

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA PARA UN
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN. CASO CENTRO DE
DISTRIBUCIÓN GOODYEAR.**

Por

Alejandro Enrique Saavedra Gutiérrez

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Enrique Fajó Briceño

Septiembre, 2016

Contenido

Índice de Ilustraciones	7
Índice de Ecuaciones.....	8
Índice de Tablas	9
Índice de Gráficos.....	11
1. CAPITULO: Antecedentes Generales	13
1.1. Introducción y antecedentes	14
1.2. Origen del tema	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general:	15
1.3.2. Objetivos específicos:	15
1.4. Metodología.....	15
1.4.1. Planificación:.....	15
1.4.2. Análisis:.....	15
1.4.3. Desarrollo:.....	16
1.4.4. Validación:	16
1.4.5. Conclusiones:	16
2. CAPITULO: Marco Teórico.....	17
2.1. Modelos.....	18
2.1.1. Construcción de modelos y toma de decisiones.....	18
2.2. Administración de la capacidad	20
2.2.1. Teoría de las restricciones:	21
2.3. Planificación de operaciones	22
2.3.1. Estrategias en la Planificación Agregada	24
2.4. Programación de operaciones	25
2.4.1. Secuenciación de tareas.....	26
2.5. Modelos de pronóstico.....	27

2.5.1.	Horizonte de planeación:.....	27
2.5.2.	Patrones de datos en series de tiempo:	27
2.5.3.	Tendencias:	27
2.5.4.	Patrones estacionales:.....	28
2.5.5.	Patrones cíclicos:.....	28
2.5.6.	Variación aleatoria:	29
2.5.7.	Variación irregular:.....	29
2.5.8.	Errores en los pronósticos:.....	29
2.5.8.1.	Error cuadrático medio (MSE):	29
2.5.8.2.	Desviación absoluta media (MAD):.....	29
2.5.8.3.	Error de porcentaje absoluto medio (MAPE):.....	30
2.5.9.	Modelos para la elaboración de pronósticos estadísticos.....	30
2.5.9.1.	Promedio móvil simple (MA):.....	30
2.5.9.2.	Promedio móvil ponderado.....	31
2.5.9.3.	Suavizamiento exponencial simple (SES):.....	31
2.6.	Simulación.....	31
2.6.1.	Tipos de simulación	32
2.6.1.1.	Modelos continuos.....	32
2.6.1.2.	Modelos discretos.....	32
2.6.1.2.1.	Elementos de la simulación de eventos discretos.	32
2.6.2.	Definición genérica de eventos.	32
2.6.3.	Muestreo de distribuciones de probabilidad.	33
2.7.	Casos prácticos relacionados	33
2.7.1.	Modelo de planeación agregada para las prestaciones médicas en el Hospital Clínico Herminda Martin de Chillan.	33
2.7.2.	Modelo matemático de planificación agregada de la producción y gestión del proceso de canje de cilindros en GASCO S.A.....	33
3.	CAPITULO: Modelo Propuesto.....	35

3.1.	Esquema del Modelo	36
3.2.	Análisis de procesos.....	36
3.2.1.	Captura de Datos.....	37
3.3.	Capacidad de Operación.....	37
3.3.1.	Variables y parámetros del modelo.....	37
3.3.2.	Modelo matemático:.....	38
3.3.3.	Construcción del modelo:.....	39
3.4.	Pronósticos:.....	39
3.5.	Planificación:	40
4.	CAPITULO: Caso de estudio: Centro de Distribución Goodyear	42
4.1.	La Empresa:.....	43
4.1.1.	Logística en GYR.....	44
4.1.1.1.	Planificación	45
4.1.1.2.	Comercio exterior.....	45
4.1.1.3.	Transporte.....	45
4.1.1.4.	Operaciones Logísticas en el Centro de Distribución GYR	46
4.2.	Análisis de los procesos.....	48
4.2.1.	Recepción de Importaciones.....	48
4.2.1.1.	Tiempos de operación para la descarga de importados.....	52
4.2.1.2.	Recursos requeridos para la operación.....	52
4.2.2.	Recepción de la Producción Local.....	52
4.2.2.1.	Tiempos de operación para recepción de producción.....	54
4.2.3.	Despacho de Exportación.....	54
4.2.4.	Despacho Local	64
4.3.	Pronósticos.....	65
4.3.1.	Importación	65
4.3.1.1.	Unidades Importadas.....	65

4.3.1.2.	Racks de neumáticos de pasajeros.	66
4.3.1.3.	Importación neumáticos de camión.	67
4.3.1.4.	Importación neumáticos OTR.	67
4.3.1.5.	Pronóstico de descargas.	68
4.3.2.	Pronóstico de Ingreso de Producción.....	69
4.3.2.1.	Ingreso mensual de racks.....	69
4.3.2.2.	Ingreso mensual de producción.....	69
4.3.3.	Pronósticos de Exportación:.....	70
4.3.3.1.	Unidades de exportación despachadas.	70
4.3.3.2.	Contenedores de exportación.....	71
4.3.4.	Pronóstico Despachos Locales.	71
4.3.4.1.	Kilos de unidades despachadas.	71
4.3.4.2.	Despachos realizados.	72
4.3.5.	Resumen de pronósticos:.....	72
4.4.	Modelo, programación lineal.....	73
4.4.1.	Variables y parámetros del modelo:	73
4.4.2.	Información pertinente para la confección del modelo.....	74
4.4.3.	Modelo matemático:.....	74
4.4.4.	Construcción del modelo.....	75
4.4.4.1.	Supuestos.	75
4.4.4.2.	Variables de decisión.....	77
4.4.4.3.	Restricciones.....	80
4.4.4.4.	Previsión y consideraciones del modelo.	80
4.4.5.	Resultados del modelo.....	81
4.4.6.	Interpretación de los resultados	82
4.5.	Impacto Económico	83
5.	CAPITULO: Conclusiones y Bibliografía.....	86

5.1.	Conclusiones	87
5.2.	Bibliografía	89

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 La construcción de un modelo, extraído de “De La Fuente, 2009”	19
Ilustración 2 Papel del juicio en la construcción de modelos	20
Ilustración 3 Marco de referencia para la planeación de la administración de recursos de productos y servicios (Collier & Evans, 2009)	23
Ilustración 4 Tendencias en los pronósticos, elaboración propia.....	28
Ilustración 5 Esquema del modelo, elaboración propia.	36
Ilustración 6 Organigrama Logística.....	44
Ilustración 7 Organigrama COMEX.....	45
Ilustración 8 Organigrama Área Transporte	46
Ilustración 9 Esquema del Centro de Distribución GYR	46
Ilustración 10 Organigrama Operador Logístico.....	48
Ilustración 11 Diagrama de flujo para la recepción de productos importados.....	49
Ilustración 12 Proceso general de exportación, elaboración propia.....	56
Ilustración 13 Proceso de carga de contenedores, elaboración propia	57
Ilustración 15 OptQuest, Objetivo a optimizar	80

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Error cuadrático medio	29
Ecuación 2 Desviación absoluta media.....	30
Ecuación 3 Error de porcentaje absoluto medio.....	30
Ecuación 4 Promedio móvil simple	30
Ecuación 5 Promedio móvil ponderado.....	31
Ecuación 6 Suavizamiento exponencial simple.....	31
Ecuación 7 Función a maximizar	38
Ecuación 8 Restricción de Demanda	39
Ecuación 9 Restricción de personal.....	39
Ecuación 10 Restricción de recursos	39
Ecuación 11 Ecuación a optimizar	74
Ecuación 12 Restricciones de demanda	74
Ecuación 13 Restricciones de operadores	75
Ecuación 14 Restricciones de recursos	75
Ecuación 15 Restricción tipo del modelo a optimizar	80

Índice de Tablas

Tabla 1 Índices para tipos de procesos.....	37
Tabla 2 Variables de decisión para el modelo.....	38
Tabla 3 Parámetros para el modelo.....	38
Tabla 4 Operarios, tiempos y recursos para la descarga de importados.....	52
Tabla 5 Operadores, tiempos y recursos para la recepción de producción.....	54
Tabla 6 Operaciones, tiempos y recursos para el despacho de exportación.....	61
Tabla 7 Operaciones, tiempos y recursos para el despacho local.....	65
Tabla 8 Estadísticas para datos históricos de recepción total de importados.....	66
Tabla 9 Comparación mejores métodos de pronósticos para la recepción de importados.	66
Tabla 10 Valores obtenidos para U de Theil y Durbin-Watson Unidades Importadas.....	66
Tabla 11 Pronóstico para la recepción de importados.....	66
Tabla 12 Estadística descriptiva para la cantidad de racks importados.....	66
Tabla 13 Valores de U de Theil y Durbin-Watson.....	67
Tabla 14 Valores pronosticados para la cantidad de racks importados racks neumáticos de pasajeros.....	67
Tabla 15 Estadística descriptiva para la cantidad de neumáticos de camión importados.....	67
Tabla 16 Valores pronosticados para la cantidad de neumáticos de camión importados.....	67
Tabla 17 Estadística descriptiva para el peso de neumáticos OTR recibidos.....	68
Tabla 18 Valores pronosticados para el peso de neumáticos OTR recibidos.....	68
Tabla 19 Estadística descriptiva para las descargas realizadas.....	68
Tabla 20 Valores pronosticados para la descarga de importados.....	68
Tabla 21 Estadística descriptiva para la cantidad de racks recibidos de producción.....	69
Tabla 22 Valores pronosticados para la cantidad de racks recibidos de producción.....	69
Tabla 23 Estadística descriptiva para la cantidad de unidades acreditadas como producción.....	69
Tabla 24 Valores pronosticados para la cantidad de unidades acreditadas como producción.....	70
Tabla 25 Estadística descriptiva para la cantidad de unidades exportadas.....	70
Tabla 26 Valores pronosticados para la cantidad de unidades exportadas.....	70
Tabla 27 Peso estimado a exportar.....	70
Tabla 28 Estadística descriptiva para la cantidad de contenedores exportados.....	71
Tabla 29 Valores pronosticados para el despacho de contenedores de exportación.....	71

Tabla 30 Estadística descriptiva para el peso de los neumáticos despachados localmente	72
Tabla 31 Valores pronosticados para el peso de neumáticos despachados en el mercado local.....	72
Tabla 32 Estadística descriptiva para los camiones despachados localmente.....	72
Tabla 33 Valores pronosticados para los camiones despachados en el mercado local....	72
Tabla 34 Resumen pronósticos de operación.....	73
Tabla 35 Elementos a utilizaren la elaboración del modelo.....	73
Tabla 36 Variables de decisión para el modelo.....	73
Tabla 37 Parámetros para el modelo	74
Tabla 38 Preferencias de Simulación.....	81
Tabla 39 Resultados Obtenidos.....	81
Tabla 40 Restricciones del Modelo	81
Tabla 41 Utilización de recursos	82

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Recepción de Importados, valores mensuales.	50
Gráfico 2 Recepción mensual de racks con neumáticos de pasajeros.	50
Gráfico 3 Neumáticos de camión descargados mensualmente en el centro de distribución.	51
Gráfico 4 Recepción mensual de neumáticos OTR en toneladas.....	51
Gráfico 5 Descargas de importados realizadas en el transcurso de un mes.	52
Gráfico 6 Ingreso de producción mensual.....	53
Gráfico 7 Ingreso de racks desde conveyor	53
Gráfico 8 Distribución de tiempos entre recepción de racks.....	54
Gráfico 9 Unidades de Exportación Despachadas por mes.	59
Gráfico 10 Contenedores Despachados por mes.....	60
Gráfico 11 Promedio de contenedores despachados por día.....	60
Gráfico 12 Exportación de neumáticos mensual, considerando el peso.....	61
Gráfico 13 Distribución del tiempo de un Administrativo	62
Gráfico 14 Tiempo de carga por rack y cantidad de racks a cargar.....	62
Gráfico 15 Tiempo para el líder.....	63
Gráfico 16 Tiempos de operación para los operadores de grúas	63
Gráfico 17 Despacho local de neumáticos a nivel mensual en unidades	64
Gráfico 18 Despacho local de neumáticos en toneladas despachadas.....	64
Gráfico 19 Sobre Estadía de Contenedores (MM\$)	84
Gráfico 20 Gastos por contenedores NO cargados.....	85

Resumen

La planificación agregada de la producción es un desafío constante en las empresas nacionales. El rubro logístico y con mayor razón los centros de distribución representan un gastos que no agrega valor al producto final, por lo que resulta esencial que estos gastos sean lo más bajo posible. Con lo anterior las operaciones de un centro de distribución se ven obligadas a planificar su capacidad en base a la demanda pronosticada, a la cantidad operaciones disponibles y al uso de recursos adecuados.

En esta memoria se desarrolla una herramienta que permite obtener resultados en base a los pronósticos de demanda, y a la capacidad de la empresa. Para ello se ha desarrollado un modelo matemático, se han identificado grupos de operaciones y variables críticas, las cuales se aplican en temas de investigación y administración de operaciones.

El modelo desarrollado busca maximizar las operaciones con los recursos disponibles en base a los requerimientos mensuales. De esta forma todos los requerimientos de un periodo en particular deben ser cumplidos, de esta forma se logra disminuir los costos adicionales de la operación por falta de recursos o mala planificación de las tareas.

Keywords: Administración de Operaciones, Investigación de Operaciones; Planificación Agregada; Operaciones; Pronósticos; Logística.

1. CAPITULO:
Antecedentes Generales

1.1. Introducción y antecedentes

Poder controlar los procesos es fundamental en la operación de una empresa, para asegurar la calidad y confiabilidad que entrega en sus productos o servicios, tanto a clientes internos como externos. Es por esta razón que se hace necesario planificar las operaciones que realizan, y así garantizar que se cuenta con los recursos necesarios para el correcto cumplimiento de los objetivos establecidos.

Esta memoria se centra en la planificación de las operaciones que se realizan en un centro de distribución, buscando obtener una herramienta que permita estimar los costos operacionales en el corto y mediano plazo. Así también determinar la cantidad de recursos necesarios para cumplir con los requerimientos de los clientes de acuerdo a las capacidades de la empresa.

Para el diseño de la herramienta se estudiará el caso del centro de distribución de Goodyear, el cual cuenta con un proceso altamente dedicado a la exportación de sus productos. Actualmente la empresa se encuentra en un proceso de especialización y reducción de costos, lo cual entrega mayor importancia a la correcta planificación de los recursos disponibles, de modo de no incurrir en costos innecesarios sino más bien hacer los procesos de una forma eficiente.

La información requerida para la construcción del modelo será entregada por los profesionales que realizan sus labores en la Gerencia de Logística de GYR, por medio de bases de datos y entrevistas al personal. Finalmente se utilizará un software especializado con la finalidad de obtener una solución óptima al modelo matemático propuesto.

Como conclusión se espera obtener resultados favorables respecto a la factibilidad de construir modelos de planificación de mediano plazo que permitan estimar los costos operacionales y determinar una cantidad óptima de trabajadores.

1.2. Origen del tema

El tema de la presente memoria nace debido a la motivación de poder generar un modelo que permita planificar las operaciones de un centro de distribución entregando a demás información útil, como la capacidad de la operación con los recursos disponibles. Por otra

parte se busca determinar las brechas que existe en la operación y que generan costos extra en la operación

1.3. Objetivos

Los objetivos para el desarrollo del presente trabajo de título son los siguientes:

1.3.1. Objetivo general:

Elaborar un modelo que permita planificar las operaciones dentro de un centro de distribución.

1.3.2. Objetivos específicos:

- a) Revisar la bibliografía disponible respecto a la elaboración de modelos de planificación agregada.
- b) Analizar las operaciones que se realizan dentro de un centro de distribución.
- c) Desarrollar un modelo de planificación agregada para las operaciones de un centro de distribución.
- d) Analizar y comparar el desempeño del modelo de planificación de operaciones propuesto versus la situación actual del caso en estudio.
- e) Evaluar el impacto económico que genera el modelo a la operación.

1.4. Metodología

1.4.1. Planificación:

En primer lugar se realizará una revisión bibliográfica con el objetivo de adquirir una base teórica, que permita el estudio en profundidad del tema tratado en esta memoria. Se revisarán libros, publicaciones y otras memorias, con los cuales se pretende obtener un conocimiento actualizado de la forma de manejar esta problemática. Por otro lado periódicamente se realizarán reuniones con el Coordinador Logístico y el Gerente de Logística de la empresa, con la finalidad de recabar toda la información necesaria para el desarrollo del trabajo.

1.4.2. Análisis:

Para poder seleccionar los modelos a utilizar en el desarrollo de este trabajo se debe, en primer lugar, establecer la situación actual en la que se encuentra la empresa, para ello se

analizarán los procesos operativos que se realizan dentro del centro de distribución (CD) y los datos históricos de exportación.

Una vez que se han estudiado los modelos existentes para la planificación agregada, se procederá a elegir el que se adecúe de mejor forma a las operaciones de la empresa, con la finalidad de obtener un mejor resultado.

1.4.3. Desarrollo:

Una vez que se ha seleccionado el modelo que mejor se adapta a los requerimientos de las operaciones en estudio, se continuará con el desarrollo de este para obtener los resultados esperados.

Para el desarrollo del modelo se utilizarán series de tiempo, ya que es una de las metodologías más recomendadas para abordar problemas de este tipo. Una vez definido el modelo se procederá a optimizarlo utilizando software especializado.

1.4.4. Validación:

La validación del modelo propuesto se realizará comparando la realidad de la empresa versus los resultados obtenidos.

1.4.5. Conclusiones:

Para finalizar se presentarán los resultados obtenidos por el modelo elaborado con los análisis correspondientes, propuestas de mejora y trabajo que queda por hacer.

2. CAPITULO

Marco Teórico

2.1. Modelos

“Un modelo es un conjunto de premisas que caracteriza una situación de toma de decisiones, que permite formular conclusiones acerca de la situación real por medio de algún tipo de análisis.” (Collier & Evans, 2009)

Los métodos cuantitativos facilitan muchas de las decisiones en la administración de operaciones, estos generalmente se encuentran basados en modelos matemáticos. Los modelos se pueden clasificar en:

Modelos físicos, estos se diferencian de los demás tipos debido a que son tangibles lo cual los hace muy fáciles de comprender, sin embargo el manejo de estos, su manipulación y modificación es bastante difícil.

Modelos análogos, estos modelos son una representación gráfica de lo que se desea modelar, por ejemplo los mapas de carreteras.

Modelos simbólicos, en estos modelos todos los conceptos están representados por variables cuantitativamente definidas y todas las relaciones tienen una representación matemática, a pesar de que son los más difíciles de comprender, son los más flexibles a la hora de realizar modificaciones.

Algunas de las ventajas de implementar modelos en una organización son:

- Obligan a definir explícitamente los objetivos.
- Permiten identificar y registrar los tipos de decisiones que influyen en dicho objetivo.
- Ayudan a identificar cuidadosamente las variables que interfieren en el sistema.
- Permiten reconocer las restricciones a las cuales está sometido el sistema.

2.1.1. Construcción de modelos y toma de decisiones.

Los modelos simbólicos pueden ser clasificados a partir de las dimensiones ilustradas a continuación. Los lados izquierdo y derecho se refieren a la construcción de modelos determinísticos versus la construcción de modelos probabilísticos. Por otro lado, en los

vértices superior e inferior se tienen los extremos de construcción de modelos deductivos frente a la construcción de modelos de inferencia.

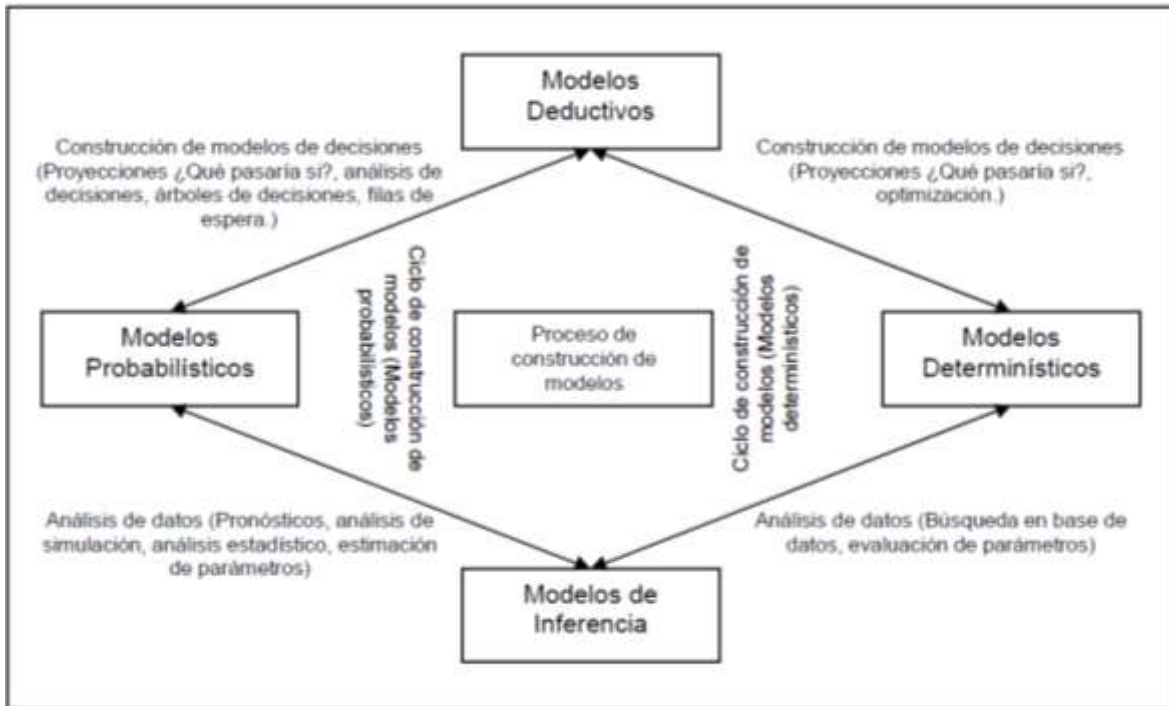


Ilustración 1 La construcción de un modelo, extraído de "De La Fuente, 2009"

Las recomendaciones para la elaboración de un modelo son en primer lugar estudiar el ambiente, de esta forma se lograrán identificar todas las variables que se encuentran dentro del proceso o bien en el entorno y que influyen en el modelo. Luego se debe formular el modelo, esta etapa incluye un análisis conceptual básico en el cual se requiere hacer suposiciones y simplificaciones, aquí se deben establecer claramente cuáles serán los objetivos del modelo. Por último se encuentra la etapa de la construcción simbólica, la cual representa las ecuaciones matemáticas que relacionarán entre si las variables contenidas en la caja negra.

Por último, la aplicación del modelo para la toma de decisiones puede dividirse en 4 etapas:

- Formulación del modelo y construcción, es el proceso de tomar situaciones, abstraerlas en una formulación y después desarrollar los términos matemáticos del modelo simbólico.
- Análisis del modelo y generación de resultados.
- Interpretación y validación, se debe garantizar que la información obtenida ha sido interpretada en el contexto original del problema.

consideran pérdidas debido a la fatiga de los trabajadores o mantenimientos de los equipos. Para incrementar la capacidad efectiva a menudo basta con realizar mejoras operativas.

2.2.1. Teoría de las restricciones:

La teoría de las restricciones (TOC) es una serie de principios que se enfocan en incrementar la tasa de flujo de la producción de los procesos, la utilidad neta y el rendimiento sobre la inversión, maximizando la utilización de todas las estaciones de trabajo (Goldratt & Cox, 1992). En la mayoría de las organizaciones de negocios la meta es maximizar la tasa de flujo de producción, dicha tasa se refiere a la cantidad de dinero generada por periodo mediante ventas reales.

Dentro de la TOC existen restricciones físicas las cuales se asocian con cuellos de botella dentro del proceso. Las actividades cuello de botella (BN) están definidas como aquellas actividades que limitan efectivamente la capacidad de todo el proceso.

Generalmente los procesos cuentan con pocas restricciones, la TOC se enfoca en identificarlas para de este modo poder administrar con mayor cuidado los procesos que han sido determinados como cuellos de botella.

Algunos principios básicos de la administración de actividades sin cuellos de botella son:

- Realizar las actividades sin cuellos de botella lo más rápido que sea posible, hasta que se llegue a una actividad cuello de botella.
- La utilización de recursos en estas actividades puede ser baja ya que los tiempos de inactividad suelen ser aceptables si no hay ningún trabajo que hacer.
- Una hora perdida en un recurso que no es cuello de botella no genera ninguna pérdida real al proceso.

Por otro lado, algunos de los principios básicos de la administración de actividades cuello de botella son:

- Estas actividades son críticas para poder realizar el proceso y cumplir con los objetivos, se deben programar de las primeras.
- Una hora perdida en un recurso cuello de botella es una hora perdida para todo el proceso.
- Las actividades que son cuellos de botella deben realizarse en todo momento, para maximizar el flujo del proceso.

2.3. Planificación de operaciones

La planificación es parte esencial de la administración de los recursos de una cadena de valor. Los objetivos más comunes dentro de la planificación son minimizar los costos o maximizar las utilidades y la satisfacción del cliente.

A continuación se presenta un diagrama genérico de planificación de recursos, el cual se encuentra segregado en 3 niveles, el primero se centra en la planificación agregada, el segundo en la desagregación y el tercero en la ejecución.

La planificación agregada es un plan de producción y recursos a largo plazo. Estos planes definen la producción con un horizonte de dos o más años y se enfocan generalmente en familias de productos o en necesidades totales de capacidad. Uno de los puntos esenciales de los planes agregados es verificar la posibilidad de cumplir con dicho plan, es decir, que es necesario verificar que se contará con los recursos necesarios y que la capacidad requerida para cumplir el plan no excederá la capacidad disponible de la organización.

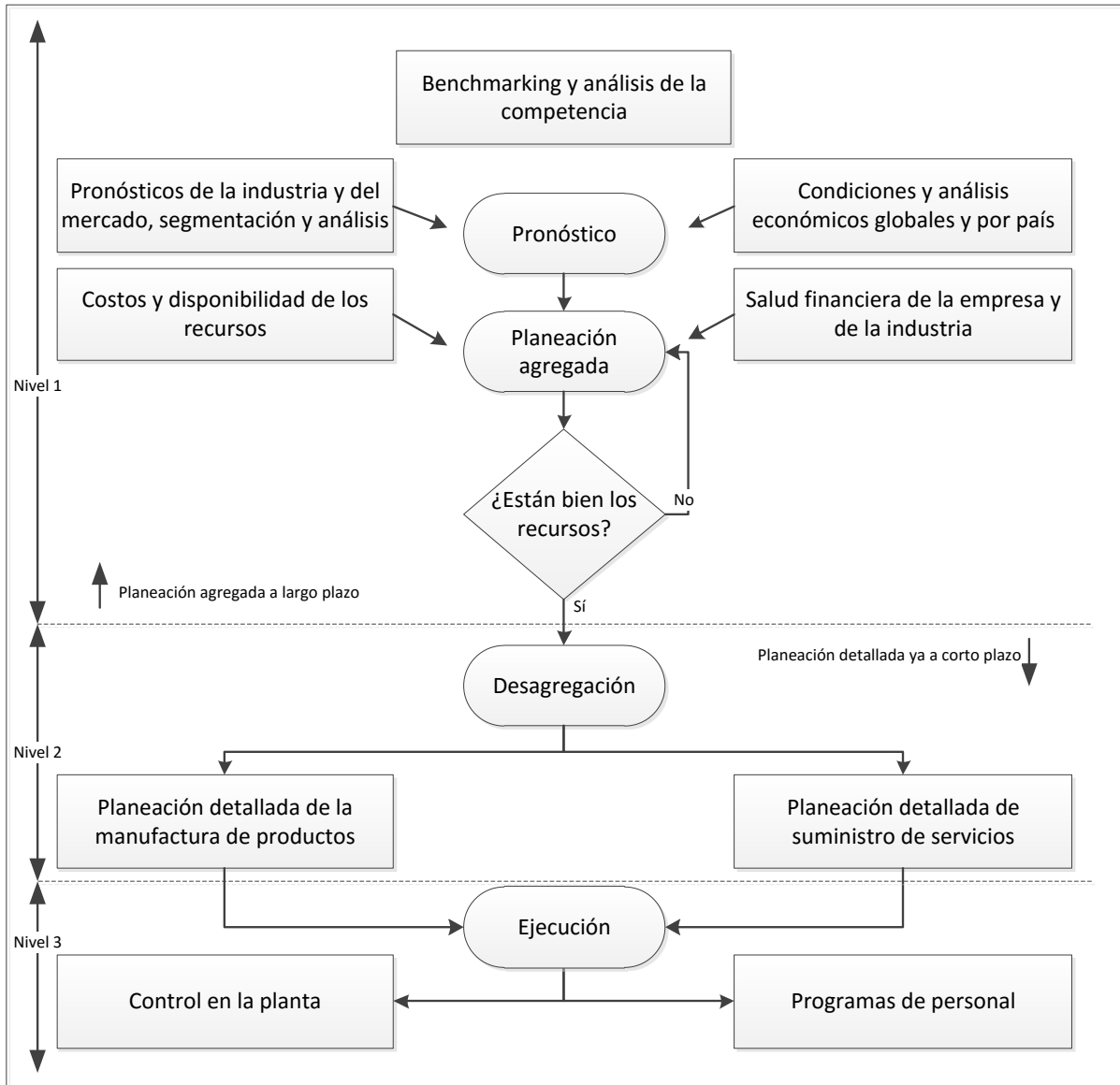


Ilustración 3 Marco de referencia para la planeación de la administración de recursos de productos y servicios (Collier & Evans, 2009)

El segundo nivel del diagrama anterior, corresponde a la desagregación. “La desagregación es el proceso de traducir los planes agregados a planes operativos a corto plazo que proporcionan la base para programas semanales o diarios y necesidades detalladas de recursos”. (Collier & Evans, 2009).

Finalmente el tercer nivel se enfoca en la ejecución detallada de los planes del segundo nivel, en este nivel se crean planes de trabajo y secuenciación de tareas que buscan cumplir las actividades que fueron desagregadas.

2.3.1. Estrategias en la Planificación Agregada

Las estrategias principales que pueden afectar en la elaboración de un plan agregado son:

- Administración de la demanda: uno de los puntos más importantes al momento de realizar un plan agregado es el comportamiento de la demanda de la organización, ya que si se tiene una demanda que fluctúa constantemente con el paso del tiempo, puede llegar a ser muy difícil adaptarse a ella y evidentemente sería poco práctico no hacerlo.
- Cambios en la tasa de producción: generalmente cuando se desea incrementar un nivel de producción sin tener la necesidad de cambiar los recursos existentes, se debe recurrir a las horas extras planeadas, y de la misma forma en los momentos es que la producción disminuye, es posible recurrir al tiempo ocioso reduciendo las horas de trabajo de una forma planificada.
- Cambios en la fuerza de trabajo: para modificar la fuerza de trabajo se debe incurrir en contrataciones o despido de personal, estas acciones a menudo implican gastos adicionales tanto para las nuevas contrataciones, que deben ser capacitadas y entrenadas, como para los despidos, ya que comúnmente se debe incurrir en gastos de seguros e indemnizaciones. Es importante considerar que para muchas empresas modificar la fuerza de trabajo no es una alternativa factible debido al alto nivel de especialización que requieren sus empleados.
- Instalaciones y equipo: las instalaciones y equipos de trabajo, generalmente representan inversiones de capital a largo plazo por lo cual estarían contempladas dentro de la planificación, sin embargo en los tiempos de alta demanda siempre existe la posibilidad de arrendar maquinaria que aumentará la capacidad operativa dentro de la empresa.

Retomando el diagrama anterior, en el segundo nivel se encuentra la desagregación, la desagregación brinda el vínculo entre la planeación agregada y la ejecución, por lo tanto si en el nivel de planificación agregada se determinan los objetivos a largo plazo, en la

desagregación lo que importaría determinar son los objetivos a corto plazo que permitirán cumplir el objetivo de la planificación final.

Para el caso en estudio la desagregación del plan agregado se realiza solo en base a los requerimientos de capacidad. La planeación de requerimientos de capacidad es el proceso para determinar la cantidad de mano de obra y recursos de maquinaria que se requieren para lograr las tareas de producción en un nivel más detallado (Collier & Evans, 2009).

2.4. Programación de operaciones

La programación es la que, en estricto rigor, asigna las fechas de inicio y término de distintos trabajos, utilizando para ello la capacidad disponible de los recursos existentes en la empresa. Puede definirse como el plan detallado de lo que se va a hacer en el corto plazo, entendiendo por corto plazo no más de 3 semanas.

La programación es común en todas las empresas, ya que esta puede ser tan simple como una lista de las tareas pendientes por hacer o más compleja como un sistema integrado que indique las tareas a realizar minuto a minuto.

Por otro lado se tiene la programación de trabajos o secuenciación, esta se refiere a determinar el orden en que se procesan cada uno de los trabajos pendientes para cumplir con los objetivos y metas planteados por la organización.

La programación en los tres niveles de la planeación agregada se puede identificar de la siguiente forma:

Nivel 1:

- Programación a largo plazo, para cumplir con la demanda agregada futura.
- Estrategias de producción de nivel constante.
- Enfoque en la planeación por importe monetario de ventas, línea de productos o grupo año trimestre y mes.

Nivel 2:

- Programación a mediano plazo, para cumplir con la demanda por mes.
- Se enfoca principalmente en la planeación de las operaciones.

Nivel 3:

- Programación o secuenciación por hora del día.
- Se cuenta con recursos restringidos.
- Su enfoque principal es la ejecución de las tareas necesarias para cumplir los objetivos diarios.

Se debe considerar que toda la red de procesos de una cadena de suministros debe sincronizarse, por lo tanto la programación y el intercambio de información son la base de la administración de una cadena de suministros eficiente y con rapidez de respuesta. Las instalaciones, procesos y logística de la cadena de suministros deben programarse de forma correcta si se pretende que esta sea eficiente.

2.4.1. Secuenciación de tareas.

Dentro de la programación de operaciones se considera la secuenciación de tareas, esta es necesaria cuando varias tareas ocupan un recurso en común, para secuenciar las actividades existen diversas reglas de prioridades. A continuación se presentan algunas de las reglas más comunes (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009) .

- **FCFS (*First come, first-served*):** Los pedidos se realizan según su orden de llegada, el primero que llega es el primero que se realiza.
- **SOT (*Shortest operating time*):** consiste en realizar primero los pedidos que tienen un tiempo de operación más breve. Esta debe ser combinada con una regla de retardo, para así evitar que las actividades con tiempos de proceso largos se retrasen demasiado.
- **EDD (*Earliest due date first*):** consiste en realizar primero el trabajo que tiene una fecha de entrega más próxima.
- **STR (*Slack time remaining*):** en este caso se debe calcular el tiempo que queda antes de que se venza el plazo menos el tiempo de procesamiento. Los pedidos con menor tiempo ocioso restante se ejecutan primero.
- **CR (*Critical Ratio*):** se calcula como la diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha actual dividida por el número de días hábiles. Se realizan primero los pedidos que tienen la menor CR.

2.5. Modelos de pronóstico

“Un pronóstico es la proyección de los valores de una o más variables en el futuro” (Collier & Evans, 2009). Realizar un pronóstico constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones, ya que en base a la información que entrega se pueden realizar acciones correctivas o preventivas.

2.5.1. Horizonte de planeación:

El horizonte de planeación es la longitud del tiempo en el que se basa un pronóstico. Dependiendo del horizonte de planeación se pueden distinguir 3 tipos de pronósticos; Pronósticos a largo plazo, son aquellos que tienen un horizonte de planeación de 1 a 10 años, se utilizan para pronosticar por ejemplo donde y cuando construir nuevas fábricas o centros de distribución. Los pronósticos a mediano plazo son aquellos que tienen un horizonte de planeación entre 3 a 12 meses, se utilizan para planear niveles de fuerza de trabajo, programar operaciones y recursos. Por último se tienen los pronósticos a corto plazo, son aquellos que tienen un horizonte de planeación menor a 3 meses y se utilizan principalmente para planificar los programas de producción y asignar trabajadores a sus puestos.

2.5.2. Patrones de datos en series de tiempo:

Para la elaboración de pronósticos se utilizan métodos estadísticos que se basan en el análisis de datos históricos. *“Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones registradas en puntos sucesivos en el tiempo a lo largo de periodos subsecuentes”* (Collier & Evans, 2009). Una serie de tiempo entrega información sobre el comportamiento histórico de una variable.

2.5.3. Tendencias:

Una tendencia es el patrón subyacente de crecimiento o declinación en una serie de tiempo. La información que se obtiene de una serie de tiempo principalmente muestra algunas fluctuaciones aleatorias, sin embargo es posible observar crecimientos o decrecimientos en el valor de los datos en estudio.

Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, crecientes y decrecientes. En la siguiente imagen se pueden observar algunos tipos de tendencias.

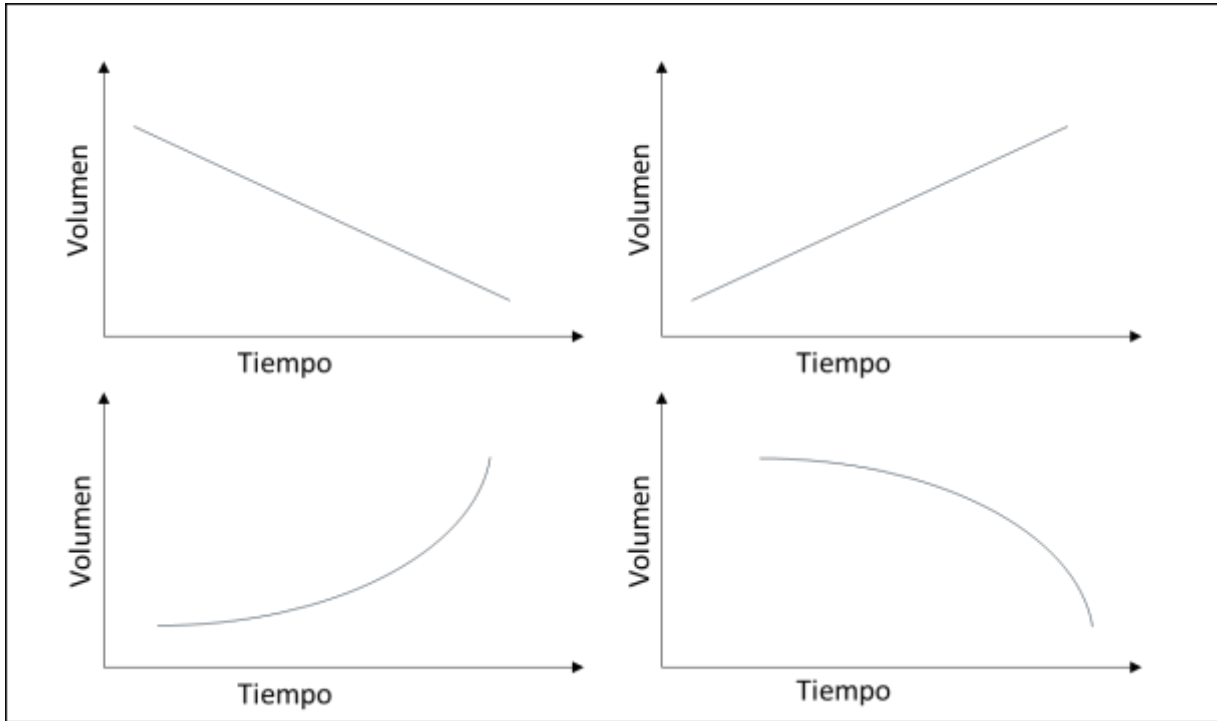


Ilustración 4 Tendencias en los pronósticos, elaboración propia.

2.5.4. Patrones estacionales:

Los patrones estacionales se caracterizan por periodos repetibles de valores “altos” y “bajos” en periodos cortos de tiempo. Los patrones estacionales pueden ocurrir a lo largo de las semanas durante un mes, a lo largo de días durante una semana o bien a lo largo de las horas durante un día.

Una serie de tiempo puede considerarse estacionaria si sus propiedades estadísticas tales como la media y la varianza son constantes en el tiempo. Por lo tanto si “n” valores de la serie fluctúan con varianza constante respecto de la media constante μ , es posible suponer que la serie es estacionaria

2.5.5. Patrones cíclicos:

Los patrones cíclicos son “comportamientos” regulares en una serie de datos que suceden durante largos periodos.

2.5.6. Variación aleatoria:

Una variación aleatoria, o también llamada ruido, es una desviación inexplicable de una serie de tiempo en relación a un patrón predecible (tendencia estacional o patrón cíclico). Estas variaciones aleatorias pueden surgir por factores de corto plazo, no anticipados, no recurrentes e impredecibles.

2.5.7. Variación irregular:

Las variaciones irregulares ocurren solo una vez y tienen una explicación determinada. Los sucesos de una sola vez, generan valores atípicos que por lo general se pueden desechar.

2.5.8. Errores en los pronósticos:

Todos los pronósticos están sujetos a errores, y es por esta razón que se vuelve de suma importancia comprenderlos en su naturaleza y tamaño, para que de esta forma se conviertan en una herramienta útil para la toma de decisiones.

Para explicar los errores de se producen en los pronósticos, los valores se denotarán de la siguiente manera:

- Los valores históricos de una serie de tiempo serán $A_1, A_2 \dots A_T$ generalmente A_t representa el valor de la serie en el tiempo t , de la misma forma se utilizará el valor de P_t como el valor pronosticado para el periodo t .
- Con los valores anteriores se puede definir el error del pronóstico como la diferencia entre el valor observado de la serie de tiempo y el pronóstico $A_t - F_t$.

2.5.8.1. Error cuadrático medio (MSE):

Debido a que los errores generados en cada observación tienden a ser aleatorios, obteniendo diferencias positivas y negativas, la suma de estos errores siempre tenderá a 0 sin importar los tamaños de los errores individuales. Es por esta razón que se calcula la diferencia al cuadrado de modo de obtener siempre un resultado positivo.

$$MSE = \frac{\sum(A_t - F_t)^2}{T}$$

Ecuación 1 Error cuadrático medio

2.5.8.2. Desviación absoluta media (MAD):

Corresponde al promedio de la suma de las desviaciones absolutas para todos los errores del pronóstico:

$$MAD = \frac{\sum |A_t - F_t|}{T}$$

Ecuación 2 Desviación absoluta media

2.5.8.3. Error de porcentaje absoluto medio (MAPE):

Este error corresponde al promedio de los porcentajes del error pronosticado en relación al valor observado:

$$MAPE = \frac{\sum |(A_t + F_t)/A_t| \cdot 100}{T}$$

Ecuación 3 Error de porcentaje absoluto medio

2.5.9. Modelos para la elaboración de pronósticos estadísticos

Existen variados modelos de pronósticos estadísticos, sin embargo en esta memoria solo se mencionarán 4 tipos, los cuales ayudan a la toma de decisiones en el ámbito de la administración de operaciones.

2.5.9.1. Promedio móvil simple (MA):

Un modelo en el cual se utiliza la metodología del promedio móvil simple, se basa en el cálculo del promedio de las fluctuaciones aleatorias en una serie de tiempo para así lograr identificar la dirección en la que está cambiando la serie de tiempo. Por lo tanto se dirá que MA corresponde al promedio de las observaciones “k” más recientes de una serie de tiempo, de esta forma el pronóstico para el siguiente periodo ($t + 1$) se denotará por F_{t+1} . Para t observaciones se tiene:

$$F_{t+1} = \sum \frac{\text{Observaciones } k \text{ más recientes}}{k}$$

$$= (A_t + A_{t-1} + \dots + A_{t-k+1})/k$$

Ecuación 4 Promedio móvil simple

El método del promedio móvil simple, funciona bien para horizontes de planeación cortos, cuando no hay patrones de tendencias o estacionales. Si el valor de k aumenta, la respuesta a los cambios recientes se hace lenta, debido a que se utiliza información más antigua en el cálculo, por el contrario si el valor de k disminuye el pronóstico reaccionará más rápido.

El número de valores de información “ k ” que se debe incluir en el pronóstico se determina solo por juicios de la administración, no obstante es recomendable realizar pruebas con las

cuales se pueda determinar cuál es el valor de “k” que entrega un menor error en los datos históricos, suponiendo que dicho error se verá replicado en los valores pronosticados.

2.5.9.2. Promedio móvil ponderado

Una de las desventajas que se puede apreciar en el método del promedio móvil simple es que todos los valores presentan el mismo peso. Generalmente esto no es deseable, ya que es preferible que los datos más recientes tengan un peso mayor en el valor final del pronóstico, sobre todo si se trata de una serie de tiempo que cambia con rapidez. Una formula general para definir un pronóstico de promedio móvil ponderado en el cual se obtienen los resultados a partir de las “k” observaciones más recientes es:

$$F_{t+1} = w_t A_t + w_{t-1} A_{t-1} + w_{t-2} A_{t-2} + \dots + w_{t-k} A_{t-k+1}$$

Ecuación 5 Promedio móvil ponderado

En la formula anterior la w_t representa el peso asignado al periodo t. Utilizando este método de pronóstico se obtienen unos errores cuadráticos menores que usando el método del promedio móvil simple.

2.5.9.3. Suavizamiento exponencial simple (SES):

Es una técnica de elaboración de pronósticos que utiliza un promedio ponderado de los valores pasados de la serie de tiempo para pronosticar el valor de esta en el siguiente periodo. (Collier & Evans, 2009) Este tipo de pronósticos se basan en promedios que usan y ponderan la demanda más antigua. En estos métodos no se incluyen ningún tipo de efectos de tendencias o estacionalidad. En la ecuación α representa la constante de suavizamiento y tendrá valores entre 0 y 1.

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) F_t = F_t + \alpha (A_t - F_t)$$

Ecuación 6 Suavizamiento exponencial simple

2.6. Simulación

Uno de los modelos precursores de la simulación actual es el método Montecarlo, el cual tiene un esquema donde se estiman parámetros estocásticos o determinísticos con base en un muestreo aleatorio. Algunos de los modelos más conocidos de este método son la estimación de la constante π y la evaluación de integrales múltiples.

Una vez que se ha definido el modelo a utilizar las preguntas frecuentes son ¿qué tan grande debe ser la muestra?(n) ¿Cuántas replicas se requieren? (N) buscando siempre obtener el resultado más preciso posible. Existen algunas fórmulas en la teoría estadística para determinar n y N, y dependen tanto de la naturaleza del experimento de simulación como del nivel de confianza deseado. De todos modos se considera que mientras más altos los valores de n y N se obtienen mejores resultados, considerando como adecuados aquellos resultados que producen una desviación estándar pequeña. En ocasiones es necesario representar los resultados en forma de intervalos de confianza de modo de tener en cuenta la variabilidad del experimento.

2.6.1. Tipos de simulación

Actualmente la simulación se basa en la idea del muestreo utilizado con el método Montecarlo, pero difiere en que se estudia el comportamiento de sistemas reales. Existen dos tipos de modelos de simulación:

2.6.1.1. Modelos continuos.

Los modelos continuos se ocupan de sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente con el tiempo. Estos modelos suelen utilizar ecuaciones diferenciales para describir las interacciones entre los diferentes elementos del sistema.

2.6.1.2. Modelos discretos.

Los modelos discretos tienen que ver principalmente con el estudio de líneas de espera. Los instantes en que ocurren los cambios en puntos específicos del tiempo.

2.6.1.2.1. Elementos de la simulación de eventos discretos.

El objetivo final de la simulación es estimar algunas medidas de desempeño deseables que describan el comportamiento del sistema simulado (Taha, 2012).

2.6.2. Definición genérica de eventos.

En general todas las simulaciones de eventos discretos representan situaciones de colas en las que las entidades llegan, esperan para ser atendidas, reciben el servicio y se retiran. Por esta razón cualquier simulación de eventos discretos se traduce en interactuar con dos eventos básicos: llegadas y salidas del sistema.

2.6.3. Muestreo de distribuciones de probabilidad.

La aleatoriedad de la simulación surge cuando el intervalo entre eventos sucesivos es probabilístico. Uno de los métodos existentes es el método inverso el cual es adecuado para funciones de densidad de probabilidad analíticamente “solubles”, como la exponencial y la uniforme. Por otro lado se encuentra el método de convolución en el cual se busca expresar la muestra deseada como la suma estadística de otras variables aleatorias fáciles de muestrear.

2.7. Casos prácticos relacionados

Para la elaboración de esta memoria se han considerado dos casos prácticos los cuales han ayudado a la comprensión y desarrollo del tema, se detallan a continuación.

2.7.1. Modelo de planeación agregada para las prestaciones médicas en el Hospital Clínico Herminda Martin de Chillan.

Este modelo fue diseñado por el Señor Rodrigo A. De La Fuente Gallegos y presentado en su trabajo de titulación para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial mención Gestión de Operaciones.

El modelo diseñado buscaba generar una óptima asignación de personal y utilización de recursos en el Hospital Clínico Herminda Martin de Chillan, precisamente en el área de ginecología y obstetricia. Si bien las áreas en las que se implementa el modelo son totalmente diferentes, las raíces del modelo son bastante similares por lo cual se utiliza como base para la elaboración del modelo desarrollado en esta memoria.

2.7.2. Modelo matemático de planificación agregada de la producción y gestión del proceso de canje de cilindros en GASCO S.A.

Este modelo fue diseñado por el Señor Claudio Soto Henriquez y presentado en su trabajo de titulación para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial y el grado de Magister en Gestión de Operaciones.

En aquel trabajo se elabora una herramienta que resuelve el problema de gestión, inventarios y stock de cilindros vacíos por medio de un modelo que representa el proceso productivo.

El modelo utilizado busca minimizar los costos vinculados con planificación de producción y el proceso de canje en la empresa. Entregando los niveles óptimos de producción, flota, compras y canjes.

En este trabajo se utilizó un enfoque basado en la gestión de las operaciones, mismo enfoque que se utilizó para la presente memoria, también se consideraron las recomendaciones del modelo aplicándolas en la medida correspondiente y con los ajustes necesarios para que el modelo representara la operación real del caso de estudio.

Finalmente cabe destacar que los dos casos prácticos mencionados fueron los principales utilizados para la elaboración de esta memoria, tomando en consideración las diferencias de las áreas en las que fueron implementados y lo diferente de los objetivos buscados por cada modelo.

3. CAPITULO

Modelo Propuesto

3.1. Esquema del Modelo

A continuación se mostrará el modelo teórico en el cual se basa esta memoria, identificando los pasos esenciales para lograr una buena adaptación y aplicación al futuro caso de estudio, cabe destacar que este es un modelo genérico el cual podrá ser adaptado a otros centros de distribución solo debiendo considerar la existencia de requisitos especiales en cada uno de los casos.

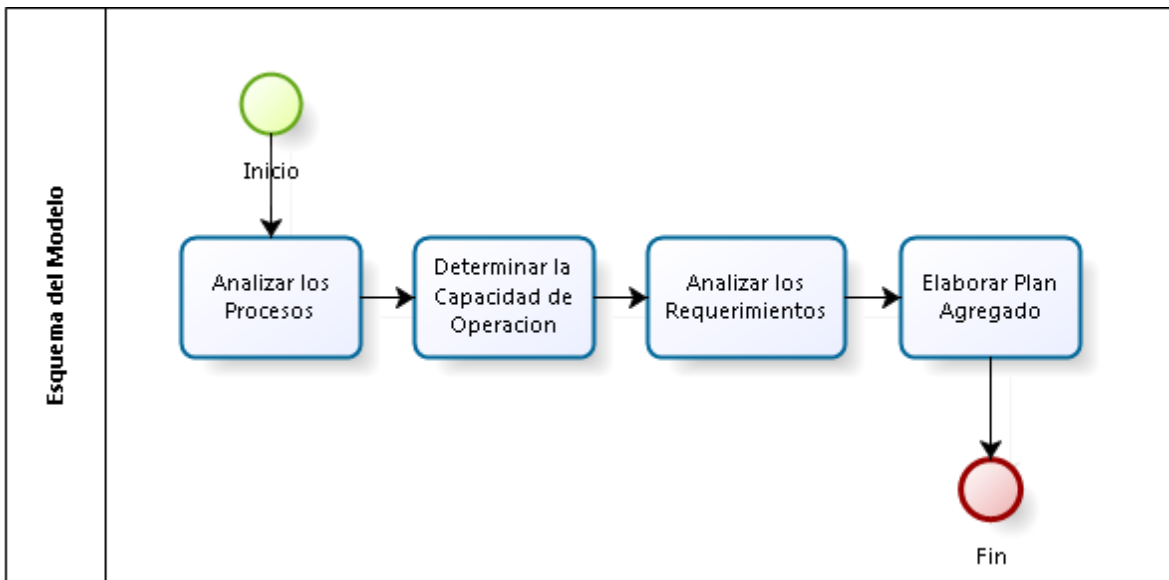


Ilustración 5 Esquema del modelo, elaboración propia.

3.2. Análisis de procesos.

Para lograr definir una buena planificación agregada de operaciones es primordial identificar cuáles son los procesos claves a considerar, esto permitirá enfocarse en las actividades que tienen real importancia dentro del caso de estudio y se evitará perder el enfoque intentando planificar y controlar procesos poco relevantes para la operación.

Para analizar los distintos procesos que se realizan dentro del centro de distribución, se utilizarán diagrama de flujo los cuales consisten en una representación gráfica del proceso donde se identifican cada una de las etapas y actividades que ocurren. Adicional a lo anterior se revisarán los datos históricos de cada uno de los procesos, equivalentes a la cantidad de ocurrencias de cada una de las operaciones existentes.

Finalmente una vez que se han identificado los procesos existentes y se ha comprendido su modo de operar, se debe identificar la conexión que hay entre ellos y definir grupos o familias de actividades, de esta forma será posible relacionar cada una de las variables agregadas que se definirán en el modelo.

3.2.1. Captura de Datos.

Uno de los puntos esenciales dentro del modelo propuesto es la calidad de información que se encuentra disponible, considerando que es necesario tomar y definir tiempos de operación, se hace necesario establecer una forma estándar de capturar los tiempos por tipo de operación. Por esta razón se diseña un formulario en Excel en el cual se detalla el tipo de operación que se está midiendo, la unidad de medida y los límites del proceso. De esta forma se busca definir el momento inicial y el momento final de cada uno de los procesos que se están midiendo.

Por otro lado se utilizará la información que se encuentre disponible en los diferentes sistemas que se utilicen en los centros de distribución.

3.3. Capacidad de Operación.

Para determinar la capacidad de las operaciones instaladas y debido a lo variable de los tiempos de operación, se ha definido un modelo de simulación probabilística el cual entregará valiosa información con la cual se podrá determinar si los recursos disponibles son capaces de satisfacer los requerimientos de las operaciones futuras.

3.3.1. Variables y parámetros del modelo.

En primer lugar se asignará un índice a cada uno de tipos de variables del proceso:

i	=	<i>Índice de Operaciones</i>
k	=	<i>Índice de Operadores</i>
r	=	<i>Índice de Recursos</i>
t	=	<i>Índice de Periodos</i>

Tabla 1 Índices para tipos de procesos

Índice de operaciones (i): este identificador hace referencia a cada una de las operaciones que se realizan dentro del proceso y a las cuales se les desea calcular la capacidad. Pueden ser, por ejemplo, operaciones de exportación, almacenaje, inventario, etc.

Índice de operadores (k): corresponde a todos los tipos de trabajadores que se ven involucrados en las operaciones antes señaladas.

Índice de recursos (r): Los recursos incluyen materiales, equipos, maquinas e instalaciones.

Índice de periodos (t): Corresponde a los periodos que se quieren evaluar.

En base a los índices anteriores se definen las siguientes variables de decisión:

$x_{i,t}$	=	Cantidad mensual de operaciones del tipo i que se realizarán en el periodo t.
$dp_{i,t}$	=	Pedidos pendientes del tipo i que no pueden ser realizados en el periodo t.

Tabla 2 Variables de decisión para el modelo

Sean los parámetros:

$d_{i,t}$	=	Cantidad mensual de demanda pronosticada para la operación del tipo i en el periodo t.
$c_{i,k}$	=	Cantidad promedio de horas que utiliza la operación i del operario k.
$htc_{t,k}$	=	Cantidad total de horas disponibles de cada operario de tipo k en el periodo t.
$re_{i,r}$	=	Cantidad promedio de horas que utiliza la operación tipo i del recurso tipo r.
$htr_{r,t}$	=	Cantidad total de horas disponibles del recurso tipo r en el periodo t.

Tabla 3 Parámetros para el modelo

3.3.2. Modelo matemático:

A continuación se detalla el modelo de programación lineal elaborado para este problema:

Función a maximizar: con esta función se busca obtener la suma total de operaciones en los periodos determinados

$$Max Z = \sum_i \sum_t x_{i,t}$$

Ecuación 7 Función a maximizar

Restricciones de demanda: La demanda para los periodos en estudio puede estar dada por la empresa o bien puede ser el resultado de los pronósticos realizados. Para este modelo la ecuación de restricción de demanda está dada por:

$$dm_{i,t} \leq x_{i,t} \leq ds_{i,t}$$

Ecuación 8 Restricción de Demanda

Donde $dm_{i,t}$ corresponde a la demanda mínima pronosticada de la operación i en el periodo t y $ds_{i,t}$ corresponde a la demanda máxima pronosticada para la operación i en el periodo t .

Restricciones de personal: la restricción de personal está dado por la cantidad de horas laborales que tienen disponibles, esta debe ser mayor a la cantidad de horas requeridas por el total de las operaciones que requieren de ese trabajador.

$$\sum_i c_{i,k} \cdot x_{i,t} \leq htc_{k,t}$$

Ecuación 9 Restricción de personal

Restricciones de recursos: Al igual que en el caso del personal, las restricciones de recursos están dadas por el total de horas disponibles y la cantidad de recursos del mismo tipo disponibles.

$$\sum_i re_{i,r} \cdot x_{i,t} \leq htr_{r,t}$$

Ecuación 10 Restricción de recursos

3.3.3. Construcción del modelo:

Para la construcción del modelo se debe considerar las estimaciones de tiempos de proceso y el comportamiento de las mismas, de modo de obtener una distribución de probabilidades de los tiempos promedios que tardan cada una de las operaciones.

Para obtener los valores en relación a los tiempos que requiere cada operación para ser realizada, se debe en primer lugar tomar los tiempos de forma manual a una muestra definida de operaciones. Una vez capturados los datos necesarios, se procede a tabular y generar un histograma para finalmente determinar cuál es el tipo de distribución que más se asemeja a la presentada por los datos.

3.4. Pronósticos:

Una vez que se han analizado los procesos existentes dentro de la operación del centro de distribución, se deben establecer los requerimientos futuros. Para ello y en caso de que no

estén previamente establecidos por la empresa se utilizarán herramientas computacionales que permitan pronosticar un valor futuro para las series de datos existentes.

3.5. Planificación:

Para realizar la planificación de las operaciones del centro de distribución se buscará cumplir con todos los requerimientos futuros pronosticados, el modelo debe adaptarse a las necesidades del caso en estudio, con la finalidad de entregar una herramienta y un modelo capaz de brindar información adecuada para ser utilizada en la toma de decisiones de la empresa. Para esto se puede considerar:

Capacidad de operación: Es uno de los elementos claves del modelo de planificación ya que fija el máximo de operaciones que se pueden realizar por periodo con los recursos que se encuentran disponibles.

Utilización de recursos: Debido a que los recursos dentro de un centro de distribución son limitados se debe tener en cuenta la cantidad y las horas de funcionamiento disponibles que tiene cada uno, de esta forma el modelo de planificación siempre debe considerar una utilización de recursos menor al máximo permitido.

Utilización de recursos humanos: Dependiendo del tipo de operación y de la capacidad física que el trabajo requiera se pueden establecer ciclos que impidan el fuerte agotamiento de los operarios, de modo tal de no mantenerlos bajo fuerte exigencia física durante todo el periodo laboral.

Capacidad de proveedores: uno de los puntos importantes a considerar dentro de la planificación de las operaciones es la capacidad de respuesta que presenten los proveedores de servicios en la operación.

Requerimientos especiales de la operación: considerando la dinámica de una operación logística cada centro de distribución puede tener distintos requerimientos a los cuales el modelo se debe adaptar, por lo tanto tendrán que ser considerados para mejorar la respuesta del modelo.

Finalmente el modelo de planificación se elaborará buscando obtener un beneficio en la operación, ya sean menores tiempos de operación, disminución de costos o aumento de la productividad.

4. CAPITULO:

Caso de estudio: Centro de
Distribución Goodyear

4.1. La Empresa:

Goodyear es una empresa que se dedica a la fabricación y comercialización de neumáticos para vehículos de pasajeros y carga, además de una amplia gama de productos para la agricultura y minería. Cuenta con una extensa red de distribución en Chile abarcando todo el territorio nacional.

Sus operaciones en Chile se iniciaron en 1978, cuando Goodyear asumió el control de la fábrica de neumáticos ubicada en la comuna de Maipú en Santiago, que pertenecía a la Industria Nacional de Neumáticos (INSA). Con el paso del tiempo la planta incrementó significativamente su producción y la gama de productos que ofrecía en el mercado nacional.

En el año 2003 la planta comenzó un importante plan de expansión, modificando sus líneas de producción a los más altos estándares de seguridad y calidad, con lo cual lograron convertirse en líderes de la región y exportadores de calidad mundial. (SAAM S.A., 2011).

Goodyear ha sabido reinventarse para aprovechar las oportunidades de negocio, transformándose de ser una compañía productora de neumáticos a una compañía que ofrece soluciones que satisfacen plenamente las necesidades integrales de sus clientes y consumidores.

Uno de los roles que caracterizan a la planta de GYR ha sido el de incluir la sustentabilidad como parte de sus objetivos de negocio, teniendo como pilares fundamentales el apoyo al medio ambiente, apoyo a la comunidad, seguridad y bienestar. Es por esta razón que la empresa invierte fuertemente en iniciativas que conserven y mejoren el medio ambiente, tales como:

- Tecnologías en llantas que permiten ahorrar combustible debido a que son contruidos con materiales que disminuyen la resistencia del contacto.
- Desarrollo de materias primas que provienen de recursos renovables tales como el Bio Isopreno y el Aceite de Soja.

Además es importante mencionar algunos de los grandes logros que ha tenido la organización a nivel latinoamericano en temas relacionados a la sustentabilidad de sus procesos:

- Reutilización del agua, todas las plantas de GYR cuentan con una estación de reutilización de agua la cual en el caso de la planta de Brasil logra recuperar 450.000 litros mensuales.
- Cero residuos para vertederos, desde el año 2008 GYR a nivel regional no ha enviado ningún residuo de fabricación a los vertederos, todos estos materiales son reciclados o utilizados como combustible. (Goodyear Latinoamérica, 2013)

4.1.1. Logística en GYR.

La gerencia de logística corresponde a un área nueva dentro de la empresa que fue reforzada con la construcción del actual centro de distribución.

Actualmente el área cuenta con tres pilares fundamentales los que corresponden a Operaciones, Transporte y Comercio Exterior. Operaciones corresponde al control y gestión de todas las actividades que se realizan dentro del centro de distribución, almacenamiento, inventario y despacho. Transporte, es el área encargada de realizar el movimiento de todos los contenedores importados o exportados y adicionalmente realizan el despacho de unidades a nivel local. Por último el departamento de comercio exterior apoyado por la Agencia de Aduanas se encarga de planificar la carga con las distintas compañías navieras y posteriormente realizan el proceso documental correspondiente a cada contenedor exportado.

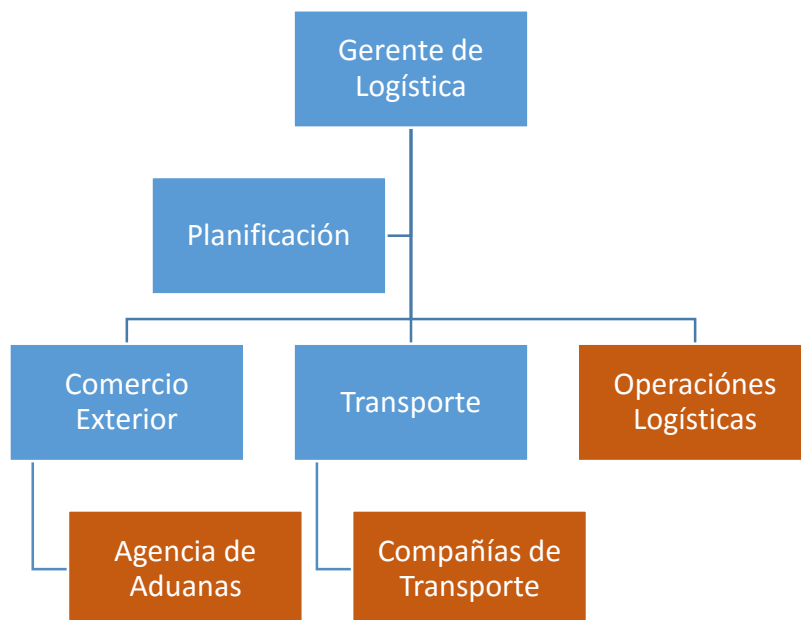


Ilustración 6 Organigrama Logística

4.1.1.1. Planificación

El área de planificación de Logística es la encargada de gestionar las órdenes de compra y distribuir la carga diaria a cada uno de los destinos de la compañía. Con la información que entrega es posible generar el programa de embarque diario al cual se le asignarán los números de booking respectivos de acuerdo a las naves previamente asignadas.

4.1.1.2. Comercio exterior.

El área de comercio exterior está liderada por personal de GYR y cuenta con el soporte de una agencia de aduanas la cual es responsable de gestionar los procesos para todas las mercaderías que se importan o exportan. En el siguiente organigrama se muestra la estructura del equipo de COMEX.

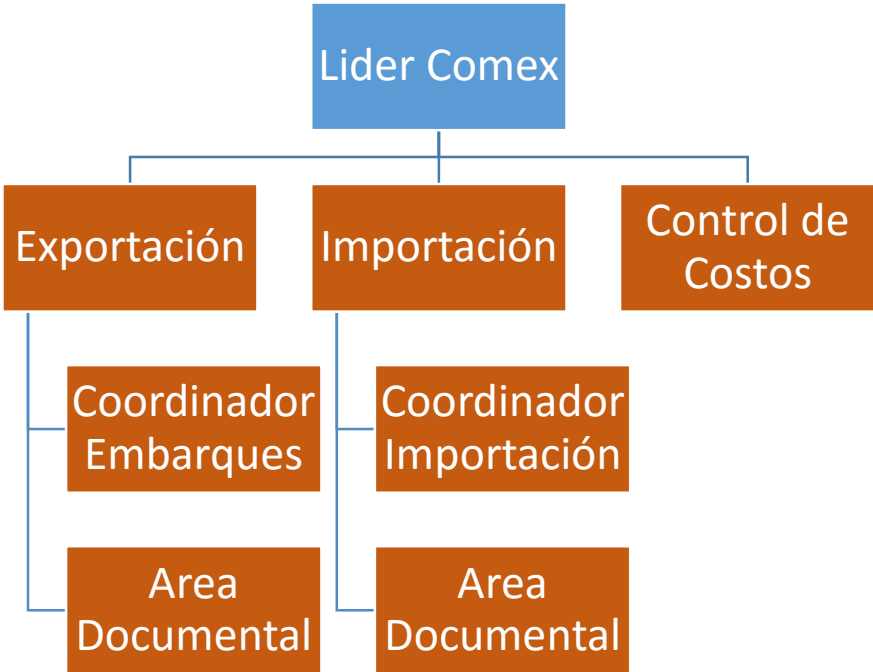


Ilustración 7 Organigrama COMEX

4.1.1.3. Transporte.

El área de transporte es la encargada de definir el volumen de carga por cada proveedor de servicios, de forma adicional se debe mantener un estricto control de costos por lo cual esta área debe tener un recurso asignado solo a esta función.

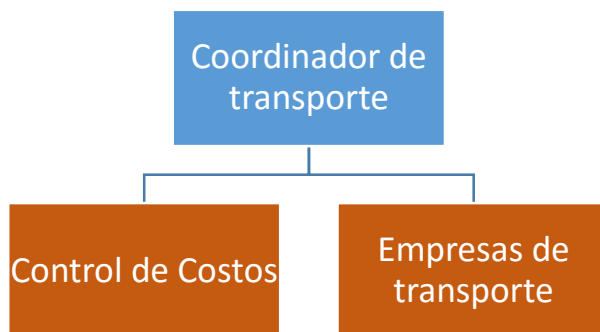


Ilustración 8 Organigrama Área Transporte

4.1.1.4. Operaciones Logísticas en el Centro de Distribución GYR

El centro de distribución de GYR se ubica dentro de las instalaciones generales de la planta, está definido como un centro de distribución dinámico, esto quiere decir que en sus instalaciones se reciben tanto importaciones como productos terminados que han sido manufacturados en la planta, además se realizan despachos de exportaciones y despachos locales.



Ilustración 9 Esquema del Centro de Distribución GYR

En relación a las operaciones que se realizan dentro del CD se puede considerar las siguientes:

Recepción de Importaciones: Consiste en la descarga de contenedores o camiones que traen neumáticos desde el extranjero y que son ingresados al stock de la bodega. Del total de las unidades recibidas en el mes, las importaciones equivalen en promedio solo al 5%

del total con un promedio mensual de 25.868 unidades, sin embargo representan más del 80% del stock en el almacén.

Recepción de Producción: Consiste en la recepción y almacenamiento de unidades de productos terminados que ingresan al almacén por medio de una cinta transportadora, esta operación es continua y representa en promedio el 95% del total de las unidades recibidas en el mes, con un promedio de 538.072 unidades.

Despacho de Exportaciones: Las unidades que se exportan en el CD son solo aquellas que se producen localmente, mensualmente se despachan en promedio 750 contenedores los cuales equivalen a 541.200 unidades mensuales y representan aproximadamente 96% de las operaciones de despacho del CD.

Despacho Local: Los productos que son importados y almacenados en el CD son despachados a los distribuidores locales con la finalidad de cubrir los requerimientos del mercado nacional. Mensualmente se despachan en promedio 22.486 unidades y representan un 4% de las unidades mensuales despachadas.

El organigrama que muestra la estructura del operador logístico es el siguiente.

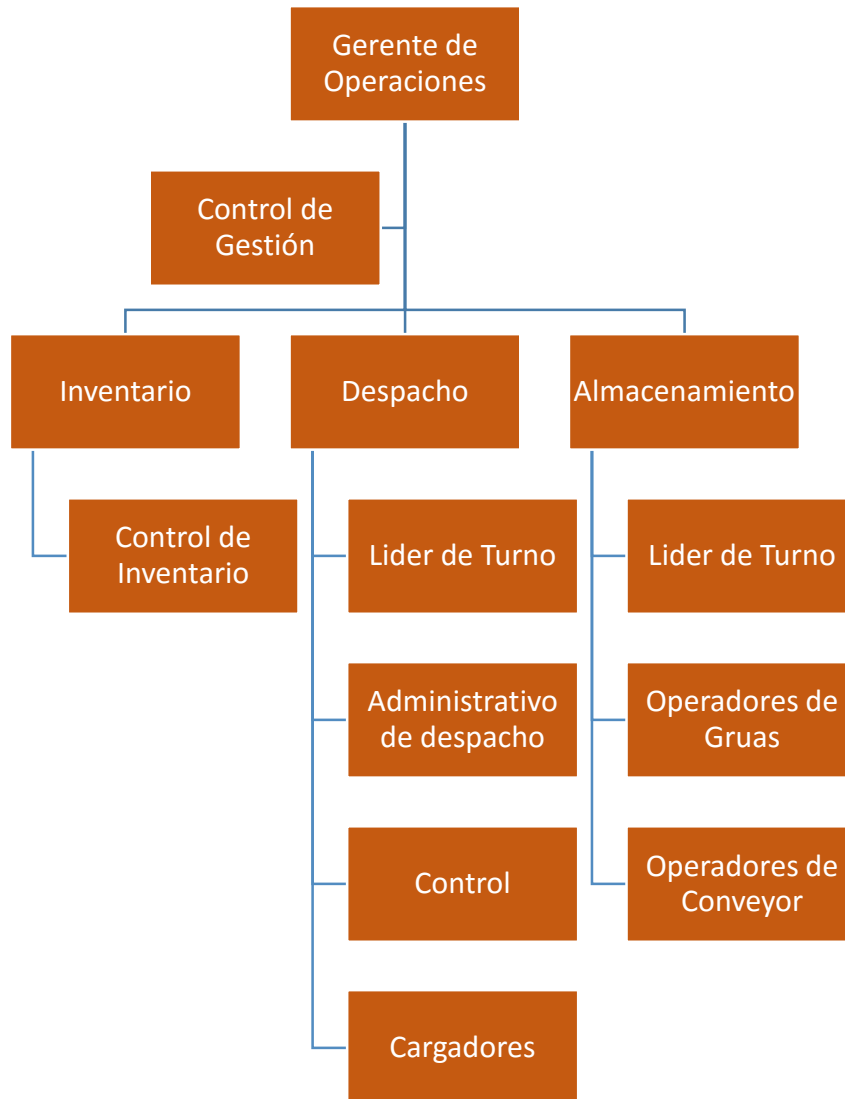


Ilustración 10 Organigrama Operador Logístico

4.2. Análisis de los procesos.

4.2.1. Recepción de Importaciones.

La recepción de importaciones consiste en la descarga de productos terminados provenientes de otras plantas de GYR en el mundo, los productos que son importados corresponden a todos aquellos que serán comercializados en el mercado nacional. Los neumáticos recibidos corresponden a tres tipos: pasajeros, comercial y OTR. Sin embargo en términos de operación son prácticamente iguales.

El proceso de recepción de importaciones comienza con la programación de las descargas las cuales se planifican con a lo menos 24 horas de anticipación y según lo requerido por el área de ventas. Una vez que el camión arriba a la planta y le es asignado un andén se procede con la descarga de este. Los productos descargados son colocados en racks y separados por SKU, una vez que la descarga es finalizada se procede a auditar los productos verificando que se encuentren en óptimas condiciones y anotando la cantidad de unidades por SKU. La información de las unidades que contenía el camión o contenedor son entregadas al área de finanzas y son ellos los que validan que dichas cantidades coincidan lo que fue facturado en el origen, de no coincidir se procede a validar la información entregada por la bodega y en caso de que la diferencia continúe se informa a la planta de origen para que se ajuste dicha diferencia. Finalmente las unidades descargadas son almacenadas en el almacén a la espera de ser despachas en el mercado local.

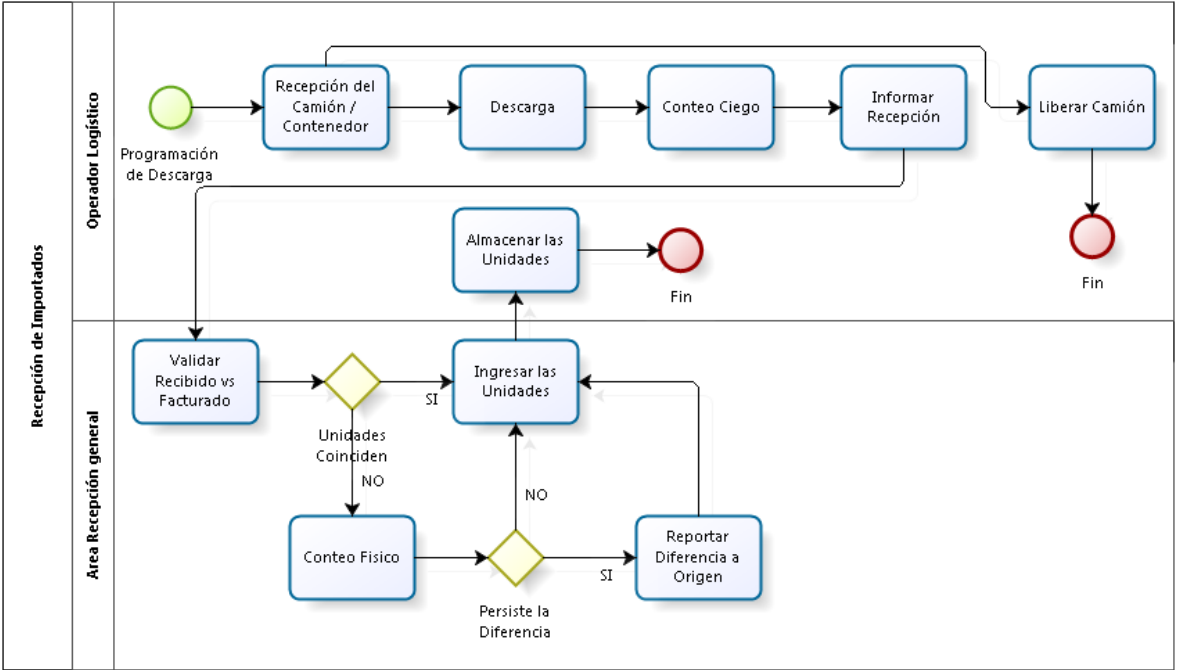


Ilustración 11 Diagrama de flujo para la recepción de productos importados.

En promedio mensualmente se reciben en el centro de distribución 28.660 unidades importadas.

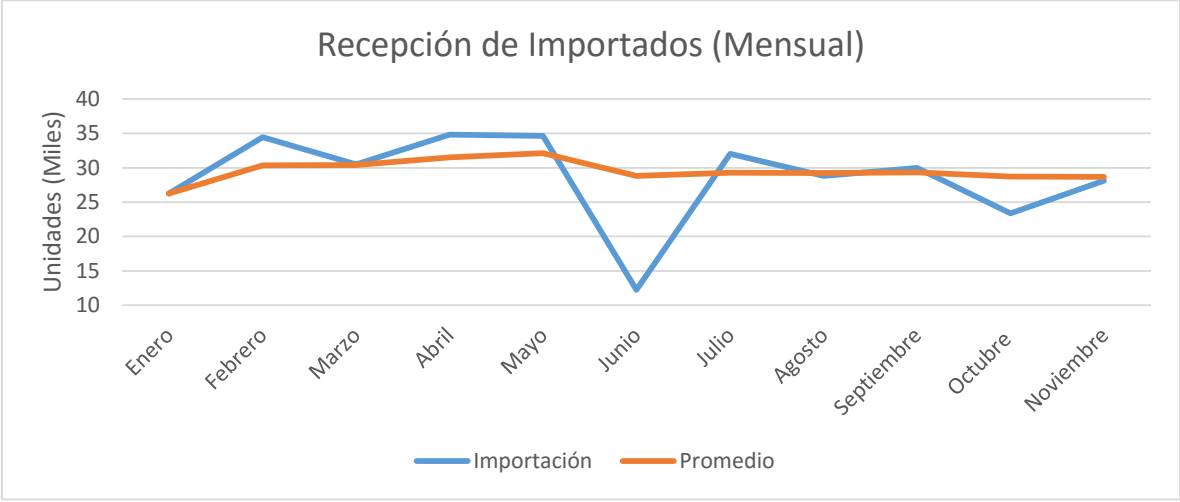


Gráfico 1 Recepción de Importados, valores mensuales.

Tal como se mencionó anteriormente los neumáticos importados se pueden clasificar e tres tipos (pasajeros, comercial y OTR). En primer lugar se tienen los neumáticos de pasajeros, estos neumáticos son descargados directamente del contenedor y son colocados en racks para luego almacenarlos en promedio de reciben mensualmente 672 racks con neumáticos de este tipo.

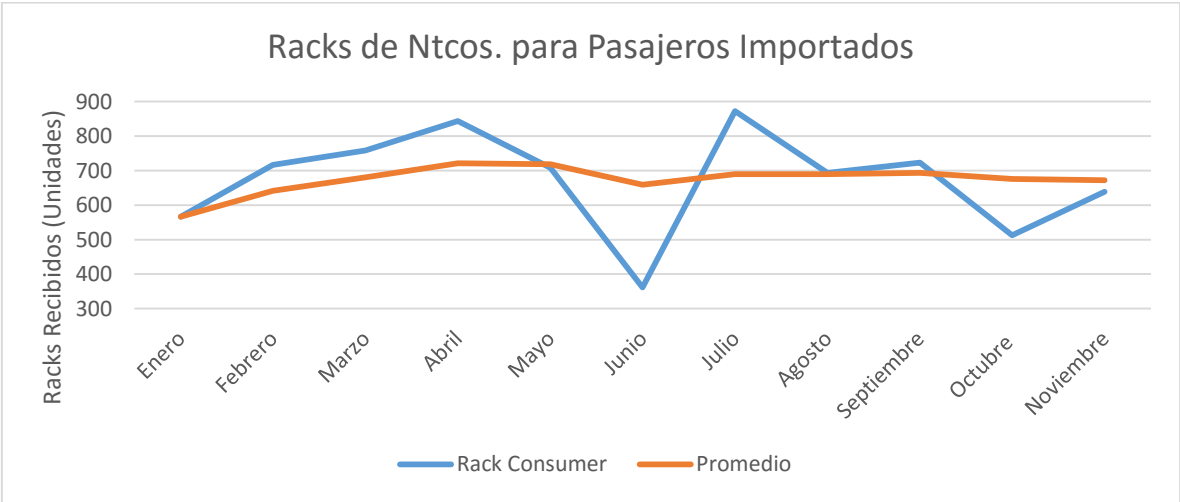


Gráfico 2 Recepción mensual de racks con neumáticos de pasajeros.

Por otra parte se encuentran los neumáticos de camión los cuales una vez descargados son apilados directamente sobre el piso. Mensualmente en el centro de distribución se reciben en promedio 2.645 neumáticos.

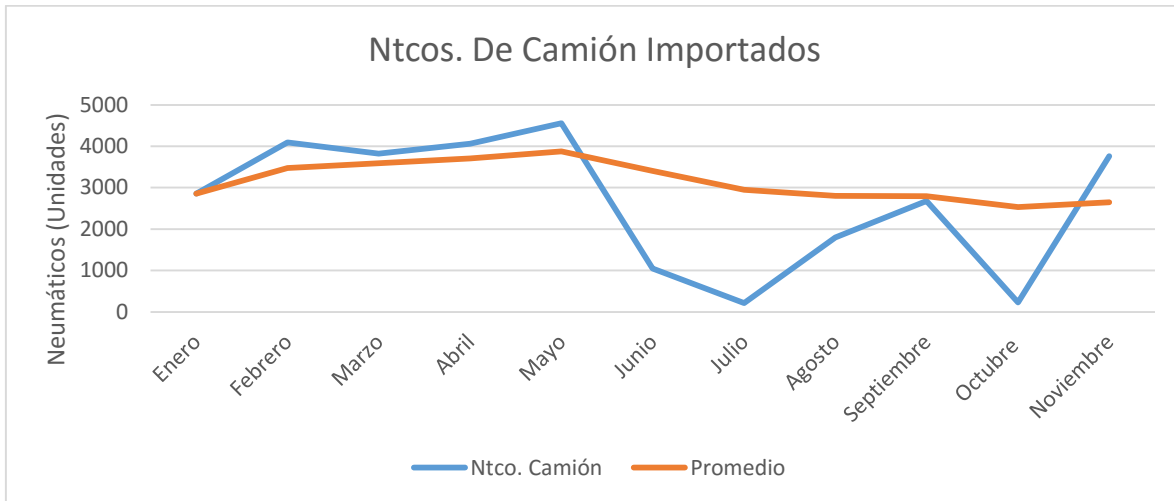


Gráfico 3 Neumáticos de camión descargados mensualmente en el centro de distribución.

Finalmente se deben considerar los neumáticos del tipo OTR los cuales debido a su gran tamaño llegan a la planta en contenedores especiales (Open Top y Flat Rack) y en camiones con rampas de cama baja. Estos neumáticos que llegan a pesar 4.500 Kg cada uno son descargados con grúas especiales de alto tonelaje y almacenados en la intemperie. Mensualmente se descargan en promedio 120.284 Kg de neumáticos OTR.

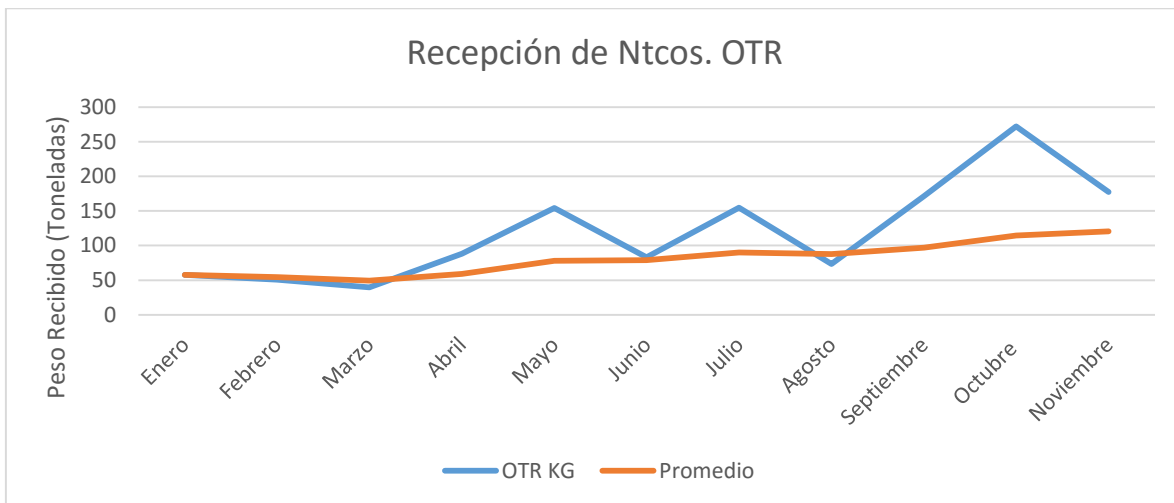


Gráfico 4 Recepción mensual de neumáticos OTR en toneladas.

Sin embargo la importancia de esta operación más allá de la cantidad de productos recibidos es la cantidad de descargas realizadas, las cuales en promedio llegan a 41 camiones o contenedores descargados en el transcurso del mes.

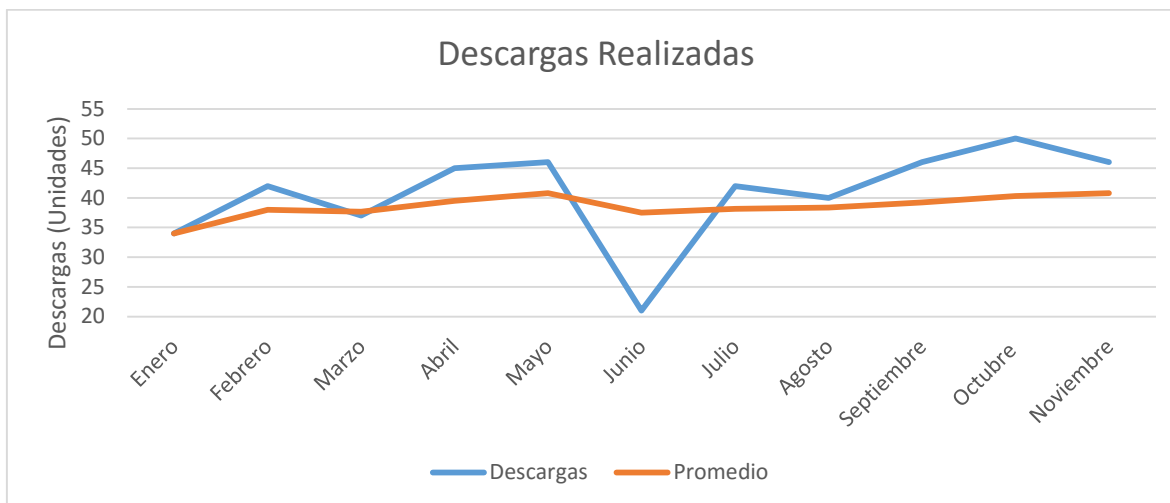


Gráfico 5 Descargas de importados realizadas en el transcurso de un mes.

4.2.1.1. Tiempos de operación para la descarga de importados.

Para el proceso de recepción de importados se ha definido la familia Importación, la cual incluye todas las tareas relacionadas al proceso completo de recepción de importados. Hay que considerar que debido a lo uniforme de la operación se han considerado los tiempos promedios tanto para recursos como operarios.

Operarios	Tiempo Promedio (Hrs)	Recursos	Tiempo Promedio (Hrs)
T. Cargadores	2,5	Anden	2,5
Op. Grúa	0,9	Grúa	0,9
Administrativo	1,5		

Tabla 4 Operarios, tiempos y recursos para la descarga de importados.

4.2.1.2. Recursos requeridos para la operación.

Para la recepción de importados se utiliza una equipo de operarios que es el encargado de descargar el contenedor y almacenar en racks la carga. Un administrativo encargado de realizar la documentación de la carga para poder hacer el ingreso y por último un operador de grúa el cual almacenará en la bodega los productos recibidos. Es importante mencionar que ninguno de estos recursos debe ser dedicado ya que todos ellos pueden realizar labores de despacho.

4.2.2. Recepción de la Producción Local.

El ingreso de la producción local al centro de distribución se realiza por medio de cintas transportadoras, gracias a ellas ingresan los productos terminados a una zona denominada "conveyor", en esta zona los neumáticos son escaneados e identificados para su posterior selección y almacenamiento. Una vez que el producto ingresó a la zona de conveyor y fue

identificado, le es asignado un rack de destino, cuando este rack alcanza su máxima capacidad se indica a los operadores de grúa que dicho rack se encuentra en condiciones de ser almacenado.

La recepción de producción local es un proceso continuo y representa el 95% de las unidades recibidas en el CD. Mensualmente se reciben en promedio 492.759 unidades.

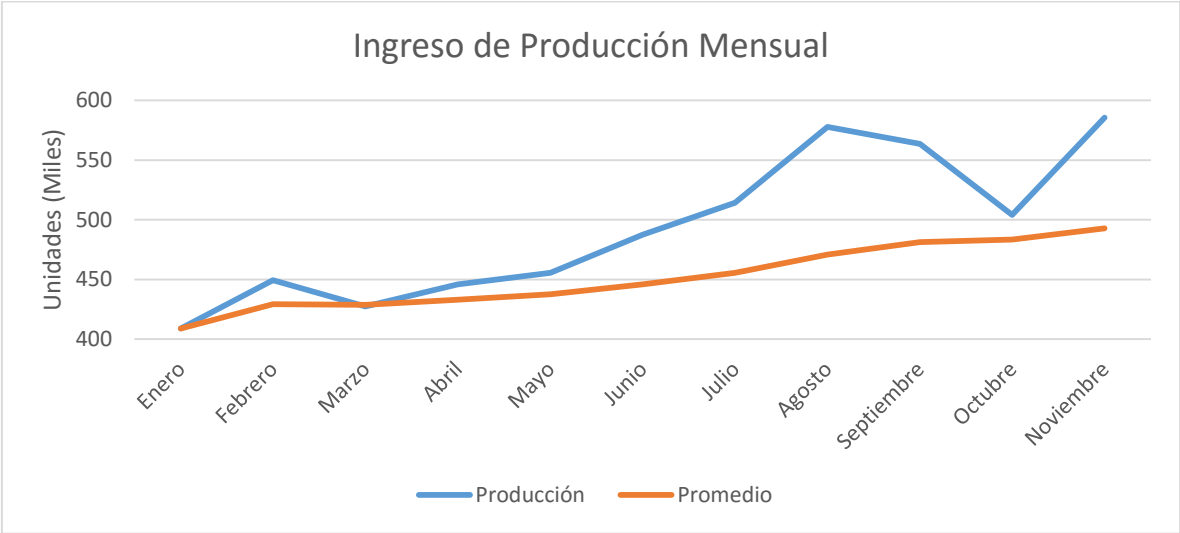


Gráfico 6 Ingreso de producción mensual.

Considerando la importancia de esta operación, se toman en cuenta la cantidad de racks que ingresan al CD, esto debido a que independiente de las cantidades de neumáticos que ingresen, la utilización de recursos se genera al tener que realizar movimientos de los racks desde la zona de *Conveyor* hasta la zona de almacenamiento. Mensualmente en promedio se reciben 14.657 racks.

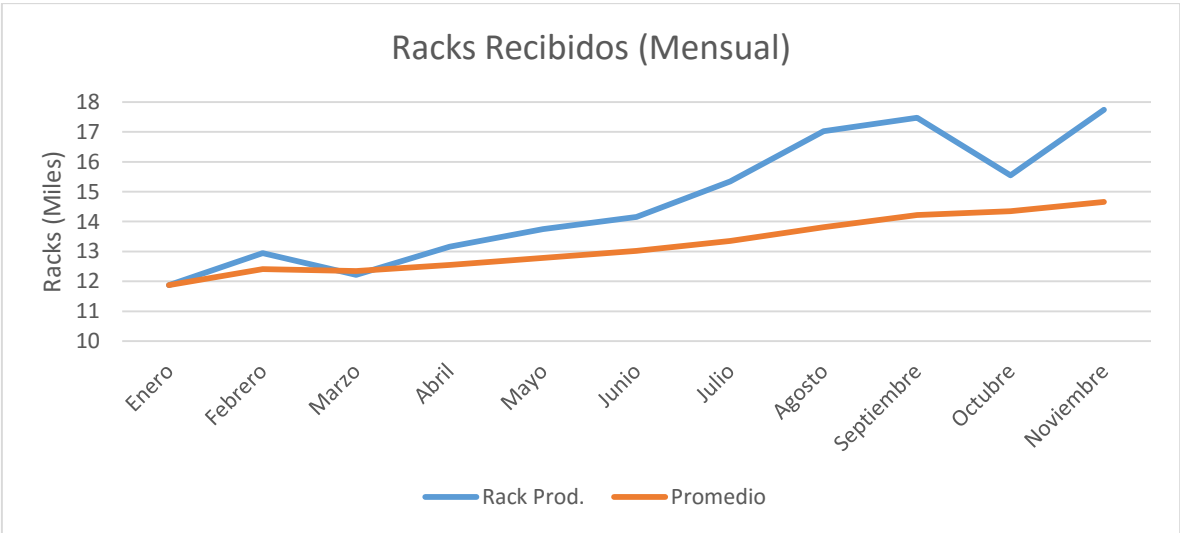


Gráfico 7 Ingreso de racks desde conveyor

4.2.2.1. Tiempos de operación para recepción de producción.

Para la recepción de importados se utilizan 2 tipos de operadores a los cuales se les determinó el tiempo de operación en base a cada rack que ingresa al centro de distribución.

Operadores	Tiempo (Hrs)	Recursos	Tiempo (Hrs)
Op. Conveyor	Distribución	Grúa	0,0458
Op. Grúa	0,0458		

Tabla 5 Operadores, tiempos y recursos para la recepción de producción

El tiempo de operación para el operador de conveyor corresponde a una distribución Normal con media 0,06 y desviación estándar de 0,02 y se utiliza un rango de 0,03 a 0,21.

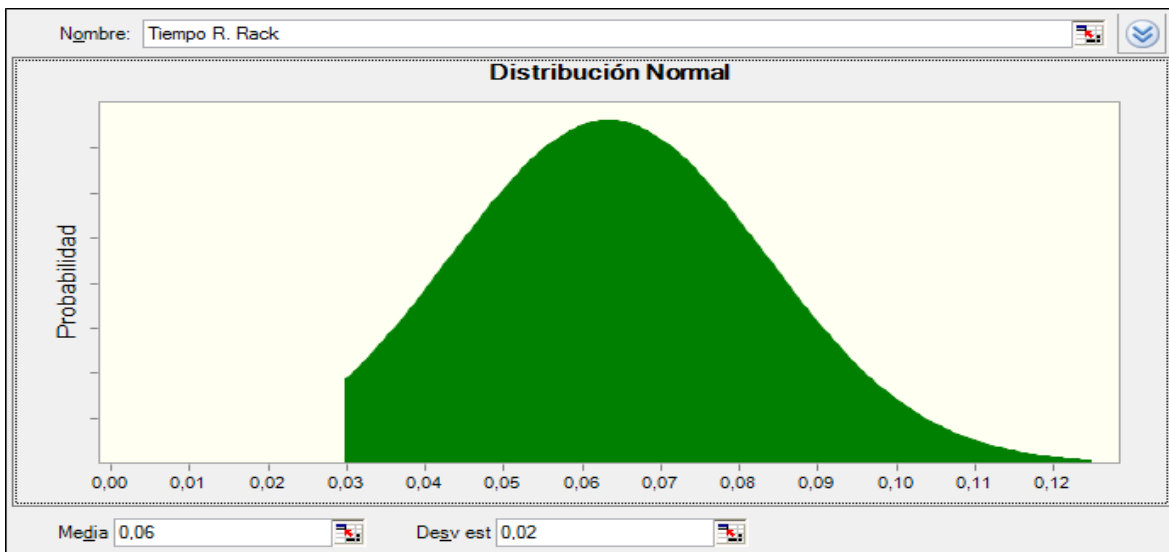


Gráfico 8 Distribución de tiempos entre recepción de racks.

4.2.2.2. Recursos requeridos para la operación.

Para las operaciones de recepción de producción se requiere al equipo de operadores de conveyor el cual está compuesto por 7 personas y son los encargados de escanear los productos que ingresan a bodega, y luego almacenarlos en racks. Cada vez que un rack se encuentra completo se requiere de un operador de grúa para que tome este rack y lo almacene en la posición correspondiente, también se considera un operador de grúa para que posicione los racks vacíos en las posiciones del conveyor de donde se retiró un rack completo.

4.2.3. Despacho de Exportación.

El proceso de exportación en el centro de distribución de GYR es un proceso continuo que funciona las 24 horas del día, las ocasiones en que se detiene la planta y la exportación de neumáticos son solo los feriados irrenunciables nacionales.

El proceso de exportación comienza cuando se generan las órdenes de compra desde NAT, con ellas se planifican la cantidad de contenedores y los destinos a los cuales serán enviados, con esta información se procede a solicitar las reservas correspondientes a las compañías navieras. Una vez que se han determinado los destinos se procede a enviar las reservas a los depósitos de contenedores y a las empresas de transporte para que estas últimas procedan a realizar el retiro de los contenedores que serán utilizados. Luego desde el centro de distribución se procede a enviar el programa de carga de contenedores, en el cual se indica principalmente la empresa de transporte, la reserva y la hora a la que está programado el servicio, las empresas de transporte deben presentarse en el centro de distribución de acuerdo a los horarios indicados en el programa enviado por el operador logístico.

Una vez que los contenedores ya fueron cargados se procede a enviar a documentación a la agencia de aduanas para que esta pueda coordinar el ingreso a puerto de los camiones. Cuando los contenedores ya se encuentran cargados se procede al envío de esta información a las compañías navieras por medio de un documento llamado matriz de BL, la finalidad de este es que la naviera cuente con la información necesaria para la confección del conocimiento de embarque, documento que será enviado al área de COMEX una vez que la nave ha zarpado desde los puertos chilenos.

Finalmente con esta documentación se procede a dar aviso al cliente por medio de una notificación de embarque.

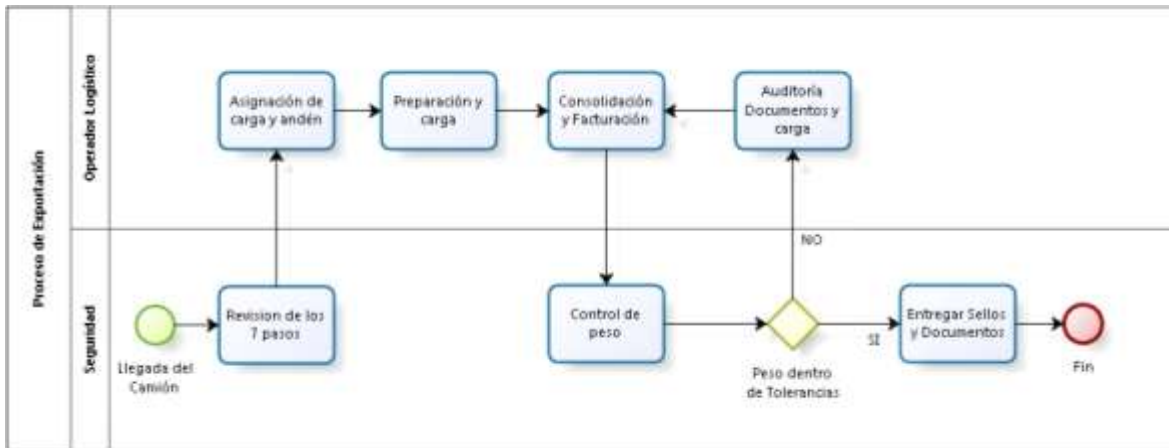


Ilustración 13 Proceso de carga de contenedores, elaboración propia

Llegada del camión: El camión debe presentarse en la oficina de despacho a la hora que fue programado según el programa de despacho que fue enviado el día anterior por el supervisor de despacho.

Revisión de los siete pasos: la recepción del camión consta en recibir la documentación del contenedor que este trae, dicha documentación contiene el número de reserva, el depósito de origen, el puerto de origen y el destino final del contenedor. Según la hora en que se presenta el camión se solicita que espere hasta su hora programada o bien se solicita el ingreso inmediato a la zona de pesaje para que realice el pesaje del contenedor vacío. La revisión de los siete pasos incluye una revisión visual del contenedor (techo, cara delantera, lateral derecho, lateral izquierdo, puertas, base, interior), verificando que este se encuentre en óptimas condiciones para su posterior carga, evaluando seguridad y calidad.

Asignación de andén y carga: esta etapa consiste en asignar uno de los andenes que se encuentra vacío en el centro de distribución, además se procede con la creación del *shipment*² y la elección de las *deliveries*³ que serán cargadas en ese contenedor.

Preparación y carga: la preparación de la carga comienza cuando en la oficina de despacho se generan las órdenes de transferencia para realizar los movimientos de

² **Shipment:** es la unidad de trabajo en el centro de distribución, cada contenedor representa un shipment. Consiste en un número correlativo que es asignado a cada contenedor, el cual está asociado a la información de la empresa de transporte que realiza el servicio.

³ **Deliveries:** Documentos que contienen el detalle de la carga que se encuentra disponible para ser embarcada a un destino específico.

inventario necesarios para cargar el contenedor. Estas órdenes de transferencia son transmitidas automáticamente a los operadores de grúas que se encuentran disponibles para realizar el *picking*⁴ de la mercadería, los operadores de grúas cuentan con un colector de datos el cual está conectado a una red de wi-fi, este colector muestra las ubicaciones de almacenamiento, descripción del neumático, las cantidades que deben recoger y el andén donde lo deben dejar para que sean cargados en el contenedor correspondiente. Una vez que se ha completado el *picking* se procede a auditar la carga, verificando que lo que se había pedido es efectivamente lo que se seleccionó, si el control de despacho determina que la carga está correcta se procede a etiquetar los neumáticos y a cargarlos dentro del contenedor.

Consolidación y facturación: en la oficina de despacho se encuentran los administrativos de despacho, ellos deben realizar la facturación de cada uno de los *shipments* que se han preparado. En este proceso se debe verificar que el sistema represente fielmente lo que se está cargando ya que en ocasiones si el operador de grúa no confirma los racks de neumáticos que está seleccionando estos no figurarán en la carga final del contenedor y el proceso no podrá continuar, además deben validar el destino del contenedor y el origen del pedido ya que si estos datos no concuerdan se generarán errores posteriores en la documentación. Este proceso finaliza cuando se valida toda la información del sistema, se rebaja el inventario y se emiten las guías de despacho.

Control de peso: el camión que fue pesado vacío al ingresar a la planta debe ser pesado una vez que ya fue cargado y los pesos deben estar de acuerdo a lo informado en la carga, sin embargo se acepta una desviación del 2%. Si el peso del camión queda fuera de las tolerancias aceptadas quedará rechazado.

Auditoría de la documentación y la carga: una vez que el camión queda rechazado por peso se procede en primer lugar a realizar una auditoría de la documentación, en ella se determina que todas las cantidades de neumáticos facturados corresponda a la que efectivamente lleva el contenedor. Si las cantidades concuerdan se realiza un muestreo de peso, este consiste en seleccionar el código de neumático más representativo de la carga,

⁴ Picking: es la preparación de un pedido, consiste en la selección de un numero de ítems desde sus ubicaciones de almacenamiento para satisfacer distintas ordenes de pedidos de clientes independientes (Logistec, 2011)

pesar 15 unidades para obtener el promedio del peso real del neumático, luego multiplicarlo por la cantidad de neumáticos que lleva el camión, si esto muestra una diferencia que excede el 2% el camión quedará liberado, de no ser así se procede a aforar físicamente el camión.

Entregar documentación y sellos: finalmente si el contenedor aprueba el control de peso, se le hace entrega de las guías de despacho y se procede a sellar el contenedor con dos sellos, uno que es propiedad de GYR y otro que corresponde al control de cada naviera. Una vez que el contenedor se encuentra sellado y el conductor posee toda la documentación de la carga, el camión queda liberado y puede retirarse de la planta.

Mensualmente se exportan 498.643 unidades en promedio, lo cual equivale a un 96% de las unidades despachadas en el mes.



Gráfico 9 Unidades de Exportación Despachadas por mes.

Por otro lado se tiene que en promedio se despachan 715 contenedores al mes y aproximadamente 22 contenedores por día.

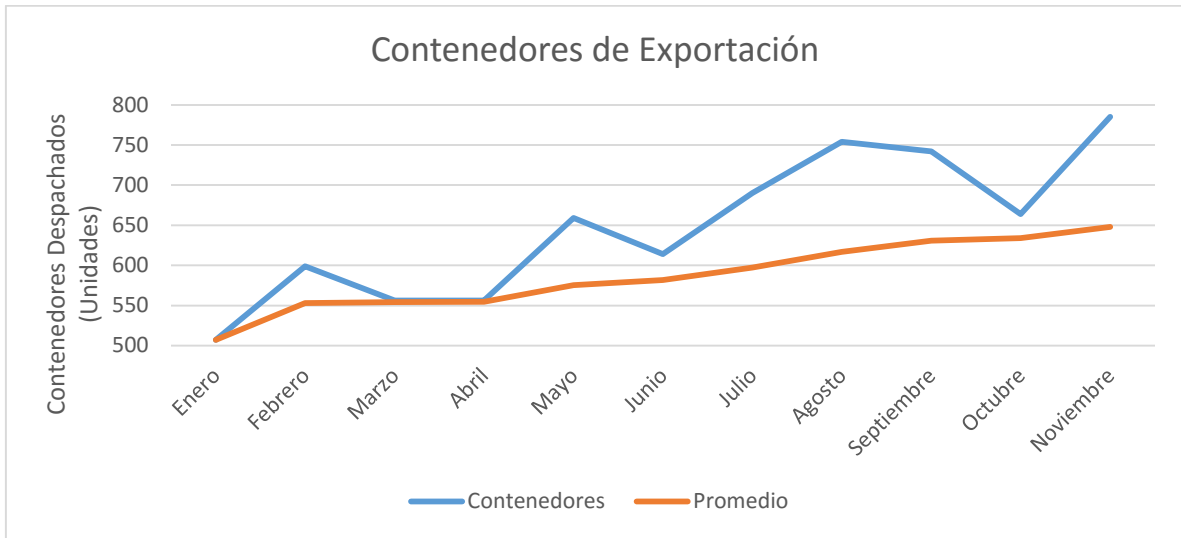


Gráfico 10 Contenedores Despachados por mes.

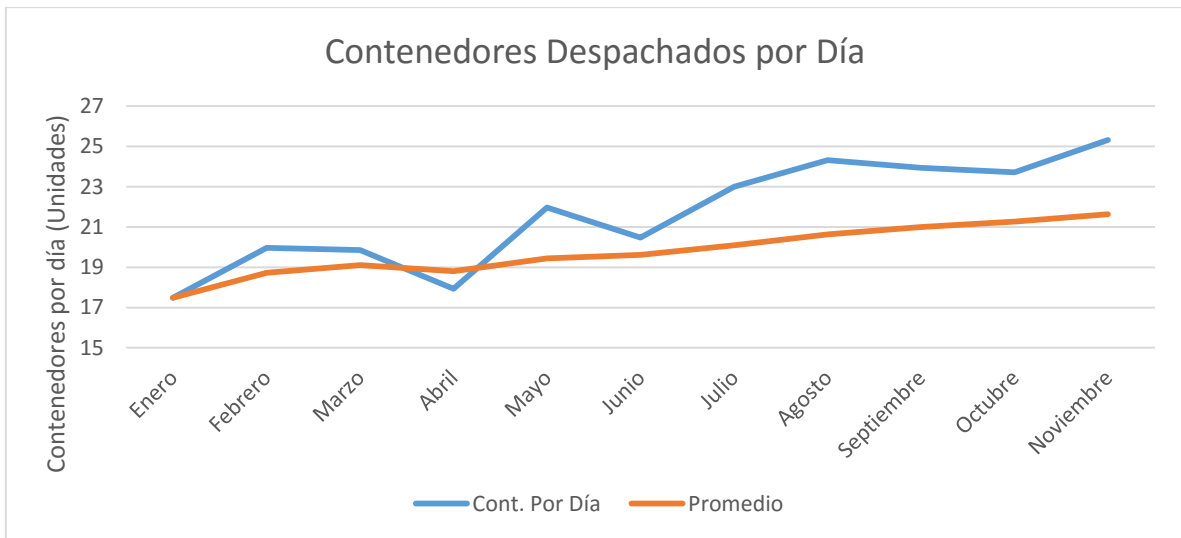


Gráfico 11 Promedio de contenedores despachados por día.

Finalmente y por conceptos de valorizaciones se considerará el total en peso despachado de forma mensual, lo cual considera un promedio de 5.785.096 Kg.



Gráfico 12 Exportación de neumáticos mensual, considerando el peso.

4.2.3.1. Tiempos de operación de despacho exportación

En las operaciones de despacho, se utilizan 4 tipos de operadores, el administrativo, los cargadores, el líder de turno y el operador de grúa.

Operadores	Tiempo (Hrs)	Recursos	Tiempo (Hrs)
Administrativo	1,13	Andén	Distribución
Cargador	1,78 +N(0,42 ; 0,08)	Grúas	Distribución
L. de turno	N(0,58 ; 0,09)		
Op. Grua	N(2,74 ; 0,50)		

Tabla 6 Operaciones, tiempos y recursos para el despacho de exportación.

Los administrativos que se encargan de confirmar la carga y facturar utilizan un tiempo que está distribuido de forma logarítmica ubicada en 0,5 con una media de 1,25 y una desviación estándar de 1.

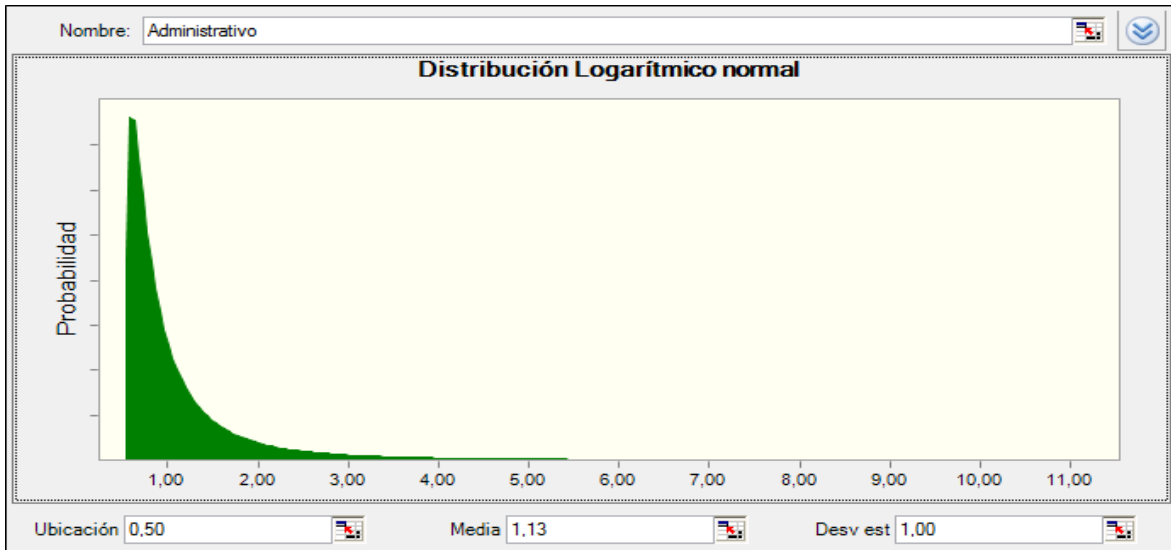


Gráfico 13 Distribución del tiempo de un Administrativo

Los cargadores presentan un tiempo de proceso compuesto por dos operaciones, una es la carga de los neumáticos dentro del contenedor y la otra es el proceso de etiquetado de todas las unidades cargadas. El tiempo de carga de un contenedor se considerará como la suma del tiempo en cargar más la cantidad de racks que se pueden cargar en un contenedor, los cuales se distribuyen de forma normal con media 3,42, desviación estándar 0,68 y de forma triangular con mínimo 18, más probable 23 y máximo 28.

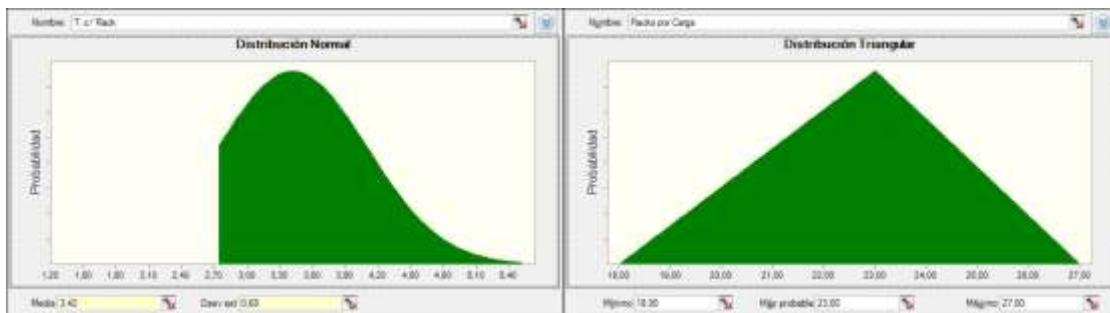


Gráfico 14 Tiempo de carga por rack y cantidad de racks a cargar.

El líder de turno en despacho presenta una distribución normal con media 0,58 y desviación estándar de 0,09, se utiliza un rango desde 0,42.

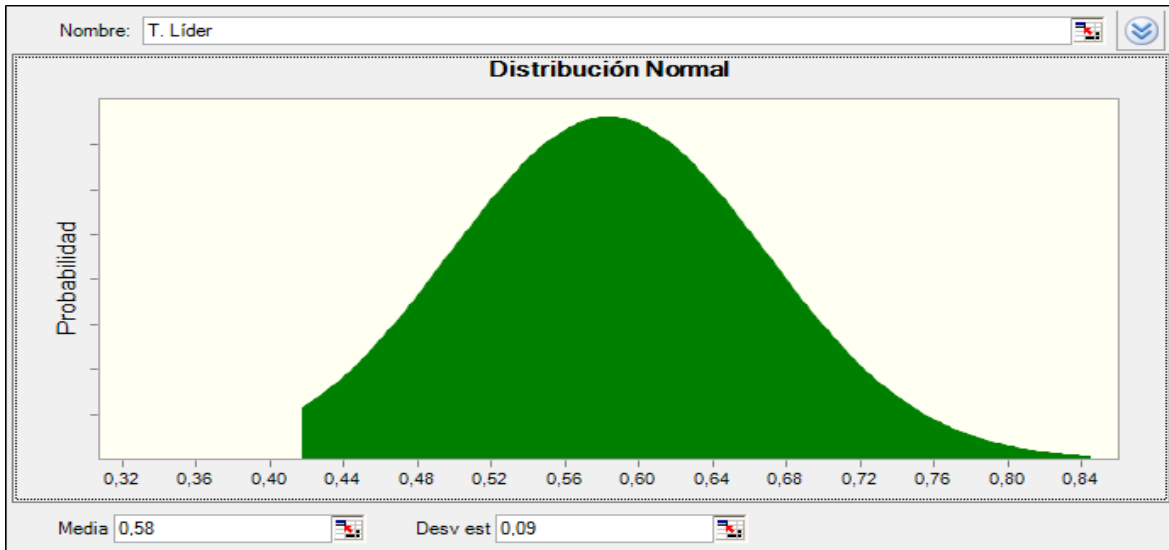


Gráfico 15 Tiempo para el líder.

Finalmente el operador de grúa presenta tiempos de operación que se distribuyen de forma normal con media 2,74 y desviación estándar de 0,50.

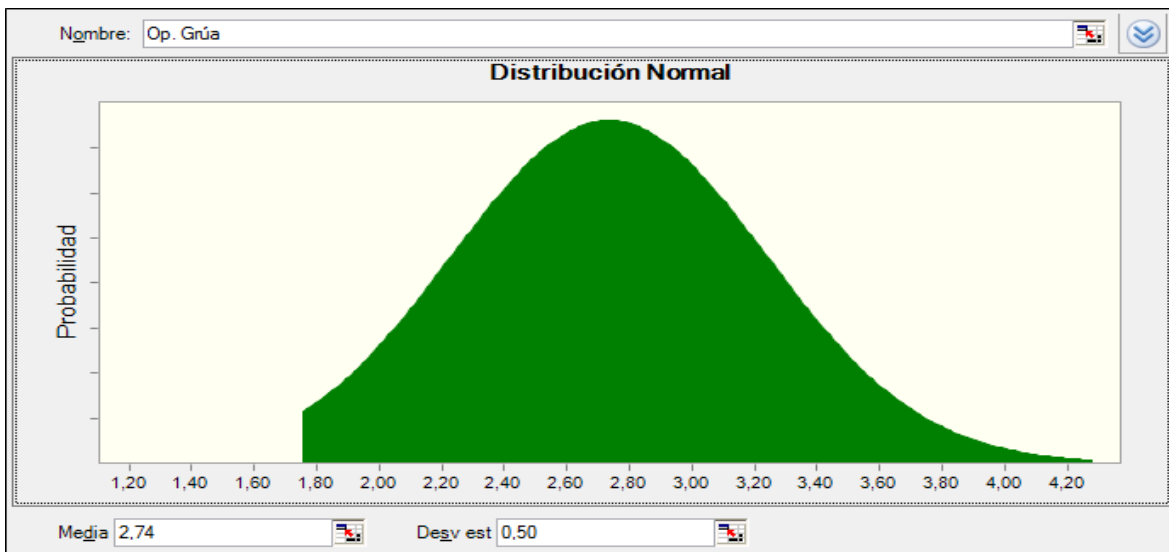


Gráfico 16 Tiempos de operación para los operadores de grúas

4.2.3.2. Recursos requeridos para la operación

Para la realización de las operaciones de exportación se requiere al líder, el cual se encargará de las tareas de planificación y recepción del camión, operador de grúa y cargadores que prepararán los productos para ser cargados, cargadores que cargarán los productos dentro del contenedor y finalmente a los administrativos quienes se encargarán del control y la facturación.

4.2.4. Despacho Local

Las operaciones relacionadas al despacho de productos al mercado local son similares a las que se realizan para despachar un contenedor de exportación, solo difieren en los tiempos de preparación. Es por esta razón que no se profundizará en ellas.

Mensualmente se despachan 29.296 unidades en promedio, a clientes que se encuentran a lo largo de todo el territorio nacional.

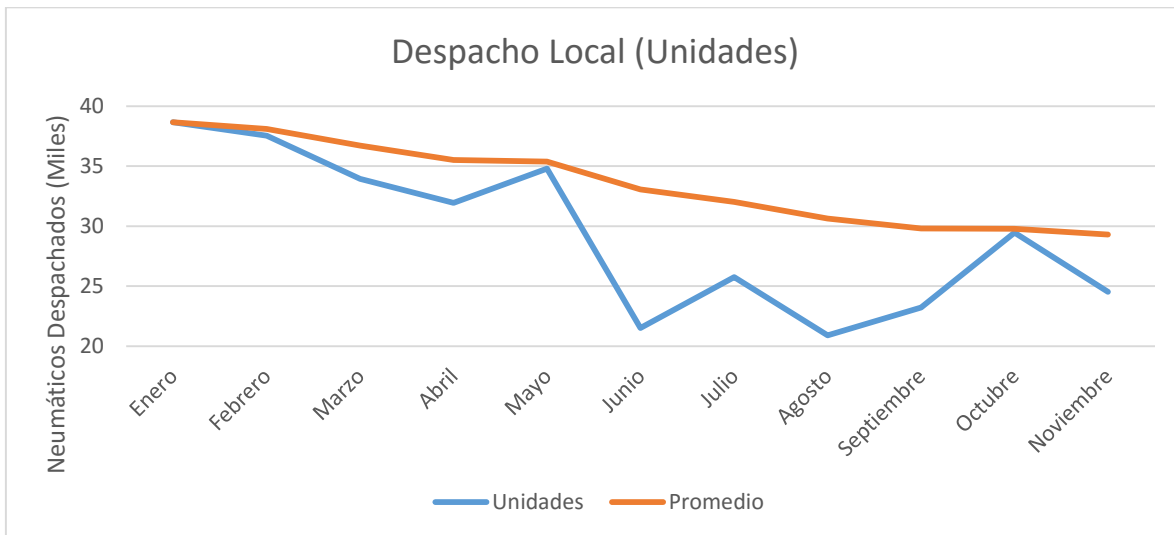


Gráfico 17 Despacho local de neumáticos a nivel mensual en unidades

Debido a conceptos de valorizaciones es importante considerar el peso total despachado al mes, en el cual se obtiene un promedio de 533.584 Kg.

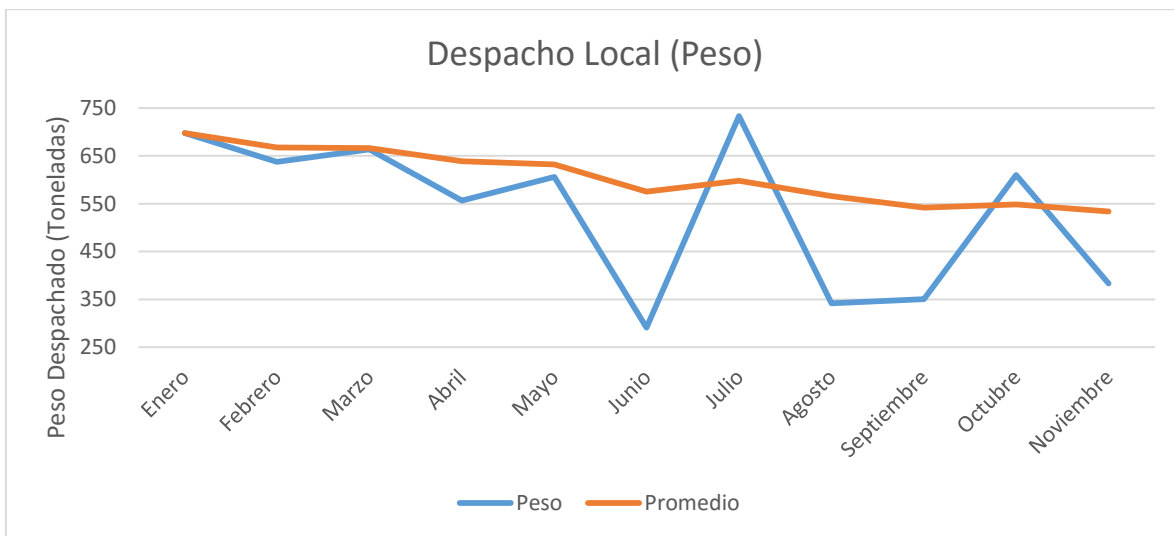


Gráfico 18 Despacho local de neumáticos en toneladas despachadas.

4.2.4.1. Tiempos de la operación de despacho local

Para la realización de despachos locales se utiliza a los administrativos, operadores de grúa y al líder. Debido a las características de la operación se utilizarán los valores promedios.

Operadores	Tiempo	Recursos	Tiempo
Administrativo	0,75	Líder	Andén
Op. Grúa	3,25	Op. Grúa	Grúas
Líder	0,75	Administrativo	

Tabla 7 Operaciones, tiempos y recursos para el despacho local.

4.3. Pronósticos

Para efectuar todos los pronósticos necesarios del modelo de planeación se utilizó un software complemento de Microsoft Office Excel 2013 llamado Crystal Ball con su herramienta Predictor. Todos los pronósticos se realizaron en base a un horizonte de tres periodos.

Los pronósticos se realizaron en base a los datos históricos que comprenden desde Enero hasta Noviembre de 2015.

4.3.1. Importación

Dentro de los pronósticos que serán necesarios realizar en cuanto a la importación se deben considerar aquel que indicará el número de unidades a recibir, racks de neumáticos tipo pasajero, número de neumáticos de camión y kilos totales de neumáticos OTR.

4.3.1.1. Unidades Importadas.

Para pronosticar las unidades totales que serán recepcionadas en la bodega se utilizará el método ARIMA(0,0,1) ya que en comparación a los otros métodos disponibles obtuvo la menor desviación absoluta media. En la tabla a continuación se pueden apreciar los datos estadísticos descriptivos de la muestra.

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	12.245,00
Media	28.660,55
Máximo	34.803,00
Desviación estándar	6.533,71
Ljung-Box	2,84
Estacionalidad	No estacional

Tabla 8 Estadísticas para datos históricos de recepción total de importados

Tal como se mencionó anteriormente para realizar este pronóstico se utilizó el método ARIMA(0,0,1), a continuación en la Tabla 9 se puede ver la comparación de MAD con los dos mejores pronósticos siguientes, luego en la Tabla 10 se comparan los valores de U de Theil y Durbin-Watson obtenidos para cada uno de los modelos.

Método	Rango	MAD
ARIMA(0,0,1)	Mejor	4.152,10
Promedio móvil simple	2.º	4.960,50
Suavizado exponencial doble	3.º	4.968,37

Tabla 9 Comparación mejores métodos de pronósticos para la recepción de importados.

Método	U de Theil	Durbin-Watson
ARIMA(0,0,1)	0,3127	1,30
Promedio móvil simple	0,4045	2,61
Suavizado exponencial doble	0,4589	2,05

Tabla 10 Valores obtenidos para U de Theil y Durbin-Watson Unidades Importadas.

Finalmente se puede decir que utilizando el modelo ARIMA(0,0,1) se obtiene el pronóstico para los tres meses siguientes con un MAD de 4.152, y la siguiente distribución:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	21.213,13	32.405,25	43.597,36
Periodo 2	13.599,03	28.660,55	43.722,06
Periodo 3	13.599,03	28.660,55	43.722,06

Tabla 11 Pronóstico para la recepción de importados.

4.3.1.2. Racks de neumáticos de pasajeros.

Se utiliza una muestra de datos históricos con once registros. El pronóstico se obtuvo utilizando el modelo ARIMA(0,0,1), ya que al igual que en el caso anterior, dicho método es el que presenta una menor MAD.

Para la cantidad de racks de importación recibidos se obtienen los siguientes datos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	361,00
Media	672,18
Máximo	872,00
Desviación estándar	147,54
Ljung-Box	6,15
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 12 Estadística descriptiva para la cantidad de racks importados

El valor de la U de Theil es menor que cero, por lo cual se puede decir que la utilización de este pronóstico es mejor que la adivinación.

Método	U de Theil	Durbin-Watson
ARIMA(0,0,1)	0,3426	1,41
Promedio móvil simple	0,4946	2,15
Suavizado exponencial simple	0,6337	2,21

Tabla 13 Valores de U de Theil y Durbin-Watson

Finalmente los datos obtenidos en este pronóstico utilizando el método ARIMA(0,0,1) son los siguientes.

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	489,01	724,29	959,57
Periodo 2	352,16	672,18	992,20
Periodo 3	352,16	672,18	992,20

Tabla 14 Valores pronosticados para la cantidad de racks importados racks neumáticos de pasajeros.

4.3.1.3. Importación neumáticos de camión.

Para el pronóstico de los neumáticos de camión que serán recepcionados durante los próximos tres periodos se utiliza el método ARIMA(2,0,2) el cual presenta un MAD 881,54 y una U de Theil de 0,3082. Los valores obtenidos para los datos históricos de los 11 periodos anteriores son:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	211,00
Media	2.645,64
Máximo	4.552,00
Desviación estándar	1.595,06
Ljung-Box	3,70
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 15 Estadística descriptiva para la cantidad de neumáticos de camión importados

Una vez realizado el pronóstico según el modelo ARIMA(2,0,2) se obtienen los siguientes valores para el horizonte pronosticado.

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	1.952,36	3.961,64	5.970,93
Periodo 2	2.224,13	4.238,66	6.253,19
Periodo 3	1.805,07	3.928,67	6.052,27

Tabla 16 Valores pronosticados para la cantidad de neumáticos de camión importados

4.3.1.4. Importación neumáticos OTR.

Considerando la variabilidad de los tamaños y la operación de los neumáticos OTR es que el pronóstico no se hace por unidades sino que por peso debido a que dentro de la clasificación de neumático OTR existen productos que pesan desde 70 a 4.500 kilogramos.

Para este pronóstico el método que entrega los mejores resultados es el suavizado exponencial doble con el cual se obtiene un MAD de 44.768,45 y una U de Theil de 0,7927. Los valores descriptivos de la muestra de datos históricos son los siguientes:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	39.621,00
Media	120.284,00
Máximo	272.225,00
Desviación estándar	71.548,81
Ljung-Box	5,74
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 17 Estadística descriptiva para el peso de neumáticos OTR recibidos

Finalmente los datos para los periodos pronosticados son:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	119.856,21	231.730,64	343.605,07
Periodo 2	141.108,16	261.882,99	382.657,81
Periodo 3	160.307,39	292.035,33	423.763,27

Tabla 18 Valores pronosticados para el peso de neumáticos OTR recibidos

4.3.1.5. Pronóstico de descargas.

La operación que utiliza la mayor cantidad de recursos en las importaciones es la descarga de los contenedores o camiones que llegan al centro de distribución. El pronóstico de las descargas de productos importados se realizó utilizando el método ARIMA(0,0,1) con él se obtuvo un MAD de 5,64 y una U de Theil de 0,4444. La estadística descriptiva de la muestra de datos históricos de las descargas de importados se observa en la siguiente tabla.

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	21,00
Media	40,82
Máximo	50,00
Desviación estándar	8,00
Ljung-Box	4,67
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 19 Estadística descriptiva para las descargas realizadas

Utilizando el método ARIMA(0,0,1) se obtienen los siguientes valores pronosticados.

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	25,38	40,28	55,18
Periodo 2	25,86	40,82	55,77
Periodo 3	25,86	40,82	55,77

Tabla 20 Valores pronosticados para la descarga de importados

4.3.2. Pronóstico de Ingreso de Producción

Las operaciones de ingreso de producción local que serán pronosticadas corresponden a las de recepción en unidades y racks además del peso mensual total.

4.3.2.1. Ingreso mensual de racks.

El ingreso mensual de racks considera el total de los racks que han sido recibidos en conveyor, sin importar las unidades que estos contengan. Para este pronóstico el mejor método fue el suavizado exponencial doble.

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	11.871,00
Media	14.657,64
Máximo	17.742,00
Desviación estándar	2.103,78
Ljung-Box	2,70
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 21 Estadística descriptiva para la cantidad de racks recibidos de producción.

El valor obtenido para la U de Theil en este modelo es 0,8781 lo cual corrobora que el pronóstico es mejor que adivinar. Finalmente los datos obtenidos para este pronóstico con tres periodos como horizonte son:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	15.512,21	17.858,80	20.205,39
Periodo 2	14.937,81	17.975,60	21.013,39
Periodo 3	15.000,69	18.092,40	21.184,10

Tabla 22 Valores pronosticados para la cantidad de racks recibidos de producción.

4.3.2.2. Ingreso mensual de producción.

El ingreso mensual de producción considera todas las unidades que han sido acreditadas como producción y que ingresan a bodega. Para el ingreso mensual de producto terminado se obtienen los mejores resultados utilizando el método de suavizado exponencial doble obteniendo un MAD de 23.342,39 y una U de Theil de 0,9115. Los valores obtenidos para el horizonte pronosticado son:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	409.062,00
Media	492.759,36
Máximo	585.626,00
Desviación estándar	61.792,69
Ljung-Box	3,12
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 23 Estadística descriptiva para la cantidad de unidades acreditadas como producción.

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	509.413,26	591.131,14	672.849,01
Periodo 2	494.722,03	596.636,27	698.550,52
Periodo 3	498.077,94	602.141,41	706.204,88

Tabla 24 Valores pronosticados para la cantidad de unidades acreditadas como producción

4.3.3. Pronósticos de Exportación:

4.3.3.1. Unidades de exportación despachadas.

Las unidades de exportación despachadas corresponden al total mensual de neumáticos enviados a Norte América. Para el cálculo del peso exportado, se considerará el promedio de peso por unidad despachada durante los últimos 11 meses y será calculado según el valor pronosticado para los próximos periodos. El pronóstico de unidades despachadas se realizó con el método ARIMA(2,1,2) el cual en comparación a los ofrecidos por el sistema otorgó los mejores resultados, obteniendo un MAD de 18.522,90 y una U de Theil de 0,5315. A continuación los datos estadísticos descriptivos de la muestra utilizada.

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	424.609,00
Media	498.643,82
Máximo	604.962,00
Desviación estándar	64.667,15
Ljung-Box	5,07
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 25 Estadística descriptiva para la cantidad de unidades exportadas.

Utilizando el método ARIMA(2,1,2) se obtienen los siguientes datos pronosticados para los siguientes 3 meses.

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	542.930,71	597.724,29	652.517,87
Periodo 2	430.246,32	525.113,35	619.980,38
Periodo 3	470.062,93	575.331,50	680.600,08

Tabla 26 Valores pronosticados para la cantidad de unidades exportadas.

Considerando un peso promedio por unidad de 11,602 Kg por neumático se obtiene un peso estimado para los próximos periodos de:

Fecha	Peso (Ton)
Periodo 1	6.934,59
Periodo 2	6.092,19
Periodo 3	6.674,80

Tabla 27 Peso estimado a exportar

4.3.3.2. Contenedores de exportación.

Los contenedores de exportación despachados desde el centro de distribución fueron pronosticados utilizando el método de suavizamiento exponencial doble ya que frente a los demás modelos de pronóstico incluidos en el software este fue el que presentó un menor MAD de 43,68 y una U de Theil 0,8309. Los datos estadísticos descriptivos de esta muestra son:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	507,00
Media	647,82
Máximo	785,00
Desviación estándar	90,19
Ljung-Box	4,75
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 28 Estadística descriptiva para la cantidad de contenedores exportados

A partir de los datos históricos de hace 11 meses atrás se obtuvo un pronóstico con los siguientes valores:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	621	730	838
Periodo 2	640	753	866
Periodo 3	653	776	898

Tabla 29 Valores pronosticados para el despacho de contenedores de exportación

4.3.4. Pronóstico Despachos Locales.

4.3.4.1. Kilos de unidades despachadas.

El despacho de reposición o despacho local debido a lo variado de su operación, considerando que debe despachar neumáticos de pasajeros, de camión y OTR, se considerará solo el peso total de los neumáticos despachados durante el mes. Para realizar este pronóstico se utilizó el método ARIMA(1,0,2) ya que obtuvo el menor MAD frente a los demás modelos. Con el modelo ARIMA(1,0,2) se obtuvo un MAD de 62.853,34 y una U de Theil 0,3646, obteniendo los siguientes estadísticos descriptivos de la muestra:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	290.973,00

Media	533.584,91
Máximo	732.864,00
Desviación estándar	160.457,80
Ljung-Box	6,99
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 30 Estadística descriptiva para el peso de los neumáticos despachados localmente

Utilizando el modelo mencionado, se obtuvo los siguientes valores pronosticados:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	320.305,94	515.437,08	710.568,22
Periodo 2	304.911,35	510.488,59	716.065,83
Periodo 3	270.953,87	515.164,88	759.375,88

Tabla 31 Valores pronosticados para el peso de neumáticos despachados en el mercado local

4.3.4.2. Despachos realizados.

Finalmente considerando los camiones despachados desde el centro de distribución a las distintas regiones del país se obtiene un pronóstico utilizando el método ARIMA(1,1,0) ya que fue el método que presentó el menor MAD (9,86) y una U. de Theil de 0,6754.

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	11
Mínimo	38,00
Media	58,09
Máximo	71,00
Desviación estándar	10,63
Ljung-Box	4,17
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

Tabla 32 Estadística descriptiva para los camiones despachados localmente.

Los valores pronosticados para los diferentes periodos son:

Fecha	Inferior: 2,5%	Previsión	Superior: 97,5%
Periodo 1	31,21	50,53	69,85
Periodo 2	34,53	55,18	75,83
Periodo 3	26,89	52,29	77,69

Tabla 33 Valores pronosticados para los camiones despachados en el mercado local

4.3.5. Resumen de pronósticos:

Con la finalidad de clarificar los resultados, a continuación se muestra un resumen con los valores obtenidos en cada uno de los pronósticos:

Concepto	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Unidades Importadas (Ntco)	32.405	28.661	28.661
Racks Importados (Rack)	724	672	672

Neumáticos de Camión (Ntco)	3.962	4.239	3.929
Neumáticos OTR (Kg)	231.731	261.883	292.035
Descarga de Importados (Cont)	40	41	41
Racks Producción Local (Rack)	17.859	17.976	18.092
Ingreso de Producción (Ntco)	591.131	596.636	602.141
Exportación (Un)	597.724	525.113	575.332
Exportación (Cont)	730	753	776
Exportación (Ton)	6.935	6.092	6.675
Despacho Local (Kg)	515.437	510.489	515.165
Despacho Local (Viajes)	50,53	55,18	52,29

Tabla 34 Resumen pronósticos de operación.

4.4. Modelo, programación lineal.

4.4.1. Variables y parámetros del modelo:

Los elementos que se utilizarán dentro del modelo son los siguientes:

Operaciones	<i>i</i>	Operadores	<i>k</i>	Recursos	<i>r</i>	Periodos	<i>t</i>
Recepción de Producción	1	Cargadores	1	Andén	1	Mes 1	1
Recepción de Importados	2	Op. Grúa	2	Grúa	2	Mes 2	2
Despacho de Exportación	3	Administrativo	3	Conveyor	3	Mes 3	3
Despacho Local	4	Eq. Conveyor	4				

Tabla 35 Elementos a utilizaren la elaboración del modelo

Tal como se puede observar se ha asignado a cada categoría un índice, por lo tanto se tiene:

- i* = Índice de Operaciones
- k* = Índice de Operadores
- r* = Índice de Recursos
- t* = Índice de Periodos

Con la información entregada en la tabla anterior, se procede a identificar cada una de las variables de decisión y parámetros que afectarán al modelo.

Sean variables de decisión:

- $x_{i,t}$ = Cantidad mensual de operaciones del tipo *i* que se realizarán en el periodo *t*.
- $dp_{i,t}$ = Pedidos pendientes del tipo *i* que no pueden ser realizados en el periodo *t*.

Tabla 36 Variables de decisión para el modelo

Sean los parámetros:

- $d_{i,t}$ = Cantidad mensual de demanda pronosticada para la operación del tipo *i* en el periodo *t*.
- $c_{i,k}$ = Cantidad promedio de horas que utiliza la operación *i* del operario *k*.

- $htc_{t,k}$ = Cantidad total de horas disponibles de cada operario de tipo k en el periodo t.
- $re_{i,r}$ = Cantidad promedio de horas que utiliza la operación tipo i del recurso tipo r.
- $htr_{r,t}$ = Cantidad total de horas disponibles del recurso tipo r en el periodo t.

Tabla 37 Parámetros para el modelo

4.4.2. Información pertinente para la confección del modelo.

A continuación se presentan las relaciones pertinentes de cada uno de los parámetros.

- Las operaciones de recepción de producción utilizan el conveyor.
- En las operaciones de recepción de producción se cuenta con 3 grúas.
- Las operaciones de recepción de la producción deben ser igual a la demanda, esto quiere decir que no está permitido dejar demanda pendiente para el periodo siguiente.
- El centro de distribución cuenta con siete andenes
- Cada carga de exportación y despacho local utiliza un andén.
- Cada recepción de importados utiliza un andén
- Importaciones, exportaciones y despacho local comparten el recurso Andén.
- Importaciones, exportaciones y despacho local comparten el recurso Gruero.
- Importaciones y exportaciones comparten el recurso Cargadores.

4.4.3. Modelo matemático:

A continuación se detalla el modelo de programación lineal elaborado para este problema:

$$Max Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^3 x_{i,t} \quad \forall i = 1 \dots 4; \forall t = 1 \dots 3$$

Ecuación 11 Ecuación a optimizar

Sujeto a:

Restricciones de demanda.

$$dm_{i,t} \leq x_{i,t} \leq ds_{i,t} \quad \forall i = 1 \dots 4; \forall t = 1 \dots 3$$

Ecuación 12 Restricciones de demanda

Restricciones de operadores:

$$\sum_{i=1}^4 c_{i,k} \cdot x_{i,t} \leq htc_{k,t} \quad \forall i = 1, 2, 4; \forall k = 2; \forall t = 1 \dots 3$$

$$\sum_{i=1}^4 c_{i,k} \cdot x_{i,t} \leq htc_{k,t}$$

$$\forall i = 2, 4; \forall k = 3; \forall t = 1 \dots 3$$

$$\sum_{i=1}^4 c_{i,k} \cdot x_{i,t} \leq htc_{k,t}$$

$$\forall i = 2, 4; \forall k = 3; \forall t = 1 \dots 3$$

$$c_{i,k} \cdot x_{i,t} \leq htc_{k,t}$$

$$\forall i = 1; \forall k = 1; \forall t = 1 \dots 3$$

Ecuación 13 Restricciones de operadores

Restricciones de recursos:

$$\sum_{i=1}^4 re_{i,r} \cdot x_{i,t} \leq htr_{r,t}$$

$$\forall i = 1; \forall r = 1; \forall t = 1 \dots 3$$

$$\sum_{i=1}^4 re_{i,r} \cdot x_{i,t} \leq htr_{r,t}$$

$$\forall i = 1, 2, 4; \forall r = 2; \forall t = 1 \dots 3$$

$$\sum_{i=1}^4 re_{i,r} \cdot x_{i,t} \leq htr_{r,t}$$

$$\forall i = 2, 4; \forall r = 3; \forall t = 1 \dots 3$$

$$\sum_{i=1}^4 re_{i,r} \cdot x_{i,t} \leq htr_{r,t}$$

$$\forall i = 2, 4; \forall r = 4; \forall t = 1 \dots 3$$

Ecuación 14 Restricciones de recursos

4.4.4. Construcción del modelo

Para la construcción del modelo se utilizará el Software Crystal Ball v.11.1.2.3.000 de Oracle, montado sobre Microsoft Office Excel 2013 en un computador personal con un procesador de 4 núcleos y de 2,30 GHz cada uno.

En primer lugar se debe registrar toda la información relevante para el modelo en un libro de Excel considerando los valores pronosticados para cada una de las operaciones como también se deben representar las observaciones mencionadas antes como “Información pertinente para la confección del modelo”. Una vez que se han incluido todos los datos, se deben asignar algunos supuestos los cuales representan distribuciones de probabilidad para la simulación posterior.

4.4.4.1. Supuestos.

La definición de supuestos corresponde a asignar una distribución de probabilidades a cada una de las variables a las que se les desconoce el valor exacto, ya que históricamente pueden presentar diferentes comportamientos. Generalmente estos supuestos corresponden a unidades vendidas, tiempos de operación y datos similares. Mediante la

asignación de supuestos se obtienen resultados más confiables ya que pueden determinar las distribuciones que más se asemejen a la realidad.

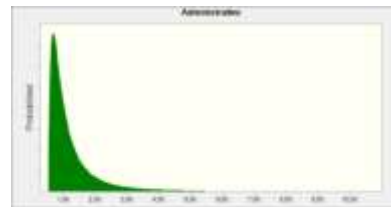
Para este trabajo se definieron los supuestos principalmente de los tiempos de operación y algunas características de las unidades cargadas en un contenedor.

Suposición: Administrativo

Logarítmico normal distribución con parámetros:

Ubicación	0,50
Media	1,25
Desv est	1,00

El rango seleccionado es de 0,47 a 5,45

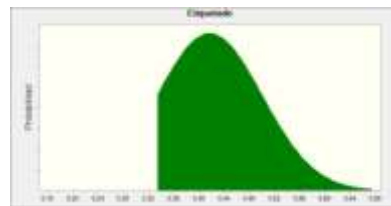


Suposición: Etiquetado

Normal distribución con parámetros:

Media	0,42
Desv est	0,08

El rango seleccionado es de 0,33 a Infinito



Suposición: Op. Grúa

Normal distribución con parámetros:

2,5%	1,75
97,5%	3,72

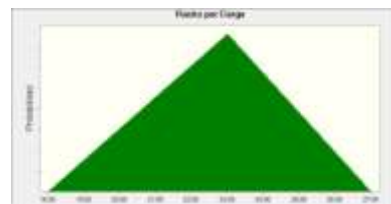
El rango seleccionado es de 1,75 a Infinito



Suposición: Racks por Carga

Triangular distribución con parámetros:

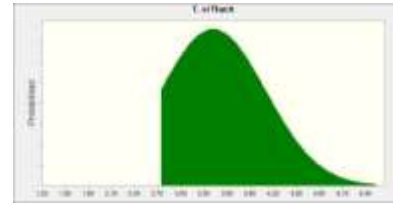
Mínimo	18,00
Más probable	23,00
Máximo	27,00



Suposición: T. c/ Rack

Normal distribución con parámetros:
 Media 3,42
 Desv est 0,68

El rango seleccionado es de 2,73 a Infinito



Suposición: T. Líder

Normal distribución con parámetros:
 2,5% 0,42
 97,5% 0,75

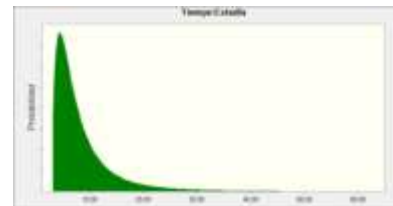
El rango seleccionado es de 0,42 a Infinito



Suposición: Tiempo Estadía

Logarítmico normal distribución con parámetros:
 Ubicación 2,33
 Media 8,42
 Desv est 6,44

El rango seleccionado es de 3,00 a Infinito



Suposición: Tiempo R. Rack

Normal distribución con parámetros:
 Media 0,06
 Desv est 0,02

El rango seleccionado es de 0,03 a 0,21



4.4.4.2. Variables de decisión

Las variables de decisión son aquellos datos que se pueden controlar definiendo un intervalo de valores por el cual uno quiera que se muevan.

Existen varios tipos dependiendo de lo que el modelo requiera, pero para el modelo en estudio y debido a que las variables de decisión utilizadas representan las operaciones realizadas, se utilizará solo un tipo, la variable discreta.

Cada una de las variables definidas representa el cumplimiento de un tipo de operación en un periodo determinado, por ejemplo la variable "Exportación P1" representa las operaciones de exportación en el periodo 1.

Variable de decisión: Exportación P1

Límites de variable:
Inferior 690,00
Superior 931,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Exportación P2

Límites de variable:
Inferior 711,00
Superior 962,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Exportación P3

Límites de variable:
Inferior 726,00
Superior 998,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Importación P1

Límites de variable:
Inferior 25,00
Superior 55,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Importación P2

Límites de variable:
Inferior 26,00
Superior 56,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Importación P3

Límites de variable:
Inferior 26,00

Superior 56,00

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1,00

Variable de decisión: Local P1

Límites de variable:
Inferior 31
Superior 70

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1

Variable de decisión: Local P2

Límites de variable:
Inferior 35
Superior 76

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1

Variable de decisión: Local P3

Límites de variable:
Inferior 27
Superior 78

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 1

Variable de decisión: Producción P1

Límites de variable:
Inferior 15.512
Superior 20.205

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 50

Variable de decisión: Producción P2

Límites de variable:
Inferior 14.938
Superior 21.013

Tipo de variable: Discreta
Tamaño de paso: 50

Variable de decisión: Producción P3

Límites de variable:
 Inferior 15.001
 Superior 21.184

Tipo de variable: Discreta
 Tamaño de paso: 50

4.4.4.3. Restricciones.

Las restricciones definidas para el modelo tienen relación con las horas disponibles de un tipo de operario. Para este modelo se han definido las restricciones de la siguiente forma:

Horas utilizadas del operario k en el periodo $t \leq$ Horas disponibles del operario k en el periodo t

Ecuación 15 Restricción tipo del modelo a optimizar

4.4.4.4. Previsión y consideraciones del modelo.

Finalmente para poder ejecutar el modelo se considera una previsión la cual es nuestra variable objetivo, para este caso es la cantidad de operaciones por periodo. Una vez determinada la variable objetivo se procede a ejecutar OptQuest, aplicación de Crystall Ball, donde se debe establecer que es lo que se busca optimizar en el modelo. Para este caso se ha considerado que la optimización debe ser “Maximizar el máximo de operaciones mensuales”.

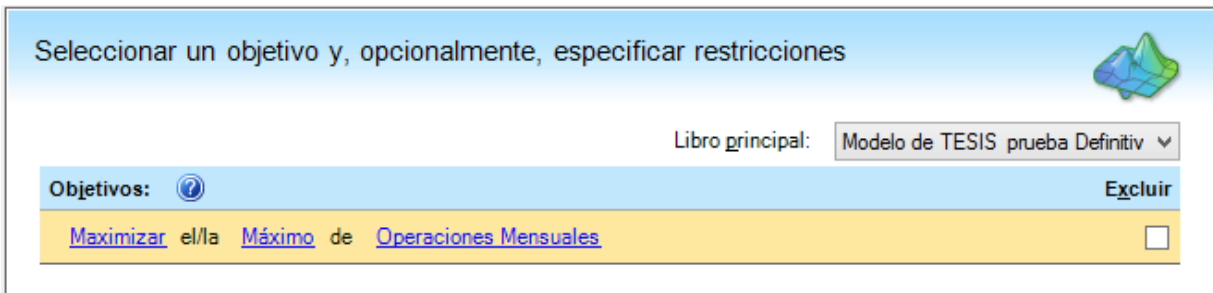


Ilustración 14 OptQuest, Objetivo a optimizar

Una vez que se han determinado todas las variables que el sistema requiere y se han considerado todas las restricciones establecidas se procede a configurar el proceso de simulación de la siguiente forma.

Tipo de Optimización	Estocástica (Con Simulación)
Pruebas máximas por simulación	1000
Método	Montecarlo
Nivel de confianza	95%
Objetivos	1
Requisitos	0

Restricciones	15
Suposiciones	8
Variables de decisión	12

Tabla 38 Preferencias de Simulación

4.4.5. Resultados del modelo

Una vez ejecutado el modelo se obtienen los siguientes resultados:

Objetivo, Maximizar el máximo de operaciones mensuales, las cuales en total representan 65.226 operaciones en los tres periodos calculados y se distribuyen de la siguiente forma:

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Total
Exportación	793	783	861	2.438
Importación	55	56	55,00	166
Desp. Local	69	68	60	196
Producción	20.212	21.038	21.201	62.451
Total	21.116	21.975	22.134	65.226

Tabla 39 Resultados Obtenidos

Con los datos obtenidos para maximizar la operación se corrobora el correcto cumplimiento de las restricciones establecidas:

Restricciones de Horas		
Operario	Resultado	Valor Máximo Permitido
Administrativo P1	1.108,98	1.152,00
Administrativo P2	1.417,15	1.728,00
Administrativo P3	466,70	576,00
Cargadores P1	1.706,33	3.456,00
Cargadores P2	1.721,25	3.456,00
Cargadores p3	1.151,69	1.152,00
Líder P1	1.475,43	1.728,00
Líder P2	482,33	576,00
Líder P3	1.776,06	3.456,00
Op. Conveyor P1	1.777,74	3.456,00
Op. Conveyor P2	1.150,72	1.152,00
Op. Conveyor P3	1.481,13	1.728,00
Op. Grúa P1	477,25	576,00
Op. Grúa P2	1.789,83	3.456,00
Op. Grúa P3	1.762,52	3.456,00

Tabla 40 Restricciones del Modelo

4.4.6. Interpretación de los resultados

La finalidad de la construcción del modelo anterior es obtener datos fidedignos de la capacidad de la operación en el centro de distribución, manteniendo una fuerza laboral constante. Con los resultados obtenidos se puede apreciar que la operación está capacitada para poder soportar la demanda de los próximos 3 periodos, obteniendo resultados que permitirán realizar las labores de una forma normal.

Es importante destacar que según lo informado, las operaciones críticas presentan una holgura respecto a la media de los valores pronosticados, lo cual de cierta forma asegura un buen cumplimiento frente a la demanda solicitada.

Por otra parte se debe considerar la utilización de los recursos, ya que estos podrían representar un cuello de botella en las operaciones futuras. Cabe destacar que para el cálculo de las horas disponibles se ha considerado para todos los tipos de operadores una eficiencia del 80% ya que para el modelo es inapropiado considerar el total de las horas laborales.

Operario	Horas Utilizadas	Horas Disponibles	%
Administrativo P3	466,70	576,00	81%
Administrativo P2	1.417,15	1.728,00	82%
Op. Grúa P1	477,25	576,00	83%
Líder P2	482,33	576,00	84%
Líder P1	1.475,43	1.728,00	85%
Op. Conveyor P3	1.481,13	1.728,00	86%
Administrativo P1	1.108,98	1.152,00	96%
Op. Conveyor P2	1.150,72	1.152,00	100%
Cargadores p3	1.151,69	1.152,00	100%

Tabla 41 Utilización de recursos

En relación a la cantidad de horas mensuales utilizadas para cada tipo de operario, se debe tener especial consideración en los equipos de cargadores y operadores de conveyor, ya que son estos equipos los que presentan una gran importancia dentro del flujo del centro de distribución y podrían llegar a detener la operación en caso de no poder cumplir con los requerimientos de demanda.

Finalmente el modelo diseñado entrega una herramienta que otorga información útil para la toma de decisiones tácticas y estratégicas dentro de la operación. La herramienta es de

fácil uso, clara y detallada. Sin embargo es importante mencionar que para su utilización es necesario un trabajo previo en la actualización de los datos, tiempos de proceso y pronósticos, para de esta forma obtener resultados confiables y reales.

4.5. Impacto Económico

El modelo propuesto busca generar información que apoye la toma de decisiones tácticas y estratégicas sobre la capacidad de la operación y el uso de recursos dentro de los centros de distribución, permitiendo determinar si los recursos existentes son capaces de cumplir con los requerimientos establecidos.

Dado lo anterior se considerarán dos costos extra de la operación que está directamente relacionados con ineficiencias por falta de personal. El primer extra costo a trabajar se conoce como sobre tiempo o sobre estadía de camiones en planta.

La sobre estadía de camiones en planta está dada por la permanencia excesiva de un camión, que se presenta a consolidar en el centro de distribución, y cuyo proceso se extiende por más de cinco horas. Este problema ocurre debido a que cuando el personal del centro de distribución no es capaz de recibir la totalidad del ingreso de neumáticos desde producción los equipos de despacho deben prestar apoyo a esta actividad, dejando de lado los procesos de carga que se encuentran en desarrollo o postergando los horarios de carga.

Cabe destacar que el proceso de recepción de producción es un proceso continuo que tiene prioridad dentro del centro de distribución, ya que, en el caso que la recepción se detenga en bodega el proceso completo se detiene hacia la planta saturando las cintas transportadoras y llegando incluso a detener las prensas hidráulicas que vulcanizan los neumáticos.

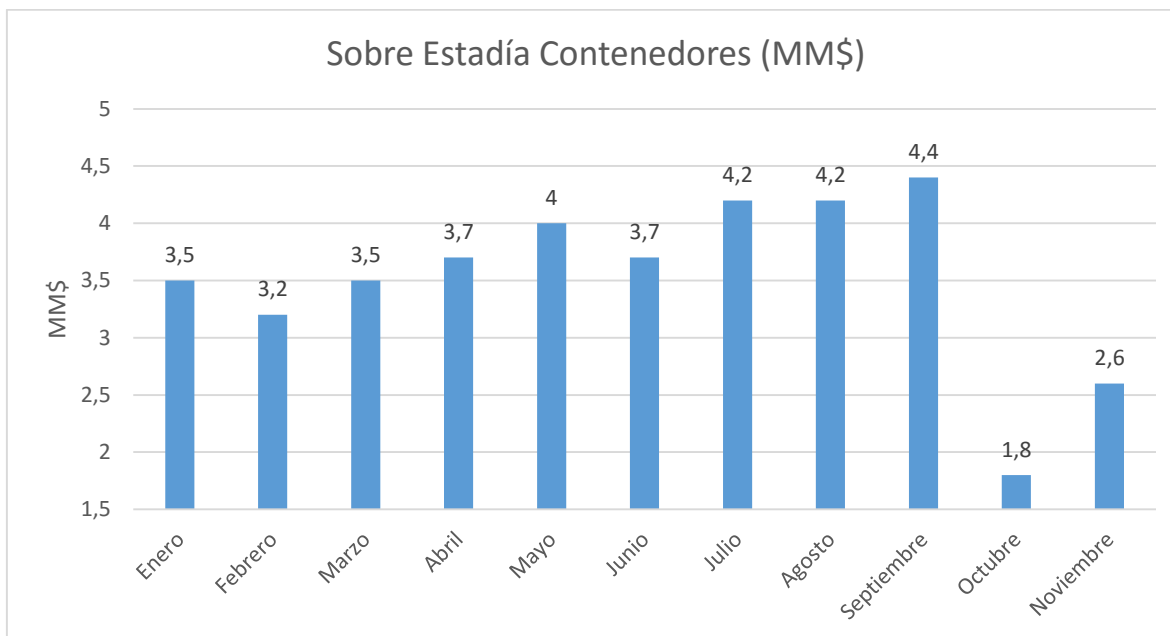


Gráfico 19 Sobre Estadía de Contenedores (MM\$)

El segundo extra costo a revisar es el que ocurre cuando un contenedor es programado para un día y este no logra ser cargado el día correspondiente. Este extra costo ocurre por la misma causa del costo anterior y por lo tanto también se debe a una ineficiencia en la administración del personal. El cobro se justifica en base a que GYR tiene un buen nivel de coordinación con las empresas que le entregan el servicio de transporte de contenedores desde puerto a planta por lo que todos sus servicios son programados de forma directa, esto quiere decir que el camión es programado y una vez cargado debe viajar directo al puerto, por lo cual no existe un almacenaje de la carga de por medio. Cuando el contenedor no puede ser cargado el día en que se programó el servicio deja de ser directo y pasa a ser indirecto, esto quiere decir que una vez que el contenedor se encuentre cargado el conductor viajará al depósito de contenedores correspondiente para luego, cuando sea solicitado viajar al puerto.

Durante los meses de enero a noviembre del 2015 los gastos por conceptos de contenedores no cargados corresponden a:

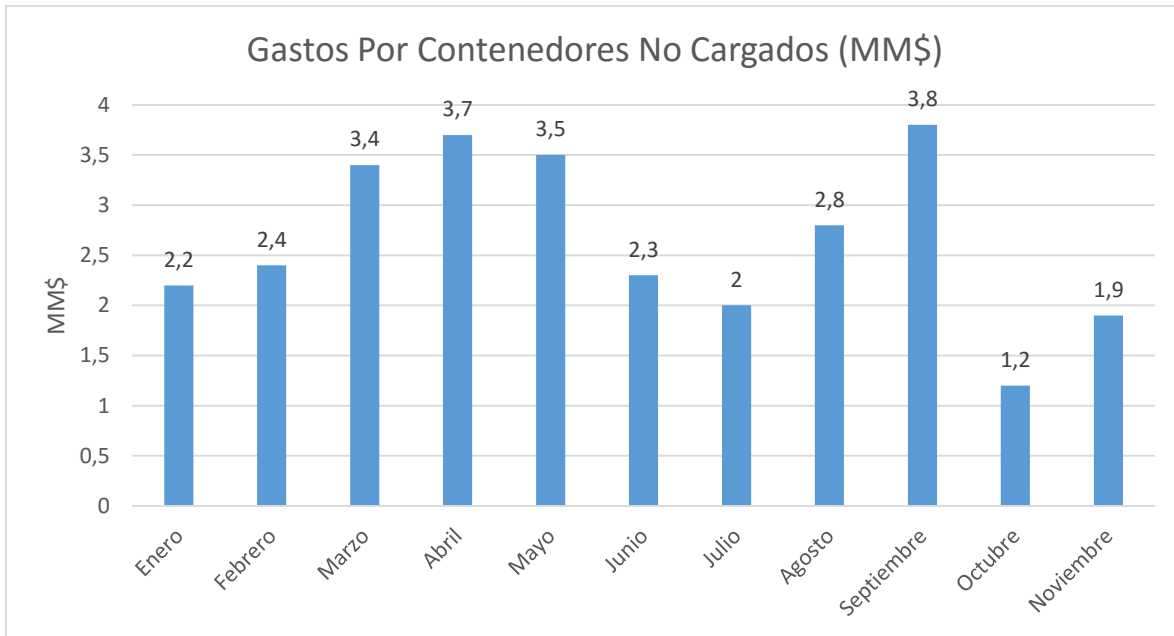


Gráfico 20 Gastos por contenedores NO cargados

Por lo tanto, considerando la información anterior la aplicación del modelo propuesto en esta memoria ayudaría en la toma de decisiones que pueden generar ahorros para la compañía por un promedio de 3,09 millones de pesos mensuales, los cuales representan aproximadamente un 1% del gasto total en transporte y almacenamiento del área Logística en GYR.

5. CAPITULO: Conclusiones y Bibliografía.

5.1. Conclusiones

Uno de los requerimientos principales para generar una estructura de planeación agregada, es la coordinación que debe existir entre las partes involucradas para hacer coincidir la oferta junto a la demanda de operaciones. En este estudio quedó en evidencia la vulnerabilidad que tiene el modelo respecto a la capacidad productiva de la planta, la cual está encargada de abastecer al centro de distribución de todos los neumáticos que serán exportados a Norteamérica.

El centro de distribución de GYR presenta algunas desventajas en cuanto al dominio de la operación, principalmente debido a que es un operador logístico quien está a cargo de todas las operaciones con sus propios estándares.

A lo largo de este trabajo se logra conocer algunos de los procesos esenciales para la operación logística, se aprende de terminología técnica, se levantan y diagraman los procesos y se comprende en su totalidad la importancia de cada una de las operaciones que se realizan dentro de un centro de distribución. Se realizan análisis a las operaciones, encontrando en algunos casos, excesivos recursos asignados, los cuales cuentan con bastante tiempo ocioso.

Con los datos históricos obtenidos se pueden elaborar los mejores pronósticos disponibles según el criterio de minimizar el M.A.D., con la información empírica recolectada y utilizando la prueba de U. de Theil se demuestra que, cualquiera de los pronósticos realizados es mejor que la simple adivinación.

Por otra parte, se ha desarrollado un modelo matemático que representa una importante herramienta para dar soporte a la toma de decisiones, tanto tácticas como estratégicas sobre la planificación de las operaciones en un centro de distribución. Una de las características principales del modelo es la adaptabilidad a diferentes operaciones, ya que la base es genérica y se puede utilizar con las modificaciones correspondientes en diferentes ambientes.

En relación al caso de estudio, la herramienta diseñada presenta varias ventajas respecto a cómo se realiza actualmente la planificación de las operaciones, la cual está basada principalmente en la experiencia y el cumplimiento diario de los requerimientos del área.

Entre sus beneficios este tipo de herramienta permite adaptar los recursos de la operación evaluando diferentes opciones con un alto nivel de detalle, lo cual brinda la posibilidad de actuar de forma proactiva frente a posibles cambios que puedan ocurrir en el corto o mediano plazo.

El modelo de planificación ha sido realizado utilizando programación lineal y simulado mediante software especializado, con el cual se obtiene la capacidad de operación con los recursos disponibles permitiendo evaluar las condiciones en las que se encuentra la operación para enfrentar los requerimientos de un periodo.

Por lo tanto, una de las recomendaciones en cuanto a la utilización del modelo de planificación, es mantener actualizado los tiempos de operación, ya que son un input fundamental para su ejecución. También es recomendable que el modelo se ejecute a lo menos una vez al mes, a modo de preparar la operación para el mes siguiente (utilizando información actualizada). Para su ejecución se pueden utilizar los requerimientos impuestos por la empresa, o bien valores pronosticados en base a la información histórica.

Finalmente se revisó el impacto que esta herramienta podría generar dentro los costos de la operación completa del área de logística, se identificaron los costos adicionales que se generaban por la ineficiencia de la operación y que eran abordados por el modelo, obteniendo un beneficio en promedio de 3 MM\$ mensuales equivalentes al 1% del gasto total del área.

5.2. Bibliografía

- Chapman, S. (2006). *Planificación y Control de la Producción* (Primera ed.). Pearson.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros*. Mexico D.F.: McGraw-Hill, Interamerica Editores, S.A. De C.V. .
- Collier, D., & Evans, J. (2009). *Administración de operaciones: Bienes, servicios y cadenas de valor* (Segunda ed.). Mexico, D.F., Santa Fe, Mexico: Cengage Learning Inc. Recuperado el 15 de Abril de 2013
- De La Fuente, R. (2009). *Diseño de un modelo de planeación agregada para las prestaciones medicas en el hospital clinico Hermida Martín de Chillan*. Santiago: Universidad del Bío-Bío.
- Desconocido. (2008). *Raíces Unitarias Estacionales y Estacionalidad Estocástica (SARIMA)*. Mexico: Cengage.
- Diario Uchile. (24 de Octubre de 2013). *Diario Uchile*. Obtenido de Desempleo alcanza a 5,9% en el Gran Santiago: <http://radio.uchile.cl/2013/10/24/encuesta-u-de-chile-desempleo-alcanza-a-59-en-el-gran-santiago>
- EPM Information Development Team. (2012). *Oracle® Crystal Ball User's Guide*. Obtenido de https://docs.oracle.com/cd/E17236_01/epm.1112/cb_user/frameset.htm?ch01s04.html
- Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., & Moore, J. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Goldratt, E., & Cox, J. (1992). *The Goal*. Croton-on-Hudson: N.Y.: North River Press.
- Goodyear Latinoamérica. (22 de Noviembre de 2013). *Sobre Goodyear LATAM*. Obtenido de Kilometros de Historia: <http://www.kilometrosdehistorias.com/sobre-goodyear-latam/>
- Logistec. (12 de Diciembre de 2011). *Revista del Management Logístico LOGISTEC*. Obtenido de Estratégias de Picking: <http://www.revistalogistec.com/index.php/logistica/94-logisticaglobal/651-estrategias-de-picking>
- SAAM S.A. (15 de Octubre de 2011). Goodyear: Líder en Neumáticos. *Bitácora, Unidos a la Carga*(33), 7-11.
- Schroeder, R. (2005). *Administración de operaciones: Casos y conceptos contemporáneos*. Mexico: McGraw-Hill.

- Skinner, W. (mayo-junio de 1974). The Focused Factory. *Harvard Business Review*, 113-121.
- Soto, C. (2009). *Modelo Matemático de Planificación Agregada de la Producción y Gestión del Proceso de Canje de Cilindros en GASCO S.A.* Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. University of Arkansas, Fayetteville: Pearson Educación, México, 2012.