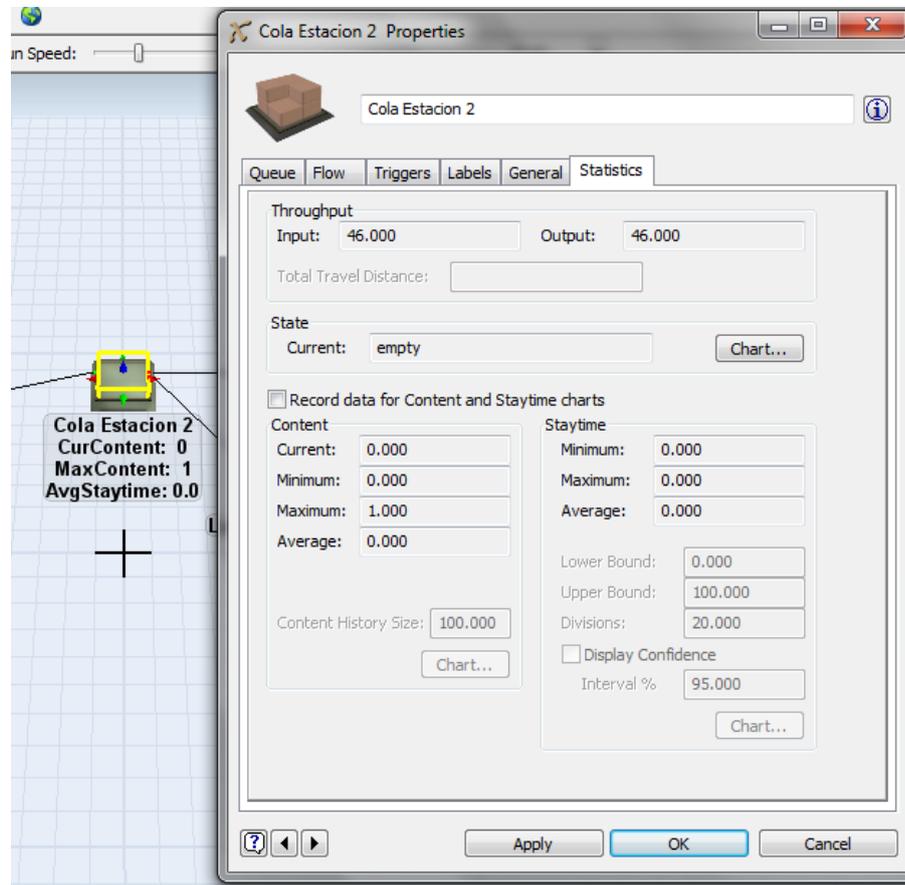
Figura 3.9.6 Resultados en Flexsim, tiempos de permanencia de un cabezal en el proceso de posicionamiento del contenedor.



### 3.4.3 Análisis de Cola en Estación 2.-

- Cantidad de cabezales atendidos 46.
- Cantidad final de cabezales que se quedan en cola, previo al lavado del contenedor 0.
- Cantidad mínima de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor 0.
- Cantidad máxima de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor: 1.
- Cantidad promedio de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor: 0.
- Tiempo mínimo de los cabezales en cola: 0

Figura 3.9.7 Resultado en Flexsim de la cola en estación dos

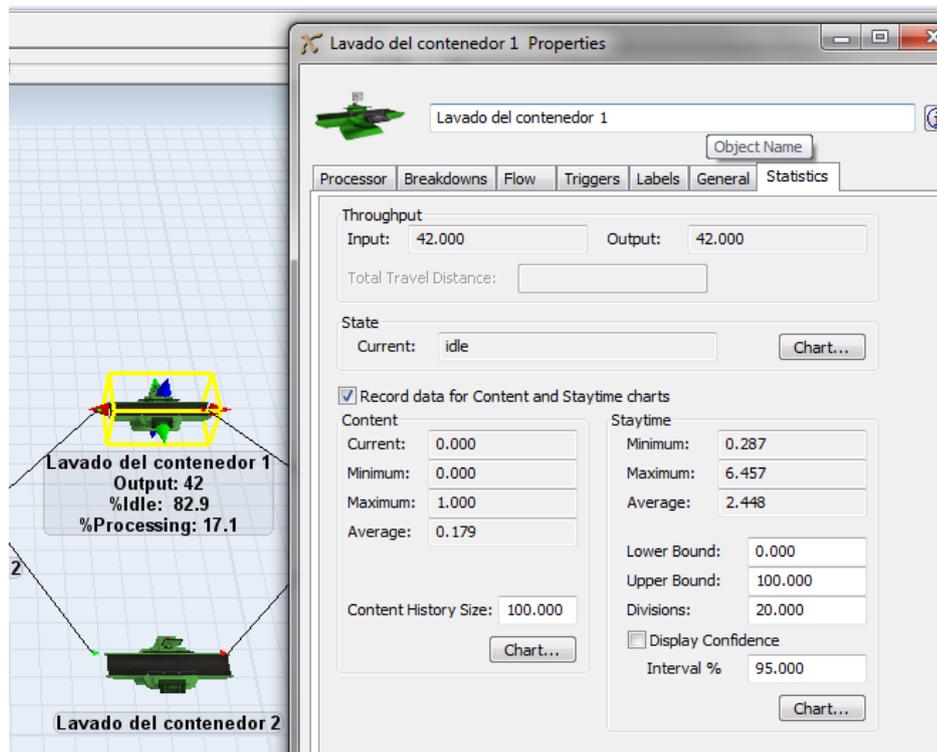


### 3.4.4 Análisis del proceso de lavado de contenedores (Primer procesador).-

- Cantidad de contenedores lavados: 42
- Cantidad de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad mínima de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad máxima de contenedores en proceso de lavado: 1
- Cantidad promedio de contenedores en cola en proceso de lavado 0.179 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 0.287 minutos.

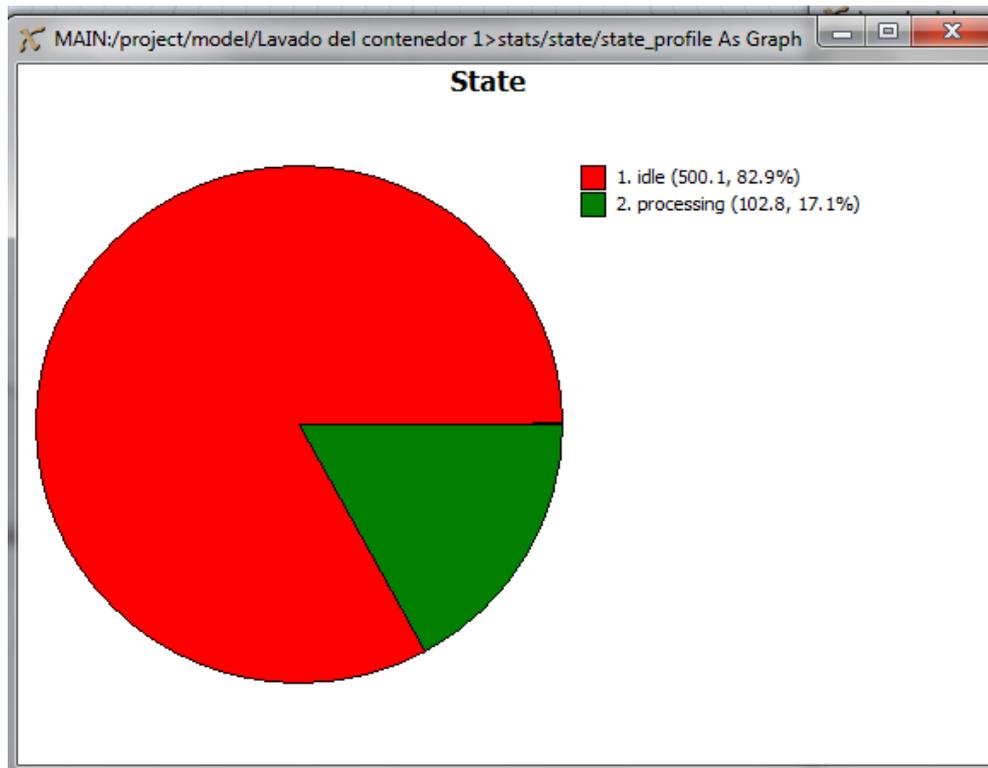
- Tiempo máximo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 6.457 minutos
- Tiempo promedio de permanencia del contenedor mientras es lavado: 2.448 minutos

Figura 3.9.8 Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor (Primer procesador)



- Porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (primer procesador): 17%

Figura 3.9.9 Resultado en Flexsim del porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (primer procesador)

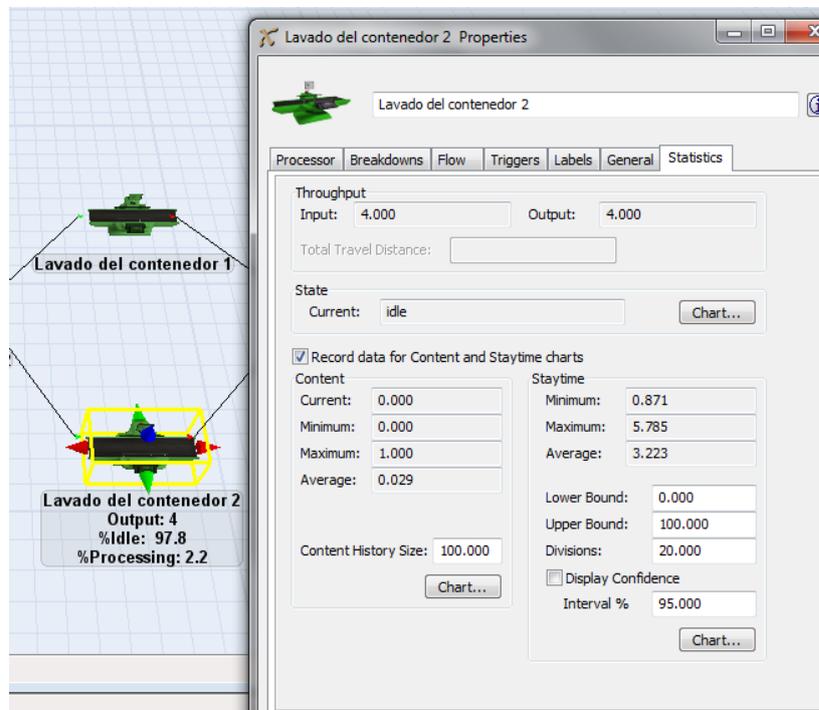


### 3.4.5 Análisis del proceso de lavado de contenedores (Segundo procesador).-

- Cantidad de contenedores lavados: 4
- Cantidad de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad mínima de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad máxima de contenedores en proceso de lavado: 1
- Cantidad promedio de contenedores en cola en proceso de lavado 0.029 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 0.871 minutos.

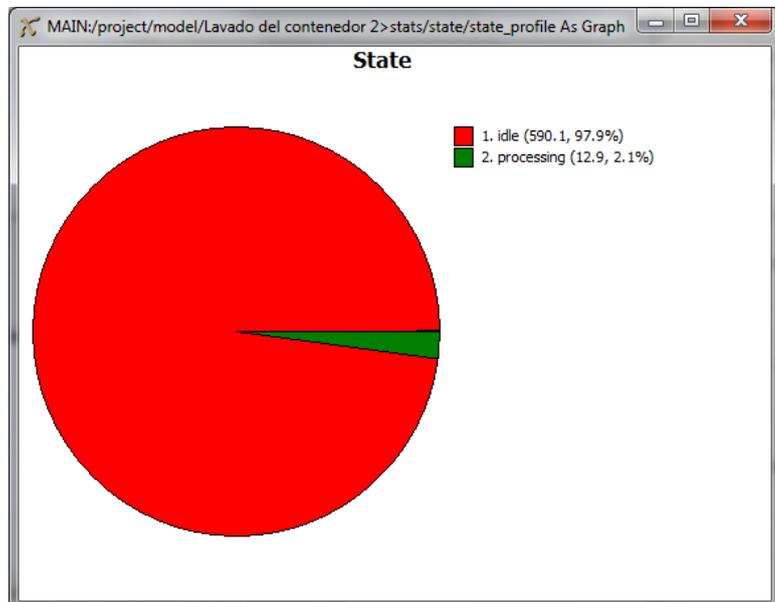
- Tiempo máximo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 5.785 minutos
- Tiempo promedio de permanencia del contenedor mientras es lavado: 3.223 minutos

*Figura 3.9.10 Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor (Segundo procesador)*



- Porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (Segundo procesador): 17%

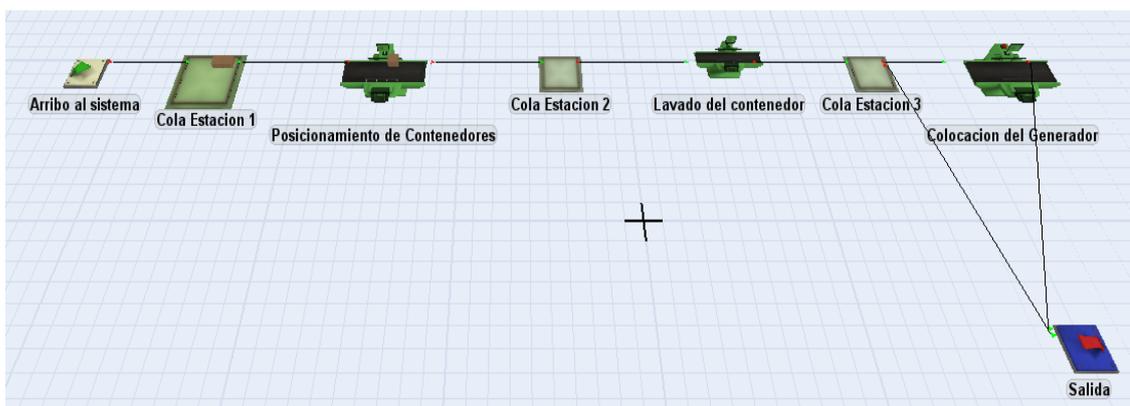
Figura 3.9.11 Resultado en Flexsim del porcentaje de ocupación del proceso lavado del contenedor (Segundo procesador)



### 3.5 Simulación con un solo proceso de lavado de contenedor.-

Como se observó en la simulación anterior bajo el escenario de tener dos procesos de lavado se observa un gran porcentaje de tiempo muerto en el área de lavado 2.

Figura 3.9.12 Simulación con un solo proceso de lavado de contenedor



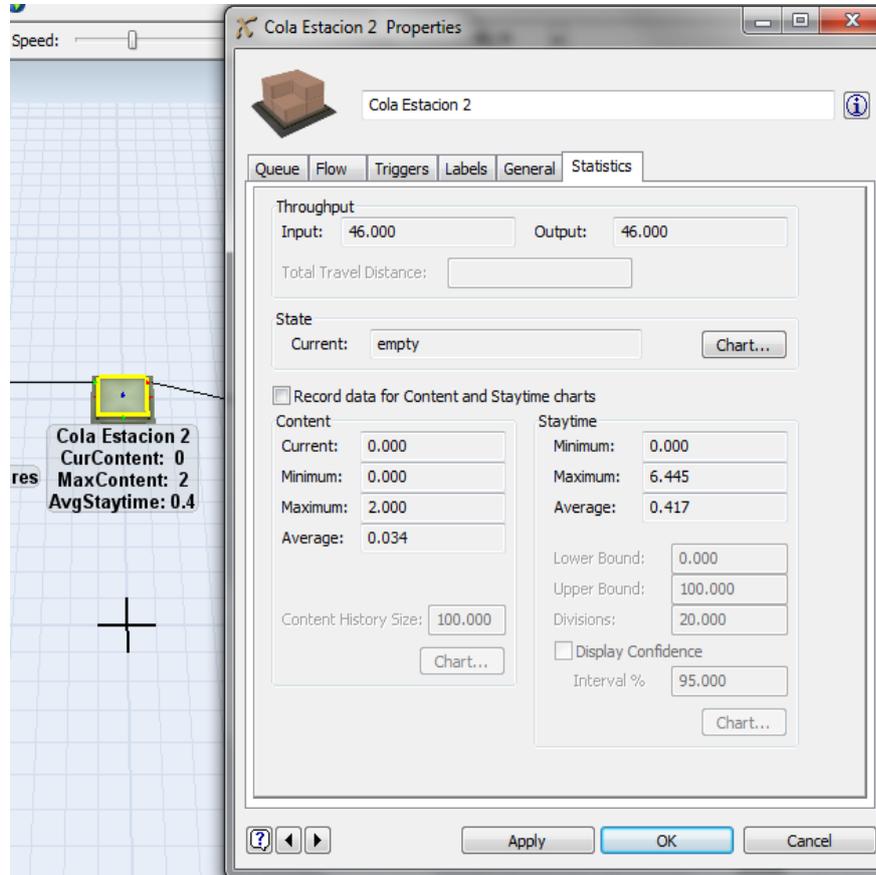
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

#### 3.5.1 Análisis de Cola Estación 2.-

- Cantidad de cabezales atendidos 46.

- Cantidad final de cabezales que se quedan en cola, previo al lavado del contenedor 0.
- Cantidad mínima de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor 0.
- Cantidad máxima de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor en el cabezal 2.
- Cantidad promedio de cabezales en cola, previo al lavado del contenedor 0.034 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de los cabezales en cola: 0
- Tiempo máximo de los cabezales en cola: 6.445 minutos
- Tiempo promedio de espera de los cabezales en cola: 0.417

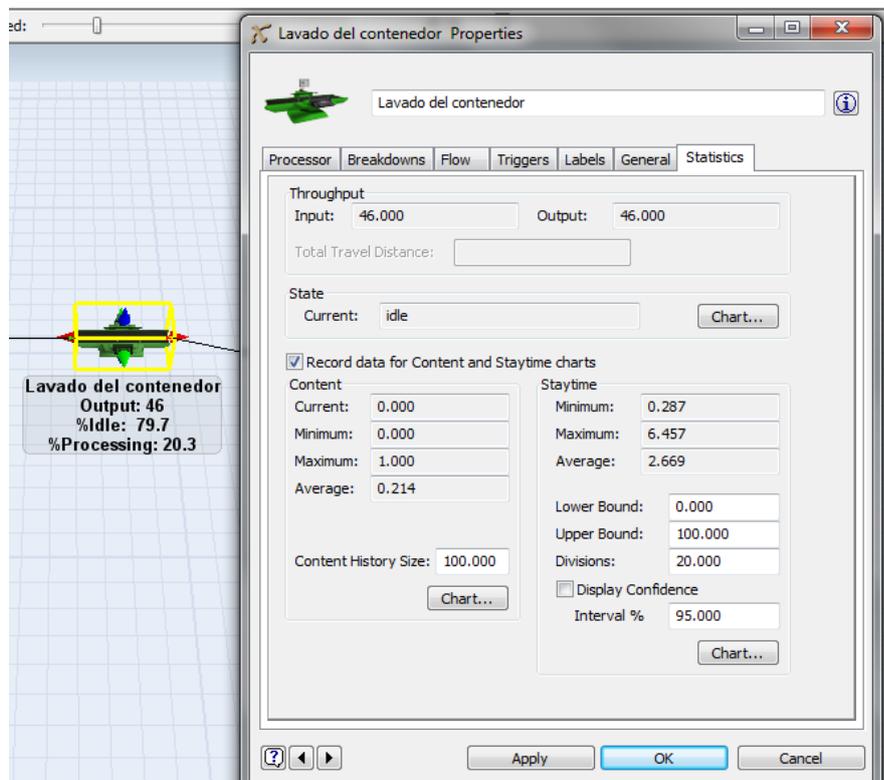
Figura 3.9.13 Resultados en Flexsim de la cola en estación 2



### 3.5.2 Análisis del proceso de lavado de contenedores.-

- Cantidad de contenedores lavados: 46
- Cantidad de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad mínima de contenedores en proceso de lavado: 0
- Cantidad máxima de contenedores en proceso de lavado: 1
- Cantidad promedio de contenedores en cola en proceso de lavado 0.214 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 0.287 minutos.
- Tiempo máximo de permanencia del contenedor mientras es lavado: 6.457 minutos
- Tiempo promedio de permanencia del contenedor mientras es lavado: 2.669 minutos

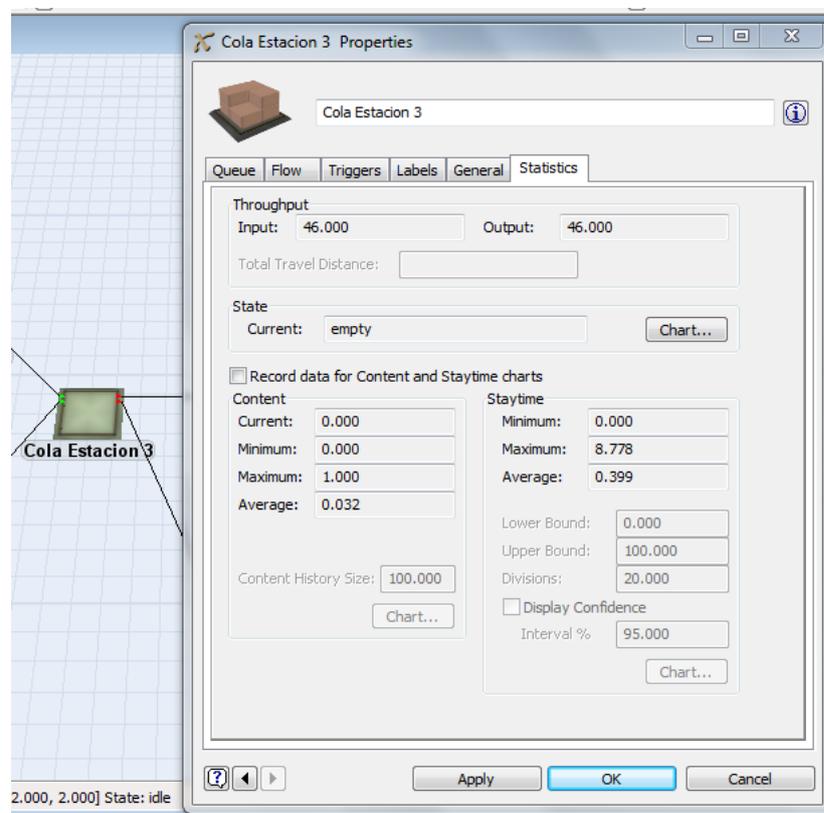
*Figura 3.9.14 Resultado en Flexsim del proceso de lavado del contenedor*



### 3.5.3 Análisis de Cola Estación 3 (1er escenario).-

- Cantidad de cabezales atendidos 46.
- Cantidad final de cabezales que se quedan en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 0.
- Cantidad mínima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 0.
- Cantidad máxima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 1.
- Cantidad promedio de cabezales en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 0.032 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de los cabezales en cola: 0
- Tiempo máximo de los cabezales en cola: 8.778 minutos
- Tiempo promedio de espera de los cabezales en cola: 0.399

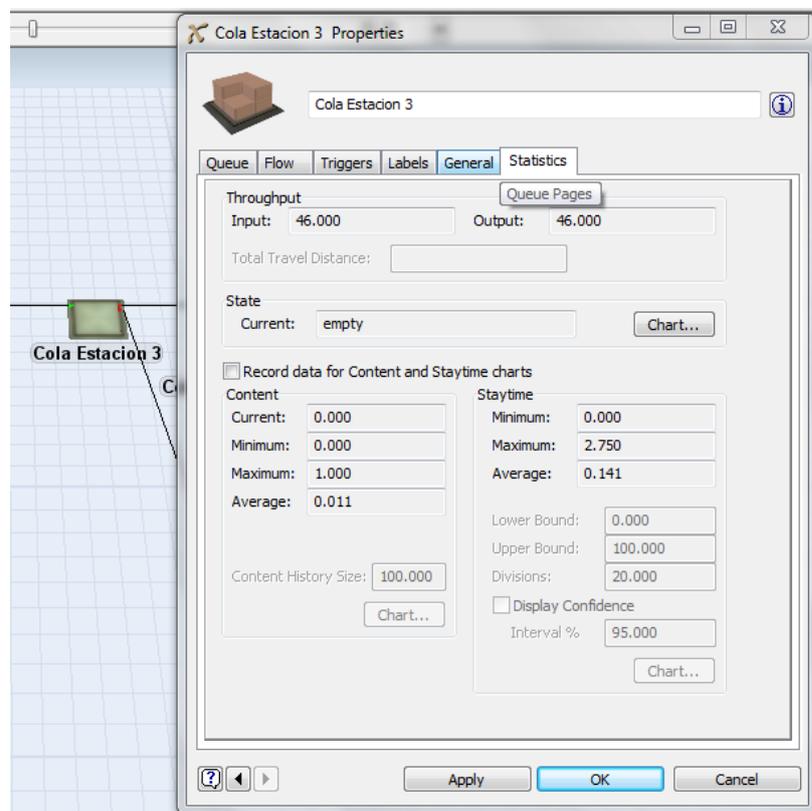
Figura 3.9.15 Resultado en Flexsim de cola estación 3 (1er escenario)



### 3.5.4 Análisis de Cola Estación 3 (2do escenario).-

- Cantidad de cabezales atendidos 46.
- Cantidad final de cabezales que se quedan en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 0.
- Cantidad mínima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 0.
- Cantidad máxima de cabezales en cola, previo al posicionamiento del generador en el contenedor 1.
- Cantidad promedio de cabezales en cola, previo al posicionamiento del contenedor en el cabezal 0.011 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de los cabezales en cola: 0
- Tiempo máximo de los cabezales en cola: 2.750 minutos
- Tiempo promedio de espera de los cabezales en cola: 0.141

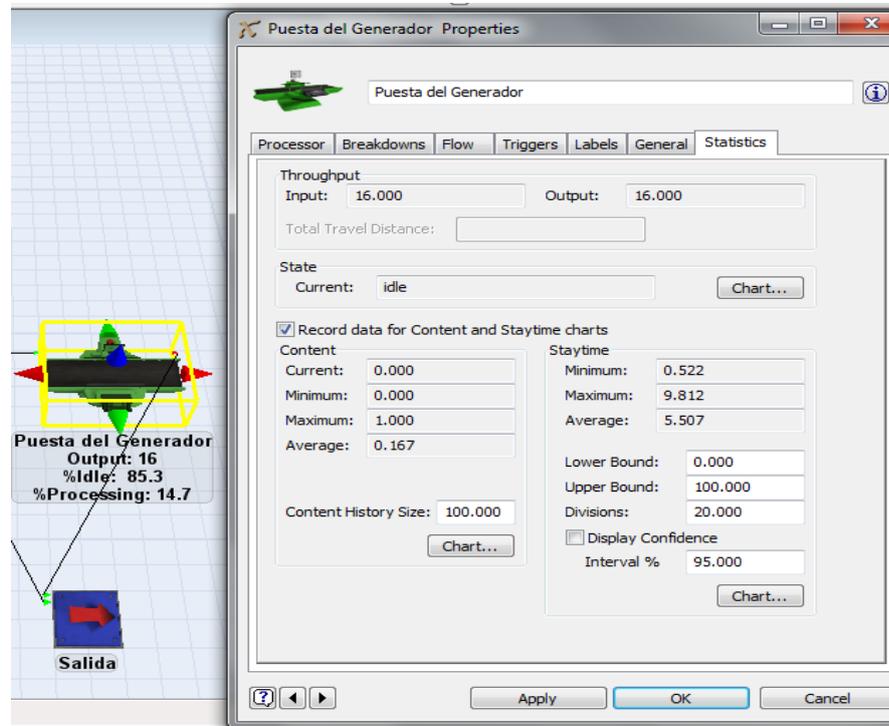
Figura 3.9.16 Resultado en Flexsim de cola estación 3 (2do escenario)



### **3.5.5 Análisis del proceso de posicionamiento de generador (1er escenario).-**

- Cantidad de generadores posicionados : 16
- Cantidad de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 0
- Cantidad mínima de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 0
- Cantidad máxima de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 1
- Cantidad promedio de contenedores en cola en proceso de posicionamiento de generador 0.167 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador: 0.522 minutos.
- Tiempo máximo de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador 9.812 minutos
- Tiempo promedio de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador: 5.507 minutos

Figura 3.9.17 Resultado en Flexsim del proceso de posicionamiento de generador (1er escenario)



### 3.5.6 Análisis del proceso de posicionamiento de generador (2do escenario).-

- Cantidad de generadores posicionados : 16
- Cantidad de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 0
- Cantidad mínima de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 0
- Cantidad máxima de contenedores en proceso de posicionamiento de generador: 1
- Cantidad promedio de contenedores en cola en proceso de posicionamiento de generador 0.164 equivalente a 0.
- Tiempo mínimo de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador: 0.522 minutos.

- Tiempo máximo de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador: 9.429 minutos
- Tiempo promedio de permanencia del contenedor mientras es posicionado el generador: 5.428 minutos

*Figura 3.9.18 Resultado en Flexsim del proceso de posicionamiento de generador (2do escenario)*

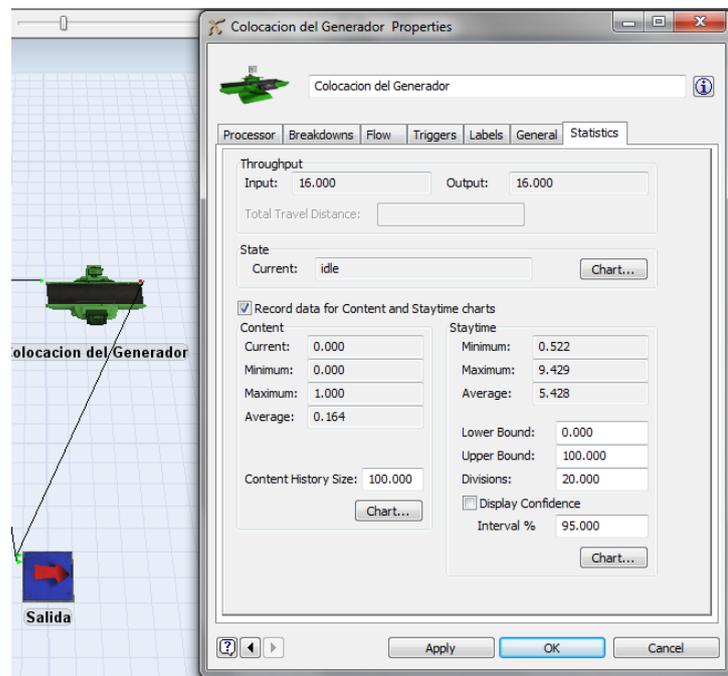
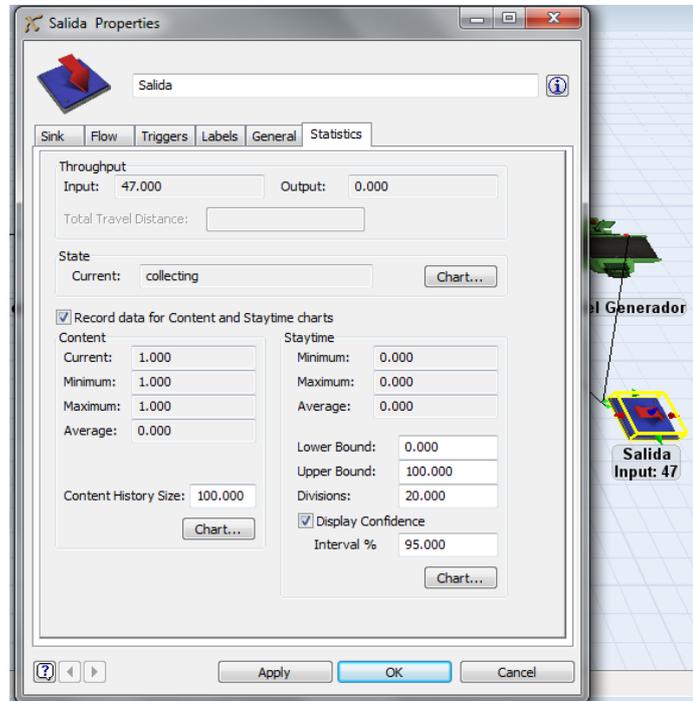


Figura 3.9.19 Resultado en Flexsim de la salida del patio de contenedores



## CAPÍTULO 4

### CASO DE ESTUDIO: FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE CALENDARIO DE SERVICIOS DE ATENCIÓN PARA RESOLVER LA PROBLEMÁTICA DE DESPACHO DE UNIDADES REFRIGERADAS EN UN PATIO DE CONTENEDORES.

#### 4.1. Introducción

*“La programación lineal se plantea como un modelo matemático desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial para planificar los gastos y los retornos, a fin de reducir los costos al ejército y aumentar las pérdidas del enemigo. Se mantuvo en secreto hasta 1947. En la posguerra, muchas industrias lo usaron en su planificación diaria” (5).*

*“El desarrollo de la programación lineal ha sido clasificado como uno de los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX, su efecto desde 1950 ha sido extraordinario. En la actualidad es una herramienta de uso normal que ha ahorrado miles o millones de dólares a muchas compañías o negocios, incluso empresas medianas, en los distintos países industrializados del mundo; su aplicación a otros sectores de la sociedad se ha ampliado con rapidez (6).*

Su aplicación se expande a la resolución de problemas que podrían generarse en diversos campos de la sociedad.

---

(5) Tomado del libro: Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II con notas históricas por Antonio Santiago Zaragoza y Maria José Santiago Puertas Editorial Visión Libros

(6) Tomado del libro: Introducción a la investigación de Operaciones, Novena Edición por Hillier/Libierman Editorial Mc Graw Hill

## 4.2. La Programación Lineal

*“La Programación lineal es una de las técnicas cuantitativas utilizadas por la Investigación de Operaciones, la cual se emplea normalmente para resolver los problemas llamados de asignación de recursos.*

*Por otra parte, la programación lineal puede definirse desde los puntos de vista primo y dual. El primero de ellos la define como una herramienta cuantitativa para resolver problemas de programación de actividades y el segundo, como una técnica cuantitativa para solucionar problemas de asignación de recursos.*

*El término lineal refleja el requisito de que todas las relaciones involucradas en el sistema deben ser representadas por funciones lineales.*

*Un problema de programación de actividades consiste en determinar el nivel y el tiempo de un conjunto de actividades interdependientes, llamado plan o programa para llevar un sistema de su estado actual hacia un objetivo específico. Un problema de asignación de recursos estriba en encontrar la distribución de un conjunto de recursos disponibles, entre actividades interdependientes que compiten por ellos, para alcanzar un objetivo” (7).*

En síntesis, la programación lineal pretende encontrar mediante el uso de funciones lineales, un programa óptimo de actividades interdependientes a realizar, tomando en consideración el límite de recursos disponibles para efectuarlas.

---

(7) Tomado del Libro: Programación Lineal: Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa por Jesús S. Arreola Risa y Antonio Arreola Risa.

Una forma estándar de representar un modelo de programación lineal, sería la siguiente:

**Función Objetivo:**

Minimizar (Maximizar)  $Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$

**Sujeto a restricciones:**

$a_{i1}X_1 + C_{i2}X_2 + \dots + C_{in}X_n \leq b_i$  , para algunos valores de  $i$

$a_{i1}X_1 + C_{i2}X_2 + \dots + C_{in}X_n \geq b_i$  , para algunos valores de  $i$

$a_{i1}X_1 + C_{i2}X_2 + \dots + C_{in}X_n = b_i$  , para algunos valores de  $i$

$x_i \geq 0$ , para algunos valores de  $i$

$x_i$  no restringida en signo, para algunos valores de  $i$

Donde,

$X_i$  , son las variables de decisión.

$A_{ij}, b_i, c_j$ , son los parámetros del modelo

Cualquier situación que se desea resolver, cuyo planteamiento matemático se ajusta a esta representación “estándar” es considerada como un problema de programación lineal del tipo simple.

Cuando, para resolver una problemática requerimos la utilización de variables de tipo enteras (Ejemplo: Variables binarias), el problema se plantea como Programación Entera Mixta (MIP - Mixed Integer Programming). El modelo diseñado para la resolución de la problemática en el despacho de contenedores es de este tipo.

### **4.3. Definición del problema**

La problemática radica en diseñar un modelo matemático que permita programar las actividades de despacho de unidades refrigeradas de un patio de almacenamiento de contenedores, garantizar el cumplimiento de la demanda diaria de clientes a ser atendidos, optimizando el servicio de atención para clientes preferenciales y aprovechar el máximo de la capacidad instalada de equipos de trabajo que posee el patio de contenedores.

### **4.4 Diseño y aplicación del modelo matemático**

La optimización de la planificación de las actividades de retiro de contenedores refrigerados tiene como objetivo los siguientes puntos:

1. Elaborar la planificación de turnos de servicio a los clientes en la semana, que permita cubrir la demanda de los mismos.
2. Cumplir con la política de atención a clientes por su nivel de categorización.
3. Optimizar el uso de la capacidad instalada (Máquinas porta contenedores, Montacargas, Equipos de limpieza).

El recurso humano es infinito, se cuenta con personal suficiente en cada etapa del proceso.

#### **4.4.1. Índices del modelo**

Los índices creados para el modelo constan en la tabla # 1 y hacen referencia a entidades que participan dentro del sistema.

ÍNDICE	ENTIDAD
I	Cliente
J	Posición
K	Día

*Tabla 4.1 índices del modelo  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

Las entidades consideradas son definidas a continuación:

### **Cliente**

La entidad cliente tiene como objetivo representar a los clientes de la empresa almacenadora de contenedores. Se registran 25 clientes a los cuales se les genera el servicio.

### **Posición**

La entidad posición representa el espacio de tiempo para atender a dos clientes, es decir los turnos de servicio a los que tienen disponibilidad los clientes durante el día.

### **Día**

Dentro del modelo matemático la entidad día representa a los días de trabajo u operación del patio de contenedores, y por ende los días en que un cliente puede recibir el servicio de despacho.

#### 4.4.2. Variables de decisión.

Los resultados del modelo son obtenidos a través de las siguientes variables de decisión:

VARIABLE	DESCRIPCION
$X(I, J, K)$	Variable binaria

*Tabla 4.2 Variables de decisión  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

La variable  $X(I,J,K)$  está en función del patrón cliente en ser atendido, horario de servicio y día de atención. Tendrá naturaleza binaria.

Por ejemplo, si en resultado se obtiene que  **$X(\text{cliente2, horario de servicio22,día "ma"} = 1$** , significa que el cliente 2 será atendido en el turno # 22 (ligado a un horario) el día martes.

#### 4.4.3. Tablas.

Las tablas que utilizamos en nuestro modelo matemático y que alimentan al modelo se presentan a continuación:

Tablas	Descripción
$d(i,k)$	demanda asociada al cliente $i$ para el día $k$
$a(j,k)$	Preferencia del cliente $i$ para retirar $n$ cantidad de contenedores en la posición $j$ del día $k$

*Tabla 4.3 Tablas del modelo matemático  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

#### 4.4.4. Parámetros

La información que alimenta el modelo está dada por los siguientes parámetros:

Parámetros	Descripción
b(i)	Se establece una categorización para cada uno de los clientes, representada entre el número 1 al 5. Siendo los clientes de menor valor (1) los de mayor importancia para el depósito de contenedores y los clientes con mayor valor (5) aquellos de menor importancia para el depósito de contenedores.

*Tabla 4.4 Parámetros del modelo matemático  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

#### 4.4.5. Función Objetivo

El objetivo principal del modelo es maximizar el valor total obtenido de dos factores que son el número total de contenedores y el factor de horario de preferencia, es decir el modelo matemático deberá preferir a los clientes con mayor número de contenedores en horarios preferenciales.

$$Función\ Objetivo = \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^{23} \sum_{k=1}^6 x(i, j, k) * a(j, k)$$

#### 4.4.6. Restricciones.

Las restricciones para el modelo son las siguientes:

**Atención de dos clientes por turno:** Restringe que, para cada turno disponible en cada día laborado se pueden atender hasta dos clientes.

$$\sum_{i=1}^{25} x(i, j, k) \leq 2 \quad \forall (j, k) = 1, 2$$

**Cumplimiento de la demanda:** Indica que para cada cliente se debe cumplir su demanda diaria determinada en la tabla  $d(i,k)$ . Se establece una igualdad entre la suma de posiciones de cada cliente  $i$  en el día  $j$  que debe ser igual a la demanda diaria del cliente  $i$  en el día  $k$ .

$$\sum_{j=1}^{23} x(i, j, k) = d(i, k) \quad \forall (i, k) \in d$$

#### 4.4.7. Datos de Entrada.

Los datos de entrada que necesita el modelo son:

**Valor de la demanda** de los clientes, la misma que se presenta en la programación como demanda, la que se muestra en la figura 4.1

```

table d(i,k) demanda
      LU      MA      MI      JU      VI      SA
C1      5      4      3      0      1      4
C2      6      5      0      0      1      3
C3      3      4      2      0      1      5
C4      3      2      0      0      1      2
C5      2      0      2      0      1      2
C6      1      0      0      0      1      3
C7      0      2      0      0      2      5
C8      2      0      0      0      3      0
C9      2      1      0      0      2      0
C10     1      2      0      0      3      0
C11     1      2      0      0      4      0
C12     1      1      0      0      0      0
C13     2      2      0      0      0      0
C14     2      1      0      0      0      0
C15     2      2      0      0      0      0
C16     2      1      0      0      0      0
C17     1      1      0      0      0      0
C18     1      2      0      0      0      0
C19     1      1      0      0      0      0
C20     2      1      0      0      0      0
C21     1      2      0      2      0      0
C22     2      0      0      3      0      0
C23     1      1      0      1      0      0
C24     1      1      0      2      0      0
C25     1      0      0      4      0      0
    
```

Figura 4.1 Tabla de la demanda de los clientes  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

Las unidades refrigeradas son retiradas desde el patio de contenedores en función del tiempo máximo de ingreso al terminal portuario; para este trabajo se considera que todo contenedor debe estar dentro del puerto los días miércoles al mediodía; por lo tanto se observa que hay un considerable retiro de unidades refrigeradas los días lunes y martes, los días miércoles y jueves son parcialmente usados por los clientes del depósito y los días viernes y sábados se retoma nuevamente la actividad dentro del patio.

**Preferencia tipo de clientes por día**, la misma que se presenta en la programación como matriz de preferencia de clientes por día, la que se muestra en la figura 4.2

```

table a(j,k)  matriz de preferencia de clientes por dia
      LU      MA      MI      JU      VI      SA
h1      5      5      3      5      5      5
h2      5      5      3      5      5      5
h3      4      5      3      5      5      5
h4      4      5      3      2      3      5
h5      3      5      3      5      5      5
h6      5      5      5      5      5      5
h7      4      5      5      5      5      5
h8      5      5      5      2      4      5
h9      4      5      5      2      3      5
h10     1      3      1      5      3      5
h11     1      1      1      2      3      5
h12     1      1      1      5      2      1
h13     1      1      1      5      3      1
h14     1      1      1      2      3      1
h15     1      1      5      2      2      1
h16     1      1      5      2      3      1
h17     1      1      5      5      4      1
h18     1      1      5      4      4      1
h19     1      1      1      4      4      1
h20     1      1      1      3      4      1
h21     1      1      1      4      1      1
h22     1      1      1      5      1      1
h23     1      1      1      5      1      1
    
```

Figura 4.2 Matriz de preferencia de clientes por día  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

#### 4.5 Aplicación del modelo matemático

Se utilizó el software informático denominado “GAMS” para tal efecto y su programación fuente se puede apreciar en el Anexo # 10

#### 4.6. Resultados obtenidos

El modelo matemático va a decidir de acuerdo a las restricciones ingresadas cual es el plan de atención semanal óptimo. Tal como se muestra en la figura 4.3

Figura 4.3 Programación de atención a clientes obtenida en GAMS  
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

Cliente/ Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado
c1 .h2					1	
c1 .h3		1	1			
c1 .h4			1			
c1 .h5	1		1			1
c1 .h6		1				1
c1 .h7		1				
c1 .h8	1	1				1
c1 .h9	1	1				1
c1 .h10	1					
c1 .h12	1					
c2 .h1					1	
c2 .h3	1					1
c2 .h4	1					1
c2 .h5	1					
c2 .h6	1	1				
c2 .h8	1					
c2 .h9		1				
c2 .h10	1	1				
c2 .h12		1				1
c2 .h13		1				
c3 .h1			1			1
c3 .h2			1		1	
c3 .h3		1				
c3 .h4	1					
c3 .h7						1
c3 .h8						1
c3 .h9	1					1
c3 .h10		1				1
c3 .h11	1	1				
c3 .h12		1				
c4 .h1						1
c4 .h2						1
c4 .h3	1				1	
c4 .h4		1				
c4 .h6	1					
c4 .h8		1				
c4 .h13	1					
c5 .h3			1		1	1
c5 .h4			1			
c5 .h6						1
c5 .h11	1					
c5 .h14	1					
c6 .h2	1					
c6 .h10						1
c6 .h11						1
c6 .h12						1
c6 .h13					1	
c7 .h1		1				
c7 .h2						1
c7 .h4						1
c7 .h5		1				1
c7 .h7						1
c7 .h11					1	1
c7 .h15					1	1
c8 .h9						
c8 .h12	1					
c8 .h13					1	
c8 .h14	1					
c8 .h15					1	
c9 .h1					1	
c9 .h2		1				
c9 .h7	1					
c9 .h13	1					
c9 .h20					1	
c10.h2	1					
c10.h7		1				
c10.h9		1				
c10.h10					1	
c10.h12					1	
c11.h1	1					
c11.h10					1	
c11.h11		1			1	
c11.h12					1	
c11.h13		1				
c11.h20					1	
c12.h1	1	1				
c13.h17		1				
c13.h18		1				
c13.h20	1					
c13.h21	1					
c14.h17		1				
c14.h19	1					
c14.h20	1					
c15.h15			1			
c15.h16			1			
c15.h17	1					
c15.h19	1					
c16.h14		1				
c16.h15	1					
c16.h17	1					
c17.h4			1			
c17.h21	1					
c18.h2		1				
c18.h5		1				
c18.h15	1					
c19.h7	1					
c19.h14		1				
c20.h22	1					
c20.h23	1	1				
c21.h9				1		
c21.h11				1		
c21.h16		1				
c21.h18		1				
c21.h23	1					
c22.h8				1		
c22.h9				1		
c22.h15				1		
c22.h18						
c22.h22	1					
c23.h8				1		
c23.h15		1				
c23.h18	1					
c24.h16	1			1		
c24.h20				1		
c24.h23		1				
c25.h11				1		
c25.h14				1		
c25.h15				1		
c25.h16	1			1		

- Se obtiene una programación balanceada para la atención a clientes diaria y semanal, cumpliendo con las necesidades de demanda de servicio. Esta programación permitirá a la empresa una mejor coordinación de sus despachos de contenedores debido a que se sabrá con antelación los horarios de servicio.
- El número máximo clientes atendidos a diario es de 46.
- Los modelos matemáticos son totalmente flexibles para cambiar cualquiera de los parámetros de demanda y preferencia de atención a clientes por día.

Se pueden identificar las siguientes ventajas de la implementación del modelo matemático.

- Fácil interpretación de los resultados: Se muestra el cliente, día y horario de atención.
- Obtención de resultados rápidos: El tiempo de corrida del programa permite en pocos segundos conocer los resultados.
- La programación es flexible para el cambio de los parámetros de la demanda de clientes (se utiliza el mismo modelo matemático si las capacidades de demanda aumentan o disminuyen, solo es necesario incluir el nuevo valor, y proceder a calcular nuevamente).
- Permite una mejor coordinación de las tareas del departamento de despacho.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Para mejorar el despacho de unidades refrigeradas desde un patio de contenedores se debe cambiar la estructura actual del sistema tradicional de despacho que resulta deficiente por los tiempos de espera al momento de arribo del cabezal al depósito, por un calendario de servicios de atención que brinde organización, beneficiando tanto al cliente como al depósito.
- Se plantea la atención de clientes en 23 fracciones de tiempo, cada uno de 24 minutos con 47 segundos en los cuales se puede despachar hasta dos unidades refrigeradas.
- La implementación del calendario de servicios de atención logra encontrar la solución óptima para evitar la congestión y los tiempos muertos dentro de los depósitos de contenedores.
- Se logró a través de las simulaciones determinar las necesidades del depósito de contenedores para generar fluidez dentro del despacho de unidades refrigeradas.
- Este proyecto demuestra que a través de la programación lineal se puede resolver la problemática de la recepción y despacho de unidades refrigeradas en un patio de contenedores.

## 5.2 Recomendaciones

- Según los resultados obtenidos en la simulación se debería contar con un solo procesador de lavado, no obstante se debe mantener una revisión periódica en caso de que la demanda de unidades refrigeradas incremente y se necesite la implementación del segundo procesador.
- Desarrollar una cultura logística a los clientes basados en la organización de las compañías de transporte que retiran sus unidades refrigeradas, a fin de cumplir el calendario de servicios de atención.
- Sugerir el uso de calendario de servicios de atención a los demás patios de contenedores para estandarizar el servicio que estos prestan en beneficio del sector exportador del país.
- Para futuras investigaciones, actualización de la programación lineal y actualización de la simulación de este trabajo se deberá realizar en base a una nueva medición de los tiempos en los procesos de recepción y despacho por parte del programador matemático.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pacheco Bonrostro, Joaquín y Casado Yusta, Silvia; **Diseño de un sistema para la resolución del problema de programación de turnos en un aeropuerto**, Departamento de Economía aplicada, Universidad de Burgos, España, 2006.
- [2] Contreras, María José; Baesler, Felipe y Maldonado, Loreto; **Optimización de las Operaciones Portuarias mediante Simulación y Metodología de Superficie de respuesta**, Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo, Concepción, Chile, 2010.
- [3] Santiago Zaragoza, Antonio Cipriano y Santiago Puertas, María José; **Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II con notas históricas**, Editorial Visión Libros, 2011, Página 73
- [4] Hillier, Frederick S. y Lieberman Gerald J.; **Introducción a la Investigación de Operaciones**, Novena Edición Editorial Mc Graw Hill, 2010, Página 21
- [5] Arreola Risa Jesús S y Arreola Risa Antonio; **Programación Lineal: Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa**. Editorial Thomson. 2003, Páginas 7 - 8

# ANEXOS

# ANEXO 1

MUESTRA DE DATOS TOMADOS DIA LUNES 22 ABRIL/2013 EN DEPOSITO DE CONTENEDORES				
Vehículos	Hora de Ingreso	Minutos arribo	Observacion	Actividad
1	8:45:00	0:00:00	0	EGRESO
2	8:46:00	0:01:00	1	EGRESO
3	8:48:00	0:02:00	2	EGRESO-GENERADOR
4	8:50:00	0:02:00	2	EGRESO-GENERADOR
5	8:55:00	0:05:00	5	EGRESO-GENERADOR
6	9:15:00	0:20:00	20	EGRESO-GENERADOR
7	9:18:00	0:03:00	3	EGRESO-GENERADOR
8	9:23:00	0:05:00	5	EGRESO
9	9:24:00	0:01:00	1	EGRESO
10	9:25:00	0:01:00	1	EGRESO
11	9:27:00	0:02:00	2	EGRESO
12	9:29:00	0:02:00	2	EGRESO
13	9:33:00	0:04:00	4	EGRESO
14	9:37:00	0:04:00	4	EGRESO
15	9:41:00	0:04:00	4	EGRESO
16	9:46:00	0:05:00	5	EGRESO
17	9:55:00	0:09:00	9	EGRESO
18	10:06:00	0:11:00	11	EGRESO-GENERADOR
19	10:17:00	0:11:00	11	EGRESO-GENERADOR
20	10:22:00	0:05:00	5	EGRESO-GENERADOR
21	10:38:00	0:16:00	16	EGRESO
22	10:54:00	0:16:00	16	EGRESO
23	11:13:00	0:19:00	19	EGRESO
24	11:18:00	0:05:00	5	EGRESO
25	11:28:00	0:10:00	10	EGRESO
26	11:47:00	0:19:00	19	EGRESO-GENERADOR
27	12:05:00	0:18:00	18	EGRESO
28	12:10:00	0:05:00	5	EGRESO
29	12:35:00	0:25:00	25	EGRESO
30	12:57:00	0:22:00	22	EGRESO
31	13:00:00	0:03:00	3	EGRESO
32	13:32:00	0:32:00	32	EGRESO
33	13:35:00	0:03:00	3	EGRESO
34	13:38:00	0:03:00	3	EGRESO
35	13:42:00	0:04:00	4	EGRESO
36	13:49:00	0:07:00	7	EGRESO
37	14:21:00	0:32:00	32	EGRESO
38	14:27:00	0:06:00	6	EGRESO-GENERADOR
39	14:29:00	0:02:00	2	EGRESO
40	14:31:00	0:02:00	2	EGRESO
41	14:43:00	0:12:00	12	EGRESO
42	14:43:00	0:00:00	0	EGRESO
43	14:44:00	0:01:00	1	EGRESO
44	14:55:00	0:11:00	11	EGRESO
45	15:05:00	0:10:00	10	EGRESO
46	15:19:00	0:14:00	14	EGRESO-GENERADOR
47	15:42:00	0:23:00	23	EGRESO
48	15:45:00	0:03:00	3	EGRESO
49	15:48:00	0:03:00	3	EGRESO
50	15:52:00	0:04:00	4	EGRESO
51	15:53:00	0:01:00	1	EGRESO
52	15:55:00	0:02:00	2	EGRESO
53	15:56:00	0:01:00	1	EGRESO
54	16:15:00	0:19:00	19	EGRESO
55	16:28:00	0:13:00	13	EGRESO
56	16:43:00	0:15:00	15	EGRESO
57	17:05:00	0:22:00	22	EGRESO
58	17:25:00	0:20:00	20	EGRESO
59	17:29:00	0:04:00	4	EGRESO
60	17:48:00	0:19:00	19	EGRESO
61	17:55:00	0:07:00	7	EGRESO
62	18:03:00	0:08:00	8	EGRESO
63	18:08:00	0:05:00	5	EGRESO

Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## ANEXO 2

MUESTRA DE DATOS TOMADOS DIA LUNES 29 ABRIL/2013 EN DEPOSITO DE CONTENEDORES				
Vehiculos	Hora de Ingreso	Minutos arribo	Observacion	Actividad
1	8:30:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
2	8:30:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
3	8:30:00	0:00:00	0	EGRESO
4	8:30:00	0:00:00	0	EGRESO
5	8:30:00	0:00:00	0	EGRESO
6	8:46:00	0:16:00	16	EGRESO
7	8:52:00	0:06:00	6	EGRESO
8	9:12:00	0:20:00	20	EGRESO
9	9:27:00	0:15:00	15	EGRESO
10	9:28:00	0:01:00	1	EGRESO
11	9:29:00	0:01:00	1	EGRESO-GENERADOR
12	9:33:00	0:04:00	4	EGRESO
13	9:35:00	0:02:00	2	EGRESO
14	9:36:00	0:01:00	1	EGRESO
15	9:43:00	0:07:00	7	EGRESO
16	9:46:00	0:03:00	3	EGRESO
17	9:51:00	0:05:00	5	EGRESO-GENERADOR
18	9:57:00	0:06:00	6	EGRESO
19	10:07:00	0:10:00	10	EGRESO
20	10:11:00	0:04:00	4	EGRESO
21	10:14:00	0:03:00	3	EGRESO
22	10:21:00	0:07:00	7	EGRESO
23	10:21:00	0:00:00	0	EGRESO
24	10:24:00	0:03:00	3	EGRESO
25	10:34:00	0:10:00	10	EGRESO-GENERADOR
26	10:38:00	0:04:00	4	EGRESO
27	10:38:00	0:00:00	0	EGRESO
28	11:00:00	0:22:00	22	EGRESO
29	11:02:00	0:02:00	2	EGRESO
30	11:07:00	0:05:00	5	EGRESO
31	11:25:00	0:18:00	18	EGRESO
32	11:28:00	0:03:00	3	EGRESO
33	11:32:00	0:04:00	4	EGRESO
34	11:32:00	0:00:00	0	EGRESO
35	11:33:00	0:01:00	1	EGRESO
36	11:47:00	0:14:00	14	EGRESO
37	11:52:00	0:05:00	5	EGRESO
38	11:53:00	0:01:00	1	EGRESO
39	12:15:00	0:22:00	22	EGRESO
40	12:36:00	0:21:00	21	EGRESO
41	13:11:00	0:35:00	35	EGRESO-GENERADOR
42	13:26:00	0:15:00	15	EGRESO-GENERADOR
43	13:29:00	0:03:00	3	EGRESO-GENERADOR
44	13:30:00	0:01:00	1	EGRESO
45	13:33:00	0:03:00	3	EGRESO
46	13:40:00	0:07:00	7	EGRESO
47	13:40:00	0:00:00	0	EGRESO
48	14:32:00	0:52:00	52	EGRESO
49	14:32:00	0:00:00	0	EGRESO
50	14:42:00	0:10:00	10	EGRESO
51	14:50:00	0:08:00	8	EGRESO
52	14:52:00	0:02:00	2	EGRESO
53	14:55:00	0:03:00	3	EGRESO
54	14:58:00	0:03:00	3	EGRESO
55	14:58:00	0:00:00	0	EGRESO
56	14:59:00	0:01:00	1	EGRESO
57	15:17:00	0:18:00	18	EGRESO-GENERADOR
58	15:23:00	0:06:00	6	EGRESO
59	15:27:00	0:04:00	4	EGRESO
60	15:27:00	0:00:00	0	EGRESO
61	15:40:00	0:13:00	13	EGRESO-GENERADOR
62	15:44:00	0:04:00	4	EGRESO
63	15:55:00	0:11:00	11	EGRESO
64	15:55:00	0:00:00	0	EGRESO
65	15:55:00	0:00:00	0	EGRESO
66	15:58:00	0:03:00	3	EGRESO
67	16:03:00	0:05:00	5	EGRESO
68	16:08:00	0:05:00	5	EGRESO
69	16:17:00	0:09:00	9	EGRESO
70	16:25:00	0:08:00	8	EGRESO
71	16:30:00	0:05:00	5	EGRESO
72	17:04:00	0:34:00	34	EGRESO
73	17:14:00	0:10:00	10	EGRESO
74	17:28:00	0:14:00	14	EGRESO
75	17:35:00	0:07:00	7	EGRESO
76	17:44:00	0:09:00	9	EGRESO
77	17:50:00	0:06:00	6	EGRESO
78	17:57:00	0:07:00	7	EGRESO

*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

### ANEXO 3

MUESTRA DE DATOS TOMADOS DIA LUNES 6 DE MAYO/2013 EN DEPOSITO DE CONTENEDORES				
Vehiculos	Hora de Ingreso	Minutos arribo	Observacion	Actividad
1	8:18:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
2	8:18:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
3	8:18:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
4	8:18:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
5	8:18:00	0:00:00	0	EGRESO-GENERADOR
6	8:28:00	0:10:00	10	EGRESO-GENERADOR
7	8:32:00	0:04:00	4	EGRESO-GENERADOR
8	8:35:00	0:03:00	3	EGRESO
9	8:43:00	0:08:00	8	EGRESO-GENERADOR
10	8:52:00	0:09:00	9	EGRESO
11	9:22:00	0:30:00	30	EGRESO
12	9:25:00	0:03:00	3	EGRESO-GENERADOR
13	9:33:00	0:08:00	8	EGRESO
14	9:45:00	0:12:00	12	EGRESO-GENERADOR
15	10:01:00	0:16:00	16	EGRESO
16	10:10:00	0:09:00	9	EGRESO
17	10:10:00	0:00:00	0	EGRESO
18	10:37:00	0:27:00	27	EGRESO-GENERADOR
19	10:44:00	0:07:00	7	EGRESO
20	10:50:00	0:06:00	6	EGRESO-GENERADOR
21	10:59:00	0:09:00	9	EGRESO
22	11:10:00	0:11:00	11	EGRESO
23	11:26:00	0:16:00	16	EGRESO
24	11:55:00	0:29:00	39	EGRESO-GENERADOR
25	12:25:00	0:30:00	30	EGRESO
26	12:31:00	0:06:00	6	EGRESO
27	13:36:00	1:05:00	65	EGRESO-GENERADOR
28	13:38:00	0:02:00	2	EGRESO-GENERADOR
29	13:47:00	0:09:00	9	EGRESO
30	13:48:00	0:01:00	1	EGRESO
31	13:54:00	0:06:00	6	EGRESO-GENERADOR
32	14:00:00	0:06:00	6	EGRESO
33	14:17:00	0:17:00	17	EGRESO
34	14:27:00	0:10:00	10	EGRESO
35	14:45:00	0:18:00	18	EGRESO
36	15:16:00	0:31:00	31	EGRESO
37	15:28:00	0:12:00	12	EGRESO
38	15:31:00	0:03:00	3	EGRESO
39	15:37:00	0:06:00	6	EGRESO
40	15:41:00	0:04:00	4	EGRESO
41	15:55:00	0:14:00	14	EGRESO
42	16:22:00	0:27:00	27	EGRESO
43	16:42:00	0:20:00	20	EGRESO
44	16:48:00	0:06:00	6	EGRESO
45	16:53:00	0:05:00	5	EGRESO
46	16:56:00	0:03:00	3	EGRESO
47	16:59:00	0:03:00	3	EGRESO
48	17:07:00	0:08:00	8	EGRESO-GENERADOR
49	17:35:00	0:28:00	28	EGRESO

*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*

## Anexo 4

### Prueba de Bondad de Ajuste

Tiempo de arribo del cabezal al depósito de contenedores datos 22 de Abril/2013

X	R	FO	FO%	FE	Fei - Foi	Chi cuadrada
1,19	0,13	8	0,13	7,875	0,125	0,001984127
2,57	0,25	7	0,11	7,875	-0,875	0,097222222
4,20	0,38	12	0,19	7,875	4,125	2,160714286
6,19	0,50	8	0,13	7,875	0,125	0,001984127
8,77	0,63	3	0,05	7,875	-4,875	3,017857143
12,39	0,75	7	0,11	7,875	-0,875	0,097222222
18,58	0,88	6	0,10	7,875	-1,875	0,446428571
#iNUM!	1,00	12	0,19	7,875	4,125	2,160714286
		63				7,984126984
					<b>chi cuadrada</b>	14,06714043
<b>Tiempo medio de Llegada</b>	9					
<b>Lambda</b>	0,11					

Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 5

### Prueba de Bondad de Ajuste

Tiempo de arribo del cabezal al depósito de contenedores datos 29 de Abril/2013

X	R	FO	FO%	FE	Fei - Foi	Chi cuadrada
0,97	0,13	14	0,18	7,875	6,125	4,763888889
2,09	0,25	10	0,13	7,875	2,125	0,573412698
3,42	0,38	9	0,12	7,875	1,125	0,160714286
5,04	0,50	12	0,15	7,875	4,125	2,160714286
7,13	0,63	9	0,12	7,875	1,125	0,160714286
10,08	0,75	8	0,10	7,875	0,125	0,001984127
15,12	0,88	6	0,08	7,875	-1,875	0,446428571
#NUM!	1,00	10	0,13	7,875	2,125	0,573412698
		78				8,841269841
					<b>chi cuadrada</b>	14,06714043
<b>Tiempo medio de llegada</b>						
<b>Lambda</b>	7					
	0,14					

Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 6

### Prueba de Bondad de Ajuste

Tiempo de arribo del cabezal al depósito de contenedores datos 6 de Mayo/2013

X	R	FO	FO%	FE	Fei - Foi	Chi cuadrada
1,55	0,13	7	0,14	7,875	-0,875	0,097222222
3,33	0,25	6	0,12	7,875	-1,875	0,446428571
5,44	0,38	3	0,06	7,875	-4,875	3,017857143
8,02	0,50	10	0,20	7,875	2,125	0,573412698
11,35	0,63	7	0,14	7,875	-0,875	0,097222222
16,04	0,75	5	0,10	7,875	-2,875	1,049603175
24,06	0,88	3	0,06	7,875	-4,875	3,017857143
#NUM!	1,00	8	0,16	7,875	0,125	0,001984127
		49				8,301587302
					chi cuadrada	14,06714043
<b>Tiempo Medio de Llegada</b>	12					
<b>Lambda</b>	0,09					

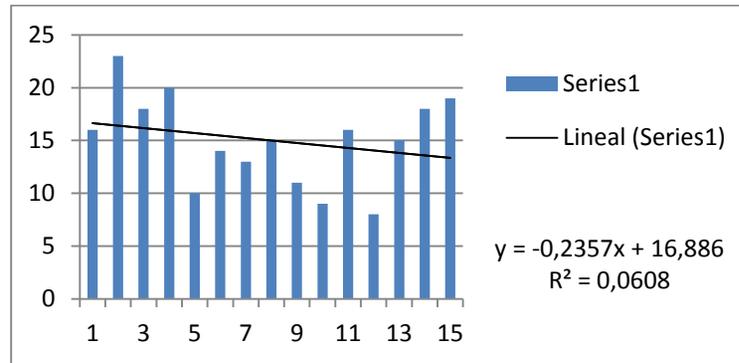
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 7

### Prueba de Bondad de Ajuste

#### Tiempo de posicionamiento del contenedor en el cabezal

<b>MEDIA</b>	10,95945365
<b>DESVIACION</b>	0,617230635
<b>MINIMO</b>	10,0061037
<b>MAXIMO</b>	11,99499496
<b>RANGO</b>	1,988891263
<b>NUM DATOS</b>	225
<b>NUM INTERV STURGES</b>	8,76220231
<b>NUM INTERV RAIZ</b>	15
<b>TAMAÑO INTERVALO</b>	0,132592751



INTERVALOS	LIM INFERIOR	LIM SUPERIOR	FO	FREC.REL.ACUM.	FREC.REL.ESP.X INTER	FOE	EP
1	10,0061037	10,13869645	16	0,066666667	0,066666667	15	0,066666667
2	10,13869645	10,2712892	23	0,133333333	0,066666667	15	4,266666667
3	10,2712892	10,40388195	18	0,2	0,066666667	15	0,6
4	10,40388195	10,53647471	20	0,266666667	0,066666667	15	1,666666667
5	10,53647471	10,66906746	10	0,333333333	0,066666667	15	1,666666667
6	10,66906746	10,80166021	14	0,4	0,066666667	15	0,066666667
7	10,80166021	10,93425296	13	0,466666667	0,066666667	15	0,266666667
8	10,93425296	11,06684571	15	0,533333333	0,066666667	15	8,41452E-31
9	11,06684571	11,19943846	11	0,6	0,066666667	15	1,066666667
10	11,19943846	11,33203121	9	0,666666667	0,066666667	15	2,4
11	11,33203121	11,46462396	16	0,733333333	0,066666667	15	0,066666667
12	11,46462396	11,59721671	8	0,8	0,066666667	15	3,266666667
13	11,59721671	11,72980946	15	0,866666667	0,066666667	15	8,41452E-31
14	11,72980946	11,86240221	18	0,933333333	0,066666667	15	0,6
15	11,86240221	11,99499496	19	1	0,066666667	15	1,066666667
			225				17,06666667
						<b>CHI CUADRADA</b>	23,68479131

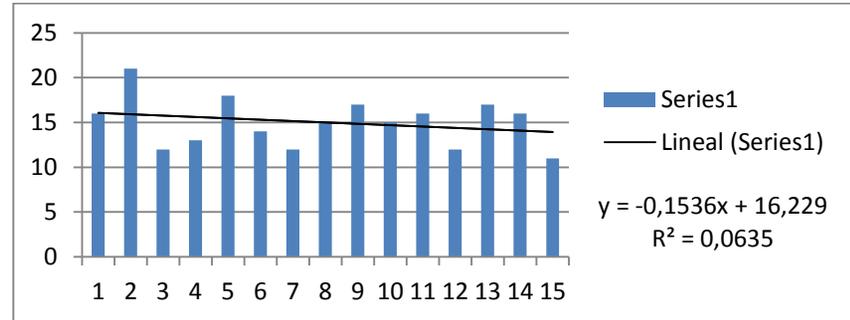
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 8

### Prueba de Bondad de Ajuste

#### Tiempo de lavado del contenedor en el cabezal

<b>MEDIA</b>	6,480918404
<b>DESVIACION</b>	0,855795526
<b>MINIMO</b>	5,043305765
<b>MAXIMO</b>	7,992034669
<b>RANGO</b>	2,948728904
<b>NUM DATOS</b>	225
<b>NUM INTERV STURGES</b>	8,76220231
<b>NUM INTERV RAIZ</b>	15
<b>TAMAÑO INTERVALO</b>	0,196581927



INTERVALOS	LIM INFERIOR	LIM SUPERIOR	FO	FREC.REL.ACUM.	FREC.REL.ESP.X INTER	FOE	EP
1	5,043305765	5,239887692	16	0,066666667	0,066666667	15	0,066666667
2	5,239887692	5,436469619	21	0,133333333	0,066666667	15	2,4
3	5,436469619	5,633051546	12	0,2	0,066666667	15	0,6
4	5,633051546	5,829633473	13	0,266666667	0,066666667	15	0,266666667
5	5,829633473	6,0262154	18	0,333333333	0,066666667	15	0,6
6	6,0262154	6,222797327	14	0,4	0,066666667	15	0,066666667
7	6,222797327	6,419379254	12	0,466666667	0,066666667	15	0,6
8	6,419379254	6,61596118	15	0,533333333	0,066666667	15	8,41452E-31
9	6,61596118	6,812543107	17	0,6	0,066666667	15	0,266666667
10	6,812543107	7,009125034	15	0,666666667	0,066666667	15	8,41452E-31
11	7,009125034	7,205706961	16	0,733333333	0,066666667	15	0,066666667
12	7,205706961	7,402288888	12	0,8	0,066666667	15	0,6
13	7,402288888	7,598870815	17	0,866666667	0,066666667	15	0,266666667
14	7,598870815	7,795452742	16	0,933333333	0,066666667	15	0,066666667
15	7,795452742	7,992034669	11	1	0,066666667	15	1,066666667
			225				6,933333333
						CHI CUADRADA	23,68479131

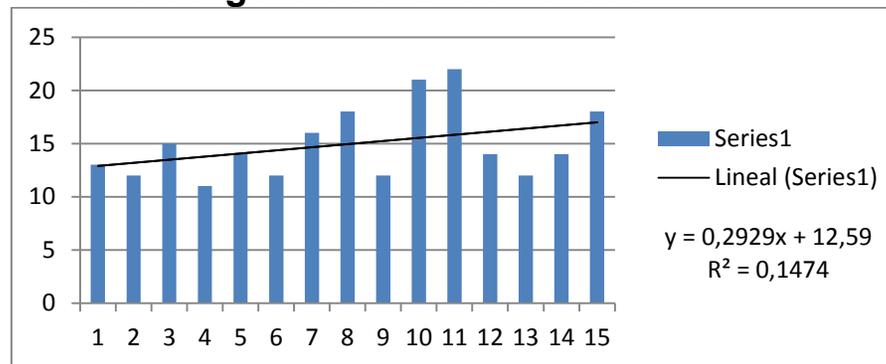
Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 9

### Prueba de Bondad de Ajuste

#### Tiempo de posicionamiento del generador al contenedor

<b>MEDIA</b>	8,578472243
<b>DESVIACION</b>	0,848315798
<b>MINIMO</b>	7,006317331
<b>MAXIMO</b>	9,999450667
<b>RANGO</b>	2,993133335
<b>NUM DATOS</b>	225
<b>NUM INTERV STURGES</b>	8,76220231
<b>NUM INTERV RAIZ</b>	15
<b>TAMAÑO INTERVALO</b>	0,199542222



INTERVALOS	LIM INFERIOR	LIM SUPERIOR	FO	FREC.REL.ACUM.	FREC.REL.ESP.X INTER	FOE	EP
1	7,006317331	7,205859554	13	0,066666667	0,066666667	14,93333333	0,250297619
2	7,205859554	7,405401776	12	0,133333333	0,066666667	14,93333333	0,576190476
3	7,405401776	7,604943999	15	0,2	0,066666667	14,93333333	0,000297619
4	7,604943999	7,804486221	11	0,266666667	0,066666667	14,93333333	1,036011905
5	7,804486221	8,004028443	14	0,333333333	0,066666667	14,93333333	0,058333333
6	8,004028443	8,203570666	12	0,4	0,066666667	14,93333333	0,576190476
7	8,203570666	8,403112888	16	0,466666667	0,066666667	14,93333333	0,076190476
8	8,403112888	8,60265511	18	0,533333333	0,066666667	14,93333333	0,629761905
9	8,60265511	8,802197333	12	0,6	0,066666667	14,93333333	0,576190476
10	8,802197333	9,001739555	21	0,666666667	0,066666667	14,93333333	2,464583333
11	9,001739555	9,201281777	22	0,733333333	0,066666667	14,93333333	3,344047619
12	9,201281777	9,400824	14	0,8	0,066666667	14,93333333	0,058333333
13	9,400824	9,600366222	12	0,866666667	0,066666667	14,93333333	0,576190476
14	9,600366222	9,799908444	14	0,933333333	0,066666667	14,93333333	0,058333333
15	9,799908444	9,999450667	18	1	0,066666667	14,93333333	0,629761905
			224				10,91071429
						<b>CHI CUADRADA</b>	23,68479131

Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca

## Anexo 10

### Programación en GAMS

```
OPTION OPTCR=0.0001
```

```
sets
```

```
i   cliente /c1*c25/
```

```
j   posicion /h1*h23/
```

```
k   dia /lu, ma, mi, ju, vi, sa/
```

```
table d(i,k) demanda
```

	LU	MA	MI	JU	VI	SA
C1	5	4	3	0	1	4
C2	6	5	0	0	1	3
C3	3	4	2	0	1	5
C4	3	2	0	0	1	2
C5	2	0	2	0	1	2
C6	1	0	0	0	1	3
C7	0	2	0	0	2	5
C8	2	0	0	0	3	0
C9	2	1	0	0	2	0
C10	1	2	0	0	3	0
C11	1	2	0	0	4	0
C12	1	1	0	0	0	0
C13	2	2	0	0	0	0
C14	2	1	0	0	0	0
C15	2	2	0	0	0	0
C16	2	1	0	0	0	0
C17	1	1	0	0	0	0

C18	1	2	0	0	0	0
C19	1	1	0	0	0	0
C20	2	1	0	0	0	0
C21	1	2	0	2	0	0
C22	2	0	0	3	0	0
C23	1	1	0	1	0	0
C24	1	1	0	2	0	0
C25	1	0	0	4	0	0

table a(j,k) matriz de preferencia de clientes por dia

	LU	MA	MI	JU	VI	SA
h1	5	5	3	5	5	5
h2	5	5	3	5	5	5
h3	4	5	3	5	5	5
h4	4	5	3	2	3	5
h5	3	5	3	5	5	5
h6	5	5	5	5	5	5
h7	4	5	5	5	5	5
h8	5	5	5	2	4	5
h9	4	5	5	2	3	5
h10	1	3	1	5	3	5
h11	1	1	1	2	3	5
h12	1	1	1	5	2	1
h13	1	1	1	5	3	1
h14	1	1	1	2	3	1
h15	1	1	5	2	2	1
h16	1	1	5	2	3	1
h17	1	1	5	5	4	1
h18	1	1	5	4	4	1
h19	1	1	1	4	4	1

h20	1	1	1	3	4	1
h21	1	1	1	4	1	1
h22	1	1	1	5	1	1
h23	1	1	1	5	1	1

parameters

b(i) categorizacion

/

C1	1
C2	1
C3	1
C4	2
C5	2
C6	3
C7	3
C8	3
C9	3
C10	3
C11	3
C12	3
C13	4
C14	4
C15	4
C16	4
C17	4
C18	4
C19	4
C20	5
C21	5
C22	5
C23	5

C24 5  
C25 5  
/

variables  
z funcion objetivo

binary variables  
 $x(i,j,k)$  1 si el cliente  $i$  ocupa la posicion  $j$  del dia  $k$

equation

obj  
res1  
res2  
\*res3

;

obj..  $z=e=\sum((i,j,k), x(i,j,k)*a(j,k)*d(i,k));$

res1(j,k)..  $\sum((i),x(i,j,k))=l=2;$

res2(i,k)..  $\sum(j, x(i,j,k))=e=d(i,k);$

\*res3(i,j,k)..  $x(i,j,k)*a(j,k)=l=2;$

model tesis /all/;  
solve tesis using mip maximizing z;  
display x.l;

*Elaborado por: Vladimir Carrillo y Ciro Paca*