



PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SIMULACIÓN DEL SERVICIO LOGÍSTICO DE DADA A VW

Autor: Pedro De Antonio

Director de Tesis: Ing. Ivan Vilaboa – Profesor cátedras de
Simulación (11.63) e Investigación Operativa (11.51).

2012

Resumen

Uno de los principales negocios de la empresa DADA Logística es el abastecimiento “Just in Sequence” de autopartes a Volkswagen Argentina. Esta modalidad es similar al “Just in Time” pero incluye, además, la colocación de las piezas necesarias según la secuencia de producción de la línea automotriz. Uno de los principales recursos utilizados para esta operación son los camiones con los que se abastece desde los depósitos de secuenciado (DADA) a la línea de Volkswagen. Al detectar una sub-utilización en estos recursos, se decide simular la operación en el programa Arena para obtener la configuración óptima de camiones necesarios para mejorar la productividad y mantener el nivel de servicio.

Para simular este proceso, se opta por realizar una simulación multi-etapa o simulación distribuida. Esta técnica consiste en separar el modelo en diferentes sub-modelos y utilizar los outputs de un sub-modelo como inputs del sub-modelo siguiente. Se elige esta técnica para separar el proceso global en sus 3 etapas más importantes y así poder analizar y validar los resultados obtenidos en cada una de ellas. Básicamente, se simula la preparación de pedidos por personal de DADA, el armado de las cargas para los camiones y el transporte a planta (esta última es la etapa en la que se hace foco en el proyecto ya que se busca optimizar la flota a utilizar).

Luego de realizar la simulación de la situación actual y validar y verificar que el modelo se comporta como la realidad, se procede a la experimentación y evaluación de alternativas. Los resultados obtenidos son muy alentadores ya que se logran reducciones importantes en la flota a utilizar, por lo que se pueden maximizar las utilidades de la empresa y reducir los tiempos ociosos de los camiones y choferes contratados.

Summary

One of the main businesses in DADA Logistics is the supply of auto parts to Volkswagen Argentina in the form of Just in Sequence. Just in Sequence is quite similar to Just in Time, but it also includes the placement of the auto parts needed following the sequence of production given by the automotive production line. One of the main resources used for this operation are the trucks used to supply the Volkswagen production line from the warehouses (DADA). After detecting an underutilization of these resources, it has been decided to simulate the whole process with the Arena software in order to find out which is the optimum truck configuration needed to improve the productivity and maintain the actual level of service.

While simulating this process, it has been decided to perform a multi-stage simulation or distributed simulation. This technique consists of separating the model in different sub-models and using the outputs of one sub-model as inputs to the following sub-model. This technique is chosen to separate the overall process in the 3 most important stages in order to test and validate the results obtained in each one of them. In a few words, the simulation consists of the preparation of orders by DADA's staff, the assembly of truck's loads, and the transportation to Volkswagen production plant (this last stage is the one the project is focused on since its aim is to optimize the truck fleet to be used).

After the simulation of the current situation and verifying and validating that it behaves in a similar way to reality, testing and analyzing different alternatives follows. The results obtained are very encouraging as they achieve significant reductions in the amount of trucks to be used, so there is a possibility to maximize the profits and reduce idle time of hired trucks and drivers.

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutor del proyecto, el Ingeniero Ivan Vilaboa sin el cual hubiese sido imposible destrabar algunos inconvenientes encontrados en la etapa del desarrollo del simulador. Su buena predisposición y compromiso con el proyecto han sido determinantes para que se pueda completar el trabajo.

En segundo lugar, pero no por eso menos importante, quiero agradecer a todas las personas de DADA que colaboraron con este proyecto. Desde la gerencia que me permitió realizar el proyecto basado en la empresa y utilizar información real de la misma, hasta las personas involucradas en las operaciones que me ayudaron con el entendimiento de los procesos, con la toma de tiempos y con la recolección de información.

Contenido

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DADA.....	2
3. PROCESO A ESTUDIAR	3
3.1 Just in Time / Just in Sequence	3
3.2 Descripción del Servicio: Secuenciado de Piezas.....	4
4. ESTUDIO DE SIMULACIÓN.....	8
4.1 Secuencia del Estudio	8
5. MODELO CONCEPTUAL.....	14
5.1 Descripción del Problema	14
5.2 Objetivo.....	16
5.3 Conceptualización del Modelo	16
6. MODELO DE DATOS	21
6.1 Variables	21
6.2 Parámetros.....	24
7. DESARROLLO DEL SIMULADOR	26
7.1 Selección del Software.....	26
7.2 Detalle de los Sub-Modelos	27
8. VALIDACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN	37
8.1 Análisis situación actual	37
8.2 Presentación de Alternativas.....	40
8.2.1 Alternativa I	40
8.2.2 Alternativa II.....	40
8.2.3 Alternativa III	40
8.2.4 Alternativa IV.....	40
8.3 Análisis de Alternativas	43
8.3.1 Alternativa I	43
8.3.2 Alternativa II.....	44

8.3.3 Alternativa III	45
8.3.4 Alternativa IV.....	46
8.4 Datos Análisis Económico.....	50
9. RECOMENDACIONES.....	51
10. CONCLUSIONES	53
11. ANEXO I: LAYOUT SUPPLIER PARK	54
12. ANEXO II: PIEZAS Y RACKS DE SECUENCIADO	55
13. ANEXO III: EXTRACTO DE DATOS PARA OBTENER DISTRIBUCIONES ...	57
Extracto de Base de Datos para el Tiempo Entre Señales	57
Tiempos de Viaje	58
Tiempos de Carga/Descarga	59

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Estudio de Simulación de la operación logística de la empresa DADA, para obtener la optimización de los recursos empleados en el abastecimiento de la línea de VW Argentina mediante el análisis de distintos indicadores que determinarán la conveniencia o no de implementar el proyecto.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto surge al detectar una oportunidad de mejora del uso de los recursos en la operación logística de abastecimiento Just in Sequence a Volkswagen Argentina dentro de la empresa DADA Logística. Dadas las características del problema, la Simulación de Eventos Discretos resulta ser una herramienta sumamente útil analizarlo. El proyecto abarca el estudio de la situación actual, el desarrollo del simulador en el Software Arena 12.0, la presentación de alternativas al modelo actual, y las conclusiones y recomendaciones obtenidas. Enfocar el proyecto con el uso de esta herramienta brinda la posibilidad de analizar alternativas con distintos indicadores, y tomar decisiones sobre estas alternativas con bases sólidas.

El abastecimiento a línea en la modalidad Just in Sequence es uno de los principales negocios de la empresa, y conseguir una reducción en sus costos representa una estrategia muy grande para mejorar la utilidad de la empresa. Finalmente, el presente proyecto se puede extrapolar a otros negocios de la empresa, brindando una herramienta de planificación global que incluya otras empresas automotrices como Ford o Fiat (clientes a los cuales se les presta el servicio de JIS actualmente).

Es importante aclarar que se tiene el consentimiento de la empresa para presentar este proyecto como Proyecto Final de Ingeniería Industrial. Si bien cierta información era originalmente de uso interno, no se informan valores de facturación ni información que ponga en riesgo a la compañía.

2. DADA

DADA S.A., empresa perteneciente al Grupo RB, se inició hace 40 años en el mercado de transportes de cargas brindando servicios a las empresas del grupo y a importantes industrias.

Durante su trayectoria ha ido desarrollando nuevas ofertas de servicios logísticos que incluyen transporte, warehousing, y embalajes. DADA S.A. ha evolucionado optimizando su eficiencia, estando preparada para contribuir en el desarrollo de los procesos logísticos de los clientes, agregando valor a sus productos.

DADA S.A. ofrece el diseño, la implementación y la operación de servicios eficientes y flexibles de acuerdo con los estándares de los mercados más competitivos.

DADA cuenta con una infraestructura de depósitos con equipamiento adecuado para ofrecer soporte a las distintas operaciones de los clientes en AMBA (Pacheco), Rosario y Córdoba.

La empresa cuenta con operaciones de transporte de corta y larga distancia, administrando una moderna flota dedicada que supera las 100 unidades entre propias y subcontratadas. Las mismas están equipadas con custodia satelital, comunicadas con la base de tráfico por medio de telefonía celular, y conducidas por personal experimentado. Esto permite que la empresa brinde un transporte seguro, en tiempo y forma.

3. PROCESO A ESTUDIAR

3.1 Just in Time / Just in Sequence

"Just in time" (JIT), literalmente quiere decir "Justo a tiempo". Es una filosofía que define la forma en que debería optimizarse un sistema de producción. Se trata de entregar materias primas o componentes a la línea de fabricación de forma que lleguen "justo a tiempo" a medida que son necesarios. El JIT no es un medio para conseguir que los proveedores hagan muchas entregas y con absoluta puntualidad para no tener que manejar grandes volúmenes de existencia o componentes comprados, sino que es una filosofía de producción que se orienta a la demanda. La ventaja competitiva ganada deriva de la capacidad que adquiere la empresa para entregar al mercado el producto solicitado, en un tiempo breve, en la cantidad requerida. Evitando los costos que no producen valor añadido también se obtendrán precios competitivos.¹

El JIS ("Just in Sequence") es una modalidad que sucesora a la filosofía JIT. Es una solución logística que consiste en la entrega de componentes de forma secuenciada a la línea de montaje. El JIS produce una mejora en el almacenamiento y en el movimiento de las piezas de donde están almacenadas a la línea de montaje y evita posibles desvíos, garantizando una confiabilidad mayor al proceso productivo. La eficacia del sistema, que por lo general utiliza informaciones electrónicas entre la planta productiva y el abastecedor de piezas, facilita el manipuleo de las piezas en la línea de producción, ya que estas ya están almacenadas en la secuencia correcta del montaje del producto en la línea, lo que resulta en una mejor optimización de los espacios físicos. Esta modalidad quedará más clara en el momento que se describa la operación entre DADA y VW.

¹Chicaíza, E. H. 2005 Teorías JIT. B. Universidad Libre Seccional Cúcuta, Colombia.

3.2 Descripción del Servicio: Secuenciado de Piezas



Ilustración 3.1. Esquema de la Operación

El servicio de secuenciado de piezas, o entrega Just in Sequence (JIS) como se lo conoce, es uno de los principales negocios de la empresa, y es el servicio sobre el cual se basa este proyecto. Este servicio cuenta con diferentes flujos de información y mercadería entre DADA, los proveedores y la terminal automotriz, al igual que procesos internos dentro de DADA. A continuación se describen los procedimientos más importantes:

- **Flujo de Información VW – Proveedor:** VW le comunica a sus diferentes proveedores de autopartes cual es el plan de producción (cantidad de autos/camionetas, modelo, color, etc.) para que estos proveedores realicen la planificación de producción y puedan cumplir con sus requerimientos. Esta información se actualiza día a día para mantener el plan ajustado a los cambios con la mayor precisión posible.
- **Flujo de Información DADA – Proveedor:** DADA informa diariamente los niveles de stock dentro del depósito de cada una de las piezas que maneja. Esta información, sumada al plan de producción de VW le permite a los proveedores conocer las cantidades y tipo de piezas a enviar para mantener un nivel de inventario que le permita a DADA operar con seguridad. Si bien los reportes de inventario se generan y se envían automáticamente, existe una comunicación fluida entre los responsables del inventario en DADA (activadores) y los autopartistas. De esta forma se evita que las distracciones o errores en el sistema provoquen una ruptura de stock.
- **Flujo de Piezas Proveedor – DADA:** Cuando los stocks de DADA están llegando a niveles cercanos al stock de seguridad, el proveedor sabe (por la información que

DADA envía a los autopartistas) que debe enviar las piezas. Luego, se realizan los envíos al depósito teniendo en cuenta el tiempo de viaje. La frecuencia de viajes es relativamente elevada, ya que se busca trabajar con la menor cantidad de inventario posible. Sin embargo, existe un stock de seguridad de piezas, ya que incumplir con un envío a VW puede generar una parada de línea, lo cual trae consecuencias que pueden ser muy graves para el responsable de la parada (DADA o el proveedor).

- **Flujo de Información VW – DADA:** Existe entre VW y DADA una línea de comunicación informática directa (independiente de las redes telefónicas o de internet), llamada Línea Punto a Punto, que funciona como punto de conexión para proveer información en forma muy efectiva. Mediante la Línea Punto a Punto, VW le comunica a DADA el instante en el que cada uno de sus autos pasa por diferentes puntos de la línea de producción. Se informa el momento en el que el vehículo sale de chapistería, cuando sale de pintura, etc. DADA decide tomar como referencia la llamada M100 que representa el momento en el que el vehículo sale de pintura y baja a la línea de montaje.
- **Secuenciado de Piezas:** DADA recibe una llamada M100 cada vez que un vehículo pasa por ese punto de la línea. A partir de que el auto baja a la línea de montaje, existe un tiempo estándar determinado para que pase por cada uno de los puntos de instalación de las piezas que DADA tiene en su depósito; este tiempo se conoce como la “ventana” de la pieza. La señal, se reproduce a cada una de las islas de secuenciado del depósito que tenga alguna pieza de dicho vehículo. La señal que llega a las islas tiene toda la información necesaria para que el operario de secuenciado sepa cuál es la pieza que debe colocar en el Rack de Secuenciado. Vale la pena aclarar que si la señal M100 corresponde a una camioneta Surán, la señal solo se reproduce a las islas que tienen piezas de Surán. Lo mismo ocurre con las piezas de Amarok. Cuando la señal llega a la isla, automáticamente se imprime una etiqueta con las características de las piezas a secuenciar. El operario de secuenciado busca la pieza correspondiente en el pequeño stock disponible en la isla, le pega la etiqueta y luego coloca la pieza en el rack. Las piezas se colocan en el rack en el orden en el cual las señales llegan a DADA, ya que ese es el orden en el cual los autos pasan por la línea, y los operarios de VW sólo deben tomar las piezas en el orden en el que fueron colocadas en DADA y ubicarlas en el auto con la certeza de que es la pieza correcta para el vehículo correspondiente. En DADA se repite esta operación con la llegada de cada una de las señales hasta que:
 - a) se complete el Rack de Secuenciado; momento en el cual se empieza a llenar un rack nuevo.
 - b) se termine la “ventana” de la pieza (la primer pieza colocada en el rack); momento en el cual el rack debe ser despachado sin completar para evitar

una parada en la línea. Lógicamente, luego de despachar este medio incompleto, las piezas correspondientes a las señales siguientes se colocan en un nuevo rack.

- **Flujo de Piezas DADA – VW:** Una vez que los racks se cerraron (ya sea porque están completos o porque se terminó la ventana horaria de las piezas), se cargan los camiones y se envían a VW. Las ventanas de las piezas y la capacidad de piezas para cada rack permiten que los camiones se armen siempre de la misma forma, logrando una estandarización del proceso. Cuando los camiones llegan a VW, son descargados por personal de DADA y las piezas llevadas al punto de instalación inmediatamente.
- **Flujo de Racks Vacíos:** En la mayoría de los casos, los Racks Kan Ban (medios en los cuales los proveedores envían las piezas a DADA) y los Racks de Secuenciado (medios en los cuales DADA envía las piezas a VW) son medios reutilizables. Esto hace que exista un flujo de racks vacíos desde DADA para los proveedores y desde VW a DADA. Para este proyecto en particular solo se va a contemplar el flujo de racks vacíos del abastecimiento JIS. La recuperación de vacíos se hace con los camiones que llevan las piezas a VW. Es decir que descargan los racks llenos, cargan los vacíos, y vuelven a DADA.

Luego de describir todos los procedimientos que influyen en esta operación, vale la pena aclarar que el foco de la investigación se hace en el flujo de piezas y vacíos entre DADA y VW con el objetivo de optimizar la flota de camiones a utilizar.

DADA realiza el secuenciado y transporte de una gran cantidad de piezas de la camioneta Amarok y de la Surán. En total son 17 piezas, 11 de Amarok y 6 de Surán. A continuación se listan todas las piezas a secuenciar, y se adjunta una foto de cada una a modo ilustrativo; además, se muestran los medios que se utilizan para llevar las piezas a la planta de VW:

Las piezas que DADA secuencia, son enviadas a VW en diferentes camiones. Estos camiones, se descargan en distintos puntos de la planta de VW de acuerdo al punto de instalación de las piezas que transportan. Por un lado, las piezas que pertenecen al cuerpo de la camioneta Amarok se descargan en un alero² denominado Rolling Chasis. Por otro lado, están las piezas que se colocan en la puerta de Amarok y las piezas correspondientes al vehículo Surán que se descargan en el alero denominado Surán o Puertas. Estos puntos de descarga son los que más influyen en el armado de los camiones. Más adelante, se verá que las piezas se agrupan en camiones de acuerdo al alero al cual corresponde. La siguiente tabla, en qué alero se descarga cada una de las piezas:

² Alero es el nombre técnico que recibe el espacio destinado a la descarga de camiones en la planta. Cuenta con diferentes posiciones para que estacionen los camiones y un techo para que las condiciones climáticas no influyan en la descarga.

Pieza	Alero	Pieza	Alero
Manija Puerta	Puertas	Radiador	Rolling Chasis
Mazo Puerta	Puertas	Alfombra	Rolling Chasis
Espejos	Puertas	Corner Amarok	Rolling Chasis
Front End	Surán	Ballesta	Rolling Chasis
Escape Delantero	Surán	Mazo KSK	Rolling Chasis
Tanque Combustible	Surán	Mazo Chasis	Rolling Chasis
Silenciador	Surán	Salida Motor	Rolling Chasis
Corner Surán	Surán	Silenciador	Rolling Chasis
Eje Trasero	Surán		

Tabla 3.1. Piezas a Secuenciar

4. ESTUDIO DE SIMULACIÓN

Tal como se mencionó anteriormente, realizar un estudio de simulación resulta atractivo para resolver un problema de este tipo. Por un lado, se está estudiando un sistema complejo con mucha aleatoriedad y variables que hacen que no sea posible resolverlo analíticamente. Además, la optimización de los recursos de dicho sistema presenta una oportunidad de obtener beneficios que perduren en el tiempo y que superen ampliamente los costos de realizar el estudio. Por último, la posibilidad de responder preguntas del tipo “What-if” es una gran ventaja ya que permite evaluar diferentes alternativas de soluciones y elegir aquella que optimice los resultados para la empresa.

4.1 Secuencia del Estudio

Con el objetivo de lograr un estudio de simulación efectivo, con una correcta administración de los recursos disponibles y resultados relevantes, es importante seguir una metodología estándar con un procedimiento determinado. Esta metodología está descrita mediante una serie de pasos que se representan en el siguiente diagrama:

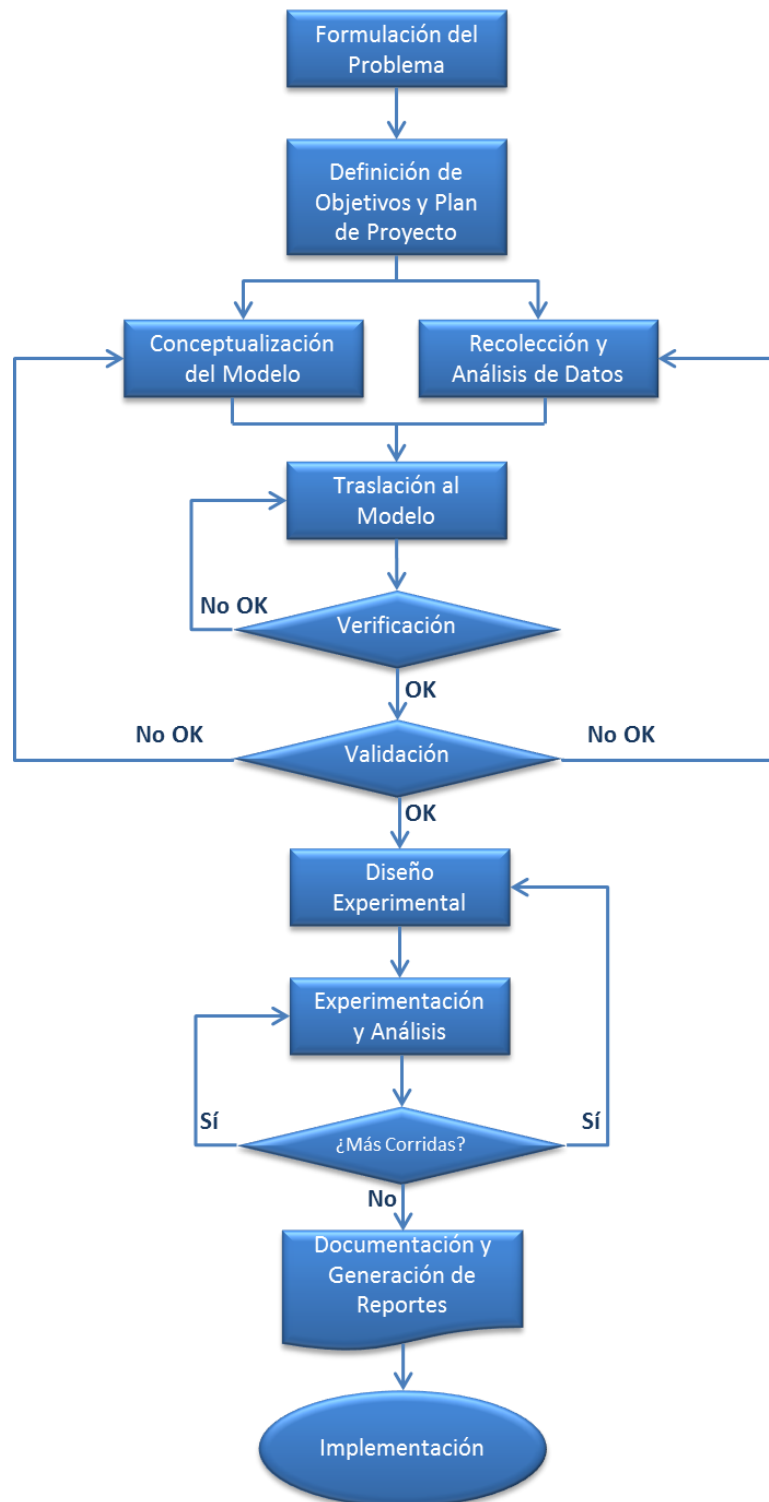


Ilustración 4.2. Esquema del Estudio de Simulación

Formulación del Problema: Es importante identificar, entender y definir el problema claramente para poder hacer foco en lo que es realmente relevante y mantener la

concentración en encontrar una solución para el mismo. Para identificar el problema, se pueden utilizar diferentes herramientas como los Diagramas de Flujo, los Diagramas de Causa-Efecto, los Diagramas de Pareto, las Tormentas de Ideas y la Técnica de Grupo Nominal. Luego, se debe entender el problema, para lo cual se puede analizar la información disponible a priori, entrevistar a los actores clave, hacer foco en las causas más que en las consecuencias, y establecer prioridades entre las alternativas disponibles. Por último, hay que definir el problema y establecer sus límites; esto se logra contestando las preguntas: ¿Qué? ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Quién? ¿Cuánto?

Definición de Objetivos y Plan de Proyecto: Los objetivos a definir deben cumplir con ciertas características para que el proyecto se encuentre guiado correctamente:

- Ser alcanzables
- Requerir esfuerzo para lograrlos
- Tener un plazo de finalización
- Ser simples de comunicar
- Ser mensurables
- Considerar parámetros de comparación para controlar su avance.

El Plan de Proyecto consiste en definir los **recursos** que se van a utilizar a lo largo de la duración (personal, materiales, equipos, fondos, información, tecnología, edificios y terrenos) así como también se debe planificar el alcance, el tiempo a emplear, los costos estimados, las especificaciones y los riesgos que se corren.

Conceptualización del Modelo: En esta etapa se deben elaborar los conceptos inherentes al modelo, obteniéndose una abstracción de la realidad. Esto quiere decir que, además de los puntos mencionados anteriormente, hay que especificar los indicadores de performance (KPIs), supuestos, parámetros, variables de control, variables, agentes y decisiones. Además, es muy importante que el Modelo Conceptual incluya la lógica del modelo. La lógica del modelo es una representación del comportamiento del modelo, y sirve como una descripción del sistema que se buscará modelar. Este punto es sumamente importante ya que el modelo deberá representar aquello especificado en el Modelo Conceptual para que sea funcional a los objetivos planteados.

Es importante aclarar, ya que va a ser utilizado en los siguientes pasos del proyecto, que los pasos descriptos hasta este momento se engloban bajo el título de Modelo Conceptual. Esta es la etapa más descriptiva en cuanto a lo cualitativo del sistema que se busca representar.

Recolección y Análisis de Datos: Este paso se encuentra fuertemente relacionado a la conceptualización del modelo ya que los datos que se busquen deben ser útiles para dimensionar el modelo descripto. Lo primero que se debe hacer es relevar los datos del sistema real para luego poder asignarle una distribución probabilística (juntos con la determinación de sus parámetros) que mejor represente cada uno de estos datos de entrada.

Por último, se deben realizar las pruebas de bondad de ajuste para verificar que las distribuciones seleccionadas se aproximan lo suficiente a los datos del sistema real.

El siguiente gráfico muestra que la calidad de los datos de entrada son tan importantes como la calidad del modelo.

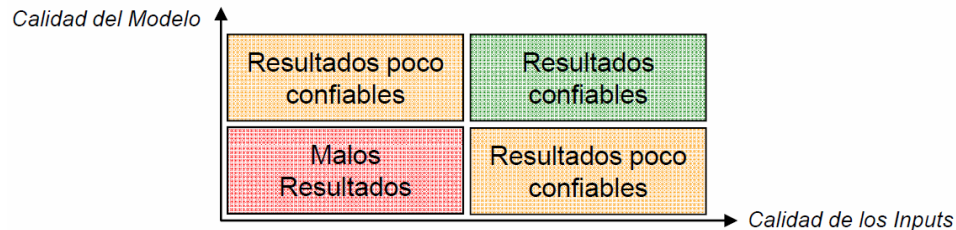


Ilustración 4.3. Modelo de Datos

Tal como a la etapa anterior se la conoce como Modelo Conceptual, a esta etapa se la denomina Modelo de Datos, y resume la investigación cuantitativa del sistema.

Traslación al Modelo: Este es uno de los pasos más importantes ya que es cuando se traduce lo mostrado en el Modelo Conceptual y el Modelo de Datos al lenguaje informático del software Arena.

Verificación: Consiste en corroborar que la codificación en Arena responde a lo descrito en el Modelo Conceptual, es decir, que la translación se ha realizado satisfactoriamente.

Validación: A diferencia de lo que plantea la Verificación, la validación consiste en corroborar que el modelo simulado representa la realidad (no el Modelo Conceptual). Este paso requiere una etapa de calibración del modelo que se da mediante un proceso iterativo de comparación del modelo con el comportamiento del sistema real, utilizando las diferencias entre ambos para mejorar el modelo.

Diseño Experimental: En este paso se definen cuáles van a ser las alternativas que se evaluarán para lograr los objetivos planteados anteriormente. Estas alternativas pueden necesitar un rediseño del Modelo Conceptual y por lo tanto de la translación al simulador. Nuevamente, puede que se requiera un proceso iterativo para que las alternativas que modifican el sistema se ajusten a la realidad o a lo que se espera de esa realidad que todavía no existe (si la realidad no existe, se debe verificar que los resultados sean coherentes y se aproximen a lo que se esperaba). En este punto es importante determinar los parámetros temporales de las corridas (warm up y duración), así como la cantidad de corridas necesarias para que los resultados sean sustentables en términos probabilísticos. Además, se establecen los criterios de aceptación de las alternativas planteadas para saber cuáles pueden ser aplicadas y cuáles no.

Experimentación y Análisis: Esta etapa consiste en ejecutar todo lo que se planeó en los últimos pasos. Al realizar las corridas planificadas, se obtienen los KPIs correspondientes

para cada una, y se los puede comparar en el Plan de Cuadros. Esto permite realizar el análisis de los indicadores y sacar las conclusiones del estudio de simulación.

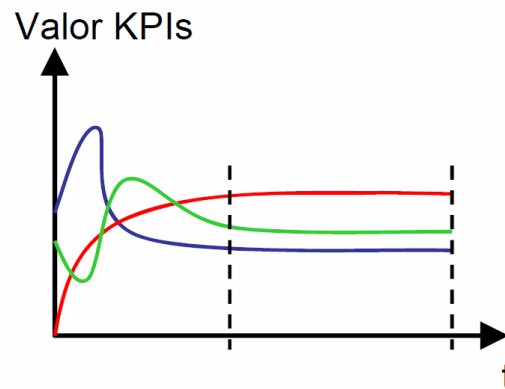


Ilustración 4.4. Ejemplo de KPI's

Documentación y Generación de Reportes: Para terminar el estudio de simulación es muy importante registrar todo lo realizado en cuanto al programa (guardar la codificación en sí misma), y realizar reportes escritos que muestren los resultados y los análisis para que puedan ser interpretados por todas las personas que participan del proceso decisional.

A continuación se presenta un diagrama de Gantt que describe el flujo de tareas a realizar para completar el proyecto en tiempo y forma:

Simulación del Servicio Logístico de DADA a VW

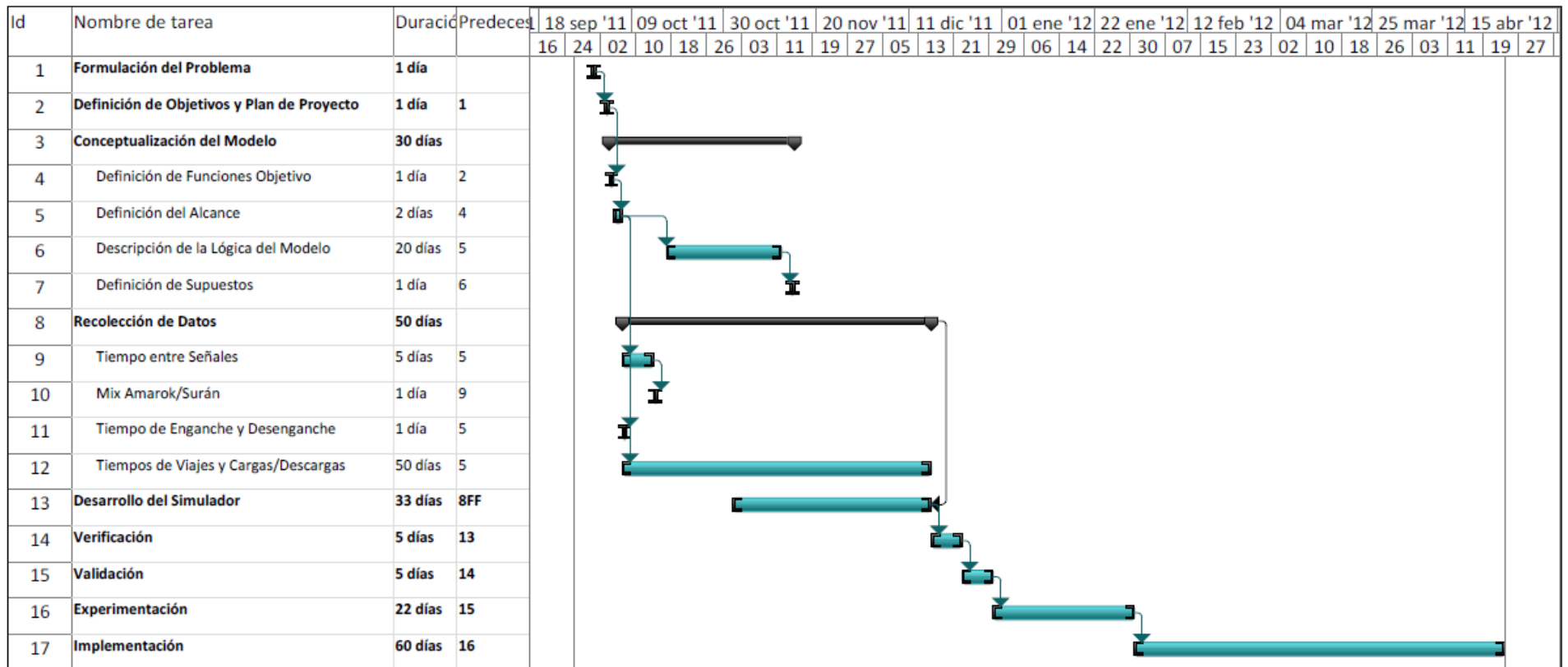


Ilustración 4.5. Gantt del Proyecto

5. MODELO CONCEPTUAL

5.1 Descripción del Problema

Actualmente las operaciones de Supplier Park³ para Volkswagen se realizan con un total 2 Chasis, 4 Semis cortos contratados y un Balancín. Si bien las características de los camiones varían de uno a otro, las medidas y aspectos aproximados de los mismos son:



Ilustración 5.6. Semi Corto: 10m x 2.6m x 2.55m

³ Supplier Park es un depósito de DADA de 10.000 m² dedicado casi en su totalidad al servicio JIS para Volkswagen que es el eje de este proyecto. Este depósito se encuentra estratégicamente ubicado ya que está a 500m. del acceso a la planta de VW. En el Anexo x se encuentra un plano del depósito con las referencias más importantes para ayudar a la comprensión del flujo de materiales.



Ilustración 5.7. Balancín: 9m x 2.6m x 2.55m



Ilustración 5.8. Chasis: 6m x 2.5m x 2.5m

Considerando que la producción de VW va a crecer en el corto plazo, DADA evalúa cambiar la forma de operar y comenzar a hacerlo con parte de la flota contratada, y parte de la flota propia. Además, la observación de la operación indica que los camiones están siendo sub-utilizados ya que se detectan tiempos de espera de los camiones muy largos, haciendo que su productividad sea baja. Si bien no se sabe con certeza la cantidad de

camiones que se van a necesitar (en el escenario actual optimizado), se estima que va a haber un cierto número de semis y un menor número de tractores con el objetivo de optimizar los tiempos de enganche y desenganche en lugar del tiempo de carga y descarga. Además, al existir incertidumbre sobre los posibles escenarios futuros en cuanto al volumen y mix de producción, es difícil saber cuál va a ser la flota optima en el mediano plazo.

5.2 Objetivo

Determinar la mejor combinación, en cuanto a la cantidad y el tipo de camiones, para hacer más eficiente el uso de recursos en el escenario actual. Además, se busca establecer una herramienta ágil para poder responder con rapidez ante los cambios de escenarios (cambio de mix o de volumen) y saber la cantidad y tipo de camiones necesarios para las diferentes alternativas.

Las alternativas a evaluar contemplan cambiar la composición actual de la flota (4 Semi-Cortos, 2 Chasis y 1 Balancin) por:

- **Alternativa I:** 3 Semi-Cortos, 2 Chasis y 1 Balancin.
- **Alternativa II:** 4 Semi-Cortos y 2 Chasis.
- **Alternativa III:** 5 Semi-Cortos.
- **Alternativa IV** (Alternativas con enganche y desenganche de semis):
 - **i.** 3 Tractores + 4 Semis, 2 Chasis y 1 Balancín.
 - **ii.** 4 Tractores + 6 Semis.
 - **iii.** 3 Tractores + 4 Semis y 2 Chasis.

Estas alternativas serán explicadas en forma más extensa más adelante.

5.3 Conceptualización del Modelo

Funciones Objetivo:

Las funciones objetivo son aquellas que van a ser analizadas para establecer los criterios de aceptación de las diferentes alternativas. Además, son las que se utilizan para validar que el simulador representa en forma aproximada a las situaciones del sistema real. De estas funciones objetivo se van a obtener los índices de performance (KPIs) de cada alternativa. Las funciones objetivo más importantes son:

- **Utilización de los Camiones:** este índice es muy importante para el estudio de simulación ya que determina un factor de decisión de los más relevantes. Es importante aclarar que este índice se divide en diferentes sub-índices como: Utilización de los Camiones Contratados, Utilización de los Semis y Utilización de los Tractores. La importancia de este índice se debe a que conociendo la utilización de los camiones, se puede decidir si la cantidad de camiones utilizada es correcta, si

se puede reducir, o si se puede aumentar. Además, permite, frente a distintos escenarios determinar la cantidad de camiones apropiada, y el mix (contratados, semis y tractores) que permita operar correctamente.

- **Tiempos de espera:** este indicador se refiere al tiempo que esperan los camiones para ser cargados o descargados. Nuevamente, este índice muestra si los camiones están siendo utilizados correctamente o si se podría modificar la cantidad o el mix. Además, este indicador puede ayudar a validar el modelo ya que es un dato fácil de medir en la situación actual. Si bien este indicador va a estar fuertemente relacionado con el de Utilización de Camiones, se los diferencia claramente porque el tiempo de espera resulta mucho más fácil de medir en el sistema real, y la utilización porcentual de los camiones es una de las salidas automáticas del Arena, por lo que será un resultado de la simulación.
- **Utilización de los Racks:** Racks es la palabra técnica que se utiliza para hacer referencia a los medios especiales en los cuales se colocan las piezas. A modo explicativo, se adjunta una foto de un Rack de Secuenciado diseñado especialmente para transportar Ejes Traseros desde DADA a VW:



Ilustración 5.9. Ejemplo de Rack de Secuenciado

Este indicador permite evaluar el porcentaje de utilización de los medios que llevan las piezas. Se debe mencionar que el tiempo en el que los Racks están esperando ser cargados no se toma en consideración, sino que se mide la cantidad de piezas que llevan sobre el total de piezas que podrían llevar. Este índice permite ver si los espacios dentro de los camiones se utilizan correctamente, o si se está transportando aire. Más adelante, se determina que este indicador no va a cambiar entre alternativa y alternativa ya que se tomará una cantidad fija de piezas por rack para simplificar el modelo.

- **Cantidad de Paradas de Línea:** el término “Parada de Línea” hace referencia a situaciones en las que Volkswagen debe detener su línea de producción por algún evento que sea responsabilidad de DADA. Los casos en los que puede ocurrir esto son: a) las piezas no llegaron a tiempo a la línea de ensamble y se debe parar la línea para esperar a que lleguen y el vehículo pueda seguir completo por la línea de montaje. b) hubo un error en el secuenciado de las piezas y la pieza disponible para ensamblar no es la correspondiente. Esta segunda alternativa no va a ser tomada en consideración, ya escapa el alcance del problema analizado y porque existen otros métodos dentro de la empresa para evitar que esto ocurra. Este índice es sumamente importante para la empresa, ya que las paradas de línea traen un costo económico

muy grande y una pérdida de confianza por parte del cliente. Este indicador servirá para evaluar si el modelo se está comportando correctamente, y funcionará como un factor de decisión importante. Por Ej.: si en una alternativa se producen paradas de línea, esa opción quedará inmediatamente descartada y habrá que utilizar más camiones o cambiar algún otro parámetro.

- **Minutos de Parada:** al igual que el índice anterior, este valor deberá ser cero para que la alternativa sea aceptada.

Alcance:

Se toma desde la llegada de la señal⁴ de VW a SP hasta la llegada de la pieza al punto de la línea específico (en realidad es la llegada del camión a VW más la descarga y el tiempo de circuito).

Lógica del Modelo:

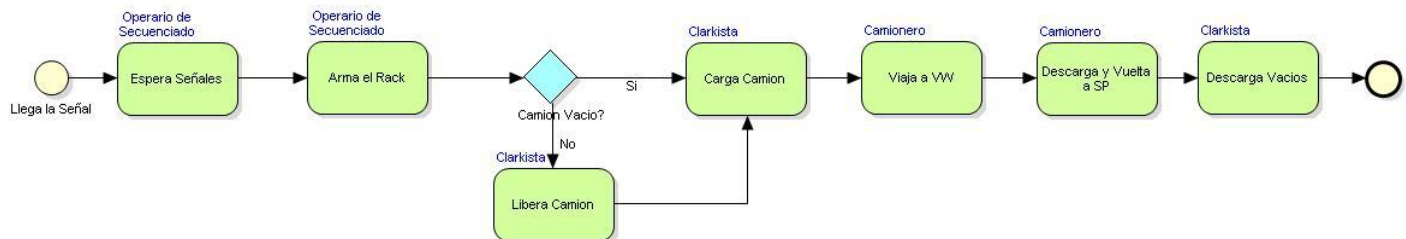


Ilustración 5.10. Operación con Camiones Contratados

⁴ El concepto de “señal” se explica en ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. en la página 4

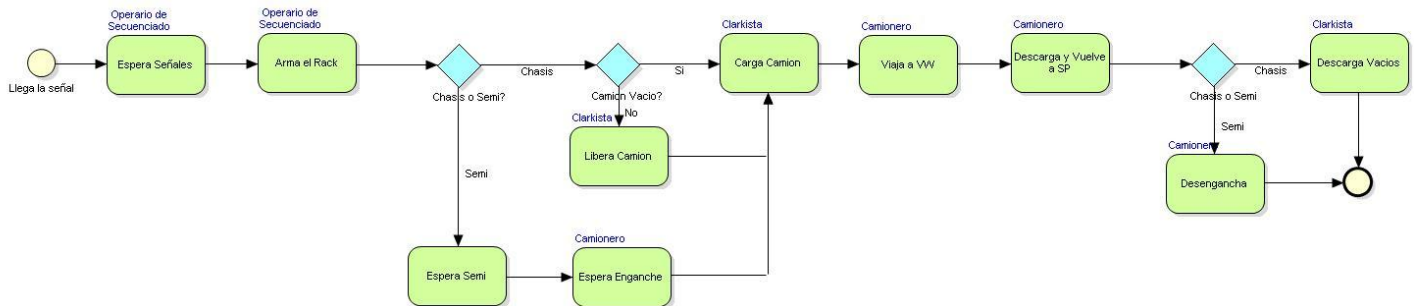


Ilustración 5.11. Operación con Tractores y Semis

Supuestos:

- El tiempo de carga y descarga de racks es indistinto según la pieza.
- El tiempo de viaje a los diferentes aleros es indistinto.
- El tiempo de viaje es indistinto según el camión sea chasis o semi.
- Las ventanas horarias se mantienen constantes durante las corridas.
- El mix se mantiene constante en el día.
- Las ventanas oficiales se consideran variables y no parámetros porque pueden cambiar sin necesidad de modificar el modelo.

6. MODELO DE DATOS

En este momento se deben cuantificar todas las variables y parámetros definidos anteriormente en el Modelo Conceptual. Mediante diferentes fuentes de información, se obtendrán los datos necesarios para definir los valores de las variables y los parámetros, y estudiar la forma en que estos datos se ajustan a sus distribuciones respectivas.

6.1 Variables

Para el **Tiempo entre Señales** se tomó una muestra (entre Septiembre y Octubre) de 26139 datos del sistema de DADA en el cual se tienen los horarios de llegada de las señales a SP. Para poder definir los parámetros de esta variable, se tomaron 3 franjas horarias de 2 horas cada una: de 01:00 a 03:00, de 08:00 a 10:00 y de 15:00 a 17:00. El objetivo de tomar estos horarios consiste en evitar considerar horarios de desayuno, almuerzo, cena o descansos. Es importante aclarar que los valores que presentan un desvío importante de los valores “normales” fueron descartados ya que se deben a irregularidades que no deben ser tenidas en cuenta a la hora de simular la llegada continua de señales. Por ejemplo, si existió una parada de línea, las señales se ven interrumpidas. Dicha interrupción no debe ser tenida en cuenta en el cálculo de esta variable, ya que se va a considerar dentro del modelo por separado. Luego de procesar la información con el Input Analyzer de Arena, se obtienen las distribuciones que se muestran en el cuadro a continuación.

El **Mix Amarok vs. Surán** se obtiene de la misma forma que el Tiempo entre Señales General. La base de datos utilizada es la misma, y se consideran las mismas franjas horarias. Este dato puede ser utilizado como validación del modelo. La relación obtenida es 1.131.

Dado que las operaciones de DADA en Buenos Aires no cuentan con un proceso con enganche y desenganche de semis, no se puede medir el tiempo que se demora dicha operación. Es por eso que el **Tiempo de Enganche** y el **Tiempo de Desenganche** que van a alimentar el modelo, son valores que se deberán estimar. Se optó por obtener estos valores del Truck Kan-Ban de Córdoba, en donde sí cuentan con esa operación. Las distribuciones obtenidas se presentan en el cuadro resumen.

Los tiempos de los procesos, representan unas de las variables de entrada más relevantes para el modelo, ya que son las que van a definir el tiempo en el que se utilizan los recursos, y finalmente, la cantidad de camiones necesaria. Es por eso que la recopilación de estos datos es muy importante para el desarrollo de la simulación. Los tiempos de los procesos se dividen en: **Tiempo de Viaje Alero Jit Ida** ; **Tiempo de Viaje Alero Jit Descarga, Carga, Vuelta** ; **Tiempo de Viaje Alero RC Ida** ; **Tiempo de Viaje Alero RC Descarga, Carga, Vuelta** ; **Tiempo de Carga** ; **Tiempo de Descarga** y **Tiempo de Colocación de**

Pieza en el Rack. Dado que estos tiempos no se encuentran registrados en el sistema, la toma de tiempos se torna un trabajo muy largo y tedioso que se lleva a cabo durante el desarrollo del modelo (para ahorrar tiempo).

El siguiente cuadro resume todas las distribuciones obtenidas (en el Anexo IV se adjunta un extracto de los datos utilizados):

Simulación del Servicio Logístico de DADA a VW

Variable	Procedimiento de Medición	Distribución	Parámetros	Comentarios
Tiempo entre Señales Amarok	Información obtenida del registro de 2 meses del sistema de DADA. Se toman 3 franjas horarias de 2 horas cada una para tomar tiempos continuos y representativos.	Lognormal	0.5 min + LOGN(4.36, 2.78)	Si bien la distribución Lognormal no se caracteriza por describir este tipo de procesos en particular, el error cuadrático de ajuste a la curva es tan pequeño (0,17%), se toma la distribución como válida para esta variable.
Tiempo entre Señales Suran	Información obtenida del registro de 2 meses del sistema de DADA. Se toman 3 franjas horarias de 2 horas cada una para tomar tiempos continuos y representativos.	Gamma	0.5 min. + GAMM(2.24, 2.06)	Dado que el error cuadrático que presenta es de 0,68% (ajusta muy bien a la curva) y que la distribución Gamma se utiliza para variables como el tiempo necesario para observar ocurrencias de un evento, se toma esta distribución como válida para esta variable.
Tiempo de Enganche	Extrapolación de tiempos medidos por otra operación similar en la empresa	Normal	Media: 2,5 min. Desvío Std. : 0,5 min.	El estudio del tiempo fue realizado por personal de Calidad de la empresa en la operación situada en Córdoba. Una distribución Normal es aceptable para describir un proceso de este tipo.
Tiempo de Desenganche	Extrapolación de tiempos medidos por otra operación similar en la empresa	Normal	Media: 2,5 min. Desvío Std. : 0,5 min.	El estudio del tiempo fue realizado por personal de Calidad de la empresa en la operación situada en Córdoba. Una distribución Normal es aceptable para describir un proceso de este tipo.
Tiempo de Viaje Alero JIT Ida	Planilla entregada a camioneros (100 datos)	Normal	Media: 10 min. Desvío Std. : 1 min.	Con un error cuadrático de 0,04%, la distribución se ajusta muy bien a los datos relevados. Además, el proceso que se está estudiando puede ajustarse perfectamente a una distribución Normal, por lo que se toma la distribución como válida
Tiempo de Descarga, Carga, Viaje Alero JIT Vuelta	Planilla entregada a camioneros (100 datos)	Normal	Media: 25 min. Desvío Std. : 6 min.	Si bien el Input Analyzer de Arena proponía como mejor opción una Distribución Triangular, se optó por una Distribución Normal ya que la diferencia en el error cuadrático era mínimo (1,8% para la distribución Normal) y dicha distribución se ajusta mejor a este tipo de procesos.
Tiempo de Viaje Alero RC Ida	Planilla entregada a camioneros (100 datos)	Normal	Media: 10 min. Desvío Std. : 1 min.	Con un error cuadrático de 0,1%, la distribución se ajusta muy bien a los datos relevados. Además, el proceso que se está estudiando puede ajustarse perfectamente a una distribución Normal, por lo que se toma la distribución como válida
Tiempo de Descarga, Carga, Viaje Alero RC Vuelta	Planilla entregada a camioneros (100 datos)	Normal	Media: 25 min. Desvío Std. : 4 min.	Si bien el Input Analyzer de Arena proponía como mejor opción una Distribución Beta, se optó por una Distribución Normal ya que la diferencia en el error cuadrático era mínimo (1,03% vs. 1,22%) y dicha distribución se ajusta mejor a este tipo de procesos.
Tiempo de Carga	Cronometraje en Alero de Carga/Descarga de SP (50 datos)	Normal	Media: 11 min. Desvío Std. : 2 min.	Con un error cuadrático del 1%, este proceso se ajusta muy bien a una Distribución Normal que resulta representativa de procesos de este tipo.
Tiempo de Descarga	Cronometraje en Alero de Carga/Descarga de SP (50 datos)	Normal	Media: 5 min. Desvío Std. : 2 min.	Con un error cuadrático del 0,5%, este proceso se ajusta muy bien a una Distribución Normal que resulta representativa de procesos de este tipo.
Tiempo de Colocación de Pieza en el Rack	Estudio de tiempos realizado por el área de Calidad de la empresa	Triangular	Min: 0,5 min. Media: 1 min. Max: 1,5 min.	El estudio del tiempo fue realizado por personal de Calidad de la empresa. Una distribución Triangular es aceptable para describir un proceso de este tipo.

Tabla 6.2. Distribuciones

6.2 Parámetros

La **Capacidad Máxima del Rack por Pieza** es otro valor que se encuentra definido como constante de antemano. Dado que los Racks ya están hechos, y no se prevé que sean modificados, la cantidad de Rotaciones que limitan el espacio en un rack es un número fijo y se muestra en la siguiente tabla:

Pieza	Rotac./Rack
Ballesta	6
Corner Modul Amarok	8
KSK	6
Mazo Chasis	12
Escape Del. Amarok	12
Escape M. Amarok	18
Alfombra Tras.	8
Alfombra Del.	8
Gr. Enfriam.	10
Mazo Pta. Del. RPU	12
Espejos RPU/Suran	18
Manijas Pta. RPU	6
Tanque de Combustible	12
Escape Del. Surán	18
Corner Modul Surán	20
Escape M. Surán	20
Eje Trasero	12
Front End	10

Tabla 6.3. Capacidades de Racks de Secuenciado

La cantidad de piezas en cada rack se determinan por la ventana⁵ de la pieza con ventana más corta de las que viajan en un mismo camión. Es decir, cuando una pieza tiene que ser despachada a VW porque se está agotando su ventana de despacho (Ventana Oficial – Lead Time), todos los racks que viajan en el mismo camión deben ser cerrados con la cantidad de piezas que se llenaron hasta ese momento. Las **Ventanas por Pieza Oficial** son obtenidas de la información enviada por VW. Luego de observar la cantidad de piezas que iban en cada rack, se detectó que en la mayoría de los casos, viajaban las siguientes cantidades de piezas:

⁵ El concepto de “ventana” se explica en la descripción del proceso en la Pag. 4

Pieza	Rotac./Rack
Ballesta	4
Corner Modul Amarok	4
KSK	4
Mazo Chasis	4
Escape Del. Amarok	8
Escape M. Amarok	8
Alfombra Tras.	8
Alfombra Del.	8
Gr. Enfriam.	8
Mazo Pta. Del. RPU	12
Espejos RPU/Suran	18
Manijas Pta. RPU	12
Tanque de Combustible	12
Escape Del. Surán	12
Corner Modul Surán	12
Escape M. Surán	12
Eje Trasero	12
Front End	10

Tabla 6.4. Rotaciones por Rack de Secuenciado Reales

Estos valores, se fijan como parámetros en base a la experiencia y ayudan a simplificar el modelo y hacer mucho más fácil su programación y estudio.

7. DESARROLLO DEL SIMULADOR

7.1 Selección del Software

A la hora de elegir el software con el cual se va a programar la simulación requerida, hay que tomar en cuenta varias consideraciones. Se escogió el Arena por los siguientes factores:

- **Entrenamiento**: Este, sin dudas, fue el factor más determinante para elegir el software, ya que antes de comenzar con el proyecto, ya se tenía un conocimiento relativamente avanzado que, a priori, iba a ser suficiente para modelar todo el proceso. La capacitación obtenida en la materia Simulación, sumado a un entrenamiento en Arena provisto por la Empresa, aportaron las herramientas necesarias para poder simular todo lo requerido. Además, el soporte y tutoriales del Arena, son muy claros y útiles para poder adquirir los conocimientos faltantes.
- **Funcionalidad/Capacidades**: Arena es fácil de usar, ya que utiliza un diseño orientado por objetos (bloques⁶) para un desarrollo gráfico del modelo. No es necesario conocer el lenguaje de simulación (SIMAN) ya que una vez que está creado el modelo gráficamente, Arena automáticamente genera el modelo en SIMAN para poder realizar las corridas de simulación. Además, Arena puede soportar modelos complejos con capacidad de analizar y procesar una gran cantidad de variables y parámetros. Si bien, esta es una característica que la mayoría de los softwares de simulación cumplen, es una condición necesaria para este proyecto.
- **Input/Output**: En el Arena, el Input Analyzer es útil para determinar una distribución apropiada para alguna variable de entrada al modelo. Permite que el usuario tome datos relevados en el campo, y devuelve una distribución estadística que ajuste a dichos datos para poder incorporarla al modelo directamente ya que cuenta con el mismo lenguaje que se utiliza en los bloques para simular. Así como Arena ayuda a dimensionar las variables de entrada, las salidas (resultados) de las simulaciones son muy fáciles de entender y de analizar ya que aportan gráficos y variables numéricas con soporte estadístico. Si bien las interfaces gráficas y de animación del Arena no son muy amigables ni fáciles de utilizar, este factor no resulta determinante ya que se busca una simulación para obtener resultados analíticos y no es necesario tener una representación visual de lo que está ocurriendo en las corridas.

⁶ Los bloques representan la cantidad de módulos (Create, Dispose, Process, Decide, Batch, ReadWrite, Assign, Record, Delay, etc.) y las sub-funciones que cada uno puede llegar a tener dentro.

Habiendo definido las variables y el comportamiento del sistema en el Modelo Conceptual, y habiendo cuantificado dichas variables en el Modelo de Datos, ya están dadas las condiciones para desarrollar el programa simulador en Arena. Esta etapa es muy importante ya que permite estudiar cómo funciona el sistema y da paso a la etapa de experimentación para obtener recomendaciones sólidas y fundadas.

Para simular este proceso, se optó por realizar una simulación multi-etapa o simulación distribuida. Esta técnica consiste en separar el modelo en diferentes sub-modelos y utilizar los outputs de un sub-modelo como inputs del sub-modelo siguiente. La simulación distribuida no se utiliza con mucha frecuencia, pero los principales motivos para emplearla son:

- Reducir el tiempo de ejecución: se pueden simular los diferentes sub-modelos simultáneamente en diferentes computadoras aumentando su capacidad de procesamiento y obteniendo los resultados con más rapidez.
- Simular en diferentes ubicaciones geográficas: cada parte del modelo se puede simular en un lugar geográfico diferente.
- Utilizar diferentes softwares de simulación para los diferentes sub-modelos.
- Minimizar los riesgos de fallas en los procesadores: al utilizar múltiples procesadores, la falla de uno no provoca la falla en la simulación.

En este caso en particular, esta herramienta se utilizó para separar el proceso global en 3 procesos más reducidos y acotados, permitiendo así tener más control, capacidad de análisis y flexibilidad sobre cada uno de ellos. Si bien la complejidad de la programación crece mucho al utilizar esta modalidad, poder analizar cada sub-modelo por separado permite estudiar sus resultados y verificar que el modelo se está comportando acorde a la realidad en cada uno de sus estados. Además, se facilita mucho la etapa de “debugging” ya que los errores que aparecen en el modelo se encuentran mucho más acotados y es menos complicado detectarlos y corregirlos. Tener los sub-modelos separados, también sirve como una herramienta a futuro, ya que si en otro momento se desea estudiar en detenimiento otra parte del proceso, ya se cuenta con una gran parte simulada que no necesita ser modificada.

7.2 Detalle de los Sub-Modelos

Tal como se mencionó anteriormente, el proceso global se separó en 3 sub-modelos. Cada uno de ellos abarca las siguientes etapas (que luego serán desarrolladas en profundidad al mostrar cada uno):

- Sub-modelo 1: se simula desde la generación de las señales en VW hasta que se conforman y llenan los racks de secuenciado.
- Sub-modelo 2: se simula el armado de camiones según sus cargas estándar.

- Sub-modelo 3: se simulan los viajes de los camiones y la carga y descarga de racks en DADA y VW.

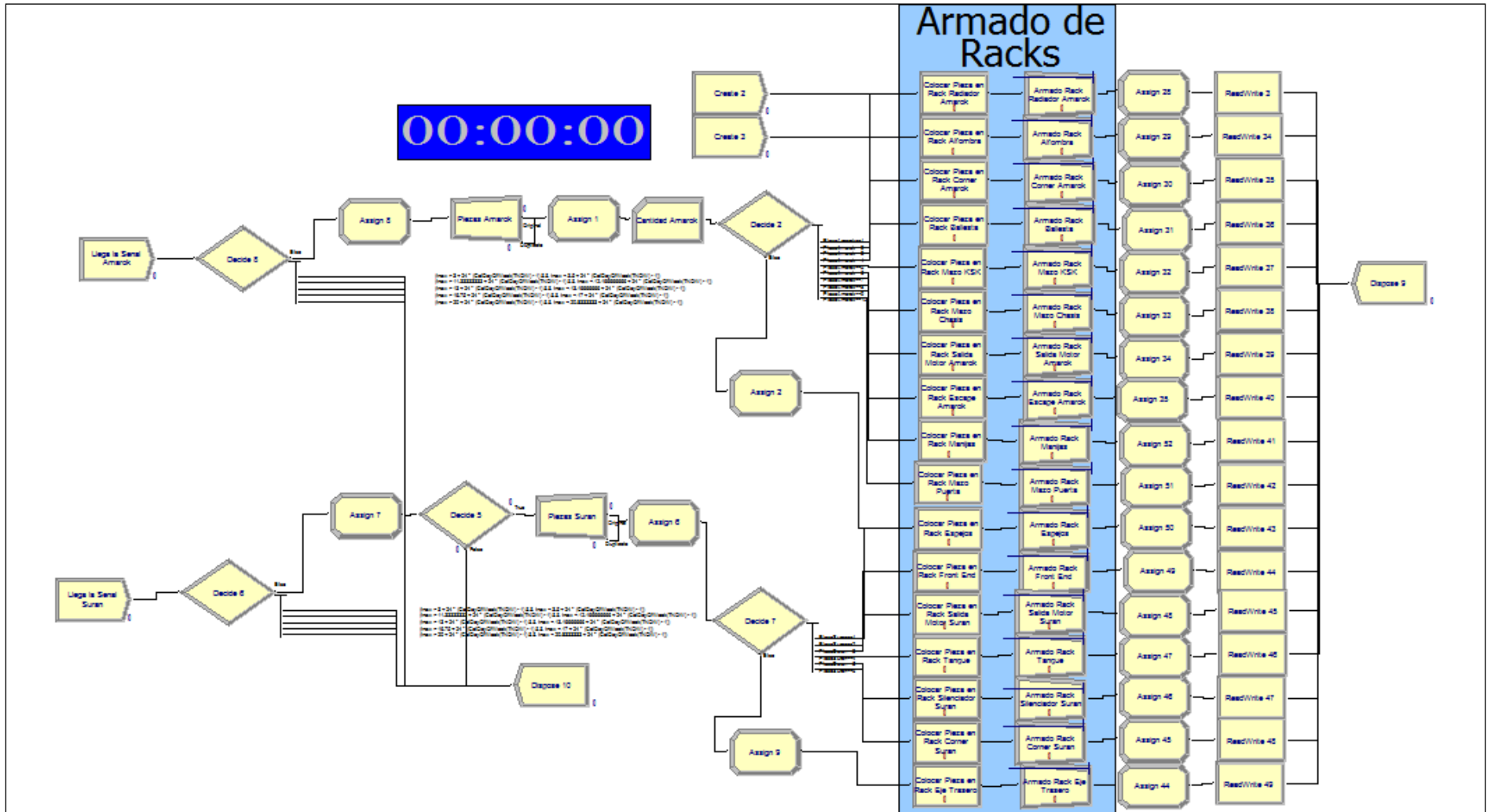


Ilustración 7.12. Sub-modelo 1

Este primer sub-modelo contiene las generaciones de señales tanto para Amarok como para Surán. Las señales ingresan al modelo por medio de los módulos Create “Llega la Senal Amarok” y “Llega la Senal Suran”. Luego, los módulos Decide determinan que las señales que se emitirían en horarios de descanso de VW se desechan. Las señales útiles pasan por un proceso de Separate que replica las señales de acuerdo a la cantidad de piezas de Amarok (11) o de Surán (7) y se envían a las islas de secuenciado correspondiente mediante los módulos Decide. Es importante aclarar que la mitad de las señales de Surán se desechan como un “truco” para evitar tener mayor cantidad de entidades en el sistema y de esta forma, evitar superar el límite impuesto por el Arena Académico. Esto se puede hacer ya que la cantidad de piezas por rack son todos números pares, y reducir la cantidad de señales a la mitad, no afecta el comportamiento del sistema.

Una vez que las señales llegan a las islas, comienza el proceso de armado de racks. Este proceso, consiste en un módulo Process y un módulo Batch. El módulo Process representa el tiempo que se demora el operario en colocar la pieza en el rack correspondiente y colocarle la etiqueta a la pieza. El módulo Batch, se utiliza para juntar las piezas que forman parte del Rack y liberarlas como una entidad diferente (Racks). En esta etapa, las entidades dejan de ser piezas, y pasan a ser Racks de las piezas correspondientes; es muy importante entender este concepto para entender los pasos que siguen en la simulación.

Este sub-modelo termina con la lógica que hace posible almacenar los outputs que van a ser necesarios como inputs del próximo sub-modelo. Esta etapa es clave para el desarrollo de la simulación por etapas, ya que permite dividir el proceso general en 3 sub-procesos bien definidos. El módulo ReadWrite se coloca a la salida de los racks y se graba (para cada tipo de rack) los siguientes datos:

- El número de la entidad (no es relevante para la simulación final pero sirve para la etapa de depuración del modelo).
- El número de replicación de la simulación al que pertenece la entidad.
- La hora del instante en el que la entidad pasa por el módulo.
- La hora a la que se generó la señal de la 1er pieza que se colocó en el rack. Este dato es sumamente importante, ya que es el que se va a utilizar para determinar si las piezas que se encuentran en el rack llegan a VW dentro de la ventana horaria permitida.

Estos datos se almacenan en un archivo de Excel donde se realiza el cálculo del tiempo entre arribos de las diferentes entidades (TEA). Este tiempo se calcula como el TNOW de una entidad menos el TNOW de la entidad predecesora. Este dato va a ser muy importante para las entradas del sub-modelo 2.

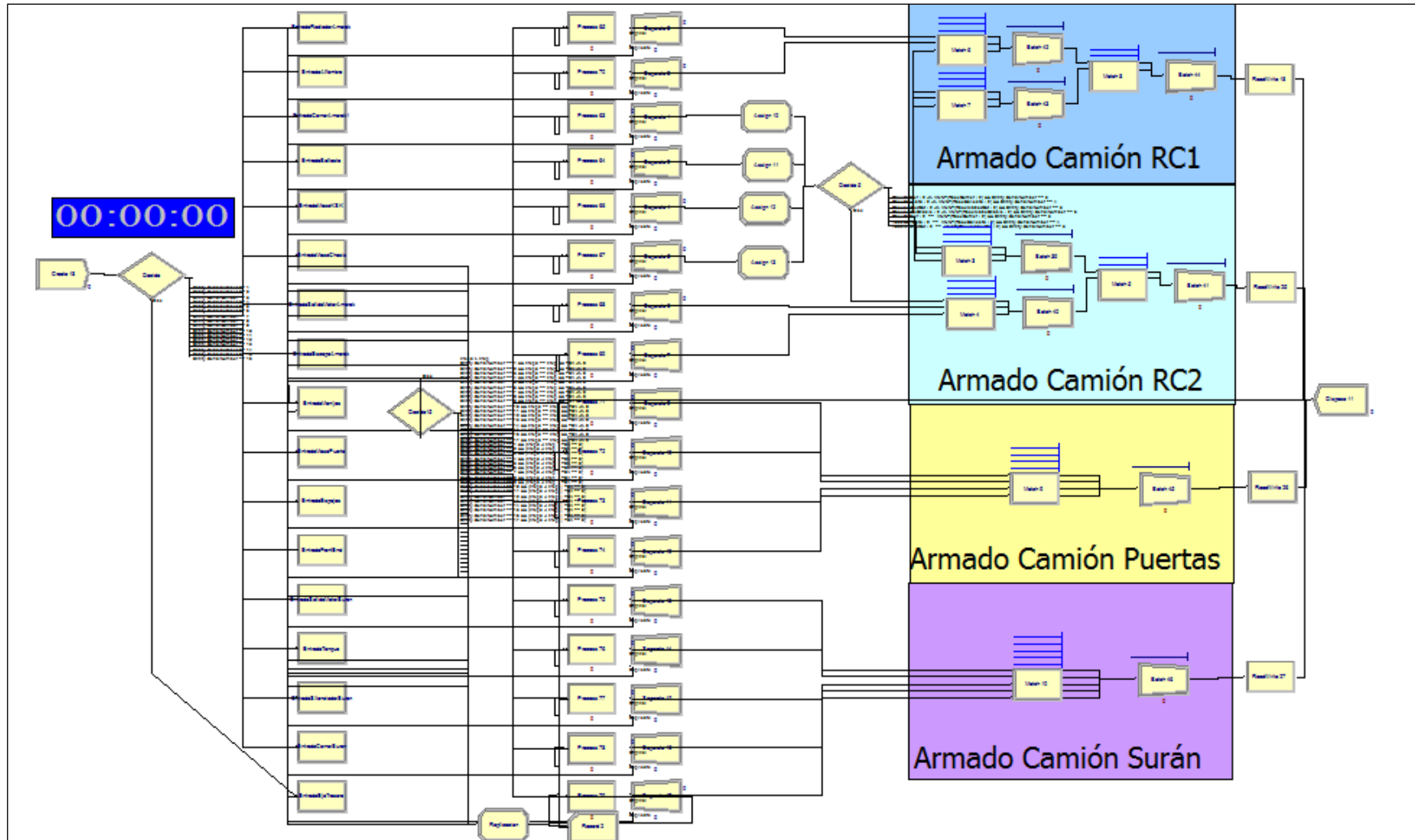


Ilustración 7.13. Sub-modelo 2

Tal como se indicó al explicar el final del sub-modelo 1, el sub-modelo 2 toma los outputs del primer sub-modelo y los convierte en datos de entrada. El Create genera 17 entidades que corresponden a cada una de las piezas. Estas entidades ingresan al módulo ReadWrite correspondiente donde “leen” la información almacenada en el archivo de Excel mencionado (el número de replicación de la simulación, el tiempo entre arribos entre las entidades y la hora en la que se generó la señal de la primera pieza del rack). Cuando la pieza pasa por este módulo, estos datos quedan grabados en la entidad como atributos que serán utilizados más adelante.

Luego, las entidades ingresan en un Process que las demora un tiempo equivalente al TEA que cada una de las entidades tiene almacenado. Al salir del Process, las entidades ingresan a un Separate que duplica la entidad para que tomen 2 caminos:

- Una sigue su camino hacia el armado de los camiones
- La otra vuelve a ingresar al ReadWrite, lee el TEA siguiente y luego ingresa al Process para ser demorada ese TEA correspondiente y vuelve a comenzar el ciclo duplicándose en el Separate.

De esta forma, se puede asegurar que los racks ingresan al armado de camiones con los intervalos de tiempo exactos con el que hubiesen salido del sub-modelo 1, simulando así la continuidad de las entidades como si se tratase de un solo modelo de Arena. La siguiente imagen muestra los módulos explicados anteriormente:

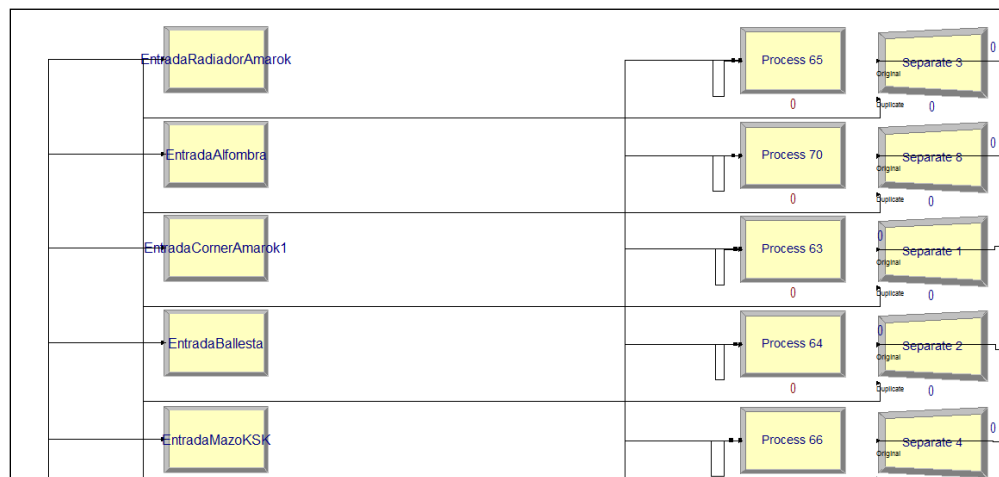


Ilustración 7.14. Ingreso de Entidades al Siguiente Sub-modelo

Los bloques de “Entrada(pieza)” son los ReadWrite, los Process son los procesos de demora, y los Separate son los que duplican la entidad para que una siga y la otra vuelva al

ReadWrite. Es importante aclarar que la imagen es un extracto del sub-modelo 2 aumentado para que se pueda comprender con mayor facilidad.

El siguiente paso es el armado de camiones. En esta etapa se utiliza un módulo Match para seleccionar los racks que se cargan juntos en un camión, y luego se utiliza un Batch para convertir los diferentes tipos de racks en las cargas estándar de los camiones. Nuevamente, este es un punto en el que las entidades dejan de ser racks, y se agrupan para convertirse en cargas de camiones. Existen 4 formas diferentes de cargar los camiones para los diferentes aleros. A continuación, se detalla cada una de ellas:

- **Carga Alero RC1:** Este tipo de camión se dirige al alero Rolling Chasis con un Rack de cada una de las siguientes piezas: Radiador Amarok, Alfombras, Corner Amarok, Ballesta, Mazo KSK y Mazo Chasis.
- **Carga Alero RC2:** Este tipo de camión se dirige al alero Rolling Chasis con un Rack de cada una de las siguientes piezas: Salida de Motor Amarok, Escape Amarok, Corner Amarok, Ballesta, Mazo KSK y Mazo Chasis.
- **Carga Puertas:** Este tipo de camión se dirige al alero JIT con un Rack de cada una de las siguientes piezas: Manijas, Mazo Puerta, Espejos y Front End.
- **Carga Alero JIT:** Este tipo de camión se dirige al alero JIT con un Rack de cada una de las siguientes piezas: Salida de Motor Surán, Tanque de Combustible, Silenciador Surán, Corner Surán y Eje Trasero.

Una vez que hay un rack de cada una de las piezas, significa que el camión está listo para ser cargado y transportado. En este momento, el sub-modelo repite el procedimiento realizado para el primero, registrando los atributos de las entidades (cargas de camiones) en un archivo Excel a través de módulos ReadWrite. Este nuevo archivo de Excel cumple la misma función que el anterior archivo, ya que almacena la información relevante y además calcula el tiempo entre arribos de las entidades.

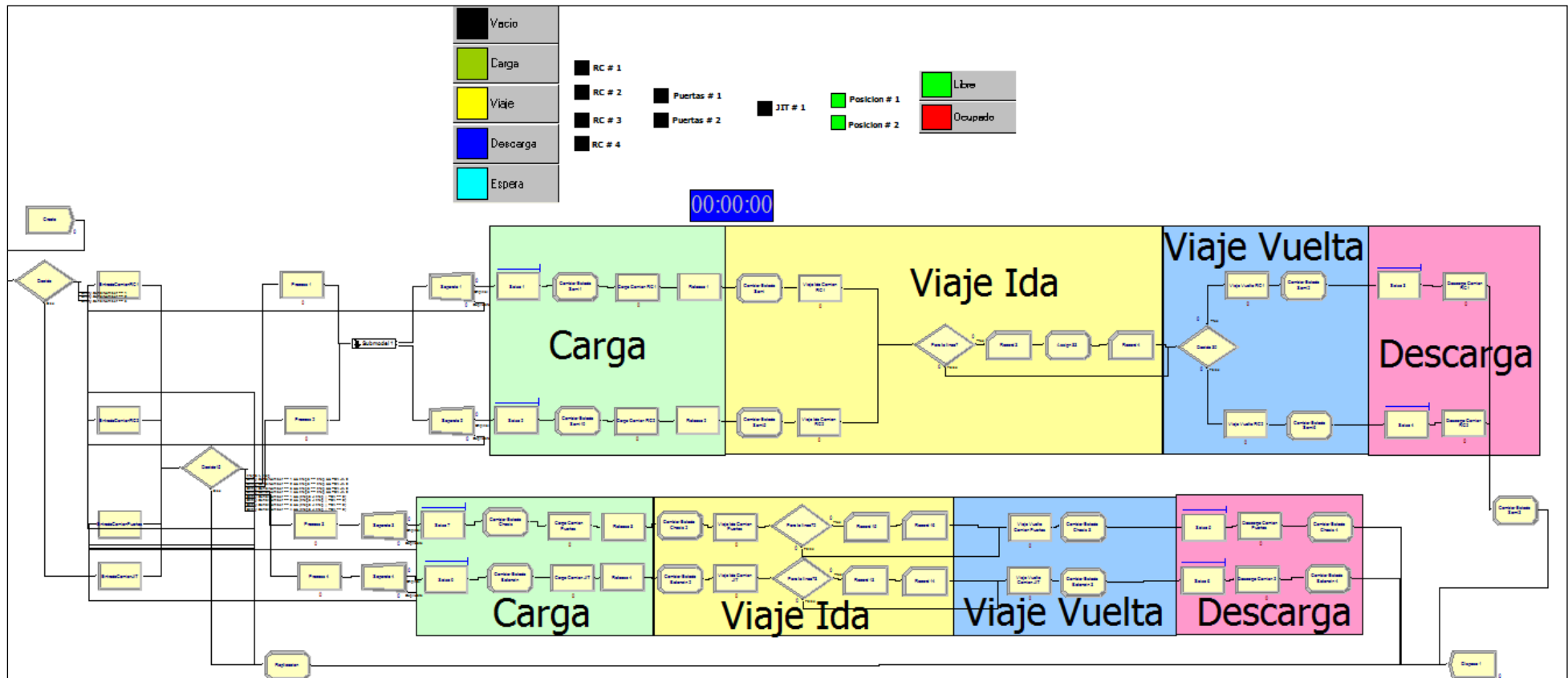


Ilustración 7.15. Sub-modelo 3

El ingreso de entidades en este sub-modelo es una réplica del ingreso de entidades al sub-modelo 2. Sin embargo, es evidente que la cantidad de entidades creadas es 4 (por la cantidad de tipos de camiones que hay) y no de 17 como en el sub-modelo anterior. El método de duplicación de entidades (en este caso cargas de camiones) es el mismo que se explicó para el sub-modelo 2.

Una vez que las entidades salen del proceso de creación (Create-Process-Separate) comienza la etapa de carga del camión. Una vez que los racks están completos se trasladan con autoelevadores al alero de carga y descarga del depósito. Cuando todos los racks que forman una carga están listos, se procede a cargar el camión correspondiente. El primer módulo Seize hace que se empiece a ocupar el recurso “Camión” y el recurso “Posición”. Esto quiere decir que la posición del alero en donde se encuentra el camión está ocupada, y el camión que está siendo cargado tampoco se encuentra disponible. Luego, el Delay contempla el tiempo de carga del camión. Por último, una vez que se completó la carga se libera el recurso “Posición” mediante el módulo Release.

Es entonces cuando se simula el viaje del camión mediante un Process. Al finalizar el viaje, el modelo verifica si las piezas que ingresaron a VW se encontraban dentro de la ventana horaria o si por el contrario, se provocó una parada de línea por no llegar a tiempo con la pieza. Como se mencionó al explicar el proceso, esta etapa es sumamente importante ya que las paradas de línea son un parámetro decisivo para corroborar que el modelo funciona correctamente y para elegir entre las diferentes alternativas propuestas.

En la etapa de Viaje de Vuelta no sólo se contempla el viaje propiamente dicho, sino que el Process demora las entidades por un tiempo que abarca el tiempo de descarga de racks llenos en VW, la carga de racks vacíos en VW y el viaje desde VW hasta DADA.

Por último, la etapa de Descarga está formada por un Seize que hace que se ocupe una de las posiciones del alero, seguido por el Process de descarga propiamente dicho. Este Process tiene la función de “Delay-Release” que hace que se ocupen los recursos durante el tiempo que dura la descarga, y que se liberen (la posición de descarga y el camión que se ocupó en el primer Seize) una vez que la misma finaliza.

Además, este sub-modelo contiene indicadores visuales con colores que muestran en el tiempo real de la simulación la evolución del estado de los recursos. Esto es muy útil para verificar que el modelo funciona correctamente y para chequear en forma visual y en vivo el uso de los recursos.

Este es el sub-modelo más importante de todos ya que es el que muestra la forma en la que se realizan los viajes a los distintos aleros y se consumen los recursos disponibles. En base a los resultados e indicadores obtenidos de este sub-modelo, se van a realizar las decisiones y conclusiones del estudio. Además, este es el sub-modelo que comprende la mayor parte del proceso que se busca estudiar, por lo que cobra una relevancia superior a los otros dos

sub-modelos que tienen como funcionalidad generar los datos para que el tercer sub-modelo funcione correctamente y represente la realidad.

8. VALIDACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN

8.1 Análisis situación actual

Después de realizar 10 corridas de cada uno de los modelos, llega el momento de analizar los resultados obtenidos. Los KPIs (Key Performance Indicators) establecidos al comienzo de este informe, son la base de los resultados a analizar y dichos valores son los que van a permitir realizar conclusiones y diseñar experimentos. Se considera que un nivel de confianza aceptable para estudiar este tipo de variables es del 95%⁷.

El primer indicador que se debe analizar es el de Cantidad de Paradas de Línea. Los 3 contadores que se programaron para medir la posibilidad de que las piezas lleguen después de la ventana devuelven un valor de 0 (cero). Como se mencionó anteriormente, es muy importante que este indicador tome valor cero, ya que nos asegura que trabajando de esta forma se va a cumplir con el servicio contratado por el cliente en forma satisfactoria.

Habiendo determinado que no se producen paradas de línea, ahora resta analizar los otros indicadores. Antes de continuar con el análisis, es muy importante explicar que significan los parámetros que devuelve el gráfico de resultados del Arena:

- **Scheduled Utilization:** indica el porcentaje de utilización que tienen los recursos indicados a lo largo de la corrida. Es importante aclarar que el “Scheduled Utilization” sólo contempla los períodos de tiempo en los que los recursos están disponibles para ser utilizados. En este caso, no afecta porque la operación trabaja en 3 turnos y los recursos están siempre disponibles; pero si la operación trabajase en 2 turnos, el “Scheduled Utilization” no contemplaría el tiempo en el cual los recursos no se utilizan por no funcionar la operación.
- **Average:** Es el valor promedio de los promedios de cada una de las corridas.
- **Half width:** Es el valor que determina el intervalo de confianza (LI-LS) en el que se ubica la media de la población con un nivel de confianza determinado (95% en este proyecto). El Límite Superior se calcula como $LS = \mu + HW$ y el Límite Inferior se calcula como $LI = \mu - HW$.
- **Minimum Average:** es el promedio más bajo de todas las corridas realizadas.
- **Maximum Average:** es el promedio más alto de todas las corridas realizadas.

⁷ Dado que el Arena expone sus resultados con un $\alpha = 5\%$, se pueda asegurar con un 95% de nivel de confianza todos los resultados obtenidos pueden ser analizados directamente.

Sin dudas, la función objetivo más importante y que va a permitir sacar conclusiones más influyentes es la Utilización de los Camiones (Scheduled Utilization). Para la situación actual, tenemos este índice separado en 3 sub-índices. Por un lado tenemos la utilización de los 4 Semis que trabajan con las piezas del alero RC. Por otro lado, tenemos los 2 Chasis que trabajan con las piezas de Puertas. Y por último, está el Balancín que realiza los viajes de Surán. A continuación se presenta un gráfico con la utilización de los recursos mencionados (también se muestra la utilización de las posiciones en el alero de carga y descarga):

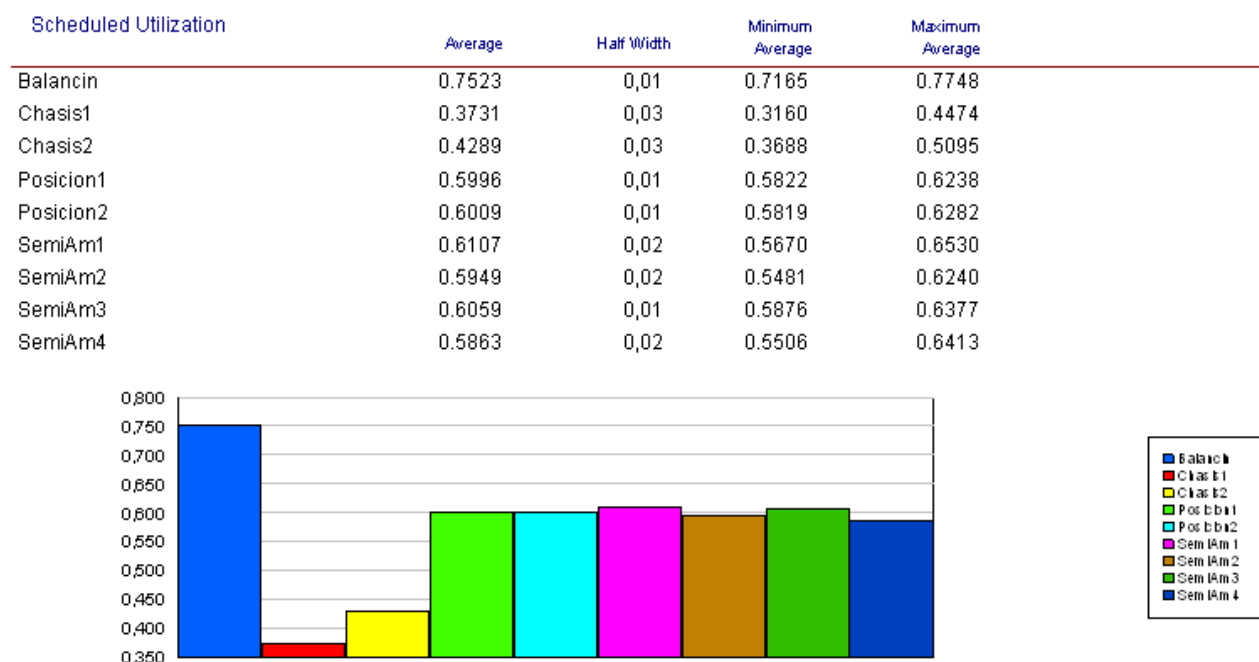


Ilustración 8.16. Utilización de Recursos - Situación Actual

De este gráfico, se desprende rápidamente que los recursos menos utilizados son los Chasis de Puertas, con una utilización de 40% aproximadamente. Luego, tenemos los Semis de RC, que trabajan con una utilización del 59% en promedio; mientras que el balancín de Surán tiene una utilización del 75%.

Después de discutirlo con el gerente de operaciones de la empresa, y de observar el comportamiento de los camiones en SP, se puede decir que estos porcentajes se acercan a lo que ocurre en la realidad, por lo que son datos que validan el modelo y confirman su correcto funcionamiento.

Analizando estos números, se puede detectar rápidamente una oportunidad de mejora y de optimización del uso de los camiones. Tener la mayoría de los camiones con una gran capacidad ociosa nos hace pensar que no se están aprovechando los recursos al máximo, y

que se deberán evaluar alternativas para mejorar esta situación y reducir los costos; pero dicho problema será investigado en profundidad en la etapa de experimentación.

Por otro lado, se puede mencionar que la utilización de las posiciones en el alero de carga y descarga ronda en un 60%. Este resultado puede parecer poco relevante ya que no se prevén realizar cambios en los aleros. Sin embargo, puede resultar útil saber que se cuenta con tiempo ocioso en los aleros, ya que esto permite planificar darle otros usos (Ej.: descarga de insumos).

Si bien no se programó el modelo para que calcule el Tiempo de Espera de los Camiones, los resultados automáticos provistos por el Arena permiten realizar dicho cálculo. Para empezar, se conocen los porcentajes de utilización mencionados en el indicador anterior. Tomando turnos de 8 horas, se determina que según el tipo de camión, los tiempos de espera por turno en SP para ser utilizados son:⁸

- Semi RC: 3.2 hs por turno (alrededor de 45 minutos por viaje realizado)
- Chasis Puertas: 4.8 hs por turno (alrededor de 102 minutos por viaje realizado)
- Balancín JIT: 2 hs por turno (alrededor de 22 minutos por viaje realizado)

Al igual que con los porcentajes de utilización, los tiempos de espera de los camiones coinciden con los tiempos de espera reales, por lo que este es otro indicador que valida el modelo.

Con el objetivo de determinar la **Probabilidad de Parada**, se van a realizar simulaciones de 100 corridas. Esto se hace para verificar que no hay un error estadístico en las 10 corridas, y poder tener una idea más clara del riesgo que conlleva la operación.

Los resultados de dicha experiencia muestran que la probabilidad de que pare la línea en Rolling Chasis en una semana es de 0.09. Este resultado requiere de un análisis un poco más profundo. Si bien para la línea en 9 de las 100 corridas, los minutos de parada son muy pocos, lo cual indica que la parada podría haber sido evitada por el personal de DADA modificando la forma tradicional de trabajo. En cambio, la probabilidad de que pare la línea de Puertas es de 0.01, mientras que la de Surán no presentó paradas, lo cual indica que es prácticamente imposible que pare.

Luego de analizar el significado de los resultados obtenidos, se puede decir que la empresa está sub-utilizando los recursos que tiene disponibles, y salta a la vista que se está incurriendo en costos innecesarios, presentando posibilidades de mejora

Habiendo dicho esto, se plantearán diferentes alternativas para mejorar la utilización de los recursos, y poder obtener mejores resultados.

⁸ Considerando que la cantidad de viajes semanales (5días) para los Semis del alero RC (5días) es de 63.6, para los Chasis de Puertas es de 42.3, y para el Balancín del alero JIT es de 80.7.

8.2 Presentación de Alternativas

8.2.1 Alternativa I

La primera alternativa a plantear consiste en sacar uno de los camiones utilizados para ir al Alero RC. Dados los porcentajes de utilización de los 4 semis utilizados para realizar este servicio, resulta evidente la posibilidad de reducir esa cantidad, y así poder aumentar a una utilización más aceptable. Si bien el 60% es un porcentaje muy bajo, no se espera llegar a una utilización del 100% ya que esto pondría en riesgo la operación y representaría un trabajo demasiado cargado para los camioneros. Al estar en un 100%, el recurso no tiene capacidad ociosa en ningún momento para poder solucionar imprevistos y corregir imponderables de último momento. Un porcentaje que ronde en el rango 80 – 90 % resulta aceptable para que la carga de trabajo del camionero sea razonable, y se tenga algo de margen para poder cambiar.

8.2.2 Alternativa II

Esta alternativa plantea la posibilidad de reducir un camión entre Puertas y JIT. En la situación actual, hay 2 camiones dedicados a las cargas de Puertas y uno dedicado exclusivamente a Surán (JIT). Lo que se propone es eliminar uno de esos 3 camiones, y hacer que los 2 camiones restantes sean compartidos por Puertas y Surán. Este cambio sería llevado a la práctica en una forma muy simple, ya que ambas cargas van al mismo alero dentro de VW, por lo que solo habría que cambiar la carga en SP, alternando entre Puertas y Surán. Al igual que la Alternativa 1, este cambio logra una reducción en los costos y permite hacer más eficiente el uso de los recursos.

8.2.3 Alternativa III

La tercera alternativa que se plantea es una combinación de las alternativas anteriores. Lo que se busca en este caso es que cualquier camión pueda ser utilizado para transportar cualquier carga a al alero que sea necesario. Esto quiere decir que las cargas de Rolling Chasis, Puertas y Surán van a compartir los mismos camiones. La situación inicial plantea el uso de 7 camiones; 4 para Rolling Chasis, dos para Puertas y uno para Surán. Lo que se plantea en esta alternativa es utilizar solo 5 camiones.

8.2.4 Alternativa IV

Por último, se va a plantear una alternativa que DADA viene planeando hace un tiempo, y la simulación puede resultar una herramienta fundamental para determinar si conviene o no adoptar dicha alternativa, y probar la mejor forma de implementarla. La idea es cambiar los 4 semis utilizados para la operación de Rolling Chasis por 3 tractores y 4 semis para poder operar con enganche y desenganche de semis. El procedimiento que se sigue para esta operación consiste en que los semis vacíos se cargan en el alero de SP, y una vez que están cargados se enganchan a un tractor que este libre, y lo lleve a VW. Como en VW no se

puede desenganchar y dejar el semi en el alero por políticas de la empresa, se debe descargar y cargar con Racks vacíos, como se hace actualmente. Luego, cuando vuelve a SP, se desengancha el semi, y se libera al tractor para otro viaje, mientras que el semi queda en el alero para ser descargado y cargado nuevamente.

La implementación de esta alternativa requiere de una reorganización del alero de SP, para que existan posiciones de enganche y desenganche para Rolling Chasis, y posiciones de carga y descarga para el alero JIT. A continuación, se muestra un esquema de cómo quedaría organizado el alero:

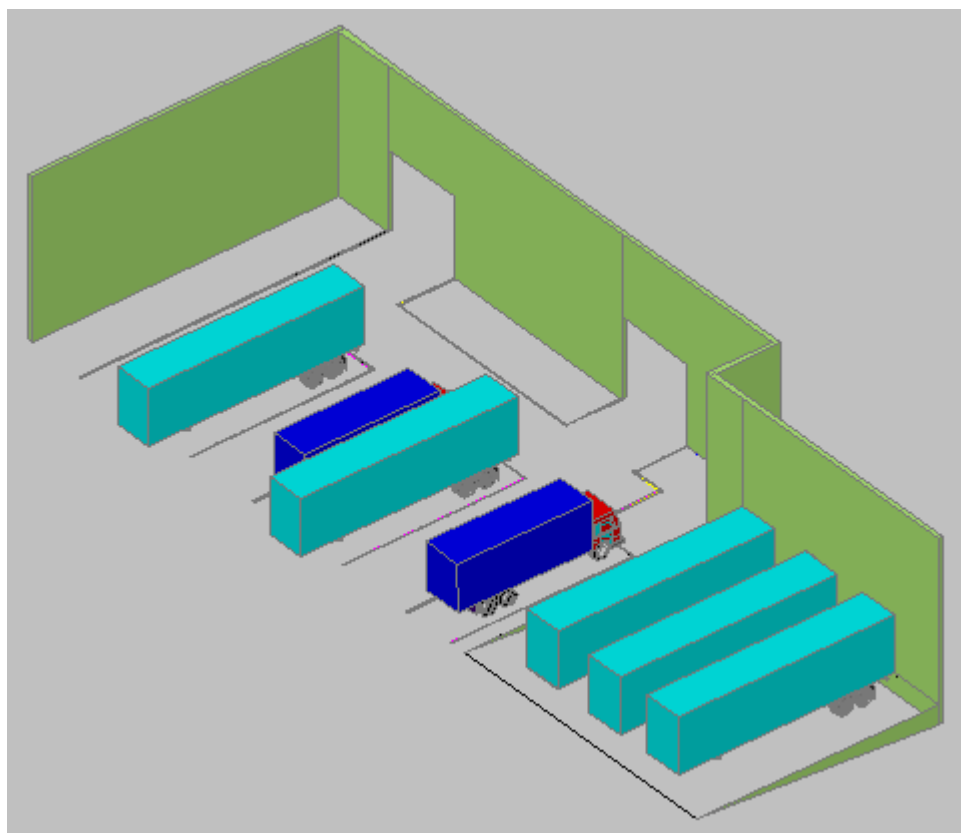


Ilustración 8.17. Esquema de Alero con Enganche y Desenganche

Se puede distinguir claramente las 2 posiciones que tienen los semis desenganchados en celeste, y las dos posiciones con los balancines del alero JIT en azul y colorado.

A diferencia de las alternativas anteriores, esta requiere de mayores cambios en el Sub-modelo 3 para que el sistema se comporte de la manera deseada. La siguiente imagen muestra cómo queda la configuración en Arena:

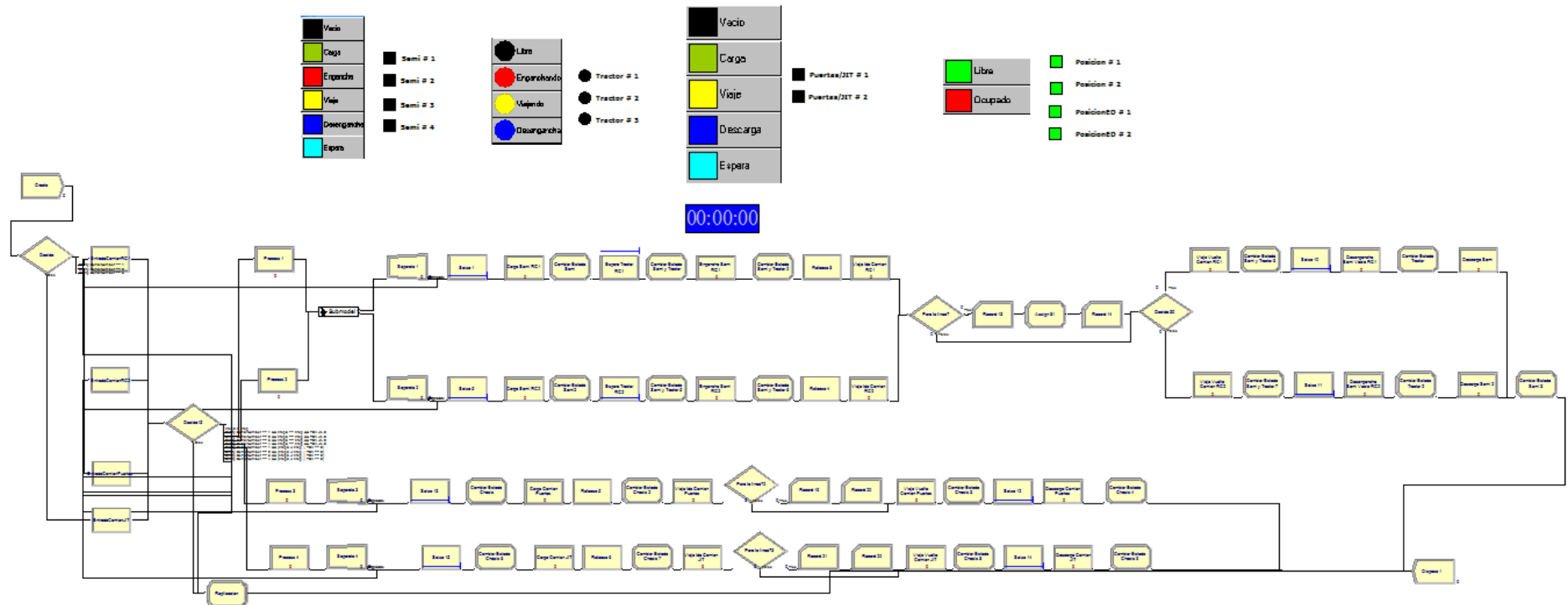


Ilustración 8.18. Sub-modelo 3 con Enganche y Desenganche

Siendo esta una de las alternativas más importantes a analizar, se van a realizar diferentes pruebas para probar cual es la mejor disposición de camiones:

- i. 4 Semis y 3 Tractores (Rolling Chasis); 2 Chasis (Puertas); 1 Balancín (JIT).
- ii. Enganche y Desenganche para Rolling Chasis, Puertas y JIT, sin diferenciar entre camiones. Además, al no haber mas posiciones exclusivas de carga y descarga, quedan habilitadas 3 posiciones de enganche y desenganche.
- iii. Se plantea un mix entre la alternativa IV-i para Rolling Chasis y la alternativa II para JIT. Es decir, 4 Semis y 3 Tractores (Rolling Chasis) y 2 Chasis (Puertas y Surán).

8.3 Análisis de Alternativas

8.3.1 Alternativa I

Para evitar mencionar esto cada vez que se presenten resultados, se define que cada resultado mencionado es provisto con un 95% de nivel de confianza. Habiendo dicho esto, se analizan los outputs del modelo al aplicar esta alternativa. Lo primero que hay que analizar, es que en este caso **hay paradas de línea**. Se tiene un total de 0.5 paradas por semana, lo que quiere decir que en las 10 semanas que fueron simuladas, la línea paro 5 veces en Rolling Chasis. Analizando en profundidad lo ocurrido con estas paradas, se detecta que hubo coincidencias entre tiempos entre señales demasiado largos, y tiempos de procesos por encima de la media, por lo que el camión llega a VW unos minutos más tarde de lo debido. Además, en estos casos, las piezas no pudieron ser transportadas instantáneamente, ya que no había camiones disponibles para dicha tarea. Al estudiar el indicador **Minutos de Parada** que se relaciona fuertemente con el anterior, podemos ver que se para la línea solo 0.7 minutos por semana. Si bien no se pudo programar en el simulador, se sabe que en la realidad, cuando ocurren hechos como estos, el personal cambia sobre la marcha y corrige para evitar la parada.

Habiendo aclarado las paradas de línea mencionadas, hay que analizar el indicador decisional más importante, la **Utilización de los Camiones**:

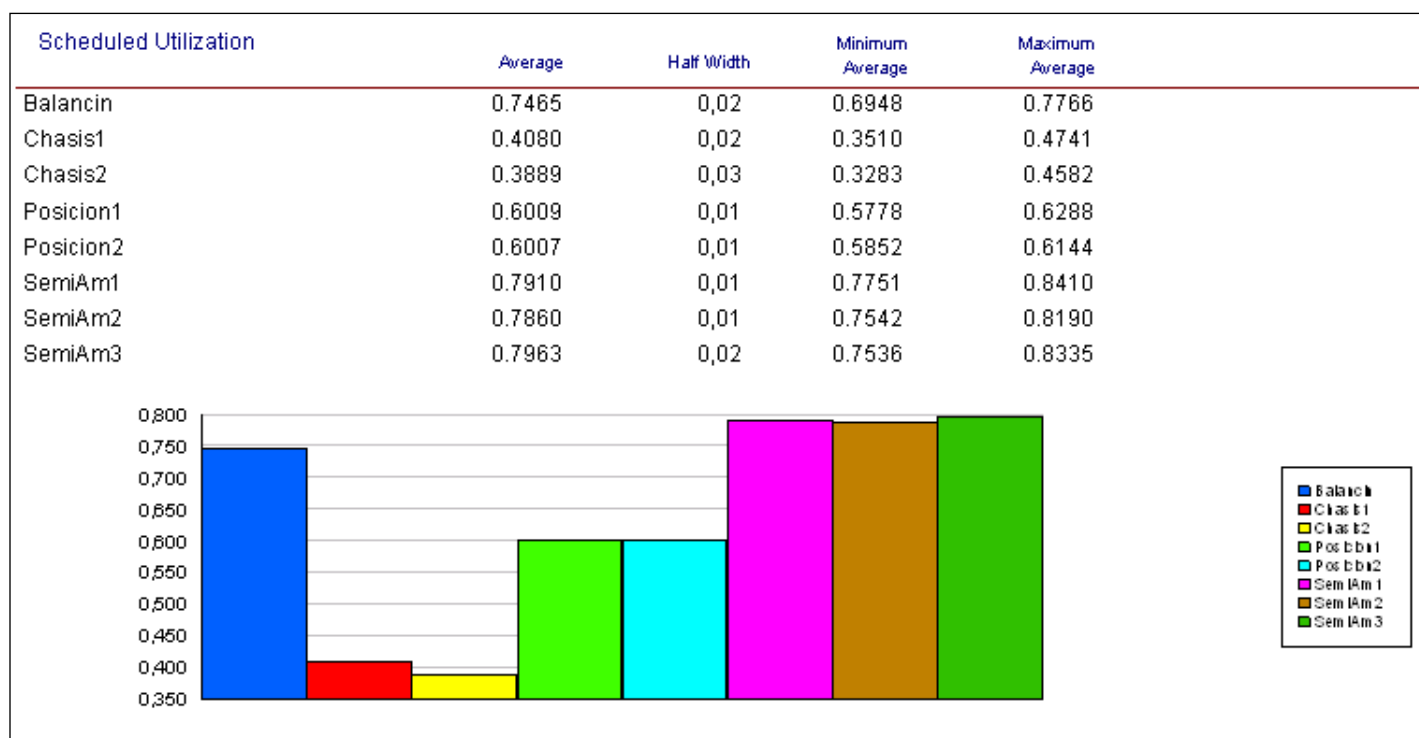


Ilustración 8.19. Utilización de Recursos - Alternativa I

Al reducir la cantidad de camiones utilizados para esta operación, los porcentajes se incrementan considerablemente a un 79% de utilización lo cual nos acerca al porcentaje deseado. Dado que las utilizaciones de los otros recursos no cambiaron sustancialmente, no vale la pena entrar en su análisis.

La **Probabilidad de Parada** (determinada con las 100 corridas) es de 0.62. Este valor resulta llamativamente alto, y muestra el riesgo de operar en estas condiciones. Si bien el tiempo promedio de paradas es poco (2.5 minutos), esta alternativa queda prácticamente descartada por la alta probabilidad de parar la línea.

Esta alternativa presenta una reducción de costos para la empresa, ya que se tiene un camión menos durante cada uno de los turnos. Sin embargo, hace que la operación sea más riesgosa, y que exista la posibilidad de parar la línea. Si bien se considera que las paradas simuladas pueden ser evitadas en la práctica, los riesgos existen al trabajar al límite y la empresa puede quedar expuesta ante algún imprevisto. A la hora de tomar la decisión, deberán ponerse estos factores en la balanza, y elegir una u otra alternativa.

8.3.2 Alternativa II

Los resultados que se obtienen del Arena muestran que no hay paradas de línea en ninguno de los aleros. Este resultado es bastante alentador ya que muestra que la operación puede realizarse con normalidad aun teniendo un camión menos. Esto quiere decir que la posibilidad de descartar un camión queda prácticamente confirmada, y el resto de los

indicadores sirven para analizar en profundidad, pero no serán tan determinantes para la decisión final.

La utilización de los camiones queda redistribuida de la siguiente forma:

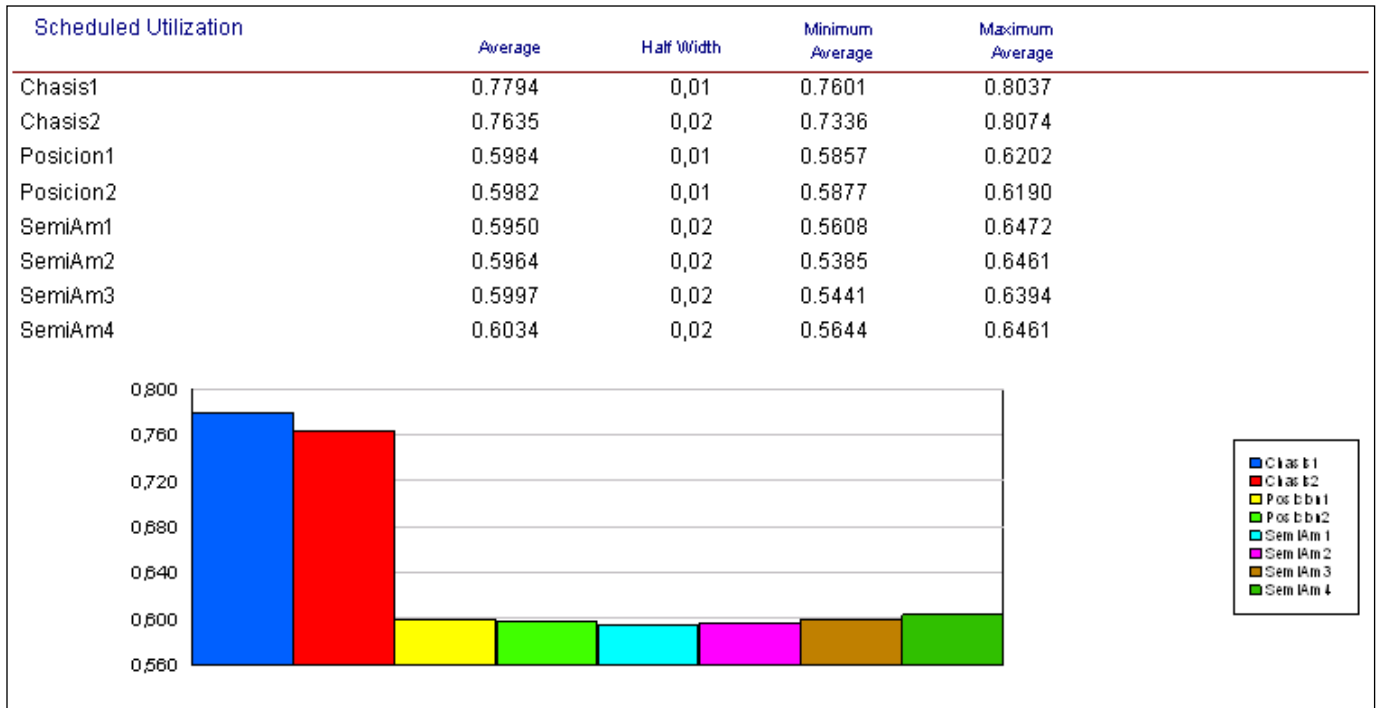


Ilustración 8.20. Utilización de Recursos - Alternativa II

Se puede ver claramente como la utilización de Chasis1 y Chasis2 aumenta considerablemente y llega a un 77%. Al igual que con la Alternativa 1, se logra un mejor uso de los recursos y se bajan los costos de la empresa.

Al evaluar la **Probabilidad de Parada**, se obtiene un valor de 0.01 para Puertas, mientras que no existen paradas en Surán. Las paradas de Rolling Chasis no se analizan porque no se cambió nada en esa parte del modelo. Este es un valor realmente bajo que indica el poco riesgo que implica adoptar esta alternativa.

8.3.3 Alternativa III

Nuevamente, esta simulación, devuelve resultados alentadores, ya que **no hay paradas de línea**. Esto da la tranquilidad de que la operación va a funcionar sin inconvenientes, y el servicio se va a prestar satisfactoriamente.

Con estas modificaciones al sistema, los camiones pasan a tener una ocupación del 78% en promedio, con el siguiente detalle:

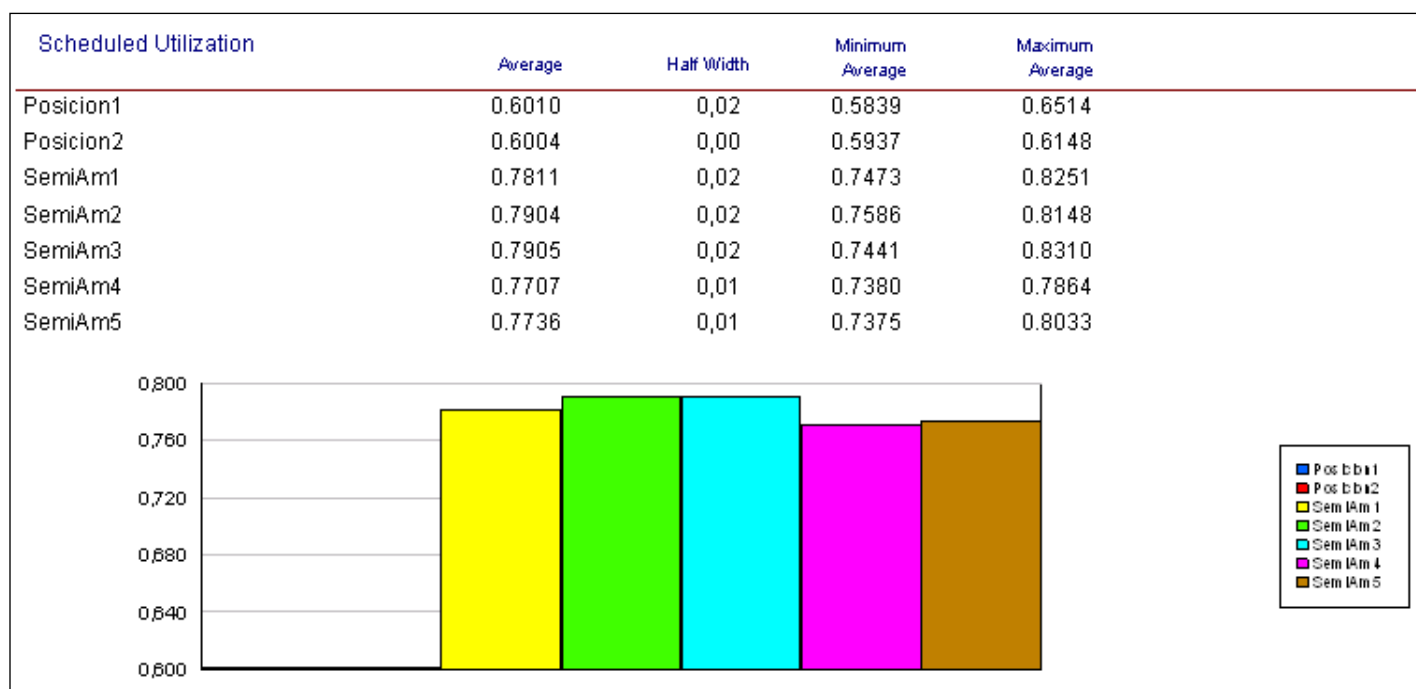


Ilustración 8.21. Utilización de Recursos - Alternativa III

Tal como se definió anteriormente, estos porcentajes resultan aceptables para que los camiones tengan una carga de trabajo aceptable, y también puedan tener suficiente margen para realizar excepciones y tomar descansos cuando sea posible.

La **Probabilidad de Parada** en esta alternativa es de 0.16 para Rolling Chasis y de 0.01 para Puertas (no hay paradas en Surán). Esto muestra que las 10 primeras corridas presentan el error estadístico presentado anteriormente, ya que no había paradas en esas corridas. Sin embargo, si bien hay posibilidades de que la línea pare, la probabilidad es relativamente baja por lo que la alternativa presenta poco riesgo. Además, el tiempo promedio de parada es de 35 segundos, por lo que el riesgo es aun mas bajo si pensamos en la posibilidad de evitarlas.

Esta alternativa representa una gran oportunidad de ahorro para la empresa ya que la calidad del servicio prestado no se ve afectada, y se tiene un ahorro del 30% de los camiones. Para poder implementar dicha alternativa es importante realizar el análisis del tipo de camiones a utilizar, ya que probablemente deban ser semis cortos para que puedan entrar todas las cargas. Dado que la empresa ya cuenta con parte de la flota propia, hay que estudiar la factibilidad de que esos camiones puedan ser incluidos en esta alternativa.

8.3.4 Alternativa IV

Si bien existe una guía para realizar las variantes dentro de esta alternativa, las experiencias se van a basar en los resultados de las anteriores, y se van a diseñar con el avance de las mismas. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

- i. Dado que con 5 semis y 3 tractores la línea no para, y la utilización de los mismos es demasiado baja, se opta por utilizar un semi menos. Lo primero que se debe informar es que **no hay paradas de línea** con esta cantidad de camiones. Además, como era de esperarse, mejora la utilización de los recursos, que deja los siguientes promedios:

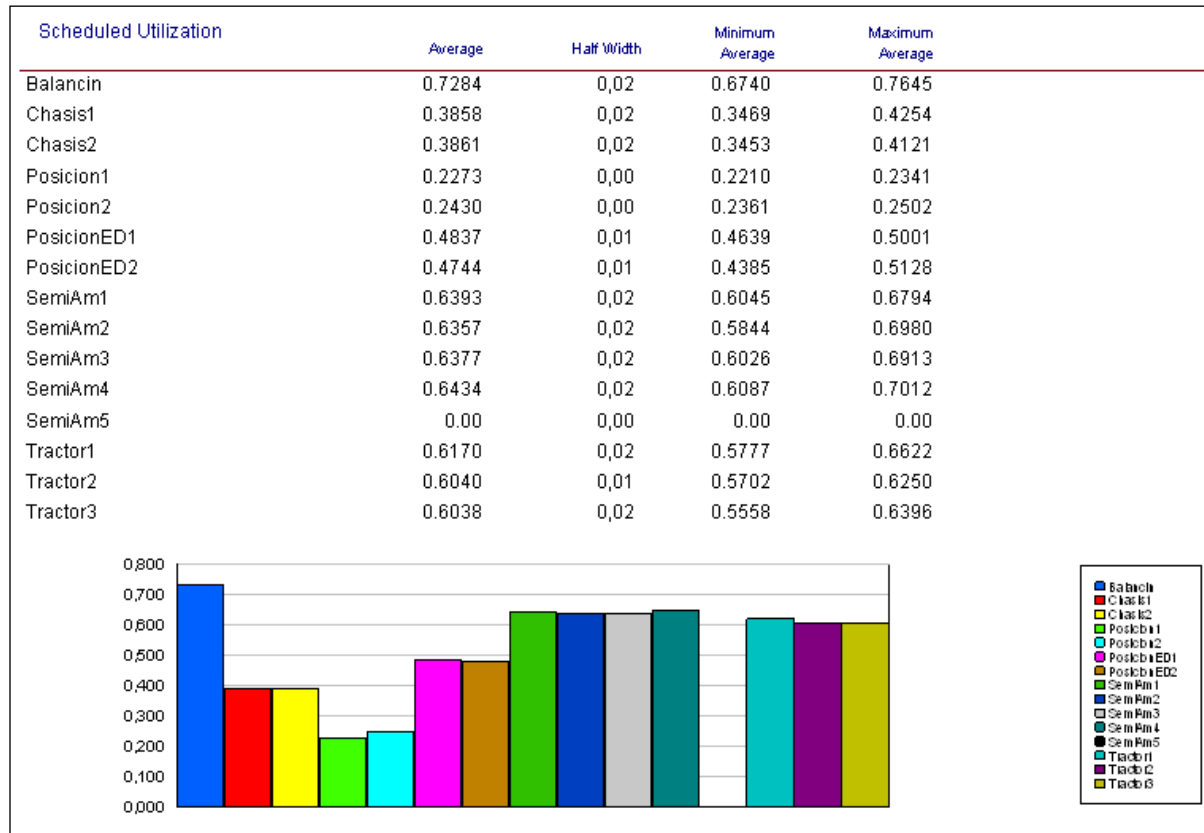


Ilustración 8.22. Utilización de Recursos - Alternativa IV-i

Los semis tienen una utilización del 64%, mientras que los tractores quedan con una utilización del 61%. Además, se puede ver que las posiciones de carga y descarga para el alero JIT, tienen una utilización del 23% en promedio. Este número tan bajo, indica que existe la posibilidad de darle otro uso a esas posiciones mientras no están siendo utilizadas para la carga y descarga. Una alternativa es usar las posiciones para descarga de materia prima en los días de lluvia, ya que actualmente no se cuenta con un alero en la zona de descarga.

La **Probabilidad de Parada** en este caso es de 0.1 para Rolling Chasis y de 0.01 para Puertas (nuevamente, no hay paradas en Surán). Dado que el tiempo promedio de parada es de 21 segundos, y que la probabilidad es baja, se puede decir que la alternativa tiene muy poco riesgo.

- ii. Planteando esta alternativa con 6 semis y 4 tractores, la línea presenta 4 paradas en Rolling Chasis (0.4 paradas por semana). Al igual que se explicó para otras

alternativas, como el tiempo de parada es muy poco (50 segundos en promedio), existen formas de corregir la operación en el momento para que esto no pase. Si bien se pueden solucionar las paradas, el hecho de que existan es una clara evidencia de que se está trabajando al límite. Al no haber diferencias entre los camiones que llevan las diferentes cargas, y pudiendo cualquier camión llevar cualquier carga, resulta evidente que la distribución en la utilización de los recursos será mucho más equitativa:

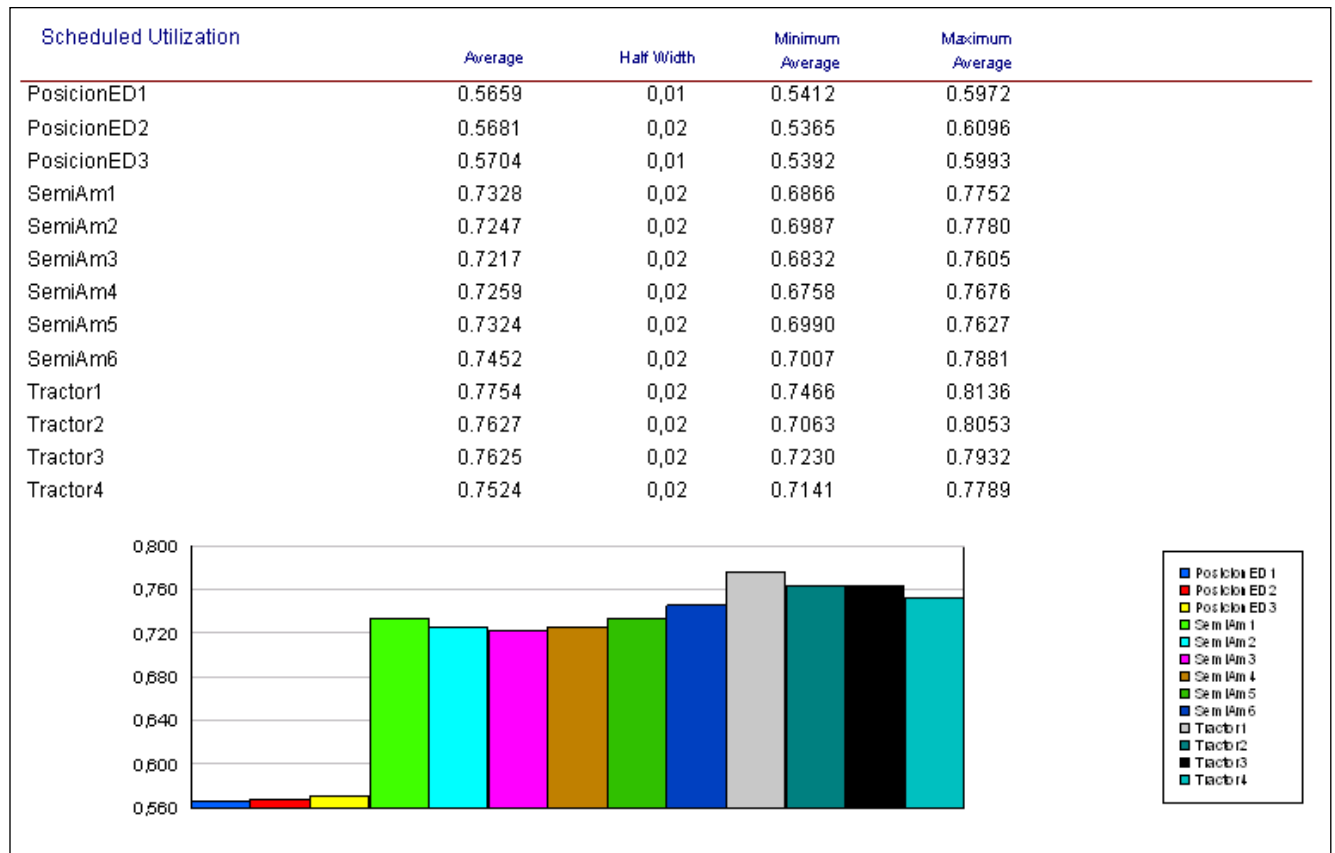


Ilustración 8.23. Utilización de Recursos - Alternativa IV-ii

Los semis tienen una utilización del 73% en promedio, mientras que la utilización de los tractores es del 76%. Si bien estos porcentajes no son óptimos, se podría decir que los recursos se utilizan en forma aceptable.

Para esta alternativa, se tiene una Probabilidad de Parada de 0.35 para Rolling Chasis y 0.01 para Puertas, mientras que el tiempo promedio de parada es de 1.3 minutos. Con estos resultados, se puede decir que la alternativa tiene un riesgo importante de parar la línea e incurrir en costos y mala imagen para la empresa.

- iii. Tal como era de esperarse por la combinación de alternativas, no hay paradas de línea. Además, se logra una mayor eficiencia en el uso de los recursos, tal como lo muestra el gráfico de Arena:

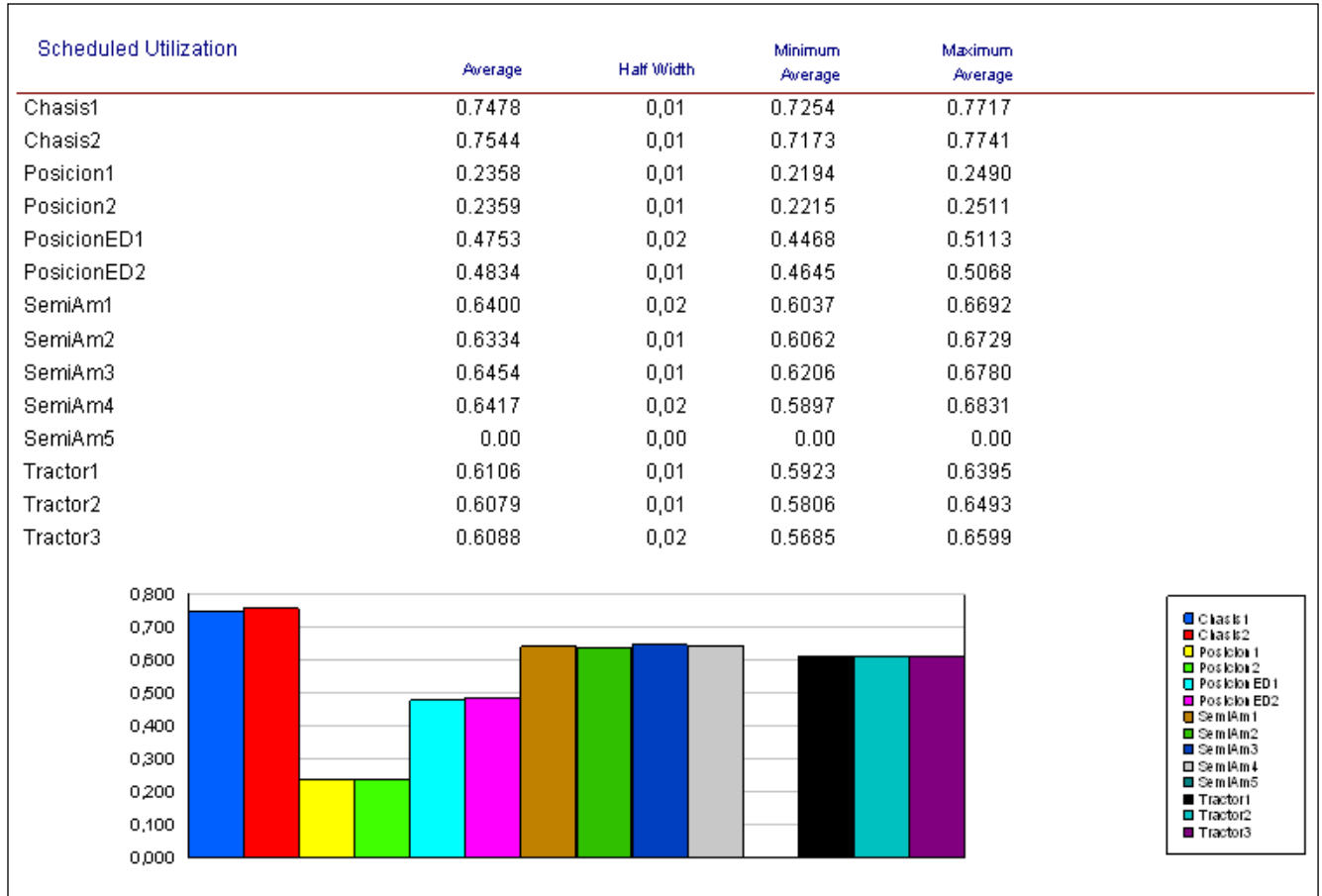


Ilustración 8.24. Utilización de Recursos - Alternativa IV-iii

En promedio, la utilización de los semis es de 64%, la de los tractores es de 61%, y la de los chasis es de 75%. Además, al analizar la Probabilidad de Parada, obtenemos un valor de 0.1 para Rolling Chasis y 0.01 para Puertas. Viendo estos resultados, se puede decir que esta alternativa se perfila como una de las más favorables por los ahorros que presenta y el bajo riesgo de parar la línea.

Vale la pena aclarar que se hicieron las pruebas teniendo un semi menos y/o un tractor menos, pero la cantidad de paradas eran inaceptables por lo que las propuestas no se incluyen en el informe.

8.4 Datos Análisis Económico

Para calcular los ahorros obtenidos en cada una de las alternativas, se consideraron los valores del alquiler de los camiones que se presentan en el siguiente cuadro:

Tipo de Camión	Precio Alquiler (\$/Turno)	Precio Alquiler (\$/Día)
Balancín	\$ 680,00	\$ 2.040,00
Chasis	\$ 600,00	\$ 1.800,00
Tractor	\$ 433,33	\$ 1.300,00
Semi	\$ 266,67	\$ 800,00
Semi Completo	\$ 700,00	\$ 2.100,00

Tabla 8.5. Tarifas de Camiones

Estos valores se obtienen de un promedio de los valores de mercado. Dado que la empresa contrata camiones a diferentes transportistas, y todos tienen tarifas distintas, se toma una tarifa representativa del mercado para minimizar el error.

El ahorro mensual obtenido para las alternativas se presenta en la etapa de Recomendaciones a continuación.

9. RECOMENDACIONES

Habiendo desarrollado el simulador y experimentado con su comportamiento y las diferentes alternativas planteadas, llega el momento de realizar las recomendaciones pertinentes al trabajo realizado. Las recomendaciones son una opinión personal ponderando tanto los resultados cualitativos como los cuantitativos de acuerdo a la valoración que considera quien escribe el informe.

A continuación se presenta un cuadro con el resumen de todos los resultados obtenidos en la experimentación:

Alternativa \ KPI	Cantidad de Camiones	Porcentaje de Utilización	Paradas de Línea	Tiempo Promedio de Parada	Probabilidad de Parada	T. Promedio de Parada (100 repl.)	Ahorro (\$/mes)	Ahorro (%)
Situación Actual	RC: 4 Semis Ptas: 2 Chasis Surán: 1 Balancín	RC: 59% Ptas: 40% Surán: 75%	0	0	RC: 0,09	12 seg.	N/A	N/A
I	RC: 3 Semis Ptas: 2 Chasis Surán: 1 Balancín	RC: 79% Ptas: 40% Surán: 75%	RC: 5	42 seg.	RC: 0,62	150 seg.	46.200	15%
II	RC: 4 Semis Puertas + Surán: 2 Chasis	RC: 59% Puertas + Surán: 77%	0	0	RC: 0,09 Puertas: 0,01	25 seg.	44.900	15%
III	RC + Puertas + Surán : 5 Semis	RC + Puertas + Surán : 78%	0	0	RC: 0,16 Puertas: 0,01	35 seg.	77.900	25%
IV - i	RC: 3 Tractores + 4 Semis Ptas: 2 Chasis Surán: 1 Balancín	Tractores: 61% Semis: 64% Ptas: 39% Surán: 73%	0	0	RC : 0,1 Puertas: 0,01	21 seg.	28.600	9%
IV - ii	RC + Puertas + Surán : 6 Semis + 4 Tractores	Tractores: 76% Semis: 73%	RC: 4	50 seg.	RC: 0,35 Puertas: 0,01	78 seg.	88.900	29%
IV - iii	RC: 3 Tractores + 4 Semis Puertas + Surán: 2 Chasis	Tractores: 61% Semis: 64% Puertas + Surán: 75%	0	0	RC : 0,1 Puertas: 0,01	23 seg.	73.500	15%

Tabla 9.6. Cuadro Resumen

Se propone analizar una por una las alternativas para evaluar la conveniencia o no de aplicarlas:

- Alternativa I: si bien se reduce un camión en Rolling Chasis, existe una gran cantidad de paradas de línea, y la operación corre riesgo de ser defectuosa. Esta alternativa queda descartada por presentar un ahorro relativamente chico, y presentar una probabilidad de parada muy alta.
- Alternativa II: por un lado, hay que mencionar que esta alternativa presenta un ahorro relativamente bajo al compararlo con las otras. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta alternativa sirven para la propuesta de nuevas experiencias que devuelven más beneficios económicos. Al no presentar paradas de línea, tener una

probabilidad de parada muy baja y mejorar el uso de los recursos, la Alternativa II muestra los primeros resultados alentadores de la simulación, y debería considerarse para ser aplicada en la realidad.

- Alternativa III: esta es la opción con la que se consigue uno de los ahorros mensuales más grandes. Este indicador sin dudas que resulta atractivo y coloca a esta alternativa como una de las más interesantes. Además, logra el mayor porcentaje de utilización de los camiones en conjunto, lo cual muestra que los recursos de la empresa se estarían empleando en forma correcta. Por ultimo, tiene una probabilidad de parada relativamente baja por lo que parece ser una alternativa con bajo riesgo de aplicación, y debería ser considerada para su aplicación.
- Alternativa IV (i): tal como se mencionó para la Alternativa II, esta opción presenta un ahorro relativamente bajo, pero muestra resultados alentadores para ser utilizados en otra experiencia. Además, no tiene paradas de línea y tiene una baja probabilidad de parada, por lo que podría ser aplicada a la realidad sin correr mucho riesgo de prestar un servicio poco satisfactorio.
- Alternativa IV (ii): el ahorro mensual de \$ 88.900 resulta realmente atractivo. Sin embargo, no hay que dejarse llevar solo por el indicador económico, ya que esta opción es muy riesgosa para la operación por presentar una probabilidad de parada muy alta. La aplicación de esta alternativa parece ser poco viable porque las paradas de línea repercuten fuertemente en los costos y en la imagen de la empresa.
- Alternativa IV (iii): esta alternativa es la fusión entre la Alternativa II y la Alternativa IV(i), utilizando las ventajas obtenidas en un caso para Rolling Chasis y en otro caso para JIT. El beneficio económico obtenido es de los más altos, presenta una baja probabilidad de paradas, y muestra un gran incremento en la utilización de los recursos. Definitivamente, esta es una de las alternativas más atractivas que se desarrollaron, por lo que deberá ser considerada para aplicarla a la realidad.

Viendo el análisis que se hizo de cada una de las alternativas, y observando el cuadro presentado anteriormente, se puede ver que las 2 alternativas más atractivas son la **III** y la **IV (iii)**. Con un ahorro mensual \$ 88.500 y \$ 83.500 respectivamente, y baja probabilidad de parar la línea en ambos casos, Supplier Park puede mejorar sus operaciones aplicando cualquiera de las 2 opciones. En lo personal, considero que la Alternativa IV (iii) debería ser la adoptada ya que al aplicarla se estaría comenzando a utilizar en enganche y desenganche de semis que no se usa actualmente. Conocer este tipo de operaciones puede resultar en una oportunidad de mejora y evolución para la empresa, ya que se optimiza el uso de los tractores y los choferes de los camiones. Además, en un futuro se puede fusionar con la Alternativa III y utilizar todos camiones con enganche y desenganche sin diferenciar entre los camiones y los aleros a los que van.

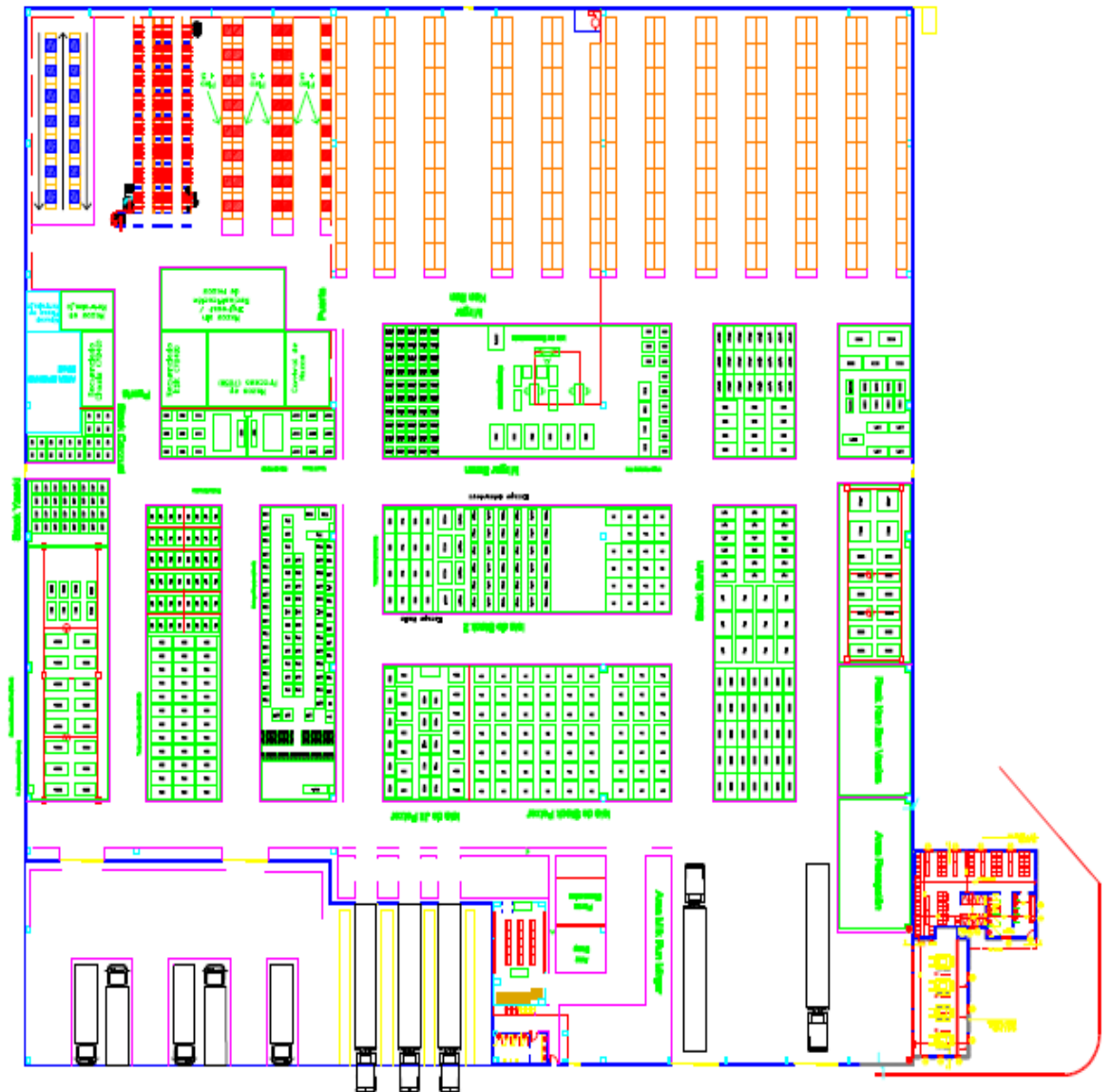
10. CONCLUSIONES

Al realizar el relevamiento de la situación actual y su posterior simulación, quedó en evidencia que la utilización de los recursos de la empresa eran muy bajos y que existían posibilidades de mejoras concretas. Sin embargo, con las herramientas utilizadas por la empresa hasta el momento, tales como cálculos en planillas de Excel sin variabilidad, no era posible reducir costos con argumentos sólidos que aseguren mantener la calidad del servicio.

La presentación de alternativas de este proyecto de simulación, tal como se puede ver en la etapa de Recomendaciones, entrega un ahorro potencial muy importante para la empresa sin incurrir en riesgos operativos. En el servicio de secuenciado de piezas el costo de transporte es uno de los costos más importantes (junto con la mano de obra) por lo que lograr una reducción de entre el 15% y el 25% en este punto representa una ventaja competitiva muy importante para la empresa a la hora de brindar un servicio y competir por nuevos negocios.

Además, la herramienta de simulación por etapas demostró que puede ser de gran utilidad para simular este tipo de procesos. En este proyecto en particular, se puede ver cuán útil resulta esta modalidad al simular el sub-modelo 3 para la Alternativa IV, ya que los primeros 2 sub-modelos no se modifican en absoluto y solo hace falta cambiar el tercero para obtener un proceso completamente diferente. La información de salida de los 2 primeros sub-modelos es la misma que se necesita para esta alternativa por lo que también se logra un ahorro de tiempo considerable ya que los outputs ya estaban grabados y no fue necesario correr ambos modelos nuevamente. De todas formas, creo que la utilidad de esta herramienta puede ser más grande cuando se analiza un horizonte más lejano de este proyecto, ya que puede ser utilizado para estudiar alternativas en otras etapas del proceso o incluso en otros negocios (como puede ser el abastecimiento JIS a Ford) sin necesidad de modelar todo nuevamente y aprovechando los sub-modelos estándar ya simulados.

11. ANEXO I: LAYOUT SUPPLIER PARK



12. ANEXO II: PIEZAS Y RACKS DE SECUENCIADO

Amarok:

Ballesta



Mazo Puerta



Corner



Alfombra



Mazo Chasis



Escape Delantero



Manija Puerta



Espejos



Silenciador



Radiador



Mazo KSK



Surán:

Salida Motor



Tanque Combustible



Silenciador



Corner



Front End



Eje Trasero



13. ANEXO III: EXTRACTO DE DATOS PARA OBTENER DISTRIBUCIONES

Extracto de Base de Datos para el Tiempo Entre Señales

KNR	FECHA	HORA	TMA	PUNTO
10-3459316-5	01/10/2010	00:46	2HB	M100
10-3459316-5	01/10/2010	00:46	2HB	M102
10-3559049-1	01/10/2010	02:40	2HB	M100
10-3559049-1	01/10/2010	02:40	2HB	M102
10-3719042-2	01/10/2010	09:34	2HB	M100
10-3719042-2	01/10/2010	09:34	2HB	M102
10-3739201-7	01/10/2010	08:04	2HB	M100
10-3739201-7	01/10/2010	08:04	2HB	M102
10-3749163-5	01/10/2010	22:08	2HB	M100
10-3749163-5	01/10/2010	22:08	2HB	M102
10-3749168-0	01/10/2010	16:58	2HB	M100
10-3749168-0	01/10/2010	16:58	2HB	M102
10-3749273-1	01/10/2010	01:29	2HB	M100
10-3749273-1	01/10/2010	01:29	2HB	M102
10-3769204-9	01/10/2010	04:06	2HB	M100
10-3819026-1	01/10/2010	01:08	2HB	M100
10-3819026-1	01/10/2010	01:08	2HB	M102
10-3819032-2	01/10/2010	01:46	2HB	M100
10-3819032-2	01/10/2010	01:46	2HB	M102
10-3819191-6	01/10/2010	19:34	2HB	M100
10-3819191-6	01/10/2010	19:34	2HB	M102
10-3819215-9	01/10/2010	06:00	2HB	M100
10-3825099-6	01/10/2010	06:07	5Z7	M100
10-3825108-5	01/10/2010	08:07	5Z7	M100
10-3825121-4	01/10/2010	18:11	5Z7	M100
10-3825121-4	01/10/2010	18:11	5Z7	M101
10-3825127-6	01/10/2010	17:28	5Z7	M100
10-3825131-3	01/10/2010	21:49	5Z7	M100
10-3825131-3	01/10/2010	21:49	5Z7	M101
10-3825151-1	01/10/2010	17:54	5Z7	M100
10-3825151-1	01/10/2010	17:54	5Z7	M101
10-3825206-8	01/10/2010	18:15	5Z7	M100
10-3829004-6	01/10/2010	02:22	2HB	M100
10-3829004-6	01/10/2010	02:22	2HB	M102
10-3829018-3	01/10/2010	13:57	2HB	M100

Tiempos de Viaje

Tiempo de Viaje Alero JIT Ida (min)	Tiempo de Descarga, Carga, Viaje Alero JIT Vuelta (min)	Tiempo de Viaje Alero RC Ida (min)	Tiempo de Descarga, Carga, Viaje Alero RC Vuelta (min)
9	24	10	26
10	37	11	20
8	38	12	20
12	22	10	21
9	38	8	31
10	31	11	29
11	33	11	29
7	25	9	28
8	36	10	22
10	23	9	30
10	21	9	26
9	19	10	24
11	30	10	29
10	24	11	20
10	24	10	34
9	21	8	24
11	25	10	23
10	23	9	17
8	22	10	30
9	34	11	29
10	21	9	26
12	21	10	20
10	25	8	19
10	25	12	24
11	22	9	23
9	22	10	25
10	19	11	19
12	20	7	23
10	19	8	25
10	24	10	19
9	26	10	24
10	20	9	26
10	20	10	27
11	21	10	22
10	31	11	25
8	29	10	31
10	29	9	30
9	21	12	25
10	22	11	36
11	30	10	23
10	26	10	21
9	20	9	21
10	19	11	25
10	24	10	25
11	18	10	22
10	36	9	22
9	19	11	19
12	23	10	20
11	25	8	19
10	19	9	24
8	31	8	29
11	23	11	23
10	31	10	27
11	19	11	28

Simulación del Servicio Logístico de DADA a VW

9	19	9	19
10	25	10	25
11	20	11	20
11	27	11	27
10	24	10	25
11	28	11	28
11	21	10	29
10	24	11	21
11	29	9	24
10	20	10	22
10	34	9	26
12	19	9	31
9	23	11	23
11	17	10	27
11	37	11	32
9	29	10	29
10	34	10	32
11	21	12	31
9	24	10	21
10	18	10	25
9	27	11	25
9	31	9	26
11	21	10	28
10	32	12	30
11	32	10	32
10	35	10	30
9	21	10	21
10	18	9	19
11	19	12	30
10	34	9	24
9	25	11	25
10	30	9	21
9	25	10	25
12	21	11	23
9	19	10	22
11	30	9	31
10	29	11	24
11	35	10	25
9	18	11	19
9	25	10	28
10	40	10	25
11	23	12	30
9	17	9	25
10	36	11	21
9	32	11	24

Tiempos de Carga/Descarga

Tiempo de Carga (min)	Tiempo de Descarga (min)
10	6
13	3
9	4
8	4
12	6
11	7
13	4

12	6
10	2
11	6
12	4
10	5
11	6
10	4
12	8
15	5
11	6
11	5
9	6
11	7
9	3
13	5
9	9
10	6
11	5
9	6
11	3
12	7
6	5
15	5
8	2
9	5
11	8
11	3
9	2
11	7
14	5
7	5
11	5
11	4
12	2
10	2
13	3
14	3
12	3
12	3
8	8
9	1
13	4

