



Escuela Técnica Superior de Ingenieros



Universidad de Sevilla

SIMULACIÓN MEDIANTE ARENA PARA RESOLVER UN PROBLEMA DE TRANSPORTES EN UNA ZONA PORTUARIA

Autor: Luis Muñoz Lombardo

Tutor: Pablo Cortés Achedad
Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas 1

Proyecto de Fin de Carrera: SIMULACIÓN MEDIANTE ARENA PARA
RESOLVER UN PROBLEMA DE TRANSPORTES EN UNA ZONA
PORTUARIA

Autor: Luis Muñoz Lombardo

Tutor: Pablo Cortés Achedad

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto
por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2014

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A Pablo Cortés por su tiempo y dedicación.

A mis familiares y amigos, por su apoyo durante estos duros años de carrera.

INDICE

1. Objeto del proyecto	1
2. Contexto y antecedentes de una terminal portuaria.....	3
2.1. Evolución del transporte marítimo	3
2.2. Clasificación de las mercancías manejadas	6
en los puertos	6
2.2.1. Gráneles líquidos	6
2.2.2. Gráneles secos	6
2.2.3. Mercancía general	7
3. Conceptos básicos de las terminales de Contenedores	8
3.1. Principales tipos de terminales de contenedores.....	8
3.1.1. Terminal de contenedores portuaria	8
3.1.2. Puerto seco.....	9
3.1.3. Principales servicios ofrecidos por una terminal de contenedores.....	10
3.1.3.1 Descarga o carga de buques	10
3.1.3.2 Almacenamiento temporal de mercancía.....	11
3.1.3.3 Cambio de modo de transporte.....	13
3.2. El contenedor y sus principales tipos.	16
3.3. Buques portacontenedores	19
3.3.1. El futuro de los buques portacontenedores, el triple e	20
3.4. Infraestructura y equipos de manipulación de una terminal portuaria de contenedores	23
3.4.1. Grúa pórtico Muelle	23
3.4.2. Grúas polivalentes	27
3.4.3. Grúas pórtico de almacenamiento	28
3.4.4. Carretilla pórtico	29
3.4.5. Equipos de manipulación frontal	31
3.4.6. Camiones con plataformas.....	32
3.4.7. Vehículos Auto-guiados.....	33
3.4.8. Remolque portacontenedor autocarga	37
3.4.9. Multitrailer system (MTS)	38
4. Simulación.....	39

4.1. Introducción y conceptos fundamentales.....	39
4.2 Modelado de sistemas	40
5. Software Arena	42
5.1 Menús	42
5.2 Barras de herramientas	42
5.3 Panel de Procesos Básicos de Arena	44
5.4 Otros Paneles	47
6. Descripción del modelo a Simular	50
6.1 Descripción del modelo real a simular	50
6.2 Descripción general del modelo	52
6.3 Descripción del modelo sin retroalimentación	53
6.3.1 Zona de creación y distinción de entidades	54
6.3.2 Zona de demanda.....	60
6.3.3 Zona de Oferta	63
6.3.4 Zona de Grúas.....	64
6.3.5 Zona de envío de los contenedores demandados.....	65
6.3.6 Zona Final	66
6.4 Descripción del modelo con retroalimentación	69
6.4.1 Zona de creación y distinción de entidades	70
6.4.2 Zona de demanda.....	70
6.4.3 Zona de Oferta	71
6.4.4 Zona de Grúas.....	72
6.4.5 Zona de envío de los contenedores demandados.....	73
6.4.5 Zona de Retroalimentación.....	74
6.4.5.1 Zona de Retroalimentación de la Demanda	74
6.4.5.2 Zona de Realimentación de Camiones de la Oferta	78
6.4.6 Zona Final	82
7. Resultados de la Simulación.....	84
7.1. Resultados de la Simulación en el modelo sin Retroalimentación.....	85
7.2. Resultados de la Simulación en el modelo con Retroalimentación.....	90
7.3. Análisis de los resultados de las simulaciones en el modelo	98
8. Conclusiones	102
9. Bibliografía	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evolución del volumen de toneladas en el transporte marítimo	4
Tabla 2: Tamaño de los contenedores	17
Tabla 3: Evolución de las grúas pórtico	26
Tabla 4: Tabla de Distancias en minutos entre Nodos	51

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Layout de una terminal marítima de contenedores portuaria	8
Ilustración 2: Puerto seco	9
Ilustración 3: Grúas pórtico de muelle durante una operación de descarga de un buque (APM Terminal Algeciras).....	11
Ilustración 4: Zona de almacenaje (APM Terminals Algeciras)	13
Ilustración 5: Entrada por carretera del puerto de contenedores de Salerno, Italia (Galozzi Group, 2012.....)	15
Ilustración 6: Principales tipos de contenedores.....	17
Ilustración 7: El Ideal X en su primer viaje en Port Newark en el año 1956	19
Ilustración 8: Evolución en la capacidad de los portacontenedores	20
Ilustración 9: Buque Triple-E, perteneciente a Maersk.....	21
Ilustración 10: Gráfico de los gr. De CO2 generados al transportar una tonelada de mercancía un km.....	22
Ilustración 11: Recreación virtual del buque Triple-E	22
Ilustración 12: Grúa Pórtico de Muelle	24
Ilustración 13: Grúa pórtico de muelle (APM Terminales Algeciras)	25
Ilustración 14: Evolución de las grúas pórtico	26
Ilustración 15: Grúa pórtico de muelle polivalente	27
Ilustración 16: Grúa RTG.....	28
Ilustración 17: RMG descargando contenedores de un tren.....	29
Ilustración 18: Carretilla pórtico.....	30
Ilustración 19: Front lift Truck	31
Ilustración 20: Grúa apiladora	32
Ilustración 21: Camiones con plataformas	33
Ilustración 22: : AGVs.....	34
Ilustración 23: AGV-Lift.....	35
Ilustración 24: ALV.....	36
Ilustración 25: Capacidad de los equipos de manipulación utilizados en las TCP	37
Ilustración 26: Remolque portacontenedor autocarga	37
Ilustración 27: Multitrailer	38
Ilustración 28: Ventana principal de Arena.....	43
Ilustración 29: Panel de Procesos Básicos de Arena.....	44
Ilustración 30: Panel de Procesos Avanzados de Arena.....	47
Ilustración 31: Panel de Traslados Avanzados de Arena	48
Ilustración 32: TCP.....	50
Ilustración 33: Esquema de la TPC	52
Ilustración 34: Modelo sin retroalimentación.....	53
Ilustración 35: Flujo Policía	54
Ilustración 36: Create de Flujo de Policía	54

Ilustración 37: Create flujo Camiones	55
Ilustración 38: Create flujo de trenes.....	55
Ilustración 39: Flujo Camiones	56
Ilustración 40: Primer módulo Assign “Tipo y Prioridad”	56
Ilustración 41: Segundo módulo Assign “Zona.almc”	57
Ilustración 42: Flujo trenes	57
Ilustración 43: Módulo Decide “Oferta o Demanda”	58
Ilustración 44: Módulo Route Oferta Policía	58
Ilustración 45: Módulo Route Demanda Policía	58
Ilustración 46: Módulo Route Oferta Camión.....	59
Ilustración 47: Módulo Route Demanda Camión.....	59
Ilustración 48: Módulo Route Oferta Tren	59
Ilustración 49: Módulo Route Drmanda Tren	60
Ilustración 50: Zona de Demanda.....	60
Ilustración 51: Módulo Seize.....	61
Ilustración 52: Características de las Colas	61
Ilustración 53: Módulo Delay “TRANSPORTE2”	62
Ilustración 54: Módulo Delay “TRANSPORTE1”	62
Ilustración 55: : Módulo Delay “TRANSPORTE”	62
Ilustración 56: Zona de Oferta.....	63
Ilustración 57: Características de las Colas	64
Ilustración 58: Zona de grúas	65
Ilustración 59: Zona de envío de contenedores demandados	65
Ilustración 60: delay zona de envío	66
Ilustración 61: Zona final	67
Ilustración 62: delay zona final	67
Ilustración 63: Release zona final.....	68
Ilustración 64: Modelo con retroalimentación.....	69
Ilustración 65: Zona de creación 2	70
Ilustración 66: Zona demanda 2	71
Ilustración 67: Zona de oferta.....	72
Ilustración 68: Zona de grúas 2	72
Ilustración 69 Zona de envío 2	73
Ilustración 70: delay zona de envío	73
Ilustración 71: Zona de retroalimentación de la demanda.....	74
Ilustración 72: modulo decide de retroalimentación	75
Ilustración 73: modulo pickup.....	76
Ilustración 74: módulo dropoff.....	76
Ilustración 75: módulo batch	77
Ilustración 76: módulo route.....	77
Ilustración 77: zona retroalimentación oferta.....	78
Ilustración 78: zona retroalimentación decide.....	79

Ilustración 79: decide zona retroalimentación oferta	79
Ilustración 80: modulo pickup 2	80
Ilustración 81: módulo dropoff 2	81
Ilustración 82: módulo batch 2	81
Ilustración 83: módulo route.....	82
Ilustración 84: Zona final 2	82
Ilustración 85: delay zona final	83
Ilustración 86: Release zona final.....	83
Ilustración 87: Simulacion.....	84
Ilustración 88: report sin retroalimentación pag. 1	85
Ilustración 89: report sin retroalimentación pag. 2.....	86
Ilustración 90 : report sin retroalimentación pag. 3.....	87
Ilustración 91: report sin retroalimentación pag. 4.....	88
Ilustración 92: report sin retroalimentación pag. 5.....	89
Ilustración 93: report con retroalimentación pag.....	90
Ilustración 94 : report con retroalimentación pag. 2.....	91
Ilustración 95: report con retroalimentación pag. 3.....	92
Ilustración 96: report con retroalimentación pag. 4.....	93
Ilustración 97: report con retroalimentación pag. 5.....	94
Ilustración 98: report con retroalimentación pag. 6.....	95
Ilustración 99: report con retroalimentación pag. 7.....	96
Ilustración 100: report con retroalimentación pag. 8.....	97
Ilustración 101: hoja 2 con retro	98
Ilustración 102: hoja 2 sin retro	98
Ilustración 103: hoja 3 con retro.....	99
Ilustración 104 : hoja 3 sin retro	99
Ilustración 105: hoja 4 sin retro	99
Ilustración 106: hoja 6 con retro.....	100
Ilustración 107: Hoja 7 con retro.....	100
Ilustración 108: hoja 5 sin retro	101

1. Objeto del proyecto

Dado el gran nivel de globalización en el que se vive actualmente, se está viviendo un gran aumento del mercado internacional, es decir, se está viendo como los niveles de comercio a nivel internacional se están disparando desde hace tres décadas.

Este aumento ha afectado mayoritariamente al comercio marítimo, dado que es el modo más eficiente y menos costoso de transportar grandes volúmenes de mercancía.

Por lo tanto, las terminales portuarias han visto aumentada su tanto su notoriedad como su volumen de mercancías a tratar. Para hacer frente a estos desafíos, las terminales portuarias se han tenido que dotar de nuevas infraestructuras y maquinaria.

Además las terminales son grandes almacenes de mercancías, pero debido al aumento en el trasiego de ellas, han tenido que convertirse en grandes centros logísticos y con el objetivo de ir mejorando su eficiencia.

A raíz de estos acontecimientos surgió el problema de la logística interna en lo referido al transporte de contenedores en una terminal portuaria. Este problema se conoce en la literatura como “The landside transport”, que corresponde a la gestión de transporte terrestre dentro de la zona portuaria.

El problema ha sido enfocado desde gran variedad de puntos de vista como la minimización de la distancia recorrida por los camiones que transportan los contenedores, la minimización del tiempo del contenedor en llegar a su destino, la gestión de cierta maquinaria para minimizar sus tiempos en espera etc.

En este tipo de modelo se planifican todos los movimientos de contenedores que se realizan en una TCP (terminal de contenedores portuaria). Los movimientos de contenedores se realizan para permitir el desarrollo de: inspecciones en aduanas, reubicación de contenedores vacíos, carga y descarga de contenedores etc.

En concreto el objeto de este proyecto es el modelado y la posterior simulación de dos posibles soluciones al problema de la logística interna en lo referido al transporte de contenedores en una terminal portuaria para su posterior comparación, enfocando el problema desde el punto de vista de la minimización del tiempo que tarda un contenedor en llegar a su destino.

El primero de los modelos simula un recorrido fijo para los camiones y tras el cual vuelven al punto inicial mientras que en el segundo modelo los camiones tras completar su recorrido tienen la opción de redirigirse al lugar en el cual sean necesitados.

El objetivo es minimizar los tiempos de cada contenedor dentro de la terminal portuaria. Como se ha comentado este proyecto ha servido de base para el desarrollo de un modelo que simula el transporte de los contenedores dentro de la terminal con el objetivo de minimizar costes y distancias.

Mediante la teoría de grafos ha sido posible realizar dos modelos que simulan el tráfico de una terminal portuaria de contenedores. Tras ello y gracias al software Arena se ha podido implementar dichos modelos en el programa para su posterior simulación. El software de simulación Arena ha generado unos informes a partir de los cuales se han obtenido los resultados de este estudio.

Los resultados arrojan que se ha cumplido el objetivo de reducir los tiempos de manera significativa en el segundo modelo respecto a los tiempos del primero dado que se han transportado 500 contenedores más en el segundo modelo y se han aumentado el grado de utilización de los recursos.

Además se ha conseguido minimizar los tiempos de espera y de recorrido de los camiones dentro de la TPC.

2. Contexto y antecedentes de una terminal portuaria

En este apartado se verá un breve resumen del recorrido de los puertos a lo largo de la historia. Para este proyecto se entenderá como puerto a los relacionados exclusivamente con el manejo de mercancías y no con otros fines.

La Real Academia Española de la Lengua define puerto como “Lugar en la costa o en las orillas de un río que por sus características, naturales o artificiales, sirve para que las embarcaciones realicen operaciones de carga y descarga, embarque y desembarco, etc.” esta definición es demasiado general para este objeto de estudio, ya que agrupa a todos los tipos de puertos tanto de turismo como de mercancías.

Se pueden encontrar definiciones más detalladas en cuanto a los puertos de mercancías, como la de “se define puerto como el conjunto de elementos físicos (obras e instalaciones) y de actividades (servicios y organizaciones) que permiten al hombre aprovechar un lugar de la costa más o menos favorable para realizar operaciones de intercambio de mercancía entre el tráfico terrestre y marítimo”.

La especialización de la producción ha hecho que una parte del puerto tome gran importancia, así se define como: “Terminal portuaria son aquellas instalaciones portuarias que constituyen la interfaz entre los diferentes modos de transporte, permitiendo la transferencia de la carga entre el buque y el camión, ferrocarril, tubería, buque feeder o barcaza y viceversa”. Sin embargo estas definiciones son demasiado generales puesto que utilizan términos como puerto o terminal portuario los cuales contemplan una gran variedad de instalaciones.

2.1. Evolución del transporte marítimo

Los puertos son el punto donde el modo de transporte puede cambiar de marítimo a terrestre, siendo así piezas clave en el comercio entre regiones y convirtiéndose en la llave que ha permitido a lo largo de la historia el comercio entre naciones; de forma más eficiente y rápida que el comercio terrestre.

Estos puntos de comercio han sido causa de la construcción construcción y desarrollo de ciudades y regiones cercanas a ellos. Un estudio realizado en octubre de 2008 por la revista “Foreign Policy”, publica un ranking de ciudades globales, en este señala las ciudades más grandes y mejor conectadas del mundo, aquellas que son los motores del crecimiento para sus países. En dicho estudio se puede corroborar lo dicho anteriormente ya que 6 de las 10 primeras ciudades tienen una característica común, y no es otra que poseer uno de los puertos de mayor importancia del mundo.

Diferentes acontecimientos han tenido lugar a mediados del siglo XX, lo que ha acelerado de manera drástica la evolución y desarrollo de los puertos. Entre los acontecimientos más relevantes se encuentra: la aparición del contenedor para el comercio marítimo. Otro acontecimiento importante y derivado del anterior es la especialización de la flota marítima para el transporte de mercancía en contenedores, lo que ha generado una tendencia llamada gigantismo ya que cada vez son más grandes los buques portacontenedores.

Los acontecimientos mencionados han reducido considerablemente los tiempos y costes de la carga en las terminales portuarias, ocasionando un incremento en el flujo de mercancías en las terminales portuarias.

Aspectos como el crecimiento del comercio mundial, la globalización y desregularización de los mercados han redefinido el papel de los puertos en el desarrollo económico mundial.

Evolución del volumen de toneladas del transporte marítimo (millones de tn)

Year	Oil and gas	Main bulks ^a	Other dry cargo	Total (all cargoes)
1970	1 440	448	717	2 605
1980	1 871	608	1 225	3 704
1990	1 755	988	1 265	4 008
2000	2 163	1 295	2 526	5 984
2005	2 422	1 709	2 978	7 109
2006	2 698	1 814	3 188	7 700
2007	2 747	1 953	3 334	8 034
2008	2 742	2 065	3 422	8 229
2009	2 642	2 085	3 131	7 858
2010	2 772	2 335	3 302	8 409
2011	2 794	2 486	3 505	8 784
2012	2 841	2 742	3 614	9 197
2013	2 844	2 920	3 784	9 548

(Fuente: UNCTAD)

TABLA 1: EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN DE TONELADAS EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

El tráfico marítimo mundial de mercancías ha logrado movilizar en el año 2013 9.548 millones de toneladas, frente a los 7.700 del 2006, los 5.498 de 2000, los 3.704 de 1980, los 2.605 de 1970 y los 525 millones de 1950 según la UNCTAD como se puede ver en la Ilustración 1. Lo que permite concluir que en poco más de 60 años el tráfico marítimo se ha multiplicado por 18.

Con respecto a los tipos de mercancías los incrementos en este periodo de tiempo no han ocurrido de forma similar por lo cual su representación frente al total ha tenido importantes cambios; la mercancía contenerizada ha pasado del 26% al 42%, las cargas secas a granel han pasando del 18% al 22% y las cargas líquidas han pasado del 56% al 36%.

En la actualidad los puertos tienen que mejorar su eficiencia ya que los posibles errores de estos perjudica a todas las industrias, dado que un mayor coste en el puerto repercutiría tanto en el vendedor como en el comprador. Esto ha generado una gran cantidad de estudios enfocados a diferentes aspectos.

Algunos estudios proponen modelos para la programación de las flotas de buques portacontenedores de forma que se minimicen costes cumpliendo con las demandas de cada puerto.

Otros estudios se enfocan en encontrar la mejor localización de los puertos Hub (puertos especializados en transbordo de contenedores) teniendo en cuenta usuarios en la región, operadores, maquinaria, puertos cercanos, etc.

De igual forma otros trabajos que han realizado para estudiar la eficiencia de los puertos en regiones como Asia y el norte de Europa. Todos estos estudios son debidos a que estos costes son directamente a los productos, lo que puede generar una pérdida en el flujo de comercio si las redes de transporte no cuentan con puertos eficientes.

2.2. Clasificación de las mercancías manejadas en los puertos

Son muchos los tipos de mercancías que entran y salen de un país por una terminal portuaria. Por lo tanto para facilitar el control y planificación es necesario realizar una clasificación de estas. Las mercancías que transitan por los puertos se clasifican en tres tipos: gráneles líquidos, gráneles sólidos y mercancía general más contenedores.

2.2.1. Gráneles líquidos

Son aproximadamente el 40% del total de la carga mundial, entre los que se destaca los hidrocarburos, son unos de los principales motores del transporte marítimo con más de 2.844 millones de toneladas en el año. Los hidrocarburos son principalmente de tres tipos; el petróleo con el 72%, los productos derivados del petróleo con el 22% y el gas con el 6%.

Todo esto pone de manifiesto que más de la mitad de la producción mundial de petróleo es exportada, siendo el transporte marítimo el principal medio de transporte con un 75% del total de los intercambios.

2.2.2. Gráneles secos

Alcanza cerca del 60% de los intercambios marítimos internacionales con más de 3784 millones de toneladas al año en el 2013 y está compuesto por dos principales grupos. Uno es el de los gráneles mayores en donde están el hierro, el carbón, los cereales, el aluminio, la bauxita y el fosfato.

El otro grupo es el de los gráneles menores donde están las materias primas tipo acero y los productos semimanufacturados.

Se explica brevemente los principales.

- **Mineral hierro:** esta mercancía ha sido durante un siglo el principal granel seco transportado con casi 450 millones de toneladas anuales que corresponden al 13% de los gráneles secos solo sobrepasada en la actualidad por el carbón.
- **Carbón:** como ya se ha dicho, el carbón en los últimos años ha pasado a ser el principal producto transportado por mar del grupo de los gráneles secos con un 15% del total de este grupo que corresponde a más de 500 millones de toneladas anuales.
- **Cereales:** esta mercancía es más estable que las dos anteriores, está compuesta principalmente por trigo, maíz y soja. En total alcanzan más de 250 millones de toneladas al año correspondiendo al 8% de los gráneles secos.

2.2.3. Mercancía general

Este último grupo es de gran importancia en la actualidad debido a un crecimiento registrado del 9% en los últimos años, el cual está por encima de los otros grupos.

Las cantidades de carga movilizadas en esta categoría correspondieron 2.920 millones de toneladas en el año 2013, de los cuales aproximadamente un 50% fue contenerizada. Cabe resaltar que en la actualidad se estima que el 90% de la carga general es transportada en contenedores.

3. Conceptos básicos de las terminales de Contenedores

El principal objetivo de las terminales de contenedores es servir como nodo para el intercambio modal en las redes de transporte, para lo cual es necesaria una infraestructura física e informática adecuada a los modos de transportes especializados en el manejo de contenedores.

En este capítulo se verán los conceptos generales referentes a las terminales marítimas de contenedores. Del mismo modo se muestra una clasificación y una breve introducción sobre las diferentes tipos de terminales y maquinaria utilizada para la manipulación de la mercancía.

3.1. Principales tipos de terminales de contenedores

En la actualidad existen dos principales tipos de terminales de contenedores, los puertos secos y los puertos marítimos.

3.1.1. Terminal de contenedores portuaria

Un puerto polivalente atiende a buques que transportan cargas heterogéneas pero presentan características genéricas idénticas. No obstante debido a la tendencia observada a nivel mundial de contenerización de la mercancía general, muchas terminales polivalentes terminarán convirtiéndose en terminales especializadas en contenedores.

Para que un puerto sea catalogado como terminal de contenedores portuaria (TCP) debe contar con instalaciones especializadas para el manejo de todos los diferentes tipos de contenedores sin importar que tipo de carga contengan. Además de permitir la conexión entre los diferentes modos de transporte. En la Ilustración 2 se puede ver el layout típico de una TCP.

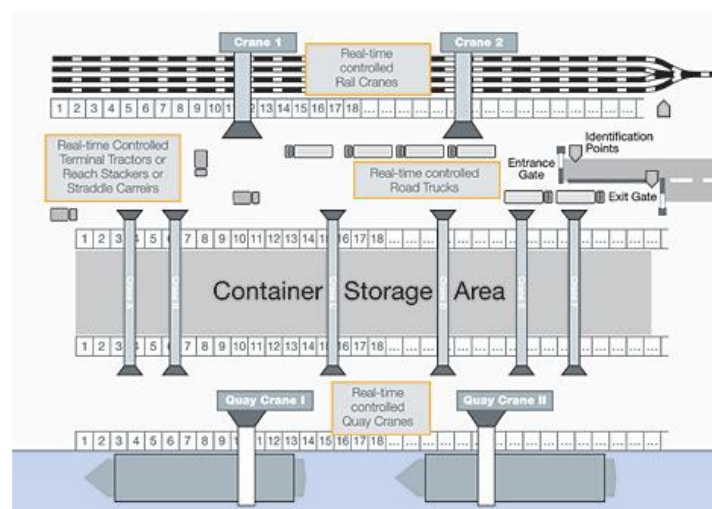


ILUSTRACIÓN 1: LAYOUT DE UNA TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES PORTUARIA

En la Ilustración anterior se puede apreciar claramente las cuatro principales zonas de operación en las TCP, las cuales se definirán con más detalle a continuación:

- Zona de operación: llamada en inglés “Ship Operation” que corresponde a la zona junto a los muelles donde se realizan las actividades de descarga y carga de contenedores.
- Zona de almacenamiento: en inglés “Container Yard Operation”. En la cual se almacenan los contenedores. Esta zona debe estar muy bien comunicada con todas las zonas de la terminal.
- Zona de cambio de modo de transporte: en inglés “Receipt/Delivery Operation” en esta zona se realizan las actividades de carga y descarga de contenedores a los medios de transporte terrestres (camiones y trenes).
- Zona de servicio: esta zona dependiendo del tipo de terminal puede tener algunos cambios pero en general es aquella en donde están las oficinas de control, talleres de reparación, aparcamientos, aduanas, entre otros y se encuentra en la literatura inglesa como “CFS Operation”.

3.1.2. Puerto seco

En la literatura inglesa “Dry Port” es aquella terminal que no se encuentra en la costa sino que se sitúa en el interior, en la mayoría de los casos cerca de las grandes ciudades y zonas productivas, conectada directamente con los puertos origen-destino de sus cargas, a través de la red ferroviaria.

En la Ilustración 2 se puede ver el puerto seco de Madrid.



ILUSTRACIÓN 2: PUERTO SECO

Este tipo de puertos permite el cambio de transporte de tren a camión y viceversa. Tiene instalaciones y equipos de manipulación muy parecidos a los de un terminal ferroviario de mercancías.

Las diferencias son de carácter administrativo ya que es posible posponer aspectos legales a los que se tienen que someter las mercancías en las TCP; como inspecciones aduaneras

y otros tipos de peritaje lo que permite agilizar la salida de contenedores de los puertos y así descongestionarlos.

3.1.3. Principales servicios ofrecidos por una terminal de contenedores

El principal objetivo de una TCP es el de servir como nodo para el cambio del modo de transporte. En su operativa interna ha realizado diferentes procesos o servicios que en conjunto permiten lograr el objetivo general. Brevemente se nombran los tres principales servicios que son ofrecidos por las terminales portuarias.

3.1.3.1 Descarga o carga de buques

Este servicio comprende la descarga de los contenedores que llegan a la TCP como destino final o de paso y la carga de los contenedores que salen de la TCP.

Está enfocado a las líneas de transporte marítimo ya que son estas las que directamente están afectadas por el tiempo que demora la operación, el cual depende de la velocidad de carga y descarga medida en TEUs/hora. (Un TEU equivale a un contenedor de 20 pies).

Por todo ello se puede concluir que el objetivo principal es minimizar el tiempo que permanece un buque en el puerto, para ello se tendrán que tener en cuenta los siguiente factores:

- El tamaño, la velocidad, y el número de grúas de que se disponga.
- El grado de automatización de las grúas, así como el tipo de vehículo utilizado para el transporte y el número de operarios necesarios ello.
- Los sistemas de comunicación desarrollados con el resto de la terminal
- El nivel de capacitación de los recursos humanos implicados en la operación.
- La exactitud de la información suministrada por el consignatario, en lo que a la llegada y demás datos del buque se refiere.
- La anchura y longitud del muelle.
- El tipo de tráfico que acoja la terminal. Puede ser una terminal pública con muchos clientes o una terminal privada con uno o pocos clientes.
- El grado de estandarización de la mercancía manipulada.

En la Ilustración 4 se muestra la operación de descarga de un buque, llevada a cabo por varias grúas pórtico de muelle distribuidas a lo largo del mismo.



ILUSTRACIÓN 3: GRÚAS PÓRTICO DE MUELLE DURANTE UNA OPERACIÓN DE DESCARGA DE UN BUQUE (APM TERMINAL ALGECIRAS)

3.1.3.2 Almacenamiento temporal de mercancía

Este servicio se presta a los dueños de las mercancías que están en el interior de los contenedores, la cual puede ser de importación o de exportación. Ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal. Su disposición y dimensiones están relacionadas tanto con el tráfico de contenedores que soportará la terminal como con los diferentes equipos de manipulación escogidos.

Este servicio responde a la necesidad de disponer de una superficie de almacenamiento en proporción con los distintos requerimientos impuestos por la demanda de éstos. El almacenamiento es por lo general durante cortos periodos de tiempo, es decir, mientras llega el medio de transporte en el que tienen que ser cargados.

El aumento del tráfico marítimo, de la tasa de contenerización, del porte de las embarcaciones, la concentración progresiva en pocos puertos, etc., han requerido de los puertos la disposición de enormes superficies de almacenamiento de contenedores. La gestión de esta zona de ha convertido en esencial para el buen funcionamiento de las terminales.

El principal objetivo de este servicio es proporcionar una forma eficaz de atender los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques, y la recepción y entrega de las mercancías a los modos de transporte terrestre. Para ello se precisa de una superficie de almacenamiento que es atendida por diferentes medios de manipulación, cuya elección dependerá de diversos factores.

El diseño de la zona de almacenamiento viene determinado, en gran medida, por el tipo de medios de manipulación que se van a utilizar. Éstos, a su vez, permiten grados de apilamiento y posibilidades de automatización muy dispares de manera que la elección de estos medios condiciona de una manera esencial a la propia terminal.

Entre los sistemas de manipulación se puede encontrar los siguientes equipos:

- Grúas pórtico de muelle
- Grúas polivalentes
- Grúas pórtico de almacenamiento (RTG y RMG)
- Carretillas pórtico
- Equipos de manipulación frontal (grúas apiladoras, apilador frontal...)
- Cabezas tractoras con plataformas (de una a 5 plataformas)
- Vehículos auto-guiados (AVG y ALV)

Estos equipos de manipulación serán explicados posteriormente, con un apartado expresamente dedicado ellos.

Además de todo lo expuesto anteriormente, también hay que tener en cuenta zonas adicionales debido a factores como:

- La existencia de contenedores refrigerados requiere de la disposición de unas zonas de almacenamiento que cuenten con las conexiones eléctricas necesarias para que estos contenedores puedan mantener la cadena de frío.
- Los contenedores que transportan mercancías peligrosas deben de ser situados en algunos casos en lugares separados del tráfico ordinario, de manera que se cumplan las exigencias de seguridad. En otros casos es suficiente con que se segreguen unos de otros, respetando unas distancias mínimas.
- Inspecciones de contenedores requeridas por organismos públicos (aduana, inspección fitosanitaria, etc). Para ello, se dispondrá de un lugar habilitado.

Además, en la zona de almacenamiento se sitúan distintas edificaciones, entre las que destacan:

- Las oficinas de la terminal, pudiendo o no incluir en ellas la sala de control. En las oficinas tienen lugar las operaciones administrativas que conlleva la actividad empresarial, y la relación con los clientes. En la sala de control se deciden, controlan y registran, idealmente en tiempo real, las operaciones que tienen lugar en la terminal.
- Los talleres, donde se efectúan las operaciones de mantenimiento o reparación de los medios mecánicos de la terminal.

El almacén de consolidación. Éste se comunica con el interfaz terrestre sin la utilización del contenedor, recibiendo o entregando mercancía general viaria, y realizando en él el grupaje o ruptura de carga, de manera que la conexión de este almacén con el propio subsistema de almacenamiento o con el de carga y descarga ya se hace con contenedores llenos.

Se trata de una actividad logística de valor añadido relacionada con el tráfico marítimo. Los almacenes de consolidación podrían considerarse un subsistema adicional, conectados con los otros cuatro subsistemas. En este trabajo no se considera así porque realmente estos almacenes no existen en muchas terminales de contenedores, ya que esta operación suele realizarse en almacenes exteriores a los puertos.

En la Ilustración 5, se muestra la zona de almacenaje de la Terminal de APM en Algeciras y algunas de las grúas RTG de que disponen para la manipulación de los contenedores.



ILUSTRACIÓN 4: ZONA DE ALMACENAJE (APM TERMINALS ALGECIRAS)

3.1.3.3 Cambio de modo de transporte

Este servicio de cambio de modo de transporte se encarga de la interfaz terrestre, es decir, donde se tiene que atender a dos modos de transporte bien definidos: el del transporte por carretera y el del ferrocarril. El primero de ellos presenta un gran grado de automatización y con requerimientos muy variables, lo que conlleva complejos condicionantes a la terminal.

Con frecuencia se observa que la terminal se adapta a los ritmos del transporte terrestre. Por el contrario, el ferrocarril permite concentrar la actividad en los momentos que mejor convengan a la terminal, además, permite obtener niveles de rendimiento elevados. Sin embargo, este modo de transporte suele suponer únicamente un pequeño porcentaje del tráfico terrestre que accede a la terminal.

El principal objetivo de este subsistema es facilitar la recepción o entrega de mercancías de una manera rápida.

Los elementos que más afectan a este subsistema son:

- El tipo de tráfico de la terminal, en el sentido de que predomine el transbordo o el comercio exterior.
- El número de puertas que existen para atender a los vehículos que acceden o salen de la terminal.
- El sistema de obtención e intercambio de información establecido en este punto, especialmente el medio de obtención y de comunicación al control central de la terminal.
- La inspección física y de control de precinto del contenedor, tanto a la entrada como en la salida.

El funcionamiento general de recepción y entrega viene a ser el siguiente: Una vez los camiones han superado la cola de espera para los accesos y los respectivos trámites administrativos están en orden, los camiones se desplazan hacia la zona asignada para carga y descarga.

Esta zona suele estar ubicada cerca de los contenedores de importación y la colocación de los camiones está pensada para minimizar la distancia entre el camión y el contenedor que tiene que ser recogido.

En cambio, los contenedores de exportación son dirigidos directamente a la zona de exportación que hay en la campa. Una vez realizados los procesos de carga y descarga los camiones ya pueden dirigirse hacia las puertas de salida de la terminal.

En la Ilustración 6, se muestra la entrada y salida de camiones por las puertas que componen la entrada por carretera de una TCP, en concreto, de la terminal de contenedores de Salerno (Italia).



ILUSTRACIÓN 5: ENTRADA POR CARRETERA DEL PUERTO DE CONTENEDORES DE SALERMO, ITALIA (GALOZZI GRROUP, 2012)

Por lo que respecta al sistema ferroviario de mercancías, éste suele producirse en la misma terminal de contenedores, en la que los raíles discurren de forma paralela a la zona destinada para los camiones.

Pero no siempre se produce de esta forma, ya que en determinados puertos la transferencia de contenedores al sistema ferroviario se produce fuera de la terminal con zonas de almacenaje y sistemas operativos (grúas) propios, en estos casos es preciso una transferencia de contenedores desde la zona de almacenaje hacia esta subterminal, generalmente ejecutada por trailers (multi trailer system).

3.2. El contenedor y sus principales tipos.

El contenedor es el componente principal en las terminales portuarias. Inició una revolución en el transporte y en poco más de 10 años ya existía una gran aceptación por parte de los comerciantes y de los diferentes actores involucrados.

Las navieras comenzaron a rediseñar sus buques de tal manera que pudiesen transportar estas nuevas unidades de carga, que proporcionaban, funcionalidad, rapidez y seguridad. Los beneficios más importantes que se producen al usar contenedores son:

- Reducción de los tiempos de carga y descarga
- Reducción de los controles e inspecciones al ir precintados.
- Reducción de las primas del seguro al evitar robos y daños.
- Reducción de costes al ser menores los tiempos de transporte.
- Simplificación documental.
- Mejora del seguimiento de la mercancía por ordenador.

Dadas las ventajas económicas, de rapidez de maniobra y de seguridad que proporciona la contenerización a las líneas navieras, en 1951 se inicia la especialización en la actividad, con la construcción de los primeros buques portacontenedores en Dinamarca, y la construcción de las primeras terminales especializadas, dotadas de la infraestructura y de los equipos necesarios para operar estos contenedores de y hacia los buques, con enlaces de transferencia ferroviaria y carretera.

En sus inicios las líneas navieras o los empresarios dueños de las cargas quisieron diseñar los contenedores de acuerdo a sus necesidades, hasta que en la década de los sesenta se establece la estandarización de las medidas, materiales y pesos de los contenedores, que facilitará su uso en todos los medios de transporte (buques, camiones, ferrocarriles y aviones). Esta contenerización se generaliza creándose la modalidad del servicio intermodal o multimodal de carga.

En 1965, la ISO (International Standard Organization) creó las normas para la estandarización de los contenedores, normalizando internacionalmente el contenedor en diseño, dimensiones, capacidad de carga, cubillaje, etc. Y lo definió así; “Se entiende por contenedor un instrumento de transporte que reúne las siguientes características”:

- Carácter permanente o suficientemente resistente para permitir su uso repetido.
- Especialmente concebido para facilitar el transporte de mercancías sin rotura de carga, por uno o varios modos de transporte.
- Provisto de dispositivos que permitan su manipulación, principalmente al tiempo de su transbordo de un medio de transporte a otro
- Ideado de manera que resulte fácil su carga y descarga
- Su volumen interior es de un metro cúbico como mínimo

Esta definición está registrada en la norma UNE 49-751 h1, junto con esta definición se establecieron los diferentes tipos de contenedores manejados y aceptados a nivel mundial de acuerdo a los propósitos o funcionalidades que tengan, entre los cuales se tiene:

- Estándar: usados para el transporte de cualquier mercancía seca normal (palets, bolsas, cajas...).
- Open top: tienen techo removible de lona. Se usan para el transporte de cargas pesadas o de grandes dimensiones y permiten la manipulación de su contenido desde arriba.
- Refrigerado: tienen un equipo propio de generación de frío. Es necesario que estén conectados a una red trifásica tanto en el transporte como en el almacenaje.
- Aislante: usados para transportar cargas que requieran temperaturas constantes
- Tanques: usados para transportar líquidos o gases.
- Flat tracks: contenedores sin laterales, usados para cargas de grandes dimensiones.

Para este proyecto sólo se tendrá en cuenta solo un tipo de contenedor; los estándar ya que el proceso de manipulación y almacenaje son iguales para la mayoría de los contenedores.

En la Ilustración 7 se muestran los principales tipos de contenedores anteriormente mencionado.



ILUSTRACIÓN 6: PRINCIPALES TIPOS DE CONTENEDORES

Con respecto a las dimensiones de los contenedores en la tabla 1 se muestran de forma esquemática las medidas básicas de los más utilizados para el transporte de mercancía en el comercio mundial.

Nombre	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)
Contenedor de 20'	6.058	2.438	2.438
Contenedor de 40'	12.192	2.438	2.438
Contenedor High Cube	12.192	2.438	2.591

TABLA 2: TAMAÑO DE LOS CONTENEDORES

Esta información ha sido tomada de la norma UNE 117101

Tamaño de contenedores: En un intento por homogenizar los indicadores de eficiencia de las terminales portuarias, así como de establecer una unidad de medida reconocida y aceptada por todos los actores involucrados en el transporte marítimo de contenedores.

El tamaño de un contenedor es expresado en términos de TEUs procede del acrónimo de lengua inglesa Twenty Feet-Equivalen Unit, en donde se toma como base la capacidad y tamaño del contenedor de 20' por lo cual un TEU es un contenedor de 8' pies de ancho, 8' de alto y 20' de largo (1 TEU = 1 contenedor de 20'), por ende un contenedor de 40' es equivalente a dos TEUs.

3.3. Buques portacontenedores

Los buques son otro de los principales protagonistas en la evolución de los puertos, ya que se adaptaron a la aparición del contenedor para aprovechar sus beneficios y completaron así la revolución del transporte marítimo al convertirse en el mejor medio de transporte para este tipo de carga.

En la actualidad los buques sólo son un eslabón más en la cadena que representa el transporte de mercancía, ya que convive con el transporte aéreo y terrestre; con un denominador común, el transporte de contenedores. El uso de contenedores para transportar mercancías agiliza enormemente el cambio de un modo de transporte a otro debido a la gran estandarización existente.

Los primeros buques que transportaron contenedores eran conocidos como feeder o barcazas, los cuales tenían una capacidad de 250 TEUs y fueron remplazados por la primera generación de portacontenedores que podían transportar más del triple de contenedores con capacidades alrededor de los 800 TEUs. En la Ilustración 8 se puede ver una fotografía de unos de estos buques.

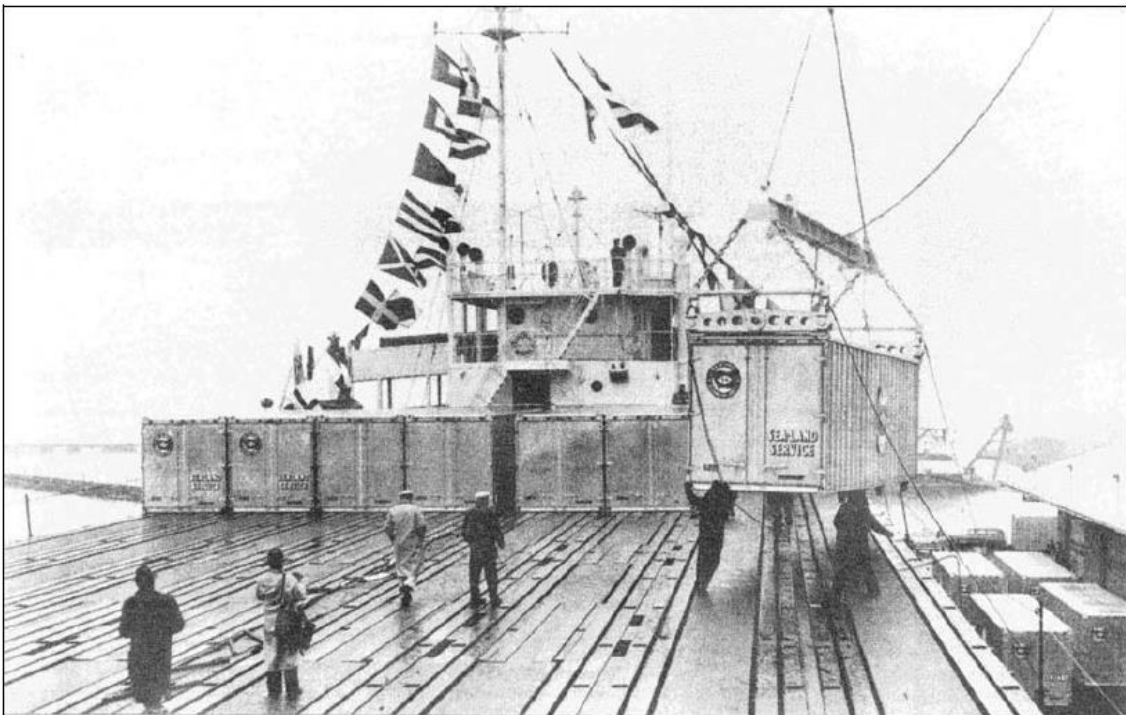


ILUSTRACIÓN 7: EL IDEAL X EN SU PRIMER VIAJE EN PORT NEWARK EN EL AÑO 1956

Fue un gran salto en los avances del transporte marítimo pero que en la actualidad han quedado obsoletos por las capacidades de los nuevos buques.

En la actualidad el mayor buque portacontenedores del mundo perteneciente a la naviera Maersk tiene capacidad para transportar 15.000 TEUs. Sus dimensiones son; 396.84 metros de eslora, 63.1 m de manga y 31 nudos de velocidad (aproximadamente 57 km/hora) lo que le permite lograr un tiempo de viaje de 4 días entre china y la costa oeste de EE.UU. En la actualidad se está viviendo un nuevo fenómeno el cual se denomina

gigantismo y que pone en grandes dificultades a los puertos debido al gran tamaño de los buques.

Un factor detonante del gigantismo es la globalización, ya que las grandes industrias tienen proveedores en todas partes del mundo y distribuyen sus productos a la mayoría de las regiones lo cual crea la necesidad de usar buques cada vez mayores para el transporte de mercancías de manera más rápida y eficaz. Actualmente las empresas navieras que apuestan por dar un servicio global, cuentan con una flota a la medida y asuman el riesgo inversor que se les supone.

En consecuencia, los puertos que quieran asumir el reto de estar entre los elegidos para esas navieras deberán contar con la capacidad suficiente para acogerlos.

En la Ilustración 9 se puede ver la evolución de la flota marítima en los últimos 60 años.

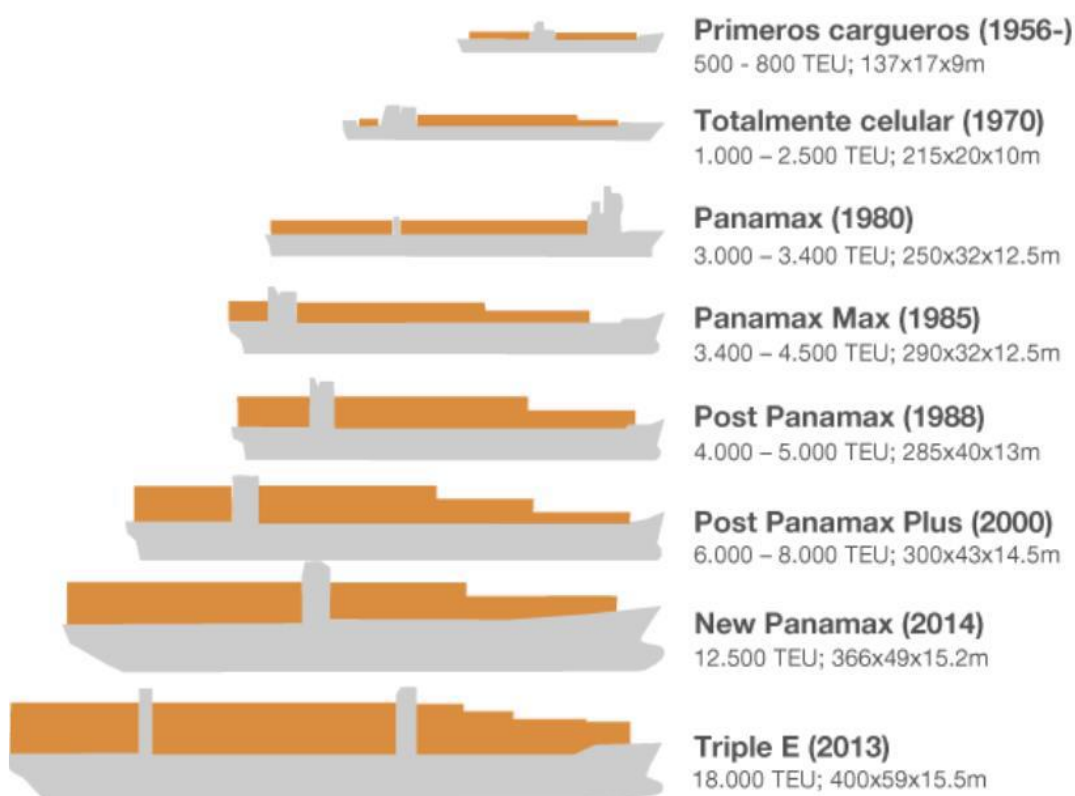


ILUSTRACIÓN 8: EVOLUCIÓN EN LA CAPACIDAD DE LOS PORTACONTENEDORES

3.3.1. El futuro de los buques portacontenedores, el triple e

El buque Triple-E perteneciente a la naviera Maersk es conocido como el gigante de los mares, el cual deriva de sus tres principios de diseño: economía de escala, energía eficiente y ambientalmente mejorado.

Se trata de un portacontenedores de 400 metros de eslora, 73 de altura y 59 de manga. Con un calado de 14,5 metros este gigante de los mares que debido a su inmenso tamaño se ve obligado a descartar cualquier puerto del continente americano y debe ceñir sus

trayectos a rutas de Europa y Asia, pudiendo atracar sólo en puertos muy concretos; lo cuales han tenido que hacer modificaciones en sus instalaciones para poder acoger a este tipo de buque, como por ejemplo, aumento del calado de sus muelles o alguno de ellos, adquisición de grúas pórtico de muelle de mayor tamaño.

El Triple-E es más largo que cuatro campos de fútbol y tienen una capacidad equivalente a 111 millones de cajas de zapatos o 182 millones de iPads en un solo viaje. En la Ilustración 10 se puede contemplar la enormidad de este buque.



ILUSTRACIÓN 9: BUQUE TRIPLE-E, PERTENECIENTE A MAERSK

Sus constructores esperan que estos buques sean los portacontenedores más eficientes y sostenibles. El buque utiliza un sistema de navegación lenta, ideado para reducir el consumo de combustible en un 37% y las emisiones de dióxido de carbono por contenedor en un 50%.

Está impulsado por un motor con una potencia de 109.000 caballos y cuyo peso es superior a las 2.300 toneladas. Se trata de una embarcación dotada con sistemas que permiten una gran protección del medio ambiente, como la capacidad de reciclar los gases de escape que se mezclan con aire fresco para su reutilización en el motor.

En la Ilustración 11 se puede ver una comparación de la generación de CO2 con otros sistemas de transporte.

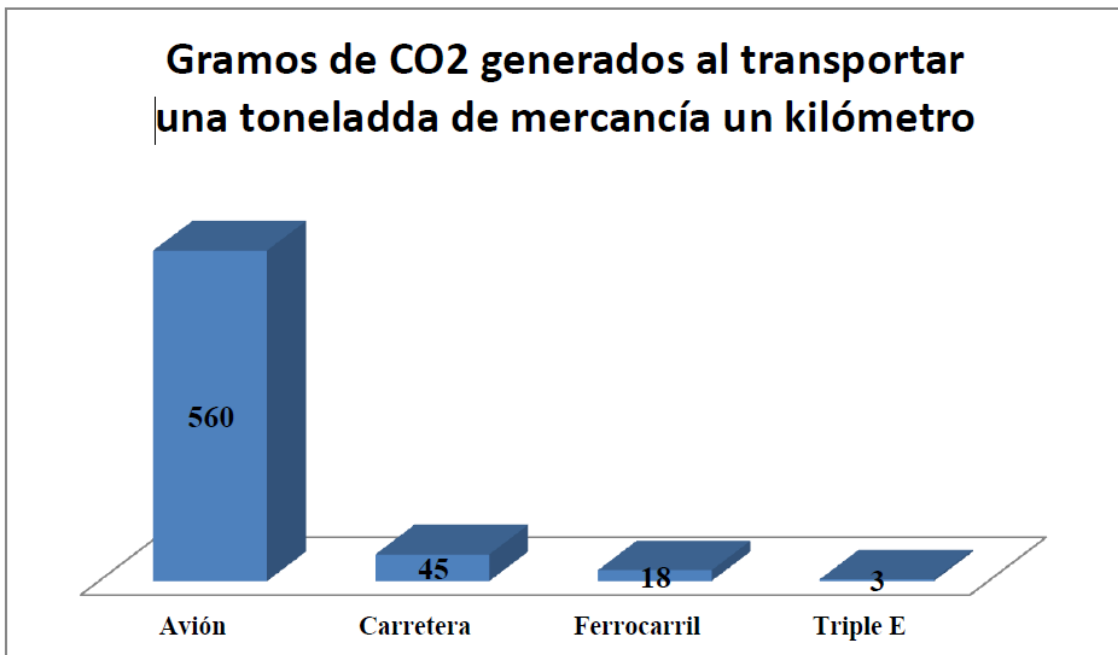


ILUSTRACIÓN 10: GRÁFICO DE LOS GR. DE CO2 GENERADOS AL TRANSPORTAR UNA TONELADA DE MERCANCÍA UN KM



ILUSTRACIÓN 11: RECREACIÓN VIRTUAL DEL BUQUE TRIPLE-E

Los materiales utilizados para la construcción de la clase Triple-E se documentaron y asignaron para cada embarcación con el fin de que cuando el buque se retire del servicio, todos los materiales se puedan reutilizar para la construcción de nuevos buques, reciclar o eliminar de la forma más segura y eficiente.

Con un presupuesto de 190 millones de dólares (unos 140 millones de euros), este buque es el portacontenedores más grande del mundo y es el futuro del transporte marítimo.

3.4. Infraestructura y equipos de manipulación de una terminal portuaria de contenedores

Las terminales portuarias tienen una infraestructura la cual les permite el cambio de modo de transporte, pero debido a las exigencias del mercado, adquieren maquinaria especializada para poder mejorar su rendimiento.

La tendencia en las TCP es poder realizar cada vez más operaciones de forma automatizada, lo que ha dado lugar a nuevas propuestas en maquinaria y modelos de gestión.

Algunos estudios realizan propuestas de automatización de las terminales para mejorar su rendimiento. De igual modo existen otras propuestas basadas en herramientas tecnológicas que proponen un software para la gestión de las TCP y los contenedores. Se mostrará brevemente los tipos de maquinaria más usados en las terminales de contenedores portuarias.

3.4.1. Grúa pórtico Muelle

Las grúas pórtico son el principal equipo de manipulación para realizar la carga y descarga de contenedores en las terminales portuarias.

Estas grúas son de gran importancia ya que son el único equipo en las TCP que puede realizar las operaciones de carga y descarga de los buques.

En la Ilustración 13 se puede ver las grúas pórtico en funcionamiento.



ILUSTRACIÓN 12: GRÚA PÓRTICO DE MUELLE

Generalmente se desplazan a lo largo de unos carriles instalados en la terminal aunque se están volviendo a usar grúas móviles. Según lo modernas que sean, pueden descargar entre 12 y 60 contenedores por hora.

Las grúas pórtico puede ser controlada de forma automática o manual, en caso de estar controlada manualmente la grúas pórtico tienen una cabina suspendida en la parte superior del pórtico, con el suelo de cristal, desde donde, el operario de la misma, controla la carga y descarga de contenedores.

En la Ilustración 14 se muestra una grúa pórtico de muelle durante una operación de descarga en la terminal APM del puerto de Algeciras.



ILUSTRACIÓN 13: GRÚA PÓRTICO DE MUELLE (APM TERMINALES ALGECIRAS)

Las grúas pórtico han tenido que evolucionar de forma pareja a los buques portacontenedores para poder adaptarse a la tendencia del gigantismo que se está dando actualmente. Las principales características de las diferentes grúas pórtico son resumidas en la tabla 2.

Tipo	Feeder	Panamax	Post-Panamax	Súper Post-Panamax
Alcance delantero en contenedores	10	13	16	22
Altura Spreader	25 m	30.50 m	33 m	40 m
Distancia entre carriles	15.24 m	15.24 m	30.48 m	30.48 m
Capacidad bajo Spreader	Hasta 40 t	Hasta 50 t	Hasta 65 t	Hasta 65 t
Traslación de pórtico	30 m/min	45 m/min	45 m/min	45 m/min
Spreader telescópico	20'/40'/45'	20'/40'/45'	20'/40'/45'	20'/40'/45'

TABLA 3: EVOLUCIÓN DE LAS GRÚAS PÓRTICO

La Ilustración 15 muestra como han ido evolucionando en tamaño las grúas pórtico.

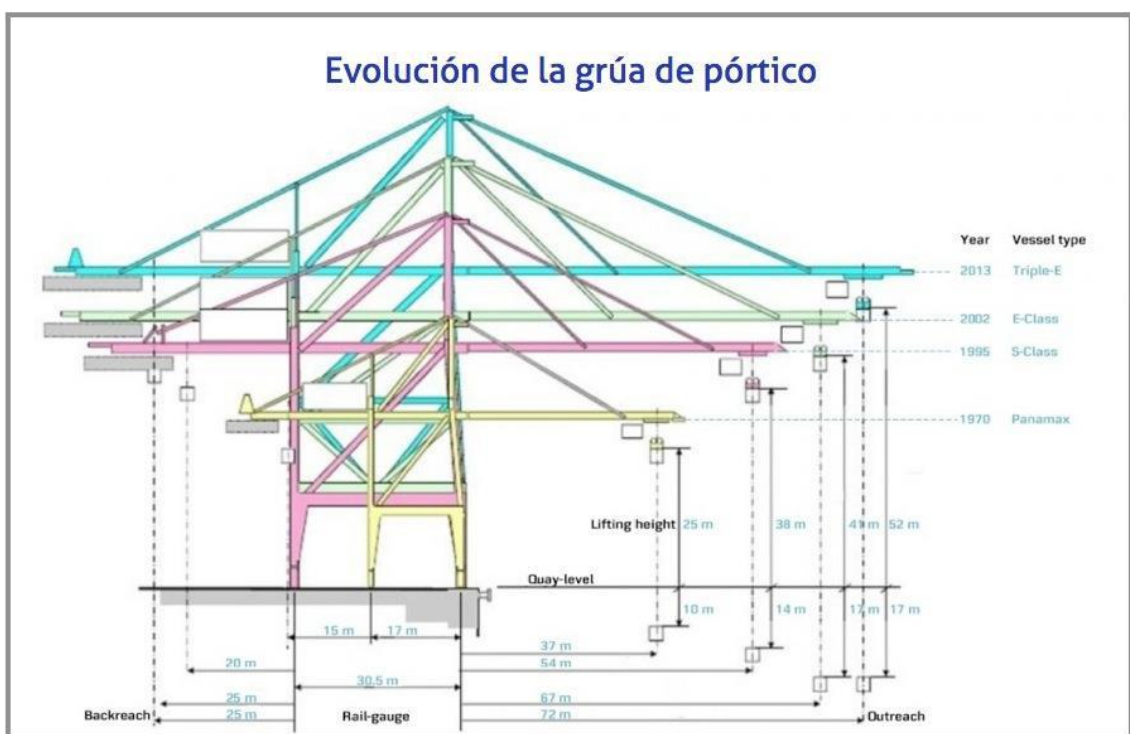


ILUSTRACIÓN 14: EVOLUCIÓN DE LAS GRÚAS PÓRTICO

En la actualidad, son pocas las terminales que pueden recibir a los Triple-E. APM terminales Algeciras es una de ellas y será la primera terminal en poner 8 grúas pórtico a trabajar simultáneamente en un buque de esta clase.

Para acelerar el proceso de adaptación a estos barcos, algunos puertos están optando por llevar a cabo una operación de recambio de sus grúas más modernas para agilizar de este modo la adaptación a este tipo de buques.

3.4.2. Grúas polivalentes

Las grúas polivalentes son aquellas que sirven para distintos propósitos y que son capaces de manejar distintos tipos de carga; entre las cuales están los contenedores.

Debido a que tienen un rendimiento muy bajo en comparación con equipos más especializados cada vez están más en desuso en las grandes terminales de contenedores, aunque su presencia sigue siendo considerable en los puertos de los países en desarrollo ya que un cambio la maquinaria inversiones muy altas.

La Ilustración 16 muestra una grúa polivalente.



ILUSTRACIÓN 15: GRÚA PÓRTICO DE MUELLE POLIVALENTE

3.4.3. Grúas pórtico de almacenamiento

Este equipo de manipulación está presente tanto en las terminales de contenedores de costas como en los puertos secos, ya que su función es tomar contenedores de los bloques de almacenamiento para posteriormente ponerlos en tierra o sobre otro medio de transporte (tren o camión) y viceversa.

Existen dos tipos de grúas pórtico de almacenamiento según su sistema de desplazamiento:

- RTG (“Rubber Tired Gantry”): se mueven usando neumáticos y se usan en las zonas de almacenaje para cargar contenedores de ésta y depositarlos en medios de transporte terrestre (como camiones o AGVs) y viceversa. El rendimiento de las RTGs actuales está entre 30 y 60 contenedores a la hora y se desplazan a una velocidad de unos 60 a 70 m/min. La Ilustración 17 muestra una grúa RTG.

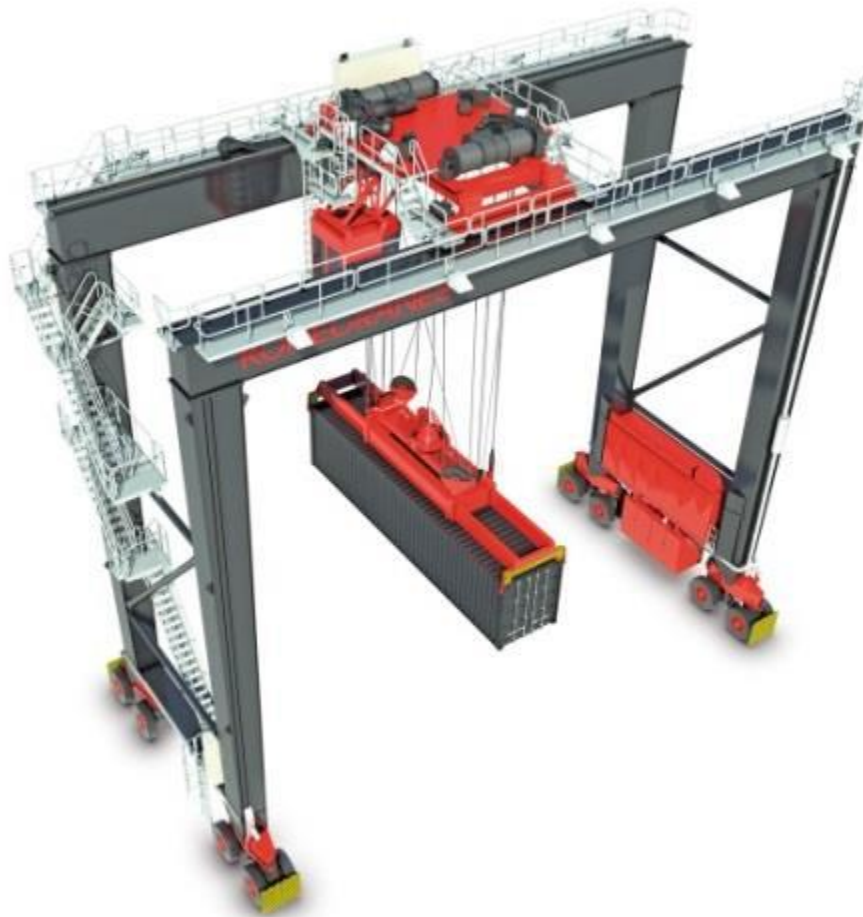


ILUSTRACIÓN 16: GRÚA RTG

- RMG (“Rail Mounted Gantry”): se mueven por raíles y son las más usadas para cargar contenedores de trenes y depositarlos en medios terrestres que se mueven entre esta zona y la zona de almacenaje, y viceversa, aunque también se usan en las zonas de almacenaje. Tienen una velocidad de desplazamiento mayor que las RTGs, de entre 90 y 150 m/min. La Ilustración 18 muestra una RMG.



ILUSTRACIÓN 17: RMG DESCARGANDO CONTENEDORES DE UN TREN

3.4.4. Carretilla pórtico

Este tipo de equipo es uno de los que más recorrido realiza a lo largo de la terminal, en la literatura inglesa se encuentra como “straddle carriers” y su función es coger los contenedores que han colocado en tierra anteriormente otros equipos de mayor tamaño para llevarlos a otro emplazamiento.

Es capaz de realizar movimientos tanto verticales como horizontales por lo que se considera una herramienta de alta versatilidad.

Su mayor virtud es proporcionar una alta velocidad en la operación. Sin embargo, tiene como inconveniente que no resulta ser muy apta para operar en interfaces ferroviarias.

En la Ilustración 19 se puede ver un straddle carriers.



ILUSTRACIÓN 18: CARRETILLA PÓRTICO

Otra de sus ventajas son que no necesitan de otros equipos de manipulación para movilizar y descargar un contenedor. Todo esto depende de la distribución de los contenedores en la zona de almacenamiento y la capacidad en altura del straddle carriers.

Como se ha mencionado anteriormente son bastante versátiles, pueden apilar hasta 4 contenedores de altura.

3.4.5. Equipos de manipulación frontal

Debido a las diferentes situaciones que se pueden presentar en el momento de cojer un contenedor que está apilado, existen los equipos de manipulación frontal entre los cuales están el cargador frontal (Front lift Truck), el cual permite manipular los contenedores gracias a un sistema de enganche en la base del contenedor. Debido a que los movimientos permitidos son dentro del mismo plano vertical (subir/bajar el mástil), el ancho máximo en la zona de almacenaje será de dos filas.

Generalmente son utilizados para la manipulación de contenedores vacíos. En Ilustración 20 se puede observar un cargador frontal.



ILUSTRACIÓN 19: FRONT LIFT TRUCK

Otro equipo de manipulación frontal es la grúa apiladora (Reach Stacker), son muy parecido a al cargador frontal, pero con la diferencia que manipula el contenedor con un brazo, lo que permite alcanzar segundas hileras y consecuentemente la zona de almacenaje puede tener cuatro filas.

Estos equipos de manipulación frontal a diferencia de la carretilla pórtico no son tan versátiles pero si pueden soportar gran cantidad de peso.

En la Ilustración 21 se muestra una grúa apiladora transportando un contenedor de 20' por la zona de almacenaje de una terminal de contenedores.



ILUSTRACIÓN 20: GRÚA APILADORA

3.4.6. Camiones con plataformas

Los camiones son muy utilizados en los terminales de contenedores para el transporte horizontal de mercancías, esto es debido a que son más rápidos que los equipos de manipulación frontal.

Las plataformas más usadas tienen capacidad para un contenedor de 40' o dos de 20'. Pueden transportar con varias plataformas más de un contenedor.

En la Ilustración 22 se puede apreciar un camión con plataformas transportando dos contenedores a través de una terminal portuaria.



ILUSTRACIÓN 21: CAMIONES CON PLATAFORMAS

3.4.7. Vehículos Auto-guiados

En las TCP de mayor importancia del mundo se han incorporado durante los últimos años los equipos de manipulación los vehículos auto-guiados, encargados de la movilización de contenedores dentro de la terminal. Existen dos tipos de estos vehículos:

- Los AGVs (Automated Guided Vehicles) son vehículos que se mueven de forma autónoma para transportar contenedores de un lugar a otro. En la Ilustración 23 se pueden observar dos AGVs transportando contenedores dentro de una terminal.



ILUSTRACIÓN 22: : AGVs

Actualmente, se han desarrollado unos AGVs con capacidades de izado y arriado de la carga en unos pocos centímetros denominados L-AGV o AGV-Lift.

Para ello, estos vehículos cuentan con dos plataformas de elevación activas que le permiten levantar y colocar los contenedores de forma independiente en bastidores de transferencia en la zona de intercambio de contenedores en frente de las RTGs.

En la Ilustración 24, se muestra uno de estos L-AGV recogiendo dos contenedores de 20' de un bastidor de transferencia.



ILUSTRACIÓN 23: AGV-LIFT

- Los ALVs (Automated Lift Vehicles) se mueven por la terminal de la misma forma que los AGVs, pero además, son capaces de manipular los contenedores sin ayuda de otro equipo, por lo que se independizan los recorridos de los transportes con los ciclos de carga/descarga de las grúas (decoupling). Pueden realizar el mismo trabajo que los camiones con remolques de autocarga o las carretillas pórtico, pero de forma autónoma, tanto el transporte como la carga y descarga de contenedores. La Ilustración 25 muestra un ALV manipulando un contenedor en una terminal de contenedores.



ILUSTRACIÓN 24: ALV

En resumen, ambos tienen como objetivo movilizar los contenedores dentro de la terminal de forma autónoma, pero los ALVs además pueden tomar y dejar contenedores en ciertos lugares sin la ayuda de ningún otro equipo de manipulación.

En la Ilustración 26 se realiza una comparación de algunos de los equipos de manipulación explicados anteriormente. Para medir el rendimiento de cada uno se tiene en cuenta la movilización de contenedores en TEUs por hectárea.

Al analizar la Ilustración se puede ver que las grúas de explanada RTG son más eficientes que las RMG de ahí que sean las más utilizadas en las TCP y el equipo de manipulación con menos capacidad de movilización son los camiones, esto es debido a que depende de otro equipo de manipulación para poder ser utilizados.

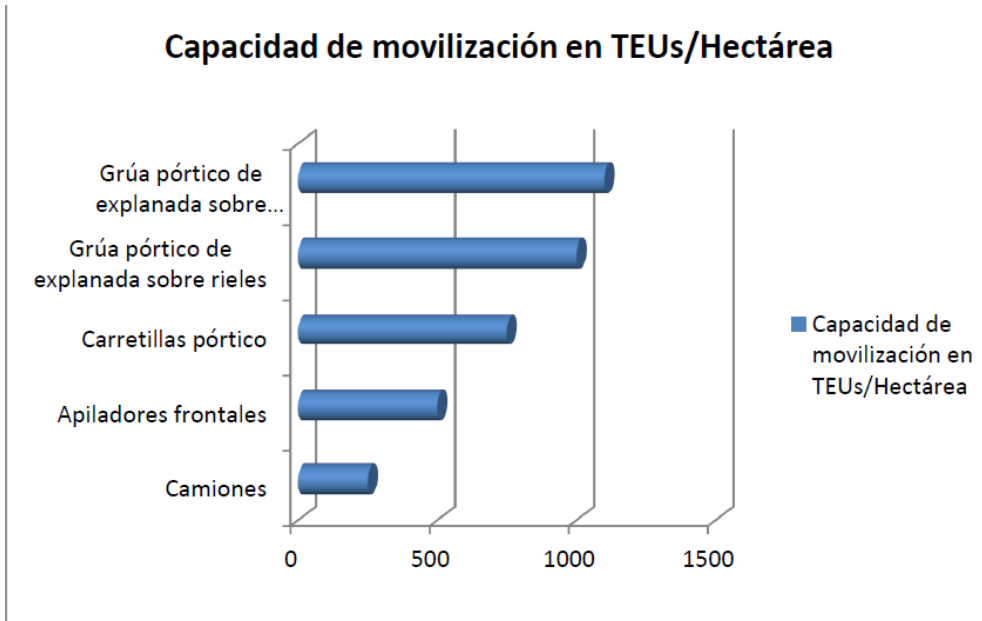


ILUSTRACIÓN 25: CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS DE MANIPULACIÓN UTILIZADOS EN LAS TCP

3.4.8. Remolque portacontenedor autocarga

Son remolques que tienen un sistema que les permite cargar y descargar contenedores sin la necesidad de usar otro equipo. Son capaces de colocar contenedores a una y dos alturas. En la Ilustración 27 se muestra uno de estos remolques durante una operación de carga de un contenedor.



ILUSTRACIÓN 26: REMOLQUE PORTACONTENEDOR AUTOCARGA

3.4.9. Multitrailer system (MTS)

Se entiende por multitrailer al conjunto de hasta 5 tráileres interconectados entre ellos y tirados por máquinas tractoras. Su mayor ventaja es que se reduce sustancialmente el número de conductores.

En la Ilustración 28 se muestra un multitrailer transportando cinco contenedores.



ILUSTRACIÓN 27: MULTITRAILER

Los hay con capacidad para cargar contenedores hasta en dos alturas, pero sólo cuentan con capacidad para transportar 4 contenedores, como se muestra en la imagen.

4. Simulación

Las tareas que se realizan en una TCP involucran la toma de decisiones para el correcto funcionamiento del puerto.

La simulación de eventos discretos proporciona una excelente herramienta para la evaluación de diferentes políticas a la hora de resolver el problema de transportes en lo referido a los movimientos de los contenedores dentro de la terminal.

4.1. Introducción y conceptos fundamentales

Para lograr la implementación de sistemas automatizados flexibles, complejos y altamente precisos, se utiliza la herramienta de simulación en una gran variedad de casos. Esta gran utilización se debe a que la experimentación sea casi imposible en muchos casos debido a la extrema complejidad que existe a la hora de construir sistemas de test y al alto coste que esto supone.

Para entender mejor la importancia de la simulación, se deben explicar los conceptos de sistema y modelo.

Un sistema es un conjunto componentes o entidades organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Cada entidad o componente tiene sus características propias, definidas por un conjunto de variables.

El estado del sistema se define por el conjunto de valores que toman cada una de las variables que caracterizan a cada componente del sistema en un instante determinado.

Hay que diferenciar dos tipos de sistemas, discretos y continuos según sea el valor de dichas variables:

- En los sistemas discretos el valor de las variables cambia en instantes determinados y separados en el tiempo, como por ejemplo, una RTG puede estar en un momento dado en un bloque de la ZA o no.
- En los continuos, el valor de las variables que definen el estado del sistema cambia continuamente con respecto al tiempo, como por ejemplo, la velocidad de un barco al ir a atracar a un muelle.

Una vez definido un sistema, y los dos tipos de sistemas que existen, otro concepto a tener en cuenta es el concepto de modelo. Un modelo es una representación inteligible de un sistema.

En el caso de que un sistema sea muy complejo y que no se pueda resolver el problema directamente sobre el sistema real, se suelen utilizar modelos de dichos sistemas para resolver el problema. Por lo tanto, el motivo de crear y utilizar modelos se debe a que no se puede experimentar directamente sobre el sistema que se quiere estudiar.

4.2 Modelado de sistemas

Se llama modelado de sistemas al proceso de pensar y razonar acerca de un sistema obteniendo un modelo. A la hora de modelar, se distinguen dos grupos de métodos que se utilizan para modelar sistemas complejos.

Por un lado, los métodos analíticos son simbólicos y se utilizan para obtener soluciones generales al problema. El siguiente grupo de métodos de modelado son los basados en simulación. Al contrario de los métodos analíticos, los métodos de simulación no obtienen soluciones generales sino soluciones particulares para el problema.

Este método es muy útil para problemas complejos ya que con la simulación se pueden probar distintas condiciones de entrada para obtener distintos resultados de salida significativos.

En resumen, la simulación presenta muchas ventajas que la convierten en una herramienta efectiva de entrenamiento:

- La reducción del tiempo de desarrollo del sistema.
- Permite que se pueda experimentar de manera artificial con el sistema.
- No es costoso.
- Se puede usar el mismo modelo muchas veces.
- Su empleo es más sencillo que ciertas técnicas analíticas y precisa menos simplificaciones.
- Permite una simulación controlada.
- No afecta al sistema real.
- Compresión del tiempo, es decir, operaciones que ocurren en horas o días pueden simularse en segundos.

A continuación, se explican brevemente los pasos requeridos para crear un modelo de simulación. Se pueden distinguir siete pasos o fases con los cuales se obtendrá el modelo de simulación para el problema en cuestión.

- **Planteamiento del problema:** En esta primera fase se toma un sistema real y se trata de entenderlo. Para conseguir entenderlo, se identifica el problema a resolver y se trata de describir en términos de objetos y procesos de un marco físico. A continuación, se identifican las variables de entrada y salida del sistema, y se trata de definir una función objetivo. Una vez identificados estas partes del sistema, se construye una estructura preliminar de un modelo simplificado del que obtendrá al final. Cuando la estructura preliminar se termina, se construye un modelo más detallado identificando todos los objetivos.
- **Recolección de análisis de datos de entrada:** La segunda fase de la construcción del modelo de simulación consiste en estudiar el sistema real para obtener los datos de entrada mediante observación. En esta fase también se eligen qué datos serán tratados como aleatorios y cuáles como determinísticos.

- **Modelización:** Esta tercera fase es el paso en el que se construye un modelo del sistema con los aspectos que se quieren simular. Esta fase consta de dos partes. En la primera parte se trata de comprender el sistema basándose en la definición de variables de estado internas, y se realiza una descripción de la operación del sistema cuando ocurre un evento. En la segunda parte, se construye el modelo definiendo objetos, atributos, métodos etc. Además, en este paso se elige el lenguaje de implementación. Más adelante, se elegirá los métodos más utilizados para la modelización como son los grafos de eventos y los diagramas de ciclo de actividades.
- **Implementación:** Con el lenguaje elegido previamente, se construye una simulación del modelo para que sea ejecutado en una computadora.
- **Verificación y validación del modelo:** Por un lado la verificación es un asunto de consistencia interna entre el modelo lógico y el de la computadora mientras que la validación trata de enfocar la correspondencia entre el modelo y al realidad. El modelo y su implementación deben refinarse en base a la validación.
- **Experimento de simulación y optimización:** Se realiza la simulación repetidamente con variables de decisión en varios niveles para crear un diseño de experimentos.
- **Análisis de los datos de salida:** En esta última fase se analizan las salidas de simulación para comprender el comportamiento del sistema. Estas salidas se utilizan para obtener respuestas del comportamiento del sistema original.

5. Software Arena

El software Arena es un programa de simulación que ha sido diseñado para su uso en todas las diferentes funciones que se pueden dar en una empresa, permitiendo el análisis de los procesos a llevar a cabo en una determinada función en la empresa (fabricación, logística, servicio al cliente), así como el análisis de procesos que en los que intervienen varias áreas funcionales.

Gracias a su gran versatilidad, Arena ofrece la facilidad de uso, flexibilidad y capacidad de modelado que se requiere para representar cualquier proceso de la empresa. La cantidad de funciones es muy amplia, como por ejemplo: los procesos de aprovisionamiento, pasando por el almacenaje, fabricación, logística y distribución, hasta la gestión administrativa y el servicio y atención al cliente.

La versión de Arena que vamos a utilizar para este proyecto es la versión 14.0 . En el software Arena existe un sistema de dibujo, basado en objetos, se selecciona primero el objeto y luego, se opera sobre él. Esto ha da una representación visual del problema que se está tratando facilitando así su comprensión para el autor como para cualquiera que interactúe con el problema a tratar.

5.1 Menús

Están disponibles los menús File, View, Tools y Help. Una vez se abre un modelo, se añaden los menús Edit, Arrange, Object, Run y Windows.

Muchos de los elementos que cuelgan de estos menús son funciones estándar de Windows, por lo tanto, sólo se entrará a comentar aquellos que sean específicos de Arena.

5.2 Barras de herramientas

Posee varias barras de herramientas con grupos de botones y menús desplegables para poder facilitar el acceso directo a las funciones con mayor uso.

Las barras de herramientas disponibles en Arena son: La barra de herramientas Standar, la barra de herramientas View, la barra Run Interaction y la barra Arrange cada se corresponde con la barra del menú del mismo nombre.

La barra de Draw no tienen correspondencia con opciones de menú, por tanto, los dibujos únicamente se pueden realizar accediendo a la barra de herramientas. Así es como se pueden dibujar líneas, poli líneas, arcos, etc., para vestir el modelo.

En la Ilustración 29 se puede ver la ventana principal del Arena, es ahí donde se diseñará el modelo de simulación.

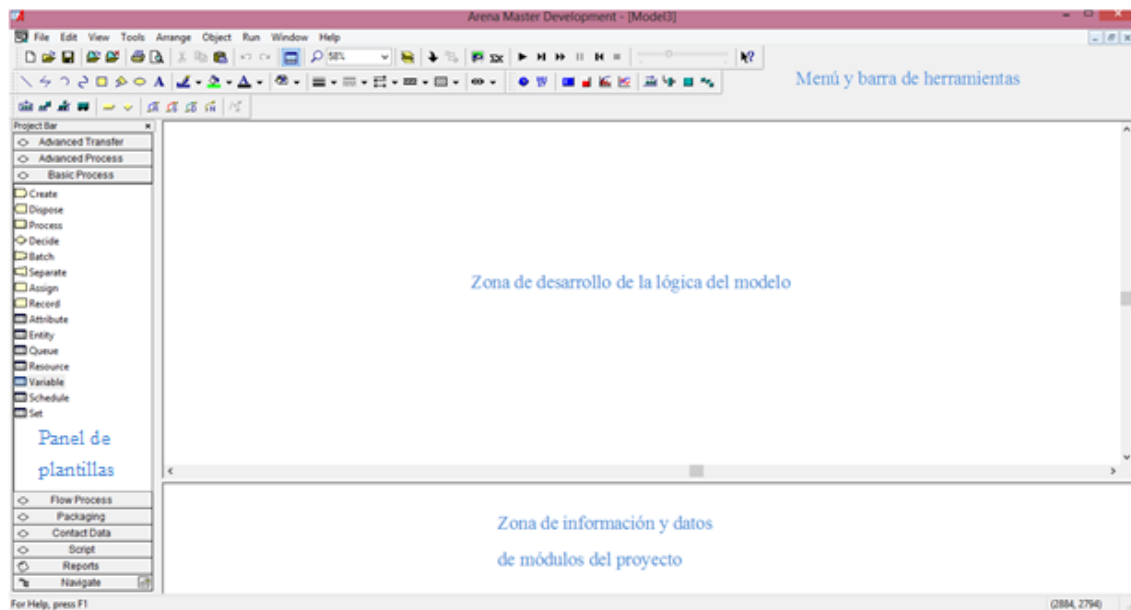


ILUSTRACIÓN 28: VENTANA PRINCIPAL DE ARENA

La barra Animate contiene elementos que permiten animar el modelo o mejorar la animación que ya llevan a algunos módulos de Arena.

La barra Integration contiene botones relacionados con el asistente de Transferencia de Datos a Módulos de Arena y VBA (el Editor de Visual Basic y el botón de Modo Diseño de VBA)

La barra Animate Transfer sirve de interfaz con los objetos de animación de tipo transferencia de que dispone Arena para las animaciones de objetos de este tipo.

En la parte izquierda del programa, se muestran una serie de paneles que contienen los módulos de que dispone Arena para diseñar los diagramas de flujo y que a continuación se pasará a comentar con más detalle.

5.3 Panel de Procesos Básicos de Arena

En este apartado se describirán los módulos de los que consta el Panel de Procesos Básicos, que se puede contemplar en la Ilustración 30, el cual se ha utilizado en su mayoría para la realización del proyecto.

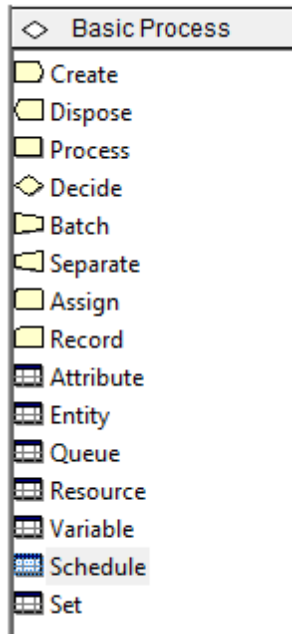


ILUSTRACIÓN 29: PANEL DE PROCESOS BÁSICOS DE ARENA

Módulo Create

Descripción: Este módulo representa la creación o también lo se puede entender como llegada de entidades al modelo de simulación. Las entidades se crean usando una planificación previa o programando el tiempo entre llegadas. En este módulo se especifica también el tipo de entidad de que se trata.

Módulo Process

Descripción: Este módulo corresponde al principal método de procesamiento en simulación.

El módulo consta de opciones para ocupar y liberar un recurso. Además, existe la opción de especificar un “submodelo” y especificar el orden del proceso que elija por el usuario, es decir, se puede establecer una prioridad a la hora de procesar los elementos. El tiempo del proceso se le añade a la entidad y se puede considerar como valor añadido, valor no-añadido, transferencia, espera u otros.

Módulo Decide

Descripción: Este es un módulo de decisión que permite a los procesos tomar decisiones en el sistema. Consta de la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones o basándose en probabilidades (por ejemplo, 75% verdadero, 25% falso).

Las condiciones también se pueden basar en los valores de los atributos (por ejemplo, prioridad), valores de variables (por ejemplo, Número de Rechazados), el tipo de entidad o una expresión a introducir por el usuario.

El módulo consta de dos puntos de salida cuando se especifica el tipo 2-way chance o 2-way condition. Hay un punto de salida para las entidades “verdaderas” y otro para las entidades “falsas”.

Cuando se especifica el tipo Nway chance o condition, aparecen múltiples puntos de salida para cada condición o probabilidad y una única salida “else”, la cual es escogida por el sistema sino se cumple ninguna de las condiciones anteriores.

Módulo Assign

Descripción: La función de este módulo es asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, Ilustraciones de las entidades, u otras variables del sistema. Se pueden hacer varias asignaciones con un único módulo Assign.

Módulo Batch

Descripción: Este módulo realiza una función de agrupamiento dentro del modelo de simulación. Los lotes de elementos pueden estar agrupados durante todo el modelo o sólo temporalmente.

Los lotes temporales deben ser divididos posteriormente usando el módulo Separate. Los lotes se pueden realizar con un número específico de entidades de entrada o se pueden unir a partir del valor de un determinado atributo. Las entidades que van llegando a un módulo Batch se van colocando en una cola hasta que se ha acumulado el número necesario de entidades, una vez acumuladas, se crea una nueva entidad.

Se puede entender este módulo como el ensamblaje de una serie de elementos para dar otro elemento nuevo.

Módulo Separate

Descripción: La función de este módulo es separar la entidad entrante en múltiples entidades o dividir una entidad previamente agrupada mediante un módulo Batch. Se especifican también las reglas de asignación de atributos para las entidades miembro.

Cuando se segmentan lotes existentes, la entidad temporal que se había formado se destruye y las entidades que la formaban se recuperan.

Las entidades saldrán del sistema secuencialmente en el mismo orden en que se agregaron al lote en el origen del mismo.

Cuando se duplican entidades, se hacen el número de copias especificado.

Módulo Record

Descripción: Este módulo se usa para recoger estadísticas del modelo de simulación. Se dispone de varios tipos de estadísticas observables, incluyendo el tiempo entre salidas a través del módulo, estadísticas de entidad (tiempo, costes, etc.), observaciones generales, y estadísticas de intervalo.

Módulo Dispose

Descripción: Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación donde se recogen los datos de las entidades que van entrando en el mismo. Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.

Módulo Entity

Descripción: Este es un módulo de datos donde se definen los diversos tipos de entidades y el valor inicial que van a tomar en la simulación.

Módulo Queue

Descripción: Este es un módulo de datos que se suele usar para cambiar la prioridad de las entidades para una determinada cola.

La regla que define el orden de la cola por defecto es First In, First Out salvo que se indique otra cosa en este módulo. Hay un campo adicional que permite definir la cola como compartida.

Módulo Resource

Descripción: Este es un módulo de datos donde se definen los recursos de un sistema de simulación, incluyendo información de costes y disponibilidad del recurso.

Los recursos pueden tener una capacidad fija que no varía durante la simulación o pueden funcionar en base a una planificación. Los fallos y estados del recurso se pueden definir también en este módulo.

Módulo Schedule

Descripción: Este es un módulo de datos que se suele usar en conjunción con el módulo Resource para definir la planificación de un recurso del sistema o con el módulo Create para definir una planificación de llegada de entidades. Además, una planificación se puede usar y referir a factores de retardos de tiempo basados en el tiempo de simulación.

Módulo Set.

Descripción: Este es un módulo de datos donde se define varios tipos de conjuntos, incluyendo recursos, contadores, cuentas, tipos de entidad, y Ilustraciones de entidad.

Los conjuntos de recursos se pueden usar en los módulos Process (Seize, Release, Enter y Leave en el panel Advanced Transfer). Los conjuntos counter y tally se pueden usar en el módulo Record.

Los conjuntos queue se pueden usar con Seize, Hold, Access, Request, Leave, y Allocate de los paneles Advanced Process y Advanced Transfer.

Módulo Variable

Descripción: Este es un módulo de datos que se usa para definir una variable y su valor inicial. Las variables se pueden referenciar en otros módulos del modelo, se les puede asignar un valor nuevo y se pueden usar en cualquier expresión.

5.4 Otros Paneles

En el proyecto además del panel principal se han usado módulo de otros paneles más avanzados que se explican a continuación.

Del panel Procesos Avanzados de Arena que se puede ver en la Ilustración 31, se han utilizado los siguientes módulos:

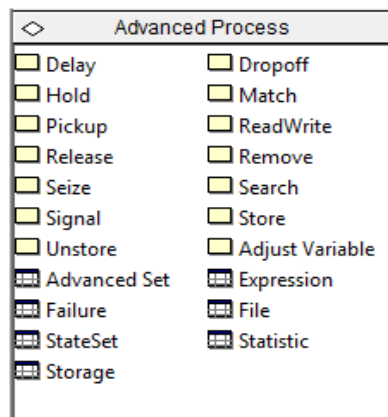


ILUSTRACIÓN 30: PANEL DE PROCESOS AVANZADOS DE ARENA

Módulo Delay

Descripción: Este módulo se encarga de retrasar a las entidades que lleguen a él por el tiempo especificado. Retiene las entidades conforme llegan al módulo, es capaz de retener varias entidades a la vez. Se puede usar para simular un desplazamiento.

Módulo Release

Descripción: Se encarga de liberar un recurso.

Módulo Pickup

Descripción: En este módulo un entidad portadora recoge otras entidades de una cola específica. El número de entidades retiradas que previamente se había estipulado formará un grupo. Estas entidades se descargarán en un módulo *Dropoff*.

Módulo Dropoff

Descripción: Se encarga de retirar una cantidad específica de entidades de un grupo previamente formado por un módulo *Pickup* a partir de una posición determinada.

Otro de los paneles utilizado ha sido el panel de transferencia avanzada, el cual se puede ver en la Ilustración 32. De este panel se han utilizado solamente dos módulos.

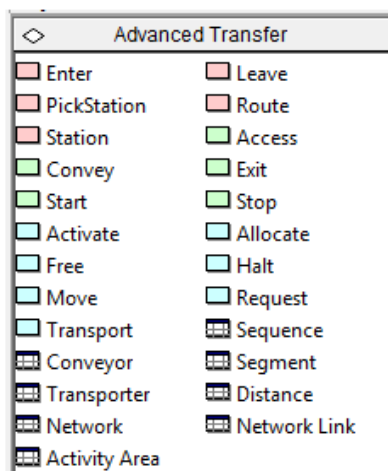


ILUSTRACIÓN 31: PANEL DE TRASLADOS AVANZADOS DE ARENA

Módulo Route

Descripción: este bloque traslada entidades hasta una estación determinada, simulando un tiempo de desplazamiento. Este tiempo se introduce de la misma forma que en bloques anteriores.

Módulo Station

Descripción: es un bloque usado para diferenciar las partes de nuestro sistema. Su uso hace más manejable el modelo y facilita la definición de los movimientos entre las distintas partes del sistema.

6. Descripción del modelo a Simular

6.1 Descripción del modelo real a simular

El modelo real del que se parte es una terminal portuaria en seco que constará de las siguientes zonas:

- Una zona habilitada para la llegada de trenes tanto para descargar mercancía como para cargarla y transportarla a otro lugar. Esta zona es la principal fuente de entrada y salida de mercancía de esta TPC. En la ilustración 32 está representada por un tren
- Existirá una zona dedicada únicamente a inspección de las mercancías por parte de las autoridades. Esta zona tendrá el tránsito de contenedores que requieran las autoridades. En la ilustración 32 está representada por una señal donde se puede leer “Aduana”
- Además de haber un flujo de contenedores debido a la llegada de trenes, también esta TPC será alimentada por camiones que llegarán para dejar o para cargar contenedores. En la ilustración 32 está representada por unos camiones
- El complejo contará con una zona para el almacenaje de contenedores regulados por 3 grúas RTG las cuales se encargaran de la carga y descargar de los camiones que lo requieran. En la ilustración 32 está representada por un tres grúas y tres bloques de contenedores.
- El complejo cuenta además con una zona reservada a camiones propios que se encargan del transporte de contenedores en el interior del complejo.

En la siguiente ilustración 32 se puede ver un esquema de la TCP:

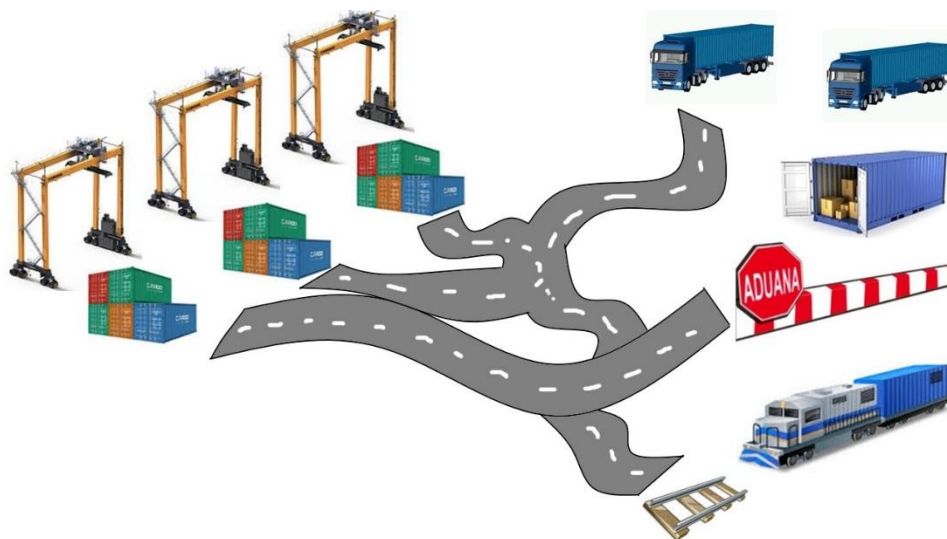


ILUSTRACIÓN 32: TCP

Gracias a la teoría de grafos se ha realizar un modelo de la TCP. El complejo se modulará mediante siete nodos a los cuales pueden acceder los camiones, pertenecientes a la propia terminal para el trasiego interno de mercancías y los camiones que vengas a cargar o descargar mercancía.

A continuación se procede a la descripción de cada uno de dichos nodos:

- Uno de los nodos representa la zona de descanso de los camiones, allí se encontrarán todos los camiones al inicio de cada jornada y los camiones ociosos durante el transcurso de cada jornada de trabajo.
- La zona de almacenamiento de contenedor estará representada por tres nodos, cada uno de los cuales será el modo de acceso a la zona de almacenamiento, es decir, representará las grúas pórtico de la zona de almacenamiento a través de las cuales serán servidas o servirán a los camiones.
- La zona de la policía, esta zona será de uso exclusivo para las autoridades portuarias pertinentes, la función de esta zona es facilitar un lugar para la inspección de contenedores y mercancías.
- La terminal para la entrada y salidas de trenes será otro nodo del modelo, en la cual servirá tanto para entrada de mercancía como para su salida.
- El último nodo corresponderá a una zona reservada para camiones no pertenecientes a la flota de la terminal que podrán pedir o traer mercancía, convirtiéndose así en otro nodo que puede generar tanto oferta como demanda.

La distancia entre los diferentes nodos es fija, así como la cantidad de camiones pertenecientes a la flota de la TCP.

La siguiente Tabla 3 representa la distancia en minutos entre Nodos:

	ZD	ZA1	ZA2	ZA3	ZP	ZC	ZT
ZD	0	3	4	5	3	4	5
ZA1	3	0	1	2	4	5	6
ZA2	4	1	0	1	5	4	5
ZA3	5	2	1	0	6	5	4
ZP	3	4	5	6	0	1	2
ZC	4	5	4	5	1	0	1
ZT	5	6	5	4	2	1	0

TABLA 4: TABLA DE DISTANCIAS EN MINUTOS ENTRE NODOS

En la ilustración 33 se puede contemplar un esquema de la terminal a simular, la cual a sido descrita anteriormente.

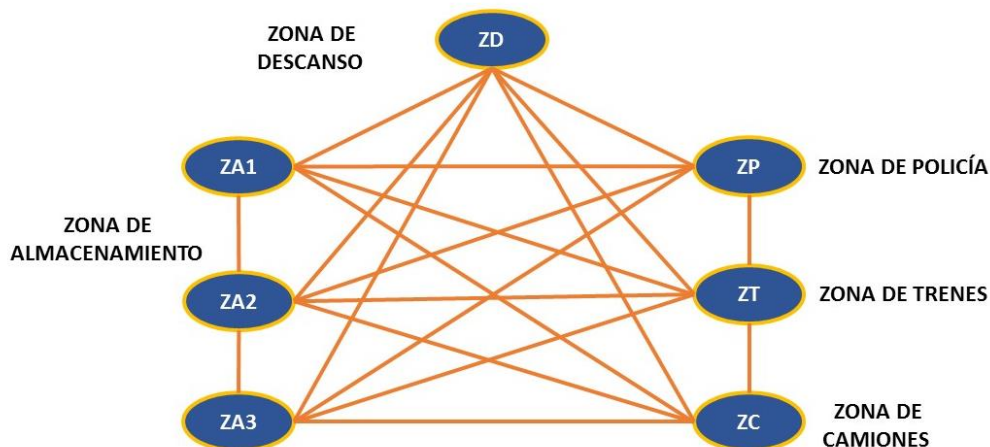


ILUSTRACIÓN 33: ESQUEMA DE LA TPC

6.2 Descripción general del modelo

Como se mencionó en el primer epígrafe del proyecto, el objetivo es la simulación de dos posibles soluciones para el problema de transporte dentro de una terminal portuaria.

La complejidad a la hora de modelar la TCP en el Arena viene debido a que varios de los nodos actúan tanto de oferta como de demanda, es decir, que del mismo nodo es entrada y salida de contenedores, lo que complica la realización del modelo y sobretodo su visualización.

Antes de pasar a describir los modelos se van a describir los parámetros de los que se ha partido para el desarrollo de ambos modelos.

En el modelo se han definido dos tipos de recursos, los camiones pertenecientes a la flota de la TCP y las grúas pórticos utilizadas en la zona de almacenaje para la carga y descarga de los camiones que los soliciten. Es necesario comentar que el nodo representa la oferta y demanda de camiones no ocupará recursos de la flota del puerto dado que dispone de los suyos propios.

También se han definido los siguientes atributos:

- Atributo “Tipo” que puede tomar el valor “1” si las entidades entrantes corresponden oferta, que significa que hay contenedores a recoger para llevarlos a las zonas de almacenamiento, o el valor “2” si las entidades entrantes corresponden a demanda, es decir, las unidades entrantes que son los contenedores tiene que ser recogidas de las zonas de almacenamiento para su entrega en su correspondiente nodo.
- Atributo “Prioridad” que puede tomar el valor “1”, “2” ó “3” dependiendo de la prioridad que se le quiera dar a las entidades entrantes en las colas de las grúas pórticos. A las entidades que sean requeridas o devueltas por la policía se les

otorgará el valor “1”, obteniendo así máxima prioridad para poner a disposición de las autoridades los contenedores requeridos lo antes posible. La prioridad con valor dos será para las entidades relacionadas con el transporte ferroviario ya que no se quiere alargar la espera del tren dentro de la TCP y por último la prioridad valor 3 será para las mercancías relacionadas con el transporte terrestre mediante camiones.

- Atributo “Zona.almc” que puede tomar el valor “1”, “2” ó “3” dependiendo de la grúa que le corresponda para salir o entrar en la zona de almacenaje.

En cuanto a los recursos, a priori se contará con una flota de 30 camiones y con sólo 3 grúas tipo pórtico para la carga y descarga de los contenedores que se corresponden con los tres nodos que hay para la Zona de Almacenaje.

6.3 Descripción del modelo sin retroalimentación

Como se ha mencionado, se han realizado dos modelos para simulación del problema. El primero se trata de un modelo que se ha llamado “sin retroalimentación”, que significa que los camiones tras haber cumplido su objetivo regresan automáticamente a la Zona de descanso antes de volver a ser llamados.

El modelo se describirá por partes para facilitar su comprensión, las partes del modelo quedarán definidas según la Ilustración 34 mostrada a continuación.

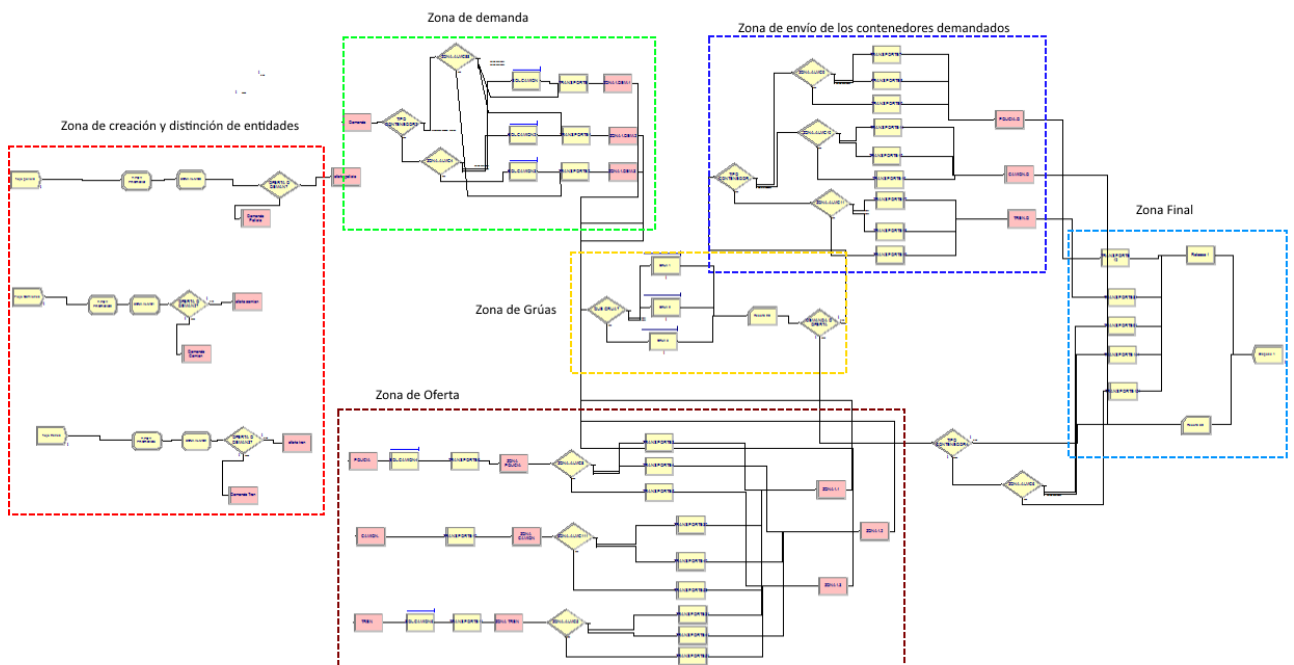


ILUSTRACIÓN 34: MODELO SIN RETROALIMENTACIÓN

6.3.1 Zona de creación y distinción de entidades

La zona de Oferta y Demanda de los tres nodos estará definida como se puede ver en la imagen adjunta. Esta primera parte constará de seis módulos los cuales tendrán la función de crear las entidades, otorgarles los atributos correspondientes y mandarlos a la parte de oferta o a la parte de demanda, según sea el caso.

A continuación se definirá más detalladamente la función de cada módulo.

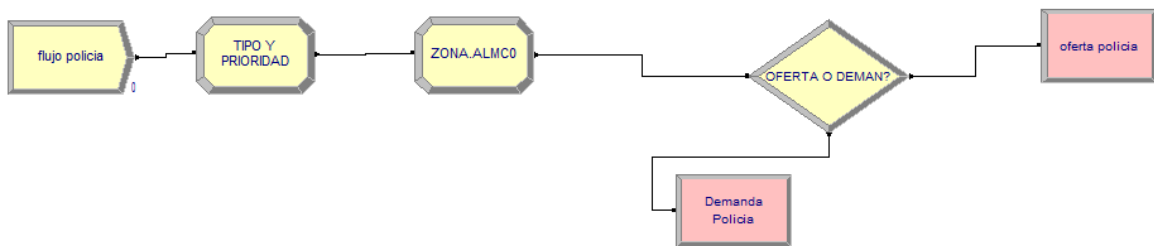


ILUSTRACIÓN 35: FLUJO POLICÍA

El primer módulo en los tres casos se trata de un Create nombrado como “flujo” con el objetivo de crear oferta o demanda según una función matemática que se le haya introducido la cual baremará cada cuanto tiempo deberá crearse dicha oferta o demanda.

- En el caso de *flujo policia* se ha optado por una función $TRIA(\text{Min}, \text{Mode}, \text{Max})$, se trata de una función triangular en donde se pide que se introduzcan los tres valores pico: el mínimo, la media y el máximo. Para este caso opta ha optado por la función $TRIA(1,2,3)$; se puede contemplar en la imagen, la entidad que crea será del tipo *contenedor*. La cantidad de entidades creadas será desde un mínimo de diez a un máximo de infinito. Es importante comentar la unidad del tiempo en la cual trabaja la función, en este caso será en minutos.

Create		
Name:	Entity Type:	
flujo policia	contenedor	
Time Between Arrivals		
Type:	Expression:	Units:
Expression	TRIA(1 , 2 , 3)	Hours
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:
10	Infinite	0.0
OK Cancel Help		

- En el caso de *flujo camiones* se ha optado por una función $NORM(\text{Mean}, \text{StdDev})$, se trata de una función normal en donde se pide que se introduzcan los valores

de la media y la desviación típica. Para este caso opta ha optado por la función $NORM(10,1)$; se puede contemplar en la imagen, la entidad que crea será del tipo *contenedor camión*, forma que se puede diferenciar con los demás dado que esta entidad no necesitará del recurso *camión*.

La cantidad de entidades creadas será desde un mínimo de uno a un máximo de infinito. Es importante comentar la unidad del tiempo en la cual trabaja la función, en este caso será en horas.

The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following fields and values:

Name:	Flujo Camiones	Entity Type:	contenedor camion
Time Between Arrivals			
Type:	Expression	Expression:	NORM(10, 1)
		Units:	Hours
Entities per Arrival:	45	Max Arrivals:	Infinite
		First Creation:	0.0

ILUSTRACIÓN 37: CREATE FLUJO CAMIONES

- En el caso de *flujo trenes* se ha optado por una función $UNIF(Min , Max)$, se trata de una función uniforme con donde piden que se introduzcan los valores pico del mínimo y del máximo. Para este caso opta ha optado por la función $UNIF(2,4)$; como se puede contemplar en la imagen, la entidad que crea será del tipo *contenedor*. La cantidad de entidades creadas será desde un mínimo de 50 a un máximo de infinito. Es importante comentar la unidad del tiempo en la cual trabaja la función, en este caso será en horas.

The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following fields and values:

Name:	flujo trenes	Entity Type:	contenedor
Time Between Arrivals			
Type:	Expression	Expression:	UNIF(2 , 4)
		Units:	Hours
Entities per Arrival:	50	Max Arrivals:	Infinite
		First Creation:	1

ILUSTRACIÓN 38: CREATE FLUJO DE TRENES

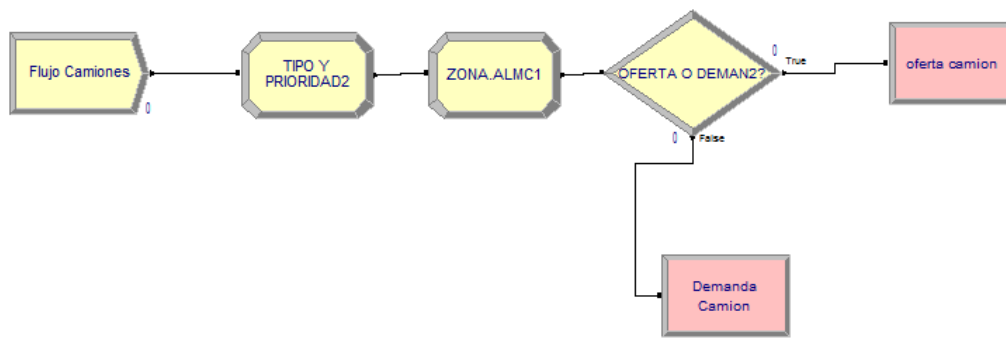


ILUSTRACIÓN 39: FLUJO CAMIONES

El segundo módulo en los tres casos se trata de un *Assign* nombrado como “TIPO Y PRIORIDAD” con el objetivo de otorgarle a cada unidad entrante unos atributos de “PRIORIDAD”, siendo la más prioritaria aquella con valor “1” y “TIPO” que definirá a aquellas entidades que son oferta, es decir, que tengan valor “1” y las que sean de demanda, aquellas con valor “2”.

Como se puede ver en la imagen, la oferta y la demanda se distribuyen mediante una función discontinua que le otorga al 50% de las entidades entrantes el “TIPO” “1” y al otro 50% restante “TIPO” “2”.

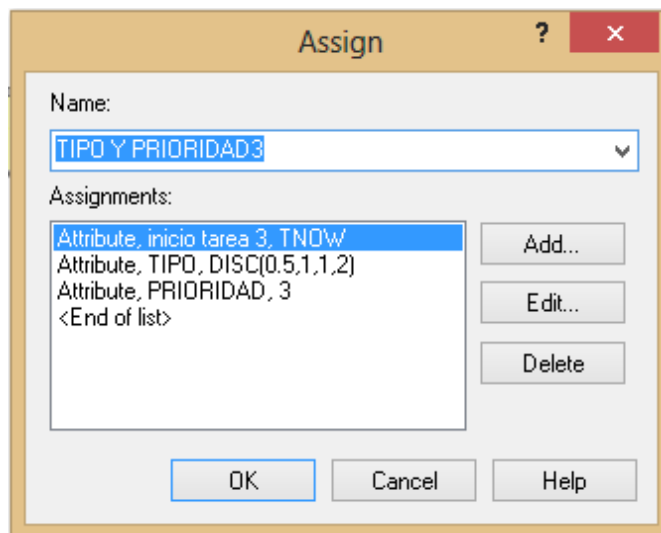


ILUSTRACIÓN 40: PRIMER MÓDULO ASSIGN “TIPO Y PRIORIDAD”

El tercer módulo también se trata de un *Assign* y lo se utiliza con el fin de otorgar el atributo “ZONA.ALMC”, el cual dirigirá el camión, tanto para la entrega como para la recogida de un contenedor, a su zona de almacenaje correspondiente.

Como se puede apreciar en la imagen, la función por la cual se otorga este atributo es una discontinua, la cual etiquetará al 30% de las entidades entrantes como zona 1, al 40% como zona 2 y al 30% restante como zona 3.

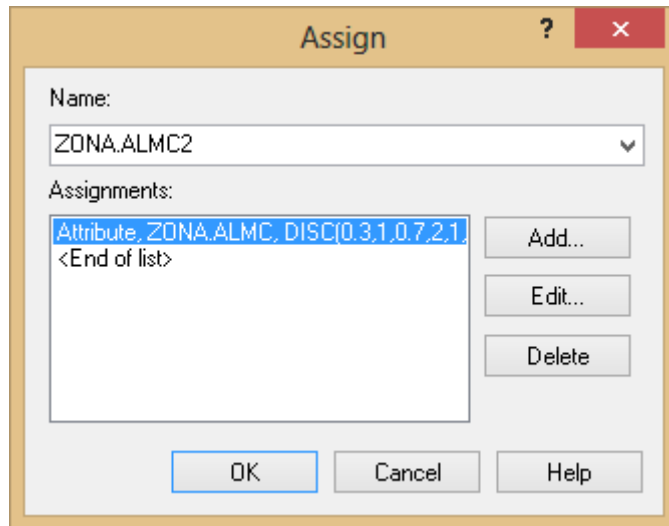


ILUSTRACIÓN 41: SEGUNDO MÓDULO ASSIGN “ZONA.ALMC”

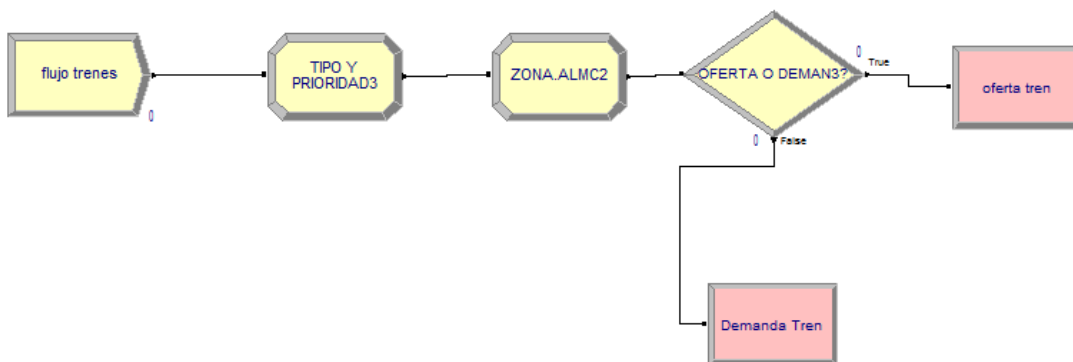


ILUSTRACIÓN 42: FLUJO TRENES

El cuarto módulo que se puede apreciar es un *Decide*, el cual según el Atributo “TIPO” que tenga la entidad los dirigirá a la zona que se ha denominado como Zona Demanda o a la Zona Oferta.

ILUSTRACIÓN 43: MÓDULO DECIDE “OFERTA O DEMANDA”

Por último se tiene dos módulos de tipo *Route*, el cual direcciona la entidad hacia donde le se haya marcado:

- El módulo *Route* “oferta policía” direcciona las entidades módulo *Station* “ZONA POLICIA” sin adicionar nada de tiempo.

ILUSTRACIÓN 44: MÓDULO ROUTE OFERTA POLICÍA

- El módulo *Route* “Demanda policía” direcciona las entidades al módulo *Station* “Demanda” sin adicionar nada de tiempo.

ILUSTRACIÓN 45: MÓDULO ROUTE DEMANDA POLICÍA

- El módulo *Route* “oferta camión” direcciona las entidades al módulo *Station* “ZONA CAMION” sin adicionar nada de tiempo.

The screenshot shows a dialog box titled "Route" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

- Name:** A dropdown menu with "oferta camion" selected.
- Route Time:** A dropdown menu with "0." selected.
- Units:** A dropdown menu with "Hours" selected.
- Destination Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "ZONA CAMION" selected.

At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

ILUSTRACIÓN 46: MÓDULO ROUTE OFERTA CAMIÓN

- El módulo *Route* “Demanda Camion” direcciona las entidades al módulo *Station* “Demanda” sin adicionar nada de tiempo.

The screenshot shows a dialog box titled "Route" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

- Name:** A dropdown menu with "Demanda Camion" selected.
- Route Time:** A dropdown menu with "0." selected.
- Units:** A dropdown menu with "Hours" selected.
- Destination Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "Demanda" selected.

At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

ILUSTRACIÓN 47: MÓDULO ROUTE DEMANDA CAMIÓN

- El módulo *Route* “oferta tren” direcciona las entidades al módulo *Station* “ZONA TREN” sin adicionar nada de tiempo.

The screenshot shows a dialog box titled "Route" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

- Name:** A dropdown menu with "oferta tren" selected.
- Route Time:** A dropdown menu with "0." selected.
- Units:** A dropdown menu with "Hours" selected.
- Destination Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "ZONA TREN" selected.

At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

ILUSTRACIÓN 48: MÓDULO ROUTE OFERTA TREN

- El módulo *Route* “Demanda Tren” direcciona las entidades al módulo *Station* “Demanda” sin adicionar nada de tiempo.

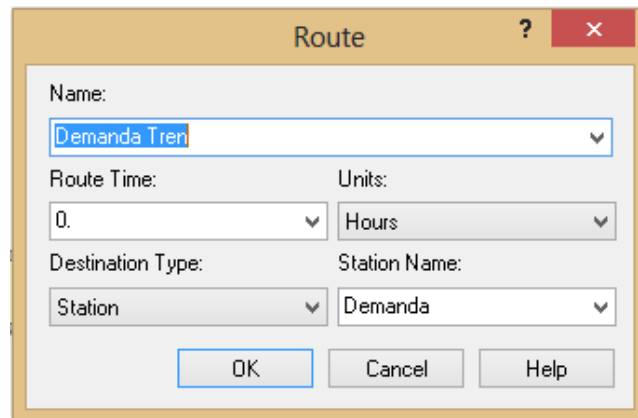


ILUSTRACIÓN 49: MÓDULO ROUTE DRMANDA TREN

6.3.2 Zona de demanda

Ahora se pasará a explicar qué pasa con las entidades que van hacia el módulo *Station* de “Demanda”, se explicará en varios pasos dada la complejidad y extensión del sistema como se muestra en la Ilustración 50.

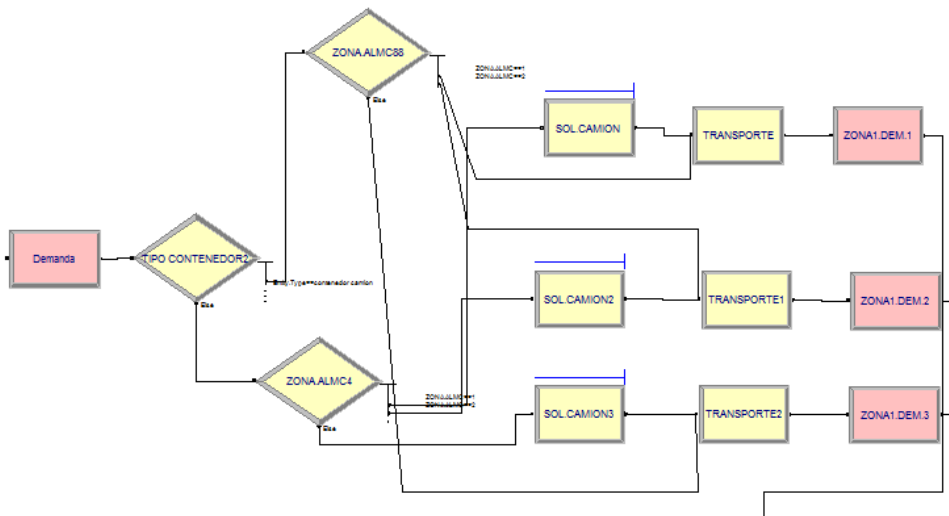


ILUSTRACIÓN 50: ZONA DE DEMANDA

La entidad tras llegar a la *Station* “Demanda” se encontrará con un módulo *Decide* el cual redireccionará dicha entidad según el tipo de entidad, es decir, las entidades tipo *contenedor* tomarán un camino diferente a la entidades *contenedor camión*, una vez separados, ambos caminos se encontrara con otro módulo *Decide*, el cual según el Atributo “ZONA.ALMC” .

En el caso de las entidades tipo *contenedor* llegarán a un módulo *Seize*, el cual tiene la función de solicitar un recurso *camión*, por el contrario el caso de la entidades tipo *contenedor camión* se saltarán ese módulo *Seize* debido a que este último tipo de entidad no requiere el recurso *camión*.

En la Ilustración 51 se puede ver como el módulo *Seize* pide el recurso *camión*.

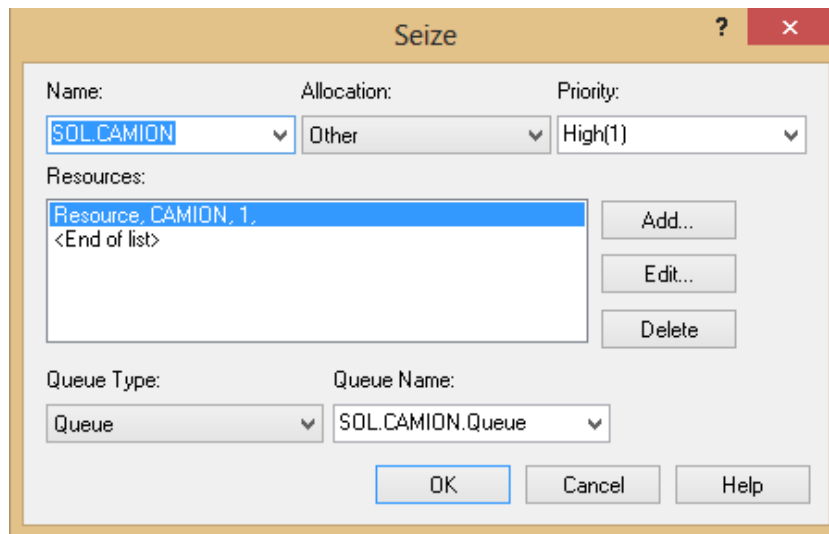


ILUSTRACIÓN 51: MÓDULO SEIZE

Este módulo generará una cola de entidades o contenedores esperando para ser asignadas a un recurso *camión*, además dicho módulo da la opción de establecer una prioridad en la cola. Para ello se ha establecido que las entidades o contenedores con atributo de “PRIODIRDAD”=1, le sea asignado un recurso lo antes posible.

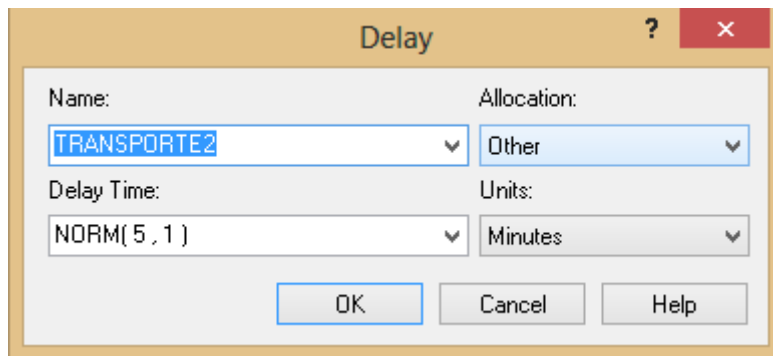
Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	SOL.CAMION.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SOL.CAMION3.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SOL.CAMION4.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SOL.CAMION5.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	SOL.CAMION6.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SOL.CAMION2.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ILUSTRACIÓN 52: CARACTERÍSTICAS DE LAS COLAS

Como se aprecia en la Ilustración 52 se ha establecido un orden por valor más bajo del atributo “PRIORIDAD”, esto va a suponer que cualquier contenedor que quiera revisar la policía, les será entregado lo antes posible.

Posteriormente tanto las entidades tipo *contenedor* como las de tipo *contenedor camión* se juntarán y pasarán por un módulo “Delay”, el cual representa el tiempo que transcurre desde que el camión recibe la orden hasta que llega a la zona indicada. Los tiempos son los de la tabla que está en páginas anteriores.

El módulo “TRANSPORTE2” indica que el tiempo que tarda un camión desde la zona de descanso hasta la zona que le corresponda, en este caso “ZONA1.DEMA3” y estará regida por una función normal de media 5 minutos y con una desviación típica de un minuto.



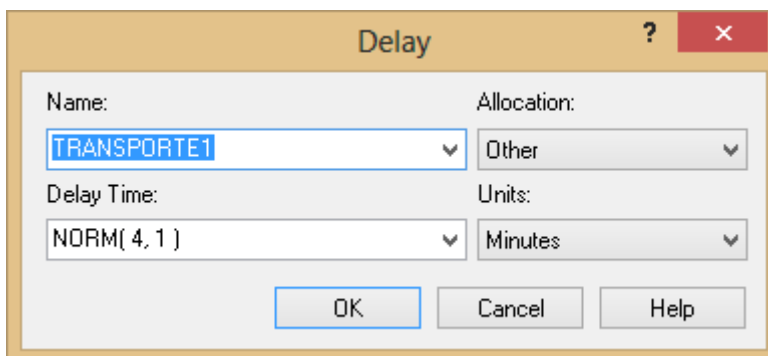
The screenshot shows a dialog box titled "Delay" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

Name:	Allocation:
TRANSPORTE2	Other
Delay Time:	Units:
NORM(5 , 1)	Minutes

Buttons: OK, Cancel, Help

ILUSTRACIÓN 53: MÓDULO DELAY “TRANSPORTE2”

El módulo “TRANSPORTE1” indica que el tiempo que tarda un camión desde la zona de descanso hasta la zona que le corresponda, en este caso “ZONA1.DEMA2” y estará regida por una función normal de media 4 minutos y con una desviación típica de un minuto.



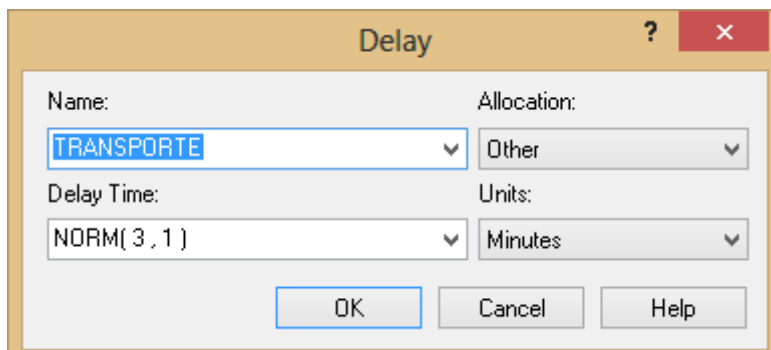
The screenshot shows a dialog box titled "Delay" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

Name:	Allocation:
TRANSPORTE1	Other
Delay Time:	Units:
NORM(4 , 1)	Minutes

Buttons: OK, Cancel, Help

ILUSTRACIÓN 54: MÓDULO DELAY “TRANSPORTE1”

El módulo “TRANSPORTE” indica que el tiempo que tarda un camión desde la zona de descanso hasta la zona que le corresponda, en este caso “ZONA1.DEMA1” y estará regida por una función normal de media 3 minutos y con una desviación típica de un minuto.



The screenshot shows a dialog box titled "Delay" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

Name:	Allocation:
TRANSPORTE	Other
Delay Time:	Units:
NORM(3 , 1)	Minutes

Buttons: OK, Cancel, Help

ILUSTRACIÓN 55: : MÓDULO DELAY “TRANSPORTE”

El último módulo, como se aprecia en la imagen mostrada al principio de la sección, es un *Station*. Su función está relacionada con la simulación del problema con retroalimentación de los camiones, en la simulación actual carece de funcionalidad aunque su función se verá con más claridad al final de la explicación, por el momento decir que ofrece un punto de referencia en el sistema.

6.3.3 Zona de Oferta

En la zona de oferta se divide en tres partes, que empiezan con tres módulos *Station* : “POLICIA”, “CAMION.” y “TREN” a las cuales se llega desde la Zona de Creación. En la Ilustración 56 se pueden apreciar los módulos de los que consta esta zona, los cuales serán explicados a continuación.

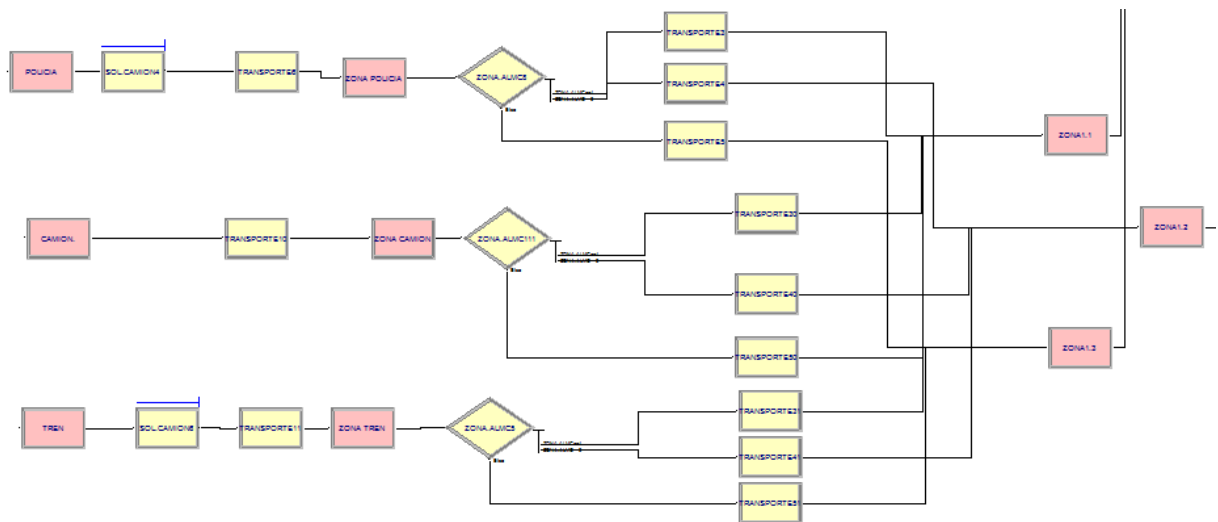


ILUSTRACIÓN 56: ZONA DE OFERTA

Tras el paso por el módulo *Station*, se llega a un módulo *Seize* en el cual se pedirá un recurso camión para cada uno de los distintos tipos de oferta que vayan llegando.

Es evidente que estos módulo *Seize* tendrá las mismas características que los explicados anteriormente, es decir, existirá un orden de prioridad a la hora de facilitar el recurso camión a un tipo de oferta o a otra, en la Ilustración 57 se recuerdan el orden adquirido por cada módulo *Seize*.

Se puede observar que esto no se cumple para las entidades que llegan a la *Station* “CAMIÓN” dado que al no necesitar estas entidades del recurso *camión* no existe módulo *Seize* para este tipo de entidades.

Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	SOL.CAMION.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SOL.CAMION3.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SOL.CAMION4.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SOL.CAMION5.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	SOL.CAMION6.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SOL.CAMION2.Queue	Lowest Attribute Value	PRIORIDAD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ILUSTRACIÓN 57: CARACTERÍSTICAS DE LAS COLAS

La entidad sigue su camino y pasa a través de un módulo “Delay” que representa el tiempo que tarda un camión en ir desde la Zona de Descanso hasta la zona de “POLICIA”, “CAMION.” o “TREN” respectivamente.

Tras ello la entidad se encuentra con un módulo, que como se aprecia en la Ilustración 57, es una *Station*, como se ha nombrado anteriormente en el epígrafe de la Zona de Demanda, para esta Simulación este módulo carece de funcionalidad.

Luego vendrá un módulo “Decide” el cual redirigirá a la entidad a la zona de almacenamiento que le corresponda a cada entidad según su Atributo “ZONA.AMC”, lo cual lleva consigo un gasto de tiempo en hacer dicho recorrido; esto está representado por un módulo “Delay” el cual retrasa a cada entidad de acuerdo con la tabla que se tiene al principio de la sección.

Estos recorridos mencionados serán desde la Zona Camión, Policía o Tren a la Zona de Almacenaje 1,2 ó 3.

6.3.4 Zona de Grúas

Tras pasar por la zona de demanda o la zona de oferta, estas dos líneas por así llamarlas, confluyen en la Zona de Grúas que se tiene representada en esta Ilustración.

Unas entidades serán para descargar los contenedores en las Zonas de Almacenamiento (Oferta) y otras representarán la retirada de dichos contenedores para llevarlo a quién corresponda (Demanda). En la Ilustración 58 se puede observar los módulos de los que está compuesto esta Zona.

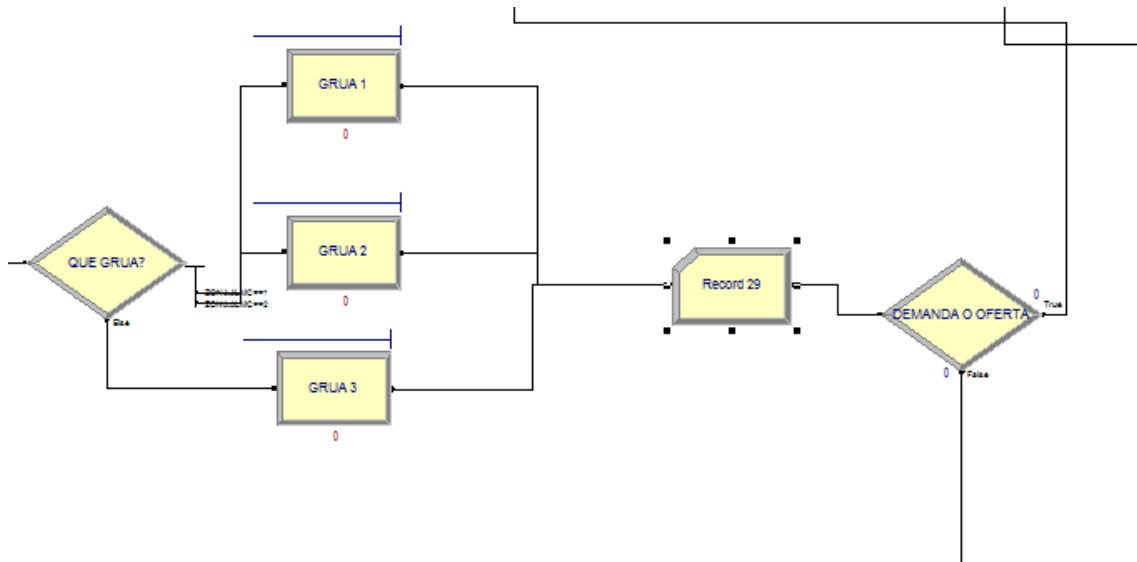


ILUSTRACIÓN 58: ZONA DE GRÚAS

Lo que se aprecia en la imagen es como confluyen las dos líneas nombradas anteriormente y como de ahí se encuentran con un módulo *Decide* el cual les asigna la grúa correspondiente, en función de la Zona de Almacenamiento que le corresponda a cada uno.

Tras ello vuelven a confluir las líneas y van a parar a un módulo *Record*, el cual va llevando la cuenta de las entidades que van pasando por ahí. Finalmente la línea se vuelve a separar debido a un módulo *Decide* que las separa en función si las entidades son de oferta o de demanda.

6.3.5 Zona de envío de los contenedores demandados

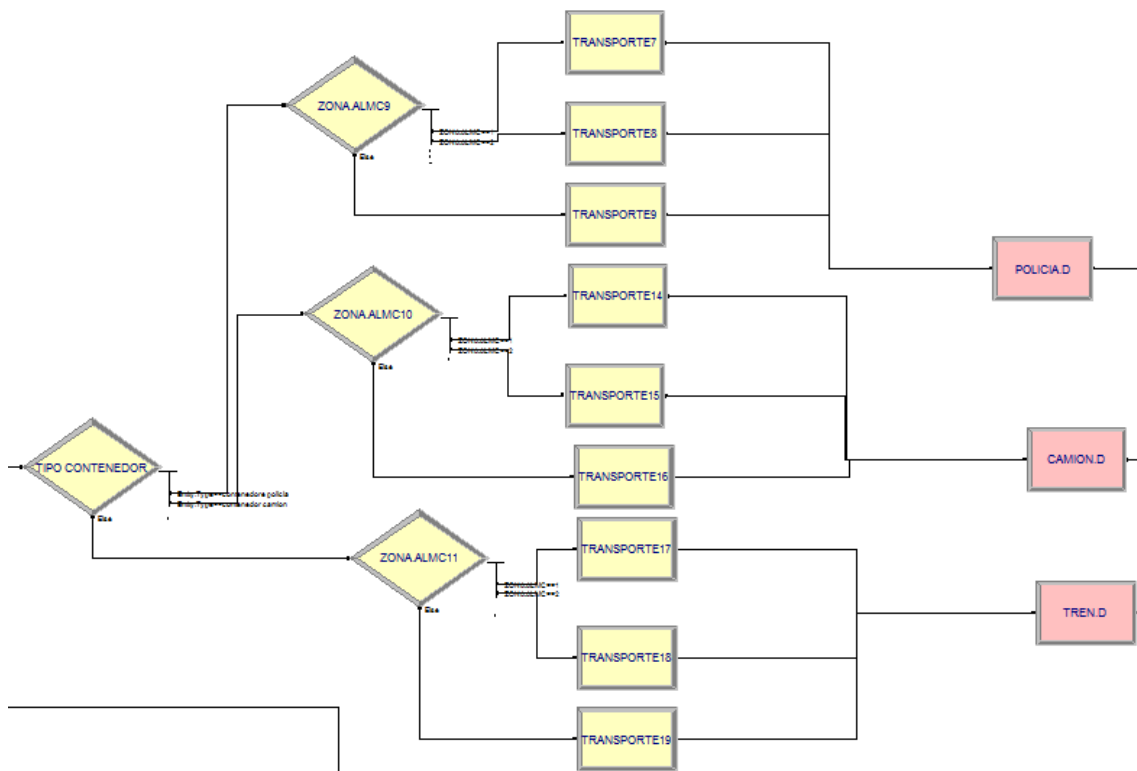


ILUSTRACIÓN 59: ZONA DE ENVÍO DE CONTENEDORES DEMANDADOS

La entidad tras pasar por la sección de grúas y perteneciendo a la demanda, llegará aquí.

El primer módulo *Decide* distinguirá quién es el demandante de dicho contenedor dicha zona, tras ello otro módulo *Decide* distinguirá de donde viene la entidad de tal modo que según de la zona de almacenaje de la cual salga el camión se podrá imputarle un tiempo de trayecto u otro mediante el módulo *Delay*, todo esto se puede observar en la Ilustración 59.

Físicamente esto representaría la llegada del camión desde su origen desde uno de los nodos de la zona de almacenaje hasta uno de los nodos de “POLICIA” “CAMION” o “TREN”.

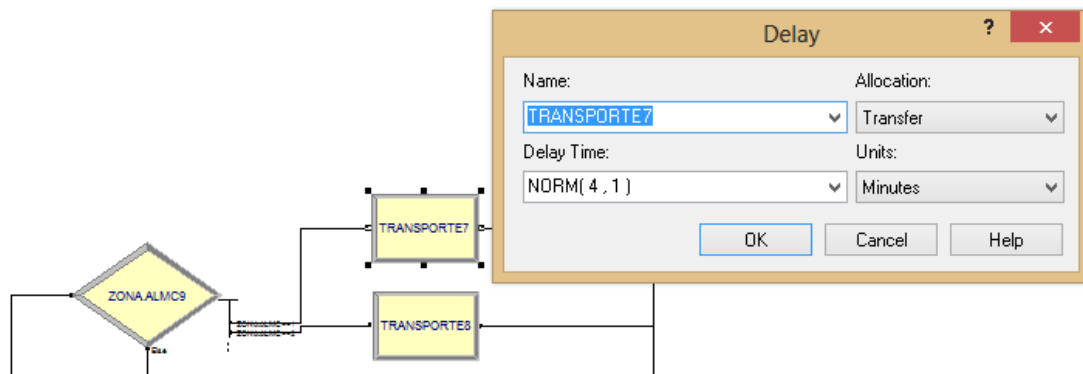


ILUSTRACIÓN 60: DELAY ZONA DE ENVÍO

En la Ilustración 60 se puede apreciar lo dicho anteriormente sobre cómo se imputa el retaso que conlleva el transporte hasta el nodo destino de la entidad.

6.3.6 Zona Final

Tras la Zona de Grúas y la Zona de envío de los contenedores demandados se llega a la última zona del modelo, aunque no se aprecie en la Ilustración 61 tras la Zona de Grúas las entidades se separan dependiendo en la Zona de almacenaje que se encuentre.

Debido a esto y a que de la Zona de envío de los contenedores demandados las entidades ya estaban separadas según donde hayan sido entregados.

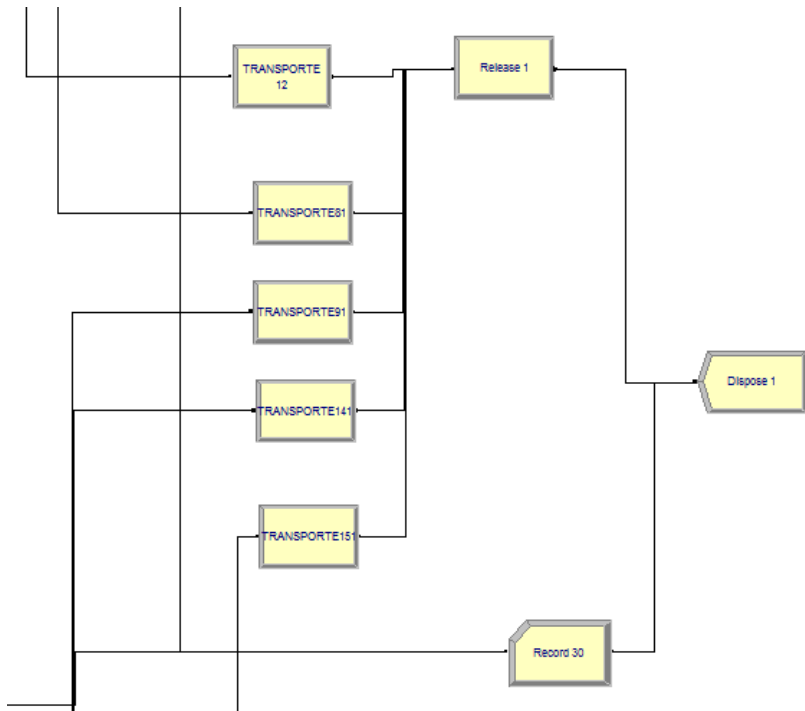


ILUSTRACIÓN 61: ZONA FINAL

Una vez explicado esto se puede observar en la Ilustración 61 cómo cada línea que llega se le imputa un tiempo de transporte mediante un módulo *Delay*, el cual representa el tiempo que transcurre hasta que el camión vuelve a la zona de reposo como se puede contemplar en la Ilustración 62.

Tras ello se liberará el recurso camión que se estaba utilizando mediante el módulo *Release*, con la salvedad de las entidades tipo *contenedor camión* que van por las líneas que van directamente al módulo *Record*, el cual contará las entidades que vayan llegando.

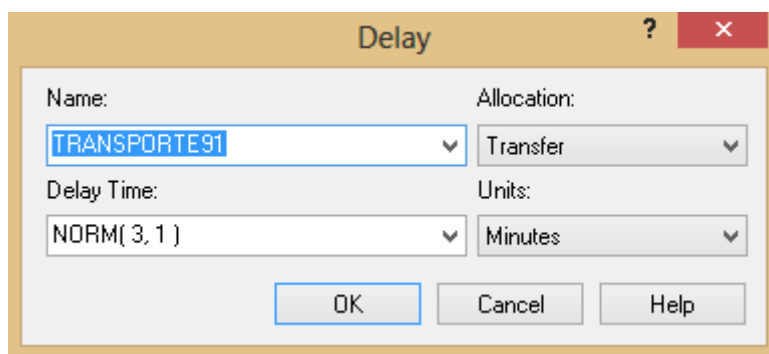


ILUSTRACIÓN 62: DELAY ZONA FINAL

En la Ilustración 63 se puede ver como se libera el Recurso Camión mediante un módulo *Release*.

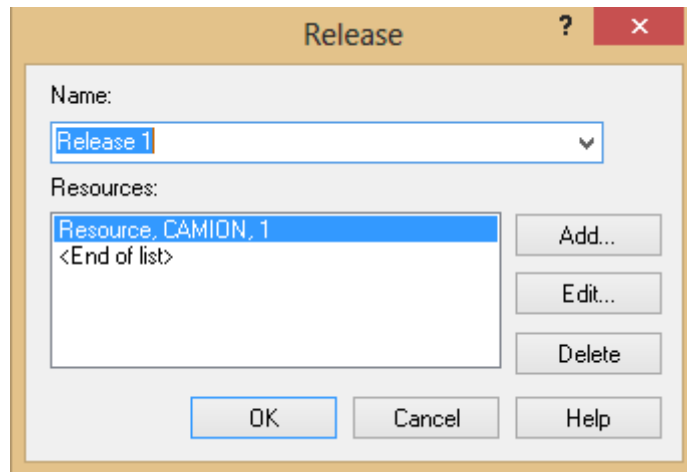


ILUSTRACIÓN 63: RELEASE ZONA FINAL

Tras pasar por el módulo *Delay* y el módulo *Record* respectivamente, la entidad llegará a su fin con el módulo *Dispose*.

6.4 Descripción del modelo con retroalimentación

A diferencia del modelo anterior, este modelo es más complejo y mucho más eficiente. Se han necesitado más Zonas y más módulos que en el anterior, aunque hay varias zonas en el modelo que son las mismas que en el anterior.

En la siguiente Ilustración se puede contemplar el modelo, así como sus distintas partes que serán explicadas a continuación.

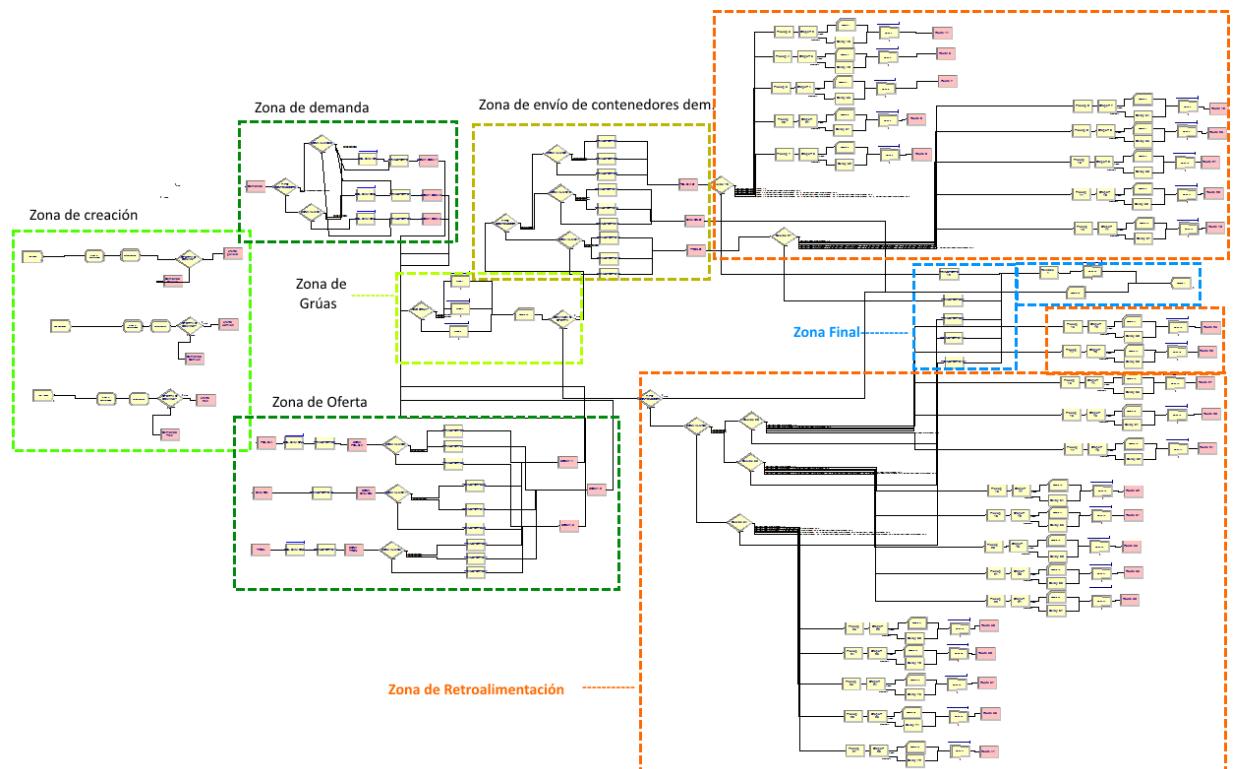


ILUSTRACIÓN 64: MODELO CON RETROALIMENTACIÓN

La finalidad del modelo es que los camiones cuando hayan dado el servicio vean si se les requiere en alguna cola, es decir, si existe algún punto con una entidad que requiera un camión, el camión vaya directamente para allá y en caso de existir más de una, que el camión se dirija a la más cercana.

Cuando no haya ningún punto con necesidad de utilizar este recurso, el camión se dirigirá a la Zona de descanso como el modelo anterior. Con esto se pretende ver cuánto se ahorra en tiempo y distancia recorrida.

6.4.1 Zona de creación y distinción de entidades

Esta zona es exactamente igual a la del anterior modelo, se crean dos tipos de entidades contenedor y contenedor camión y se les dota a ambas de los atributos de “TIPO”, “PRIORIDAD” y “ZONA.ALMC”. Tras ello se envía cada entidad a la Zona que le corresponda, la de demanda o la de oferta.

En la siguiente Ilustración 63 se observa el alcance de esta Zona.

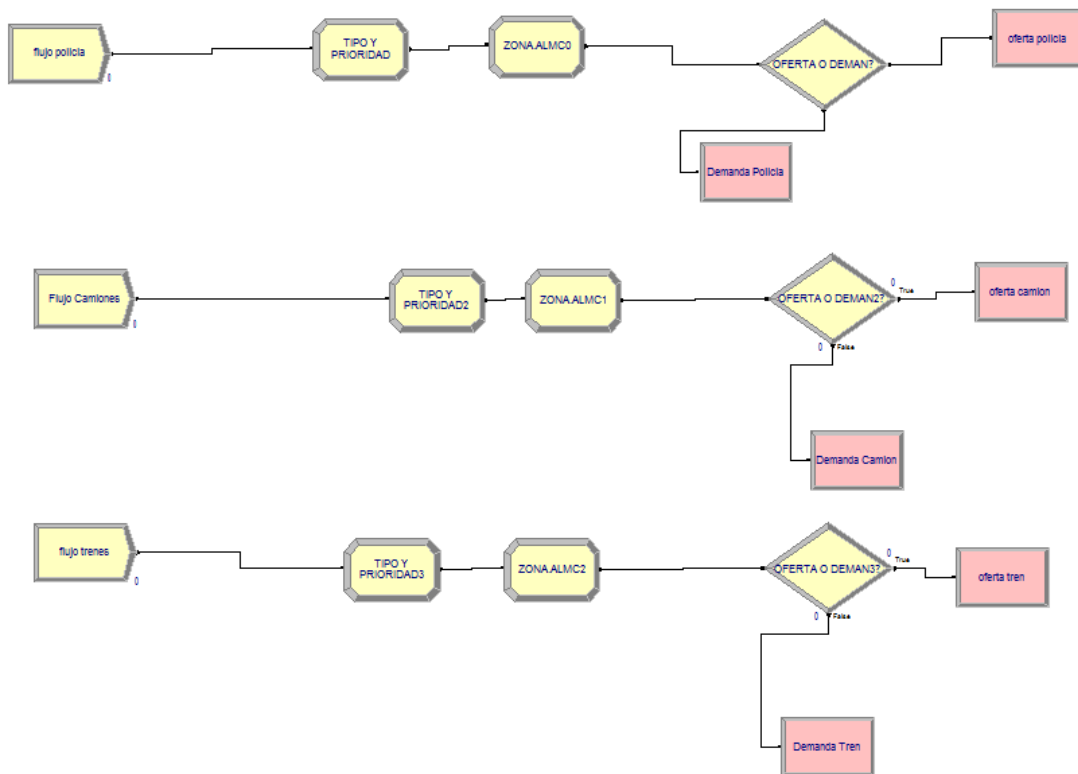


ILUSTRACIÓN 65: ZONA DE CREACIÓN 2

6.4.2 Zona de demanda

Esta zona es exactamente igual a la del anterior modelo, con la diferencia de que los módulos *Station* que en el modelo anterior no tenían ninguna función, esta vez sí que tienen un objetivo.

Las entidades tipo demanda llegan a esta zona y son separadas en función del tipo de entidad para pedir o no el recurso *camión* y de la zona de almacenaje donde se encuentre su mercancía a recoger.

En la Ilustración 64 se puede ver la estructura de la Zona.

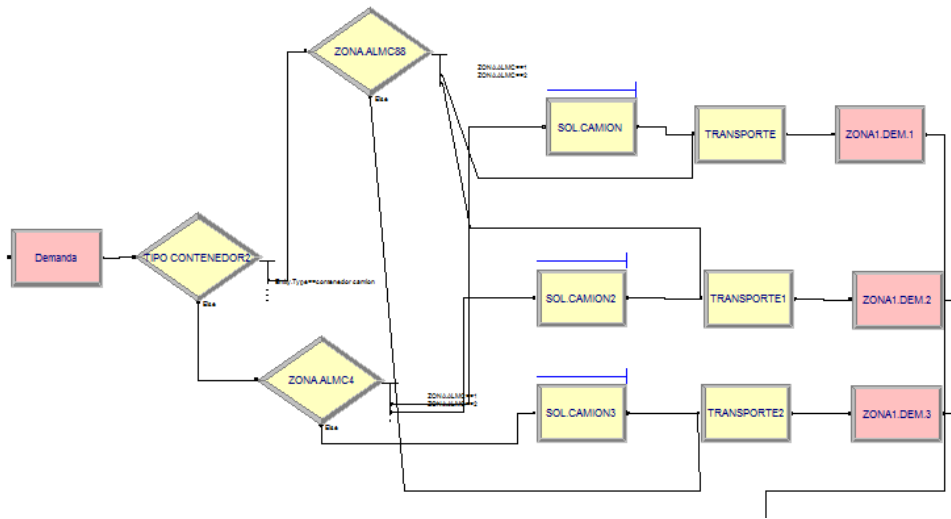


ILUSTRACIÓN 66: ZONA DEMANDA 2

La función de los módulos *Station* es de gran importancia dado que es el lugar donde volverán las entidades retroalimentadas para dirigirse a la Zona de Grúas.

Dado que los módulos anteriores a ellas representan la solicitud de un recurso *camión* que ya se tiene y el transporte de ese recurso desde la Zona de Descanso.

6.4.3 Zona de Oferta

Esta zona es exactamente igual a la del anterior modelo, con la diferencia de que los módulos *Station* que en el modelo anterior no tenían ninguna función, esta vez sí que tienen un objetivo.

Las entidades tipo oferta llegan a esta zona, la cual se subdivide en tres líneas, cada una perteneciente al tipo de ofertante (tren, policía y camión), tras ello cada entidad solicitará un recurso *camión* salvo la línea camión.

Tras esto, se encuentra el módulo *Station* donde los camiones retroalimentados serán enviados. Posteriormente se redirigirá cada entidad hacia la zona de almacenamiento que le corresponda con la imputación de tiempo que implique cada desplazamiento.

En la Ilustración 65 se puede ver la estructura de la Zona.

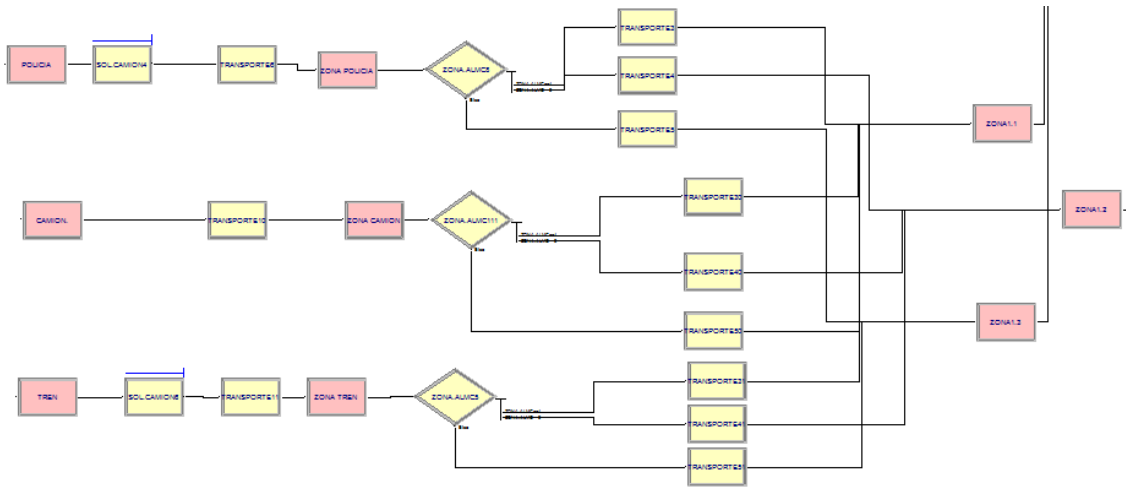


ILUSTRACIÓN 67: ZONA DE OFERTA

6.4.4 Zona de Grúas

Tras pasar por la zona de demanda o la zona de oferta, estas dos líneas por así llamarlas, confluyen en la Zona de Grúas que se tiene representada en esta Ilustración. Unas entidades serán para descargar los contenedores en las Zonas de Almacenamiento (Oferta) y otras representarán la retirada de dichos contenedores para llevarlo a quién corresponda (Demanda). En la Ilustración 58 se puede observar los módulos de los que está compuesto esta Zona.

Esta zona no ha sufrido ningún cambio respecto al modelo anterior.

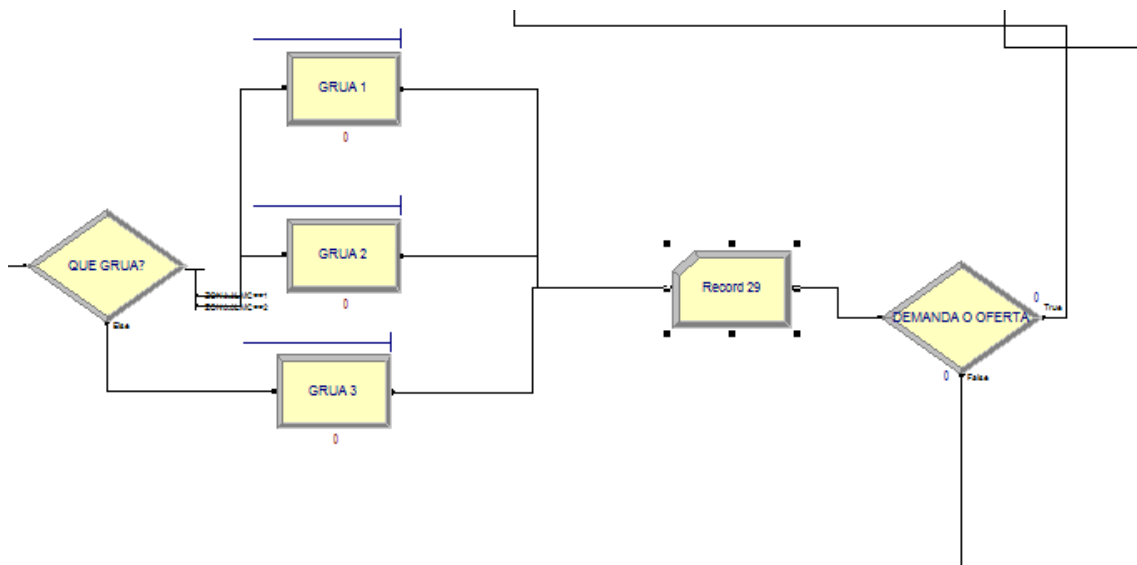


ILUSTRACIÓN 68: ZONA DE GRÚAS 2

6.4.5 Zona de envío de los contenedores demandados

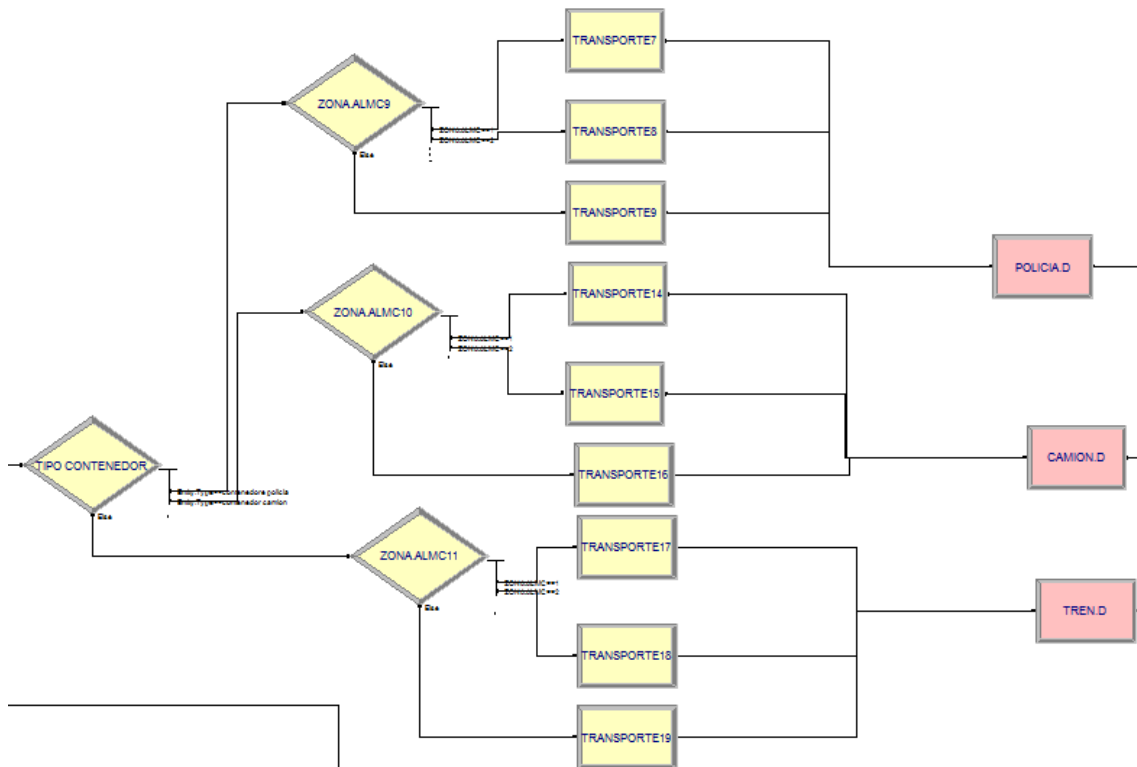


ILUSTRACIÓN 69 ZONA DE ENVÍO 2

Al igual que en el modelo anterior las entidades tras pasar por la sección de grúas y perteneciendo a la demanda, llegará aquí.

El primer módulo *Decide* distinguirá quién es el demandante de dicho contenedor dicha zona, tras ello otro módulo *Decide* distinguirá de donde viene la entidad de tal modo que según de la zona de almacenaje de la cual salga el camión se podrá imputarle un tiempo de trayecto u otro mediante el módulo *Delay*, todo esto se puede observar en la Ilustración 69.

Físicamente esto representaría la llegada del camión desde uno de los nodos de la zona de almacenaje hasta uno de los nodos de “POLICIA” “CAMION” o “TREN”.

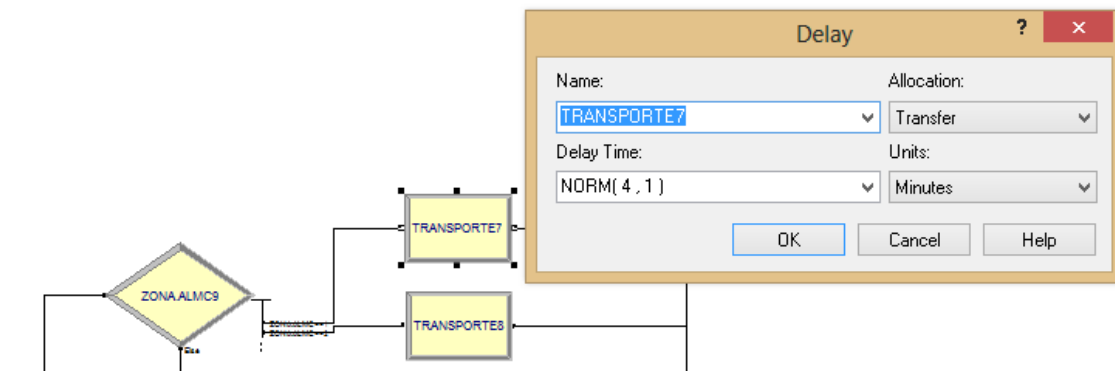


ILUSTRACIÓN 70: DELAY ZONA DE ENVÍO

En la Ilustración 71 se puede apreciar lo dicho anteriormente sobre cómo se imputa el retaso que conlleva el transporte hasta el nodo destino de la entidad.

6.4.5 Zona de Retroalimentación

Esta Zona se va a subdividir en dos zonas, la zona de retroalimentación para la demanda y la zona de retroalimentación para la oferta debido a su gran tamaño.

6.4.5.1 Zona de Retroalimentación de la Demanda

De la Zona de envío de los contenedores demandados salían tres líneas cada una representaba uno de los tres actores de este modelo (tren, camión y policía), la línea camión irá directamente a la Zona Final, dado que no contienen el recurso camión por lo que no puede haber retroalimentación de estos.

En la Ilustración 71 se puede observar el alcance de esta Zona.

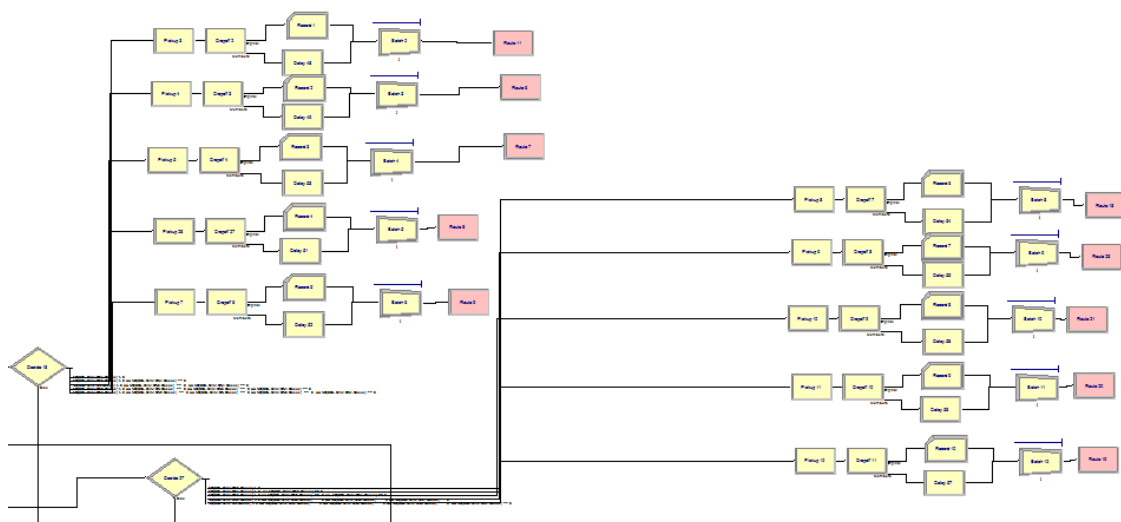


ILUSTRACIÓN 71: ZONA DE RETROALIMENTACIÓN DE LA DEMANDA

Las líneas pertenecientes a las entidades que han entregado el contenedor a la policía o a los trenes se encontrarán con un módulo *Decide* el cual tendrá la función de distinguir qué cola que requiere de un recurso *camión* y cuál es la más cercana de ellas al punto donde se encuentra ahora mismo el camión.

De este modo se tendrá que el camión se redirigirá hacia el nodo más próximo donde se le necesite, es decir, donde haya una cola de entidades en uno de los módulos “SOL.CAMION” con una cola de entidades sin recurso camión asignado.

En la Ilustración 73 se puede observar como se ha configurado cada módulo *Decide*.

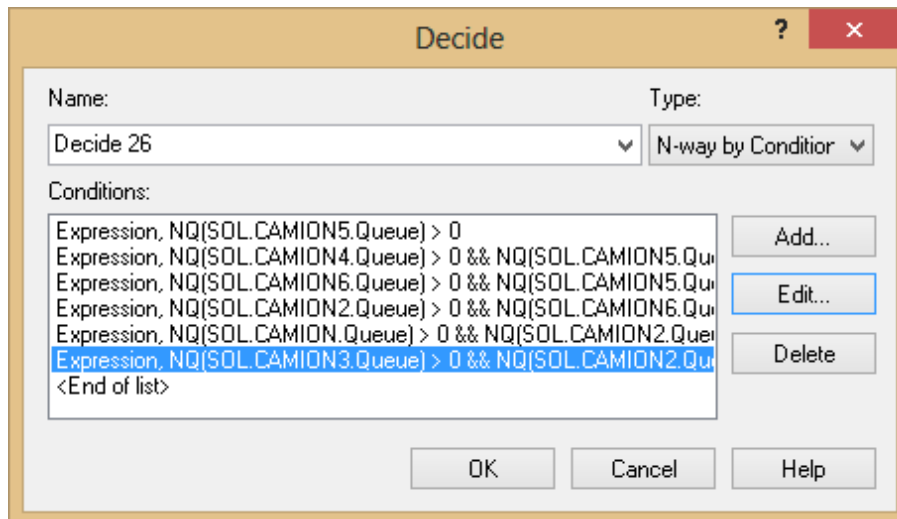


ILUSTRACIÓN 72: MÓDULO DECIDE DE RETROALIMENTACIÓN

Esto será posible gracias a la capacidad de introducir expresiones en dicho módulo, las expresiones serán del tipo $NQ(SOL.CAMION4.Queue) > 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION5.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION6.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION3.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION2.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION.Queue) == 0$, el resultado de introducir todas estas expresiones es que las entidad se redirigirá hacia la cola que esté más cerca de su posición y en cuya cola de solicitud de camiones sea distinta de cero.

Estas expresiones son diferentes para cada módulo *Decide* dado que según la situación actual de la entidad su cola más cercana será una u otra, por esto es importante saber la posición actual de la entidad la cual en este caso ya era conocida desde la Zona anterior.

Es necesario comentar que dado el caso de que ninguna cola necesite un recurso camión, la entidad se dirigirá hacia la última zona de este modelo, que es la Zona Final.

Una vez localizada la cola que necesita el recurso, se pasará al sistema que se ha ideado para la retroalimentación de los camiones, se debe recordar que del módulo *Decide* se obtiene una entidad con unos atributos la cual ya ha cumplido su objetivo, es decir, físicamente se ha entregado el contenedor a la zona que correspondía pero en el modelo se sigue teniendo la información que dice que se tiene que llevar esa entidad al lugar de donde se supone acaba de salir.

Para resolver este problema se ha hecho lo siguiente; en primer lugar mediante un módulo *Pickup* se toma la primera entidad en espera de la cola a la cual se ha llegado a través del módulo *Decide* anteriormente descrito, en la Ilustración 73 se puede ver como en el módulo *Pickup* se recoge la información de la cola de la que se debe tomar la entidad, la cantidad de entidades a coger (una), y qué lugar ocupa esa entidad en dicha cola (el primer lugar).

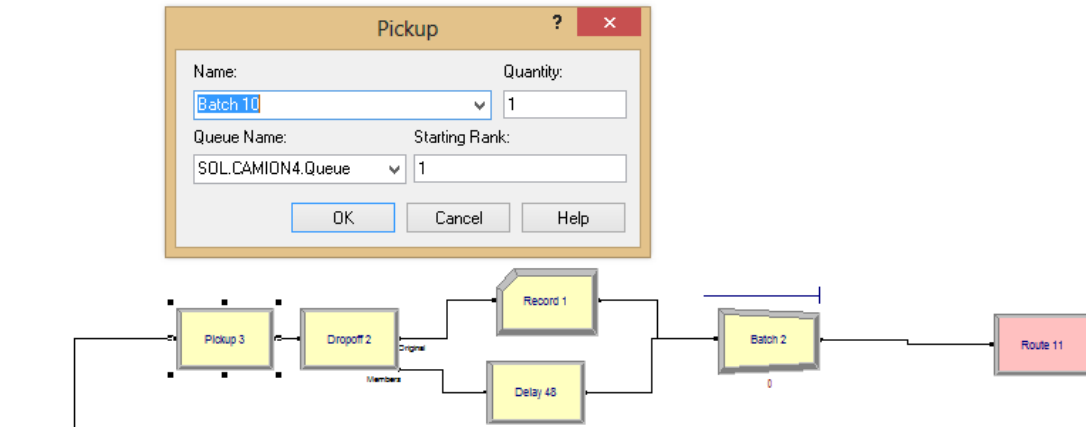


ILUSTRACIÓN 73: MÓDULO PICKUP

Tras este módulo se encuentra un módulo *Dropoff*, cuya función es soltar la entidad que ha sido recogida por el módulo anterior *Pickup* en su salida *Members* mientras que en la otra salida de este módulo, *Original*; irá la entidad que se tenía desde el principio con sus atributos ya desfasados como se ha mencionado antes.

Ilustración 74 describe lo dicho anteriormente.

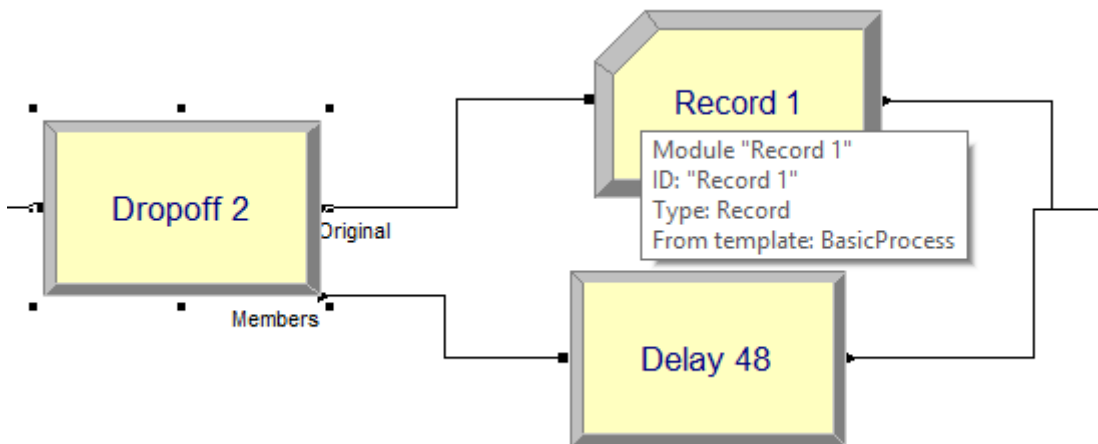


ILUSTRACIÓN 74: MÓDULO DROPOFF

El módulo *Record* llevará un registro del número de entidades que se van retroalimentando en esa línea y el módulo *Delay* de la línea de la entidad recogida de la cola, sirve para que la entidad antigua que va por la línea *Original* llegue antes al siguiente módulo.

Esto es debido a que el siguiente módulo en un módulo *Batch* el cual tiene la función de unir dos entidades en una sola, esa entidad resultante tendrá los atributos de la entidad que llegue en último lugar, es por eso que se ha introducido un módulo *Delay* en la línea *Members*.

La Ilustración 75 refleja lo dicho anteriormente. Se ve en la imagen que este módulo requiere dos entidades tipo contenedor para crear una nueva y que la resultante tendrá los atributos de la última.

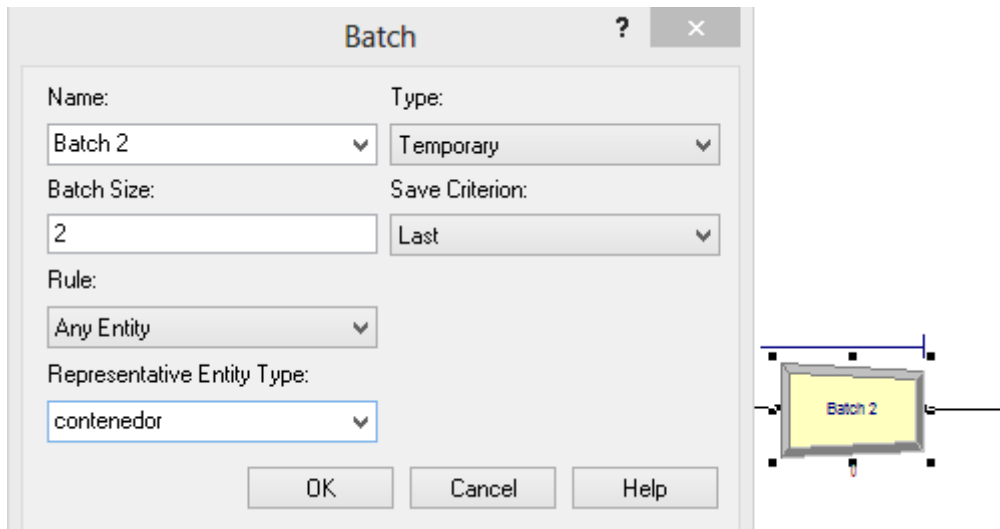


ILUSTRACIÓN 75: MÓDULO BATCH

Por último se llegará al módulo *Route*, el cual enviará a esta nueva entidad a un módulo *Station* de los que fueron comentados en el Zona de demanda o en la Zona de Oferta, además otorgará un tiempo que representará el recorrido del camión desde su lugar actual hasta el punto donde haya sido requerido.

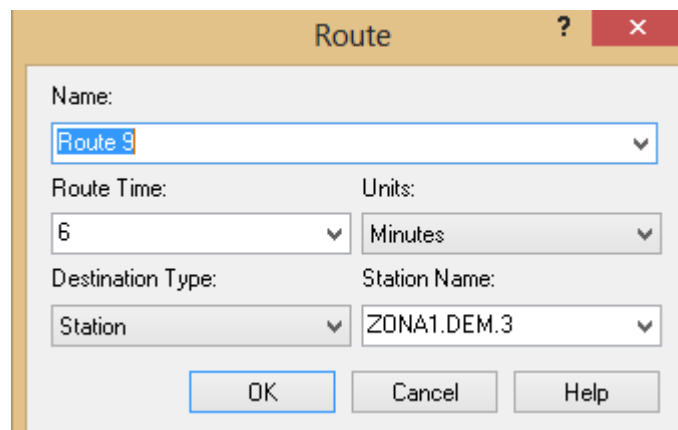


ILUSTRACIÓN 76: MÓDULO ROUTE

Esto que ha sido descrito es el recorrido que tendrá cualquier entidad que sea retroalimentada hacia cualquiera de las colas que hay presentes en las Zonas de Oferta y de Demanda.

6.4.5.2 Zona de Realimentación de Camiones de la Oferta

La ilustración 77 muestra el alcance de esta zona

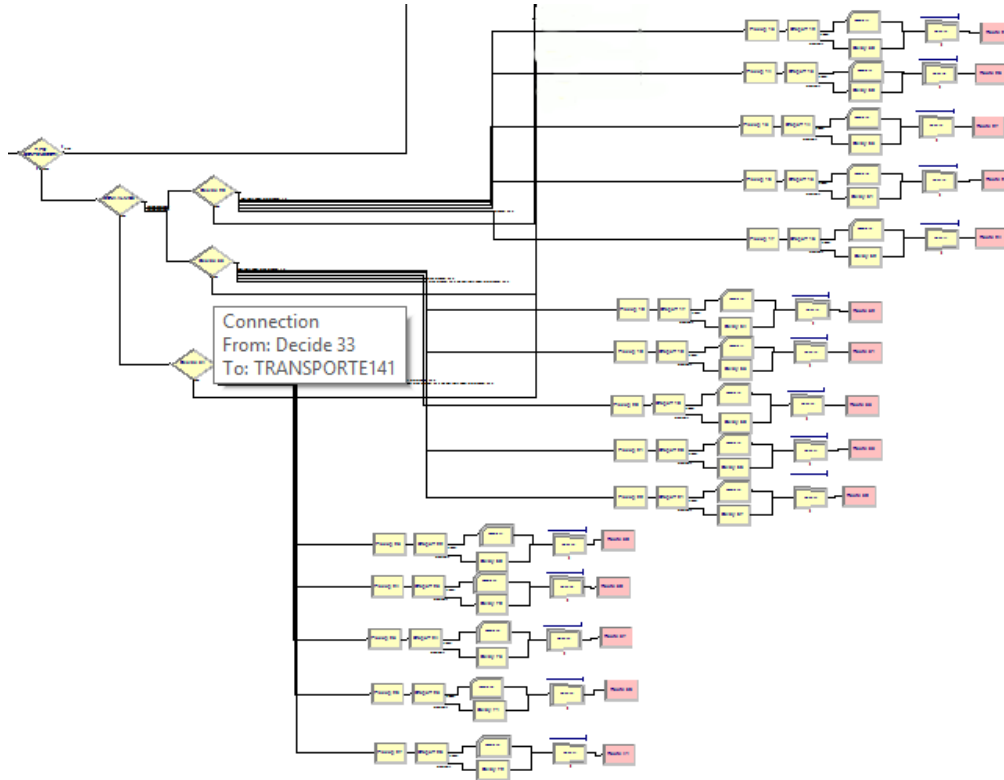


ILUSTRACIÓN 77: ZONA RETROALIMENTACIÓN OFERTA

Tras salir de la Zona de Grúas las entidades se dirigen hacia la Zona de Realimentación de Camiones de la Oferta donde lo primero que se encuentra son una serie de módulos *Decide*. El primer módulo *Decide* que se encuentra tiene la función de mandar las entidades tipo *contenedor camión* directamente a la Zona Final, como ya se ha mencionado muchas veces dichas entidades no tienen otorgado el recurso *camión*.

Tras pasar por el *Decide* anterior llegarán a esta sección todas las entidades tipo oferta que a su vez se van a subdividir mediante otro módulo *Decide* según la zona de almacenaje de la que vengán. Esto se puede contemplar en la Ilustración 78.

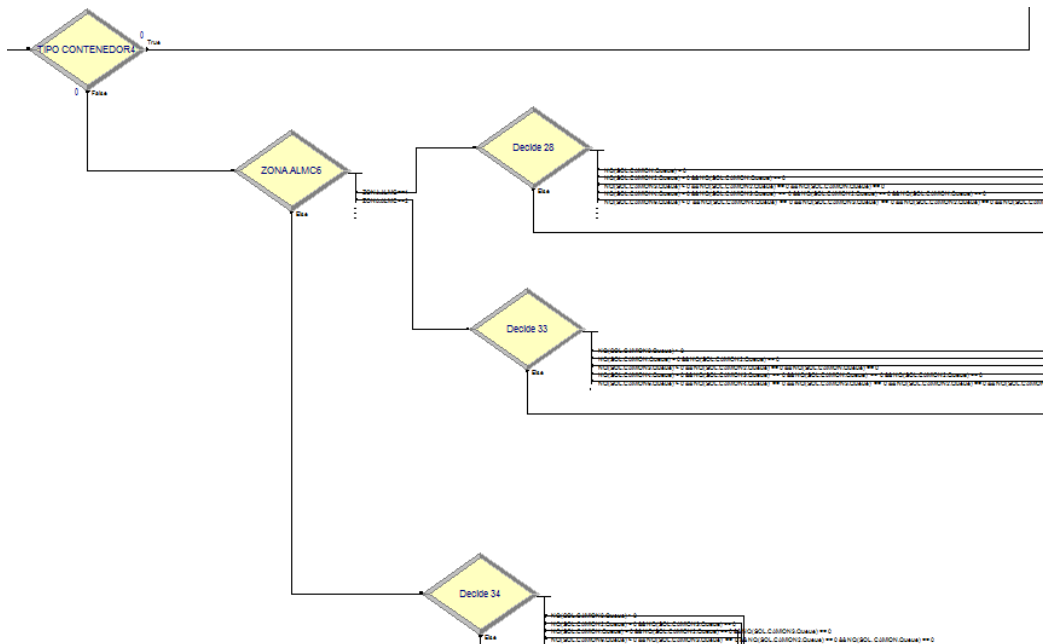


ILUSTRACIÓN 78: ZONA RETROALIMENTACIÓN DECIDE

Esto se hace para poder situar donde esta cada entidad o contenedor en ese preciso instante, una vez sabido esto, la entidad se dirige al módulo *Decide* el cual decidirá a donde redirigir la entidad en función de unas expresiones que le han sido introducidas las cuales ya han sido descritas en el apartado anterior.

Estas expresiones son diferentes para cada *Decide* dado que según la situación actual de la entidad su cola más cercana será una u otra, por esto es importante saber la posición actual de la entidad.

Las expresiones serán del tipo $NQ(SOL.CAMION4.Queue) > 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION5.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION6.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION3.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION2.Queue) == 0 \ \&\& \ NQ(SOL.CAMION.Queue) == 0$, el resultado de introducir todas estas expresiones es que la entidad se redirigirá hacia la cola que esté más cerca de su posición y en cuya cola de solicitud de camiones sea distinta de cero.

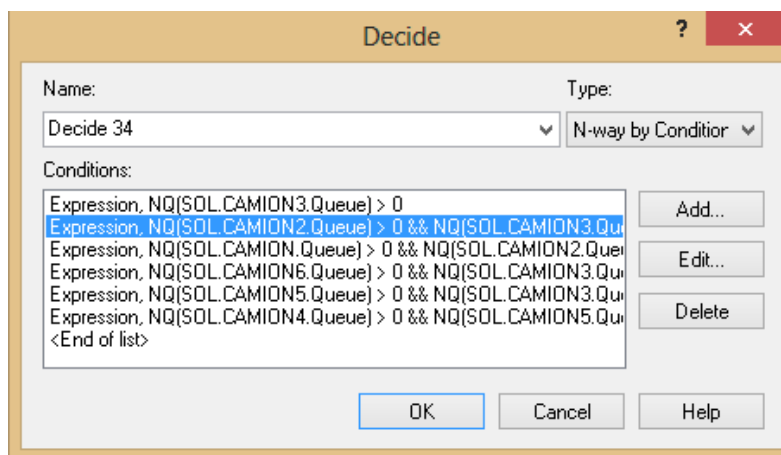


ILUSTRACIÓN 79: DECIDE ZONA RETROALIMENTACIÓN OFERTA

Es necesario comentar que dado el caso de que ninguna cola necesite un recurso camión, la entidad se dirigirá hacia la última zona de este modelo, que es la Zona Final.

Una vez localizada la cola que necesita el recurso, se pasará al sistema que se ha ideado para la retroalimentación de los camiones, se debe recordar que del módulo *Decide* se obtiene una entidad con unos atributos la cual ya ha cumplido su objetivo, es decir, físicamente se ha entregado el contenedor a la zona que correspondía pero en el modelo se sigue teniendo la información que dice que se tiene que llevar esa entidad al lugar de donde se supone acaba de salir.

Para resolver este problema se ha hecho lo siguiente; en primer lugar mediante un módulo *Pickup* se toma la primera entidad en espera de la cola a la cual se ha redirigido el módulo *Decide* anteriormente descrito, en la Ilustración 80 se puede ver como en el módulo *Pickup* se recoge la información de la cola de la que se debe tomar la entidad, la cantidad de entidades a coger (una), y qué lugar ocupa esa entidad en dicha cola (el primer lugar).

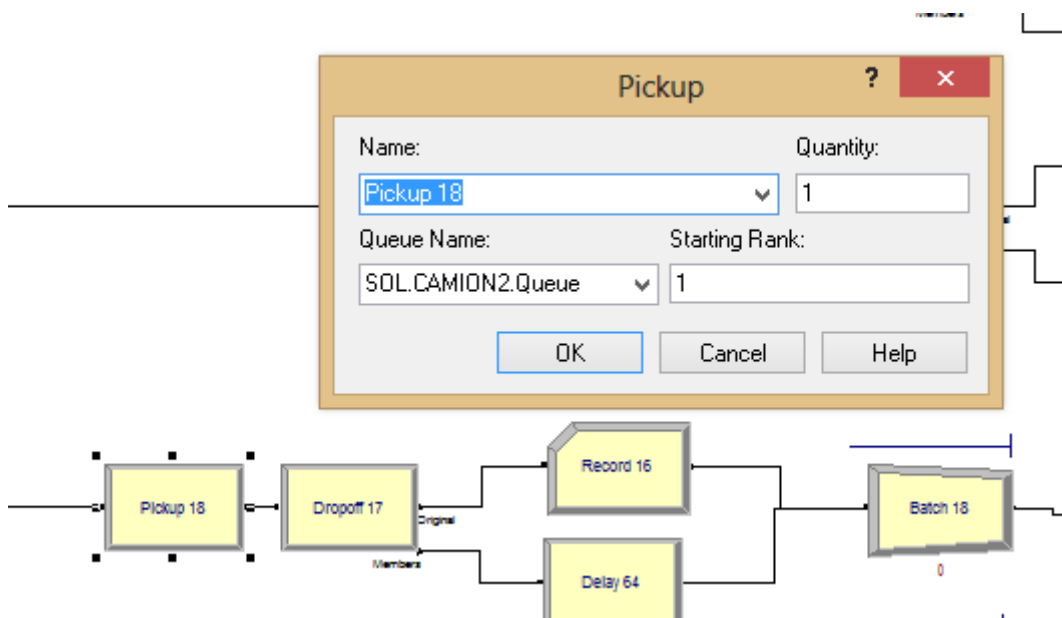


ILUSTRACIÓN 80: MODULO PICKUP 2

Tras este módulo la entidad se encuentra un módulo *Dropoff*, cuya función es soltar la entidad que ha sido recogida por el módulo anterior *Pickup* en su salida *Members* mientras que en la otra salida de este módulo, *Original*; irá la entidad que se tenía desde el principio con sus atributos ya desfasados como se ha mencionado antes.

Ilustración 81 describe lo dicho anteriormente.

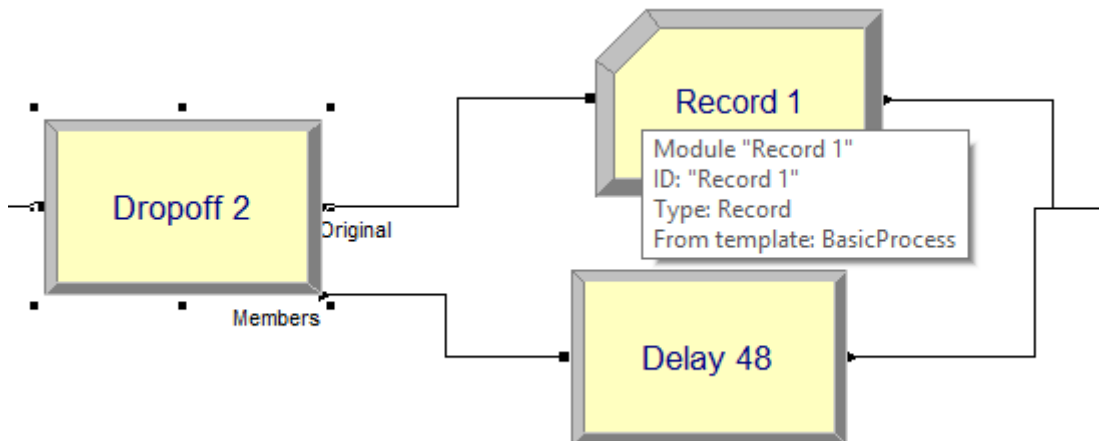


ILUSTRACIÓN 81: MÓDULO DROPOFF 2

El módulo *Record* llevará un registro del número de entidades que se van retroalimentando en esa línea y el módulo *Delay* de la línea de la entidad recogida de la cola, sirve para que la entidad antigua que va por la línea *Original* llegue antes al siguiente módulo.

Esto es debido a que el siguiente módulo en un módulo *Batch* el cual tiene la función de unir dos entidades en una sola, esa entidad resultante tendrá los atributos de la entidad que llegue en último lugar, es por eso que se ha introducido un módulo *Delay* en la línea *Members*.

La Ilustración 82 refleja lo dicho anteriormente. Se ve en la imagen que este módulo requiere dos entidades tipo contenedor para crear una nueva y que la resultante tendrá los atributos de la última.

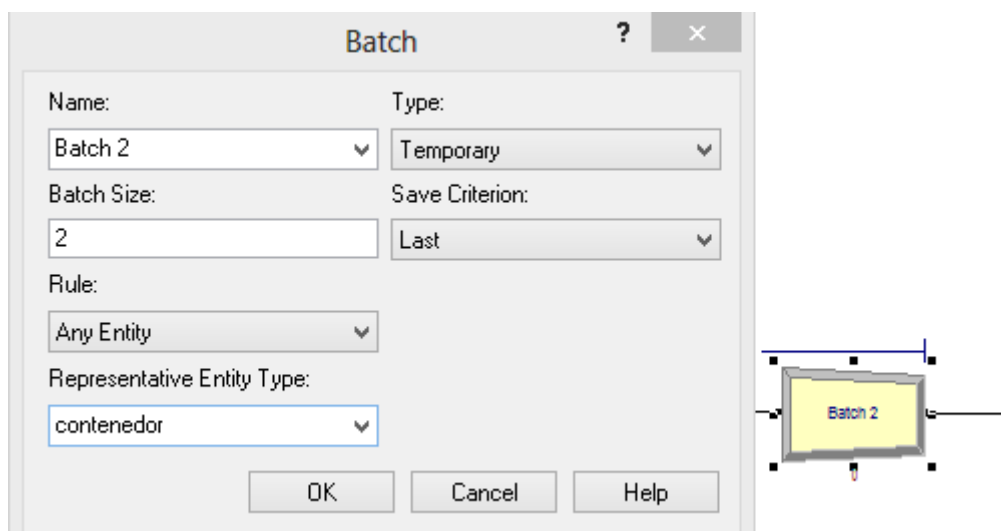


ILUSTRACIÓN 82: MÓDULO BATCH 2

Por último se llegará al módulo *Route*, el cual enviará a esta nueva entidad a un módulo *Station* de los que fueron comentados en el Zona de demanda o en la Zona de Oferta, además otorgará un tiempo que representará el recorrido del camión desde su lugar actual hasta el punto donde haya sido requerido.

The image shows a dialog box titled "Route". It has a standard Windows-style title bar with a question mark and a close button. The dialog contains several input fields and buttons. The "Name" field is a dropdown menu showing "Route 35". Below it are two rows of fields: "Route Time" with a value of "5" and "Units" with a value of "Minutes"; "Destination Type" with a value of "Station" and "Station Name" with a value of "ZONA POLICIA". At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

ILUSTRACIÓN 83: MÓDULO ROUTE

Esto que ha sido descrito es el recorrido que tendrá cualquier entidad que sea retroalimentada hacia cualquiera de las colas que hay presentes en las Zonas de Oferta y de Demanda.

6.4.6 Zona Final

Tras la Zona de Grúas, la Zona de envío de los contenedores demandados y la Zona de Retroalimentación se llega a la última zona del modelo, aunque no se aprecie en la Ilustración 84 tras el paso de las entidades por estas tres zonas, las entidades llegan separadas dependiendo en la Zona en la que se encuentren.

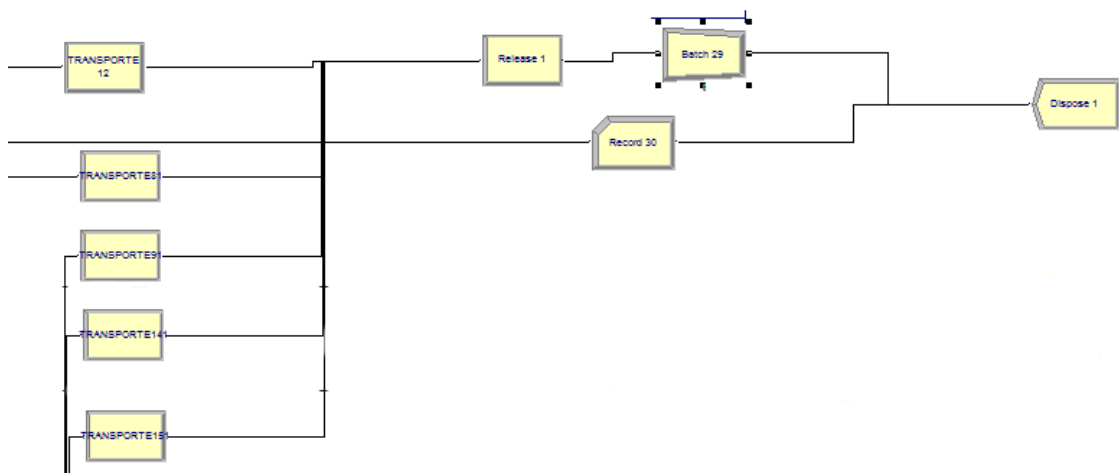


ILUSTRACIÓN 84: ZONA FINAL 2

Una vez explicado esto se puede observar en la Ilustración 84 cómo cada línea que llega se le imputa un tiempo de transporte mediante un módulo *Delay*, el cual representa el tiempo que transcurre hasta que el camión vuelve a la zona de reposo como se puede contemplar en la Ilustración 85-

Tras ello se liberará el recurso camión que se estaba utilizando mediante el módulo *Release*, con la salvedad de las entidades tipo *contenedor camión* que van por la líneas que van directamente al módulo *Record*, el cual contará las entidades que vayan llegando.

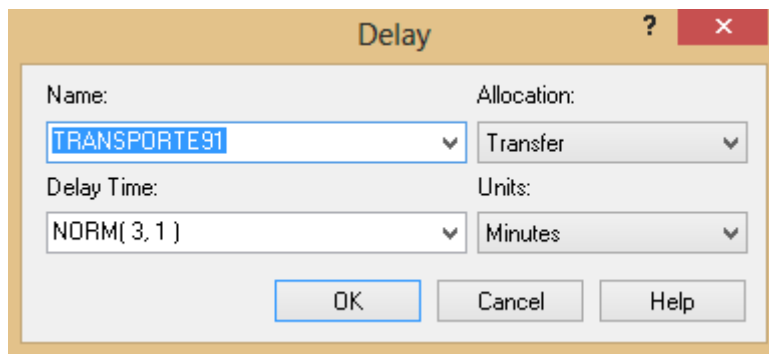


ILUSTRACIÓN 85: DELAY ZONA FINAL

En la Ilustración 86 se puede ver como se libera el Recurso Camión mediante un módulo *Release*.

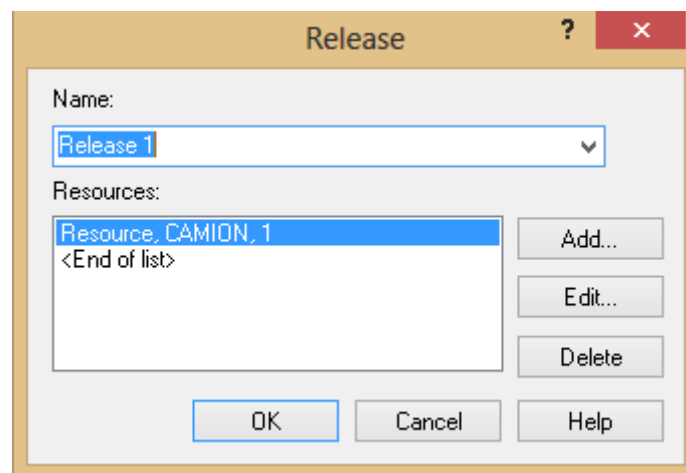


ILUSTRACIÓN 86: RELEASE ZONA FINAL

Tras el módulo *Release* se observa un módulo *Batch*, su función es simplemente evitar un fallo a la hora de la simulación debido a la entidad creada en la retroalimentación.

Tras pasar por el módulo *Delay* y el módulo *Record* respectivamente, la entidad llegará a su fin con el módulo *Dispose*.

7. Resultados de la Simulación

Se ha hecho una simulación tanto para el modelo con retroalimentación como para el modelo sin retroalimentación con las siguientes características.

Se ha simulado el sistema durante diez días, desde el día domingo 11 de Enero del 2015 a las 21:40:30 hasta el 21 de Enero de ese mismo año a esa misma hora.

Se ha escogido la opción de que los resultados vengan presentados con las unidades de tiempo en minutos.

La Ilustración 87 muestra que las opciones mencionadas son las que se han seleccionado para dichas simulaciones.

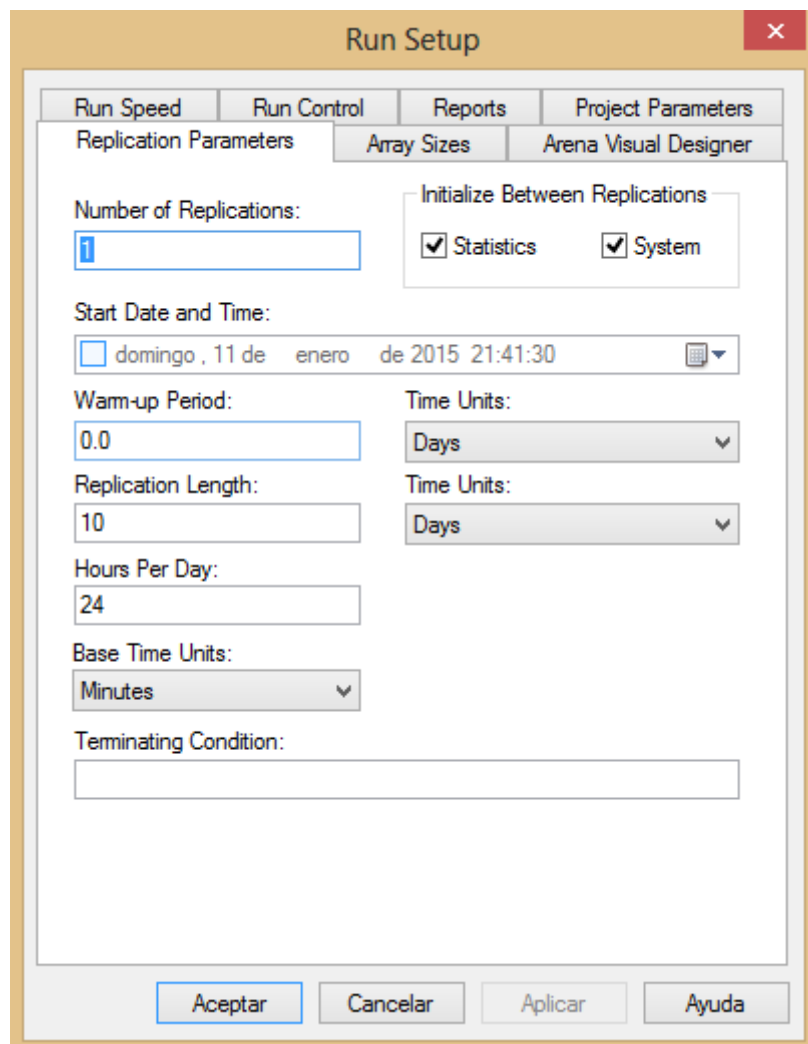


ILUSTRACIÓN 87: SIMULACION

7.1. Resultados de la Simulación en el modelo sin Retroalimentación

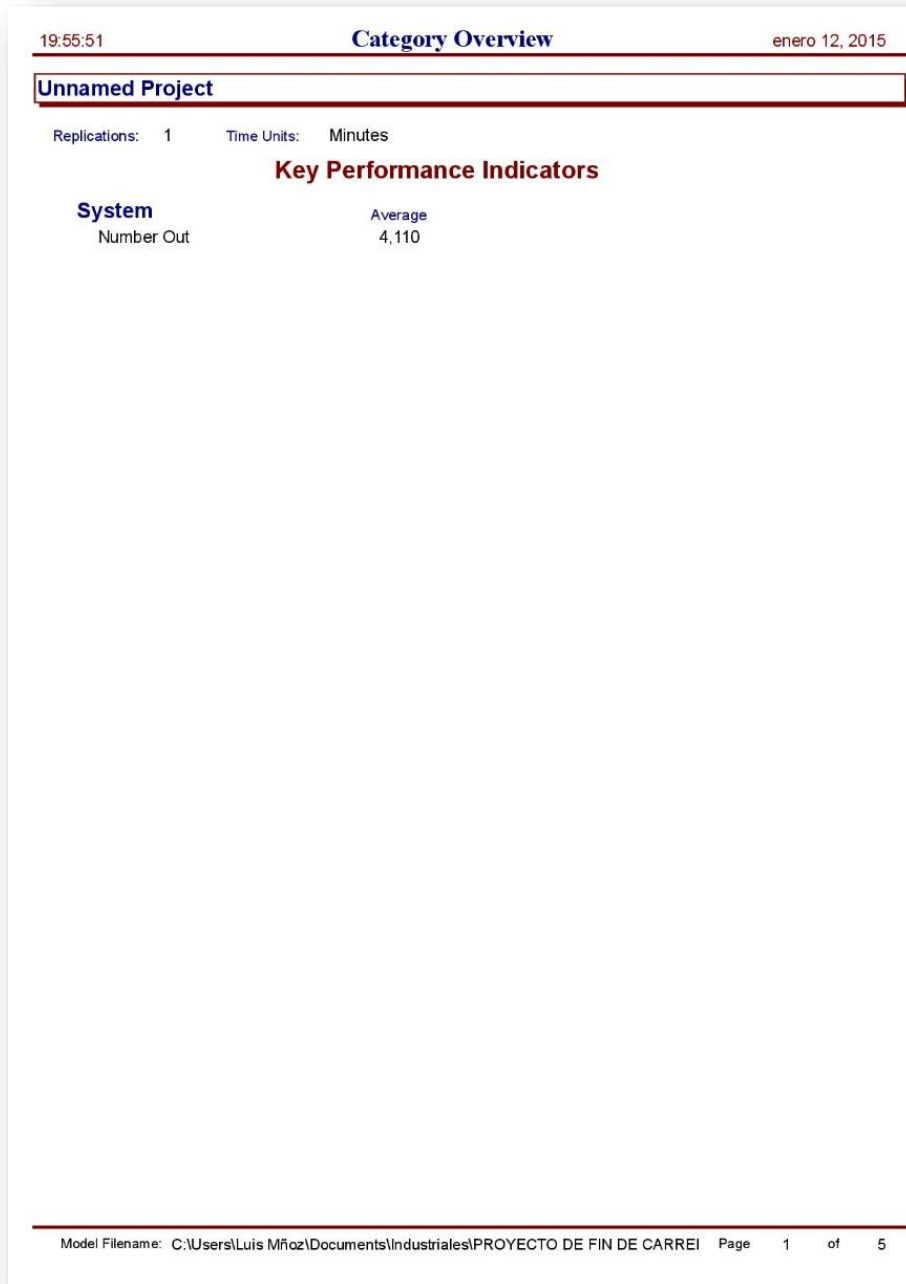


ILUSTRACIÓN 88: REPORT SIN RETROALIMENTACIÓN PAG. 1

La ilustración 88 corresponde a la portada del informe de la primera simulación, correspondiente al modelo sin retroalimentación. La ilustración ofrece un dato referente al número entidades que han sido simuladas desde su creación hasta su final, y como se puede apreciar han sido simuladas 4110 entidades.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	9.3679	0,087343887	5.0635	14.9283
contenedor camion	9.3300	0,123609195	5.2511	14.6932
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	0.00	0,000000000	0.00	0.00
contenedor camion	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	2434.43	(Correlated)	1,0492	5854.82
contenedor camion	174.01	22,19761	0.00	869.15
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	6.6956	0,168597561	0.00	15.0209
contenedor camion	2.2680	0,183526587	0.00	7.5988
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	7.0638	0,159006141	0.00	14.7875
contenedor camion	6.3445	0,235275553	0.00	12.2974
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	2457.56	(Correlated)	22.9672	5876.02
contenedor camion	191.95	22,26028	10.8424	890.92

Other

Number In	Value
contenedor	5050.00
contenedor camion	1125.00

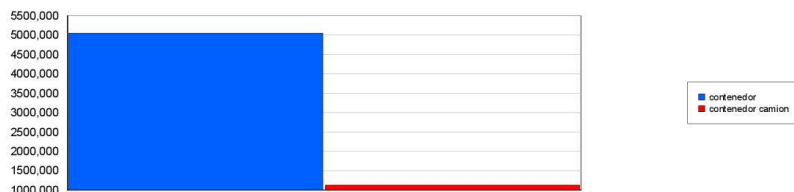


ILUSTRACIÓN 89: REPORT SIN RETROALIMENTACIÓN PAG. 2

La ilustración 89 corresponde a la segunda página del informe de la primera simulación, correspondiente al modelo sin retroalimentación. La ilustración se ofrece gran variedad de datos, tales como el tiempo medio de espera de cada entidad o su tiempo medio de transferencia. También refleja el número de entidades de cada tipo que han sido creadas durante la simulación, lo cual se ve representado en la gráfica que realiza una comparativa entre el número de entidades creadas de cada tipo.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Other**

Number Out	Value
contenedor	2988.00
contenedor camion	1122.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	1055.60	(Correlated)	0.00	2064.00
contenedor camion	15.0025	1,86376	0.00	54.0000

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
GRUA 1.Queue	86.8315	15,38851	0.00	1208.31
GRUA 2.Queue	224.58	49,71938	0.00	2424.35
GRUA 3.Queue	53.2839	13,38248	0.00	468.61
SOL.CAMION.Queue	2256.13	(Correlated)	0.00	4565.53
SOL.CAMION2.Queue	2315.43	(Correlated)	0.00	4658.82
SOL.CAMION3.Queue	2335.45	(Correlated)	0.00	4598.38
SOL.CAMION4.Queue	2319.95	(Correlated)	0.00	4722.88
SOL.CAMION6.Queue	2393.67	(Correlated)	0.00	4733.87

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
GRUA 1.Queue	8.1026	(Correlated)	0.00	28.0000
GRUA 2.Queue	26.0226	(Correlated)	0.00	50.0000
GRUA 3.Queue	4.5772	1,20985	0.00	24.0000
SOL.CAMION.Queue	157.10	(Correlated)	0.00	324.00
SOL.CAMION2.Queue	268.21	(Correlated)	0.00	541.00
SOL.CAMION3.Queue	193.89	(Correlated)	0.00	365.00
SOL.CAMION4.Queue	94.5368	(Correlated)	0.00	193.00
SOL.CAMION5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
SOL.CAMION6.Queue	311.95	(Correlated)	0.00	623.00

ILUSTRACIÓN 90 : REPORT SIN RETROALIMENTACIÓN PAG. 3

La ilustración 90 corresponde a la tercera página del informe de la primera simulación, correspondiente al modelo sin retroalimentación. La ilustración se ofrece gran variedad de datos, tales como la cantidad de entidades de cada tipo que han completado su recorrido en la simulación. También refleja los datos concernientes a las colas generadas en el modelo, el tiempo medio de espera en cada cola así como la media de entidades que están esperando durante la simulación.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	0.9972	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA1	0.8707	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA2	0.9999	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA3	0.8013	0,056684466	0.00	1.0000

Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	29.9167	(Insufficient)	0.00	30.0000
GRUA1	0.8707	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA2	0.9999	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA3	0.8013	0,056684466	0.00	1.0000

Number Scheduled				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	30.0000	(Insufficient)	30.0000	30.0000
GRUA1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
GRUA2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
GRUA3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Scheduled Utilization	
	Value
CAMION	0.9972
GRUA1	0.8707
GRUA2	0.9999
GRUA3	0.8013



ILUSTRACIÓN 91: REPORT SIN RETROALIMENTACIÓN PAG. 4

La ilustración 91 corresponde a la cuarta página del informe de la primera simulación, correspondiente al modelo sin retroalimentación. La ilustración se ofrece gran variedad de datos, en lo referente al porcentaje de uso de los recursos.

El informe te ofrece datos como la media de la utilización instantánea, el porcentaje de utilización etc. También ofrece una gráfica con la comparativa sobre el grado de utilización entre los diferentes recursos.

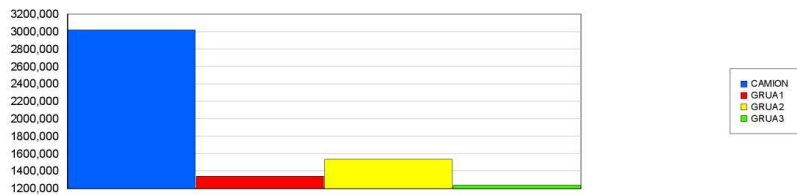
Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
CAMION	3018.00
GRUA1	1340.00
GRUA2	1535.00
GRUA3	1237.00



User Specified

Counter

Count	Value
Record 29	4110.00
Record 30	1122.00

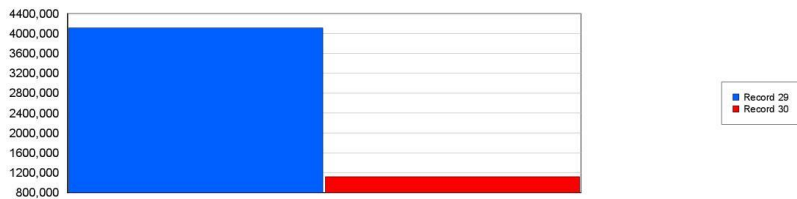


ILUSTRACIÓN 92: REPORT SIN RETROALIMENTACIÓN PAG. 5

La ilustración 92 corresponde a la quinta página del informe de la primera simulación, correspondiente al modelo sin retroalimentación. La ilustración se ofrece dos gráficas comparativas una sobre los recursos empleados y la otra sobre los contadores que se han introducido en el modelo.

7.2. Resultados de la Simulación en el modelo con Retroalimentación

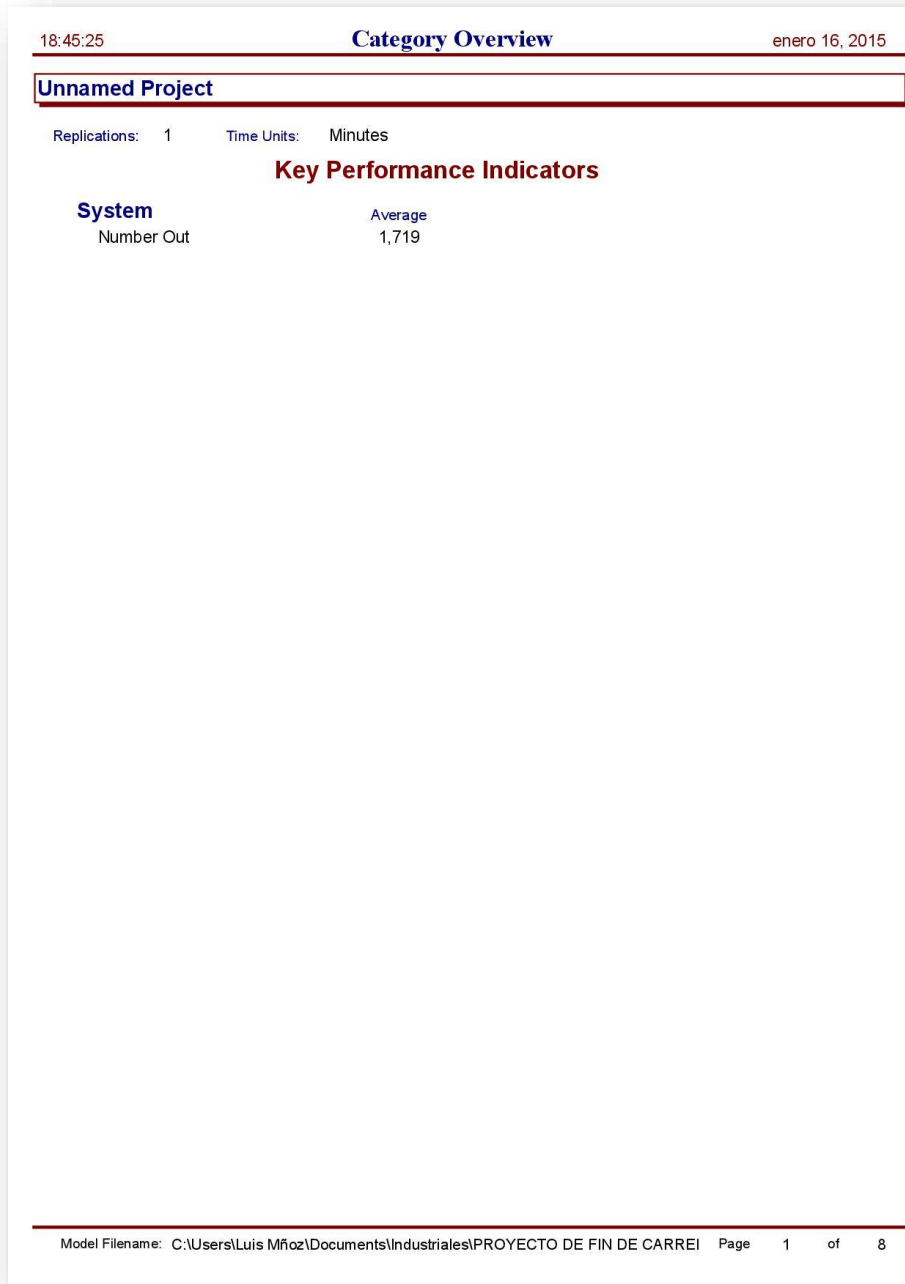


ILUSTRACIÓN 93: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG.

La ilustración 93 corresponde a la portada del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración debería ofrecer un dato referente al número entidades que han sido simuladas desde su creación hasta su final, pero debido al modelo el cual une entidades el dato aportado no es relevante.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	9.1852	0,169627197	5.1415	14.5233
contenedor camion	9.3630	0,132128936	5.1415	14.9282
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	0.00	0,000000000	0.00	0.00
contenedor camion	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	9.5202	0,459254496	2.5413	45.3432
contenedor camion	76.8972	5,52507	0.00	242.26
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	4.8903	0,108926213	0.00	8.5503
contenedor camion	2.2750	0,242149299	0.00	7.6687
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	0.1344	(Correlated)	0.00	10.9521
contenedor camion	6.4411	0,282105187	0.5632	12.3614
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	23.7301	0,703371814	12.8077	62.3369
contenedor camion	94.9763	5,59112	11.8399	265.14

Other

Number In	Value
contenedor	8759.00
contenedor camion	1125.00

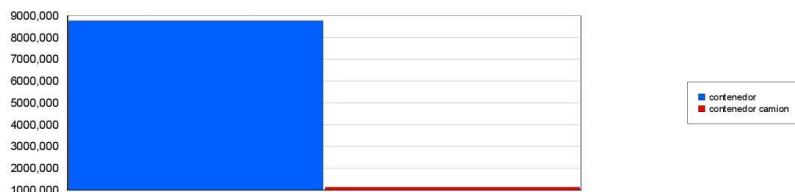


ILUSTRACIÓN 94 : REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 2

La ilustración 94 corresponde a la segunda página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece gran variedad de datos, tales como el tiempo medio de espera de cada entidad o su tiempo medio de transferencia. También refleja el número de entidades de cada tipo que han sido creadas durante la simulación, lo cual se ve representado en la gráfica que realiza una comparativa entre el número de entidades creadas de cada tipo.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Other**

Number Out	Value			
contenedor	20.0000			
contenedor camion	1122.00			
WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
contenedor	4390.02	(Correlated)	0.00	8739.00
contenedor camion	7.4376	0,967187888	0.00	45.0000

ILUSTRACIÓN 95: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 3

La ilustración 95 corresponde a la tercera página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece información referida a las entidades, tales como la cantidad de entidades de cada tipo que han completado su recorrido en la simulación, como ya se ha mencionado anteriormente debido al modelo, el cual une entidades, esta información no es relevante.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batch 13.Queue	0.01666667	(Correlated)	0.00	0.03333333
Batch 18.Queue	0.01666667	(Correlated)	0.00	0.03333333
Batch 2.Queue	0.01666667	(Correlated)	0.00	0.03333333
Batch 23.Queue	0.01666667	(Correlated)	0.00	0.03333333
Batch 29.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 3.Queue	0.01666667	(Insufficient)	0.00	0.03333333
Batch 8.Queue	0.1632	0,001546144	0.00	0.3333
GRUA 1.Queue	104.52	7,95362	0.00	380.75
GRUA 2.Queue	92.8599	7,05717	0.00	311.76
GRUA 3.Queue	102.57	8,28484	0.00	329.12
SOL.CAMION.Queue	983.62	(Correlated)	0.00	2527.34
SOL.CAMION2.Queue	2119.04	(Correlated)	0.00	6226.85
SOL.CAMION3.Queue	2607.95	(Correlated)	0.00	9485.11
SOL.CAMION4.Queue	174.72	(Correlated)	0.00	510.90
SOL.CAMION6.Queue	3108.28	(Correlated)	0.00	6422.74

Other

ILUSTRACIÓN 96: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 4

La ilustración 96 corresponde a la cuarta página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece información concerniente a las colas generadas en el modelo como el tiempo medio de espera en cada cola.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batch 10.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 11.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 12.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 13.Queue	0.00154630	0,000104124	0.00	2.0000
Batch 14.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 15.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 16.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 17.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 18.Queue	0.00167361	0,000092202	0.00	2.0000
Batch 19.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 2.Queue	0.00135880	0,000106434	0.00	2.0000
Batch 20.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 21.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 22.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 23.Queue	0.00089815	0,000055421	0.00	2.0000
Batch 24.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 25.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 26.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 27.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 29.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000
Batch 3.Queue	0.00014583	(Insufficient)	0.00	2.0000
Batch 4.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 6.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 8.Queue	0.02402334	0,001049950	0.00	2.0000
Batch 9.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
GRUA 1.Queue	11.2875	0,809841533	0.00	36.0000
GRUA 2.Queue	10.0589	0,631040262	0.00	29.0000
GRUA 3.Queue	11.0966	0,696717262	0.00	32.0000
SOL.CAMION.Queue	57.4617	(Correlated)	0.00	123.00
SOL.CAMION2.Queue	175.34	(Correlated)	0.00	325.00
SOL.CAMION3.Queue	213.37	(Correlated)	0.00	421.00
SOL.CAMION4.Queue	7.2632	(Correlated)	0.00	25.0000
SOL.CAMION5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
SOL.CAMION6.Queue	429.44	(Correlated)	0.00	863.00

ILUSTRACIÓN 97: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 5

La ilustración 97 corresponde a la quinta página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece información concerniente a las colas generadas en el modelo como la media de entidades que están esperando durante la simulación.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	0.9968	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA1	0.9998	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA2	0.9999	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA3	0.9998	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	29.9047	(Insufficient)	0.00	30.0000
GRUA1	0.9998	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA2	0.9999	(Insufficient)	0.00	1.0000
GRUA3	0.9998	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
CAMION	30.0000	(Insufficient)	30.0000	30.0000
GRUA1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
GRUA2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
GRUA3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization				
	Value			
CAMION	0.9968			
GRUA1	0.9998			
GRUA2	0.9999			
GRUA3	0.9998			

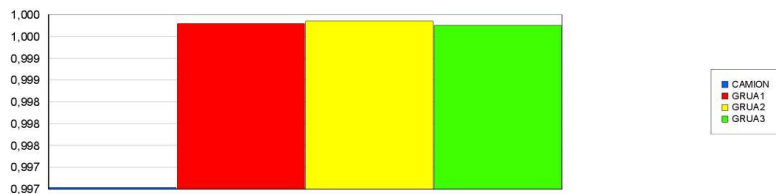


ILUSTRACIÓN 98: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 6

La ilustración 98 corresponde a la sexta página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece gran variedad de datos, en lo referente al porcentaje de uso de los recursos.

El informe te ofrece datos como la media de la utilización instantánea, el porcentaje de utilización etc. También ofrece una gráfica con la comparativa sobre el grado de utilización entre los diferentes recursos.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
CAMION	40.0000
GRUA1	1546.00
GRUA2	1536.00
GRUA3	1543.00

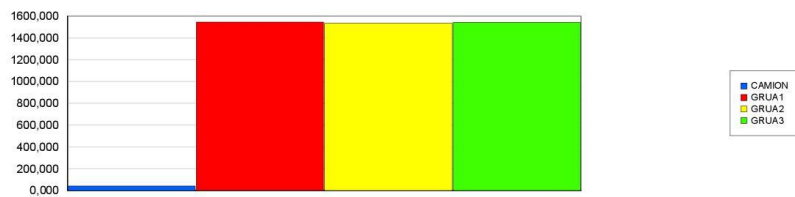


ILUSTRACIÓN 99: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 7

La ilustración 99 corresponde a la séptima página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración contiene una gráfica comparativa del número de solicitudes de cada tipo de recurso por parte de las colas.

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

User Specified

Counter

Count	Value
Record 10	0.00
Record 11	668.00
Record 12	0.00
Record 13	0.00
Record 14	0.00
Record 15	0.00
Record 16	723.00
Record 17	0.00
Record 18	0.00
Record 19	0.00
Record 2	63.0000
Record 20	0.00
Record 21	388.00
Record 22	0.00
Record 23	0.00
Record 24	0.00
Record 25	0.00
Record 29	4622.00
Record 3	0.00
Record 30	1122.00
Record 4	0.00
Record 5	0.00
Record 6	1060.00
Record 7	0.00
Record 8	0.00
Record 9	0.00

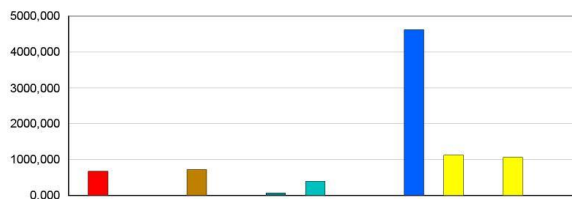


ILUSTRACIÓN 100: REPORT CON RETROALIMENTACIÓN PAG. 8

La ilustración 100 corresponde a la octava página del informe de la segunda simulación, correspondiente al modelo con retroalimentación. La ilustración se ofrece una gráfica comparativa una sobre contadores que se han introducido en el modelo, así como el resultado cosechado por cara contador.

7.3. Análisis de los resultados de las simulaciones en el modelo

En este apartado se va comentar y comparar los resultados de las simulaciones obtenidas del modelo sin retroalimentación y del modelo con retroalimentación, para ello se hará referencia a las figuras anteriormente descritas para facilitar su comprensión.

Los dos modelos han sido simulados bajo las mismas condiciones. En las ilustraciones 101 y 102 correspondientes a la segunda hoja de los resultados de ambas simulaciones se puede contemplar datos que a simple vista pueden parecer correctos dado que los tiempos de espera o *Wait Time* de las entidades contenedor son mucho menores para el modelo con retroalimentación.

Estos datos no pueden usarse para comparar la eficiencia de los dos modelos debido al sistema mediante el que se ha implementado la retroalimentación, es decir, para unir dos entidades y enviarla de vuelta con otro objetivo se ha utilizado un módulo que genera colas, por ello al hacer la media entre las colas esta medida se ve distorsionada por estos módulos.

Wait Time	Average
contenedor	9.5202
contenedor camion	76.8972
Transfer Time	Average
contenedor	4.8903
contenedor camion	2.2750

ILUSTRACIÓN 101: HOJA 2 CON RETRO

Wait Time	Average
contenedor	2434.43
contenedor camion	174.01
Transfer Time	Average
contenedor	6.6956
contenedor camion	2.2680

ILUSTRACIÓN 102: HOJA 2 SIN RETRO

Es importante señalar que el tiempo de espera es el resultado de la suma del tiempo de espera que sufre la entidad en las colas y el tiempo simulado como desplazamientos por un módulo *Delay*.

Sin embargo si se puede comparar el tiempo de espera o *Wait time* de la entidad *contenedor camion* dado que está sujeta a las mismas condiciones en ambos modelos.

En las ilustraciones mencionadas anteriormente, la 101 y 102, se puede ver que el tiempo de espera para este tipo de entidades es significativamente menor para el modelo con retroalimentación esto es debido a que para el caso con retroalimentación hay un uso mucho más eficiente de los recursos lo que conlleva a reducir los tiempos de espera.

En las Ilustraciones 103 y 104.

Waiting Time	Average	Waiting Time	Average
Batch 13.Queue	0.01666667	GRUA 1.Queue	86.8315
Batch 18.Queue	0.01666667	GRUA 2.Queue	224.58
Batch 2.Queue	0.01666667	GRUA 3.Queue	53.2839
Batch 23.Queue	0.01666667	SOL.CAMION.Queue	2256.13
Batch 29.Queue	0.00	SOL.CAMION2.Queue	2315.43
Batch 3.Queue	0.01666667	SOL.CAMION3.Queue	2335.45
Batch 8.Queue	0.1632	SOL.CAMION4.Queue	2319.95
GRUA 1.Queue	104.52	SOL.CAMION6.Queue	2393.67
GRUA 2.Queue	92.8599		
GRUA 3.Queue	102.57		
SOL.CAMION.Queue	983.62		
SOL.CAMION2.Queue	2119.04		
SOL.CAMION3.Queue	2607.95		
SOL.CAMION4.Queue	174.72		
SOL.CAMION6.Queue	3108.28		

ILUSTRACIÓN 104 : HOJA 3 SIN RETRO

ILUSTRACIÓN 103: HOJA 3 CON RETRO

En las hojas 4 del modelo sin retroalimentación y 6 del modelo con retroalimentación se puede observar un gráfico donde se muestra el grado de utilización de los recursos, esto se corresponde con las ilustraciones 105 y 106.

Los números no son relevantes de por si dado al alto grado de utilización de ellos, lo que es relevante es la comparación. Es decir, en el modelo sin retroalimentación se puede ver que el recurso *camión* es de lo más usado mientras que en el otro modelo es con diferencia lo menos usado; lo que significa que el modelo tiene un grado alto de eficiencia dado que se ha optimizado el grado de utilización del recurso más crítico.

Se ha conseguido que las grúas estén casi nunca paradas lo que implica un gran logro para el modelo.

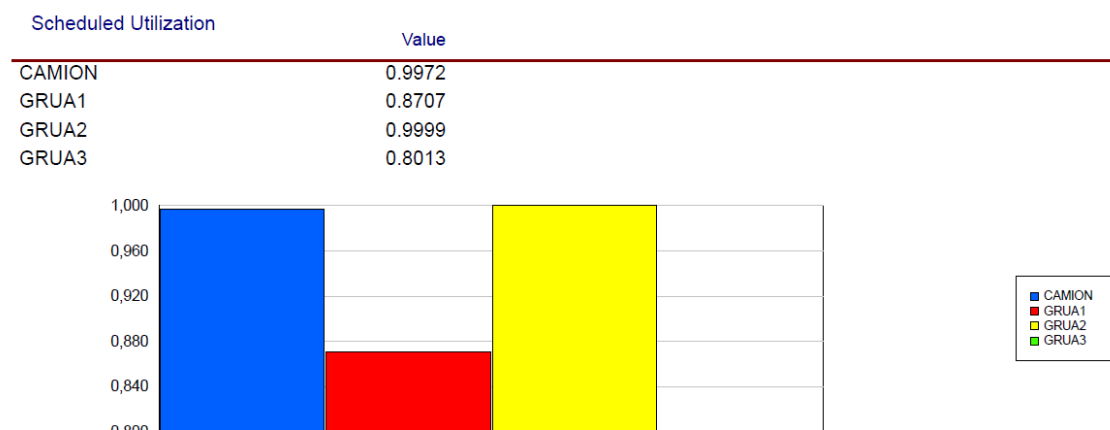


ILUSTRACIÓN 105: HOJA 4 SIN RETRO

Scheduled Utilization	Value
CAMION	0.9968
GRUA1	0.9998
GRUA2	0.9999
GRUA3	0.9998



ILUSTRACIÓN 106: HOJA 6 CON RETRO

En las siguientes hojas de los respectivos modelos se tiene un gráfico que representa el número de veces que se ha solicitado cada recurso esto se corresponde con las ilustraciones 107 y 108.

La diferencia entre ambos es muy significativa, para el modelo sin retroalimentación se ha requerido el recurso camión 3018 veces mientras que para el otro solamente 40, con lo que se puede concluir que todas las veces salvo diez se ha realimentado el recurso.

Usage

Total Number Seized	Value
CAMION	40.0000
GRUA1	1546.00
GRUA2	1536.00
GRUA3	1543.00



ILUSTRACIÓN 107: HOJA 7 CON RETRO

Usage

Total Number Seized	Value
CAMION	3018.00
GRUA1	1340.00
GRUA2	1535.00
GRUA3	1237.00

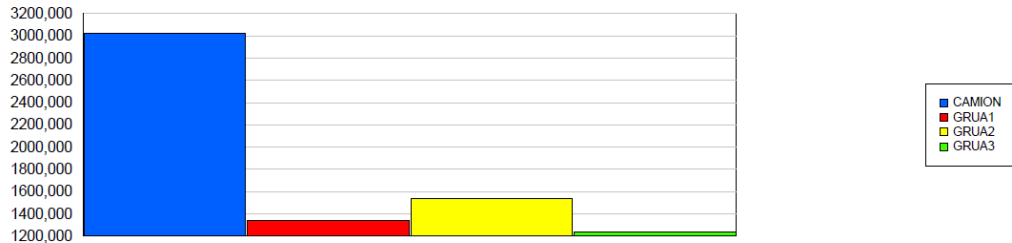


ILUSTRACIÓN 108: HOJA 5 SIN RETRO

Para concluir en las últimas hojas de ambos informes, correspondientes a las ilustraciones 92 y 100, se tiene un recuento de todos los contadores del sistema.

El Record 29 representa en ambas simulaciones el total de entidades tratadas, es decir, el número de contenedores servidos.

El resultado es claro, gracias a la retroalimentación se ha podido servir alrededor de 500 contenedores más en el mismo periodo. También se puede observar las veces que los camiones han sido realimentados, un total de 2209 aunque se puede ver que este servicio sólo ha sido utilizado para ciertas zonas, por esta razón en la ilustraciones 103 y 104 se muestra como en sólo algunas de las colas el tiempo de espera ha sido reducido drásticamente mientras que otras apenas han sufrido variación con respecto al modelo sin retroalimentación.

El módulo Record 30 representa las entidades tipo contenedor camión que no están sujetas a la retroalimentación, se puede observar como el número en ambos casos es idéntico.

Aunque como se ha comentado anteriormente el tiempo que tarda al llegar a su destino esta entidad para el caso con retroalimentación es significativamente menor que para el caso sin retroalimentación; esto es debido a que para el caso con retroalimentación hay un uso mucho más eficiente de los recursos lo que conlleva a reducir los tiempos de espera.

8. Conclusiones

Debido a la globalización y a la evolución hacia un mercado mundial, el transporte de mercancías es y seguirá siendo una pieza clave para el buen desarrollo de este mismo. Por lo tanto, las TPC seguirán cobrando cada vez mayor importancia como parte de una logística que funcione a nivel global. La importancia de este tipo de problema reside en garantizar la eficiencia de las TCP para el correcto flujo de mercancías y la minimización de los costes de transporte.

El proyecto se ha dividido en nueve capítulos, cada uno de ellos ha ido describiendo, explicando y fundamentando el mismo. A continuación se detallará brevemente cada parte a modo de recordatorio.

En el primer capítulo se detalla el objetivo del proyecto así como su razón de ser. A su vez se define este proyecto como la solución a un problema, “The landside transport”, el cual ha sido enfocado desde muchos puntos de vista a la hora de su resolución.

En el segundo capítulo del proyecto se realiza una introducción y contextualización de la actualidad de las terminales portuarias. Es decir, se recorre la historia del crecimiento del transporte marítimo y así como el aumento del uso de estas terminales. Además se hace una clasificación de los diferentes tipos de mercancías que pasan por estas terminales.

En este mismo capítulo, se destaca la importancia del transporte marítimo a nivel mundial en distintos ámbitos, concretando más en el caso del transporte marítimo de contenedores.

Una vez realizada esta introducción se pasa al tercer capítulo donde se explican una serie de conceptos básicos para entender lo que es una terminal de contenedores y sus tipos.

Así como los servicios que ofrece, como la carga y descarga de mercancías, el almacenamiento de mercancías etc. Además, se enumeran y explican los distintos tipos de maquinaria de manipulación de contenedores, lo que es esencial para entender el proyecto.

El cuarto capítulo está dirigido a hacer una breve introducción a la simulación, que es la pieza en la que se basa todo este proyecto. Dado que se ha tenido que modelar un sistema de dos formas diferentes.

Tras ello entramos en el quinto capítulo donde se dan unas nociones básicas del software que se ha escogido para modelar dicho sistema. En estas nociones se explican los módulos que se han usado para modelar dicho sistema y las pantallas principales de este software que son en donde se ha diseñado y simulado dicho modelo.

Una vez llegado a este punto, el sexto capítulo pasa a la descripción del sistema que se quiere simular y a la descripción de los modelos que se han implementado. Se realiza una descripción detallada de los modelos los cuales se ha subdividido por zonas.

Tras el séptimo capítulo, referido al análisis de los resultados obtenido, se llega al octavo y actual capítulo donde se extraen una serie de conclusiones relacionadas con los análisis de los resultados.

Es evidente que el primer modelo simulado, es un modelo muy básico y con escasa eficiencia, aun así constituye una base para poder realizar una comparación con el modelo con retroalimentación.

La primera conclusión que se puede realizar es que aumentar los recursos no siempre garantiza un aumento en la eficiencia en la del sistema.

Es decir, como se puede ver en los informes, mientras que en el modelo con retroalimentación se solicita el recurso *camión* 40 veces, en el modelo sin retroalimentación se solicita este mismo recurso 3018. Aunque este modelo dispusiera de ese número de camiones no por ello sería mejor ni más eficiente que el modelo con retroalimentación.

La segunda conclusión surge a raíz de la primera; el modelo con retroalimentación consigue que los recursos críticos sean las Grúas RTGs.

Es decir, mientras que en el modelo sin retroalimentación el grado de la utilización de las grúas es de 87% y 80% en dos de ellas, en el modelo con retroalimentación el grado de utilización de todas ellas está entorno al 99,9% lo que implica que aunque hubiera más camiones que transportasen más fluidamente los contenedores se verían a la espera de que pudieran ser atendidos por una grúa.

Esto se traduce en que el modelo con retroalimentación es totalmente eficiente con respecto al recurso *camión*, por lo que implica que una inversión en esta terminal debería ir dirigida a aumentar el número de grúas y no el número de camiones.

Sería un error hoy en día mejorar las instalaciones de cualquier puerto si estas no están optimizadas y no se ha determinado previamente qué recurso es el crítico, el que ralentiza el proceso debido a su escaso número.

La tercera conclusión que arroja este estudio es que incluso las entidades que no requieren del recurso que se está optimizando con el modelo con retroalimentación (el recurso *camión*), ve como su eficiencia mejora al mejorar la de este recurso.

Ese es el caso de la entidad *contenedor camión*. El tiempo que tarda un camión de un tercero en cargar o descargar un contenedor de la TCP se ve considerablemente reducido en el modelo con retroalimentación.

La media de esta entidad en completar su recorrido pasa de una media de 176 minutos en el modelo sin retroalimentación a una de 74 minutos aproximadamente. Lo cual da lugar a la conclusión de que haciendo eficiente una parte del sistema se hacen eficientes a su vez otras partes del sistema, que a simple vista no están relacionadas.

La cuarta y última conclusión de este estudio es el aumento de la capacidad de transportar contenedores de un modelo con retroalimentación de camiones a otro sin retroalimentación.

Existe una diferencia de 500 contenedores respecto a las dos simulaciones en una simulación de 10 días; lo que implica que se ha aumentado la velocidad de transporte en un nada despreciable 12%, esto se ha conseguido ahorrando en km recorridos por cada camión y en esperas en colas.

9. Bibliografía

AENOR. (2003). *UNE 117101:2003 Contenedores de la serie I. Clasificación, dimensiones y masas brutas máximas.*

Arango, C. (2014). *Optimización basada en simulación para la gestión de operaciones de las terminales de contenedores portuarias. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla*

Zupick, Nancy; Sadowski, Randall y Kelton, David (2002) *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, New York

www.cadenadesuministro.es

www.Puertoseco.com

gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/.../practicasaRENAresueltas.pdf

isi.unal.edu.co/...Arena/02B.%20CursoARENA_2_PanelBasico_ConSol

iiesl.utk.edu/Courses/IE406%20S07/Slides/Arena%20User%27s%20Guide.pdf