



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

TEMA:

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA
PRIMA A LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA
ECUAJUGOS S.A.**

Autor: Cody Javier Barniak Velalcazar

Director: MSc. Ing. Erik Orozco Crespo

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | |
|------------------------|---|
| CÉDULA DE IDENTIDAD | 100196576-1 |
| DIRECCIÓN | Otavalo, km 1 Valle del Tambo |
| E-MAIL | barniakcody@hotmail.com |
| TELÉFONO FIJO | 062-926-164 |
| TELÉFONO MÓVIL | 0984522792 |
| DATOS DE LA OBRA | |
| TÍTULO | “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA A LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ECUAJUGOS S.A.” |
| AUTOR | CODY JAVIER BARNIAK VELALCAZAR |
| FECHA | 2017 / 04 / 13 |
| PROGRAMA | PRE-GRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA | INGENIERO INDUSTRIAL |
| ASESOR /DIRECTOR | ING. ERIK OROZCO |

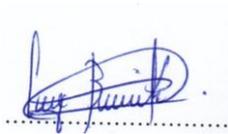
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Cody Javier Barniak Velalcazar, con cédula de identidad Nro. 100196576-1, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

EL AUTOR:



.....
Firma

Nombre: Cody Javier Barniak Velalcazar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Cody Javier Barniak Velalcazar, con cédula de identidad Nro. 100196576-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "Optimización del proceso de abastecimiento de materia prima a las líneas de producción de la Empresa Ecuajugos S.A.", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: Cody Javier Barniak Velalcazar

Cédula: 100196576-1



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

DECLARACIÓN

Yo, Cody Javier Barniak Velalcazar declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica del Norte puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de la Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

.....
Firma

Nombre: Cody Javier Barniak Velalcazar

Cédula: 100196576-1

Ibarra, 13 de Abril 2017



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

CERTIFICACIÓN

Ing. MSc. Erik Orozco Crespo Director de Trabajo de Grado desarrollado por la señorita Estudiante CODY JAVIER BARNIAK VELALCAZAR

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Trabajo de grado titulado “Optimización del proceso de abastecimiento de materia prima a las líneas de producción de la Empresa Ecuajugos S.A.” ha sido elaborado en su totalidad por señor estudiante Cody Javier Barniak Velalcazar bajo mi dirección para la obtención del título de Ingeniero Industrial. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Industrial, autorizo su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

.....
ING. MSc. ERIK OROZCO CRESPO
DIRECTOR DE TESIS



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a mi familia, quienes han sido mi referencia de inspiración y mejora continua que hizo posible la culminación de esta investigación que me permitió acceder a la titulación profesional.

Se lo dedico también a todas las personas que formaron parte de esta etapa tan importante y memorable, una etapa que llega a su final pero abre las puertas a nuevos retos.

Cody Javier Barniak Velalcazar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible esta oportunidad, en especial a mis padres quienes han sido mi punto de apoyo e inspiración a lo largo de los años, como ejemplo de perseverancia y de trabajo duro para alcanzar las metas propuestas. A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y guiarme hacia la profesionalización con la ayuda de sus docentes de alta formación académica, profesional y personal. A la carrera de ingeniería industrial donde conocí un grupo humano de mucha humildad con quienes he compartido algunos de los momentos más memorables de mi vida desde paseos hasta proyectos.

Mi sentido de agradecimiento a la empresa y a todo el equipo de trabajo del departamento de Supply Chain quienes me han colaborado durante las diferentes etapas de la investigación.

De igual manera agradecer a mi tutor Erik Orozco, quien mediante su esfuerzo y sus amplios conocimientos en la materia, ha sido pilar fundamental en el desarrollo de todo el proyecto y me ha brindado el soporte científico necesario para culminar el proyecto con resultados sólidos y confiables.

A mis amigos quienes han sido siempre un fuerte apoyo para mí a lo largo de toda la carrera, tanto en actividades curriculares como también aquellos extracurriculares.

¡Gracias Totales!

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la planta Ecuajugos S.A la cual se dedica a la producción de alimentos derivados de la leche, ubicado en la ciudad de Cayambe y persiguió como principal objetivo, el de detectar posibilidades de mejoras en el proceso de abastecimiento a las líneas de producción de la planta a partir del diseño de un modelo de simulación. Lo anterior se viabilizó a partir de la aplicación de metodologías existentes en la literatura, tanto para el diagnóstico del sistema productivo como para el diseño del modelo en sí. Para ello se emplearon como principales herramientas informáticas: *FlexSim*, versión 7.7.4, en conjunto con sus herramientas *ExpertFit* y *Experimenter*, SPSS, versión 21.0 y Microsoft Excel, versión 2013, las cuales facilitaron el diseño y procesamiento estadístico y matemático de la información.

La culminación de este trabajo demostró la factibilidad de aplicación mediante la comparación de dos alternativas que demuestren los mejores escenarios donde se desarrollan los diferentes variables que compone el modelo de simulación.

Obteniendo como principales resultados favorables que apalancan la factibilidad de implementación fueron la reducción del 35% en la reserva de productividad y un incremento en la densidad de almacenamiento del 33%. A diferencia del costo total operacional la cuál experimenta un incremento del 38% sujeto a la implementación de nuevos recursos en el sistema. Esto en aras de facilitar la toma de decisiones con respecto a la utilización de recursos y su incidencia favorable en el nivel de productividad actual.

Palabras clave

Administración de Operaciones, diagnóstico, Simulación de eventos discretos, *FlexSim*.

SUMMARY

The present investigation was carried out in the Ecuajugos SA plant, which is dedicated to the production of foods derived from milk, located in the city of Cayambe and pursued as main objective, to detect possibilities of improvements in the supply process to the lines of production of the plant from the design of a simulation model. This was made possible by the application of existing methodologies in the literature, both for the diagnosis of the production system and for the design of the model itself. For this purpose were used as main computer tools: FlexSim, version 7.7.4, together with its tools ExpertFit and Experimenter; SPSS, version 21.0 and Microsoft Excel, version 2013, which facilitated the design and statistical and mathematical processing of information.

The culmination of this work demonstrated the feasibility of application by comparing two alternatives that demonstrate the best scenarios where the different variables that compose the simulation model are developed. Obtaining as main favorable results that leverage the feasibility of implementation were the reduction of 35 % In the productivity reserve and an increase in storage density of 33%. Unlike the total operational cost, which is experiencing an increase of 38% subject to the implementation of new resources in the system. This in order to facilitate the decision making regarding the use of resources and their favorable incidence in the current level of productivity.

Keywords

FlexSim, Simulation, Processes, Productivity

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN | II |
| 3. CONSTANCIAS | III |
| RESUMEN..... | IX |
| SUMMARY | X |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1 CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 5 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.2 GESTIÓN DE ALMACENES | 6 |
| 1.2.1 ALMACÉN CÓMO CENTRO DE PRODUCCIÓN | 8 |
| 1.2.2 EL PROCESO DE ALMACENES COMO SISTEMA DE ACTIVIDADES..... | 9 |
| 1.2.3 PRINCIPIOS DE ALMACENAMIENTO | 11 |
| 1.3 TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO | 11 |
| 1.3.1 MEDIOS UNITARIZADORES DE CARGA | 12 |
| 1.3.2 ESTANTERIAS..... | 13 |
| 1.3.3 EQUIPOS DE MANIPULACIÓN..... | 14 |
| 1.3.4 MÉTODOS PARA EL CONTROL DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN..... | 15 |
| 1.3.5 FUNCIONES DEL MANEJO DE MATERIALES..... | 15 |
| 1.3.6 MODELOS DE ORGANIZACIÓN FÍSICA DE LOS ALMACENES..... | 16 |
| 1.4 INDICADORES LOGÍSTICOS EN LA GESTIÓN DE ALMACENES | 17 |
| 1.5 SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS..... | 19 |
| 1.5.1 DEFINICIONES..... | 19 |
| 1.5.2 COMPONENTES DE UN PROCESO DE SIMULACIÓN | 20 |
| 1.5.3 ELEMENTOS DE UN MODELO DE SIMULACIÓN..... | 22 |
| 1.6 APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN EN ALMACENES..... | 23 |
| 1.6.1 APLICACIONES EN LA MANUFACTURA | 23 |
| 1.6.2 APLICACIONES EN EL TRANSPORTE Y CADENA DE SUMINISTRO | 24 |
| 1.6.3 APLICACIONES EN LA GESTIÓN DE ALMACENES | 25 |
| 1.7 PASOS DEL PROCESO ITERATIVO UNA SIMULACIÓN | 26 |
| 1.8 PAQUETES COMERCIALES PARA LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS..... | 28 |
| 2 CAPÍTULO II - DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL..... | 33 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | 33 |
| 2.2 DATOS GENERALES SOBRE LA EMPRESA..... | 34 |
| 2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCTOS..... | 34 |
| 2.3 DIAGNÓSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN | 35 |
| 2.3.1 ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO EN BODEGAS | 40 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.2 | DIAGNÓSTICO DE ACTIVIDADES DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES..... | 45 |
| 2.3.3 | ANÁLISIS DE FLUJOS Y RECORRIDOS | 47 |
| 2.3.4 | ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES | 49 |
| 2.3.5 | ANÁLISIS ABC..... | 52 |
| 2.3.6 | PROYECCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE ESPACIO | 55 |
| 2.4 | RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO | 60 |
| 3 | CAPÍTULO III - OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO | 63 |
| 3.1 | INTRODUCCIÓN | 63 |
| 3.2 | DEFINICIÓN DE OBJETIVOS, ALCANCES Y REQUERIMIENTOS..... | 63 |
| 3.3 | RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS | 67 |
| 3.4 | CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN..... | 69 |
| 3.5 | VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO | 73 |
| 3.6 | CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTOS DE OPTIMIZACIÓN | 77 |
| 3.6.1 | CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ALTERNATIVA 1.... | 77 |
| 3.6.2 | CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ALTERNATIVA 2.... | 81 |
| 3.7 | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 82 |
| 3.7.1 | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARA AMBOS MODELOS..... | 83 |
| 3.7.2 | COMPARACIÓN DE RESULTADOS..... | 85 |
| 3.7.3 | PROPUESTAS DE MEDIDAS..... | 89 |
| | CONCLUSIONES..... | 90 |
| | RECOMENDACIONES | 91 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 92 |
| | ANEXOS | 94 |

Índice Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Hilo conductor capítulo I | 5 |
| Figura 1.2 Elementos de la tecnología de almacenamiento | 12 |
| Figura 1.3 Diagrama macro de montacargas | 14 |
| Figura 1.4 Modelos de organización física de almacenes | 17 |
| Figura 1.5 Proceso Iterativo de simulación | 27 |
| Figura 2.1 Hilo conductor | 33 |
| Figura 2.2 <i>Layout</i> de planta..... | 35 |
| Figura 2.3 Representación de la bodega 2 | 37 |
| Figura 2.4 Representación bodega 3 | 38 |
| Figura 2.5 Representación bodega 4 | 39 |
| Figura 2.6 Rack Selectivo Pallet – Tipo 1 | 42 |
| Figura 2.7 Rack selectivo – Tipo 2 | 43 |
| Figura 2.8 Rack selectivo – Tipo 3 | 43 |
| Figura 2.9 <i>Hand pallet truck</i> | 45 |
| Figura 2.10 Montacargas eléctrico | 46 |
| Figura 2.11 Recorridos..... | 48 |
| Figura 3.1 Alcance de actividades del modelo | 63 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 <i>Contenido del proceso en los almacenes</i> | 10 |
| Tabla 1.2 <i>Características técnicas</i> | 13 |
| Tabla 1.3 <i>Beneficios de las estanterías</i> | 14 |
| Tabla 1.4 <i>Indicadores logísticos</i> | 18 |
| Tabla 2.1 Ubicación de los MP y ME | 41 |
| Tabla 2.2 <i>Dimensiones de racks</i> | 42 |
| Tabla 2.3 <i>Almacenamiento en estanterías</i> | 44 |
| Tabla 2.4 <i>Almacenamiento masivo</i> | 44 |
| Tabla 2.5 <i>Descripción Hand pallet truck</i> | 46 |
| Tabla 2.6 <i>Descripción Montacargas eléctrico–Linde</i> | 47 |
| Tabla 2.7 <i>Distancias de recorrido</i> | 48 |
| Tabla 2.8 <i>Análisis de existencia media MP</i> | 56 |
| Tabla 2.9 <i>Análisis de existencia media ME</i> | 57 |
| Tabla 2.10 <i>Mayores contribuyentes</i> | 59 |
| Tabla 2.11 <i>Porcentaje de utilización por mayor contribuyente</i> | 59 |
| Tabla 3.1 <i>Resumen de objetivos específicos de la simulación</i> | 65 |
| Tabla 3.2 <i>Resumen Objetivos de optimización</i> | 66 |
| Tabla 3.3 <i>Forma de arribo</i> | 69 |
| Tabla 3.4 <i>Objetos Flexsim utilizados</i> | 70 |
| Tabla 3.5 <i>Resultados de réplicas</i> | 75 |
| Tabla 3.6 <i>Valores a contrastar para las variables dependientes</i> | 76 |

Glosario de Siglas y definiciones

UHT – *Ultra High Temperature*

LEP – Leche en Polvo

MP – Materia Prima

ME – Material empaque

SKU – *Stock-keeping unit*

SAP – Sistemas, Aplicaciones y Productos

MH – *Material Handling*

PMP – Plan maestro de producción

BDCA - Balance Demanda Capacidad Almacenamiento

FEFO – *First Expire First Out*

DES – Simulación de Eventos Discretos

INTRODUCCIÓN

Problema

Actualmente la planta industrial Ecuajugos S.A cuenta con dos negocios principales; producción de leche en polvo (LEP) y bebidas líquidas ultra pasteurizadas *ultra high temperature* (UHT), realizando toda una variedad de diferentes productos en sus respectivos formatos las cuales suman 81 diferentes referencias lanzadas al mercado. Cada referencia compuesta por diferentes recetas, las cuales generan la necesidad de almacenar grandes volúmenes de materia prima y material de empaque para la producción de las mismas.

Para el abastecimiento de suministros para la producción se cuenta con tres bodegas; las tres son utilizadas como bodegas para el almacenamiento de materia prima y material de empaque, con excepción de que en una de ellas se añade el producto terminado de leche en polvo en tránsito. En los tres centros la utilización de montacargas es indispensable para realizar procesos de logística interna y manejo, manipulación de suministros y producto terminado. Al momento de abastecer las líneas de producción con la materia prima requerida, los operadores de montacargas se enfrentan a largos e ineficientes recorridos, debido a la falta de criterio técnico al momento de decidir el lugar de almacenamiento en bodega de los materiales, por lo cual exige a los operadores a recorrer largos tramos y muchas veces con carga muerta, a través de las bodegas al momento de realizar las transferencias de materiales hacia producción. Esto no solo implica mayor costo en las operaciones con montacargas pero atenta contra la salud y bienestar del trabajador al estar expuesto a diferentes riesgos laborales.

Existen algunos puntos críticos identificados en la operación de su trayectoria donde existe mayor acumulación de tráfico vehicular y pedestre y por ende mayor riesgo de presentarse eventualidades que ocasionan contratiempos en el flujo de las operaciones de los montacargas.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar el proceso de abastecimiento de materia prima en la Empresa Ecuajugos S.A a partir de un modelo de simulación, que permite detectar posibilidades de mejora en el uso de los recursos que se emplean.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio bibliográfico que permite asentar las bases teóricas del tema a investigar en el presente trabajo.
- Diagnosticar la situación actual en el almacenamiento y manipulación de materiales del proceso de abastecimiento de materia prima en la Empresa Ecuajugos S.A.
- Optimizar el funcionamiento del sistema actual a partir de la definición de macros y posibles escenarios, que conlleven a un mejor uso de recursos disponibles.

Alcance

El presente trabajo de investigación se enfoca en las actividades de manipulación de materiales que suceden en la Bodega 4 de la fábrica. A la par de evaluar el sistema actual y llegar a resultados óptimos se analiza la posibilidad del empleo de un camión para la transferencia de materiales hacia producción. Estas intenciones condicionan el desarrollo de dos modelos de simulación que son evaluados y optimizados, es decir, uno para la situación actual y el otro para el empleo del camión.

Por otro lado, en ambas propuestas se consideran los principales materiales y materias primas de la fábrica en general, los cuales se proponen sean almacenadas en la Bodega 4. Esta condición convierte a ambos modelos en modelos *To-Be* donde se pretende comparar y evaluar dos parámetros principales, planteadas más adelante como función objetiva, como son; la reserva

de productividad y el costo total operativo buscando el mejor escenario para cada uno.

Justificación

En conformidad al objetivo 4.6 del Plan Nacional del Buen Vivir que establece lo siguiente; “Promover la interacción recíproca entre la educación, el sector productivo y la investigación científica y tecnológica para la transformación de la matriz productiva y la satisfacción de necesidades”, aplicado a la industria pública como privada buscando mejorar los índices de eficiencia de las organizaciones buscando abrir nuevas oportunidades de mejora y fomentando la creación de trabajos para la sociedad mejorando la calidad de vida de las personas alrededor de la empresa. Articulado al objetivo 4.6.c y 4.6.f las cuales promueven la inclusión de la universidad en los campos de la investigación y transferencia tecnológica en los sectores prioritarios siendo la industria manufacturera nacional y entre ellas la industria de lácteos considerada crítica y controlado por el gobierno dado que genera fuente de empleo a cientos de miles de personas a nivel nacional, destaco la importancia de esta investigación y su pertinencia alineado con el desarrollo productivo del país.

1 CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

Para la confección de la Fundamentación Teórica del presente Trabajo de Grado, y con el objetivo de sustentar bibliográficamente la solución del problema a resolver y planteado en la introducción de esta tesis, el autor sigue como orden metodológico el hilo conductor que se muestra en la figura 1.1. Para ello, toma como inicio el almacén con un enfoque de proceso, sus principios de funcionamiento y la tecnología de almacenamiento. Además, se añade un resumen de los principales indicadores logísticos como parte de la gestión de almacenes.

Posteriormente, se conceptualiza a la simulación de eventos discretos de conjunto con los elementos que intervienen en un modelo de simulación, haciendo énfasis en los principales procedimientos para estos fines. Termina esta etapa profundizando en los paquetes comerciales que existen en la actualidad para estas aplicaciones.

Termina la justificación de la práctica ejemplificando las principales aplicaciones de *FlexSim* en la toma de decisiones, haciendo hincapié en sus aplicaciones en almacenes.

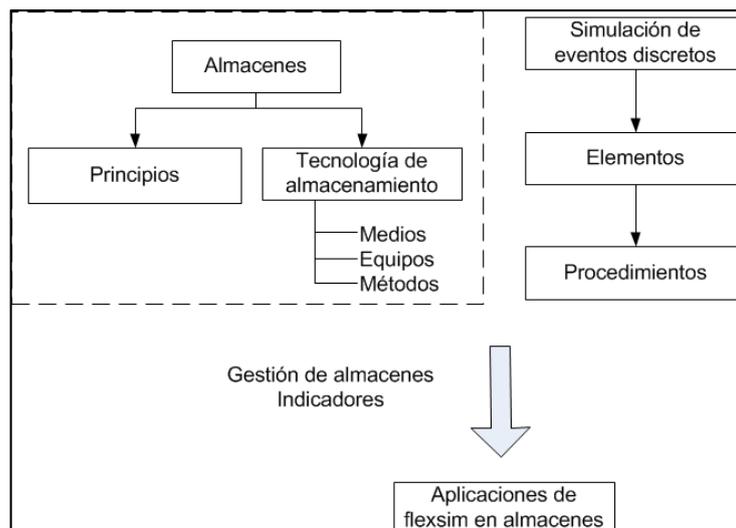


Figura 1.1 Hilo conductor capítulo I
Elaborado por: Autor

1.2 GESTIÓN DE ALMACENES

La gestión de almacenes es un proceso que trata la recepción, almacenamiento y distribución, hasta el punto de consumo de cualquier tipo de material, materias primas, semielaborados, terminados; así como el tratamiento e información de los datos generados (Ballou, 2004).

Los procesos de recepción de mercancías, almacenamiento y distribución, se apoyan en tres parámetros: disponibilidad, rapidez de entrega y fiabilidad. En otras palabras, eficacia de la gestión consiste en lograr los objetivos de servicio establecidos por los departamentos comerciales con un nivel de costos aceptables para la empresa (Anaya, 2007).

Para Soret (2006), las principales actividades de creación de valor en un almacén son las siguientes:

- Rotación de mercadería: se basa en la gestión de evitar que los productos se vuelvan inservibles por razones de perecibilidad u obsolescencia.
- Minimizar pérdidas: mejorar el control de las mercancías para así evitar cualquier pérdida, ya sea por manipulación o robo.
- Mantener un buen nivel de stocks: todo almacén tiene una capacidad, la cual no puede superar, debido a que la mercadería se agruparía en espacios más estrechos y se problemas con satisfacer algún pedido.

Para Frazelle (2007), la característica principal de un almacén es realizar las operaciones y actividades necesarias para suministrar los materiales en condiciones óptimas de uso, en la forma que sea más eficiente en costo. Los beneficios de un sistema de almacenaje son los siguientes:

- Reducción de tareas administrativas
- Agilidad del desarrollo del resto de procesos logísticos
- Mejora de la calidad del producto
- Nivel de satisfacción del cliente

Los objetivos principales que se obtienen de un sistema de almacenaje son:

- Reducción de costos
- Maximización del volumen disponible
- Minimización de las operaciones de manipulación y transporte

Para Ballou (2004), en un sistema de almacenamiento o manejo de mercancías se distinguen tres actividades principales, estas son:

- Carga y descarga: para que un almacén funcione, de manera adecuada, es necesario que tenga un control de ingreso y despacho. En el proceso de carga está incluido el proceso de ubicación de la mercadería dentro del almacén, aunque en otros almacenes ambos procesos se encuentran separados, como en los que se requieren de un equipo especial para la descarga y otro para la ubicación. El proceso de carga puede llegar a ser un poco más complicado que el de la descarga, pues, en algunos almacenes, se realiza una inspección previa a los materiales que se están retirando, además, según sea la naturaleza de la mercancía, en ciertas ocasiones, se deberá pasar por un proceso de empaquetado.
- Programación efectiva: como en todo sistema bien organizado un almacén debe preparar los recursos necesarios, calcular el tiempo que necesitará para realizarlas y prevenir cualquier eventualidad. Las actividades que se deben programar, con la debida anticipación, son las de compras, despachos e inventarios.
- Traslación dentro del almacén: esta función se ubica entre la carga y la descarga, se refiere a lo que es el traslado físico de la mercadería dentro de las instalaciones del almacén, es decir de una ubicación a otra. Por tanto, generan mayor cantidad de pérdidas, sea por manipuleo interno, un mal ingreso no verificado o ubicación errada. Esta actividad suele ser realizada con ayuda de los equipos de los cuales el almacén dispone como: carretillas, montacargas, entre otros.

Mientras que otros autores mencionan las siguientes:

- **Storing** es el proceso de almacenar los materiales ya sea en racks o almacenamiento masivo, los lugares donde se almacenan deben cumplir con ciertas características dependiendo el tipo de material a almacenar. Para Morales (2013) el almacenamiento consiste en la conservación de la mercancía en el almacén de una forma segura y optimizando el aprovechamiento del espacio y de los recursos. Además, recalca que se deberá realizar una adecuada zonificación del almacén y el tipo de almacenamiento más adecuado sea este: Rack, Suelo, por Zonas, aleatorio. (p. 47)

- **Sorting** se refiere a la clasificación de los materiales o su separación física en subgrupos homogéneos. Según Astals (2009), el análisis ABC es el que clasifica los productos en tres grandes grupos: A, una pequeña fracción de referencia (...) que representa la parte más importante de la actividad, B, una fracción mayor de productos, menos importante, y C, un gran número de referencias cuyas salidas son mucho menores. (p. 29)
- **Picking** o preparación de materiales es el proceso de selección de materiales por unidades o conjuntos de paquetes de un lote más grande, esto se lo lleva a cabo de acuerdo a los pedidos que realiza producción. Para Torres (2013) es “el conjunto de operaciones destinadas a extraer y acondicionar los productos demandados por el cliente” (p. 217).

Como conjunto de actividades bajo la responsabilidad de la Gestión de Almacenes están:

- En primer lugar, el Proceso de Planificación y Organización de la función de los almacenes como subproceso inicial y que se extiende a lo largo de todo el proceso.
- En segundo lugar, los subprocesos que componen la gestión de las actividades y objetivos de los almacenes y que abarca la recepción de los materiales, su mantenimiento en el almacén y el movimiento entre zonas de un mismo almacén.
- Por último, la gestión de las identificaciones, registros e informes generados a lo largo de los procesos anteriores.

1.2.1 ALMACÉN CÓMO CENTRO DE PRODUCCIÓN

Según Julio Anaya (2007), todo almacén es considerado como un centro de producción, ya que en él existen y se llevan a cabo una serie de procesos relacionados con todo aquello que tiene que ver con:

- Procesos de entrada: la recepción, control, adecuación y colocación de los productos recibidos.
- Proceso de almacenamiento: este debe ser en las condiciones necesarias para su buena conservación, identificación, selección y control.

- Procesos de salida: la preparación para el despacho y todo lo que esto conlleva.

Para dichos procesos es necesario contar con los recursos necesarios, tales como, Humano, Capital y Energético.

Los procesos productivos de un almacén, a diferencia de lo que ocurre en las fábricas o talleres, en general no añaden valor alguno al producto desde el punto de vista del cliente, por lo cual hay que conseguir minimizar costes mediante una correcta racionalización de los recursos empleados. (p. 198)

1.2.2 EL PROCESO DE ALMACENES COMO SISTEMA DE ACTIVIDADES

Según Torres Gemeil (2004), el proceso en los almacenes se compone de la recepción, el almacenamiento y el despacho (llamado también por algunos autores preparación de pedidos)” (p 130), cada una de las cuales se componen de un conjunto de actividades.

Tabla 1.1 *Contenido del proceso en los almacenes*

| Proceso | Contenido |
|------------------|--|
| Almacenes | <p>— Recepción</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revisar la factura y chequearla contra las mercancías recibidas • Proceder a la reclamación o devolución • Detectar problemas en el código, precio o unidad de medida • Revisar el embalaje y reenvasar en el caso que sea necesario • Establecer el control de calidad • Verificar el estado técnico de los medios de medición • Conocer la fecha de vencimiento de los productos • Utilizar las marcas gráficas correctamente • Realizar los esquemas de carga |
| | <p>— Almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener actualizadas las entradas y salidas de productos (inventario) • Controlar y custodiar las cargas • Velar por la fecha de vencimiento de los productos y su rotación • Reubicar los productos cuando sea necesario • Colocar y localizar los productos en las estanterías o estibas • Revisar las ubicaciones donde va a ser almacenado el producto • Llenar la tarjeta de estiba • Evitar recorridos innecesarios de mercancías y equipos • Correcta utilización de marcas gráficas • Cumplir con las normas de manipulación y almacenamiento • Mantener actualizado el registro de disponibilidad de alojamiento • Empaquetar los productos cuando sea necesario |
| | <p>— Despacho</p> <p>Recepción y clasificación de los pedidos</p> <p>Elaboración de la documentación para la selección y extracción</p> <p>Método para el despacho</p> <p>Extracción de las cargas y traslado a la zona de formación de pedidos</p> <p>Formación de pedidos</p> <p>Revisión y control</p> |

Fuente: Torres Gemeil, 2004 (p 130).

Bajo un enfoque sistémico y según Ballou, Ronald H (2004), el sistema de almacenamiento puede separarse en dos funciones importantes la posesión (almacenamiento) y el manejo (o manipulación) de materiales (...) El manejo de materiales se refiere a las actividades de carga y descarga, al traslado del producto hacia y desde las diversas ubicaciones dentro del almacén y a recoger el

pedido. El almacenamiento simplemente es la acumulación de inventario en el tiempo. (p 472)

1.2.3 PRINCIPIOS DE ALMACENAMIENTO

Para Silva (2006), cualquier decisión de almacenaje que se adopte debe tenerse en cuenta los siguientes principios o reglas:

- El almacén no es un ente aislado, independiente del resto de las funciones de la empresa. En consecuencia, su planificación deberá ser acorde con las políticas generales de ésta e insertarse en la planificación general para participar de sus objetivos empresariales.
- Las cantidades almacenadas se calcularán para que los costos que originen sean mínimos; siempre que se mantengan los niveles de servicios deseados.
- La disposición del almacén deberá ser tal que exija los menores esfuerzos para su funcionamiento; para ello deberá minimizarse:
- **Espacio** empleado, utilizando al máximo el volumen de almacenamiento disponible.
- **Tráfico** interior, que depende de las distancias a recorrer y de la frecuencia con que se produzcan los movimientos.
- **Movimientos**, tendiendo al mejor aprovechamiento de los medios disponibles y a la utilización de cargas completas.
- **Riesgos**, debe considerarse que unas buenas condiciones ambientales y de seguridad incrementan notablemente la productividad del personal.
- Por último, un almacén debe ser lo más flexible posible en cuanto a su estructura e implantación, de forma que pueda adaptarse a las necesidades de evolución en el tiempo.

1.3 TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO

Los elementos de la tecnología de almacenamiento como se muestra en la figura 1.2 son:

- Medios para el almacenamiento
- Equipos de manipulación

- Métodos para ubicar y localizar los productos en el almacén.

A continuación, se presenta un mapa conceptual de los elementos que componen la tecnología de almacenamiento:

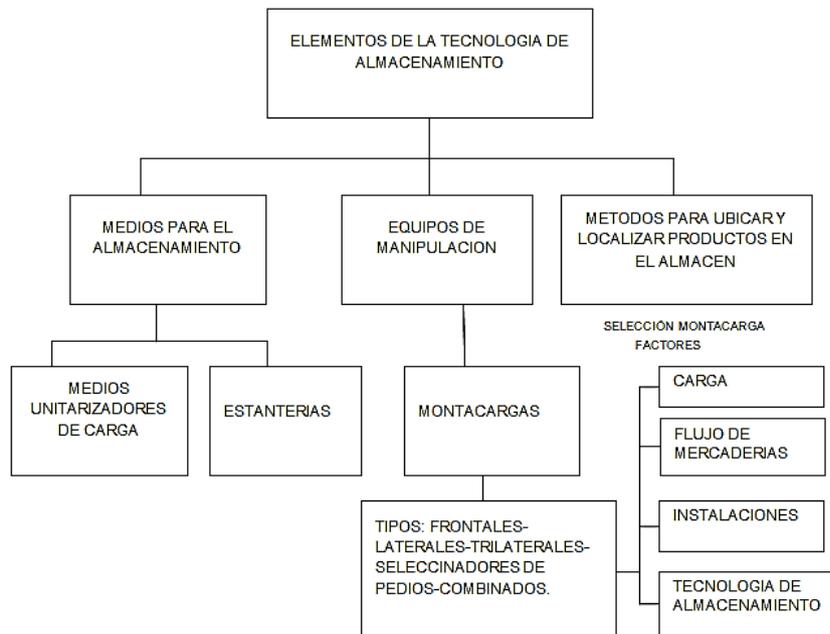


Figura 1.2 Elementos de la tecnología de almacenamiento
Fuente: Torres Gemeil (2004).

1.3.1 MEDIOS UNITARIZADORES DE CARGA

Para Torres Gemeil (2000) “Los medios unitarizadores de carga son elementos diseñados con el propósito de agrupar cargas similares o no; considerándose de esta forma como un todo único en los procesos de transportación y almacenamiento; y adaptados para la mecanización de los procesos de carga y descarga” (p.52).

Sus beneficios son muchos, pero en general sirven para disminuir costos de manipulación, almacenamiento y transporte, ya que permiten que la mercancía circule como flujo material, protegiéndola y unificándola. Para comparar este medio unitarizador hay que tomar en cuenta las características técnicas de los envases y embalajes de los productos, y sus características de circulación.

Tabla 1.2 *Características técnicas*

| Características técnicas de envase y embalaje | |
|--|--|
| Peso | Peso del producto en función de la cantidad a colocar en cada medio unitarizador/peso de cada unidad -Evitar exceder la capacidad de carga de cada unidad |
| Forma | Determina si el medio unitarizador debe poseer columnas o no para su estabilidad. |
| Tamaño | La variabilidad del volumen y el tamaño de los productos, responden a las diferentes dimensiones de los medios unitarizadores. |

Fuente: Torres Gemeil (2004)

Los medios unitarizadores de carga más comunes ocupadas por las empresas son:

- Paleta plana (retornable o desechable),
- Paleta caja,
- Auto-soportante para paletas y
- Auto-soportante para neumáticos.

1.3.2 ESTANTERIAS

Según Gemeil (2000) "Tanto por diseño como por tipo y dimensiones, existen diferentes modelos de estanterías, (para carga fraccionada, convencional para paletas, por acumulación, entre otras). La utilización de cada una de ellas depende de las características de los productos a almacenar, las cantidades y la rotación asociada a los mismos" p (99).

El colocar estanterías dentro de las bodegas de almacenamiento trae vario beneficios que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1.3 *Beneficios de las estanterías*

| Beneficios | |
|---|--|
| Incrementa el aprovechamiento de las capacidades de almacenamiento. | Logra una adecuada accesibilidad a los productos que así lo requieran. |
| Incrementa la productividad del trabajo. | Logra una mejor y mayor organización del almacén y sus áreas de trabajo. |
| Facilita la ejecución de inventario. | Evita rotura de los envases y embalajes. |

Fuente: Gemeil Logística Temas seleccionados

Elaborado por: Autor.

1.3.3 EQUIPOS DE MANIPULACIÓN

A los equipos de manipulación logísticos que se usan con mayor frecuencia dentro de las organizaciones se lo puede clasificar en los siguientes tipos: Carros de manos, montacargas.

Entre los carros de manos tenemos de 2 ruedas que permite que una sola persona manipule hasta 500 libras. Por otro lado se tiene el elevador hidráulico de camión para plataforma y se puede manipular hasta 2000 libras.

A demás se tienen carros de mano de 4 ruedas que pueden ser utilizados para transportar materiales especiales.

En cuanto a los montacargas tenemos:

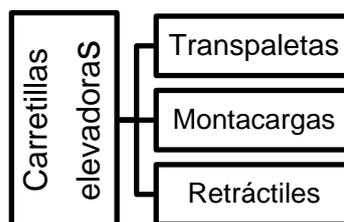


Figura 1.3 Diagrama macro de montacargas

Fuente: Lorena, F. (2014), Análisis y propuesta de mejora de sistema de gestión de almacenes de un operador logístico p (8).

Elaborado por: Autor

Las transpaletas son vehículos que pueden ser manuales o eléctricos eficientes para realizar *picking*. Los montacargas o conocidos como toro son uno de los más utilizados en las empresas, pueden ser eléctricos o a diesel y pueden alcanzar una altura de hasta 4 metros. Por otro lado tenemos los retráctiles que netamente eléctricos y alcanzan alturas de hasta 10 metros, esta carretilla elevadora tiene la diferencia con otros montacargas es que sus horquillas son laterales y no frontales.

1.3.4 MÉTODOS PARA EL CONTROL DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Según Antonio Iglesias, (2016) “existen diversos métodos de almacenaje de las mercancías en la zona de *stock*. Cada uno de ellos presenta una serie de ventajas e inconvenientes. La elección del método más adecuado para cada caso depende tanto de la mercancía en sí como el equipamiento para su manejo” p (84).

Según la organización los métodos de almacenaje son: de acuerdo a la ubicación de la mercancía, dentro de este se encuentra como características un almacén ordenado o un almacén caótico.

Según el flujo de entrada/salida, se aplican los métodos básicos FIFO, LIFO, etc. Iglesias también menciona que la zonificación de artículos obedece a una planificación que se basa en factores como: Máxima utilización del espacio disponible, reducción de los costes de manipulación, localización de los productos fácil y correcta, entre otras. Hay que destacar que el autor señala que uno de los métodos de zonificación más utilizadas es en base a la clasificación ABC o familia de productos.

1.3.5 FUNCIONES DEL MANEJO DE MATERIALES

Para Ballou (2004) “El manejo de materiales dentro de un sistema de almacenamiento y manejo se representa por tres actividades principales: carga y descarga, traslado desde y hacia el almacenamiento, y surtido de pedido” (p 477).

1.3.5.1 CARGA Y DESCARGA

Estas actividades se las lleva a cabo al inicio y final de los eventos de manejo de carga para Ballou (2004). “Cuando los bienes llegan a un almacén, tienen que descargarse del equipo de transporte (...) la descarga y el movimiento hasta el

almacenamiento se manejan como una sola operación. En otros casos hay procesos separados que a veces requieren equipos especiales” (p 477).

1.3.5.2 TRASLADO HACIA Y DESDE EL ALMACENAMIENTO

Entre las actividades antes mencionadas todos los artículos almacenados pueden ser trasladados muchas veces, ya que, hace recorridos desde su recepción al punto de almacenaje, dependiendo del tipo de almacén, los artículos serán trasladados a muelles de reaprovisionamiento de pedido o llevados a puntos de alimentación de materias primas por ejemplo, y para ello es necesario la utilización de equipos, muchas veces especiales, para el manejo de materiales, estos pueden variar desde carretillas, montacargas, etc.

Para Ballou (2004) está de acuerdo en que:

Entre los puntos de carga y descarga en una instalación de almacenamiento, los bienes pueden trasladarse varias veces. El primer traslado es desde el punto de descarga al área de almacenamiento. Después, el traslado avanza desde el muelle de envío o desde la zona donde se recogen los pedidos para el reaprovisionamiento de existencias. Usar una zona de recogida de pedidos en la operación de manejo provoca un vínculo de movimiento adicional. (p 478)

1.3.5.3 SURTIDO DE PEDIDOS

Por otro lado el surtido de pedidos se refiere a la selección de artículos del inventario que se encuentran en las zonas de almacenamiento según una orden de pedido sea esta de venta, reabastecimiento en producción, etc.

Ballou (2004), menciona que: “El surtido de los pedidos a menudo es la actividad más crítica del manejo de los materiales porque el manejo de pedidos de pequeño volumen es un trabajo intenso y relativamente más costoso que las otras actividades de manejo de materiales” (p 479).

1.3.6 MODELOS DE ORGANIZACIÓN FÍSICA DE LOS ALMACENES

Toda empresa que utilice la gestión de almacenes está en la obligación de elegir un modelo el cual aplicar según su nivel operativo, una mejor perspectiva nos da la figura 1.4 que se muestra a continuación.

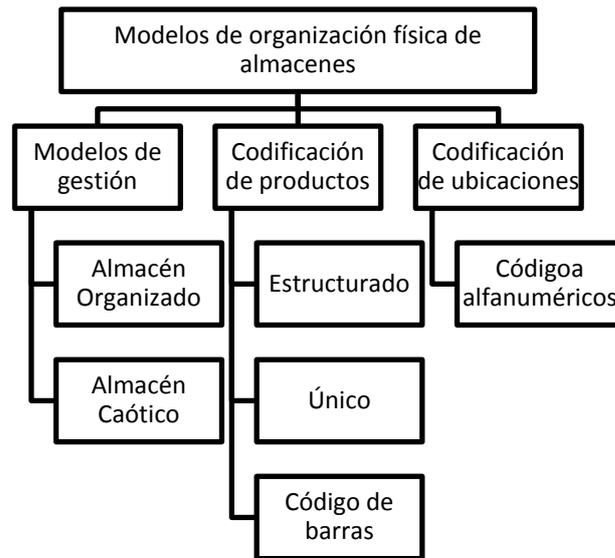


Figura 1.4 Modelos de organización física de almacenes

Fuente: Lorena, F Análisis y Propuestas de Mejora de Sistema de Gestión de Almacenes de un Operador Logístico

1.4 INDICADORES LOGÍSTICOS EN LA GESTIÓN DE ALMACENES

Para un mejor análisis de los resultados es indispensable la utilización de indicadores de gestión, en este caso, indicadores logísticos los cuales van a permitir y mantener el control en la gestión de almacenes y todas aquellas actividades que allí se realizan.

Para destacar algunos indicadores se tiene que autores como Gemeil, M (2004) mencionan que las existencias medias (E_m), como un factor determinante y lo define como el “Volumen de inventario que permanece como promedio en el almacén, calculado para un período de tiempo determinado. Se obtiene de dividir la circulación entre el coeficiente de rotación y su unidad de medida es miles de pesos.” p (117).

Por otro lado el coeficiente de rotación (Cr), el mismo autor lo define como: “Número de veces que la existencia media es renovado durante un período de tiempo (generalmente un año). Su cálculo se realiza dividiendo los 365 días del año entre la norma de inventario y es una expresión adimensional.” p (117).

Tabla 1.4 *Indicadores logísticos*

| | Indicadores financieros | Indicadores de productividad | Indicadores de calidad | Indicadores de tiempo de respuesta |
|---------------------------------------|--|--|--|---|
| Inventario Planificación y gestión | <ul style="list-style-type: none"> - Costo total de inventario - Conto de inventario por SKU | <ul style="list-style-type: none"> - Rotación de inventarios - SKU por planificación | <ul style="list-style-type: none"> - Tasa de reabastecimiento - Exactitud del pronóstico | |
| Almacenamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Costo total de almacenamiento - Costo de almacenamiento por pieza - Costo de almacenamiento por pie cuadrado | <ul style="list-style-type: none"> - Unidades por hora - Densidad de almacenaje | <ul style="list-style-type: none"> - Exactitud de inventario - Exactitud de selección - Exactitud de envío - Porcentaje de daños - Horas entre accidentes | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo entre ordenes compra y recepción de pedido |

Fuente: *Supply Chain Strategy* Frazzelle E (p 41)

Elaborado por: Autor

Otros autores mencionan cinco grandes grupos de indicadores, los cuales son: de aprovechamiento y/o utilización, de productividad, de mecanización y/o automatización, de costos y de energía.

En el caso específico de los indicadores de productividad se destacan los que siguen:

- Productividad del trabajo en el almacén.
- Rendimiento per cápita planificado.
- Relación productividad salario medio.
- Coeficiente del tiempo trabajado por unidad distribuida.
- Coeficiente del tiempo trabajado por unidad manipulada.

Dentro de los indicadores de costos están:

- Coeficiente de costo por mercancía manipulada.
- Coeficiente de costos de salarios por mercancía manipulada.
- Tasa de averías de mercancías despachadas.
- Coeficiente de gastos de almacenaje por precio de venta.
- Coeficiente de gastos de circulación por precio de venta.

Además del comportamiento de estos indicadores, que expresan de forma cuantitativa el estado del almacenamiento en la organización, hay un conjunto de aspectos no cuantificables directamente. Son útiles las encuestas y las entrevistas, así como, las listas de comprobación.

1.5 SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

1.5.1 DEFINICIONES

Guash, Piera y Figueras (2003) señalan que la simulación de eventos discretos, por sus siglas en inglés DES, es una herramienta de análisis utilizada por las empresas e industrias, en la toma de decisiones respecto a la planeación de la producción e inventarios, sobre el diseño de sistemas de producción y cadenas de suministro.

Por otro lado, el DES es el “proceso de codificar el comportamiento de un sistema complejo como una secuencia ordenada de eventos bien definidos” (Bangsaw, 2012, p.81). En este contexto, un evento comprende un cambio específico en el estado del sistema en un punto específico en el tiempo.

La DES es una “forma de modelado basado en ordenador que proporciona un enfoque intuitivo y flexible a la representación de sistemas complejos” (Pooch y Wall, 1992, p.58).

Nance (2003) señala que la DES, es un modelo matemático y lógico de un sistema físico que tiene cambios en los puntos precisos dentro del tiempo simulado.

Garcia Dunna (2009) señala que la DES es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado.

Yucell (2006) señala que la DES, es el modelado del tiempo de un sistema cuyos cambios de estado, ocurren en puntos discretos en el tiempo, en donde se produce la secuencia de instantes en el tiempo, cuyos elementos son el estado del sistema en el tiempo (t), la lista de eventos futuros (LEF), y valores de estadísticas acumulativas y contadores.

Según Guash y Piera (2009), señalan que el proceso de simulación de eventos discretos, posee las siguientes características:

- Puntos inicial y final predeterminados, los cuales pueden ser eventos discretos o instantes en el tiempo.
- Método de monitoreo del tiempo que ha transcurrido desde que comenzó el proceso.
- Comprende una lista de eventos discretos que se han producido desde que comenzó el proceso.
- Comprende una lista de eventos discretos en *standby* o en espera, hasta que el proceso termina.
- Utiliza gráficos estadísticos con tabulaciones de la función según el proceso analizado.

1.5.2 COMPONENTES DE UN PROCESO DE SIMULACIÓN

Ogata (1996) señala que los componentes en un proceso de simulación de eventos discretos son el estado del sistema, el tiempo de simulación, la lista de eventos, los generadores de números aleatorios, el sistema de estadísticas y el fin de la simulación.

Guash y Figueras (2003), señalan que el estado del sistema es el sistema de variables que evalúan las propiedades del sistema, así la trayectoria de estado posee un tiempo $S(t)$, cuya función matemática es escalonada y cuyos valores cambian según el tipo de eventos.

“El tiempo de simulación es el tiempo que dura la simulación efectuada en cualquier tipo de unidad de medida según el proceso que se esté modelando.” (Minegishi y Thiel, 2000, p.78). Para el sistema de eventos discretos, se emplean simulaciones en tiempo de salto, pues los eventos son instantáneos.

“La lista de eventos de simulación o conjunto de eventos de espera, es aquel registro en dónde están numerados los eventos pendientes que son el resultado de eventos antes simulados, que aún no se auto simulan” (Urquía y Martín, 2013, p.58). Estos eventos se numeran por código según el tipo de evento, los cuales son parametrizados.

Si los eventos son instantáneos como sucede en los sistemas de eventos discretos, sus actividades se evalúan como secuencias de eventos, en algunos casos se modulan bajo intervalos de tiempo con hora de inicio y hora de finalización de cada evento.

Los eventos pendientes se organizan u ordenan como una cola de prioridad, con hora de evento, esto significa que se los seleccionan en orden explícitamente cronológico. En los eventos discretos, la simulación utiliza algoritmos de colas como por ejemplo el árbol de ensanchamiento. Incluye en esta clasificación la lista de saltos, colas del calendario y colas de escalera. La programación de eventos es en forma dinámica y proporcional al ensanchamiento de la simulación.

La generación de números aleatorios es de distintos tipos según el modelo de sistema que se esté aplicando. Se utilizan con uno o más generadores de números pseudoaleatorios, siendo su deficiencia en que las distribuciones de los estados estacionarios en hora de los eventos no se conocen con anterioridad (Taha, 2004).

Como resultado, el conjunto inicial de eventos colocado en el conjunto de eventos pendientes no tendrá tiempos de llegada que sean importantes para la distribución en estado estacionario. Este problema normalmente se resuelve por *bootstrapping* que es asignar tiempos realistas para el conjunto inicial de eventos pendientes en el modelo de simulación.

Pérez y Sánchez (2013) señalan que la simulación de eventos discretos utiliza el sistema de estadísticas para cuantificar aspectos de interés, como son los tiempos de espera. El sistema de estadísticas para un modelo de simulación de eventos discretos utiliza las distribuciones de probabilidad con intervalos de confianza, los cuales se construyen para evaluar la calidad de la salida de los eventos.

La simulación de eventos discretos debe estar planificada para asegurar su terminación, ya que comúnmente este modelo no termina por tener *bootstrapped*, para lo cual el diseñador debe poner fin al sistema al cabo de un tiempo “t”, o después de procesar un número “n” de eventos o generalmente cuando su medida estadística alcanza el valor de x.

1.5.3 ELEMENTOS DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

Según García Dunna (2006). Los elementos más importantes que estructuran un modelo de simulación son:

- Entidades
- Locaciones
- Atributos
- Variables
- Recursos
- Eventos
- Reloj de Simulación

La entidad es la representación de los flujos de entrada a un sistema; éste es el elemento responsable de que el estado del sistema cambie.

Las locaciones son todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Dentro de las locaciones tenemos almacenes, bandas transportadoras, máquinas, estaciones de trabajo, etc.

Un atributo es simplemente una característica de una entidad (entidad atributo) o una ubicación (atributo de ubicación). Los atributos son muy útiles para diferenciar las entidades sin necesidad de generar una entidad nueva, y pueden adjudicarse al momento de la creación de la entidad, o asignarse y/o cambiarse durante el proceso.

Las variables son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas. Estas pueden ser continuas o discretas.

Los recursos son aquellos dispositivos, diferentes a las localizaciones, necesarias para llevar a cabo una operación. Se refiere a los elementos que dan vida al modelo de simulación.

Un evento es un cambio en el estado actual de sistema, por ejemplo, la entrada o salida de una entidad, la finalización de un proceso, etc. Los eventos se clasifican en eventos actuales y eventos futuros. Estos últimos son cambios que se presentan en el modelo después del tiempo de simulación.

Reloj de simulación es el contador de tiempo de simulación, y su función consiste en responder preguntas, tales como: cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación.

1.6 APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN EN ALMACENES

1.6.1 APLICACIONES EN LA MANUFACTURA

Generalmente la arquitectura de cualquier organización o proceso de negocio puede definirse a través de cinco componentes, que son; (1) las entradas (insumos) y las salidas (servicios y manufacturas) del proceso de negocios, (2) las unidades que fluyen en el sistema (a menudo clientes y productos en proceso), (3) la red de actividades y espacios para la espera de las unidades que fluyen en el proceso, (4) los recursos que permiten ejecutar las actividades, y (5) la estructura de información que permite tomar decisiones sobre el proceso de negocios. (Piera, 2013).

Caraballo (2002) sostiene que la manufactura ha sido tradicionalmente una de las áreas de aplicación más importantes de la simulación de eventos discretos. Tanto es así que, la mayoría de paquetes de simulación de propósito general incluyen propiedades que permiten modelar fácilmente recursos y características de los sistemas de manufactura. Un ejemplo de ello son los módulos que se utilizan para modelar el desempeño de recursos de mano de obra y equipos, frecuentemente tienen capacidad para modelar indisponibilidad de los recursos, así como fallas y bloqueos que pudieran ocurrir durante el proceso de manufactura.

La DES posee varias aplicaciones como son: pruebas de estrés, evaluación de inversiones financieras potenciales y modelado de procesos y procedimientos en diversas industrias, tales como: en la manufactura, la industria de alimentos, el transporte y cadenas de suministro, el análisis de flujo en procesos de negocios, telecomunicaciones y en la industria de medicamentos. (Pazos y Díaz, 2003).

A menudo los paquetes de simulación disponen también de módulos para modelar el comportamiento de los equipos para el manejo y traslado de materiales, como vehículos automáticos, bandas transportadoras, carros, montacargas u otros mecanismos para el transporte de materiales.

Cabe mencionar que el modelado de ciertos transportadores no es trivial, como las bandas de este tipo. La capacidad de los paquetes de simulación de eventos discretos, para modelar mecanismos de transportación, se ha utilizado exitosamente para modelar también la congestión en sistemas de transporte vial.

Las principales aplicaciones de la simulación de eventos discretos en manufactura se relacionan, tanto con el diseño y disposición de las instalaciones, como con la planeación y el control de las actividades productivas.

Las aplicaciones relacionadas con el diseño y disposición de las instalaciones incluyen la evaluación de decisiones sobre el número, tipo y disposición de máquinas y equipos, la localización y tamaño de los diferentes espacios para el material en proceso, y los requerimientos de transportadores y equipo de apoyo, entre otras.

En cuanto a las aplicaciones relacionadas con la planeación y el control de la producción, se puede mencionar la comparación de diferentes políticas para la programación y secuenciación de las órdenes, para la administración de inventarios, para la asignación de recursos, o también para evaluar el efecto de diferentes políticas de mantenimiento y renovación de equipos.

1.6.2 APLICACIONES EN EL TRANSPORTE Y CADENA DE SUMINISTRO

Debido a que los simuladores de eventos discretos tienen la capacidad para modelar el comportamiento de sistemas para el transporte de personas y artículos, sus aplicaciones para el diseño de sistemas de transporte, en particular de aeropuertos, en el diseño y evaluación de cadenas de suministro empiezan a difundirse ampliamente (Coss, 1996).

Con frecuencia el modelado de una cadena de suministro permite evaluar la velocidad de respuesta de la cadena, factor determinante para lograr una adecuada atención al cliente.

García y Cardenas (2006), refiriéndose a las aplicaciones de la simulación de eventos discretos, señalan que:

Un área donde las aplicaciones de la simulación son de particular relevancia, es el área de administración de inventarios, en particular para la determinación de los inventarios de seguridad, tamaños de pedidos y puntos de re-orden en los diferentes puntos de la cadena de suministro, teniendo en cuenta que a menudo estas decisiones son muy importantes, ya que influyen directamente en los costos del sistema y en el nivel de servicio al cliente, y por otro lado el análisis de estas decisiones tiene un alto grado de incertidumbre, que requieren del apoyo de herramientas que, como es el caso de la simulación de eventos discretos, permitan modelar la incertidumbre. (p.78).

La simulación es también una herramienta muy útil para analizar sistemas de transporte, y ha sido muy utilizada, en particular, para apoyar el proceso de planeación en aeropuertos. Esto es debido a diversos factores, entre los que pueden mencionarse que el tráfico en los aeropuertos está sujeto a cambios imprevistos, y que los mecanismos que gobiernan el flujo de equipaje y personas a menudo pueden descomponerse en subprocesos bien definidos. Por otro lado, los cambios propuestos en el diseño de un aeropuerto no se pueden experimentar antes de ser implantados, por lo que la simulación se convierte en una herramienta ideal para su análisis.

1.6.3 APLICACIONES EN LA GESTIÓN DE ALMACENES

La simulación en la gestión de almacenes, permite varias aplicaciones, en base al nivel de actividad, cuyos objetivos finales son: reducir los tiempos de espera, aumentar la organización, optimizar los horarios y rutas, y utilizar el equipo de manera eficiente.

La aplicación de una simulación en un almacén se enfoca en tres bloques de construcción de cualquier almacén de distribución que son:

- Recepción
- *Picking*
- Transferencia

Cualquier sistema de simulación, permite que los usuarios aumenten la eficiencia global de sus almacenes, reduzcan el tiempo y aumenten los beneficios.

Los gerentes, supervisores y otros expertos de mejora de procesos pueden colaborar entre sí utilizando un software de simulación, con el fin de mejorar las prácticas de almacén. Otra ventaja de la simulación con softwares es que permite al usuario cambiar diferentes configuraciones dentro del almacén, tales como equipos utilizados o rutas de tránsito.

Debido a que los cambios se implementan dentro del modelo, los usuarios pueden visualizar donde están ocurriendo los problemas y solucionarlos antes de que se implementen en el almacén de forma real.

1.7 PASOS DEL PROCESO ITERATIVO UNA SIMULACIÓN

Según Harrell (2000), “una vez que se ha seleccionado la aplicación adecuada y las herramientas apropiadas y el personal, el estudio de simulación puede empezar. La simulación es mucho más que solo construir y correr un modelo de procesos. Proyectos de simulación exitosos son bien planeados y coordinados” (p. 81).

Los pasos para la construcción del modelo y ejecutarlo hasta las fases de validación y optimización son seis y se muestran en la figura 1.5. Estos pasos no son excluyentes entre sí ya que se van retroalimentando los unos a los otros en cualquier dirección del procedimiento.

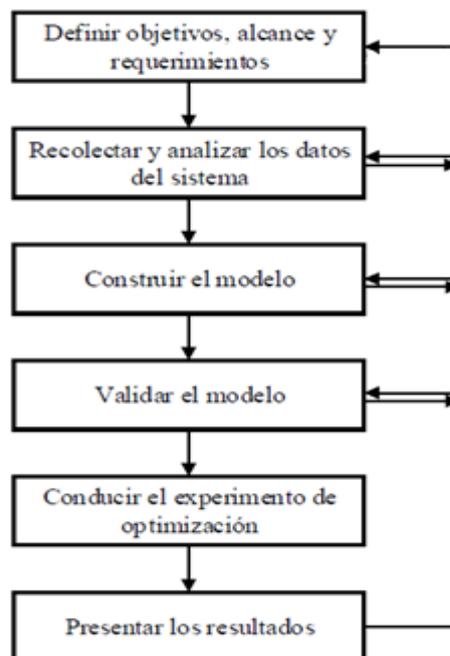


Figura 1.5 Proceso Iterativo de simulación

Fuente: Harrell, Ghosh, Bowden, 2000, *Simulation usin ProModel* (p. 82)

En el primer paso se definen los objetivos, propósitos del proyecto de simulación y el alcance del mismo. Además, es necesario se definan todos los requerimientos en términos de recursos, como por ejemplo el tiempo y el presupuesto.

En la recolección de datos y análisis de los mismos se deben identificar, reunir y analizar los datos del sistema, definiendo así el sistema a modelar. El resultado de este paso es un modelo conceptual y un documento de datos validados.

Posteriormente, se procede con la construcción del modelo tomando en cuenta todo aquello que influya directamente en el caso de estudio, como pueden ser parámetros, variables o características específicas según sea el caso.

Una vez realizadas las pruebas correspondientes, corregidos todos los errores y manteniendo un diseño lo más fiel al sistema real que se está representando, se tiene ya un modelo validado.

La experimentación consiste en correr la simulación tomando en cuenta todos los escenarios posibles y luego analizando los resultados mediante reportes para poder tomar una mejor decisión.

Como último paso se presentan los resultados obtenidos en cada objetivo planteado y haciendo las recomendaciones necesarias sobre las decisiones que se deben tomar.

1.8 PAQUETES COMERCIALES PARA LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS.

Dentro de los *softwares* de simulación de eventos discretos más utilizados están:

- **ProModel**

Es un paquete de simulación de eventos discretos, utilizado en una empresa o fábrica para la evaluación, planificación, diseño de fabricación, almacenamiento, logística y otros procesos operativos y estratégicos.” (Harell, 2011, p.99). Este software trabaja en computadoras y en todas las versiones de Windows. También realiza tareas de diseño y estudio de procesos de producción y de servicios.

- **AutoMode**

Bebb (2013) describe al *Automode* como un *software* de simulación de eventos discretos en actividades de gestión de materias primas, en el cual se pueden especificar el tipo de proceso que se requiere simular, los recursos, cargas, entre otros parámetros. Además, permite programar límites de tráfico y puertos de entrada y salidas en logística de materiales.

- **Arena**

Es creado por la compañía *Systems Modeling Corporation* y programado bajo lenguaje SIMAN. Es utilizado por industrias y empresas de bienes y servicios para la simulación de procesos de reingeniería, procesos de manufactura avanzada, para lo cual utiliza el Cinema V para la animación en 2D y 3D. (Matko y Zupancic, 1992). Por otro lado, Frábregas et. al., (2003) mencionan que Arena “es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos” (p. 3).

- **Flexsim**

La herramienta *Flexsim* es un *Software* muy poderoso y a su vez fácil de usar para modelar y simular. Permite a los usuarios construir un modelo de simulación en tres dimensiones y cuenta con herramientas que permiten ejecutar experimentos de optimización en los modelos. Por los motivos expuestos y el amplio alcance de sus aplicaciones en los sistemas productivos y logísticos, es que se decide aplicarla como herramienta de asistencia a la

toma de decisiones en la intención de alcanzar los objetivos propuestos en la presente investigación.

1.8.1.1 MODELADO, TÉRMINOS Y CONCEPTOS DE FLEXSIM

Flexsim es una potente herramienta de análisis que ayuda a los ingenieros y planificadores a tomar decisiones inteligentes en el diseño y operación de un sistema. Con Flexsim se puede construir un modelo de ordenador en 3D de un sistema de la vida real; a continuación, estudiar ese sistema en un marco de tiempo más corto y con menor coste que experimentar con el sistema actual. Flexsim User Guide (2014).

En términos técnicos, Flexsim se clasifica como un software de simulación de eventos discretos. Esto significa que se utiliza para modelar sistemas que cambian de estado en puntos discretos en el tiempo como resultado de eventos específicos.

Hay tres problemas básicos que pueden ser resueltos con *Flexsim*:

- Problemas de servicio: la necesidad de procesar los clientes y sus peticiones al más alto nivel de satisfacción por el costo más bajo posible.
- Problemas de fabricación: la necesidad de hacer el producto adecuado, en el momento adecuado y para el menor costo posible.
- Los problemas de logística: la necesidad de obtener el producto adecuado, en el lugar adecuado, en el momento adecuado y para el menor costo posible.

1.8.1.2 TERMINOLOGIA

- **Flowitems**

Los *flowitems* son los objetos que se mueven a través del modelo y pueden representar partes, paletas, ensamblajes, papel, envases, llamadas telefónicas, pedidos, o cualquier cosa que se mueve a través del proceso que se está simulando.

- **Labels**

Los *labels* son cadenas o números que están almacenados en los elementos y objetos del flujo. Los *labels* pueden ser alterados

dinámicamente en el curso de un flujo de proceso y pueden ser útiles para almacenar información como el costo, el tiempo de procesamiento, entre otras diversas informaciones.

- **Itemtype**

El *itemtype* es un valor que se almacena en cada *flowitem*. A este valor se puede acceder y modificarlo en cualquier momento, mientras estos fluyan a través del modelo. Los *flowitems* tienen su propio valor de *itemtype*, lo que significa que, si cambia el *itemtype* de un *flowitem*, sólo cambiará el valor para ese *flowitem* específico, y no se cambiará el *itemtype* de otras partidas de flujo. En general, está destinado a ser un valor que describe un tipo de producto o categoría.

- **Ports**

Cada objeto de *Flexsim* tiene un número ilimitado de puertos a través del cual se comunican con otros objetos. Hay tres tipos de puertos: de entrada, de salida y puertos centrales.

Puertos de entrada y salida: Estos puertos se utilizan en el enrutamiento de los *flowitems*.

Puertos centrales: Estos puertos se utilizan para crear referencias de un objeto a otro.

1.8.1.3 EXPERTFIT

El *experfit* es un módulo de *Flexsim* que permite el análisis estadístico de datos mediante sus tres tipos de análisis: *Data Analysis*, *Task-Time Models* y el *Machine-Breakdown Models*

El *Data Analysis* es utilizado principalmente para determinar cuál es la distribución de probabilidad que representa mejor al conjunto de datos disponibles. Determina la mejor distribución automáticamente o especifica las distribuciones para su consideración manualmente. Este análisis de datos se basa en el uso secuencial de las siguientes cuatro pestañas: Ficha Datos, Ficha Modelos, Comparaciones y Ficha Aplicaciones.

El *Task-Time Models* se utiliza para especificar una distribución de probabilidad para los tiempos de las tareas cuando no hay datos disponibles o estos no son

suficientes. Se basa en el uso secuencial de las dos fichas siguientes: Ficha Modelos y Ficha Aplicaciones.

El *Machine-Breakdown Models* se emplea para obtener los tiempos de inactividad aleatorios de una máquina cuando no hay datos disponibles. Basado en estimaciones subjetivas de parámetros, tales como, eficiencia de la máquina y tiempo de inactividad promedio. En el análisis el *ExpertFit* especifica una distribución de tiempo ocupado y una distribución de tiempo de inactividad. Se basa en el uso secuencial de las dos fichas siguientes: Ficha Modelos y Ficha Aplicaciones.

1.8.1.4 EXPERIMENTER

El *experimenter* es un módulo de *Flexsim* que se utiliza para definir, ejecutar y analizar experimentos en un modelo de simulación y, en la mayoría de los casos, sobre posibles escenarios previamente definidos. Dentro de los aspectos más relevantes del módulo están las variables de decisión en el experimento, las que a su vez definen los posibles escenarios de comportamiento del modelo; las medidas de desempeño que se desean evaluar en cada uno de estos escenarios; y el análisis de resultados asociado al proceso de experimentación.

Para desarrollar el proceso de optimización el *experimenter* las mejores configuraciones para el modelo en cuestión, para lo cual emplea el algoritmo de búsqueda siguiente:

1. Genera una configuración para el modelo, generando una solución.
2. Establece el modelo actual para que coincida con esa configuración.
3. Ejecuta la simulación. Esto también se llama evaluar la solución.
4. Obtiene las salidas de esa ejecución.
5. Clasifica o asigna un valor de *ranking* para esa solución.
6. Genera una nueva solución basada en los resultados de todas las soluciones evaluadas.
7. Repite desde el paso 2.

El algoritmo anterior se repite hasta que el optimizador se queda sin tiempo, evalúa un número máximo de soluciones, es detenido por el usuario, o hasta que evalúa todas las posibles soluciones del modelo.

2 CAPÍTULO II - DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de este capítulo se sigue el hilo conductor que se muestra en la figura 2.1. Persigue como principal objetivo el de caracterizar y diagnosticar la situación actual del sistema de almacenamiento y manipulación de materiales en la empresa mediante la aplicación de diversas herramientas que tributen a la detección de diversas oportunidades de mejoras.

Se comienza por el layout de la planta en general y un análisis particular por cada una de sus bodegas. Posteriormente, se pasan a analizar los tipos de almacenamientos existentes y la utilización del espacio en almacén, como parte de la actividad de almacenamiento. Seguido a esto, se describen los principales medios de manipulación de materiales y los recorridos realizados por los mismos asociados a la actividad de manipulación. Llegado a este punto y como parte de ambas actividades, se describen los procesos de recepción, transferencia y devolución con sus respectivos diagramas de procesos. Al final, se añade un análisis de requerimientos de espacios, en aras de determinar la necesidad de los mismos para cada uno de los SKU's más importantes.

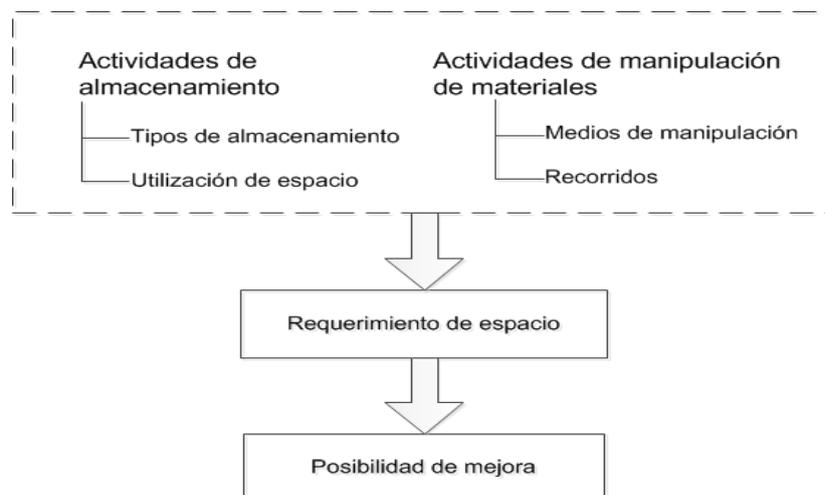


Figura 2.1 Hilo conductor
Elaborado por: Autor

2.2 DATOS GENERALES SOBRE LA EMPRESA

La empresa como la llamaremos se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe y se dedica a elaboración y comercialización de productos alimenticios a base de lácteos.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCTOS

La empresa es líder en el campo de alimentos, bienestar, salud y nutrición. Fabrica y comercializa productos de calidad que brindan confianza, generando preferencia del consumidor mediante el cumplimiento de procesos de seguridad alimentaria con cero defectos y actitud de no desperdicios.

La empresa cuenta con dos líneas de producción: UHT que son productos en forma líquida con una variedad de 55 productos y la línea LEP que cuyos productos son sólidos con una variedad de 20.

Se cuenta con una mano de obra capacitada de 260 trabajadores quienes desempeñan sus labores de manera correcta (ver Anexo organigrama). Ejecuta sus actividades considerando al personal como su recurso más valioso, apoya al desarrollo sustentable mediante el uso controlado de los recursos naturales y energía, con el compromiso de:

- Cumplir la legislación, regulaciones, obligaciones vigentes, otros y mejorar continuamente el desempeño en cuanto a: inocuidad del producto, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional.
- Optimizar el desempeño, comprometiendo recursos, asegurando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- Prevenir la contaminación del suelo, agua y aire.
- Prevenir y minimizar los riesgos a la salud y a la seguridad ocupacional, proporcionar y mantener un ambiente de trabajo seguro para proteger de lesiones y daños materiales a los empleados.
- Evitar y controlar las prácticas asociadas a narcóticos y bioterrorismo.
- Fomentar el compromiso individual a través de programas de entrenamiento y concienciación.

2.3 DIAGNÓSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

El alcance de las actividades de abastecimiento y almacenamiento abarca desde los procesos que se realizan previos a la recepción de la materia prima, descrito más adelante como “MP”, actividades de planificación y distribución de la misma y los procesos involucrados en el *placing* de MP en almacén, todo ello para el buen cumplimiento de Plan Maestro de Producción.

La empresa cuenta con cuatro espacios destinados al almacenamiento, en lo adelante, Bodega 1, Bodega 2, Bodega 3 y Bodega 4, cuyas localizaciones son las que se muestran en la Figura 2.2. La Bodega 4 se encuentra en el exterior de la fábrica, cruzando la avenida Víctor Cartagena, el resto en el interior de la misma. También se muestran las líneas de producción UHT y LEP.

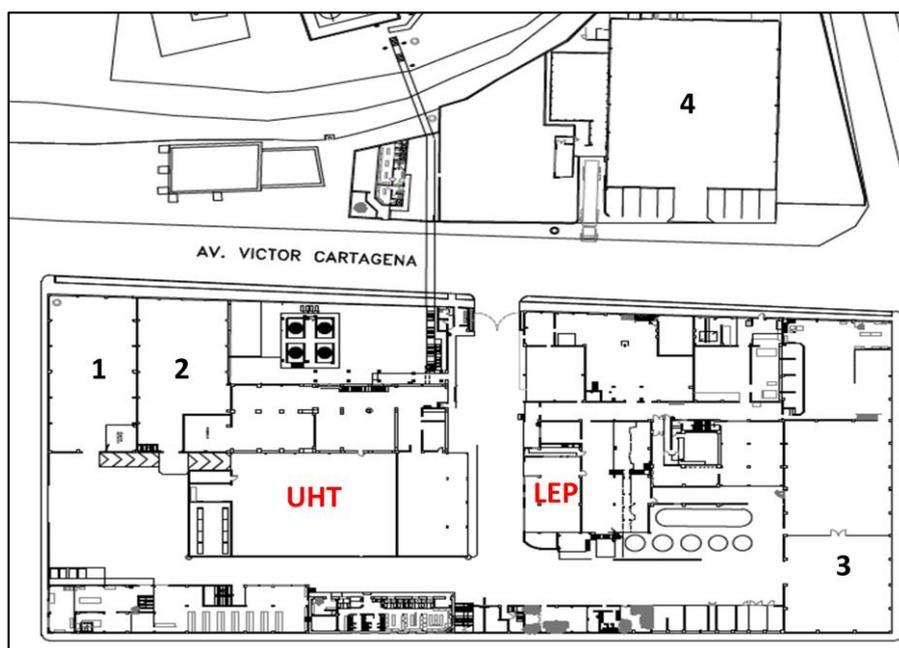


Figura 2.2 Layout de planta
Fuente: La empresa 2016

La Bodega 1 es de producto terminado, la cual no va a ser objeto de estudio en el presente trabajo, mientras que el resto de las bodegas almacenan y suministran la MP a las líneas de producción. El suministro de la MP por parte de las Bodegas 2,

3 y 4 se coordina con las líneas mediante órdenes de requisición levantadas por el área de producción. Se realiza el *picking* mediante un proceso manual donde el Auxiliar de Bodega visualiza en el SAP la disponibilidad del material, y por política de FEFO (*First Expire First Out*), procede a convertir la orden de requisición en órdenes de transporte a ser transferidas físicamente desde las bodegas a las respectivas PSA.

Bodega 2

La distribución interna de esta bodega se muestra en la figura 2.3. La bodega cuenta con 550 m² disponibles para almacenamiento. Está constituida completamente por estanterías donde se almacenan: vitaminas, lecitina, polvos alcalinos y sabores; y material de empaque como laminados La Vaquita, etiquetas, adhesivos, gomas, etc. Cuenta con un total de 358 espacios unitarios¹ en estanterías con 4 niveles.

Está distribuida en cinco bloques y cuatro secciones de colores: rojo Material Bloqueado con 15 posiciones, verde Material de Empaque con 152 posiciones, púrpura MP con 138 posiciones y azul Material Alérgeno con 53 posiciones; y donde cada posición cuenta con una codificación.

Las estanterías están separadas por un pasillo de 3.50 metros y mantienen los accesos a las cargas unitarias y existe una sola calle bidireccional que recorre a lo largo de la bodega.

¹ Cada espacio equivale a la capacidad de ubicación de un *pallet*.

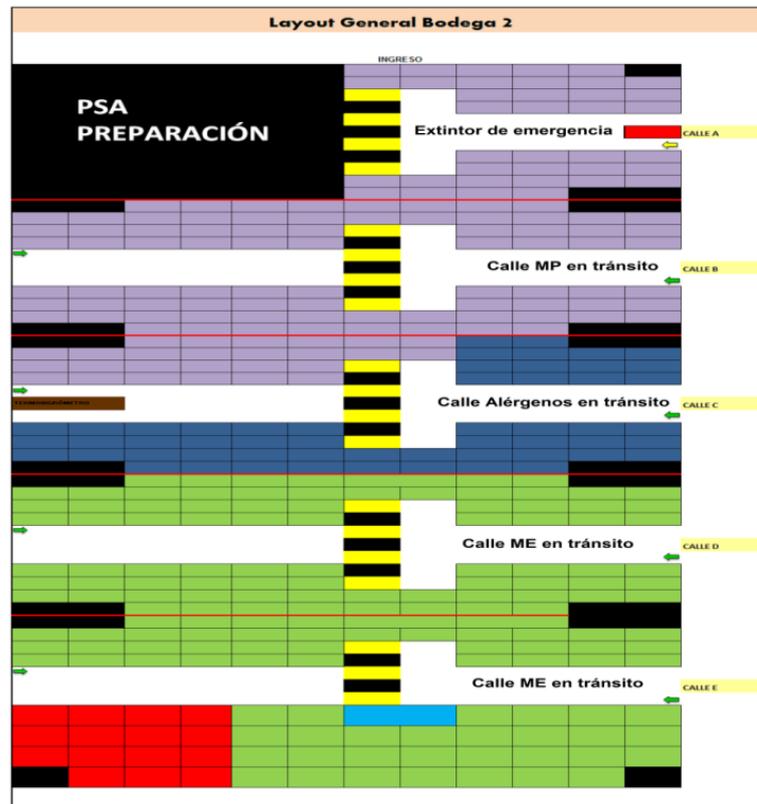


Figura 2.3 Representación de la bodega 2
Fuente: La empresa (2016).
Elaborado por: Autor

Como otras características se añaden las que siguen:

- Es una bodega compartida de materia prima y material de empaque de área seca, nivel de higiene básico, de alta y media rotación.
- Permite mix de lotes en una misma posición y pallets incompletos.
- Se almacena a temperatura ambiente.
- Permite almacenamiento de material liberado, no liberado y bloqueado.
- La estrategia de salida es FEFO.
- El método de *picking* es manual y asistido por SAP.
- Almacena alérgenos.

Esta bodega cuenta con un flujo de recorrido en forma de espina de pescado ya que sus estanterías ocupan todo el espacio de la misma. Cuenta con un pasillo central y se distribuye en cinco ramificaciones o calles.

Bodega 3

Su *layout* se muestra en la figura 2.4. Cuenta 244 m² de espacio para almacenamiento. En ella se almacena azúcar, maltodextrina y concentrados de manzana, pera y durazno. Su método de almacenamiento es de apilamiento libre o estiba directa debido a la alta rotación de los materiales almacenados. Cuenta con tres áreas destinadas para el almacenamiento y un total de 309 espacios, de los cuales sólo 259 corresponden al almacenamiento de MP: 45 espacios para maltodextrina, 60 para el azúcar, 34 para material en tránsito y 120 espacios para concentrados de frutas. Esta bodega posee las características siguientes:

- Es una bodega de MP considerada como área seca, con un nivel de higiene básico y con materiales de alta y media rotación.
- Permite mix de lotes, pero no en una misma posición y *pallets* incompletos.
- Permite la entrada de material liberado.
- La estrategia de entrada es manual con FEFO.
- Se almacena a temperatura ambiente.
- Bodega compartida con producto terminado de las líneas de leche en polvo.

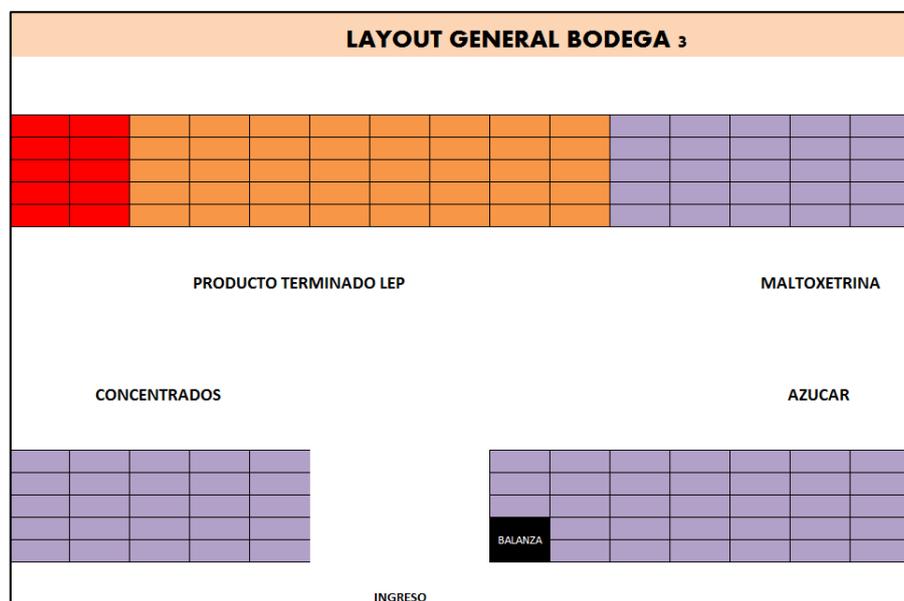


Figura 2.4 Representación bodega 3
Fuente: La empresa (2016).

Esta bodega, como se observa presenta un flujo de recorrido en T y que tiene un tipo de almacenamiento masivo con tres bloques para almacenar.

Bodega 4

Constituye la bodega más grande con la que cuenta la empresa con 762 m², tiene 8 bloques para almacenamiento y 3 secciones de colores: celeste para los aceites con 33 posiciones, verde para el material de empaque con 336 posiciones, café para el material corrugado con 346 posiciones, un área de apilamiento libre para laminado de UHT con 30 espacios; para un total de 745 posiciones. La misma posee una forma de almacenamiento mixta mediante estanterías con acceso a cargas unitarias y en estiba directa.



Figura 2.5 Representación bodega 4
Fuente: La empresa (2016).

Sus principales características son las siguientes:

- Es una bodega de MP considerada como área seca, con un nivel de higiene básico y con materiales de alta y media rotación.
- Permite mix de lotes, pero no en una misma posición y *pallets* incompletos.
- Permite el almacenamiento de materiales pendiente de su liberación por calidad como materiales liberadas.
- La estrategia de salida es FEFO y el método de *picking* es manual y asistido por SAP.
- Almacena no alérgenos.
- Mayor área designada para almacenamiento tipo masivo.

Esta bodega mantiene el mismo flujo de recorrido que la bodega 2, es decir, en espina de pescado con 4 ramificaciones y un espacio destinado al almacenamiento masivo.

2.3.1 ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO EN BODEGAS

Actualmente se cuenta con 204 SKU, de ellos, 81 son MP que componen las diferentes recetas y denominadas MP; y 123 que constituyen materiales para el envasado y empaquetado de los productos terminados, y llamados ME

La distribución de materiales por bodega se muestra en la Tabla 2.1, donde puede observarse que la Bodega 2 es la de mayor diversidad de ítems almacenados, lo cual facilita las condiciones de manipulación y optimización del tiempo durante el proceso de *picking*.

Por otro lado, las Bodegas 3 y 4 se componen principalmente por materiales almacenados en estiba directa con promedio de tres niveles de altura. Mediante esta forma de almacenamiento se logra una mejor densidad de almacenamiento. Estas bodegas tienen áreas asignadas para almacenamiento masivo las cuales permiten una mejor utilización de la capacidad volumétrica del almacén.

Tabla 2.1 Ubicación de los MP y ME

| Grupo | Ítem | Bodegas | | |
|-------|------------------|---------|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 |
| MP | Miel | x | | |
| | Aceites | | | x |
| | Vitaminas | x | | |
| | Maltodextrina | x | | |
| | Varios | x | | |
| | Azúcar | | x | |
| | Concentrados | | X | |
| | Polvos Alcalinos | x | | |
| ME | Adhesivos | x | | |
| | Fundas | | | x |
| | Hojalata | | | x |
| | Corrugado | | | x |
| | Laminados | | | x |
| | Tapas plásticas | x | | |
| | Complejos | x | | |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Las condiciones operacionales de almacenaje actual se dividen en dos clases: materiales almacenados en espacios unitarios para facilitar su acceso mediante estanterías simples de 3 a 4 niveles de altura; y en materiales almacenados de manera masiva con estibas directas variando el número de niveles de estiba según el tipo de material.

Las políticas operacionales exigen que todo el material arribe sobre *pallets* de dimensiones 120x100x15 centímetros de largo, ancho y altura, respectivamente, según el estándar americano. La altura de la carga no debe superar la longitud del lado más largo del pallet, lo cual facilita su manipulación y cumple con el estándar de almacenamiento impuesta en fábrica, el cual es normado bajo el

procedimiento 0682.LOG.INS.003: “Procedimiento de recepción y manejo de pallets en Fábrica”.

Una vez que llega la materia prima a la fábrica, se paletiza en caso de ser necesario, para asegurar que se realice el menor trabajo posible al momento de manipular las cargas. Posterior a ello, se colocan en las estanterías con la ayuda de los montacargas que los trasladan hasta el lugar destinado para su almacenaje y colocan la carga en el nivel correspondiente. Los pallets se almacenan en las bodegas ya sea en estanterías o en apilamiento libre según sea el caso.

2.3.1.1 ALMACENAMIENTO EN ESTANTERÍAS

Los tipos de racks instalados en las bodegas de la empresa se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Dimensiones de racks

| Dimensión | Selectivo Tipo 1 | Selectivo Tipo 2 | Selectivo Tipo 3 |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Largo (m) | 2,5 | 2,30 | 2,70 |
| Profundidad (m) | 1 | 1 | 1 |
| Altura Nivel 1 (m) | 1,70 | 2 | 1,80 |
| Altura Nivel 2 (m) | 1,65 | 1,06 | 2,18 |
| Altura Nivel 3 (m) | 1,65 | 1,06 | - |
| Altura Nivel 4 (m) | - | 1,06 | - |
| Localización en las bodegas | 2 y 4 | 4 | 4 |

Fuente: La empresa (2016).

A continuación se muestra cada tipo de rack selectivo para poder observar las diferencias con mayor precisión.



Figura 2.6 Rack Selectivo Pallet – Tipo 1



Figura 2.7 Rack selectivo – Tipo 2



Figura 2.8 Rack selectivo – Tipo 3
Fuente: La empresa (2016).

2.3.1.2 ANÁLISIS DE LA UTILIZACION DE LAS BODEGAS

Para este análisis se realizó un conteo de los espacios unitarios, tanto para el almacenamiento en estanterías, como para el masivo, con la finalidad de conocer las limitaciones de capacidad por bodega. El volumen útil es el volumen de la carga real después de considerar el coeficiente de corrección de volumen, mientras que el porcentaje de utilización real del volumen se encuentra en función de la capacidad volumétrica total del almacén. Esta información es útil a la hora de calcular los requerimientos de espacio que tiene la planta, sobre la base de los pronósticos de ventas hasta el año 2018.

La utilización de la disponibilidad de espacios se encuentra en la Tabla 2.3, en la que se considera un factor de conversión de 0.61 (Torres Gemeil, 2004), la cual es una constante acorde a la forma de almacenamiento, para encontrar la utilización real de la capacidad volumétrica total del almacén.

Tabla 2.3 Almacenamiento en estanterías

| Análisis de Almacenamiento Estanterías | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|----|----|---------------------------------|------------------|------------------------|---|---|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Dimensiones Almacén (HxLxA) (m) | | | Volumen Total (m ³) | # de Estanterías | Dimensión de Bahía (m) | | | # de espacios unitarios de la bodega | Capacidad de Carga por Espacio (kg) | Niveles de Estantería | Volumen Neto Disponible [m ³] | %Utilización del volumen total | Coeficiente de Corrección (Kv) | Volumen Útil [m ³] | % Utilización real del volumen |
| | 4 | 31 | 16 | | | 2 | 1 | 2 | | | | | | | | |
| Bodega 2 | 4 | 31 | 16 | 1922 | 10 | 2 | 1 | 2 | 358 | 1650 | 4 | 716 | 37% | 0,6 | 436,76 | 23% |
| Bodega 4 | 6 | 35 | 28 | 5880 | 12 | 2 | 1 | 2 | 336 | 1650 | 4 | 672 | 11% | 0,6 | 409,92 | 7% |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

La Tabla 2.3 demuestra el porcentaje de utilización volumétrica del total disponible del almacén que ocupan ambas formas de almacenar. Se observa que la Bodega 2 está compuesta únicamente por racks los cuales tienen una utilización real del 23% del volumen total del almacén, y cuenta con 358 posiciones; mientras que la utilización real de la bodega 4 es 7% del volumen total y corresponde a 336 posiciones.

Tabla 2.4 Almacenamiento masivo

| Análisis de Almacenamiento Masivo | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----|----|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|---|-----------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Dimensiones Almacén (h x L x a) (m) | | | Volumen Total (m ³) | Área designado Almacenamiento | Dimensión Espacio Unitario (m) | | | # de posiciones | Altura de Estiba | Volumen Material [m ³] | Coeficiente de Corrección (Kv) | Volumen Útil [m ³] | % Utilización real del Volumen |
| | 7 | 19 | 20 | | | 2 | 2 | 1 | | | | | | |
| Bodega 3 | 7 | 19 | 20 | 2590 | 281 | 2 | 2 | 1 | 259 | 3 | 699 | 0,74 | 517,48 | 20% |
| Bodega 4 | 6 | 35 | 28 | 5880 | 437 | 2 | 2 | 1 | 409 | 3 | 1104 | 0,74 | 817,18 | 14% |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Por otro lado, en la Tabla 2.4 para el almacenamiento masivo se tiene que, para la Bodega 3 el 20% de utilización real del volumen corresponde a 259 posiciones; y para la Bodega 4 el 14% corresponde a 409 posiciones.

2.3.2 DIAGNÓSTICO DE ACTIVIDADES DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES

Toda la manipulación de materiales en fábrica se rige por la Norma R-26.727-4. Estas actividades comienzan en el momento de recibir en las bodegas la carga suministrada por los proveedores. A partir de ahí, estos SKU son despachados mediante órdenes de requisición que autorizan la transferencia de los mismos hasta el PSA correspondiente para su consumo por parte de producción.

Estas actividades de manipulación son muy comunes en almacenes y se las debe realizar de manera responsable y segura ya que muchas de estas son responsables de lesiones y enfermedades profesionales, siempre que sea posible, para reducir los riesgos, es necesario la utilización de ayudas mecánicas o rediseño de tareas. Tomar siempre las precauciones del caso para evitar daños en la carga y garantizar la mejor calidad de MP para los procesos productivos.

Se utilizan diferentes medios de manipulación según el paso del proceso y según la línea de producción designada. De forma general los principales medios son: los *hand pallet trucks* y los montacargas eléctricos.

2.3.2.1 ANÁLISIS DE MEDIOS DE MANIPULACIÓN

Las características principales de los *hand pallet trucks* son las que se muestran en la figura 11 y tabla 2.5.



Figura 2.9 *Hand pallet truck*

Tabla 2.5 Descripción Hand pallet truck

| Descripción | |
|--|-----------------|
| Capacidad (kg) | 2000/2500/3000 |
| Altura Max. de elevación (mm) | 200/190 |
| Altura del tenedor (mm) | 85/75 |
| Altura de agarraderas (mm) | 431,5/421,5 |
| Longitud del tenedor (mm) | 600/ hasta 1220 |
| Ancho (mm) | 520/550/685 |
| Diámetro de la rueda de dirección (mm) | 200/180 |
| Diámetro de redas del tenedor (mm) | 80/74 |
| Nivel de ruido (dB) | < 70 |
| Peso (kg) | 52 – 74 |

Fuente: Manual de operaciones del *hand pallet truck*
Elaborad por: Autor

Los mismos son usados principalmente en los PSA y dentro de las líneas de producción, ya que no contaminan el ambiente, son sencillos de manipular y las distancias a recorrer son cortas.

Las características de los montacargas son las que se muestran en la figura 2.9 y tabla 2.6.



Figura 2.10 Montacargas eléctrico
Fuente: La empresa (2016).

Tabla 2.6 Descripción Montacargas eléctrico–Linde

| Descripción | |
|--|-------------------|
| Fabricante | Linde |
| Modelo | E 16 C |
| Sistema de alimentación | Sistema eléctrico |
| Funcionamiento | Sentado |
| Capacidad (kg) | 1.600 |
| Distancia del centro de gravedad de la carga (mm) | 500 |
| Distancia de carga x(mm) 365 | 365 |
| Base de ruedas (con el mástil en posición vertical) y (mm) | 1.301 |
| Altura máxima de elevación (mm) | 3.401 |
| Peso Montacargas | 3 tn |
| Velocidad | 15 km/h |
| Radio de Giro | 1.35 m |
| Longitud del tenedor | 1 m |
| Nivel de Emisiones | Bajo |

Fuente: Manual Técnico – Linde Forklift
Elaborado por: Autor

Se emplean en la manipulación de los pallets de intercambio en su transporte desde las bodegas a las líneas de producción. Lo anterior es establecido para evitar la contaminación cruzada al momento de ingresar a las áreas de higiene medio. Se emplean tres montacargas eléctricos con esta finalidad. Al tratarse de manipulación de alimentos, la normativa interna R-26.727-4 sugiere estandarizar la flota a medios eléctricos para aprovechar al máximo la operatividad de los equipos y mitigar la existencia de contaminación cruzada con los alimentos, debido a los gases contaminantes generados por los montacargas de combustión. La planta propone implantar la normativa hasta el año 2017, y así colaborar con el cambio de la matriz productiva, no empleando energía proveniente de fósiles.

2.3.3 ANÁLISIS DE FLUJOS Y RECORRIDOS

Los flujos internos en las bodegas responden a las actividades de recepción y picking. Los flujos externos corresponden al movimiento de los medios de manipulación desde la zona de picking hasta los PSA correspondientes.

2.3.3.1 RECORRIDOS

Para alimentar las líneas de producción, las MP, los ME y los montacargas realizan varios recorridos tal y como se indica en la figura 2.11

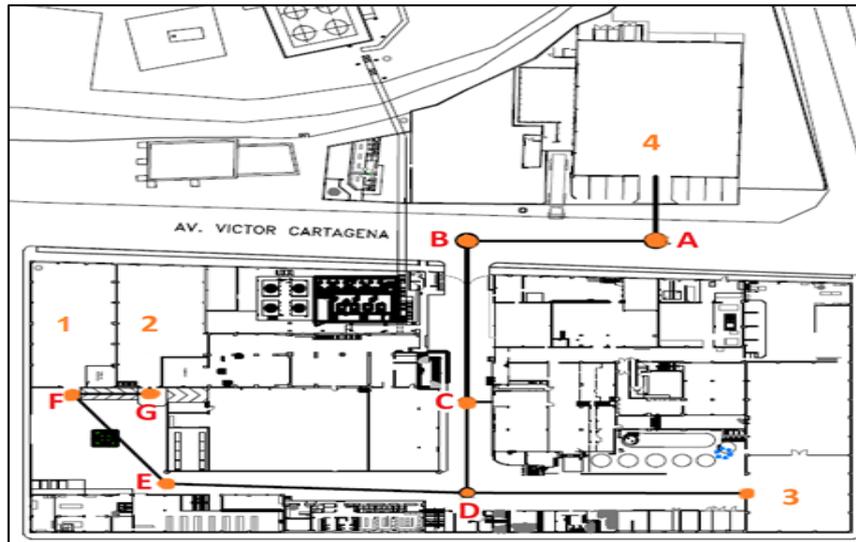


Figura 2.11 Recorridos
 Fuente: La empresa (2016).
 Elaboración de recorridos y distancias: Autor

Los diferentes tipos de recorridos son:

Recorrido 1: desde la Bodega 4 pasando por los puntos A, B y culmina en C.

Recorrido 2: desde la Bodega 3 pasando por D y culmina en C.

Recorrido 3: inicia en la Bodega 2 pasando por los puntos G, F, E, D y culmina en C.

Recorrido 4: desde la bodega 4 y pasa por todos los puntos A, B, C, D, E, F, hasta llegar a su destino G.

En la tabla 2.7 se detallan las distancias de los diferentes recorridos que realizan los montacargas para transportar la MP y el ME hacia su consumo.

Tabla 2.7 Distancias de recorrido

| Recorrido | Distancias en metros | | | | | | | Total |
|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| 1 | 17,17 | 33,50 | 42,92 | - | - | - | - | 93,59 |
| 2 | - | - | 24,22 | 49,53 | - | - | - | 73,75 |
| 3 | - | - | 24,22 | - | 53,52 | 29,15 | 13,74 | 120,63 |
| 4 | 17,17 | 33,50 | 42,92 | 24,22 | 53,52 | 29,15 | 13,74 | 214,22 |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

2.3.4 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES

Los procesos relacionados con la manipulación de materiales se subordinan al Departamento de Supply Chain. Los trabajadores que participan en el mismo, así como sus funciones son las que siguen:

Jefe SupplyChain

Realiza el control y seguimiento del abastecimiento, stocks de seguridad de materiales, liberaciones y gestión externa.

Compradores P2P

Se encargan de gestionar las compras con los proveedores según los reportes sobre las existencias en almacén, buscan nuevos proveedores para mantener una cartera saludable para el negocio y gestionan las entregas de materia prima en el tiempo requerido.

Jefe de Almacén

Se encarga de realizar los ingresos, egresos, transferencias a producción y chequeos de mercadería arribada en planta. Todo ello con la ayuda de los auxiliares de bodega y operadores de montacargas. Además, procesa en el sistema SAP los volúmenes de carga saliente y la que retorna a bodega.

Auxiliar de Almacén

Se encarga de programar la parte operacional de las actividades, es decir, coordinar los horarios de turno de los montacargas, coordinar las recepciones de MP y asignar espacios de disponibilidad, control de niveles y de inventarios.

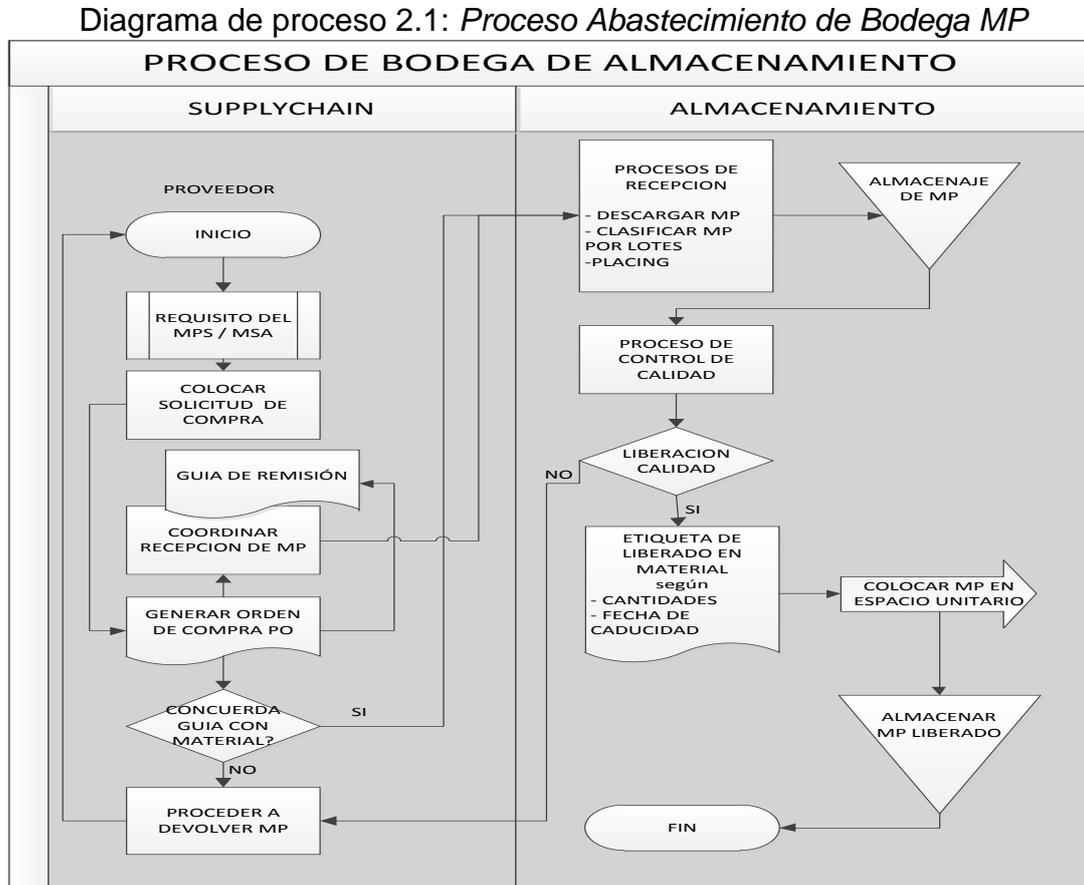
Operarios

Realizan todos los movimientos necesarios para mantener abastecida las líneas de producción, con el material en óptimas condiciones, a la hora requerida y para cumplir con el Gantt de producción. Brindan su apoyo a operaciones varias que involucran el izaje de equipos y materiales pesados.

De forma general y dentro del proceso de manipulación de materiales, se desarrollan dos subprocesos que se encargan de la gestión física del material: el proceso de recepción y el proceso de transferencia y devolución.

2.3.4.1 PROCESO DE RECEPCIÓN

El proceso de recepción es el que se muestra en el siguiente diagrama de proceso 2.1.



Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

La recepción inicia en el Departamento de *Supply Chain* y según los requisitos del Plan Maestro de Producción. Según este plan se coloca una orden de compra en el sistema SAP acorde a su *lead time* y teniendo como principal referencia el stock de seguridad de cada material. Realizada la actividad de compra se procede a programarlo en el cronograma y notificar este arribo de la carga a bodega.

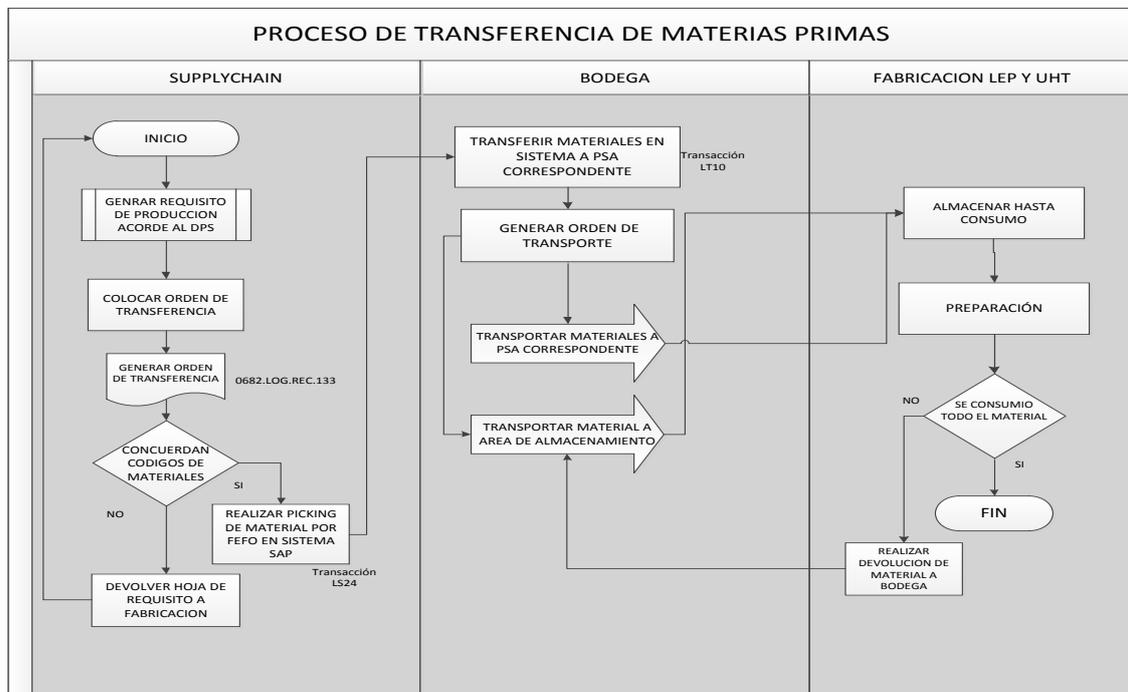
Arribada la carga se ejecuta su descarga, donde el operador revisa las condiciones de la misma según el *checklists* de arribo, comprueba el estado de esta y verifica las cantidades según la guía de remisión. De no coincidir, se procede a devolver el producto (en caso de proveedores nacionales), caso

contrario se almacena el material. Se realiza un muestreo para corroborar los parámetros de calidad con el patrón estándar establecido por el Departamento de Calidad, en caso de similitud la MP queda liberada y disponible para su consumo. Si no cumple con este control se procede a devolver el material o a generar una nota de crédito con acuerdo mutuo con el proveedor para la disposición del material.

2.3.4.2 PROCESO DE TRANSFERENCIA Y DEVOLUCIÓN

El proceso de transferencia y devolución es el que se muestra en el diagrama de proceso 2.2.

Diagrama de proceso 2.2 *Transferencia de MP*



Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

El proceso de transferencia inicia con la realización del pedido de MP por parte de producción mediante una orden de requisición. El Departamento de *Supply Chain* genera una orden de transferencia acorde a la orden de requisición y coordina el despacho de MP. Mientras que, en bodega se realiza el *picking* mediante la búsqueda de los materiales en sus respectivos *racks*. Posterior a ello, se transportan todos los materiales a la bahía de despacho para luego ser

transportados hacia la fabricación. De no consumirse todo el material transferido se devuelve a las bodegas.

2.3.5 ANÁLISIS ABC

Otro análisis importante para conocer el perfil de almacenamiento de las bodegas es mediante una clasificación ABC. Misma que nos indica los materiales con mayor costo de inversión en función del volumen proyectado para cubrir las necesidades del programa de producción para todo el año.

La proyección de la demanda de materiales requeridas para cumplir con el programa de producción se muestra en el Anexo 1, ésta constituye la línea base sobre la cual se generan todas las proyecciones en esta investigación. Cabe señalar que no se ha considerado la implementación de nuevos productos, lo cual demandaría un mayor espacio de almacén y podría cambiar los porcentajes de consumo, invalidando los resultados del análisis actual.

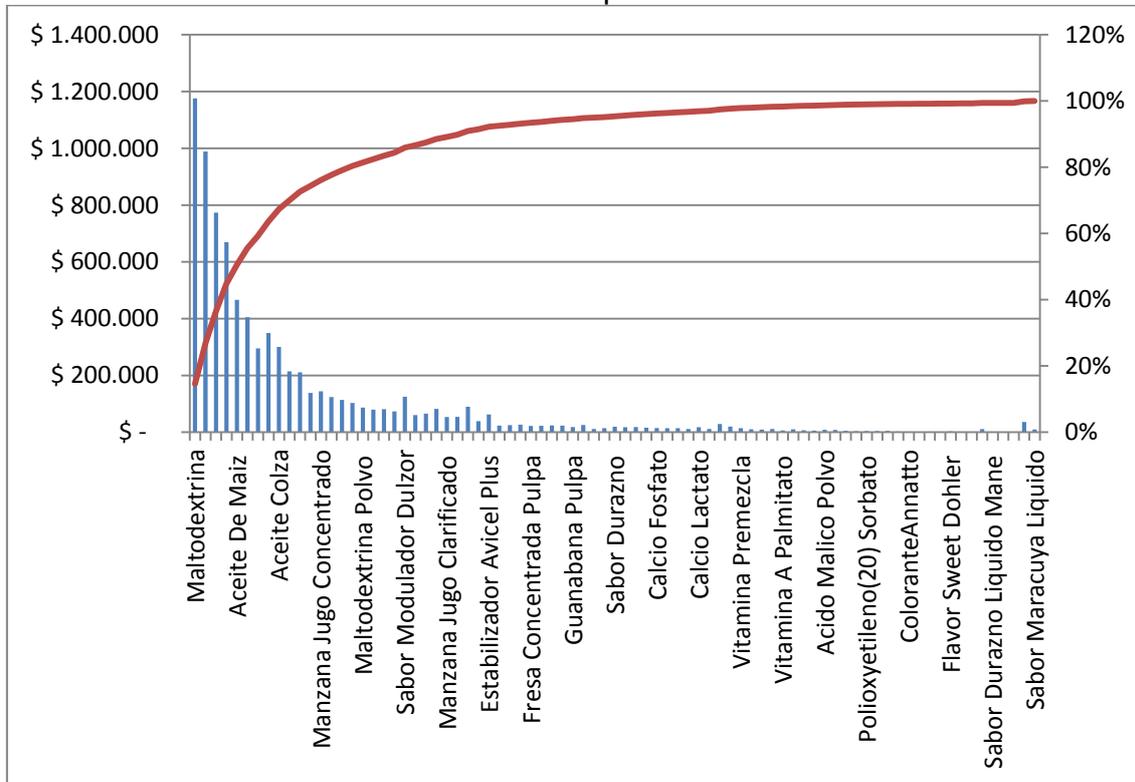
Tomando como base el pronóstico del Anexo 1, se calculan los respectivos requerimientos de MP y ME para conocer cuáles de ellos se demandan en mayor cantidad, y con esto generar grupos que respondan al criterio de clasificación ABC. La descripción teórica y aproximada de los grupos de clasificación es la que sigue:

- Grupo A: Corresponde al grupo mínimo de artículos, es decir, al 20% de artículos que demandan el 80% del consumo.
- Grupo B: Corresponde al 15% del consumo total de pallets en los años pronosticados.
- Grupo C: Corresponde a un gran número de artículos que se consumen y que representan apenas el 5% de los pallets pronosticados.

La variable empleada se transforma a pallets, para trabajar en una misma unidad de medida y entendiéndose que cada pallet ocupa una posición en bodega. Los valores de estas variables son obtenidos del Sistema Globe. Los resultados de la cantidad de pallets requeridos en el período son los que se muestran en el anexo 2.

Se realizan Diagramas de Pareto para visualizar claramente el 80/20 de las cantidades resultantes de la clasificación ABC, que se muestran en los gráficos 2.1 y 2.2.

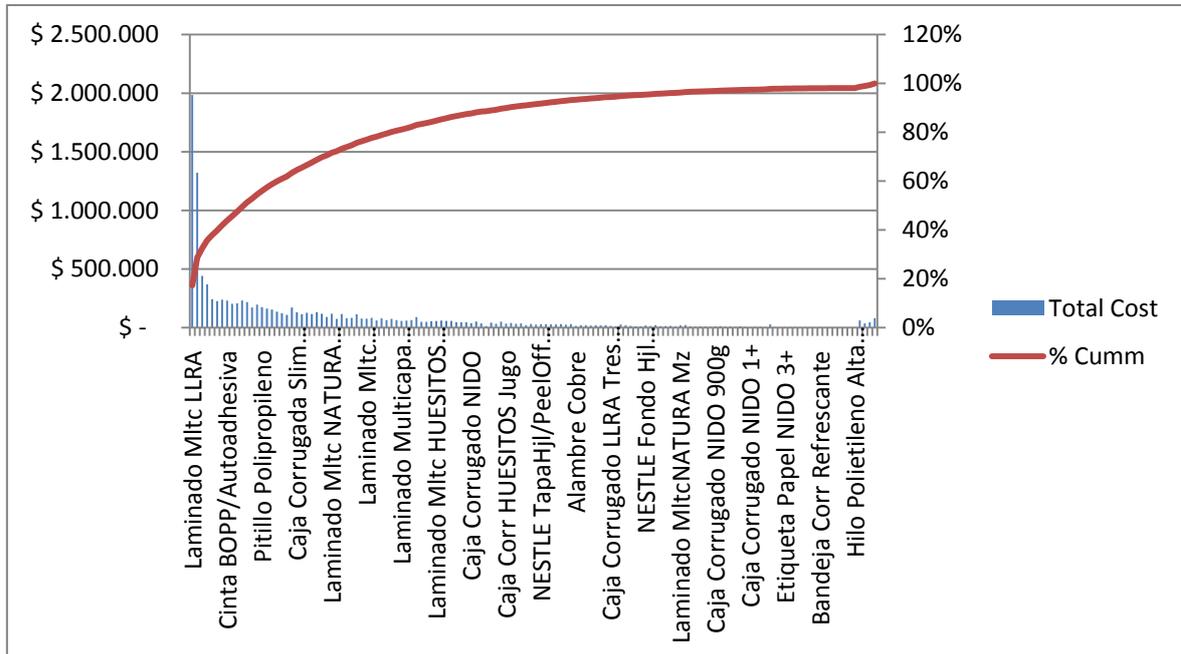
Gráfico 2.1: Pareto para Materia Prima



De esta clasificación ABC resultan como productos del Grupo A los siguientes: de MP

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Maltodextrina Glucosa | Aceite Colza Liquido Refinado |
| Azúcar Blanca | Lactosa Refinada |
| Durazno Jugo Concentrado | Miel Liquido |
| Aceite De Maíz | Oligofructuosa Raftilosa Polvo |
| Avena Molida Polvo | Manzana Jugo Concentrado |
| Naranja Jugo Concentrado | Emulsificante Grinsted |
| Calcio Carbonato | Maracuyá Jugo Concentrado |
| | Jugo Concentrado Arándano |

Gráfico 2.2 Pareto para Material Empaque



Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Materiales de clasificación "A" para materiales de empaque

| | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Caja Corrugado Leche Entera | Laminado Svelty Total |
| Caja Corrugado Semidescremado | Laminado Avena 1L |
| Caja Corrugado Natura | Laminado La Vaquita 200g |
| Caja Corrugada Genérica | Laminado Svelty Extra Calcio |
| Laminado Lechera Leche Entera | Laminado Natura Naranja 200ml |
| Caja Corrugado La Vaquita | Laminado Avena 200ml |
| Caja Corrugada Svelty Genérica | Laminado La Vaquita Nutrinas 100g |
| Laminado Lechera Semidescremada | Laminado La Lechera Full Crema 1L |
| Bandeja Corrugado Natura | Laminado Natura Durazno 1L |
| Pitillo Polipropileno | Laminado La Lechera 3 Leches 1L |
| Tapa Blanca Recap | Laminado La Vaquita Nutrinas 900g |
| Laminado Lechera Deslactosada | Laminado Nesquik Chocolate 200ml |
| Compuesto Polipropileno | Laminado La Lechera Crema De Leche |
| Lata Acero Cuerpo 153mm | Laminado Natura Manzana 200ml |
| Cinta BOPP/Autoadhesiva | Laminado La Vaquita 31g |
| Peróxido Hidrogeno | Laminado Avena Leche 200ml |
| Laminado Svelty Deslactosada | Laminado La Lechera 200ml |
| Laminado Natura Durazno 200ml | Laminado Huesitos Durazno 180ml |
| Laminado La Vaquita 400g | Laminado Yogu Yogu Fresa 200ml |
| Laminado Natura Naranja 1L | Laminado Yogu Yogu Durazno 200ml |

Estos SKU's incluidos en el Grupo A son los que se considerarán para la proyección de requerimientos de espacios de almacenamiento ya que son los que representan un mayor volumen de material para ser almacenado en las bodegas.

2.3.6 PROYECCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE ESPACIO

Considerando la política de almacenar toda la carga sobre medios unitarios o *pallets*, resulta conveniente generar una proyección del espacio demandado según las proyecciones de la producción. Utilizando como línea base la proyección de la demanda de producto terminado con la receta de cada producto, expresados en unidades iguales, se procede a generar la proyección de la demanda de MP calculada inicialmente en kilogramos, luego convertida a pallet al dividir para la carga por pallet. Se aclara nuevamente que cada pallet corresponde a un espacio o posición.

Para generar el análisis de requerimiento de espacio, se toman en cuenta los siguientes indicadores.

- Existencia Media o stock de seguridad del material

$$EM = \frac{\text{Demanda Total Surtido [kg/año]}}{\text{Coeficiente de Rotación}}$$

- Coeficiente de Rotación

$$Cr = \frac{\text{Días del año}}{\text{Norma de Inventario}}$$

- Densidad de Almacenamiento

$$DA = \frac{\text{Valor Promedio de Inventario } i}{\text{Area total de almacenamiento}}$$

- Norma de Inventario: refiriéndose al número promedio de días que permanece cada surtido almacenado en la bodega.

A continuación en la siguiente tabla 2.8 se presenta el coeficiente de rotación y la existencia media de los SKU'S.

Debido a la cantidad SKU'S que se maneja en fábrica, resulta conveniente analizar únicamente los materiales que exigen mayor volumen de carga, es decir aquellos con mayor rotación y principales contribuyentes al costo de almacenamiento.

Se cuenta con la siguiente información obtenida en fábrica y transformada a pallets para así determinar el número de posiciones necesarias de los materiales tipo A:

Tabla 2.8 *Análisis de existencia media MP*

| Línea | Cod. | Description | UM | Annual Demand | Demanda Pallets | Average Weekly Demand | Average Weekly Pallet Demand | Weekly Std Deviation Consum | Weekly Pallet Std Deviation | Grado de Rotacion | Norma de Inventario | Existencia Media (EM) |
|-------|----------|--|----|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| | 43229534 | Maltodextrina Glucosa SypPlv 28-32DE25kg | KG | 948.325 | 948,3 | 18.237 | 18,2 | 6.271 | 6,3 | 19,44 | 18,78 | 49 |
| | 40000905 | Azucar Blanca 150UI 50kg | KG | 1.235.681 | 823,8 | 23.763 | 15,8 | 9.511 | 6,3 | 15,95 | 22,82 | 52 |
| | 40000798 | Durazno Jugo Concentrado 30-32Brix 235kg | KG | 351.578 | 374,0 | 7.175 | 7,5 | 6.509 | 6,9 | 5,01 | 72,65 | 75 |
| | 41162113 | Aceite De Maiz 190kg | KG | 201.198 | 249,0 | 3.869 | 4,8 | 2.599 | 3,2 | 16,43 | 22,15 | 16 |
| | 40000710 | Avena Molida Polvo 25kg | KG | 98.531 | 197,1 | 2.239 | 4,5 | 2.020 | 4,0 | 2,62 | 138,93 | 76 |
| | 40000775 | Naranja Jugo Concentrado 65Brix 260kg | KG | 212.465 | 196,7 | 4.521 | 4,2 | 2.881 | 2,7 | 4,02 | 90,55 | 49 |
| | 40000067 | Calcio Carbonato 3um INS170i 25kg | KG | 83.329 | 166,7 | 1.602 | 3,2 | 471 | 0,9 | 3,81 | 95,54 | 44 |
| ROH | 40000734 | Aceite Colza Liquido Refinado 180kg | KG | 134.472 | 166,4 | 2.586 | 3,2 | 1.748 | 2,2 | 14,50 | 25,10 | 12 |
| | 40000572 | Lactosa Refinada Inf MR2 100 Mesh 25kg | KG | 67.686 | 135,4 | 1.302 | 2,6 | 1.228 | 2,5 | 11,84 | 30,74 | 12 |
| | 40000556 | Miel Liquido 87kg | KG | 84.010 | 123,5 | 1.647 | 2,4 | 1.099 | 1,6 | 11,35 | 32,07 | 11 |
| | 40000763 | Oligofructosa Raftilosa Polvo 25kg | KG | 60.442 | 120,9 | 1.185 | 2,4 | 712 | 1,4 | 3,54 | 102,82 | 35 |
| | 40000029 | Manzana Jugo Concentrado 30-32Brix 235kg | KG | 104.353 | 109,4 | 2.269 | 2,4 | 2.094 | 2,2 | 2,74 | 132,85 | 40 |
| | 40000249 | Emulsificante Grinsted WP 900 Polvo 25kg | KG | 9.454 | 18,9 | 185 | 0,4 | 67 | 0,1 | 5,65 | 64,42 | 4 |
| | 40000788 | Maracuya Jugo Concentrado 50Brix 250kg | KG | 17.570 | 17,6 | 439 | 0,4 | 413 | 0,4 | 3,30 | 110,30 | 6 |
| | 43697150 | Jugo Concentrado Arandano 62-66Brix | KG | 6.389 | 6,8 | 228 | 0,2 | 343 | 0,4 | 0,95 | 383,16 | 8 |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Según la proyección de espacios unitarios demandados para productos de la familia MP es decir materias primas. Determinamos un total de posiciones requeridas por año, dividiendo entre su rotación obtenemos la existencia media o stock de seguridad de acuerdo a la rotación actual de material. Interpretando la tabla podemos ver que la Maltodextrina tiene una demanda anual en pallets de 949, con un consumo semanal promedio de 19 pallets. La rotación del material se obtuvo por el sistema SAP transacción MC44, la cual nos indica el grado de rotación de material de acuerdo a las compras realizadas en un lapso de tiempo determinado. Al dividir la demanda total anual para su índice de rotación, obtenemos como resultado la existencia media o stock de seguridad de material.

La importancia de realizar esta proyección es para conocer en qué medida el almacén está respondiendo a las necesidades del sistema de abastecimiento, así como la eficiencia en la utilización del espacio ya que un modelo no debe superar el 80% de ocupación, ya que al superar este porcentaje significa una baja en la eficiencia operacional debido a doble manipulaciones de cargas, mala localización de materiales, congestión en pasillos que no solo baja la productividad del sistema pero también aumenta el riesgo de un accidente laboral al tener menos espacio libre para la manipulación de materiales adentro de las bodegas. Se procede a generar el mismo análisis para la familia de materiales de empaque.

Tabla 2.9 *Análisis de existencia media ME*

| Línea | Cod. | Description | UM | Annual Demand | Demanda Pallets | Average Weekly Demand | Average Weekly Pallet Demand | Weekly Std Deviation Consum | Weekly Pallet Std Deviation | Grado de Rotacion | Norma de Inventario (dias) | Average Weekly Space Demand |
|-------|----------|--|-----|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 43522521 | Caja Corr LLRA LecheEntera UHT Mid 12x1L | UNI | 1.089.542 | 726,4 | 20.953 | 14,0 | 9.399 | 6,3 | 19,14 | 19,02 | 38 |
| | 43522510 | Caja Corrugado LLRA UHT SmDescrMID 12x1L | UNI | 728.789 | 485,9 | 14.015 | 9,3 | 5.591 | 3,7 | 17,20 | 21,16 | 29 |
| | 40005327 | Caja Corrugado Natura 30x200ml | UNI | 689.403 | 459,6 | 13.258 | 8,8 | 12.726 | 8,5 | 16,59 | 21,94 | 28 |
| | 43564735 | Caja Corrugada Slim Generica 12x1L | UNI | 539.593 | 359,7 | 10.377 | 6,9 | 5.087 | 3,4 | 14,62 | 24,90 | 25 |
| | 43498998 | Laminado Mltc LLRA Ent Flexicap Mid 1L | UNI | 13.855.546 | 335,9 | 266.453 | 6,5 | 104.833 | 2,5 | 7,18 | 50,70 | 47 |
| | 43177426 | Caja Corrugado LA VAQUITA 390x290x315mm | UNI | 351.450 | 234,3 | 6.759 | 4,5 | 2.597 | 1,7 | 16,59 | 21,94 | 15 |
| | 43555131 | Caja Corrugada Slim SVTY Gene 12x1L | UNI | 339.693 | 226,5 | 6.533 | 4,4 | 4.274 | 2,8 | 10,88 | 33,46 | 21 |
| | 43498997 | Laminado Mltc FlexicapMid LLRA SmDescr1L | UNI | 9.220.987 | 223,5 | 177.327 | 4,3 | 69.030 | 1,7 | 6,73 | 54,09 | 34 |
| | 40005485 | Bandeja Corrugado Natura 2(30x200ml) | UNI | 319.152 | 212,8 | 6.138 | 4,1 | 6.380 | 4,3 | 9,65 | 37,72 | 23 |
| | 40005001 | Pitillo Polipropileno 4.5x145mm | UNI | 40.423.827 | 157,9 | 777.381 | 3,0 | 475.704 | 1,9 | 6,85 | 53,14 | 24 |
| | 43194582 | Tapa PP Blanca Recap3 A1 Tetra Pak | UNI | 9.638.306 | 101,6 | 185.352 | 2,0 | 89.508 | 0,9 | 4,44 | 81,98 | 23 |
| | 43499005 | Laminado Mltc LLRA Deslact FlexicapMid1L | UNI | 3.072.780 | 74,5 | 59.092 | 1,4 | 52.179 | 1,3 | 5,21 | 69,87 | 15 |
| | 43531812 | Compuesto LDPE/TiO2/Carbon Para DIMC | G | 34.694.621 | 69,4 | 667.204 | 1,3 | 213.436 | 0,4 | 8,51 | 42,77 | 9 |
| | 40005146 | Lata Acero Cuerpo 153mm | UNI | 62.394 | 52,0 | 1.200 | 1,0 | 1.955 | 1,6 | 1,38 | 263,77 | 38 |
| | 40006561 | Cinta BOPP/Autoadhesiva 7.5x1000m | G | 9.555.614 | 47,8 | 183.762 | 0,9 | 58.501 | 0,3 | 6,44 | 56,52 | 8 |
| | 43631654 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas200g01/14 | G | 31.146.865 | 41,5 | 598.978 | 0,8 | 474.241 | 0,6 | 9,00 | 40,44 | 5 |
| | 43554618 | Laminado MltcSlimSVTYDescrDeslact1L10/13 | UNI | 1.625.325 | 39,4 | 31.256 | 0,8 | 41.486 | 1,0 | 3,21 | 113,40 | 13 |
| | 43248619 | Laminado Mltc NATURA Durazno 200ml 07/09 | UNI | 6.022.049 | 38,5 | 115.809 | 0,7 | 176.368 | 1,1 | 6,30 | 57,78 | 7 |
| | 43631642 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas400g01/14 | G | 26.273.262 | 35,0 | 505.255 | 0,7 | 471.048 | 0,6 | 11,03 | 33,00 | 4 |
| ZPCK | 43551379 | Laminado Mltc Slim NATURA Naranja 1L | UNI | 1.409.373 | 34,2 | 27.103 | 0,7 | 33.205 | 0,8 | 4,02 | 90,55 | 9 |
| | 43554619 | Laminado MltcSlim SVTY TotalDgstn1L10/13 | UNI | 1.386.173 | 33,6 | 26.657 | 0,6 | 20.701 | 0,5 | 3,21 | 113,40 | 11 |
| | 43551701 | Laminado Mltc Slim NESTLE Avena Fort 1L | UNI | 1.235.203 | 29,9 | 23.754 | 0,6 | 30.892 | 0,7 | 3,19 | 114,11 | 10 |
| | 40006863 | Peroxido Hidrogeno Aceptico 35% 35kg | KG | 33.231 | 29,7 | 639 | 0,6 | 230 | 0,2 | 3,96 | 91,92 | 8 |
| | 43551702 | Laminado Mltc Slim SVTY LecExtraCalcio1L | UNI | 1.136.690 | 27,6 | 21.859 | 0,5 | 19.369 | 0,5 | 3,43 | 106,12 | 9 |
| | 43249660 | Laminado Mltc NATURA Naranja 200ml 07/09 | UNI | 3.771.003 | 24,1 | 72.519 | 0,5 | 123.272 | 0,8 | 5,66 | 64,31 | 5 |
| | 40006222 | Laminado Mltc Avena Fortificada 200ml | UNI | 3.688.270 | 23,6 | 70.928 | 0,5 | 107.547 | 0,7 | 4,97 | 73,24 | 5 |
| | 43630570 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas100g01/14 | G | 16.468.776 | 22,0 | 316.707 | 0,4 | 322.064 | 0,4 | 7,08 | 51,41 | 4 |
| | 43551703 | Laminado Mltc Slim LLRA Full Crema 1L | UNI | 887.005 | 21,5 | 17.058 | 0,4 | 7.217 | 0,2 | 4,92 | 73,98 | 5 |
| | 43551378 | Laminado Mltc Slim NATURA Durazno 1L | UNI | 881.724 | 21,4 | 16.956 | 0,4 | 29.327 | 0,7 | 2,86 | 127,27 | 8 |
| | 43499019 | Laminado Mltc LA LECHERA 3 Leches Mid 1L | UNI | 757.263 | 18,4 | 14.563 | 0,4 | 18.857 | 0,5 | 5,86 | 62,12 | 4 |
| | 43630562 | LaminadoMltcLAVAQUITANutrimas900g 01/14 | G | 11.926.834 | 15,9 | 229.362 | 0,3 | 233.699 | 0,3 | 7,52 | 48,40 | 3 |
| | 40006236 | Laminado Mltc NESQUIK Chocolate 200ml | UNI | 2.174.073 | 13,9 | 41.809 | 0,3 | 60.111 | 0,4 | 3,80 | 95,79 | 4 |
| | 40006225 | Laminado Mltc LLRA Crema De Leche 200ml | UNI | 2.049.836 | 13,1 | 39.420 | 0,3 | 32.872 | 0,2 | 6,11 | 59,57 | 3 |
| | 43249636 | Laminado Mltc NATURA Manzana 200ml 07/09 | UNI | 1.927.588 | 12,3 | 37.069 | 0,2 | 63.654 | 0,4 | 3,87 | 94,06 | 4 |
| | 43572125 | Laminado Mltc LAVAQUITALEPInstan31g01/14 | G | 10.788.746 | 12,0 | 207.476 | 0,2 | 283.975 | 0,3 | 5,43 | 67,03 | 3 |
| | 40006856 | Laminado Mltc NESTLE Avena Leche 200ml | UNI | 1.873.333 | 12,0 | 36.026 | 0,2 | 60.106 | 0,0 | 3,87 | 94,06 | 4 |
| | 40006223 | Laminado Mltc LA LECHERA 200ml | UNI | 1.680.002 | 10,7 | 32.308 | 0,2 | 45.353 | 0,3 | 4,75 | 76,63 | 3 |
| | 43442265 | Laminado Mltc HUESITOS Dur 180ml 04/12 | UNI | 1.644.333 | 10,5 | 31.622 | 0,2 | 50.504 | 0,3 | 4,83 | 75,36 | 3 |
| | 40006241 | Laminado Mltc YOGU YOGU Fresa 200ml | UNI | 1.295.432 | 8,3 | 24.912 | 0,2 | 41.229 | 0,3 | 4,03 | 90,32 | 3 |
| | 40006240 | Laminado Mltc YOGU YOGU Durazno 200ml | UNI | 984.471 | 6,3 | 18.932 | 0,1 | 29.077 | 1,9 | 4,26 | 85,45 | 2 |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Se calcula la densidad de almacenamiento (DA) para conocer la productividad del espacio de almacenamiento de la bodega 4, dados los materiales actualmente almacenados. Para obtener una densidad en dólares del espacio se procedió a multiplicar la existencia media de cada ítem por el costo unitario obtenido en el ABC. Posteriormente la sumatoria de los diferentes materiales se divide por el total de metros cuadrados utilizables que tiene la bodega.

$$DA = \frac{\text{Dólares}}{m^2}$$

Obteniendo como resultado:

$$DA = \frac{427.443,50}{762} = 560.58 \frac{\$}{m^2}$$

Según la proyección de espacios unitarios demandados para productos de la familia ME o materiales de empaque. Determinamos un total de posiciones requeridas por año, dividiendo entre su rotación obtenemos la existencia media o stock de seguridad de acuerdo a la rotación actual de material. Interpretando la tabla podemos ver que el material de mayor demanda corresponde al Cartón Corrugado para formato de leche entera de 1L. El primer ítem tiene una demanda anual en pallets de 726, con un consumo promedio semanal de 14 pallets. La rotación del material se obtuvo por el sistema SAP transacción MC44, la cual nos indica el grado de rotación de material de acuerdo a las compras realizadas en un lapso de tiempo determinado. Al dividir la demanda total anual para su índice de rotación.

Como se observa en las tablas de análisis de existencia media, los mayores contribuyentes, tomando en cuenta que fueron seleccionados de acuerdo al grado de influencia en la rotación de los materiales y las cuales se tendrán en cuenta para el modelo de simulación, que ayudará a simplificar notablemente la programación de dicho modelo. En la tabla 2.10 se enlistan los mayores contribuyentes.

Tabla 2.10 *Mayores contribuyentes*

| MP | ME |
|-------------------------|----------------------------|
| Maltodextrina | Cartón Corrugado LEP y UHT |
| Azúcar | Laminado LEP. |
| Aceite de maíz y canola | |
| Miel | |
| Lactosa | |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Tabla 2.11 *Porcentaje de utilización por mayor contribuyente*

| Grupo | Contribuyente | Bodega | Existencia media | Área | Bodega #2 Espacios unitarizados | Bodega #3 masivo | Bodega #4 Espacios unitarizados | Bodega #4 masivo |
|-------|---------------------|--------|------------------|--------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| MP | Miel | 2 | 11 | 10m2 | 358 3% | 259 | 376 | 409 |
| | Lactosa | 2 | 12 | 19m2 | 3% | | | |
| | Maltodextrina 10-12 | 3 | 10 | 10m2 | | 4% | | |
| | Maltodextrina 28-32 | 3 | 49 | 50m2 | | 19% | | |
| | Azúcar | 3 | 52 | 30m2 | | 20% | | |
| | Aceite Máz/Canola | 4 | 28 | 39,6m4 | | | 7% | |
| ME | Laminado LEP | 2 | 105 | 12,5m2 | 29% | | | |
| | Corrugado LEP y UHT | 4 | 179 | 40m2 | | | | 44% |

Fuente: La empresa (2016).

Elaborado por: Autor

Como se observa en la tabla 2.11 cada contribuyente ocupa un cierto porcentaje de espacio dentro de bodega, siendo el corrugado LEP y UHT los que más espacio ocupa en su respectiva bodega y por el contrario la miel y la lactosa con un 3% por igual son los artículos que menos espacio ocupan en un tiempo determinado.

2.4 RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO

La clasificación ABC realizada arrojó, sobre la base de los costos totales y la rotación, como productos principales la maltodextrina, azúcar, aceites, miel y lactosa entre las materias primas y como materiales de empaque el cartón corrugado y el laminado LEP, son los que requieren mayor cantidad de espacio para su almacenamiento. Estos productos se encuentran almacenados de forma dispersa en las bodegas 2, 3 y 4, pudiendo almacenarse en un solo lugar.

La Bodega 4 resultó ser la más grande, con acceso a cargas unitarias fraccionadas y estiba directa. En ella no se almacenan precisamente los productos de mayor rotación, pudiéndose lograr un mejor equilibrio entre la capacidad del almacén y los mayores volúmenes de producto a almacenar. A colación, el almacenamiento en estanterías en esta bodega representa el 7% del volumen total, en el cual se almacenan laminados de baja rotación, pudiéndose almacenar los laminados que resultaron con mayor rotación producto de la clasificación ABC. A la par, el almacenamiento masivo representa el 23% del volumen total, el cual puede ocuparse con aquellos productos de mayor rotación y que resultaron relevantes en la clasificación ABC, como son el azúcar y la maltodextrina.

A raíz de estas consideraciones se elabora la propuesta de almacenar en estanterías los laminados, la lactosa y la miel, y en estiba directa el azúcar, la maltodextrina, el cartón corrugado y los aceites.

En el *layout* de la planta la Bodega 4 se encuentra ubicada cruzando la calle Víctor Cartagena. En auditorías realizadas se ha identificado la exposición de los montacargas al tráfico vehicular de la ciudad como factor de riesgo latente, al desarrollar la transferencia de materiales para la producción desde la Bodega 4. Este riesgo puede ser minimizado mediante la implementación de soluciones que disminuyan la cantidad de viajes expuestos a dicho riesgo.

Existe la posibilidad de tercerizar esta transferencia de materiales con otra empresa del territorio, mediante el empleo de un camión con capacidad de carga de seis pallets, lo cual disminuirá la cantidad de viajes; y por tanto minimizará este riesgo. A tenor, el problema dejará de ser un factor de riesgo para la planta, por lo

que se traslada a la empresa tercerizada y dejará de ser señalada por las auditorías.

Lo planteado origina dos grandes alternativas a evaluar, las cuales se basan en la reubicación de los materiales anteriormente mencionados en la Bodega 4, más lo que actualmente se almacenan y que no fueron relevantes en la clasificación ABC. Bajo esta situación surge una Alternativa 1 que consiste en el empleo de montacargas para la recepción de estos materiales y de montacargas para la transferencia de los mismos hacia los PSA's, lo cual coincide con la situación actual de manipulación de materiales.

A diferencia, surge una Alternativa 2 que consiste en el empleo de montacargas para la recepción de los materiales y la carga del camión en la zona de *picking*, el empleo de camiones para la transferencia hacia los PSA's y el empleo de montacargas para la descarga de los camiones en los PSA's.

Estos dos grandes grupos de soluciones generan sistemas que no existen en la actualidad. A ello se suman las posibles combinaciones a generarse en cuanto a cantidad y variedad de recursos a emplearse en cada una de las actividades. Todo lo anterior, hacen que sea considerada la simulación de eventos discretos como una herramienta eficaz para la evaluación de estas alternativas, y mucho más si se considera la aleatoriedad del sistema en las entradas y salidas de productos de la Bodega 4.

3 CAPÍTULO III - OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para la simulación y optimización se toma como referencia el proceso iterativo que se muestra en la figura 1.5. Además, para la construcción del modelo de simulación, se utiliza el software *Flexsim* versión 7.7.4, de conjunto con sus paquetes incorporados: el *Expertfit* para el procesamiento estadístico de datos y el *Experimenter* para el desarrollo de la optimización. Para otros análisis estadísticos se emplea el SPSS, versión 22.0 y para la recopilación de la información numérica se utiliza el Excel.

Todos los análisis se centran en las operaciones que se llevan a cabo en la Bodega 4 por ser la de mayor área y mayor volumen de almacenamiento.

3.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS, ALCANCES Y REQUERIMIENTOS

La construcción del modelo comprende toda la actividad desarrollada en la Bodega 4, es decir, desde el proceso de recepción, el almacenamiento y la transferencia de materiales a producción como se puede observar en la figura 3.1

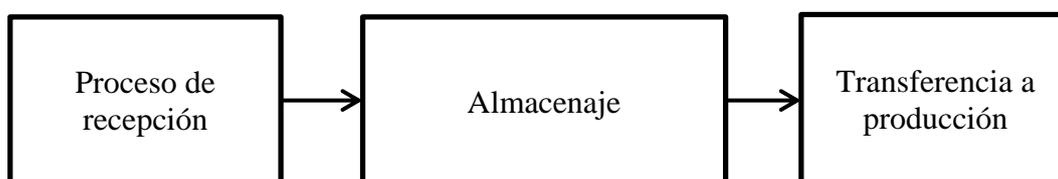


Figura 3.1 Alcance de actividades del modelo
Elaborado por: Autor

Se consideran aquellos materiales que resultaron más importantes en la clasificación ABC desarrollada en el capítulo anterior, los cuales son: Miel líquida, Lactosa refinada, Azúcar, Aceites, Maltodextrina, Cartón corrugado y laminados para leche en polvo.

Por otro lado, se añade que las alternativas a evaluar serán las siguientes:

- Alternativa 1. Es un modelo *To-Be* y constituye el Escenario Actual. Está constituida por dos montacargas que realizan toda la operación en bodega: Linde 1 y Linde 3. El primero encargado de realizar toda la actividad de recepción de materiales y manipulación interna dentro de la bodega; y el segundo para todo el proceso de transferencia de materiales a producción.
- Alternativa 2. Es un modelo *To-Be* y constituye el Escenario Propuesto. Está constituida por dos montacargas y un camión: Linde 1, Linde 2 y camión. El primero encargado de realizar toda la actividad de recepción de materiales, manipulación interna dentro de la bodega y la carga del camión; el segundo encargado del proceso de descarga del camión en los PSA's; y el tercero destinado a la transferencia de materiales desde la Bodega 4 hasta los PSA's de producción.

El servicio de traslado de material se lo realiza mediante un convenio bilateral con el centro de distribución, ubicado junto a la planta, entidad que cuenta con la disponibilidad de transportes para realizar la actividad de traslado a planta.

Cada una de estas alternativas constituye un modelo por separado, los que a su vez, unidos a lo mencionado anteriormente constituye el alcance de la simulación.

Objetivo general de la simulación

Evaluar ambas alternativas mediante el desarrollo de modelos de simulación en *Flexsim*, que permitan medir sus principales métricas de rendimiento, y a su vez, compararlas.

Objetivos específicos de la simulación

Estos están descritos más claramente en la tabla 3.1 donde se observa su variable dependiente, denominación y unidad de medida.

Tabla 3.1 *Resumen de objetivos específicos de la simulación*

| Objetivos específicos de la de simulación | Variable dependiente | Denominación | Unidad de medida |
|--|---|---------------------|-------------------------|
| Evaluar el tiempo efectivo de trabajo y la utilización de los recursos | Promedio del tiempo efectivo de trabajo del recurso i | T efectivo i | (h) |
| | Promedio de la utilización del recurso i | Utilización i | (%) |
| Evaluar la cantidad de pallets manipulados | Promedio del número de pallets manipulados en la recepción | Recepción pallets | (u) |
| | Promedio del número de pallets manipulados en la transferencia | Despacho pallets | (u) |
| Evaluar las existencias medias en la bodega | Promedio de la existencia media del ítem j | WIP j | (u) |
| Evaluar la cantidad de recorridos relacionados con la transferencia. | Promedio de la cantidad de recorridos relacionados con la transferencia | Cant Viajes | (u) |

Los objetivos relacionados con la toma de decisiones en la optimización son los que muestran en la tabla 3.2

Tabla 3.2 *Resumen Objetivos de optimización*

| Objetivo de optimización | Variable independiente | Denominación | Unidad de medida |
|---|---|---|-------------------------|
| Optimizar el funcionamiento de ambas alternativas mediante la definición de escenarios, que conlleven a un mejor uso de los recursos disponibles. | Cantidad de recursos a emplear en la recepción de materiales. | CantMontRecep k | (u) |
| | Cantidad de recursos a emplear en la transferencia de materiales. | CantMontDescar k y/o CantCamion k | (u) |
| Comparar entre ambas alternativas y determinar la factibilidad de implementación de la segunda. | Reserva de productividad de la alternativa k | Reserva de productividad k | (pallet/h) |
| | Costo total de la alternativa k | Costo total k | (\$) |

En el caso de la variable asociada a la cantidad de recursos a emplear en la transferencia de materiales se utilizan alternativamente ambas variables. En la Alternativa 1 CantMontDescar hace referencia a la cantidad de montacargas que se emplean en el proceso de transferencia hacia los PSA's, mientras que en la Alternativa 2 hace referencia a la cantidad de montacargas necesarios para descargar el camión en los PSA's.

Se adicionan a estas variables otras que se requieren para el planteamiento de las funciones objetivos, las cuales son las siguientes.

- Fondo de tiempo (h): Caracteriza el fondo de tiempo disponible del sistema, a partir del trabajo de 8.5 horas al día.
- Tiempo de Corrida (h): Caracteriza el tiempo a partir del cual se estabilizan las estadísticas del sistema, es decir, sin incluir el tiempo de *warm up*.

Estas variables para la optimización definen los escenarios y función objetivo a plantearse en los pasos siguientes del procedimiento.

El alcance del modelo de simulación está delimitado por el proceso de recepción de materia prima que representa el ingreso de entidades al sistema, el almacenaje o colocación de las mismas en el lugar designado y las transferencias de insumos a la línea de producción, que representa las salidas del sistema.

3.3 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El análisis, recolección y procesamiento de datos se realizó mediante la observación directa para determinar los datos estructurales que conforman el modelo, tales como: *flowitems*, *processors*, *transporter*, *racks*, entre otros. Los datos numéricos fueron extraídos del SAP y llevados a archivos Excel donde se filtró la información para su posterior análisis estadístico.

Análisis de datos estructurales y numéricos

Los ítems considerados son: Miel líquida, Lactosa refinada, Azúcar, Aceites, Maltodextrina, Cartón corrugado y laminados para leche en polvo.

En el caso de los datos numéricos, las principales variables de entrada son las siguientes:

- Tiempo entre arribos: Es el tiempo entre arribos por tipo de ítem medido en horas. Esta información se obtuvo mediante la transacción del SAP LT24.(Ver anexo 3 Tabla 1. frecuencia de arribos)
- Tiempo de palletizaje: Es el tiempo que demoran los obreros encargados del palletizaje, en caso de que se lo requiera, y según el tipo de ítem. Se

estudió por medio del cronometraje y arrojando valores relativamente constantes de acuerdo al tipo de ítem.

- Tiempo de Carga/Descarga: Es el tiempo que demoran los montacargas en realizar la carga y descarga de los materiales, tanto en las bahías, en el camión, como en los PSA's. Se estudió por medio del cronometraje y arrojando valores relativamente constantes.
- Capacidad de los racks: Consiste en la cantidad de pallets que se pueden almacenar en cada espacio para almacenamiento, ya sea en racks o en estiba directa. Se obtuvo mediante la observación directa.
- Stock de seguridad: Consiste en la cantidad mínima de pallets necesarios para satisfacer los requerimientos de producción. Se obtuvo de acuerdo a datos históricos del SAP.
- Existencia media: Consiste en la cantidad promedio de pallets que permanecen en almacenamiento. Se obtuvo de acuerdo a datos históricos del SAP.

Al caso específico del tiempo entre arribos se le realizó la prueba del *Automated-Fitting* para determinar la distribución de mejor ajuste (Anexo 3 ver figura 1). En los casos en lo que esta prueba arroja un buen ajuste, se determinan esas distribuciones como las adecuadas, en aquellos en los que el resultado es indeterminado, se hacen uso de las distribuciones empíricas de frecuencia. De estos resultados se exceptúan el azúcar y el aceite dado que sus arribos son regulares en el tiempo.

Un ejemplo es el caso de la miel en el cual se tomaron 29 observaciones, fueron evaluados 31 modelos con puntuaciones entre 0.83% y 95%, resultando que el modelo de mayor puntuación fue una distribución Johnson SB, aun cuando su evaluación es indeterminada por lo que se hace uso de su distribución empírica de frecuencias. Un resumen de estos resultados es el que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.3 *Forma de arribo*

| Ítem | Forma de arribo | Parámetros |
|-----------------------|--------------------------|---|
| Miel | Distribución empírica | - |
| Lactosa | Distribución estadística | gamma(130.703829, 110.556913, 0.662972) |
| Azúcar | Programado | Jueves |
| Aceite | Distribución estadística | beta(35.662664, 180.112433, 0.392049, 1.108741) |
| Maltodextrina | Distribución empírica | - |
| Corrugado LEP Y UHT | Programado | Lunes y miércoles |
| Laminado vaquita 200g | Distribución estadística | beta(20.472824, 175.437093, 0.936861, 0.820613) |
| Laminado vaquita 400g | Distribución estadística | johnsonbounded(96.219419, 253.492540, 0.552911, 0.745822) |

Elaborado por: Autor

3.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para la construcción del modelo en *Flexsim* es necesaria la utilización de varios objetos que forman parte de la librería de *Flexsim*, además de ello, el modelo se encuentra plasmado sobre el plano arquitectónico realizado en software *AutoCAD* descrito en párrafos anteriores.

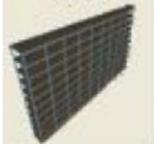
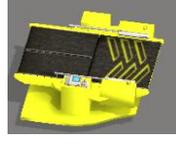
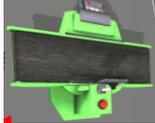
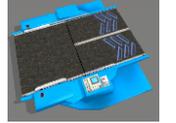
También se conoce cuáles son los recorridos que realizan los montacargas y los flujos de materiales hasta las líneas de producción. De igual manera se conoce que la capacidad de los montacargas es de 1600 kg (un pallet aproximadamente) que es una constante a lo largo del modelo. Como política operacional de la fábrica se sostiene que todos los productos deben almacenarse sobre pallets, lo cual facilita los procesos de cálculo de capacidad de bodega al manejar una unidad homogénea a lo largo del modelo.

Una vez analizado la bodega y su flujo de materiales, se sabe que a la misma ingresan las materias primas y suministros que son descargados de los vehículos, se colocan en la bahía de espera, para luego ser movilizados por el montacargas a su sitio en bodega según corresponda.

Por otro lado, las salidas de inventario se realizan bajo los pedidos diarios de producción u hojas de transferencias. Se genera una orden de transporte en sistema ligada al material a movilizar para que con el montacargas se realice el traslado de los pallets seleccionados con materias primas y suministros, desde las estanterías en las bodegas hasta sus respectivos PSA's para el consumo de fabricación.

Conociendo el proceso se procede a diseñar el modelo utilizando los objetos de *Flexsim*, que son aquellos que recrean los eventos que resultan en la simulación del proceso. Para la representación del modelo se utilizaron los siguientes objetos:

Tabla 3.4 *Objetos Flexsim utilizados*

| Source | Rack | Tansporter | Dispatcher | Combiner |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Queue | Sick | BasicFR | Processor | Separator |
|  |  |  |  |  |

Fuente: Guia *Flexsim*

Elaborado por: Autor

Los modelos diseñados son los que se muestra en las figuras 3.3 y 3.4 respectivamente.

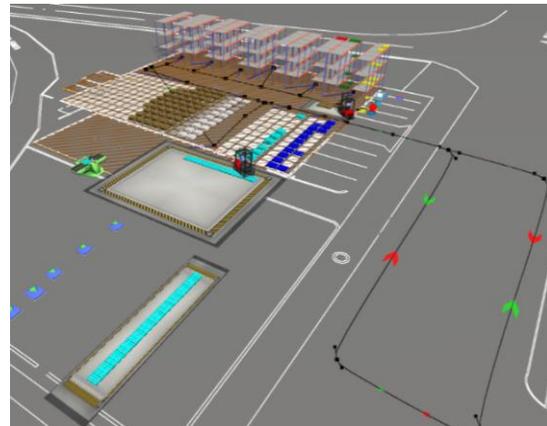


Figura 3.3 Modelo actual a la izquierda Layout completo y derecha bodega 4

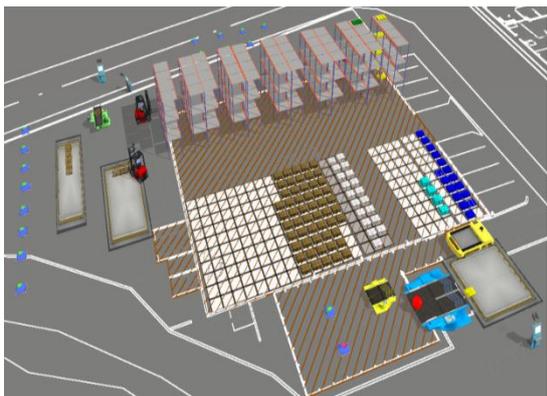
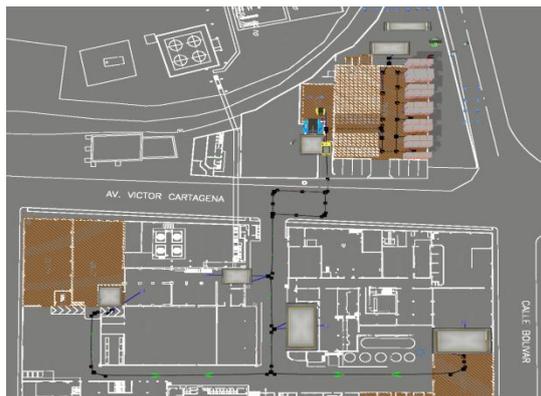


Figura 3.4 Modelo propuesto a la izquierda Layout completo y derecha bodega 4

Source: se utilizaron 8 de estos objetos para generar los *flowitems* considerados en el modelo, diferenciándose únicamente por el color de los mismos. Además, se designaron diversas propiedades como tiempo, color, etiquetas, etc., que facilitaron el reconocimiento de estos *flowitems*.

Se utiliza un *source* para los pedidos diarios de producción y 8 *sources* adicionales que controlan las existencias en los racks y que permiten estabilizar el sistema con mayor rapidez.

Queue: se utilizaron como colas para la carga y descarga en la recepción y despacho de *flowitems*, y en la recepción de materiales en los PSA's. Se utilizaron 3 para las primeras actividades y 4 para la segunda.

Rack: Se utilizaron 16 Racks y que se encuentran distribuidos en la bodega.

Sink: Se utilizaron 4 *sink*, cada uno después de cada PSA ya que en ese momento finaliza el proceso de abastecimiento. Se añadió otro Sink para la destrucción del flowitem Pedido.

Processor el cual representa el proceso de palletizaje para los casos de materiales que arriban a granel.

Combiner se utilizó para el proceso de *Picking*, en el que se combina el pedido de producción con todos los materiales que se necesiten de acuerdo al tipo y cantidad.

Separator se encarga de separar los materiales y el pedido combinados en el *Picking*.

Nodos se utilizaron para fijar los caminos y recorridos por donde circulan los materiales y se asignaron a todos los recursos que se encargan de la manipulación de materiales.

Además, para lograr el funcionamiento del modelo se hizo énfasis en los siguientes aspectos (ver anexo 4):

1. Que los arribos fueran en las cantidades e intervalos de tiempos requeridos, para lo cual se emplearon las opciones de *Batch Processing* y *Hourly Rates Repeating Weekly* (ver figura 1).
2. Que los arribos de los pedidos de producción fueran todos los días de lunes a viernes a las 8:50 AM, para lo que se empleó la opción de *Arrival Schedule* (ver figura 2)
3. Que el tiempo de paletizaje se desarrolle de acuerdo al *itemtype*, para lo que se empleó una *Global Table* llamada Tiempo Descarga Ruteo (ver figura 3).
4. La bahía de carga tenga una capacidad de 35 pallets y rute a los *flowitems* hacia su *Rack* correspondiente y de acuerdo al *Itemtype*.
5. Que los *Racks* posean la capacidad acorde a la situación actual y que la colocación de los pallets dentro de los mismos se realice acorde a la realidad, es decir, desde la posición más alejada hasta la más cercana por bahía y desde abajo hacia arriba en cada nivel, esto se programó el *Place in level* y *Place in bay* tal y como se muestra en la figura 4.
6. Que los *Racks* nunca se queden con cero en existencia, para lo cual se conectaron por su puerto de entrada 2 con su *Source* correspondiente, de forma tal que permitiera abrir y cerrar los puertos de salida de estos últimos de alcanzarse el stock de seguridad operacional o la existencia media, respectivamente. Esto se programó en los *Triggers* de los *Racks*, tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 5.
7. Que los pedidos de producción se originen diariamente y en cantidades aleatorias por cada *itemtype*. Esto se programó de acuerdo a una *Global Table* llamada Cantidad Despacho que se reescribe diariamente desde el *Source* Pedido, tal y como se muestra en la figura 6. Estas cantidades de pallets son las que se combinan con el *flowitem* Pedido para el desarrollo del *Picking*. Esta *Global Table* toma valores de cero cada vez que se reinicia el modelo.

8. Que el *Separator* envía el *flowitem* pedido al *Sink* y los pallets que continúen el proceso de abastecimiento, lo cual se programó mediante la opción *Unpack y Entire Contents* (ver figura 7).
9. Para los *Dispatcher* se utilizó la función de *Random Port* para generar aleatoriedad en la selección de recursos que movilizarán las cargas. Además, se empleó el *Sort By TaskSequence Priority* para controlar las actividades de recepción y *Picking* con prioridades de 1 y 3, respectivamente, y asociadas a Linde 1.
10. Que los recursos trabajen de acuerdo al turno de trabajo de 7:30 AM a 4:30 PM, lo cual se fijó mediante la utilización de *Time Tables*. A la par, que los arribos solo sucedan en el horario comprendido desde las 9:00 AM hasta las 3:00 PM (ver figura 8).
11. Que los materiales a almacenar en la Bodega 4 fueran los materiales considerados como contribuyentes principales al volumen de carga de trabajo. La reubicación de estos materiales conllevan a un aumento de la densidad de almacenamiento.

Todos los objetos y funcionalidades descritos se mantienen, de una forma u otra, para ambas alternativas, aun cuando existen diferencias puntuales entre ambos modelos.

En el caso de la Alternativa 2 en el *Trigger Unload* del Camion se programó de forma tal que el camión no retorne hacia la bodega hasta que no haya transferido toda la carga hacia sus respectivos PSA's, con las funciones *Travel to an Object* y *Unload all Items* (ver figura 9). Además, en ambos modelos se cambia la posición del *Docking Area*.

3.5 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

El proceso de validación garantiza que toda la programación del modelo de simulación sea coherente y correcta, mediante la verificación de todos y cada una de las funciones utilizadas en la construcción del modelo. Es válido aclarar que este proceso de validación sólo se le realizó al modelo correspondiente a la

Alternativa 1, es decir, a la situación actual. Si este modelo se valida, entonces el modelo correspondiente a la Alternativa 2 queda validado también.

Para tales fines se crearon *Dashboards* para analizar el comportamiento de todas las variables dependientes o de respuesta. Los *dashboards* creados fueron (ver anexo 5):

- *WIP Average vs time*: Para analizar el comportamiento de las existencias medias en los Racks al transcurrir el tiempo.
- *WIP Current vs Time*: Para analizar el contenido de los Racks contra el tiempo y controlar visualmente los valores máximos y mínimos y compararlos con los valores declarados como stock operacional y existencias medias obtenidos del SAP.
- Despacho de pedidos: Para analizar el tiempo que permanece el ítem Pedido en el *Combiner*, lo cual es equivalente al tiempo de *Picking*. Por otro lado, permitió controlar que este tiempo no supere la jornada laboral, lo cual es el reflejo de que siempre hay existencia para satisfacer los pedidos.
- Análisis del estado de recursos: Para analizar los porcentajes de utilización de los recursos inmersos en los modelos.
- Cantidad manipulada: Para analizar la cantidad de pallets receptados y transferidos.

Se ejecutaron varias corridas y se analizaron todas las estadísticas asociadas a los resultados arrojados por los *Dashboards*. Estos análisis preliminares permitieron definir aspectos relacionados con el futuro proceso de optimización. Ejemplo de ello, fue que permitieron declarar los comportamientos adecuados de utilización para los recursos inmersos en el modelo. Esto a su vez permitió delimitar el comportamiento para las variables independientes dentro de valores razonablemente lógicos, es decir, viabilizó la definición del *Lower* y *Upper Bound* para la cantidad de recursos a utilizar en las actividades. Por otra parte, también permitieron verificar que los objetos del modelo no se bloquearan por falta de capacidad en los objetivos *downstream*.

Por otro lado, los *dashboards* fueron empleados para determinar el *warmup* del sistema y posterior al cual las variables de respuesta alcancen su estabilidad. Las variables analizadas para este análisis fueron las existencias medias de cada uno

de los *flowitems* y cuyos resultados se muestran en el anexo 6, observando que las mismas alcanzan su estabilidad al cabo de las 2040 horas. La variable que más tardó en estabilizarse es la existencia media del Cartón. Se asume que si estas variables alcanzaron su estabilidad el resto de las variables de respuesta también se estabilizan al cabo de este tiempo.

Haciendo uso del *Experimenter*, de conjunto con sus opciones Performance Measures y *Experiment Run* se corrieron 100 réplicas del experimento, como réplicas piloto para poder estimar adecuadamente todas las variables de respuesta (ver anexo 7). En el *Experiment Run* se define como tiempo de corrida desde el Lunes 2 de enero de 2017 a las 00:00 horas, al Sábado 1ro de julio a las 00:00 horas para un *Run Time* de 4320 horas, es decir, un semestre de corrida.

Los resultados de estas 100 réplicas son los que se muestran en la tabla 3.5 En consulta realizada a expertos se definieron los errores en los que se está dispuesto a incurrir. Lo anterior, unido a un nivel de confianza del 95%, da como resultado que la cantidad de réplicas a ejecutar en el experimento es de 53, es decir, que las 100 réplicas piloto son suficientes para estimar todas las variables de respuesta.

Tabla 3.5 Resultados de réplicas

| VARIABLE | UNIDAD DE MEDIDA | MEDIA | DESVIACIÓN ESTANDAR | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR | ERROR | L= LS-LI | CONDICIÓN $L \leq 2 * E$ | CANTIDAD DE RÉPLICAS |
|---------------------|------------------|--------|---------------------|-----------------|-----------------|-------|----------|--------------------------|----------------------|
| Utilización Linde 1 | (%) | 0,43 | 0,0068 | 0,4314 | 0,4338 | 0,05 | 0,0024 | 0,10 | 0,07 |
| Utilización Linde 3 | (%) | 0,33 | 0,0007 | 0,3252 | 0,3275 | 0,05 | 0,0023 | 0,10 | 0,00 |
| WIP Miel | (u) | 8,93 | 1,2100 | 8,6900 | 9,1700 | 0,50 | 0,4800 | 1,00 | 22,50 |
| WIP Lactosa | (u) | 10,71 | 3,6300 | 9,9900 | 11,4400 | 1,50 | 1,4500 | 3,00 | 22,50 |
| WIP Azúcar | (u) | 38,40 | 7,2000 | 36,9000 | 39,8000 | 3,50 | 2,9000 | 7,00 | 16,26 |
| WIP Aceite | (u) | 23,87 | 1,8500 | 23,5100 | 24,2400 | 0,50 | 0,7300 | 1,00 | 52,59 |
| WIP Malto | (u) | 35,91 | 0,3180 | 35,845 | 35,972 | 0,50 | 0,1270 | 1,00 | 1,55 |
| WIP Carton | (u) | 125,10 | 7,9000 | 123,5000 | 126,6000 | 3,50 | 3,1000 | 7,00 | 19,57 |
| WIP Laminado 200 | (u) | 4,34 | 1,7100 | 4,0000 | 4,6800 | 0,50 | 0,6800 | 1,00 | 44,93 |
| WIP Laminado 400 | (u) | 3,21 | 0,3770 | 3,135 | 3,285 | 0,50 | 0,1500 | 1,00 | 2,18 |

Elaborado por: Autor

Con estos resultados y como parte de la validación del modelo, se probó que las existencias medias de cada uno de los *flowitems* del modelo fueran similares a los datos arrojados por el SAP. Lo anterior se basa en el supuesto de que si las entradas (recepción) y salidas (transferencia) del modelo arrojan existencias medias similares al SAP, entonces el modelo refleja la realidad en la Bodega 4.

En tal caso, se estaría conforme con tan sólo alcanzar hasta un 80% de coincidencia en estas variables.

Las variables de escala que participaron en las pruebas de hipótesis son las siguientes (ver tabla 3.6)

Tabla 3.6 Valores a contrastar para las variables dependientes

| Variable | Valor a contrastar² (u) |
|-----------------------------|---|
| WIP Miel (u) | 9 |
| WIP Lactosa (u) | 10 |
| WIP Azúcar (u) | 39 |
| WIP Aceite (u) | 24 |
| WIP Malto (u) | 35.9 |
| WIP Cartón (u) | 124 |
| WIP Laminado 200 (u) | 2 |
| WIP Laminado 400 (u) | 2 |

Elaborado por: Autor

Para ello se emplea la prueba T para una muestra del SPSS y se probó con anterioridad que todas las variables son normales, aun cuando se obvian estos resultados de normalidad en los anexos. Como puede observarse en el anexo 8 para todas las variables analizadas, con excepción de las existencias medias para los laminados, no se cumple la región crítica para un nivel de confianza del 95%, por lo que no se rechaza H_0 , concluyendo que las existencias medias de los *flowitems* del modelo son iguales a las existencias medias obtenidas del SAP.

A su vez y con el mismo objetivo, se recopilaron estadísticas históricas de los tiempos efectivos de trabajo de los recursos que se emplean en la Bodega 4, hablese de los montacargas Linde 1 y Linde 3. Estos tiempos efectivos se obtienen del horómetro y se registran en un documento de control para el mantenimiento preventivo de estos equipos. Los cálculos asociados al porcentaje de utilización de estos recursos dentro de la jornada laboral son los que siguen:

² Estos valores fueron obtenidos del SAP

Para Linde 1: $U_1 = \frac{3.667 h}{8.5 h} = 0.4315$

Para Linde 2: $U_2 = \frac{2.779 h}{8.5 h} = 0.3270$

Estos valores de utilización fueron los valores de contraste para los resultados del modelo en cuanto a la utilización de estos recursos (ver Anexo 8). En ambos casos, no se cumple la región crítica para un nivel de confianza del 95%, por lo que no se rechaza H_0 , concluyendo que los porcentajes de utilización de los recursos del modelo reflejan resultados iguales a los estudios de utilización realizados en la vida real.

Llegado a este punto pudo decirse que el modelo de simulación construido para la situación actual (Alternativa 1) se encuentra validado y refleja un comportamiento similar al de la Bodega 4 en la realidad. Por transitividad queda validado también el modelo correspondiente a la Alternativa 2.

3.6 CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTOS DE OPTIMIZACIÓN

Para la conducción del experimento de optimización en ambos modelos se empleó el *Experimenter* con sus opciones *Optimizer Design*, *Optimizer Run* y *Optimizer Results*. Los parámetros fueron definidos tal y como se muestran en el anexo 9.

3.6.1 CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ALTERNATIVA 1

Se definió un solo escenario que caracteriza el comportamiento actual de las variables independientes.

En el *Optimizer Run* se definió correr 30 réplicas por cada solución y que el experimento termine cuando estas réplicas sean alcanzadas de ahí que el *Wall Time* se definió como cero para un máximo de soluciones de 50.

En el *Optimizer Design* se declararon como variables independientes la cantidad de montacargas que se emplean tanto en la recepción como en la descarga. El *Lower* y *Upper Bound* fueron definidos desde el proceso de validación del modelo.

Se añadieron restricciones relacionadas al porcentaje de utilización de estos recursos, de forma tal que estas variables no superen el 95% de utilización. Es de observar cómo se adiciona un 47% de utilización que corresponde a la manipulación y almacenamiento de los materiales que actualmente se encuentran en la Bodega 4 y que no fueron considerados en el modelo al no ser relevantes producto de la clasificación ABC.

Se plantearon las dos funciones objetivos siguientes:

Minimizar la Reserva de Productividad

$$RP = \left(\frac{\sum_{j=1}^8 (Recepcion\ Pallets + Despacho\ Pallets)}{\sum_{i=1}^n Tefectivo_i} - \frac{\sum_{j=1}^8 (Recepcion\ Pallets + Despacho\ Pallets)}{Fondo\ Tiempo * (\sum_{i=1}^n CantMontRecep + \sum_{i=1}^n CantMontDescar)} \right)$$

La reserva de productividad (RP) se presenta como una ecuación donde la primera razón de la expresión está referido a la productividad de trabajo real en el almacén (pallets/h), en el que el numerador refleja la cantidad de pallets manipulados para los 8 *flowitems* considerados y el denominador refleja el tiempo efectivo de trabajo de todos los recursos que intervienen en el almacén. La segunda razón refleja el rendimiento percápita planificado de los recursos (pallets/h), en el que el denominador refleja el fondo productivo máximo utilizable por todos los recursos que se emplean en el periodo.

Minimizar el Costo Total de Manipulación

Este costo total quedó desglosado en los componentes de gastos por concepto de salario, mantenimiento de equipos, depreciación, daños y pérdidas, energía y otros gastos.

- Gasto de salario

Se incluyeron los gastos referidos al salario básico, el décimo cuarto y décimo tercero, las horas extras y la seguridad social, de los trabajadores relacionados con la actividad de manipulación. Al respecto el SAP arroja un salario promedio de 498.10 dólares al mes por trabajador. Los cálculos relacionados con el gasto de salario por hora son los que siguen:

$$498.10 \frac{\$}{mes * trab} * \frac{1\ mes}{20\ d} * \frac{1\ d}{8.5\ h} = 2.93 \frac{\$}{h * trab}$$

Planteamiento del gasto de salario para la función objetivo:

$$2.93 * Fondo de Tiempo * \left(\sum_{i=1}^n (CantMontRecep + \sum_{i=1}^n CantMontDescar) \right)$$

$$\left[\frac{\$}{h * trab} * h * trab = \$ \right]$$

- Gasto de mantenimiento

Se incluyeron los gastos relacionados con el mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos que intervienen en la manipulación. Al respecto el SAP arroja un gasto de mantenimiento al año de 19925.36 dólares y se toma un tiempo promedio de trabajo efectivo de los montacargas de 3.22 horas al día, el cual fue extraído de estudios previos realizados por los especialistas de *Supply Chain*. Los cálculos relacionados son los que siguen:

$$\frac{19925.36 \frac{\$}{año}}{280 \frac{d}{año} * 3.22 \frac{h}{d}} = 22.10 \frac{\$}{h}$$

Planteamiento del gasto de mantenimiento para la función objetivo:

$$22.10 * \sum_{i=1}^n (Tefectivo_i * CantMontRecep)$$

$$\left[\frac{\$}{h} * \frac{h}{eq} * eq = \$ \right]$$

- Gasto de depreciación

Se incluyeron los gastos relacionados con la depreciación de los equipos que intervienen en la manipulación. Al respecto el SAP arroja un gasto por este concepto de 10687.20 dólares al año por cada montacarga. Los cálculos relacionados son los que siguen:

$$10687.20 \frac{\$}{año * eq} * \frac{1 año}{365 d * \frac{24 h}{1 d}} = 1.22 \frac{\$}{h * eq}$$

Planteamiento del gasto de depreciación para la función objetivo:

$$1.22 * Tiempo de Corrida * \left(\sum_{i=1}^n (CantMontRecep + \sum_{i=1}^n CantMontDescar) \right)$$

$$\left[\frac{\$}{h * eq} * h * eq = \$ \right]$$

- Gasto por daños y pérdidas

Se incluyeron los gastos relacionados con el deterioro del material de embalaje durante la manipulación y el autoconsumo de materiales en la recepción, los cuales fueron extraídos del SAP que arrojaron un percápita de 0.18 dólares por cada pallet manipulado.

Planteamiento de este gasto para la función objetivo:

$$0.18 * \frac{\$}{pallet} * \sum_{j=1}^8 (Recepcion Pallets)$$

$$\left[\frac{\$}{pallet} * pallet = \$ \right]$$

- Gasto de energía

El gasto de energía fue visto como la energía que consumen los montacargas durante la carga de sus baterías, mismas que mantienen las siguientes características; voltaje de la red de 220 voltios, una intensidad de carga de 30 amperios que fueron medidos con un amperímetro y una eficiencia del cargador de un 85%. Los parámetros técnicos de las baterías son: una capacidad de 460 amperios horas y 48 voltios. La energía industrial se paga a razón de 0.09 dólares el kilowatt hora.

Cálculo de la intensidad de la red:

$$I_{red} = \frac{48 v * 30 A}{220 v} = 6.55 A$$

Cálculo del tiempo de carga, el cual se afectó por la utilización del equipo dentro de la jornada laboral y adicionándole un 47% por consideraciones explicadas en tópicos anteriores.

$$T_{carga} = \frac{460 A * h}{6.55 A} * (Utilización_i + 0.47)$$

$$T_{carga} = 70.23 * (Utilización_i + 0.47)$$

Cálculo del consumo de energía:

$$W = \frac{220 v * 6.55 A * 70.23 h}{0.85} * (Utilización_i + 0.47)$$

$$W = 119.06 Kwh * (Utilización_i + 0.47)$$

Planteamiento del gasto de energía para la función objetivo:

$$0.09 * 119.06 * (\text{Utilización}_i + 0.47)$$

$$\left[\frac{\$}{kw * h} * kw * h \right] = \$$$

Generalizando la expresión anterior para el total de montacargas que se empleen en la recepción y en el despacho y el total de veces que se cargan las baterías en el período, queda:

$$10.72 * (\text{Utilización}_i + 0.47) * \frac{\text{Fondo de Tiempo}}{8.5} * \left(\sum_{i=1}^n (\text{CantMontRecep}) \right)$$

$$1.26 * (\text{Utilización}_i + 0.47) * \text{Fondo de Tiempo} * \left(\sum_{i=1}^n (\text{CantMontRecep}) \right)$$

A lo que se adiciona:

$$1.26 * (\text{Utilización}_i + 0.47) * \text{Fondo de Tiempo} * \left(\sum_{i=1}^n (\text{CantMontDescar}) \right)$$

- Otros gastos

En este tipo de gastos se incluyeron los relacionados con la entrega de los medios de protección, específicamente la ropa de trabajo. Al respecto el SAP arrojó un gasto promedio de 87 dólares por trabajador al año.

Planteamiento del gasto de depreciación para la función objetivo:

$$87 * \left(\sum_{i=1}^n (\text{CantMontRecep}) + \sum_{i=1}^n (\text{CantMontDescar}) \right)$$

$$\left[\frac{\$}{trab} * trab = \$ \right]$$

3.6.2 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ALTERNATIVA 2

Para este modelo se definió un solo escenario que caracteriza el comportamiento de las variables independientes. El *Optimizer Run* se definió de la misma manera que para la Alternativa 1.

El *Optimizer Design* se declararon como variables independientes las que siguen: cantidad de montacargas necesarios en la recepción, manipulación interna y carga del camión; cantidad de montacargas necesarios para la descarga del camión en los PSA's; y la cantidad de camiones necesarios para la transferencia

de materiales. El *Lower y Upper Bound* para estas variables fueron definidos mediante consideraciones similares al modelo anterior.

Minimizar la Reserva de Productividad

Esta función objetivo se planteó de la misma manera que en el modelo anterior.

Minimizar el Costo Total de Manipulación

Esta función objetivo quedó planteada de forma similar que en el modelo anterior, pero con algunas acotaciones. En el caso de los gastos relacionados con salario, mantenimiento, depreciación, daños y pérdidas, energía y otros gastos, sólo implican a la actividad de manipulación de los montacargas que si constituyen activos de la empresa. El camión es contratado, por lo que estos gastos corren por la empresa a la que se le contrata el servicio.

- Gasto por viaje

Se añade el gasto por viaje del camión. Se tiene convenido cobrar un saldo de 20.00 dólares por cada viaje que se realice entre la Bodega 4 y los PSA´s.

Planteamiento del gasto por viaje para la función objetivo:

$$20 * \sum_{j=1}^n Cant Viajes$$

$$\left[\frac{\$}{viaje} * viaje = \$ \right]$$

3.7 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Todo el análisis asociado a la presentación de resultados en cuanto a las variables de desempeño declaradas, así como los resultados relacionados con el proceso de optimización se resume en el anexo 10. Durante la construcción del modelo se plantea almacenar los materiales de mayor rotación en la Bodega 4. La configuración propuesta conlleva un incremento del 33% en la densidad de almacenamiento de 560.58 a 831.53 [\$/m²].

3.7.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARA AMBOS MODELOS

Alternativa 1

El proceso de optimización arrojó una Solución 1 como la más óptima (ver anexo 9), para ambas funciones objetivos, es decir, la relacionada con la reserva de productividad y la del costo total, con valores de 3.93 pallet/h y de 20532.78 dólares en el período, respectivamente. Los gastos de mayor relevancia dentro del costo total fueron, en orden decreciente, los de mantenimiento, depreciación y salario con valores de 9834.50, 5563.20 y 3433.96 dólares en el período.

Es de aclarar que esta Solución 1 coincide con la situación actual de la Bodega 4, es decir, el empleo de un montacargas en la recepción y uno en la transferencia.

Esta alternativa arrojó un promedio de un 43.26% y un 32.64% de utilización para los montacargas empleados en la actividad de recepción y transferencia, respectivamente. Lo anterior se traduce en 253.70 horas efectivas de trabajo en el período simulado, 3.68 horas efectivas de trabajo diarias para la actividad de recepción; y en 191.41 horas efectivas de trabajo en el período, 2.77 horas efectivas de trabajo diarias para la actividad de transferencia.

La cantidad de pallets manipulados en la recepción y transferencia son como promedio de 1214.6 y de 1609.2, respectivamente. Para una existencia media de los ítems acorde a la realidad y que fue demostrado en tópicos anteriores.

El promedio de la cantidad de viajes en el período realizado por el montacargas para la transferencia de materiales hacia los PSA's es de 1609.2, lo cual conlleva a aproximar a 23.32 viajes diarios.

El tiempo promedio que demoran en completarse los pedidos en la zona de *Picking* para la transferencia hacia producción es de 2.83 horas, aproximadamente.

Alternativa 2

El proceso de optimización para este modelo arrojó cuatro soluciones que fueron analizadas: la Solución 1, Solución 13, Solución 18 y la Solución 20 (ver anexo 9). De ellas, sólo la Solución 13 fue factible.

Las soluciones 1, 18 y 20 fueron soluciones no factibles dentro de los resultados. La no factibilidad fue condicionada por las restricciones del modelo y relacionadas con la utilización de los recursos, específicamente, la restricción de utilización en la primera parte del proceso de almacenaje, es decir, en la recepción de materiales. Las soluciones 18 y 20 recomendaron incrementar un camión para la transferencia a producción y añadir un montacargas para la descarga del camión en los PSA's, respectivamente. Lo anterior originó una subutilización considerable de estos recursos en estas dos actividades, de ahí que se haya determinado eliminarlas como posibles soluciones finales, por lo que quedó sólo la Solución 1 dentro de las no factibles.

Aun cuando la Solución 1 está fuera de la factibilidad del modelo, se consideró fuera analizada dadas las aproximaciones realizadas en la clasificación ABC, que condicionó se sumara el 47% de utilización de los recursos en estas restricciones. La misma consistió en el empleo de un montacargas en la recepción, uno en la descarga en los PSA's y un camión para la transferencia de materiales, arrojando resultados para la reserva de la productividad y costo total de 2.55 pallets/h y de 28475.42 dólares en el período.

Esta alternativa arrojó un promedio de un 67,13%, 24,57% y un 23,97% de utilización para los recursos empleados en la actividad de recepción, transferencia y descarga, respectivamente. Lo anterior se traduce en 5.71 horas efectivas de trabajo diarias para la actividad de recepción; 2.09 horas efectivas de trabajo diarias para el camión; y 2.04 horas efectivas en la descarga.

El promedio de la cantidad de viajes en el período realizado por el camión para la transferencia de materiales hacia los PSA's es de 295,46 lo cual conlleva a aproximar a 4,28 viajes diarios.

El tiempo promedio que demoran en completarse los pedidos en la zona de *Picking* para la transferencia hacia producción es de 3.09 horas, aproximadamente.

La Solución 13 recomendó emplear dos montacargas en la primera parte del proceso (recepción, manipulación interna y carga del camión), un camión para la transferencia y un montacargas para la descarga del camión en los PSA's, para un total de 3 montacargas y un camión. Los resultados para la reserva de la productividad y costo total fueron de 4.50 pallets/h y de 33897.20 dólares en el período.

Esta alternativa arrojó un promedio de un 35.21%, 24.69 y un 24,02% de utilización para los recursos empleados en la actividad de recepción, transferencia y descarga, respectivamente. Lo anterior se traduce en 2.99 horas efectivas de trabajo diarias por montacargas para la actividad de recepción; 2.10 horas efectivas de trabajo diarias para el camión; y 2.04 horas efectivas en la descarga.

El promedio de la cantidad de viajes en el período realizado por el camión se mantiene igual a la solución anterior.

El tiempo promedio que demoran en completarse los pedidos en la zona de *Picking* para la transferencia hacia producción es de 1.88 horas, aproximadamente.

3.7.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para la comparación entre los dos modelos, y en aras de simplificar esta etapa del estudio, fueron tomadas las variables de desempeño relacionadas con la utilización de los recursos y el tiempo de completamiento de los pedidos; a lo que se añadieron los resultados en las funciones objetivos relacionados con la reserva de la productividad y los costos totales. Las comparaciones fueron realizadas entre la Solución 1 de la Alternativa 1 y las soluciones 1 y 13 de la Alternativa 2.

Se dejaron fuera de análisis las de tiempo efectivo de trabajo de los recursos, dado que está variable está implícita en el cálculo de la utilización; y las variables relacionadas con las existencias medias de los materiales y la cantidad de pallets manipulados en la recepción y el despacho de materiales, lo cual se debió a que

en ambos modelos se mantuvieron iguales el arribo y la transferencia de los ítems.

Comparación de resultados en las variables de desempeño

Para el desarrollo de esta comparación se declararon las variables siguientes:

Alternativa-Solución: variable nominal que identifica el único factor o variable independiente. Todas las variables dependientes fueron filtradas por este factor.

Utilización Recepción: variable de escala y dependiente asociada al promedio de la utilización de los montacargas empleados en la recepción de materiales.

Utilización Transferencia y/o Descarga: variable de escala y dependiente asociada al promedio de la utilización de los montacargas empleados en la transferencia de materiales (para la Alternativa 1) y en la descarga en los PSA's (para la Alternativa 2).

Tiempo de despacho: variable de escala y dependiente asociada al promedio del tiempo para el completamiento de los pedidos.

Para este análisis se aplicó un ANOVA (tipo I) con el procedimiento para un factor, con la finalidad de evaluar si existe igualdad entre las medias de las tres poblaciones que se están comparando y que corresponden a las tres alternativas que se analizaron. Todos los resultados relacionados se muestran en el anexo 11.

De las pruebas Kolmogorov - Smirnov y Shapiro - Wilk se obtuvo que la variable Tiempo de despacho no se ajustó a la normalidad en las tres muestras analizadas, mientras que el resto de las variables sí. Este inconveniente no constituyó una restricción para el estudio dado que el estadístico F del ANOVA se comporta razonablemente bien, incluso para poblaciones alejadas de la normalidad, cuando el tamaño de muestra es grande y en este caso se tomaron 100 observaciones de la variable por cada Alternativa-Solución. A lo que se añade que no existió homocedasticidad, lo cual se demostró con el test de Levene.

Del ANOVA de un factor, mediante las pruebas robustas de igualdad de medias con los estadísticos de Brown-Forsythe y el de Welch, se obtuvo que al menos una media difiere del resto para las tres variables dependientes analizadas y filtradas por la variable independiente. Para detectar dónde se concentraron estas

diferencias se realizó un análisis Post-Hoc con los estadísticos T3 de Dunnett y Games-Howell, debido a la inexistencia de homocedasticidad. Los resultados coincidieron para ambos estadísticos y son los siguientes:

- Existe igualdad de medias para la variable Utilización Transferencia y/o Descarga para la Alternativa 2 y sus soluciones 1 y 13.
- No existe igualdad de medias para el resto de las comparaciones realizadas.

Un resumen de estos resultados puede observarse con mayor claridad en los gráficos de las medias.

Las medias de la utilización de los montacargas en la recepción difirieron significativamente. Si se decide emplear un sólo montacargas en la recepción y un camión para la transferencia (Alternativa 2 Solución 1), el porcentaje promedio de esta variable se incrementa considerablemente (55.18%), lo cual es lógico si se tiene en cuenta que, además de la recepción, este montacargas también se encarga de cargar el camión en la zona de *Picking*. Esta variable disminuyó considerablemente si se decide emplear dos montacargas para esta actividad (Alternativa 2 Solución 13), e incluso por debajo de la situación actual de la Bodega 4 (Alternativa 1 Solución 1) (-18.61%).

Como se dijo anteriormente, las medias de la utilización de los montacargas que se emplean en la descarga del camión en los PSA's no difirieron entre sí (Alternativa 2 y sus Soluciones 1 y 13), es decir, que esta variable no dependió de si se decide poner uno o dos montacargas en la recepción y disminuyen en un 26%, aproximadamente. La variable es mayor para la Alternativa 1 Solución 1, lo cual es obvio dado que en esta alternativa este montacargas realiza la transferencia completa hacia los PSA's.

Las medias de los tiempos de despacho fueron diferentes entre las tres alternativas analizadas. Esta variable aumenta de decidirse utilizar un camión para la transferencia y un montacargas en la recepción (Alternativa 2 Solución 1) (9.19%), debido a que el montacargas recepta la mercancía y carga el camión en la zona de *Picking*, lo cual hace que los pedidos demoren más en completarse producto de la espera por el recurso montacargas. Claro está que la variable

disminuye cuando se añaden dos montacargas a esta actividad (Alternativa 2 Solución 13) (-33.57%).

Comparación de resultados para las funciones objetivos

Esta comparación fue realizada para las variables reserva de productividad (pallets/h) y costo total (\$), contrastando mediante pruebas de hipótesis y de dos en dos las tres alternativas analizadas. Todos los resultados de esta comparación se muestran en el anexo 12.

Se asumió normalidad dado que se desarrollaron 30 réplicas por cada experimento, y para probar igualdad de varianza se empleó la prueba F de Fisher, la cual arrojó igualdad de varianzas para todas las comparaciones de pares, con excepción de la comparación para la variable costo total entre la Alternativa 1 Solución 1 y la Alternativa 2 Solución 13.

Para el desarrollo de la prueba t se asumió admitir hasta una diferencia máxima entre las medias de 1σ , un nivel de confianza del 95% y asumir hasta un riesgo tipo II de 0.05 (riesgo β), con lo cual se obtuvo que con las 30 réplicas realizadas era suficiente para garantizar estos riesgos y los errores prefijados. De los resultados se obtuvo que hubo evidencias suficientes como para pensar que, si existen diferencias significativas entre las poblaciones correspondientes a las tres alternativas analizadas, y en cuanto a la reserva de productividad y el costo total.

En cuanto a la reserva de productividad y en orden creciente apareció como mejor solución la Alternativa 2 Solución 1, la Alternativa 1 Solución 1 y como la peor la Alternativa 2 Solución 13. De emplearse un montacargas para la recepción y un camión para la transferencia, se logran alcanzar los niveles más bajos en cuanto a la reserva de productividad, con una disminución en 1.38 pallet/h (-35.11%).

En cuanto a costo total y en orden creciente la mejor alternativa fue la Alternativa 1 Solución 1, la Alternativa 2 Solución 1 y como la peor la Alternativa 2 Solución 13. De emplearse la menor cantidad de recursos para la manipulación se logran los costos totales más bajos. Es de señalar que la Alternativa 2 Solución 1 incrementa los costos totales en 7942,64 dólares respecto a la situación actual, es decir, en un 38.68%.

3.7.3 PROPUESTAS DE MEDIDAS

La propuesta de medidas debe partir del interés de la empresa de minimizar los riesgos por concepto de riesgo de accidentabilidad de los recursos en las calles de la ciudad. A raíz de lo cual quedó descartada la Alternativa 1 Solución 1 con un promedio de 23.32 viajes al día, en detrimento del resto de las alternativas que con el empleo del camión realizan un promedio de 4.28 viajes/día. A la par, sólo se sugiere un abanico de posibles decisiones a tomar, que quedarán a disposición de la Gerencia General y de *Supply Chain*.

De decidirse por la Alternativa 2 Solución 1, se logra un mejor empleo de los recursos en la actividad de recepción de materiales, lo cual conlleva al nivel más bajo en la reserva de productividad, para una utilización de los recursos de forma general de un 78%³. En este caso la Gerencia General debe estar dispuesta a incrementar sus costos totales en 7942.64 USD. Se sugiere que esta alternativa sea revisada ya que se debe recordar que fue una solución no factible dentro del modelo de experimentación.

De decidirse por la Alternativa 2 Solución 13, se logra el peor empleo de los recursos en la actividad de recepción de materiales, lo cual conlleva al nivel más alto en la reserva de productividad, para una utilización de los recursos de forma general de un 67%. En este caso la Gerencia General debe estar dispuesta a incrementar sus costos totales en 13364,42 USD.

Llegado a este punto se sugiere comenzar por la Alternativa 2 Solución 1, es decir, emplear un montacargas en la recepción de materiales y, de ser necesario, incrementar un segundo montacargas, en cuyo caso se caería en la Alternativa 2 Solución 13.

³ Este valor ya tiene incorporado el 47% que se adiciona como resultado de la clasificación ABC.

CONCLUSIONES

- La Revisión Bibliográfica desarrollada brindó las bases teóricas y prácticas para enfrentar la situación problemática de la presente investigación, ya sea desde la perspectiva del diagnóstico de las actividades de almacenamiento y manipulación de materiales, como para el desarrollo de modelos dentro de la simulación de eventos discretos.
- El diagnóstico desarrollado, de conjunto con las herramientas aplicadas, permitieron identificar a la Bodega 4 como excelente punto de partida para la mejora en cuanto a las actividades de almacenamiento y manipulación de materiales. La clasificación ABC desarrollada contribuyó con identificar los productos de mayor rotación que deben estar almacenados en dicha bodega.
- La prueba T para una muestra aplicada a las variables de desempeño relacionadas con la existencia media de los ítems y el nivel de utilización de los recursos, permitió validar los modelos desarrollados *versus* la situación actual en la Bodega 4.
- Las pruebas estadísticas desarrolladas en la comparación de resultados, hablese del ANOVA de un factor, análisis POST-HOC y los contrastes de medias, permitieron identificar a la Alternativa 2 Solución 1 como una de las más probables a asumir. Esta alternativa garantiza la mejor utilización de los recursos a un 78% y la más baja reserva de productividad, a un 2.55 pallet/h, con tan solo un incremento en los costos totales 7942.64 USD.

RECOMENDACIONES

Llegado a este punto se recomienda que:

- Extender el estudio al resto de las bodegas de la fábrica, de forma tal que, permita detectar el óptimo global de todo el sistema de manipulación de materiales y en cuánto a la cantidad de recursos a asignar para cada una de las actividades.
- Es importante tomar en cuenta que para futuro es necesaria la utilización de otra tecnología de manipulación que se adapten de mejor manera a la forma física de las bodegas, para así aprovechar al máximo el volumen útil al aumentar la densidad de almacenamiento.
- Presentar los resultados obtenidos al departamento de *Supply Chain* para su debate, valoración y posterior implementación, en caso de considerarse adecuadas las propuestas.
- De decidirse a implementar alguna de las soluciones relacionadas con la Alternativa 2, es decir, con el empleo del camión para la transferencia de materiales, es de sugerir comenzar con la implementación de la Solución 1, y de comprobarse su no factibilidad, pasar a la Solución 13.

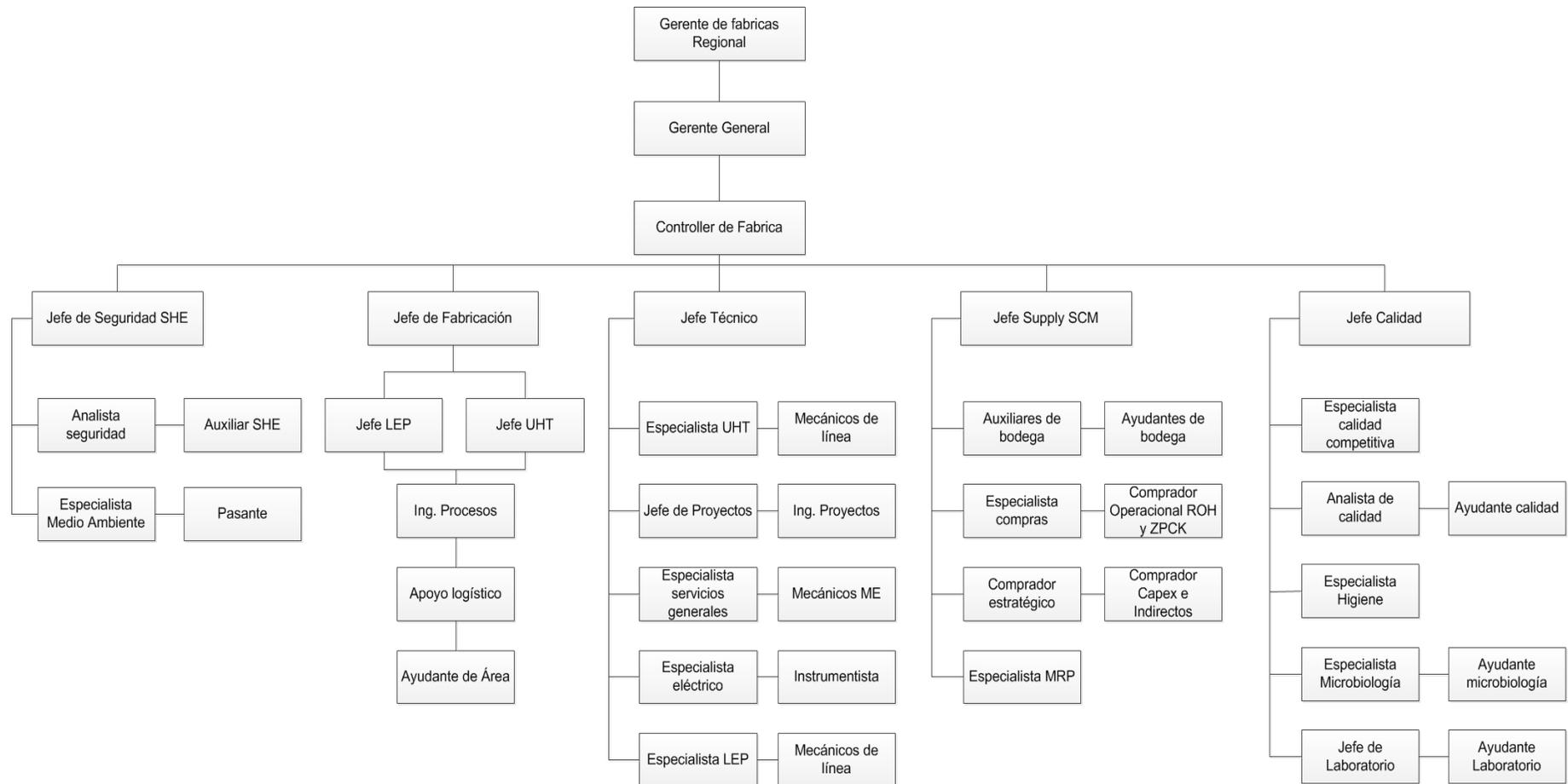
BIBLIOGRAFÍA

- Anaya, J.(2007). *Innovación y mejora de procesos logísticos: Análisis, diagnóstico e implantación de sistemas logísticos*.
Madrid: ESIC Editorial
- Astals, F. (2009). *Almacenaje, manipulación y transporte interno en la industria*.
Barcelona: Edicions UPC
- Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*
México: Pearson Educación, S.A.
- Dunna, E. Garcia, H. Cardenas, L. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*
- Frábregas, A. Wadnipar, R. Paternina, C. Mancilla, A. (2003). *Simulación de sistemas productivos con ARENA*
Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Flexsim User manual (2014)
- Guash, A. Piera, M. y Figueras, J. (2003). *Modelado y simulación: aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*.
Barcelona: Edicions UPC
- Harrell,Ch. Ghosh, B. Bowden, R.(2011). *Simulation usin ProModel*
Boston:McGraw-Hill Education
- Iglesias, A. (2016) *Distribución y logística*.
España: ESIC Editorial
- Lorena, F. (2014). *Análisis y propuesta de mejora de sistema de gestión de almacenes de un operador logístico*
Pontificia Universidad Católica del Perú: Perú
- Matko y Zupancin (1992). *Simulation and Modelling of Continuous Systems: A Case Study Approach*
University of Minnesota: Prentice Hall, 1992
- Mauleón, M. (2013). *Sistema de almacenaje y picking*
Madrid: Díaz de Santos.
- Minegishi S, Thiel D (2000) System dynamics modeling and simulation of particular food supply chain *Issue, Volume 8, Pages 321–339*

- Morales, G. (2013) *Gestión del montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas*.
Madrid: Paraninfo, S.A.
- Ogata, K. (1996). *Sistemas de control en tiempo discreto*
México: Pearson Educación, S.A.
- Pazos, J. Suárez, A. Díaz, R. (2003). *Teoría de colas y simulación de eventos discretos*
España: Pearson Educación, S.A.
- Pooch, U. Wall, J. (1992). *Discrete Event Simulation: A Practical Approach*
United State: CRC Press, Inc.
México: Pearson Educación, S.A.
- Silva, A. (2006). *Logística de almacenamiento*.
Tecana American University, Venezuela
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*
México: Pearson Educación, S.A.
- Torres, M. Daduna, J. Mederos, B. (2004) *Logística Temas seleccionados Tomo 3*
Ciudad de La Habana: Feijóo
- Urquía, M. Martín, A. (2013) *Modelado y simulación de eventos discretos*
Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia

ANEXOS

Anexo – Organigrama



Anexo 1 Proyección de la demanda

| Cód.. | Description | UM | Annual Demand | Average Weekly Demand | Weekly Std Deviation Consum | Variation Coefficient | Cu / Uni | Total Cost | % | % Cumm | ABCD |
|----------|---------------------------|----|---------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|--------------|-------|--------|------|
| 43229534 | Maltodextrina | KG | 948.325 | 18.237 | 6.271 | 34,39% | \$ 1,24 | \$ 1.175.923 | 14,6% | 15% | A |
| 40000905 | Azúcar Blanca | KG | 1.235.681 | 23.763 | 9.511 | 40,03% | \$ 0,80 | \$ 988.544 | 12,3% | 27% | A |
| 40000798 | Durazno Jugo Concentrado | KG | 351.578 | 7.175 | 6.509 | 90,72% | \$ 2,20 | \$ 773.472 | 9,6% | 36% | A |
| 40000775 | Naranja Jugo Concentrado | KG | 212.465 | 4.521 | 2.881 | 63,73% | \$ 3,15 | \$ 669.264 | 8,3% | 45% | A |
| 41162113 | Aceite De Maíz | KG | 201.198 | 3.869 | 2.599 | 67,18% | \$ 2,32 | \$ 466.176 | 5,8% | 51% | A |
| 40000763 | Oligofructuosa | KG | 60.442 | 1.185 | 712 | 60,11% | \$ 6,70 | \$ 404.959 | 5,0% | 56% | A |
| 40000572 | Lactosa Refinada | KG | 67.686 | 1.302 | 1.228 | 94,33% | \$ 4,36 | \$ 295.111 | 3,7% | 59% | A |
| 40000556 | Miel | KG | 84.010 | 1.647 | 1.099 | 66,73% | \$ 4,16 | \$ 349.483 | 4,3% | 64% | A |
| 40000734 | Aceite Colza | KG | 134.472 | 2.586 | 1.748 | 67,59% | \$ 2,23 | \$ 300.410 | 3,7% | 67% | A |
| 40000788 | Maracuyá Jugo Concentrado | KG | 17.570 | 439 | 413 | 94,11% | \$ 12,20 | \$ 214.359 | 2,7% | 70% | A |
| 40000249 | Emulsificante | KG | 9.454 | 185 | 67 | 36,38% | \$ 22,30 | \$ 210.813 | 2,6% | 73% | A |
| 40000710 | Avena Molida | KG | 98.531 | 2.239 | 2.020 | 90,21% | \$ 1,40 | \$ 138.337 | 1,7% | 74% | A |
| 40000029 | Manzana Jugo Concentrado | KG | 104.353 | 2.269 | 2.094 | 92,29% | \$ 1,38 | \$ 144.216 | 1,8% | 76% | A |
| 43697150 | Jugo Concentrado Arándano | KG | 6.389 | 228 | 343 | 150,35% | \$ 19,44 | \$ 124.178 | 1,5% | 78% | A |
| 40000067 | Calcio Carbonato | KG | 83.329 | 1.602 | 471 | 29,40% | \$ 1,37 | \$ 113.911 | 1,4% | 79% | A |
| 40000562 | Inulina Raftilina | KG | 26.418 | 518 | 313 | 60,49% | \$ 3,90 | \$ 103.030 | 1,3% | 80% | B |
| 40000603 | Maltodextrina Polvo | KG | 13.960 | 332 | 167 | 50,12% | \$ 6,22 | \$ 86.829 | 1,1% | 81% | B |
| 40000996 | Vitamina Premezcla | G | 5.380.182 | 103.465 | 76.058 | 73,51% | \$ 0,01 | \$ 79.627 | 1,0% | 82% | B |
| 40000878 | Sodio Polifosfato | G | 17.980.496 | 345.779 | 118.649 | 34,31% | \$ 0,00 | \$ 80.912 | 1,0% | 83% | B |
| 40000810 | Pectina | KG | 3.262 | 74 | 86 | 115,61% | \$ 22,50 | \$ 73.385 | 0,9% | 84% | B |
| 43422848 | Sabor Modulador Dulzor | KG | 3.094 | 61 | 54 | 89,07% | \$ 40,36 | \$ 124.869 | 1,6% | 86% | B |
| 40000809 | Pera Jugo Concentrado | KG | 38.992 | 1.258 | 1.501 | 119,36% | \$ 1,55 | \$ 60.438 | 0,8% | 87% | B |
| 40000125 | CMC Mezcla Avicel | KG | 4.322 | 92 | 68 | 73,64% | \$ 15,14 | \$ 65.442 | 0,8% | 87% | B |
| 40000929 | Edulcorante Sucralosa | G | 627.061 | 12.059 | 6.971 | 57,81% | \$ 0,13 | \$ 82.521 | 1,0% | 89% | B |
| 40000028 | Manzana Jugo Clarificado | KG | 18.484 | 513 | 508 | 99,02% | \$ 2,90 | \$ 53.604 | 0,7% | 89% | B |
| 40000577 | Lecitina Soya | KG | 22.828 | 439 | 137 | 31,12% | \$ 2,38 | \$ 54.331 | 0,7% | 90% | B |
| 43459813 | Uva Violeta Jugo | KG | 20.175 | 576 | 548 | 95,13% | \$ 4,44 | \$ 89.576 | 1,1% | 91% | C |
| 40000665 | Minerales Premezcla | KG | 4.811 | 93 | 62 | 67,09% | \$ 8,09 | \$ 38.939 | 0,5% | 91% | C |
| 43166746 | Estabilizador Avicel Plus | KG | 3.437 | 86 | 153 | 178,50% | \$ 18,19 | \$ 62.508 | 0,8% | 92% | C |
| 40000245 | Emulsificante | KG | 1.653 | 50 | 58 | 115,81% | \$ 14,20 | \$ 23.468 | 0,3% | 93% | C |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------------|-----|-----------|--------|--------|---------|-----------|----|--------|------|-----|---|
| 43259729 | Enzima Lactasa | KG | 286 | 7 | 5 | 66,19% | \$ 87,00 | \$ | 24.923 | 0,3% | 93% | C |
| 40000286 | Férrico Pirofosfato | G | 2.133.808 | 41.035 | 21.159 | 51,56% | \$ 0,01 | \$ | 26.673 | 0,3% | 93% | C |
| 40000902 | Fresa Concentrada Pulpa | KG | 9.674 | 322 | 370 | 114,67% | \$ 2,30 | \$ | 22.249 | 0,3% | 93% | C |
| 40000963 | Vitamina A | G | 443.402 | 8.527 | 2.328 | 27,30% | \$ 0,05 | \$ | 22.436 | 0,3% | 94% | C |
| 40000297 | Sabor Manzana Liquido | KG | 8.441 | 222 | 185 | 83,09% | \$ 2,79 | \$ | 23.552 | 0,3% | 94% | C |
| 40000044 | Mora Concentrado Pulpa | KG | 8.901 | 278 | 287 | 103,08% | \$ 2,60 | \$ | 23.142 | 0,3% | 94% | C |
| 43461032 | Guanábana Pulpa | KG | 6.611 | 254 | 458 | 179,95% | \$ 2,75 | \$ | 18.180 | 0,2% | 95% | C |
| 40000092 | Carboximetilcelulosa | KG | 3.625 | 71 | 45 | 63,06% | \$ 7,01 | \$ | 25.413 | 0,3% | 95% | C |
| 36100590 | Goma Xanthan Polvo | KG | 924 | 18 | 15 | 85,24% | \$ 12,55 | \$ | 11.598 | 0,1% | 95% | C |
| 40001003 | Vitamina Premezcla NUTR | KG | 515 | 11 | 6 | 53,77% | \$ 27,67 | \$ | 14.255 | 0,2% | 95% | C |
| 43243923 | Sabor Durazno | G | 719.168 | 14.677 | 11.468 | 78,13% | \$ 0,03 | \$ | 19.418 | 0,2% | 95% | C |
| 40000445 | Sabor Fresa Liq | G | 127.022 | 4.234 | 4.681 | 110,56% | \$ 0,14 | \$ | 17.910 | 0,2% | 96% | C |
| 40000972 | Vitamina C | G | 3.258.229 | 62.658 | 20.050 | 32,00% | \$ 0,01 | \$ | 17.920 | 0,2% | 96% | C |
| 40000007 | Acido Cítrico Anhidro Polvo | KG | 11.507 | 221 | 120 | 54,31% | \$ 1,38 | \$ | 15.879 | 0,2% | 96% | C |
| 40000077 | Calcio Fosfato | KG | 1.073 | 36 | 41 | 114,31% | \$ 13,55 | \$ | 14.542 | 0,2% | 96% | C |
| 40000982 | Vitamina D3 | G | 290.684 | 5.590 | 1.419 | 25,38% | \$ 0,05 | \$ | 14.069 | 0,2% | 96% | C |
| 43604375 | Sabor Líquido Cocoa | G | 385 | 15 | 23 | 156,31% | \$ 37,32 | \$ | 14.379 | 0,2% | 97% | C |
| 40000255 | Emulsificante Polvo | G | 1.273.103 | 36.374 | 34.229 | 94,10% | \$ 0,01 | \$ | 11.585 | 0,1% | 97% | C |
| 43051796 | Calcio Lactato | KG | 5.079 | 110 | 81 | 73,21% | \$ 3,50 | \$ | 17.776 | 0,2% | 97% | C |
| 41090125 | Zinc Sulfato | G | 1.974.692 | 37.975 | 12.764 | 33,61% | \$ 0,01 | \$ | 11.256 | 0,1% | 97% | C |
| 40000610 | Maltodextrina Plv 11-14 | KG | 26.027 | 744 | 753 | 101,32% | \$ 1,11 | \$ | 28.859 | 0,4% | 97% | C |
| 43458066 | Sabor Uva Liquido | G | 383.556 | 10.959 | 10.427 | 95,15% | \$ 0,05 | \$ | 20.137 | 0,3% | 98% | C |
| 43497878 | Vitamina Premezcla | CJ | 923 | 21 | 20 | 92,11% | \$ 15,20 | \$ | 14.023 | 0,2% | 98% | C |
| 43700804 | Sabor Manzana Liquido | KG | 80 | 3 | 5 | 152,18% | \$ 130,70 | \$ | 10.446 | 0,1% | 98% | C |
| 40000310 | Sabor Mora Liquido | G | 156.498 | 4.891 | 5.039 | 103,03% | \$ 0,06 | \$ | 9.233 | 0,1% | 98% | C |
| 43039121 | Dicitrato de Trimagnesio | KG | 1.203 | 28 | 26 | 91,29% | \$ 9,44 | \$ | 11.359 | 0,1% | 98% | C |
| 43173328 | Vitamina A Palmitato | KG | 82 | 2 | 1 | 63,48% | \$ 79,06 | \$ | 6.473 | 0,1% | 98% | C |
| 43423545 | Sabor Manzana Liquido Mane | G | 334.680 | 10.142 | 11.809 | 116,44% | \$ 0,03 | \$ | 10.308 | 0,1% | 98% | C |
| 43702638 | Sabor Dulce Polvo Mane | KG | 55 | 2 | 3 | 150,33% | \$ 129,92 | \$ | 7.206 | 0,1% | 99% | C |
| 40000444 | Sabor Fresa Liq | G | 29.295 | 977 | 1.121 | 114,80% | \$ 0,19 | \$ | 5.566 | 0,1% | 99% | C |
| 40000017 | Acido Málico Polvo | KG | 1.497 | 31 | 26 | 84,67% | \$ 5,63 | \$ | 8.431 | 0,1% | 99% | C |
| 43693902 | Endulzante EsteviolGlucosido | KG | 34 | 1 | 2 | 139,84% | \$ 230,00 | \$ | 7.929 | 0,1% | 99% | C |
| 41090136 | Carragenato Genulacta | KG | 135 | 3 | 2 | 73,24% | \$ 40,00 | \$ | 5.412 | 0,1% | 99% | C |
| 43458067 | Sabor Guanábana Liq | G | 102.513 | 3.943 | 7.098 | 180,03% | \$ 0,03 | \$ | 3.434 | 0,0% | 99% | C |
| 40000819 | Polioxyetileno(20) Sorbato | KG | 541 | 11 | 4 | 36,30% | \$ 7,93 | \$ | 4.288 | 0,1% | 99% | C |
| 40000467 | Sabor Vainilla Liquido | G | 108.297 | 3.868 | 5.652 | 146,12% | \$ 0,04 | \$ | 3.899 | 0,0% | 99% | C |
| 43426467 | Sabor Pera Liquido MANE | G | 134.578 | 4.806 | 6.130 | 127,53% | \$ 0,04 | \$ | 4.831 | 0,1% | 99% | C |
| 40000296 | Sabor Manzana Liquido | G | 39.546 | 1.318 | 1.644 | 124,71% | \$ 0,06 | \$ | 2.412 | 0,0% | 99% | C |
| 41013240 | ColoranteAnnatto | G | 105.873 | 3.114 | 7.881 | 253,08% | \$ 0,02 | \$ | 2.055 | 0,0% | 99% | C |
| 40000271 | Etil Vainilla Polvo | G | 61.498 | 1.809 | 1.844 | 101,95% | \$ 0,03 | \$ | 1.845 | 0,0% | 99% | C |
| 40000418 | Sabor Naranja Liq | G | 5.066 | 154 | 154 | 100,42% | \$ 0,38 | \$ | 1.947 | 0,0% | 99% | C |
| 40000230 | Cultivo Yogur L Bulgr | UNI | 9.381 | 254 | 267 | 105,48% | \$ 0,18 | \$ | 1.642 | 0,0% | 99% | C |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------------------|----|---------|-------|-------|---------|----------|----|--------|------|------|---|
| 43639031 | Flavor Sweet Dohler | G | 142.051 | 4.898 | 8.737 | 178,36% | \$ 0,02 | \$ | 3.067 | 0,0% | 99% | C |
| 43243935 | Sabor Mandarina Mane | G | 79.484 | 2.038 | 2.077 | 101,93% | \$ 0,02 | \$ | 1.828 | 0,0% | 99% | C |
| 40000346 | Sabor Canela Liquido | G | 33.091 | 752 | 710 | 94,46% | \$ 0,05 | \$ | 1.489 | 0,0% | 99% | C |
| 43136451 | Colorante Carmín Liq | KG | 642 | 21 | 45 | 208,88% | \$ 16,94 | \$ | 10.867 | 0,1% | 99% | C |
| 43078062 | Sabor Durazno Liquido Mane | G | 66.976 | 2.093 | 2.281 | 108,96% | \$ 0,01 | \$ | 804 | 0,0% | 99% | C |
| 40000070 | Calcio Cloruro | G | 203.300 | 3.986 | 1.452 | 36,42% | \$ 0,00 | \$ | 142 | 0,0% | 99% | C |
| 40000858 | Sal NaCl Granulado | KG | 976 | 19 | 9 | 45,37% | \$ 0,14 | \$ | 134 | 0,0% | 99% | C |
| 43703376 | Emulsificante Recodan Plv Danisco | KG | 1.068 | 37 | 42 | 113,26% | \$ 33,80 | \$ | 36.113 | 0,4% | 100% | C |
| 43697140 | Sabor Maracuyá Liquido | KG | 259 | 10 | 11 | 118,35% | \$ 37,25 | \$ | 9.648 | 0,1% | 100% | C |

Anexo 1.1 Proyección de la demanda

| Cod. | Description | UM | Annual Demand | Average Weekly Demand | Weekly Std Deviation Consum | Variation Coefficient | Cu / Uni | Total Cost | % | % Cumm | ABCD |
|----------|--------------------------------------|-----|---------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|-------------|-------|--------|------|
| 43498998 | Laminado Mltc LLRA | UNI | 13.855.546 | 266.453 | 104.833 | 39,34% | \$0,14 | \$1.984.807 | 17,2% | 17% | A |
| 43498997 | Laminado Mltc FlexicapMid | UNI | 9.220.987 | 177.327 | 69.030 | 38,93% | \$0,14 | \$1.320.906 | 11,5% | 29% | A |
| 43499005 | Laminado Mltc LLRA Deslact | UNI | 3.072.780 | 59.092 | 52.179 | 88,30% | \$0,14 | \$440.176 | 3,8% | 33% | A |
| 43248619 | Laminado Mltc NATURA | UNI | 6.022.049 | 115.809 | 176.368 | 152,29% | \$0,06 | \$368.068 | 3,2% | 36% | A |
| 43522521 | Caja Corr LLRA | UNI | 1.089.542 | 20.953 | 9.399 | 44,86% | \$0,22 | \$242.314 | 2,1% | 38% | A |
| 40006222 | Laminado Mltc Avena Fort | UNI | 3.688.270 | 70.928 | 107.547 | 151,63% | \$0,06 | \$225.427 | 2,0% | 40% | A |
| 43554618 | Laminado MltcSlimSVTY | UNI | 1.625.325 | 31.256 | 41.486 | 132,73% | \$0,15 | \$237.362 | 2,1% | 42% | A |
| 40006561 | Cinta BOPP/Autoadhesiva | G | 9.555.614 | 183.762 | 58.501 | 31,84% | \$0,02 | \$229.335 | 2,0% | 44% | A |
| 43554619 | Laminado MltcSlim SVTY | UNI | 1.386.173 | 26.657 | 20.701 | 77,65% | \$0,15 | \$202.437 | 1,8% | 46% | A |
| 43177426 | Caja Corrugado LA VAQUITA | UNI | 351.450 | 6.759 | 2.597 | 38,42% | \$0,59 | \$206.652 | 1,8% | 47% | A |
| 43249660 | Laminado Mltc NATURA Naranja | UNI | 3.771.003 | 72.519 | 123.272 | 169,99% | \$0,06 | \$230.484 | 2,0% | 49% | A |
| 43631654 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas | G | 31.146.865 | 598.978 | 474.241 | 79,18% | \$0,01 | \$218.028 | 1,9% | 51% | A |
| 43551701 | Laminado Mltc Slim NESTLE Avena Fort | UNI | 1.235.203 | 23.754 | 30.892 | 130,05% | \$0,14 | \$171.310 | 1,5% | 53% | A |
| 43551379 | Laminado Mltc Slim NATURA Naranja | UNI | 1.409.373 | 27.103 | 33.205 | 122,51% | \$0,14 | \$195.466 | 1,7% | 54% | A |
| 40005001 | Pitillo Polipropileno | UNI | 40.423.827 | 777.381 | 475.704 | 61,19% | \$0,00 | \$173.822 | 1,5% | 56% | A |
| 43522510 | Caja Corrugado LLRA UHT | UNI | 728.789 | 14.015 | 5.591 | 39,89% | \$0,22 | \$162.112 | 1,4% | 57% | A |
| 43551702 | Laminado Mltc Slim SVTY LecExt | UNI | 1.136.690 | 21.859 | 19.369 | 88,61% | \$0,14 | \$153.453 | 1,3% | 59% | A |
| 43531812 | Compuesto LDPE/TiO2/Carbon | G | 34.694.621 | 667.204 | 213.436 | 31,99% | \$0,00 | \$135.309 | 1,2% | 60% | A |
| 43551378 | Laminado Mltc Slim NATURA Durazno 1L | UNI | 881.724 | 16.956 | 29.327 | 172,96% | \$0,14 | \$122.286 | 1,1% | 61% | A |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------------------------|-----|------------|---------|---------|---------|--------|-----------|------|-----|---|
| 40006223 | Laminado Mltc LA LECHERA | UNI | 1.680.002 | 32.308 | 45.353 | 140,38% | \$0,06 | \$108.545 | 0,9% | 62% | A |
| 43631642 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas | G | 26.273.262 | 505.255 | 471.048 | 93,23% | \$0,01 | \$170.776 | 1,5% | 63% | A |
| 43564735 | Caja Corrugada Slim Generica | UNI | 539.593 | 10.377 | 5.087 | 49,03% | \$0,24 | \$129.502 | 1,1% | 65% | A |
| 40006856 | Laminado Mltc NESTLE Avena Leche | UNI | 1.873.333 | 36.026 | 60.106 | 166,84% | \$0,06 | \$114.498 | 1,0% | 66% | A |
| 40006236 | Laminado Mltc NESQUIK Chocolate | UNI | 2.174.073 | 41.809 | 60.111 | 143,78% | \$0,06 | \$125.509 | 1,1% | 67% | A |
| 43194582 | Tapa PP Blanca | UNI | 9.638.306 | 185.352 | 89.508 | 48,29% | \$0,01 | \$115.660 | 1,0% | 68% | A |
| 40005327 | Caja Corrugado Natura | UNI | 689.403 | 13.258 | 12.726 | 95,99% | \$0,19 | \$131.676 | 1,1% | 69% | A |
| 40006225 | Laminado Mltc LLRA CremaDL | UNI | 2.049.836 | 39.420 | 32.872 | 83,39% | \$0,06 | \$118.337 | 1,0% | 70% | A |
| 43499019 | Laminado Mltc LA LECHERA 3 Leches | UNI | 757.263 | 14.563 | 18.857 | 129,49% | \$0,12 | \$91.250 | 0,8% | 71% | A |
| 43249636 | Laminado Mltc NATURA Manzana | UNI | 1.927.588 | 37.069 | 63.654 | 171,72% | \$0,06 | \$117.814 | 1,0% | 72% | A |
| 40005146 | Lata Acero Cuerpo | UNI | 62.394 | 1.200 | 1.955 | 162,96% | \$1,20 | \$74.935 | 0,7% | 72% | A |
| 43551703 | Laminado Mltc Slim LLRA Full Crema 1L | UNI | 887.005 | 17.058 | 7.217 | 42,31% | \$0,13 | \$115.790 | 1,0% | 73% | A |
| 40006241 | Laminado Mltc YOGU YOGU | UNI | 1.295.432 | 24.912 | 41.229 | 165,50% | \$0,06 | \$79.177 | 0,7% | 74% | A |
| 43555131 | Caja Corrugada Slim SVTY | UNI | 339.693 | 6.533 | 4.274 | 65,43% | \$0,24 | \$82.179 | 0,7% | 75% | A |
| 43630570 | LaminadoMltc LA VAQUITANutri+ | G | 16.468.776 | 316.707 | 322.064 | 101,69% | \$0,01 | \$113.635 | 1,0% | 76% | A |
| 43442265 | Laminado Mltc HUESITOS Dur | UNI | 1.644.333 | 31.622 | 50.504 | 159,71% | \$0,05 | \$77.218 | 0,7% | 76% | A |
| 43572125 | Laminado Mltc LAVAQUITALEPIInstan | G | 10.788.746 | 207.476 | 283.975 | 136,87% | \$0,01 | \$75.305 | 0,7% | 77% | A |
| 43630562 | LaminadoMltcLAVAQUITANutrimas | G | 11.926.834 | 229.362 | 233.699 | 101,89% | \$0,01 | \$82.295 | 0,7% | 78% | A |
| 40006240 | Laminado Mltc YOGU YOGU Durazno | UNI | 984.471 | 18.932 | 29.077 | 153,58% | \$0,06 | \$60.171 | 0,5% | 78% | A |
| 40005485 | Bandeja Corrugado Natura | UNI | 319.152 | 6.138 | 6.380 | 103,96% | \$0,24 | \$77.873 | 0,7% | 79% | A |
| 40006863 | Peroxido Hidrogeno Aceptico | KG | 33.231 | 639 | 230 | 36,04% | \$1,92 | \$63.803 | 0,6% | 79% | A |
| 40006237 | Laminado Mltc NESQUIK | UNI | 1.293.443 | 24.874 | 41.927 | 168,56% | \$0,06 | \$74.670 | 0,6% | 80% | B |
| 43571855 | Laminado Mltc Stand Pack NIDO | G | 9.371.469 | 180.221 | 259.724 | 144,11% | \$0,01 | \$63.726 | 0,6% | 81% | B |
| 43571858 | Laminado Multicapa NIDO 1+ | G | 9.342.157 | 179.657 | 264.208 | 147,06% | \$0,01 | \$56.053 | 0,5% | 81% | B |
| 43522513 | Caja Corr LLRA Deslac Y Achoc | UNI | 274.899 | 5.287 | 4.659 | 88,13% | \$0,21 | \$58.985 | 0,5% | 82% | B |
| 43442266 | Laminado Mltc HUESITOS Uva | UNI | 1.359.158 | 26.138 | 47.166 | 180,45% | \$0,05 | \$63.826 | 0,6% | 82% | B |
| 40005149 | Lata Acero Cuerpo | UNI | 58.798 | 1.131 | 1.785 | 157,87% | \$1,52 | \$89.115 | 0,8% | 83% | B |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-----|-----------|---------|---------|---------|--------|----------|------|-----|---|
| 43638061 | NESTLE TapaHjl/AbFa | UNI | 253.371 | 4.873 | 7.601 | 156,00% | \$0,19 | \$48.445 | 0,4% | 83% | B |
| 40006242 | Laminado Mltc Yogu Yogu Manzana | UNI | 781.302 | 15.025 | 24.315 | 161,83% | \$0,06 | \$47.753 | 0,4% | 84% | B |
| 43551700 | Laminado Mltc Slim NESTLE Avena Leche1L | UNI | 383.901 | 7.383 | 16.069 | 217,66% | \$0,14 | \$53.243 | 0,5% | 84% | B |
| 43442264 | Laminado Mltc HUESITOS Mz | UNI | 1.180.077 | 22.694 | 42.898 | 189,03% | \$0,05 | \$55.416 | 0,5% | 85% | B |
| 40005580 | Caja Corrugado NIDO | UNI | 106.714 | 2.052 | 924 | 45,03% | \$0,55 | \$58.693 | 0,5% | 85% | B |
| 40006243 | Laminado Mltc YOGU YOGU Mora | UNI | 925.091 | 17.790 | 32.048 | 180,14% | \$0,06 | \$56.542 | 0,5% | 86% | B |
| 43551665 | Laminado Mltc Slim NATURA Naranja | UNI | 403.821 | 7.766 | 11.195 | 144,15% | \$0,14 | \$56.006 | 0,5% | 86% | B |
| 43571856 | LaminadoMltc Stand Pack NIDO | G | 6.687.027 | 128.597 | 194.340 | 151,12% | \$0,01 | \$45.472 | 0,4% | 87% | B |
| 40006542 | Film Polietileno Baja Densidad | KG | 14.925 | 287 | 80 | 27,79% | \$3,00 | \$44.779 | 0,4% | 87% | B |
| 43529628 | Laminado Mltc RICACAO Leche Choc | UNI | 728.795 | 14.015 | 33.735 | 240,70% | \$0,06 | \$45.185 | 0,4% | 87% | B |
| 40005557 | Caja Corrugado NIDO | UNI | 84.146 | 1.618 | 1.637 | 101,16% | \$0,44 | \$36.943 | 0,3% | 88% | B |
| 40006239 | Laminado Mltc NESQUIK Vainilla | UNI | 880.302 | 16.929 | 33.217 | 196,22% | \$0,06 | \$50.820 | 0,4% | 88% | B |
| 43499011 | Laminado Mltc LLRALecChoc | UNI | 276.536 | 5.318 | 11.841 | 222,65% | \$0,13 | \$35.413 | 0,3% | 88% | B |
| 40005324 | Caja Corr NESTLE Avena Drk | UNI | 65.173 | 1.253 | 3.238 | 258,38% | \$0,19 | \$12.448 | 0,1% | 89% | B |
| 43571859 | Laminado Mltc StandPack NIDO 1+ | G | 6.199.793 | 119.227 | 174.488 | 146,35% | \$0,01 | \$41.539 | 0,4% | 89% | B |
| 43551668 | Laminado Mltc Slim NATURA | UNI | 221.889 | 4.267 | 7.550 | 176,94% | \$0,15 | \$32.174 | 0,3% | 89% | B |
| 40005150 | Lata Acero Cuerpo | UNI | 28.713 | 552 | 948 | 171,59% | \$1,73 | \$49.674 | 0,4% | 90% | B |
| 43163316 | Caja Corr HUESITOS Jugo | UNI | 133.587 | 2.569 | 2.713 | 105,61% | \$0,25 | \$33.397 | 0,3% | 90% | B |
| 40005132 | Bolsa Papel Kraft | UNI | 39.292 | 756 | 930 | 123,03% | \$1,00 | \$39.371 | 0,3% | 90% | C |
| 43442267 | Laminado Mltc HUESITOS Pera | UNI | 694.036 | 13.347 | 34.264 | 256,72% | \$0,05 | \$32.592 | 0,3% | 91% | C |
| 43571857 | LaminadoMltc Stand Pack NIDO | G | 4.959.120 | 95.368 | 124.711 | 130,77% | \$0,01 | \$34.218 | 0,3% | 91% | C |
| 43249673 | Laminado Mltc NATURA Pera | UNI | 335.108 | 6.444 | 19.954 | 309,64% | \$0,06 | \$20.482 | 0,2% | 91% | C |
| 40005017 | Adhesivo Jowat | KG | 5.293 | 102 | 28 | 27,13% | \$5,90 | \$31.228 | 0,3% | 91% | C |
| 40005329 | Caja Corrugado Yogu Yogu | UNI | 130.964 | 2.519 | 3.201 | 127,09% | \$0,19 | \$25.014 | 0,2% | 92% | C |
| 43638038 | NESTLE TapaHjl/PeelOff 99mm | UNI | 797.064 | 15.328 | 24.017 | 156,69% | \$0,04 | \$28.375 | 0,2% | 92% | C |
| 43638037 | NESTLE Fondo Hojalata 99mm | UNI | 796.195 | 15.311 | 24.007 | 156,79% | \$0,04 | \$27.867 | 0,2% | 92% | C |
| 40005996 | Stick Papel Bar Code | UNI | 2.956.317 | 56.852 | 24.751 | 43,54% | \$0,01 | \$26.607 | 0,2% | 92% | C |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|--|-----|---------|--------|--------|---------|---------|----------|------|-----|---|
| 40005328 | Caja Corrugado NESQUIK | UNI | 142.948 | 2.749 | 3.185 | 115,85% | \$0,19 | \$27.303 | 0,2% | 92% | C |
| 43697122 | Laminado Mltc NATURA Arandano Slim 1L | UNI | 202.581 | 3.896 | 8.168 | 209,67% | \$0,14 | \$29.050 | 0,3% | 93% | C |
| 43551679 | Laminado Mltc Slim NATURA Manzana 1L | UNI | 175.897 | 3.383 | 7.468 | 220,78% | \$0,14 | \$24.395 | 0,2% | 93% | C |
| 43249637 | Laminado Mltc NATURA Nar | UNI | 478.752 | 9.207 | 23.632 | 256,68% | \$0,06 | \$29.261 | 0,3% | 93% | C |
| 40006648 | Alambre Cobre | KG | 1.182 | 23 | 28 | 124,61% | \$12,09 | \$14.293 | 0,1% | 93% | C |
| 41030758 | Laminado Al/PEBD TetraPak | M | 147.887 | 2.844 | 1.440 | 50,63% | \$0,14 | \$19.965 | 0,2% | 94% | C |
| 43602683 | Laminado Mltc LA LECHERA | UNI | 135.078 | 2.598 | 6.655 | 256,20% | \$0,14 | \$19.350 | 0,2% | 94% | C |
| 43551669 | Laminado Mltc Slim NATURA Mz | UNI | 121.866 | 2.344 | 5.580 | 238,10% | \$0,14 | \$16.902 | 0,1% | 94% | C |
| 43551667 | Laminado Mltc Slim NATURA Dur Light 1L | UNI | 141.024 | 2.712 | 6.424 | 236,86% | \$0,15 | \$20.448 | 0,2% | 94% | C |
| 40006858 | Cuchara Polietileno BajaDensidad NIDO 1+ | UNI | 831.915 | 15.998 | 14.457 | 90,37% | \$0,02 | \$19.134 | 0,2% | 94% | C |
| 43145377 | Tapa PEBD Roja NIDO PREBIO 1+ | UNI | 513.054 | 9.866 | 16.720 | 169,46% | \$0,04 | \$19.753 | 0,2% | 94% | C |
| 43522511 | Caja Corrugado LLRA Tres Lec | UNI | 74.677 | 1.436 | 1.679 | 116,95% | \$0,20 | \$14.831 | 0,1% | 94% | C |
| 43457860 | Laminado Mltc NATURA Nectar | UNI | 200.510 | 3.856 | 15.783 | 409,32% | \$0,06 | \$12.255 | 0,1% | 95% | C |
| 43250791 | Laminado MltcNATURA | UNI | 408.379 | 7.853 | 21.972 | 279,78% | \$0,06 | \$25.728 | 0,2% | 95% | C |
| 43638039 | NESTLE TapaHjl/AbFa | UNI | 248.840 | 4.785 | 8.476 | 177,13% | \$0,08 | \$18.962 | 0,2% | 95% | C |
| 40005016 | Adhesivo Jowat | KG | 2.514 | 48 | 26 | 54,20% | \$5,84 | \$14.680 | 0,1% | 95% | C |
| 43146593 | Tapa PEBD Roja NIDO 1+ | UNI | 132.394 | 2.546 | 4.366 | 171,47% | \$0,09 | \$11.520 | 0,1% | 95% | C |
| 40005325 | Caja Corrugado LA LECHERA UHT | UNI | 55.152 | 1.061 | 1.489 | 140,37% | \$0,21 | \$11.803 | 0,1% | 95% | C |
| 43638060 | NESTLE Fondo Hjl 126.7mm | UNI | 249.383 | 4.796 | 8.491 | 177,04% | \$0,07 | \$16.833 | 0,1% | 95% | C |
| 40005326 | Caja Corrugado LLRA Entera | UNI | 67.294 | 1.294 | 1.081 | 83,51% | \$0,19 | \$12.853 | 0,1% | 96% | C |
| 43639691 | Laminado Mltc Slim LLRA Crema 1L | UNI | 153.163 | 2.945 | 5.746 | 195,07% | \$0,13 | \$19.911 | 0,2% | 96% | C |
| 43173348 | Etiqueta Papel Trm Autoadh | UNI | 221.810 | 4.266 | 949 | 22,25% | \$0,05 | \$11.978 | 0,1% | 96% | C |
| 40006546 | Cinta PP Auto Adhesiva | M | 896.611 | 17.243 | 4.693 | 27,22% | \$0,01 | \$12.642 | 0,1% | 96% | C |
| 43700334 | Laminado Mltc NATURA Manzana Slim 1L N1 | UNI | 98.540 | 1.895 | 4.362 | 230,19% | \$0,14 | \$14.068 | 0,1% | 96% | C |
| 43145362 | Tapa PEBD Verde NIDO 3+ | UNI | 86.947 | 1.672 | 2.685 | 160,58% | \$0,10 | \$8.332 | 0,1% | 96% | C |
| 43250790 | Laminado MltcNATURA Mz | UNI | 312.484 | 6.009 | 16.827 | 280,01% | \$0,06 | \$19.099 | 0,2% | 96% | C |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-----|-----------|--------|--------|---------|---------|----------|------|-----|---|
| 43249666 | Laminado Mltc NATURA Dur | UNI | 347.142 | 6.676 | 17.145 | 256,82% | \$0,06 | \$21.217 | 0,2% | 96% | C |
| 43551666 | Laminado Mltc Slim NATURA Nectar | UNI | 69.289 | 1.332 | 4.133 | 310,19% | \$0,15 | \$10.047 | 0,1% | 97% | C |
| 43721305 | Laminado Multicapa NIDO 1+ | G | 1.139.763 | 21.919 | 48.304 | 220,38% | \$0,01 | \$7.864 | 0,1% | 97% | C |
| 43655996 | Adhesivo Hotmelt Recap | G | 753.414 | 14.489 | 6.766 | 46,70% | \$0,01 | \$9.794 | 0,1% | 97% | C |
| 43551709 | Laminado Multicapa Slim NATURA Pera 1L | UNI | 63.759 | 1.226 | 5.029 | 410,19% | \$0,14 | \$8.843 | 0,1% | 97% | C |
| 43711523 | Etiqueta Papel NIDO 3+ | UNI | 83.563 | 1.607 | 2.714 | 168,91% | \$0,07 | \$5.878 | 0,1% | 97% | C |
| 40005568 | Caja Corrugado NIDO 900g | UNI | 20.166 | 388 | 691 | 178,28% | \$0,52 | \$10.547 | 0,1% | 97% | C |
| 43145360 | Tapa PEBD Roja NIDO 1+ | UNI | 192.293 | 3.698 | 7.084 | 191,56% | \$0,07 | \$12.505 | 0,1% | 97% | C |
| 24432965 | Película Pep Tira Rtd | KG | 297 | 6 | 3 | 48,45% | \$26,80 | \$7.955 | 0,1% | 97% | C |
| 43145355 | Tapa PEBD NIDO PREBIO 3+ | UNI | 212.169 | 4.080 | 6.420 | 157,35% | \$0,04 | \$8.168 | 0,1% | 97% | C |
| 43711522 | Etiqueta Papel NIDO 1+ | UNI | 117.813 | 2.266 | 3.913 | 172,71% | \$0,04 | \$5.265 | 0,0% | 97% | C |
| 43551708 | Laminado Mltc Slim YOGU YOGU Mora 1L | UNI | 79.226 | 1.524 | 3.609 | 236,91% | \$0,14 | \$10.988 | 0,1% | 97% | C |
| 40005124 | Bolsa PEBD Leche Polvo | UNI | 39.154 | 753 | 929 | 123,36% | \$0,17 | \$6.715 | 0,1% | 97% | C |
| 43726649 | Caja Corrugado NIDO 1+ | UNI | 6.725 | 129 | 286 | 220,89% | \$0,57 | \$3.848 | 0,0% | 97% | C |
| 43572967 | Etiqueta Papel NIDO 1+ | UNI | 520.279 | 10.005 | 16.849 | 168,40% | \$0,01 | \$6.035 | 0,1% | 97% | C |
| 43145361 | Tapa PEBD Verde NIDO 3+ | UNI | 90.995 | 1.750 | 3.273 | 187,01% | \$0,07 | \$6.306 | 0,1% | 98% | C |
| 40005008 | Adhesivo Gomax | KG | 4.679 | 90 | 39 | 43,57% | \$0,82 | \$3.826 | 0,0% | 98% | C |
| 43564734 | Caja Corrugada Generica | UNI | 140.668 | 2.705 | 3.669 | 135,64% | \$0,19 | \$26.868 | 0,2% | 98% | C |
| 43722310 | Estuche Cartulina NIDO 1+ | UNI | 54.017 | 1.039 | 2.293 | 220,75% | \$0,06 | \$2.971 | 0,0% | 98% | C |
| 43145376 | Tapa PEBD Azul NIDO 6+ | UNI | 18.089 | 348 | 1.706 | 490,50% | \$0,10 | \$1.733 | 0,0% | 98% | C |
| 43573119 | Etiqueta Papel NIDO 3+ | UNI | 218.716 | 4.206 | 6.648 | 158,05% | \$0,02 | \$3.937 | 0,0% | 98% | C |
| 43572968 | Etiqueta Papel NIDO 1+ | UNI | 160.081 | 3.078 | 5.586 | 181,46% | \$0,03 | \$4.050 | 0,0% | 98% | C |
| 43551704 | Laminado Mltc Slim YOGU YOGU Durazno 1L | UNI | 25.282 | 486 | 2.044 | 420,48% | \$0,15 | \$3.792 | 0,0% | 98% | C |
| 40005667 | Tapa PEBD NIDO PREBIO 6+ | UNI | 39.866 | 767 | 2.357 | 307,40% | \$0,04 | \$1.535 | 0,0% | 98% | C |
| 40005487 | Bandeja Corr Natura Light 2 | UNI | 12.810 | 246 | 583 | 236,46% | \$0,24 | \$3.126 | 0,0% | 98% | C |
| 43573118 | Etiqueta Papel NIDO 3+ | UNI | 92.057 | 1.770 | 3.327 | 187,94% | \$0,03 | \$2.633 | 0,0% | 98% | C |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------------------|-----|---------|--------|--------|---------|--------|----------|------|------|---|
| 43573117 | Etiqueta Papel NIDO Prebio 6+ | UNI | 41.826 | 804 | 2.057 | 255,67% | \$0,05 | \$1.983 | 0,0% | 98% | C |
| 40005486 | Bandeja Corr Refrescante | UNI | 11.652 | 224 | 528 | 235,52% | \$0,24 | \$2.843 | 0,0% | 98% | C |
| 40005023 | Adhesivo Terlan | G | 52.937 | 1.018 | 997 | 97,96% | \$0,03 | \$1.641 | 0,0% | 98% | C |
| 43573131 | Etiqueta Papel NIDO 6+ | UNI | 66.480 | 1.278 | 2.831 | 221,43% | \$0,02 | \$1.436 | 0,0% | 98% | C |
| 43447994 | Etiqueta Papel Transfer | UNI | 40.976 | 788 | 948 | 120,25% | \$0,01 | \$574 | 0,0% | 98% | C |
| 40005010 | Adhesivo Gomax | KG | 85 | 2 | 1 | 71,47% | \$5,62 | \$477 | 0,0% | 98% | C |
| 43397548 | Hilo Algodon Carrete | M | 106.132 | 2.041 | 2.532 | 124,07% | \$0,00 | \$361 | 0,0% | 98% | C |
| 40007619 | Cinta PP Auto Adhesivo | M | 11.141 | 214 | 666 | 310,82% | \$0,01 | \$77 | 0,0% | 98% | C |
| 40006571 | Hilo Polietileno Alta Densidad | M | 1.419 | 27 | 37 | 134,40% | \$0,04 | \$51 | 0,0% | 98% | C |
| 43739209 | HUESITOS DURAZ | UNI | 986580 | 18.973 | 47.788 | 251,88% | \$0,06 | \$60.300 | 0,5% | 99% | C |
| 43739205 | HUESITOS PERA | UNI | 575505 | 11.067 | 32.679 | 295,27% | \$0,06 | \$35.175 | 0,3% | 99% | C |
| 43739207 | HUESITOS MANZA | UNI | 739935 | 14.230 | 42.209 | 296,63% | \$0,06 | \$45.225 | 0,4% | 99% | C |
| 43739203 | HUESITOS UVA | UNI | 1312395 | 25.238 | 57.508 | 227,86% | \$0,06 | \$80.214 | 0,7% | 100% | C |

Anexo 2 Proyección de pallets requeridos

| Línea | Cod. | Description | UM | Annual Demand | Demanda Pallets | Average Weekly Demand | Average Weekly Pallet Demand | Average Daily Pallet Demand | Weekly Std Deviation Consum | Weekly Pallet Std Deviation |
|-------|----------|--|----|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ROH | 43229534 | Maltodextrina Glucosa SypPlv 28-32DE25kg | KG | 948.325 | 948,3 | 18.237 | 18,2 | 3,6 | 6.271 | 6,3 |
| | 40000905 | Azucar Blanca 150UI 50kg | KG | 1.235.681 | 823,8 | 23.763 | 15,8 | 3,2 | 9.511 | 6,3 |
| | 40000798 | Durazno Jugo Concentrado 30-32Brix 235kg | KG | 351.578 | 374 | 7.175 | 7,6 | 1,5 | 6.509 | 6,9 |
| | 41162113 | Aceite De Maiz 190kg | KG | 201.198 | 249 | 3.869 | 4,8 | 1 | 2.599 | 3,2 |
| | 40000710 | Avena Molida Polvo 25kg | KG | 98.531 | 197,1 | 2.239 | 4,5 | 0,9 | 2.020 | 4 |
| | 40000775 | Naranja Jugo Concentrado 65Brix 260kg | KG | 212.465 | 196,7 | 4.521 | 4,2 | 0,8 | 2.881 | 2,7 |
| | 40000067 | Calcio Carbonato 3um INS170i 25kg | KG | 83.329 | 166,7 | 1.602 | 3,2 | 0,6 | 471 | 0,9 |
| | 40000734 | Aceite Colza Liquido Refinado 180kg | KG | 134.472 | 166,4 | 2.586 | 3,2 | 0,6 | 1.748 | 2,2 |
| | 40000572 | Lactosa Refinada Inf MR2 100 Mesh 25kg | KG | 67.686 | 135,4 | 1.302 | 2,6 | 0,5 | 1.228 | 2,5 |
| | 40000556 | Miel Liquido 87kg | KG | 84.010 | 123,5 | 1.647 | 2,4 | 0,5 | 1.099 | 1,6 |
| | 40000763 | Oligofructuosa Raftilosa Polvo 25kg | KG | 60.442 | 120,9 | 1.185 | 2,4 | 0,5 | 712 | 1,4 |
| | 40000029 | Manzana Jugo Concentrado 30-32Brix 235kg | KG | 104.353 | 109,4 | 2.269 | 2,4 | 0,5 | 2.094 | 2,2 |
| | 40000249 | Emulsificante Grinsted WP 900 Polvo 25kg | KG | 9.454 | 18,9 | 185 | 0,4 | 0,1 | 67 | 0,1 |
| | 40000788 | Maracuyá Jugo Concentrado 50Brix 250kg | KG | 17.570 | 17,6 | 439 | 0,4 | 0,1 | 413 | 0,4 |
| | 43697150 | Jugo Concentrado Arándano 62-66Brix | KG | 6.389 | 6,8 | 228 | 0,2 | 0 | 343 | 0,4 |

| Línea | Cod. | Description | UM | Annual Demand | Demanda Pallets | Average Weekly Demand | Average Weekly Pallet Demand | Average Daily Pallet Demand | Weekly Std Deviation Consum | Weekly Pallet Std Deviation |
|----------|--|--|-----------|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ZPCK | 43522521 | Caja Corr LLRA LecheEntera UHT Mid 12x1L | UNI | 1.089.542 | 726,4 | 20.953 | 14 | 2,8 | 9.399 | 6,3 |
| | 43522510 | Caja Corrugado LLRA UHT SmDescrMID 12x1L | UNI | 728.789 | 485,9 | 14.015 | 9,3 | 1,9 | 5.591 | 3,7 |
| | 40005327 | Caja Corrugado Natura 30x200ml | UNI | 689.403 | 459,6 | 13.258 | 8,8 | 1,8 | 12.726 | 8,5 |
| | 43564735 | Caja Corrugada Slim Generica 12x1L | UNI | 539.593 | 359,7 | 10.377 | 6,9 | 1,4 | 5.087 | 3,4 |
| | 43498998 | Laminado Mltc LLRA Ent Flexicap Mid 1L | UNI | 13.855.546 | 335,9 | 266.453 | 6,5 | 1,3 | 104.833 | 2,5 |
| | 43177426 | Caja Corrugado LA VAQUITA 390x290x315mm | UNI | 351.450 | 234,3 | 6.759 | 4,5 | 0,9 | 2.597 | 1,7 |
| | 43555131 | Caja Corrugada Slim SVTY Gene 12x1L | UNI | 339.693 | 226,5 | 6.533 | 4,4 | 0,9 | 4.274 | 2,8 |
| | 43498997 | Laminado Mltc FlexicapMid LLRA SmDescr1L | UNI | 9.220.987 | 223,5 | 177.327 | 4,3 | 0,9 | 69.030 | 1,7 |
| | 40005485 | Bandeja Corrugado Natura 2(30x200ml) | UNI | 319.152 | 212,8 | 6.138 | 4,1 | 0,8 | 6.380 | 4,3 |
| | 40005001 | Pitillo Polipropileno 4.5x145mm | UNI | 40.423.827 | 157,9 | 777.381 | 3 | 0,6 | 475.704 | 1,9 |
| | 43194582 | Tapa PP Blanca Recap3 A1 Tetra Pak | UNI | 9.638.306 | 101,6 | 185.352 | 2 | 0,4 | 89.508 | 0,9 |
| | 43499005 | Laminado Mltc LLRA Deslact FlexicapMid1L | UNI | 3.072.780 | 74,5 | 59.092 | 1,4 | 0,3 | 52.179 | 1,3 |
| | 43531812 | Compuesto LDPE/TiO2/Carbon Para DIMC | G | 34.694.621 | 69,4 | 667.204 | 1,3 | 0,3 | 213.436 | 0,4 |
| | 40005146 | Lata Acero Cuerpo 153mm | UNI | 62.394 | 52 | 1.200 | 1 | 0,2 | 1.955 | 1,6 |
| | 40006561 | Cinta BOPP/Autoadhesiva 7.5x1000m | G | 9.555.614 | 47,8 | 183.762 | 0,9 | 0,2 | 58.501 | 0,3 |
| | 43631654 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas200g01/14 | G | 31.146.865 | 41,5 | 598.978 | 0,8 | 0,2 | 474.241 | 0,6 |
| | 43554618 | Laminado MltcSlimSVTYDescrDeslact1L10/13 | UNI | 1.625.325 | 39,4 | 31.256 | 0,8 | 0,2 | 41.486 | 1 |
| | 43248619 | Laminado Mltc NATURA Durazno 200ml 07/09 | UNI | 6.022.049 | 38,5 | 115.809 | 0,7 | 0,1 | 176.368 | 1,1 |
| | 43631642 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas400g01/14 | G | 26.273.262 | 35 | 505.255 | 0,7 | 0,1 | 471.048 | 0,6 |
| | 43551379 | Laminado Mltc Slim NATURA Naranja 1L | UNI | 1.409.373 | 34,2 | 27.103 | 0,7 | 0,1 | 33.205 | 0,8 |
| 43554619 | Laminado MltcSlim SVTY TotalDgstn1L10/13 | UNI | 1.386.173 | 33,6 | 26.657 | 0,6 | 0,1 | 20.701 | 0,5 | |

| | | | | | | | | | |
|----------|--|-----|------------|------|---------|-----|------|---------|-----|
| 43551701 | Laminado Mltc Slim NESTLE Avena Fort 1L | UNI | 1.235.203 | 29,9 | 23.754 | 0,6 | 0,1 | 30.892 | 0,7 |
| 40006863 | Peroxido Hidrogeno Aceptico 35% 35kg | KG | 33.231 | 29,7 | 639 | 0,6 | 0,1 | 230 | 0,2 |
| 43551702 | Laminado Mltc Slim SVTY LecExtraCalcio1L | UNI | 1.136.690 | 27,6 | 21.859 | 0,5 | 0,1 | 19.369 | 0,5 |
| 43249660 | Laminado Mltc NATURA Naranja 200ml 07/09 | UNI | 3.771.003 | 24,1 | 72.519 | 0,5 | 0,1 | 123.272 | 0,8 |
| 40006222 | Laminado Mltc Avena Fortificada 200ml | UNI | 3.688.270 | 23,6 | 70.928 | 0,5 | 0,1 | 107.547 | 0,7 |
| 43630570 | LaminadoMltc LA VAQUITANutrimas100g01/14 | G | 16.468.776 | 22 | 316.707 | 0,4 | 0,1 | 322.064 | 0,4 |
| 43551703 | Laminado Mltc Slim LLRA Full Crema 1L | UNI | 887.005 | 21,5 | 17.058 | 0,4 | 0,1 | 7.217 | 0,2 |
| 43551378 | Laminado Mltc Slim NATURA Durazno 1L | UNI | 881.724 | 21,4 | 16.956 | 0,4 | 0,1 | 29.327 | 0,7 |
| 43499019 | Laminado Mltc LA LECHERA 3 Leches Mid 1L | UNI | 757.263 | 18,4 | 14.563 | 0,4 | 0,1 | 18.857 | 0,5 |
| 43630562 | LaminadoMltcLAVAQUITANutrimas900g 01/14 | G | 11.926.834 | 15,9 | 229.362 | 0,3 | 0,1 | 233.699 | 0,3 |
| 40006236 | Laminado Mltc NESQUIK Chocolate 200ml | UNI | 2.174.073 | 13,9 | 41.809 | 0,3 | 0,1 | 60.111 | 0,4 |
| 40006225 | Laminado Mltc LLRA Crema De Leche 200ml | UNI | 2.049.836 | 13,1 | 39.420 | 0,3 | 0,1 | 32.872 | 0,2 |
| 43249636 | Laminado Mltc NATURA Manzana 200ml 07/09 | UNI | 1.927.588 | 12,3 | 37.069 | 0,2 | 0,05 | 63.654 | 0,4 |
| 43572125 | Laminado Mltc LAVAQUITALEPInstan31g01/14 | G | 10.788.746 | 12 | 207.476 | 0,2 | 0,05 | 283.975 | 0,3 |
| 40006856 | Laminado Mltc NESTLE Avena Leche 200ml | UNI | 1.873.333 | 12 | 36.026 | 0,2 | 0,05 | 60.106 | 0 |
| 40006223 | Laminado Mltc LA LECHERA 200ml | UNI | 1.680.002 | 10,7 | 32.308 | 0,2 | 0,04 | 45.353 | 0,3 |
| 43442265 | Laminado Mltc HUESITOS Dur 180ml 04/12 | UNI | 1.644.333 | 10,5 | 31.622 | 0,2 | 0,04 | 50.504 | 0,3 |
| 40006241 | Laminado Mltc YOGU YOGU Fresa 200ml | UNI | 1.295.432 | 8,3 | 24.912 | 0,2 | 0,03 | 41.229 | 0,3 |
| 40006240 | Laminado Mltc YOGU YOGU Durazno 200ml | UNI | 984.471 | 6,3 | 18.932 | 0,1 | 0,02 | 29.077 | 1,9 |

Anexo 3 Automated-Fitting y Frecuencia de arribos

Figura 1 Automated-Fitting

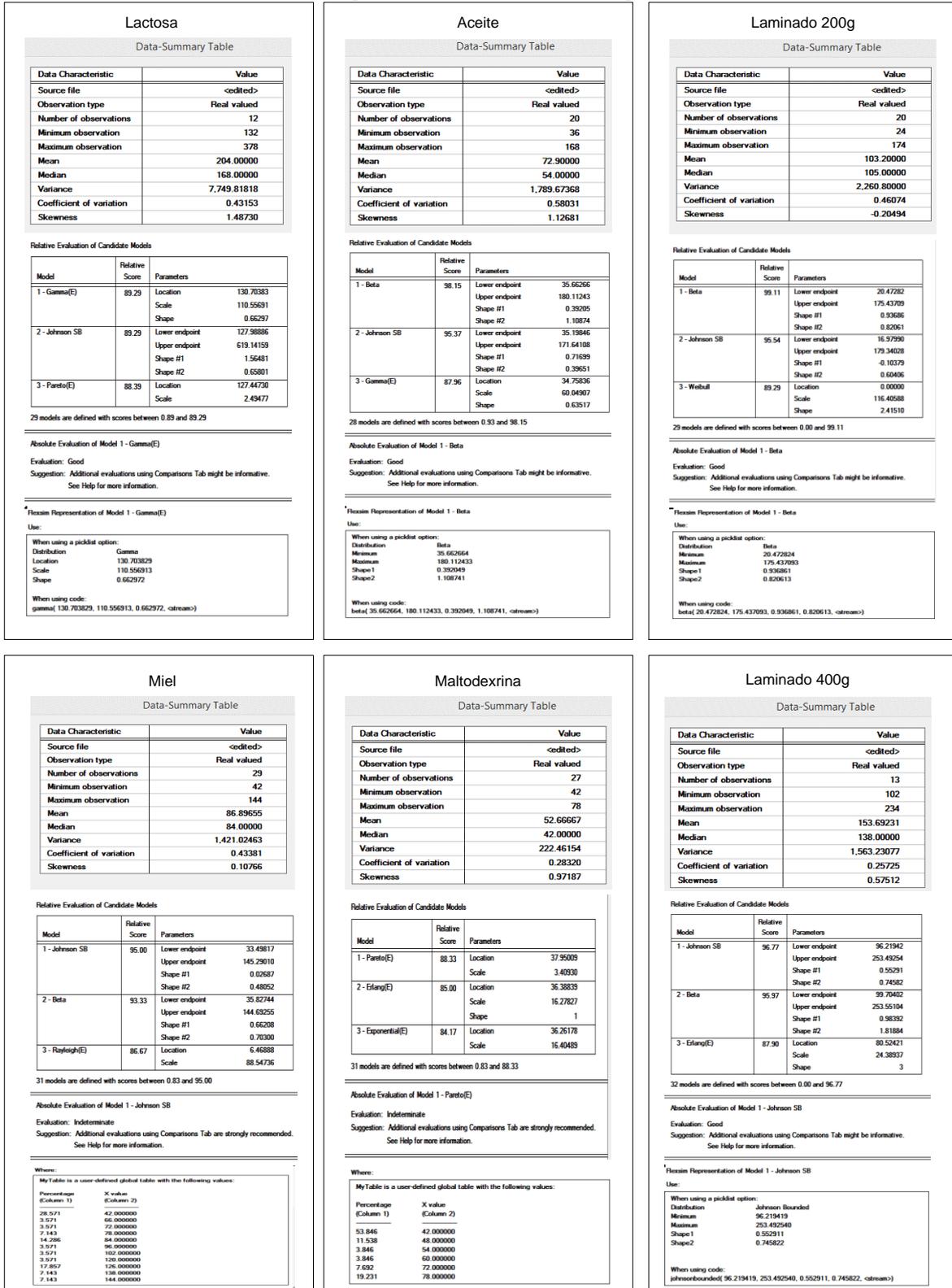


Tabla 1 Frecuencia de arribos

| Tabla Frecuencia de Arribos | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|--------|-------|-----------------|-----------------|
| Obs. | Miel Liquida | Lactosa Refinada | Aceite | Malto | Laminado 200 | Laminado 400 |
| 1 | 144 | 378 | 36 | 78 | 174 | 234 |
| 2 | 144 | 378 | 36 | 78 | 168 | 198 |
| 3 | 138 | 252 | 36 | 78 | 168 | 186 |
| 4 | 138 | 210 | 36 | 78 | 156 | 186 |
| 5 | 126 | 174 | 36 | 78 | 138 | 168 |
| 6 | 126 | 168 | 42 | 72 | 132 | 168 |
| 7 | 126 | 168 | 42 | 72 | 132 | 138 |
| 8 | 126 | 168 | 42 | 60 | 126 | 132 |
| 9 | 126 | 144 | 48 | 54 | 114 | 132 |
| 10 | 120 | 144 | 48 | 48 | 108 | 126 |
| 11 | 102 | 132 | 60 | 48 | 102 | 120 |
| 12 | 96 | 132 | 78 | 48 | 102 | 108 |
| 13 | 84 | | 78 | 42 | 102 | 102 |
| 14 | 84 | | 78 | 42 | 78 | |
| 15 | 84 | | 84 | 42 | 72 | |
| 16 | 84 | | 108 | 42 | 54 | |
| 17 | 78 | | 114 | 42 | 48 | |
| 18 | 78 | | 126 | 42 | 36 | |
| 19 | 72 | | 162 | 42 | 30 | |
| 20 | 66 | | 168 | 42 | 24 | |
| 21 | 42 | | | 42 | | |
| 22 | 42 | | | 42 | | |
| 23 | 42 | | | 42 | | |
| 24 | 42 | | | 42 | | |
| 25 | 42 | | | 42 | | |
| 26 | 42 | | | 42 | | |
| 27 | 42 | | | 42 | | |
| 28 | 42 | | | | | |
| 29 | 42 | | | | | |

Anexo 4 Source

Figura 1 Inter - Arrivalttime

Miel

Miel Liquido Properties

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Miel

Arrival at time 0:

Item Type: 1.00

Inter-Arrivalttime: Batch Processing

Return a time for a batch of products. The time will be evaluated once per batch.

Batch Size: 5

Cycle Time: empirical("Arribo_Miel")

Label Name: Miel

Lactosa

Lactosa Refinada Properties

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Lactosa

Arrival at time 0:

Item Type: 2.00

Inter-Arrivalttime: Batch Processing

Return a time for a batch of products. The time will be evaluated once per batch.

Batch Size: 15

Cycle Time: gamma(130.703829, 110.556913, 0.66)

Label Name: lactosa

Azúcar

Azúcar Properties

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Azúcar

Arrival at time 0:

Interval Variability: Constant Rate

Stream: 0, Std Dev: 20

Inter-Arrivalttime: Hourly Rates

| | Mon | Tues | Wed | Thurs | Fri | Sat | Sun |
|---------------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 0:00 - 1:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1:00 - 2:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2:00 - 3:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3:00 - 4:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4:00 - 5:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5:00 - 6:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6:00 - 7:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7:00 - 8:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8:00 - 9:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9:00 - 10:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10:00 - 11:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11:00 - 12:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12:00 - 13:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13:00 - 14:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14:00 - 15:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 15:00 - 16:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 16:00 - 17:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 17:00 - 18:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18:00 - 19:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19:00 - 20:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20:00 - 21:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21:00 - 22:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22:00 - 23:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Aceite

Aceites Properties

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Aceite

Arrival at time 0:

Item Type: 4.00

Inter-Arrivalttime: Batch Processing

Return a time for a batch of products. The time will be evaluated once per batch.

Batch Size: 22

Cycle Time: beta(35.562664, 180.112433, 0.8, 1.1)

Label Name: batch_aceite

Maltodextrina

Maltodextrina Properties

Maltodextrina

Source Flow Triggers Labels General

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Malto

Arrival at time 0 Item Type: 5.00

Inter-Arrivaltime: dempirical("aribo_malto")

Apply OK Cancel

Cartón

CartonCorrugado Properties

CartonCorrugado

Source Flow Triggers Labels General

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Carton

Arrival at time 0

Interval Variability: Constant Rate Stream: 0 Std Dev: 20 %

Inter-Arrivaltime Table: Locally_Defined_Table

| | Mon | Tues | Wed | Thurs | Fri | Sat | Sun |
|---------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| 0:00 - 1:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1:00 - 2:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2:00 - 3:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3:00 - 4:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4:00 - 5:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5:00 - 6:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6:00 - 7:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7:00 - 8:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8:00 - 9:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9:00 - 10:00 | 25.00 | 0.00 | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10:00 - 11:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11:00 - 12:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12:00 - 13:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13:00 - 14:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14:00 - 15:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 15:00 - 16:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 16:00 - 17:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 17:00 - 18:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18:00 - 19:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19:00 - 20:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20:00 - 21:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21:00 - 22:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22:00 - 23:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

99, 0.001 Rotacion [0, 0

Apply OK Cancel

Laminado 200

LaminadoVaq200 Properties

LaminadoVaq200

Source Flow Triggers Labels General

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Laminado200

Arrival at time 0 Item Type: 7.00

Inter-Arrivaltime: Batch Processing

Return a time for a batch of products. The time will be evaluated once per batch.

Batch Size: 5

Cycle Time: beta(20.472824, 175.437093, 0.9368)

Label Name: vaca200

Apply OK Cancel

Laminado 400

LaminadoVaq400 Properties

LaminadoVaq400

Source Flow Triggers Labels General

Arrival Style: Inter-Arrival Time

FlowItem Class: Pallet Lamiando400

Arrival at time 0 Item Type: 8.00

Inter-Arrivaltime: Batch Processing

Return a time for a batch of products. The time will be evaluated once per batch.

Batch Size: 5

Cycle Time: johnsonbounded(96.219419, 253.4925)

Label Name: vaca400

Apply OK Cancel

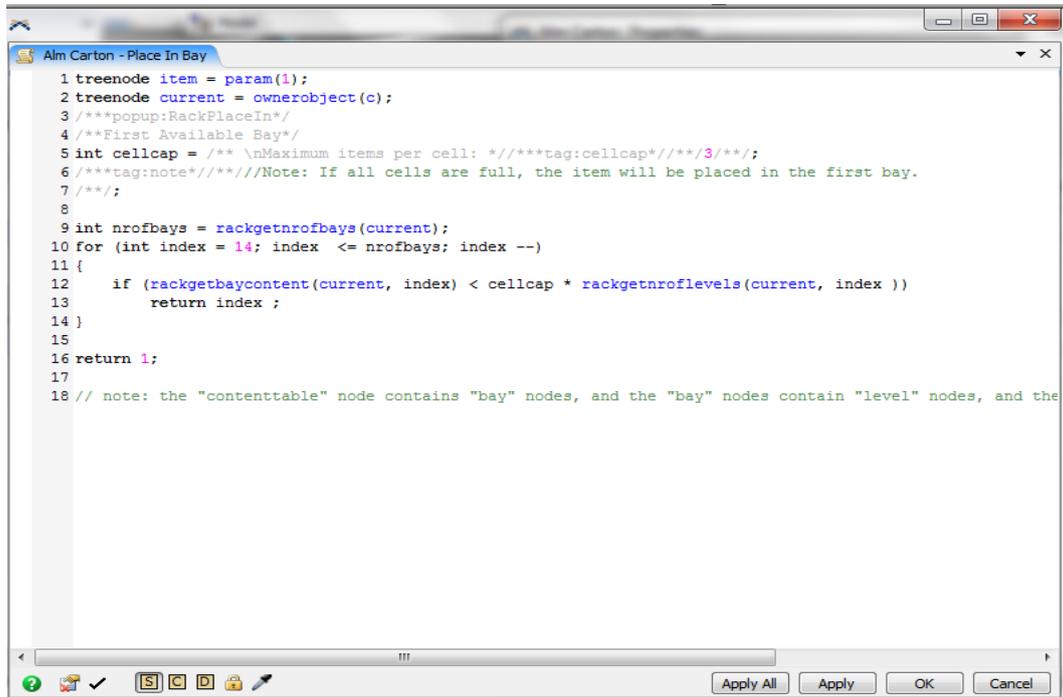
Figura 2 Time Table

Figura 3 Ruteo y tiempo de descarga

| Tiempo Descarga Ruteo | |
|-----------------------|------------|
| | T.Descarga |
| Miel | 0.13 |
| Lactosa | 0.00 |
| Azucar | 0.14 |
| Aceites | 0.83 |
| Malto | 0.10 |
| Carton | 0.10 |
| Vaca200 | 0.00 |
| Vaca400 | 0.00 |

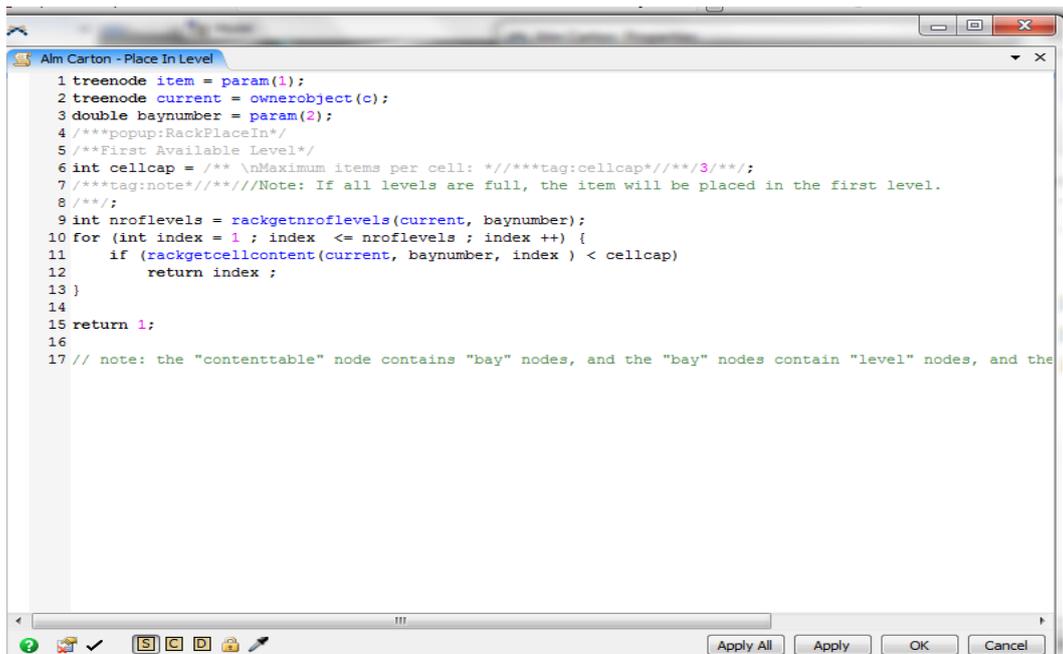
Figura 4 Programación de racks

Rack cartón place in bay



```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/3/**/;
6 /**tag:note/**/**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 14; index <= nrofbaies; index --)
11 {
12     if (rackgetbaycontent(current, index) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
13         return index ;
14 }
15
16 return 1;
17
18 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack cartón place in level



```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/3/**/;
7 /**tag:note/**/**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current, baynumber);
10 for (int index = 1 ; index <= nroflevels ; index ++ ) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack Maltodextrina place in bay

```
Alm Malto - Place In Bay
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
6 /**tag:note/**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 3; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index ) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1 ;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack Maltodextrina place in level

```
Alm Malto - Place In Level
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
7 /**tag:note/**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++ ) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack Azúcar place in bay

```
Alm Azucar - Place In Bay
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/4/**/;
6 /**tag:note*//**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 4; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1 ;
16
17
18 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack Azúcar place in level

```
Alm Azucar - Place In Level
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/4/**/;
7 /**tag:note*//**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current, baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels; index ++) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack miel place in bay

```
Rack Miel - Place In Bay
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
6 /**tag:note/**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 4; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index ) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack miel place in level

```
Rack Miel - Place In Level
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
7 /**tag:note/**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++ ) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

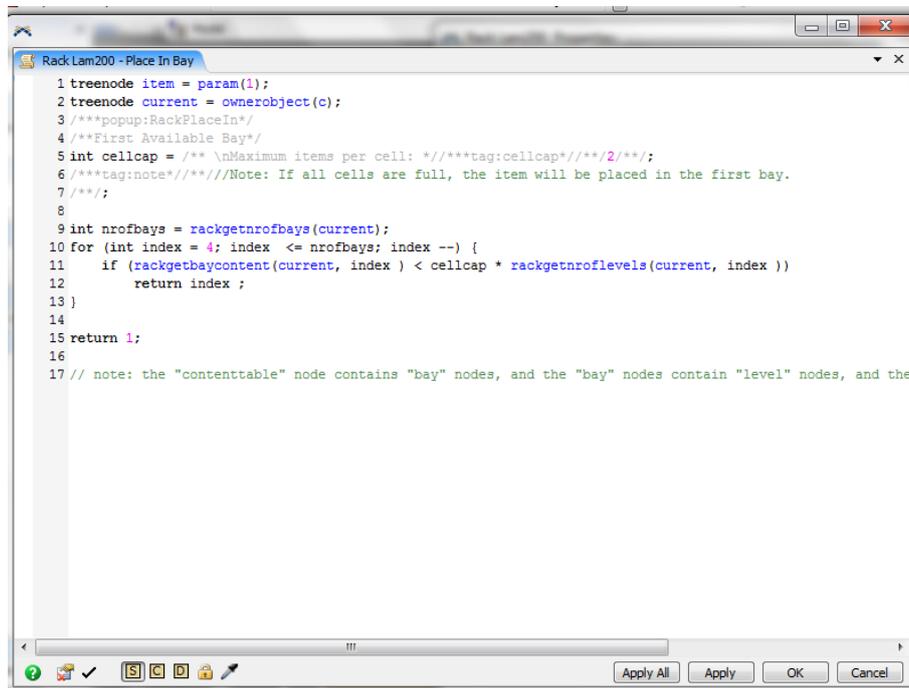
Rack lactosa place in bay

```
Rack Lactosa - Place In Bay
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
6 /**tag:note*//**//Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrof bays = rackgetnrof bays(current);
10 for (int index = 4; index <= nrof bays; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index) < cellcap * rackgetnrof levels(current, index))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lactosa place in level

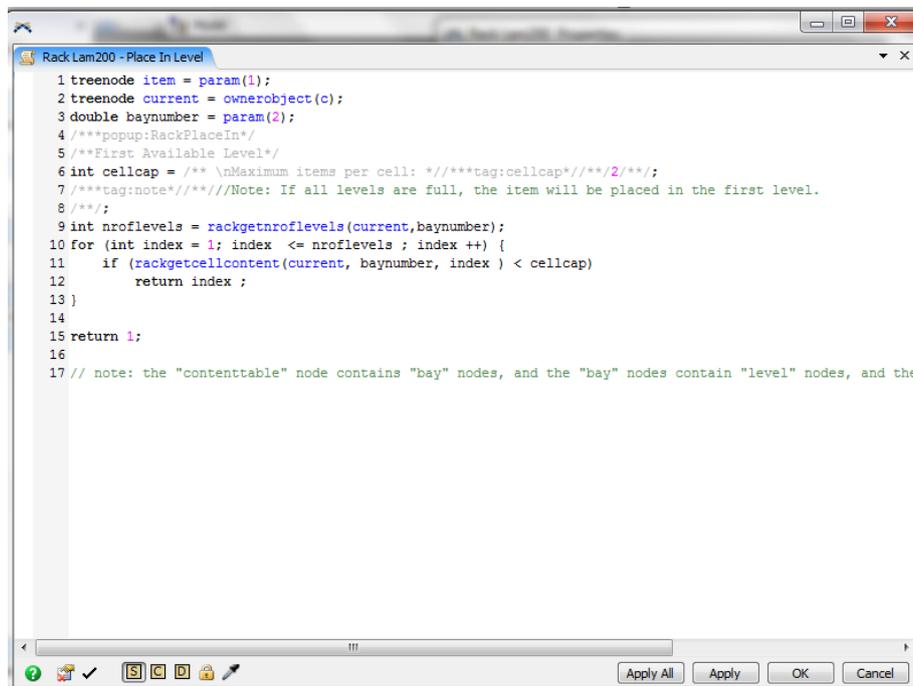
```
Rack Lactosa - Place In Level
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
7 /**tag:note*//**//Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nrof levels = rackgetnrof levels(current, baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nrof levels; index ++ ) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lam200 place in bay



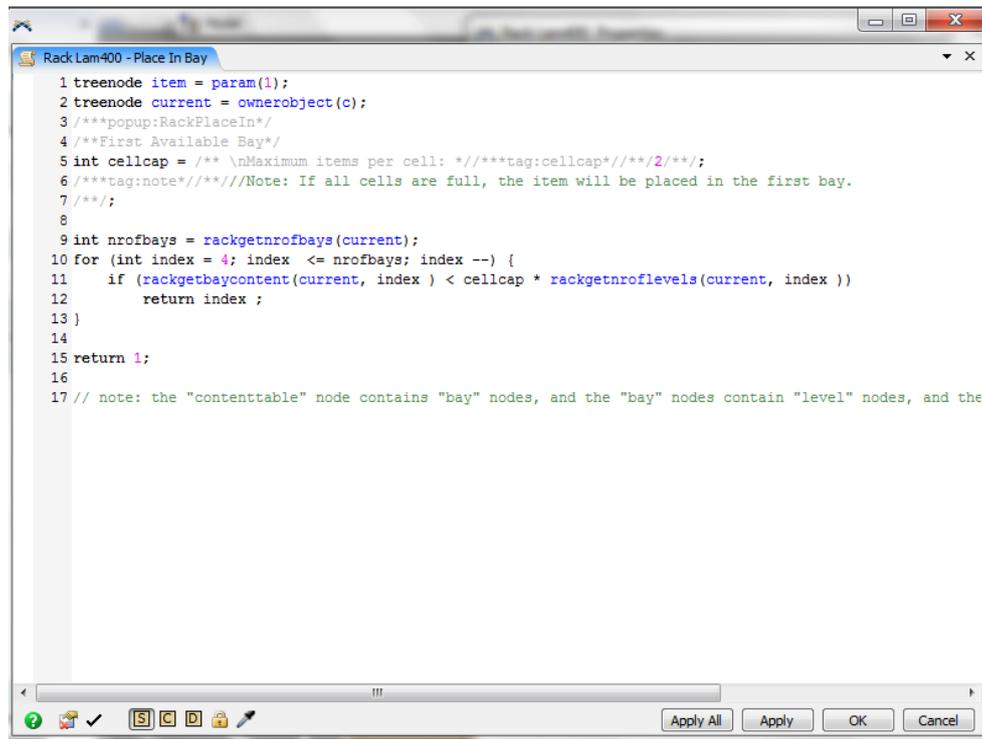
```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
6 /**tag:note*//**//Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 1; index <= nrofbaies; index ++ ) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index ) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lam200 place in level



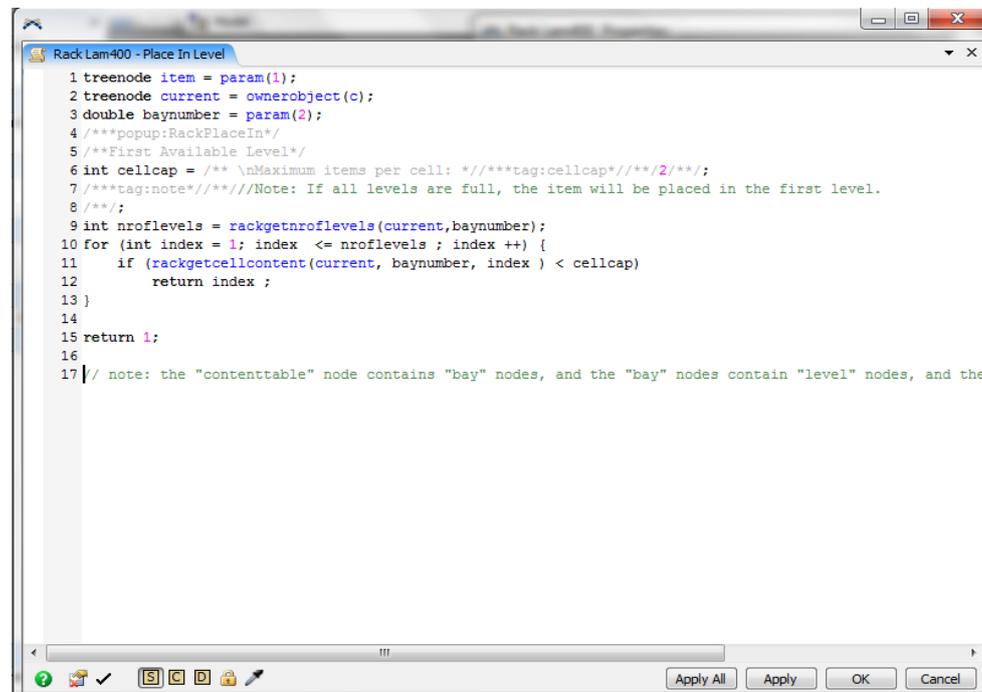
```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
7 /**tag:note*//**//Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++ ) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lam400 place in bay



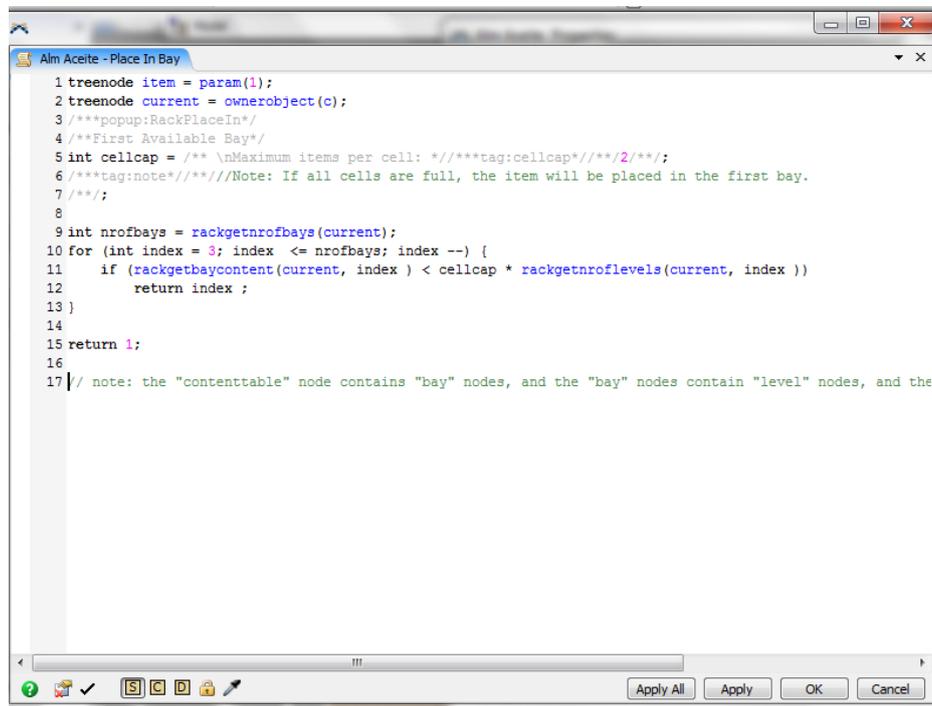
```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
6 /**tag:note*//**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 4; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index ) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lam400 place in level



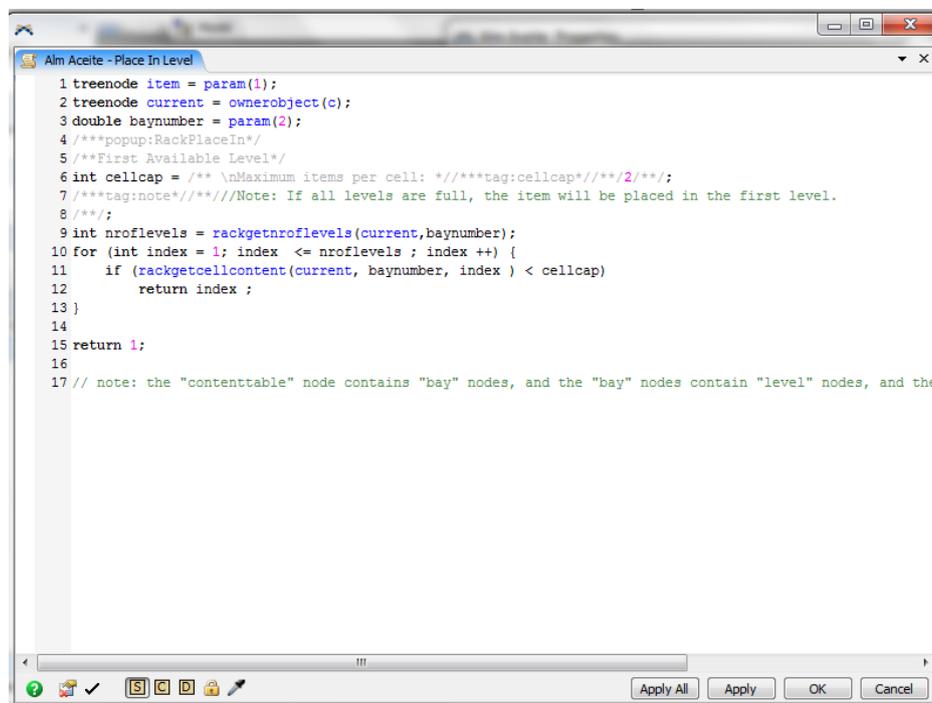
```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
7 /**tag:note*//**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack aceite place in bay



```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
6 /**tag:note/**/**/Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 3; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index ) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack aceite place in level



```
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap/**/2/**/;
7 /**tag:note/**/**/Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lactosa place in bay

```
Rack Lactosa - Place In Bay
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 /**popup:RackPlaceIn*/
4 /**First Available Bay*/
5 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
6 /**tag:note*//**//Note: If all cells are full, the item will be placed in the first bay.
7 /**/;
8
9 int nrofbaies = rackgetnrofbaies(current);
10 for (int index = 4; index <= nrofbaies; index --) {
11     if (rackgetbaycontent(current, index) < cellcap * rackgetnroflevels(current, index ))
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Rack lactosa place in level

```
Rack Lactosa - Place In Level
1 treenode item = param(1);
2 treenode current = ownerobject(c);
3 double baynumber = param(2);
4 /**popup:RackPlaceIn*/
5 /**First Available Level*/
6 int cellcap = /** \nMaximum items per cell: *//**tag:cellcap*//**/2/**/;
7 /**tag:note*//**//Note: If all levels are full, the item will be placed in the first level.
8 /**/;
9 int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
10 for (int index = 1; index <= nroflevels ; index ++) {
11     if (rackgetcellcontent(current, baynumber, index) < cellcap)
12         return index ;
13 }
14
15 return 1;
16
17 // note: the "contenttable" node contains "bay" nodes, and the "bay" nodes contain "level" nodes, and the
```

Y dando como resultado que los materiales se apilan como se muestra a continuación en una captura de pantalla del modelo en *Flexsim*.

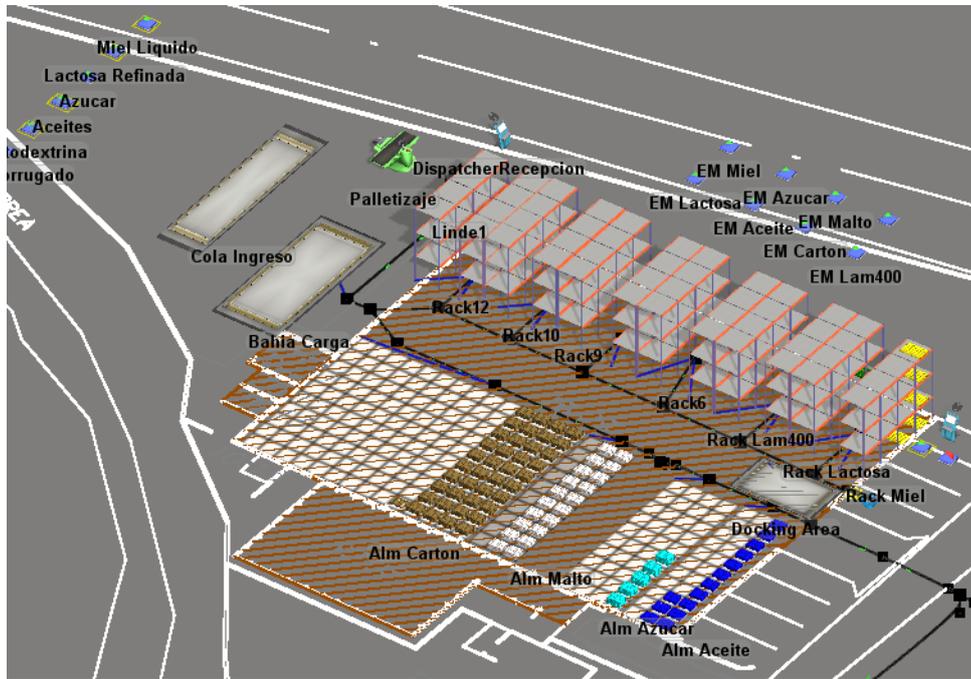
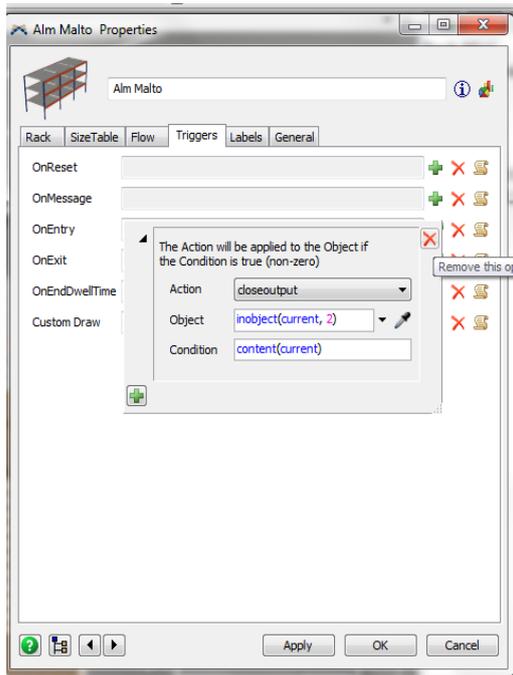


Figura 5 Triggers OnEntry y OnExit

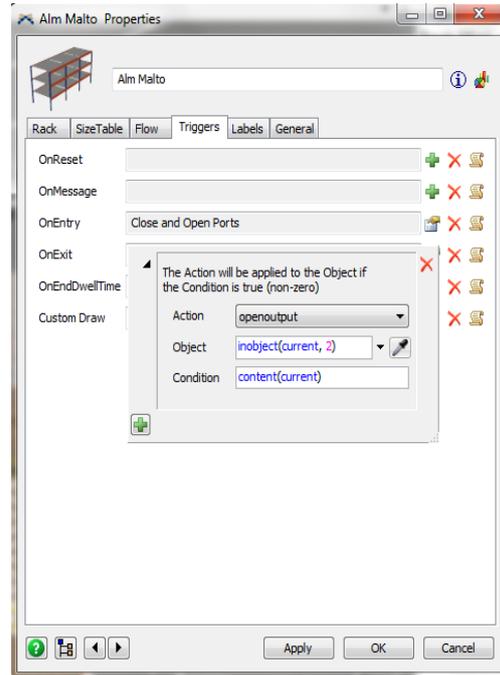
Triggers OnEntry Rack cartón

Triggers OnExit Rack cartón

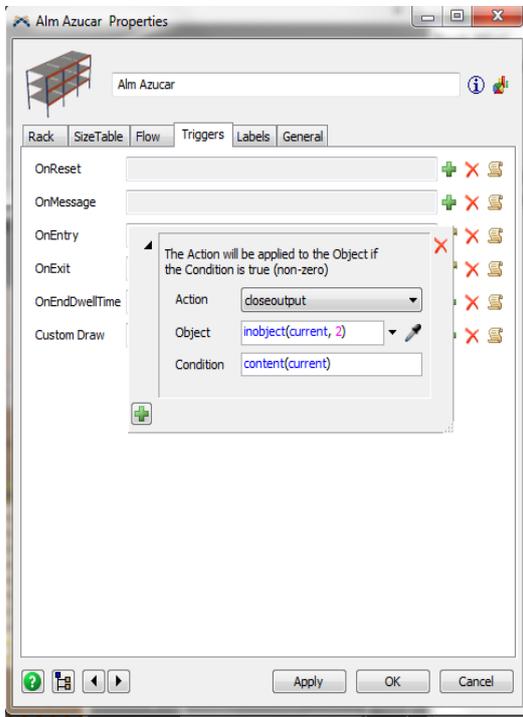
Triggers OnEntry Rack matodextrina



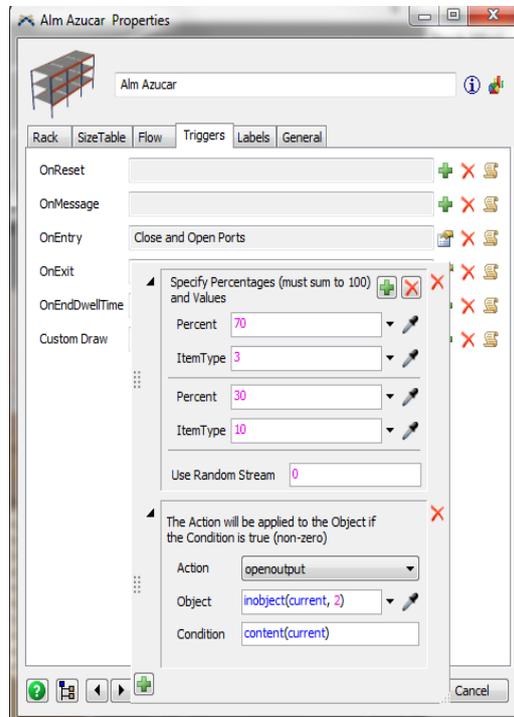
Triggers OnExit Rack matodextrina



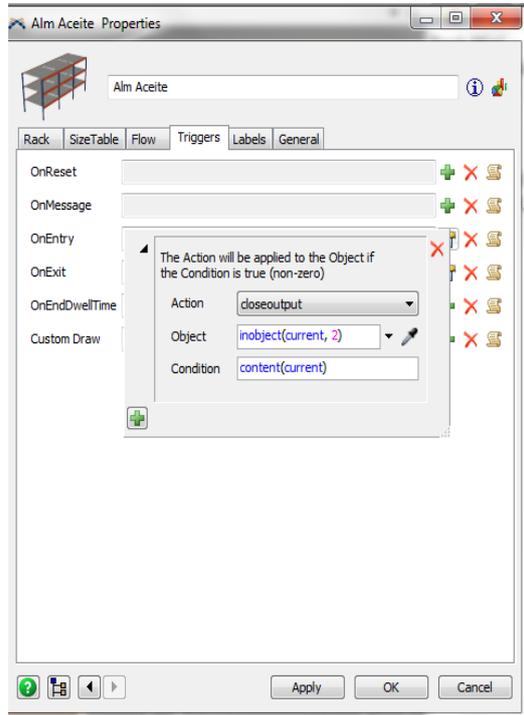
Triggers OnEntry Rack azúcar



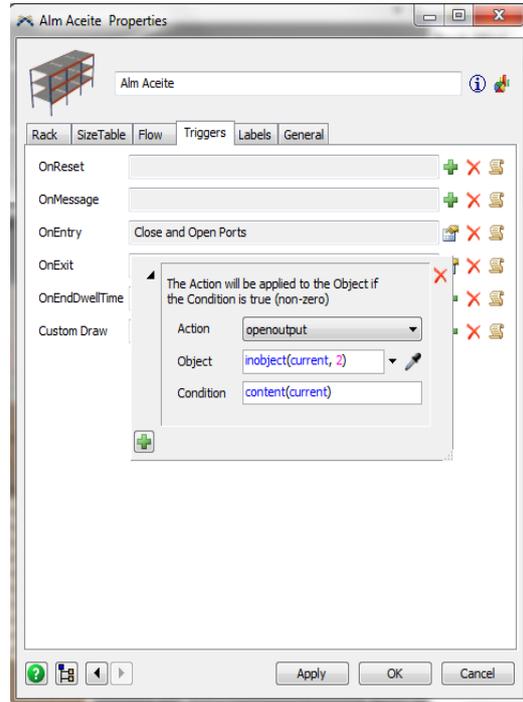
Triggers OnExit Rack azúcar



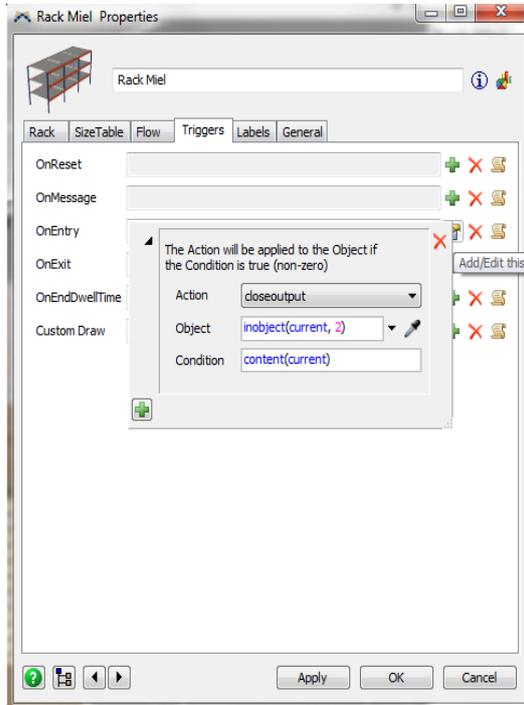
Triggers OnEntry Rack aceite



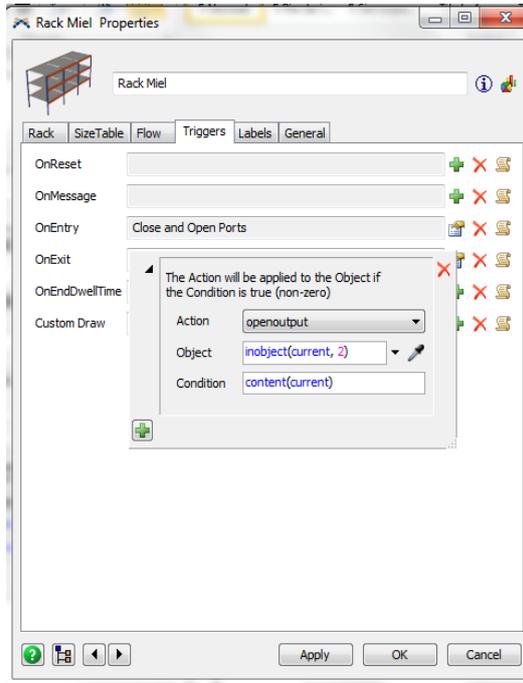
Triggers OnExit Rack aceite



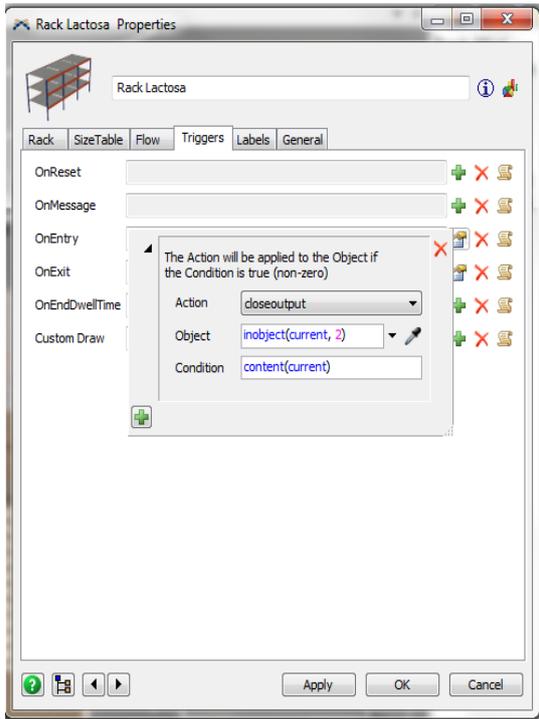
Triggers OnEntry Rack miel



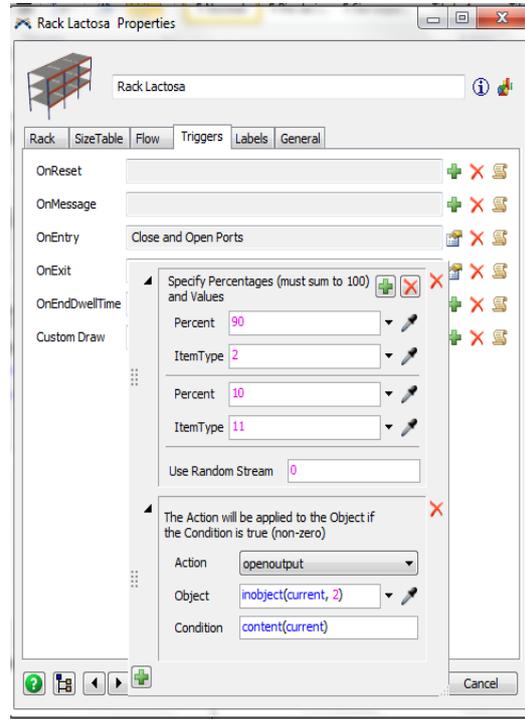
Triggers OnExit Rack miel



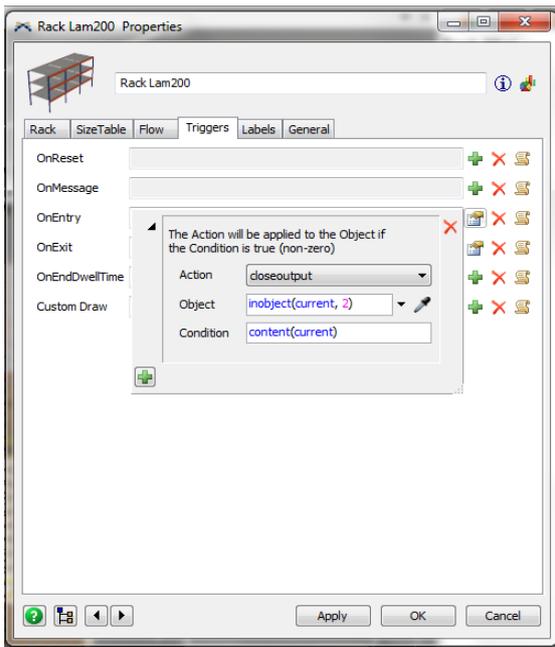
Triggers OnEntry Rack lactosa



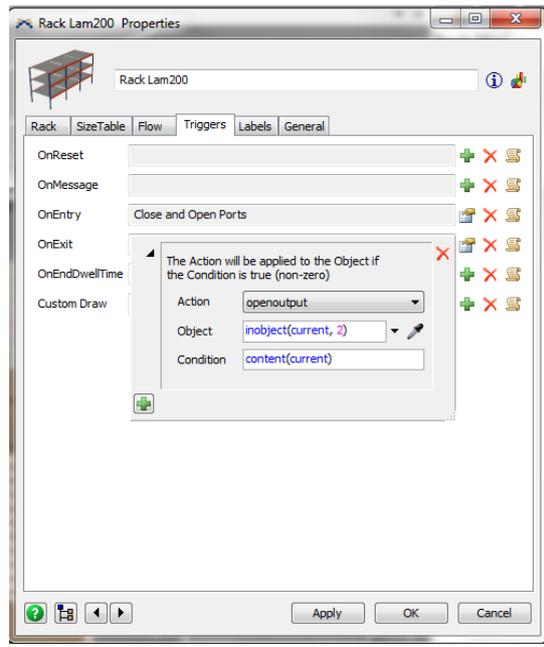
Triggers OnExit Rack lactosa



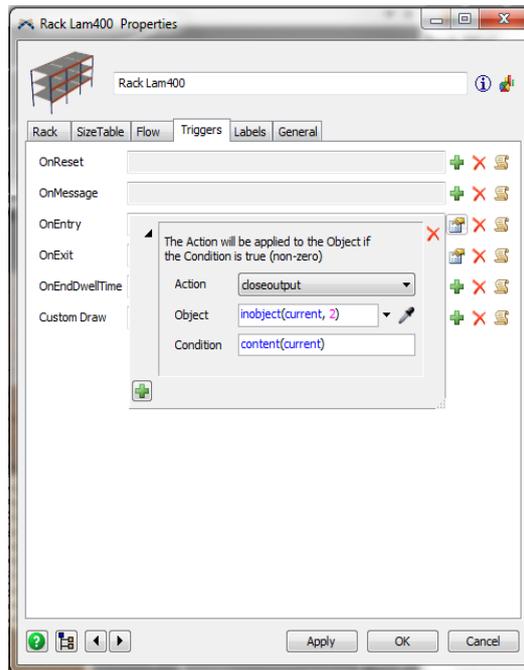
Triggers OnEntry Rack Lam200



Triggers OnExit Rack Lam200



Triggers OnEntry Rack Lam400



Triggers OnExit Rack Lam400

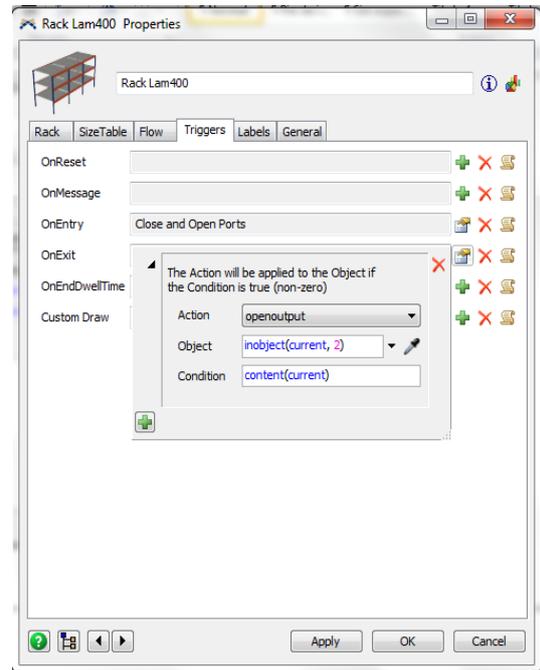
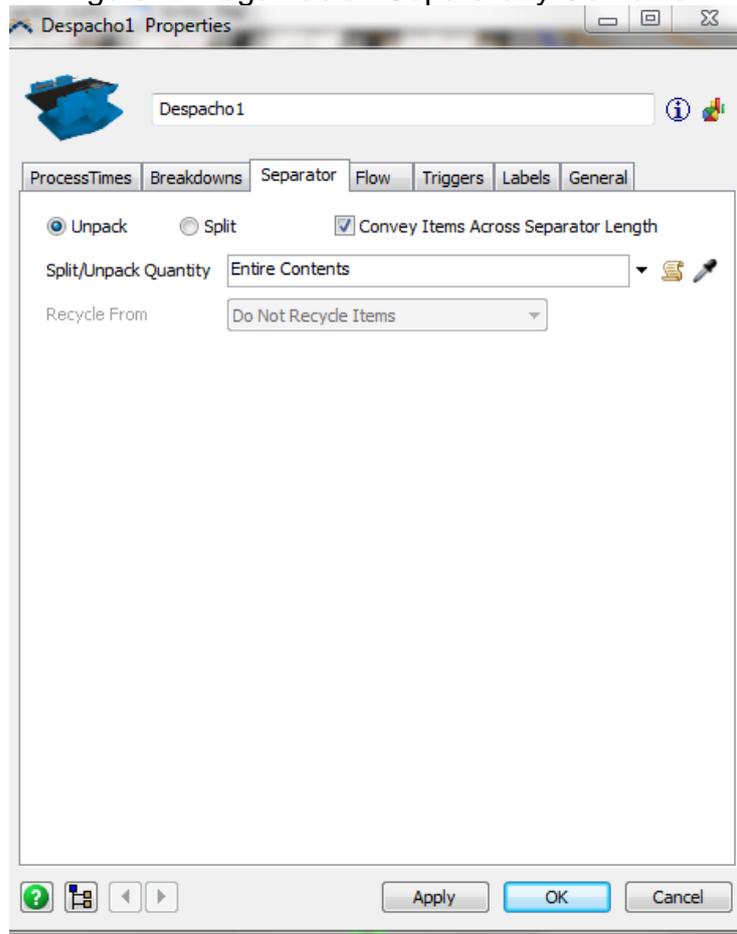


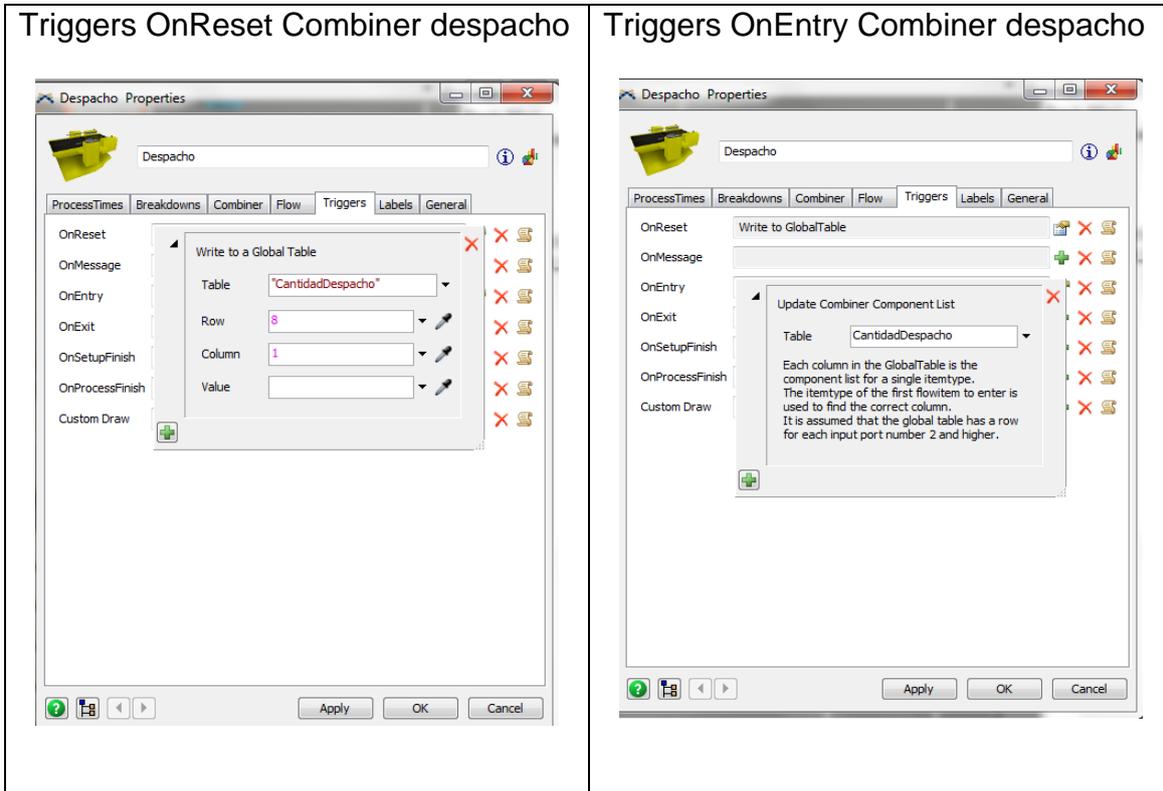
Figura 6 Cantidad de despacho

| CantidadDespacho | |
|------------------|-------|
| Miel | 1.00 |
| Lactosa | 1.00 |
| Azucar | 4.00 |
| Aceites | 2.00 |
| Malto | 4.00 |
| Carton | 10.00 |
| Vaca200 | 0.00 |
| Vaca400 | 1.00 |

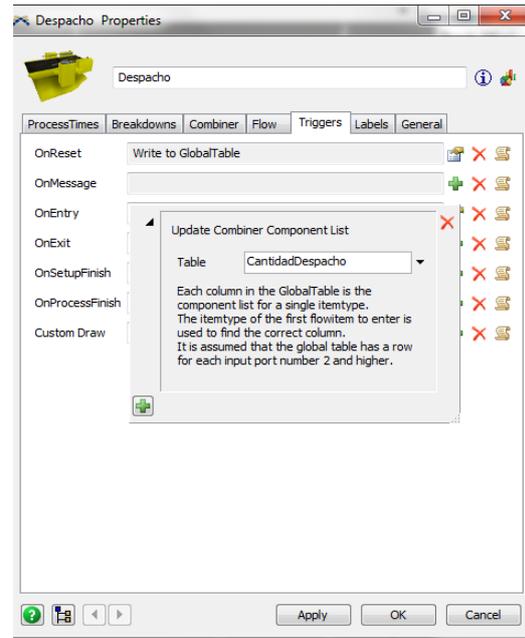
Figura 7 Programación Separator y Combiner



Triggers OnReset Combiner despacho



Triggers OnEntry Combiner despacho



```

Despacho - OnReset
1 treenode current = ownerobject(c);
2 { // ***** PickOption Start ***** //
3 /**popup:WriteToGlobalTable*/
4 /**Write to GlobalTable*/
5 var table = /** \nTable: */ /**tag:table/**/"CantidadDespacho"/**/;
6 int row = /** \nRow: */ /**tag:row/**/8/**/;
7 int column = /** \nColumn: */ /**tag:col/**/1/**/;
8
9 for (int i = 1; i <= row; i++)
10 {
11     int statDist = 0;
12     switch(i) {
13     case 1: statDist += 0; break;
14     case 2: statDist += 0; break;
15     case 3: statDist += 0; break;
16     case 4: statDist += 0; break;
17     case 5: statDist += 0; break;
18     case 6: statDist += 0; break;
19     case 7: statDist += 0; break;
20     case 8: statDist += 0; break;
21     default: statDist += 1;
22     }
23     settablenum(table, i, column, statDist);
24     }
25 }
26
27 // ***** PickOption End ***** //
28

```

Figura 8 Time Table Turno de trabajo, horario arribos

Time Table Parameters Window

Name: Turno Trabajo Mont

Members Functions Table

Rows: 11.00 Mode: Weekly Repeat Add Table to MTEI

| | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | Sun |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 8 AM | | | | | | | |
| 9 AM | | | | | | | |
| 10 AM | | | | | | | |
| 11 AM | | | | | | | |
| 12 PM | | | | | | | |
| 1 PM | | | | | | | |
| 2 PM | | | | | | | |
| 3 PM | | | | | | | |
| 4 PM | | | | | | | |

State Profile: Default State Profile Make Operational Time

Down State: 30 - off shift Make Down Time

Apply OK Cancel

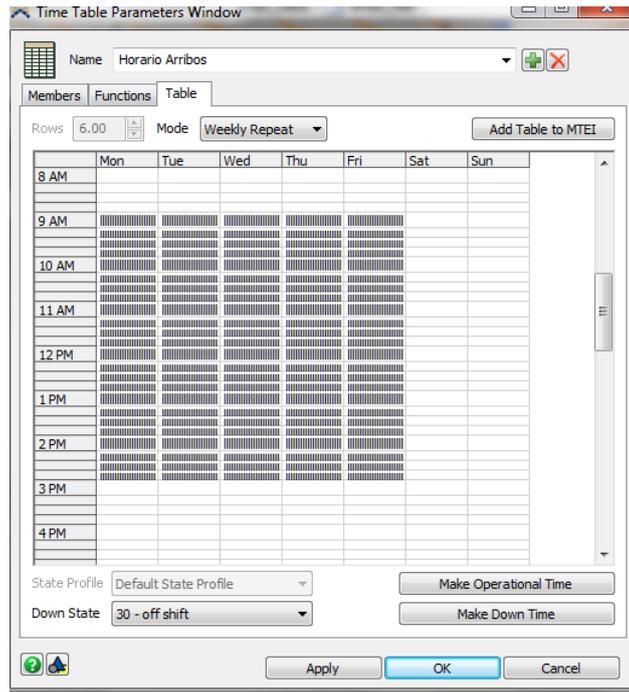
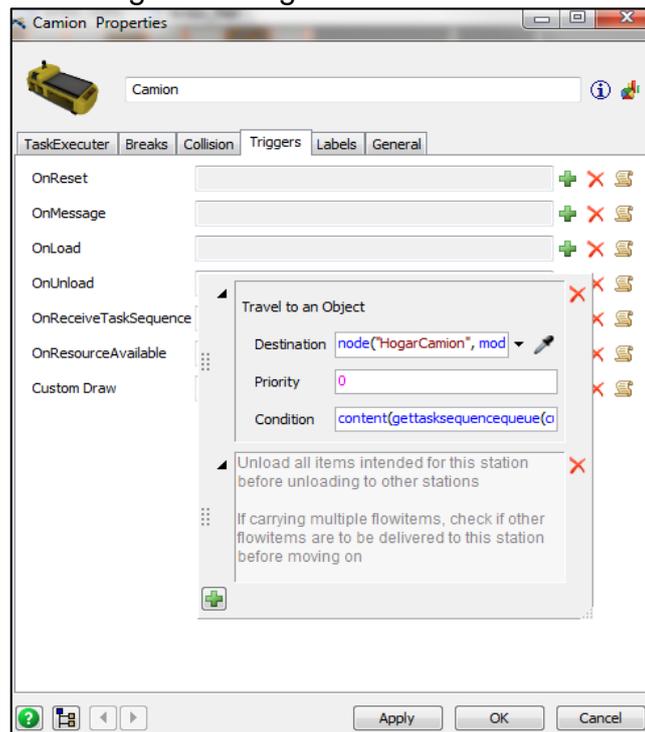


Figura 9 Programación Camión



Anexo 5 Análisis preliminar de los dashboards

Figura 1 WIP Average vs Time

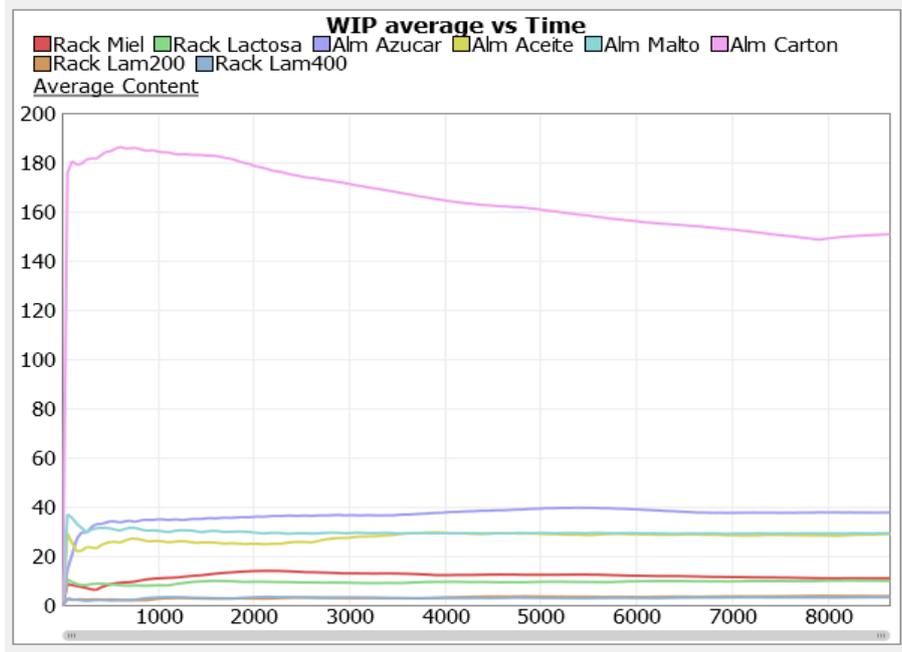


Figura 2 Current vs Time

| | Current Content | Minimum Content | Maximum Content | Average Content |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Rack Miel | 12.0 | 1.0 | 20.0 | 11.2 |
| Rack Lactosa | 20.0 | 1.0 | 21.0 | 10.1 |
| Alm Azucar | 52.0 | 1.0 | 57.0 | 37.8 |
| Alm Aceite | 31.0 | 1.0 | 53.0 | 29.1 |
| Alm Malto | 19.0 | 1.0 | 39.0 | 29.4 |
| Alm Carton | 172.0 | 1.0 | 204.0 | 151.1 |
| Rack Lam200 | 2.0 | 1.0 | 10.0 | 3.8 |
| Rack Lam400 | 3.0 | 1.0 | 8.0 | 3.4 |

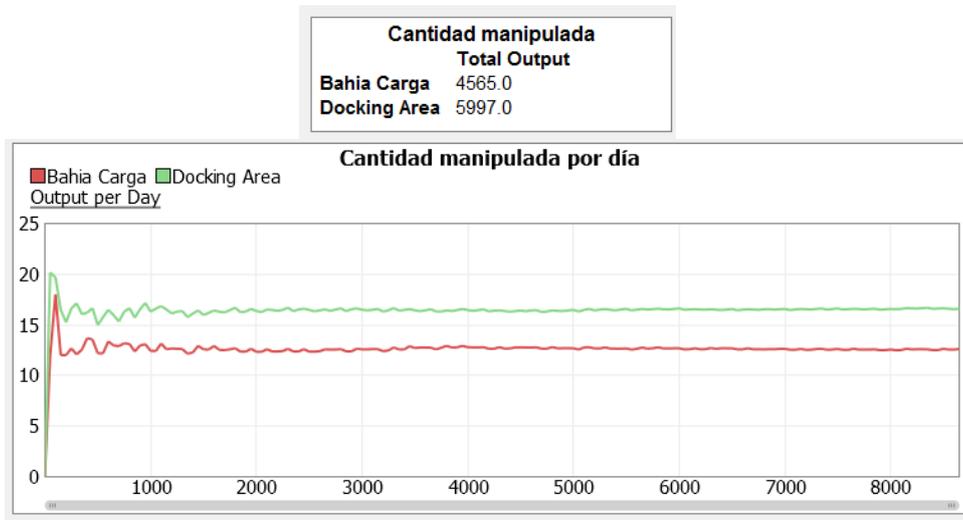
Figura 3 Tiempo de despacho de pedidos

| | Average Staytime | Maximum Staytime |
|----------|------------------|------------------|
| Despacho | 0.1 | 2.9 |

Figura 4 Análisis del estado de los recursos

| | Total | idle | travel empty | travel loaded | offset travel empty | offset travel loaded | loading | unloading |
|--------|--------|-------|--------------|---------------|---------------------|----------------------|---------|-----------|
| Linde1 | 100.0% | 56.3% | 2.1% | 2.1% | 0.6% | 0.3% | 19.3% | 19.3% |
| Linde3 | 100.0% | 67.4% | 5.3% | 4.9% | 0.1% | 0.4% | 11.0% | 11.0% |

Figura 5 Cantidad manipulada



Anexo 6 Estabilización del sistema

Figura 1 WIP Average vs Time



Anexo 7 Desarrollo del *Experiment Run*

Figura 1 Escenarios

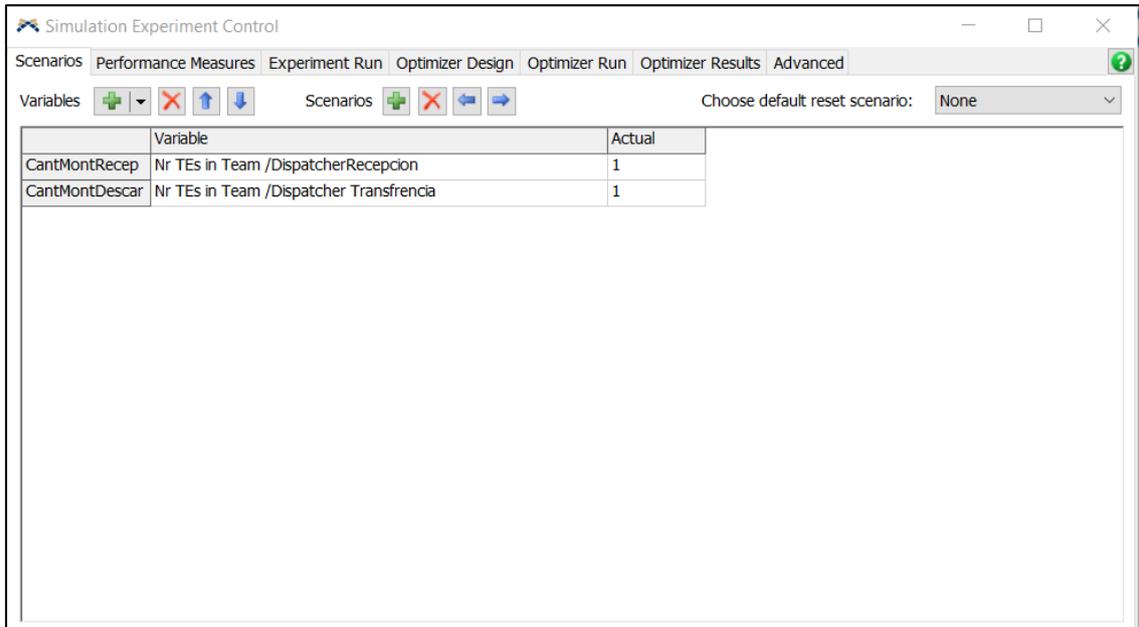


Figura 2 Performance Measures

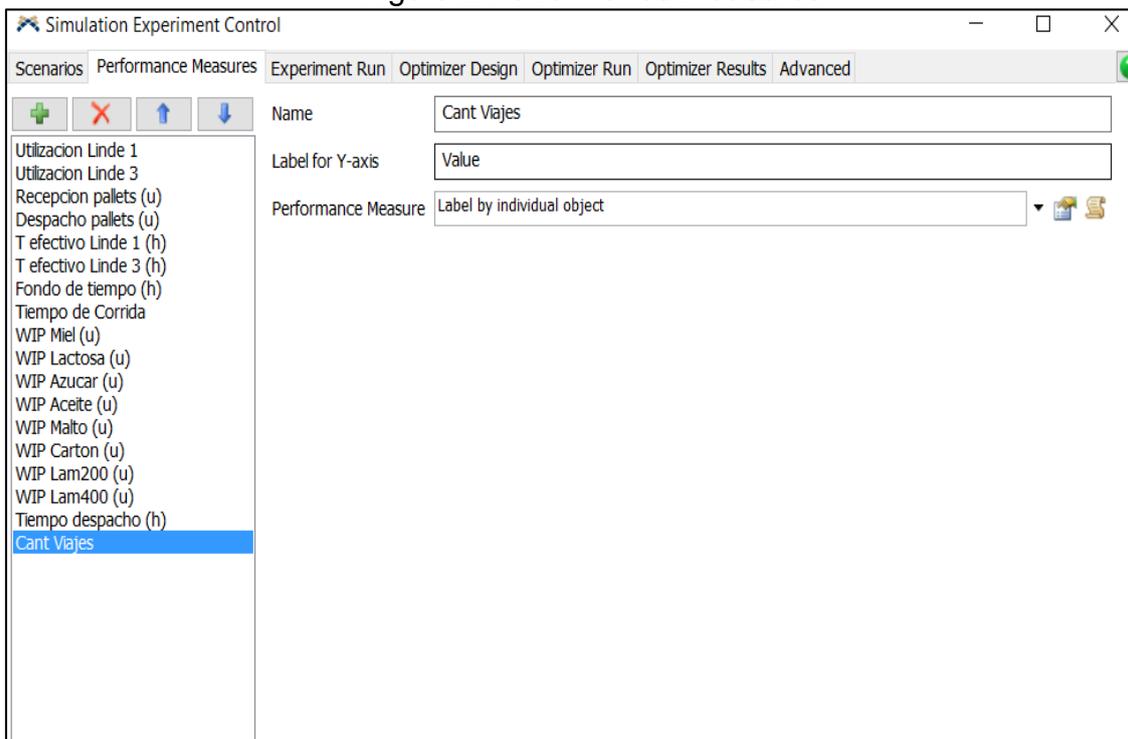


Figura 3 Experiment Run

Simulation Experiment Control

Scenarios Performance Measures Experiment Run Optimizer Design Optimizer Run Optimizer Results Advanced

Reset Experiment

Replications per Scenario

End Time Save dashboard data for each replication

Run Time Save state after each replication

Warmup Restore original state after each replication

Experiment Status

Actual 

Export results after each replication

Anexo 8 Prueba T para una muestra

Figura 1 WIP Miel
Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 9 | | | | | |
|----------|---------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Miel | -,590 | 99 | ,556 | -,07160 | -,3123 | ,1691 |

Figura 2 WIP Lactosa
Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 10 | | | | | |
|-------------|----------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Lactosa | 1,965 | 99 | ,052 | ,71280 | -,0071 | 1,4327 |

Figura 3 WIP Azúcar
Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 39 | | | | | |
|------------|----------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Azucar | -,868 | 99 | ,387 | -,62930 | -2,0678 | ,8092 |

Figura 4 WIP Aceite
Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 24 | | | | | |
|------------|----------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Aceite | -,670 | 99 | ,504 | -,12390 | -,4908 | ,2430 |

Figura 5 WIP Maltodextrina
Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 35.9 | | | | | |
|-----------|------------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Malto | ,273 | 99 | ,785 | ,00870 | -,0544 | ,0718 |

Figura 6 WIP Cartón

Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 124 | | | | | |
|------------|-----------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Carton | 1,373 | 99 | ,173 | 1,07970 | -,4802 | 2,6396 |

Figura 7 WIP Laminado 200

Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 2 | | | | | |
|------------|---------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Lam200 | 13,731 | 99 | ,000 | 2,34400 | 2,0053 | 2,6827 |

Figura 8 WIP Laminado 400

Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 2 | | | | | |
|------------|---------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| WIP Lam400 | 32,103 | 99 | ,000 | 1,21040 | 1,1356 | 1,2852 |

Figura 9 Utilización Linde 1

Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 0.4315 | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Utilizacion Linde 1 | 1,766 | 99 | ,080 | ,00120 | -,0001 | ,0025 |

Figura 10 Utilización Linde 3

Prueba para una muestra

| | Valor de prueba = 0.3270 | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----|------------------|----------------------|---|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Utilizacion Linde 3 | -1,035 | 99 | ,303 | -,00070 | -,0020 | ,0006 |

Anexo 9 Conducción y resultados de los experimentos de optimización para ambas alternativas

ALTERNATIVA 1

Figura 1 Scenarios

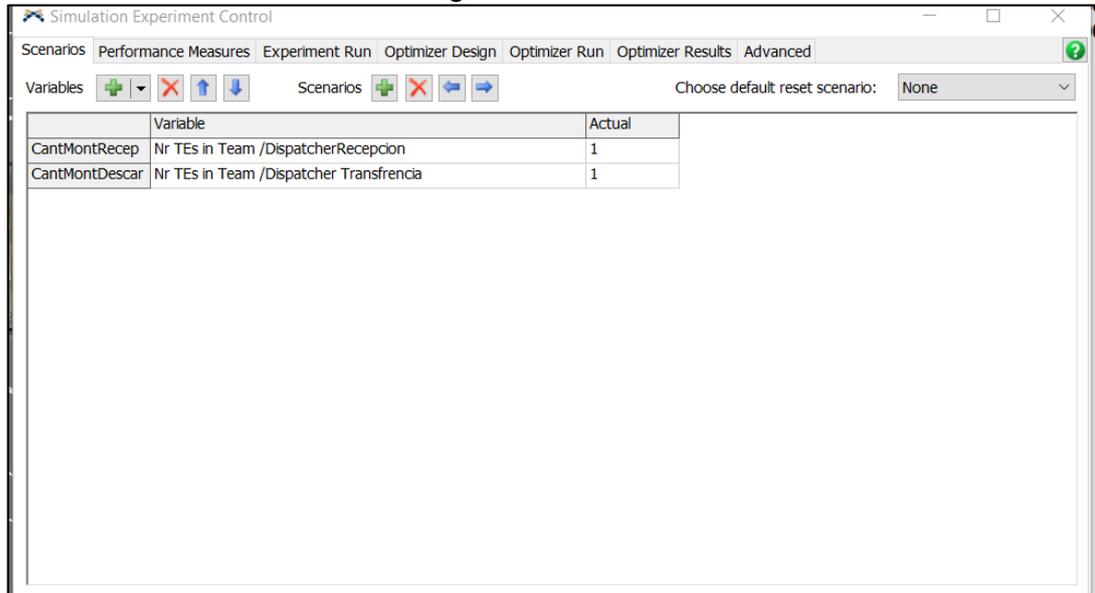


Figura 2 Optimizer Design

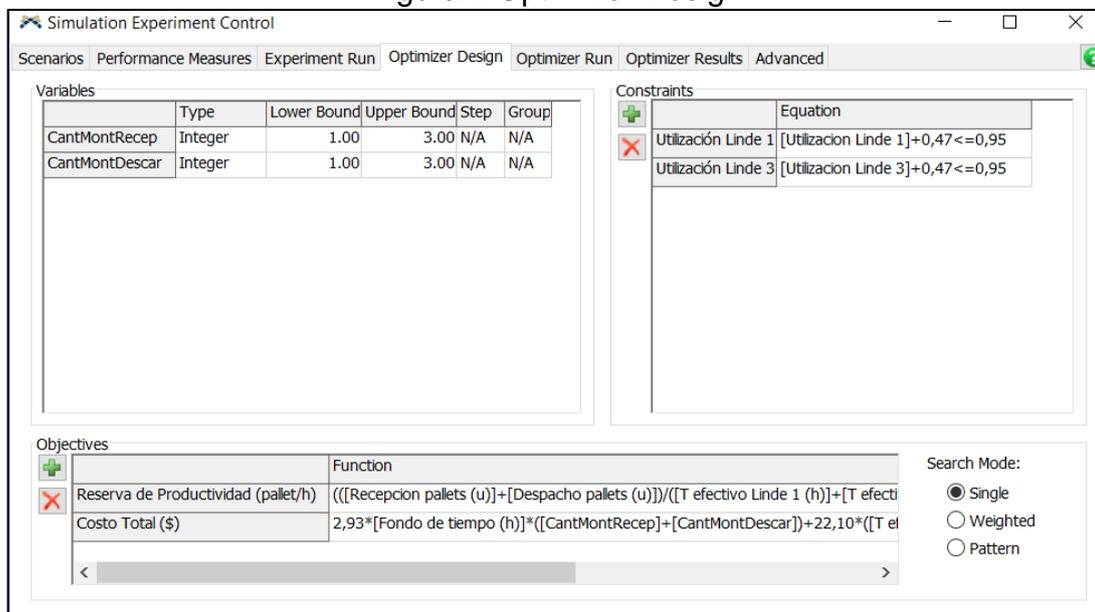


Figura 3 Optimizer run

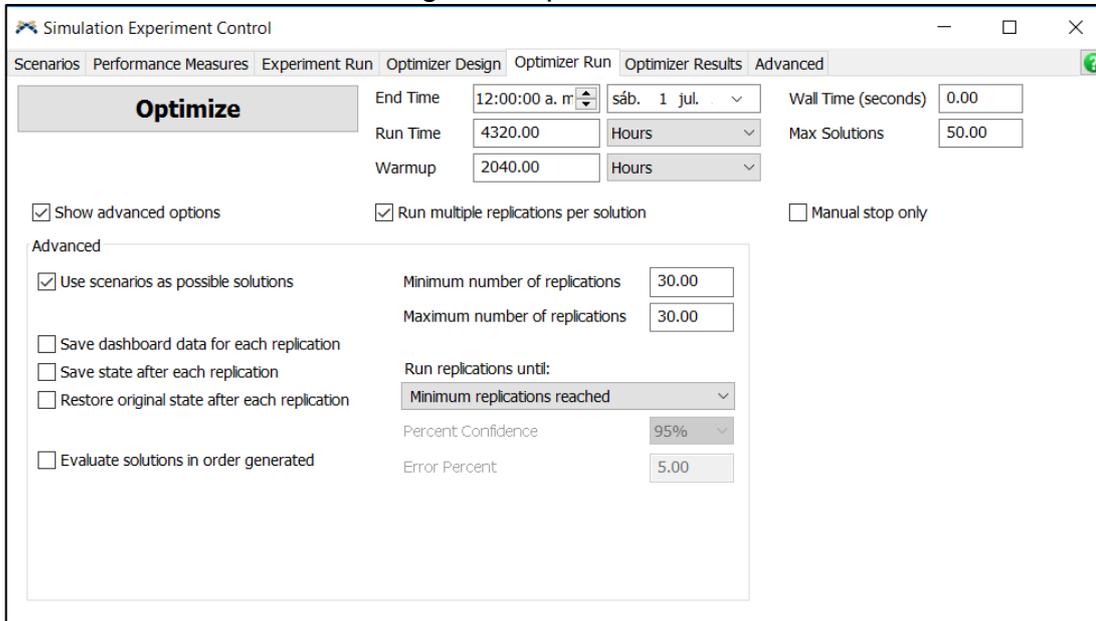


Figura 4 Optimizer results reserva de productividad

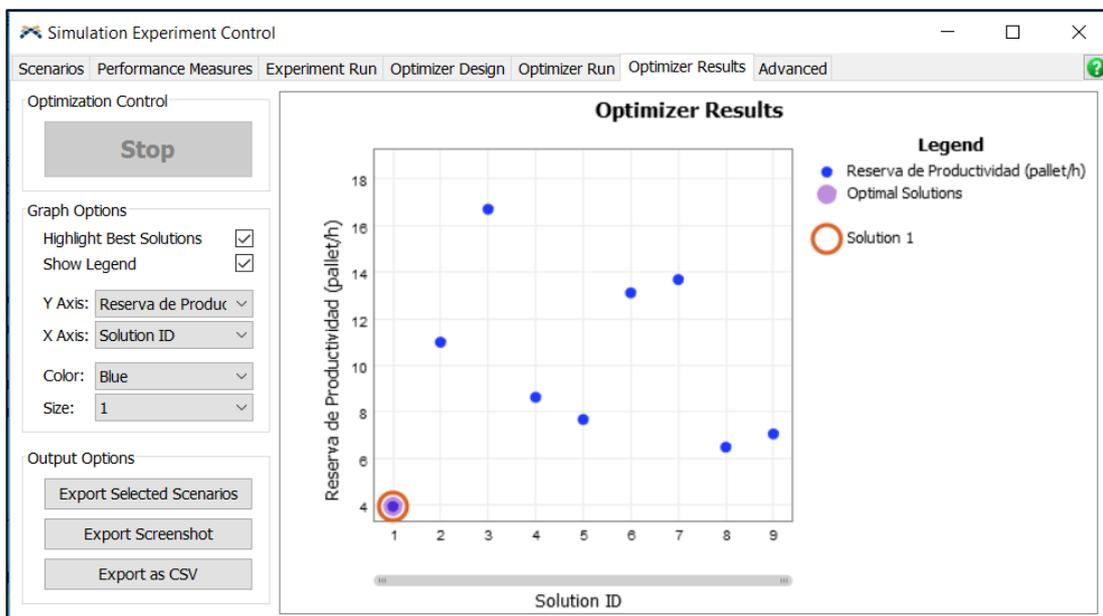
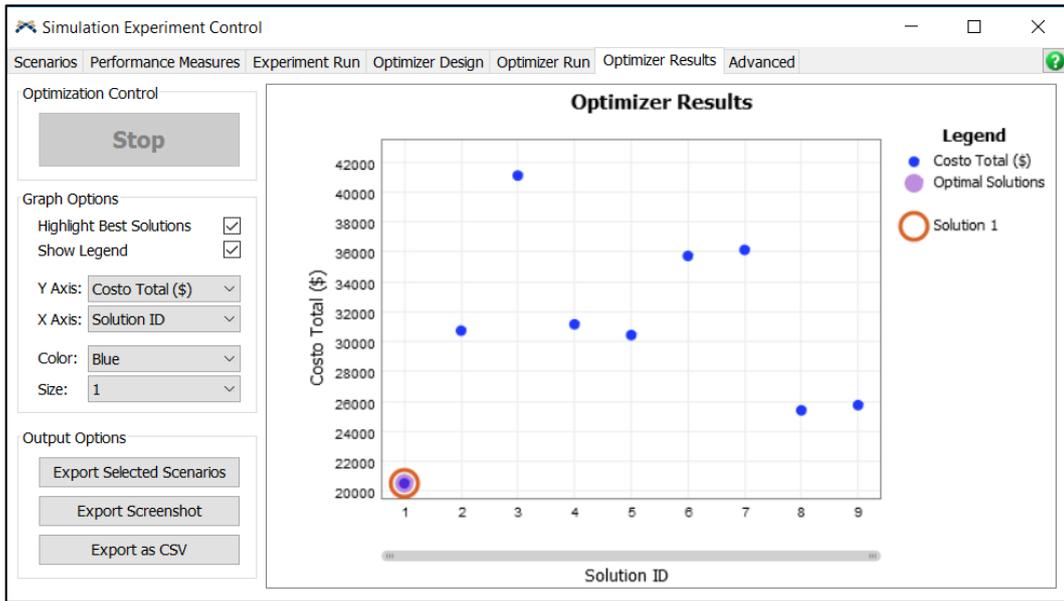


Figura 5 Optimizer results costo total



Alternativa 2

Figura 6 Escenarios

| Variable | Variable | Propuesto |
|----------------|--|-----------|
| CantMontRecep | Nr TEs in Team /DispatcherRecepcion | 1 |
| CantMontDescar | Nr TEs in Team /DispatcherDescarga | 1 |
| CantCamion | Nr TEs in Team /Dispatcher Transfrenca | 1 |

Figura 7 Optimizer design

The screenshot shows the 'Optimizer Design' tab in the Simulation Experiment Control software. It is divided into three main sections: Variables, Constraints, and Objectives.

Variables Table:

| Variable | Type | Lower Bound | Upper Bound | Step | Group |
|----------------|---------|-------------|-------------|------|-------|
| CantMontRecep | Integer | 1.00 | 3.00 | N/A | N/A |
| CantMontDescar | Integer | 1.00 | 3.00 | N/A | N/A |
| CantCamion | Integer | 1.00 | 3.00 | N/A | N/A |

Constraints Table:

| Constraint | Equation |
|---------------------|--|
| Utilización Linde 1 | $[Utilizacion\ Linde\ 1] + 0,47 \leq 0,95$ |
| Utilización Linde 2 | $[Utilizacion\ Linde\ 2] + 0,47 \leq 0,95$ |
| Utilizacion Camión | $[Utilizacion\ Camion] + 0,47 \leq 0,95$ |

Objectives Table:

| Objective | Function |
|-------------------------------------|--|
| Reserva de Productividad (pallet/h) | $(([Recepcion\ pallets\ (u)] + [Despacho\ pallets\ (u)]) / ([T\ efectivo\ Linde\ 1\ (h)] + [T\ efectivo\ Linde\ 2\ (h)]))$ |
| Costo Total (\$) | $2,93 * [Fondo\ de\ tiempo\ (h)] * ([CantMontRecep] + [CantMontDescar]) + 22,10 * ([CantCamion])$ |

Search Mode: Single, Weighted, Pattern

Figura 8 Optimizer run

The screenshot shows the 'Optimizer Run' tab in the Simulation Experiment Control software. It features a large 'Optimize' button and various configuration options for the optimization process.

Optimization Parameters:

- End Time: 12:00:00 a. m. (sáb. 1 jul.)
- Run Time: 4320.00 Hours
- Warmup: 2040.00 Hours
- Wall Time (seconds): 0
- Max Solutions: 50.00

Options:

- Show advanced options
- Run multiple replications per solution
- Manual stop only

Advanced Options:

- Use scenarios as possible solutions
 - Minimum number of replications: 30
 - Maximum number of replications: 30
- Save dashboard data for each replication
- Save state after each replication
- Restore original state after each replication
- Evaluate solutions in order generated
- Run replications until: Minimum replications reached
- Percent Confidence: 95%
- Error Percent: 5.00

Figura 9 Optimizer results reserva de productividad

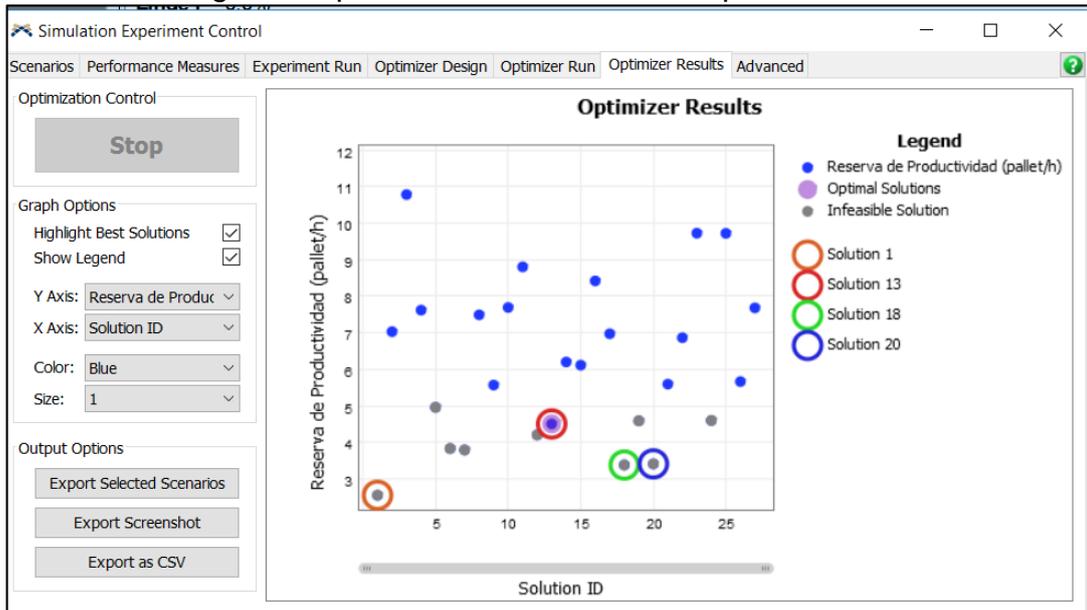
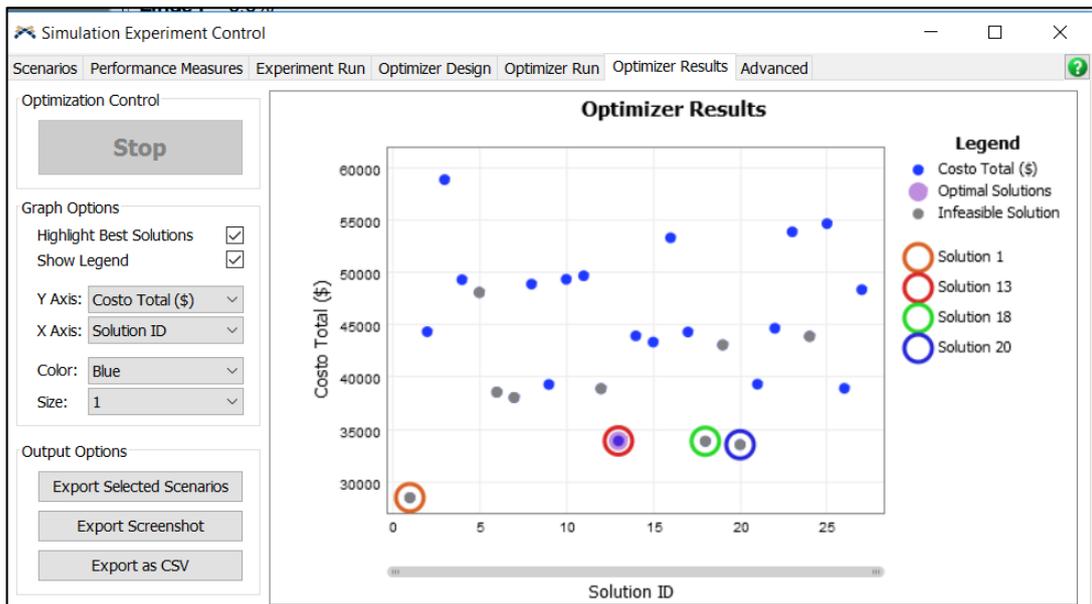


Figura 10 Optimizer results costo total



Anexo 10 Resumen de las variables de desempeño

Tabla 1 Comparación de Alternativas

| Variables de desempeño | UM | Alternativa 1 Solución 1 | Alternativa 2 Solución 1 | Variación (%) | Alternativa 2 Solución 13 | Variación (%) |
|---|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| Promedio de la utilización del recurso en la recepción | (u) | 0,43 | 0,67 | 55,18 | 0,35 | -18,61 |
| Promedio de la utilización del recurso en la transferencia o descarga | (u) | 0,33 | 0,24 | -26,56 | 0,24 | -26,41 |
| Promedio del tiempo para el completamiento de los pedidos | (h) | 2,83 | 3,09 | 9,19 | 1,88 | -33,57 |
| Utilizacion Linde 1 | (u) | 0,43 | 0,67 | 55,18 | 0,35 | -18,61 |
| Utilizacion Linde 3 | (u) | 0,33 | 0,24 | -26,56 | 0,24 | -26,41 |
| Recepcion pallets | (u) | 1214,60 | 1210,60 | -0,33 | 1210,40 | -0,35 |
| Despacho pallets | (u) | 1609,20 | 1601,00 | -0,51 | 1597,90 | -0,70 |
| T efectivo Linde 1 | (h) | 253,70 | 393,71 | 55,19 | 206,50 | -18,60 |
| T efectivo Linde 3 | (h) | 191,41 | 140,59 | -26,55 | 140,88 | -26,40 |
| T efectivo Camión | (h) | | 144,13 | | 144,80 | |
| WIP Miel | (u) | 8,93 | 9,02 | 1,01 | 9,00 | 0,78 |
| WIP Lactosa | (u) | 10,71 | 10,74 | 0,28 | 11,56 | 7,94 |
| WIP Azucar | (u) | 38,40 | 38,60 | 0,52 | 39,50 | 2,86 |
| WIP Aceite | (u) | 23,88 | 23,61 | -1,13 | 23,83 | -0,21 |
| WIP Malto | (u) | 35,91 | 35,58 | -0,93 | 35,75 | -0,45 |
| WIP Carton | (u) | 125,10 | 127,30 | 1,76 | 129,40 | 3,44 |
| WIP Lam200 | (u) | 4,34 | 4,34 | 0,00 | 4,19 | -3,46 |
| WIP Lam400 | (u) | 3,21 | 3,14 | -2,09 | 3,06 | -4,58 |
| Tiempo despacho | (h) | 2,83 | 3,09 | 8,93 | 1,88 | -33,62 |
| Cant Viajes | (u) | 1609,20 | 295,46 | -81,64 | 295,27 | -81,65 |
| Funciones objetivo | | | | | | |
| Reserva de productividad | (pallet/h) | 3,93 | 2,55 | -35,11 | 4,50 | 14,50 |
| Costo total de la alternativa | (\$) | 20532,78 | 28475,42 | 38,68 | 33897,20 | 65,09 |

Anexo 11 ANNOVA de un factor para las variables de desempeño

Tabla 1 Pruebas de normalidad Kolmogorov - Smirnov y Shapiro – Wilk

| | | Pruebas de normalidad | | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------------|-----|-------------------|--------------|-----|------|
| Alternativa-Solución | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Utilización Recepción | Alternativa 1 Solución 1 | ,064 | 100 | ,200 [*] | ,988 | 100 | ,483 |
| | Alternativa 2 Solución 1 | ,061 | 100 | ,200 [*] | ,975 | 100 | ,055 |
| | Alternativa 2 Solución 13 | ,062 | 100 | ,200 [*] | ,988 | 100 | ,543 |
| Utilización Transferencia y/o Descarga | Alternativa 1 Solución 1 | ,064 | 100 | ,200 [*] | ,991 | 100 | ,745 |
| | Alternativa 2 Solución 1 | ,059 | 100 | ,200 [*] | ,981 | 100 | ,158 |
| | Alternativa 2 Solución 13 | ,045 | 100 | ,200 [*] | ,987 | 100 | ,422 |
| Tiempo de despacho | Alternativa 1 Solución 1 | ,128 | 100 | ,000 | ,967 | 100 | ,014 |
| | Alternativa 2 Solución 1 | ,175 | 100 | ,000 | ,809 | 100 | ,000 |
| | Alternativa 2 Solución 13 | ,120 | 100 | ,001 | ,917 | 100 | ,000 |

Tabla 2 Test de Levene para pruebas de igualdad de varianza

| Prueba de homogeneidad de varianzas | | | | |
|--|-----------------------|-----|-----|------|
| | Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| Utilización Recepción | 8,779 | 2 | 297 | ,000 |
| Utilización Transferencia y/o Descarga | 4,079 | 2 | 297 | ,018 |
| Tiempo de despacho | 30,180 | 2 | 297 | ,000 |

Tabla 3 Pruebas robustas de igualdad de medias Brown-Forsythe y Welch

| Pruebas robustas de igualdad de las medias | | | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----|---------|------|
| | | Estadístico ^a | gl1 | gl2 | Sig. |
| Utilización Recepción | Welch | 31550,133 | 2 | 189,513 | ,000 |
| | Brown-Forsythe | 39657,674 | 2 | 262,657 | ,000 |
| Utilización Transferencia y/o Descarga | Welch | 8371,952 | 2 | 195,446 | ,000 |
| | Brown-Forsythe | 10000,525 | 2 | 276,786 | ,000 |
| Tiempo de despacho | Welch | 1066,021 | 2 | 183,477 | ,000 |
| | Brown-Forsythe | 585,810 | 2 | 161,745 | ,000 |

Figura 1 Gráfico de las medias para la utilización recepciones

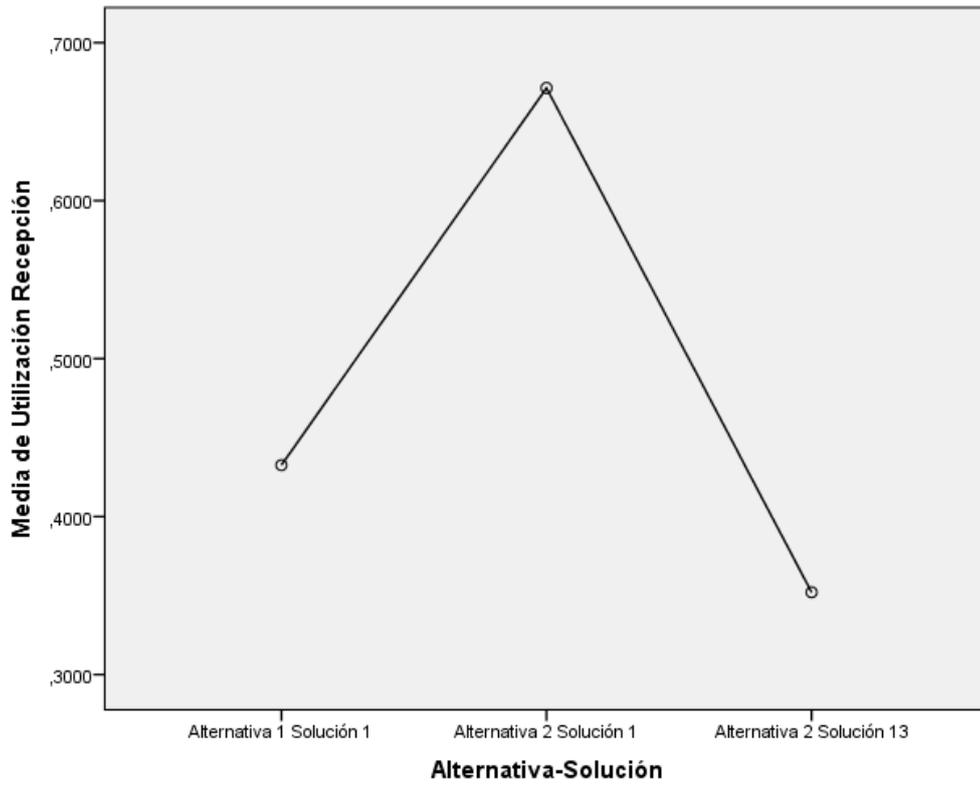


Figura 2 Gráfico de las medias para la transferencia y/o descarga

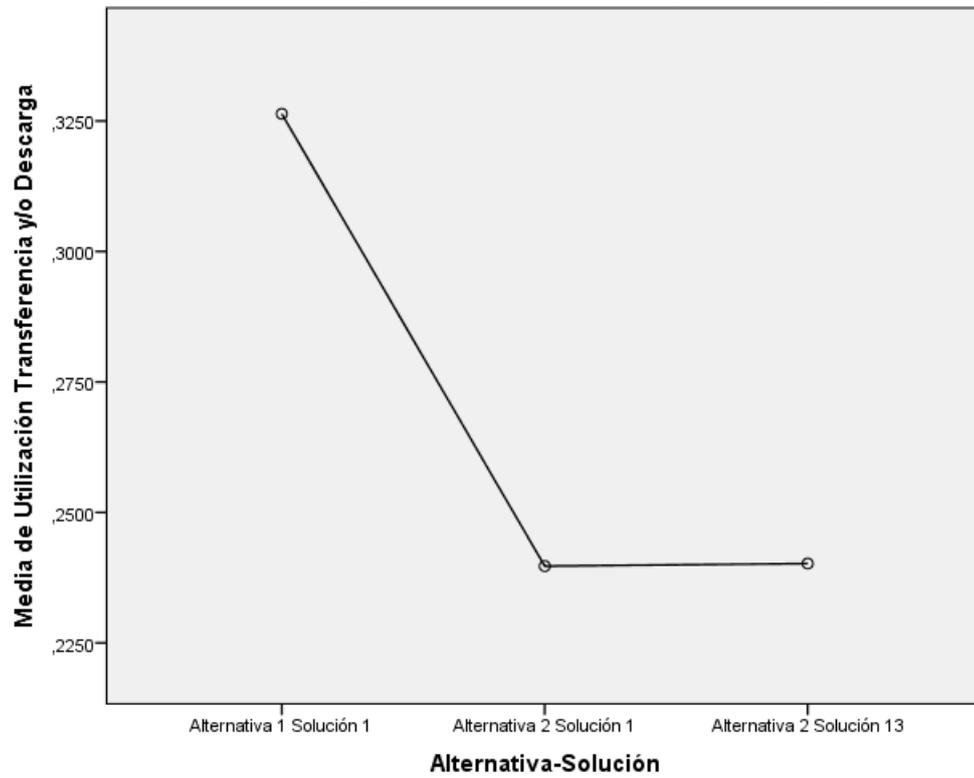
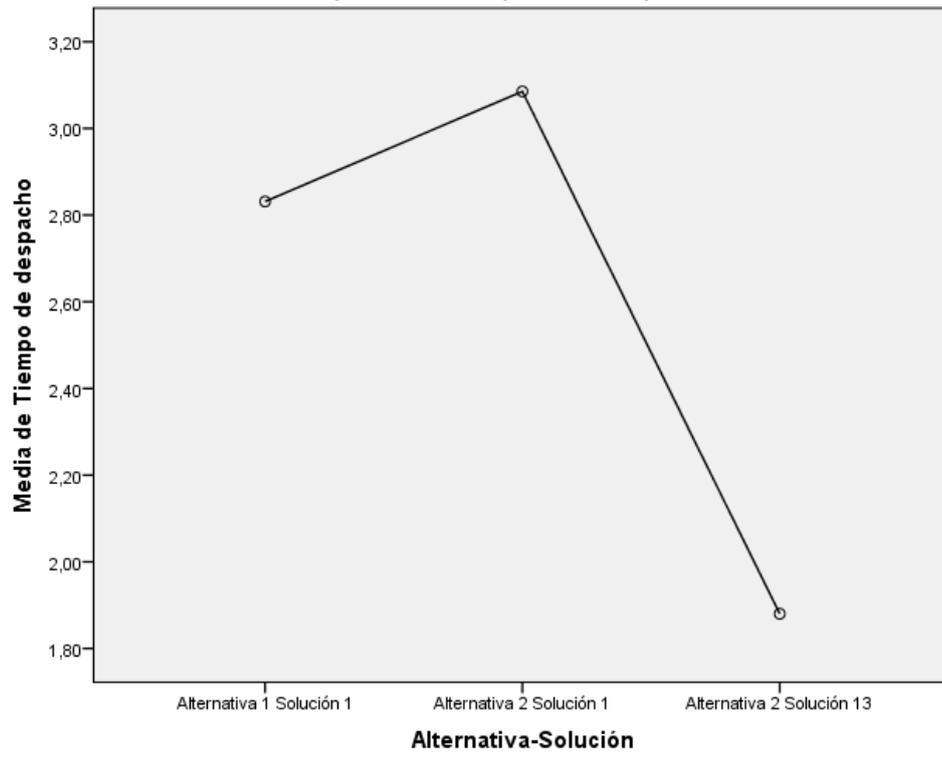


Figura 3 Gráfico de las medias para el tiempo de despacho



Anexo 12 Comparación de resultados para las funciones objetivos

Tabla 1 Resumen de los resultados

| Alternativas | Solución | Variable | \bar{X} | S |
|--------------|----------|----------|-----------|--------|
| 1 | 1 | RP | 3,93 | 0,0382 |
| | | CT | 20532,78 | 137,98 |
| 2 | 1 | RP | 2,55 | 0,0387 |
| | | CT | 28475,42 | 278,77 |
| | 13 | RP | 4,50 | 0,0733 |
| | | CT | 33897,20 | 367,87 |

Tabla 2 Pruebas F para la igualdad de varianza

| Cálculo | $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2; H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2;$ Estadístico $F = \frac{S_1^2}{S_0^2}$ Región Crítica: $F < F_{1-\frac{\alpha}{2}; n_1-1; n_2-1}$ o $F > F_{\frac{\alpha}{2}; n_1-1; n_2-1}$ $F_{0,975; 30-1; 30-1} = 0,48$ $F_{0,025; 30-1; 30-1} = 2,10$ | |
|---|--|--|
| | Costo total | Reserva de productividad |
| Alternativa 1 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 1 | $F = \frac{137,98}{278,77} = 0,48$ Hay igualdad | $F = \frac{0,0382}{0,0387} = 0,99$ Hay Igualdad |
| Alternativa 2 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 13 | $F = \frac{278,77}{367,87} = 0,76$ Hay igualdad | $F = \frac{0,0387}{0,0733} = 0,53$ Hay igualdad |
| Alternativa 1 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 13 | $F = \frac{137,98}{367,87} = 0,38$ No hay igualdad | $F = \frac{0,0382}{0,0733} = 0,52$ Hay igualdad |

Tabla 3 Prueba T para igualdad de varianza

| Fórmulas | $\sigma_1 = \sigma_2$ pero desconocidas | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ y desconocidas |
|---|---|---|
| | | $t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{sp \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$ $v = n_1 + n_2 - 2$ $S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$ |
| Alternativas | Variable Costo Total | Variable Reserva de productividad |
| Alternativa 1 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 1 | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$ $t_{0,05; 58} = 1,67$ $Sp = 219,94$ $t = -139,86$ $t < -t_\alpha$ $-139,86 < -1,67$ Si hay evidencia que $\mu_1 < \mu_2$ | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$ $t_{0,05; 58} = 1,67$ $Sp = 0,04$ $t = -139$ $t > t_\alpha$ $139,86 > 1,67$ Si hay evidencia que $\mu_1 > \mu_2$ |
| Alternativa 2 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 13 | $H_0: \mu_2 - \mu_3 = 0$ $H_1: \mu_2 - \mu_3 < 0$ $Sp = 326,37$ $t = -64,34$ $t < -t_\alpha$ $-64 < -1,67$ Si hay evidencia que $\mu_2 < \mu_3$ | $H_0: \mu_2 - \mu_3 = 0$ $H_1: \mu_2 - \mu_3 < 0$ $Sp = 0,06$ $t = -128,85$ $t < -t_\alpha$ $-128,85 < -1,67$ Si hay evidencia que $\mu_2 < \mu_3$ |

| | | |
|--|---|---|
| <p style="text-align: center;">Alternativa 1 solución 1 Vs Alternativa 2 solución 13</p> | <p style="text-align: center;">$H_0: \mu_1 - \mu_3 = 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_3 < 0$</p> $v = \frac{(634,62 + 4510,94)^2}{13887,50 + 701676,58} = 37$ $t' = \frac{(20532,78 - 33897,20) - 0}{\sqrt{137,98^2/30 + 367,87^2/30}} = -186,31$ <p style="text-align: center;">$t' < -t_\alpha$ $-186,31 < -1,67$ Si hay evidencia que $\mu_1 < \mu_3$</p> | <p style="text-align: center;">$H_0: \mu_2 - \mu_3 = 0$ $H_1: \mu_2 - \mu_3 < 0$ $S_p = 0,06$ $t = -37,77$ $t < -t_\alpha$ $-37,77 < -1,67$ Si hay evidencia que $\mu_2 < \mu_3$</p> |
|--|---|---|