



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA FRECUENCIA DE REPROGRAMACIÓN DE
LAS POLÍTICAS DE INVENTARIOS Y PRODUCCIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO
DE UNA CADENA DE SUMINISTRO USANDO HERRAMIENTAS DE
SIMULACIÓN**

Tutor Académico:

Ing. Andrés Giménez

Realizado por:

BLANCO V., Astrid S. C.I. 19.698.832

ORTEGA S., Lorena M. C.I. 20.383.935

Bárbula, Julio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA FRECUENCIA DE REPROGRAMACIÓN DE
LAS POLÍTICAS DE INVENTARIOS Y PRODUCCIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO
DE UNA CADENA DE SUMINISTRO USANDO HERRAMIENTAS DE
SIMULACIÓN**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar por el título de
Ingeniero Industrial

Tutor Académico:

Ing. Andrés Giménez

Realizado por:

BLANCO V., Astrid S. C.I. 19.698.832

ORTEGA S., Lorena M. C.I. 20.383.935

Bárbula, Julio de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de la Consolación de Tárriba por acompañarme cada uno de los días en la elaboración de este trabajo y en mi carrera universitaria.

A mi Papá y a mi Mamá por estar conmigo en cada paso que doy, ayudándome siempre, enseñándome lo que es bueno y malo, además de darme consejos en toda mi carrera y en mi vida.

A mis hermanos y a mi familia por su cariño incondicional, por estar presentes en cada paso que doy.

A Lorena Ortega por ser una gran compañera de tesis, una persona muy inteligente, sin ella este trabajo no hubiese podido avanzar de la manera en que lo hicimos.

Al Sr. Henry y la Sra. Silvia por sus consejos y ayuda en los momentos más difíciles para la elaboración de este trabajo.

A mi novio por sus grandes consejos y ayuda en los días difíciles, por acompañarme siempre en los buenos y malos momentos, por auxiliarme en los días caóticos y además por siempre estar a mi lado.

Al Profesor Andrés Giménez por permitirnos realizar este trabajo con él, por los consejos en cada paso de la elaboración del trabajo para así obtener un mejor resultado y por enseñarnos aun más el manejo de las herramientas utilizadas.

Al profesor Manuel Jiménez, por sus grandes tutorías y ayuda, lo cual nos permitieron elaborar el corazón de este trabajo especial de grado.

Muchas gracias a todos...

Astrid Blanco

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, en primer lugar, por brindarme vida, salud, sabiduría y el apoyo de excelentes personas durante la elaboración de este trabajo y de mi carrera universitaria.

A mi papá **Henry Ortega** y mi mamá **Silvia Salgado**, por su excelente guía y orientación tanto a nivel académico como personal, por escucharme y aconsejarme en los momentos difíciles, por cuidar siempre de mí y brindarme todo su amor y su cariño incondicional.

A mi hermano **Oliver**, que a pesar de no ayudarme físicamente, me brinda mucho ánimo y una gran inspiración.

A **Martha Hernández**, por estar siempre dispuesta a ayudarme al máximo en todo lo que pueda.

A mi compañera **Astrid Blanco**, primero que todo por ser mi amiga, por trabajar juntas y siempre llevar a cabo todas las actividades de este trabajo en equipo.

Al profesor **Andrés Giménez**, por su excelente tutoría de este Trabajo Especial de Grado.

Siempre dispuesto a ayudarnos, a reunirse con nosotras y atender nuestras llamadas. Además de tratarnos siempre con mucha amabilidad y dejarme un gran aprendizaje a nivel académico y personal.

Al profesor **Manuel Jiménez**, quien a pesar de no ser nuestro tutor académico, siempre nos dedicó parte de su tiempo para apoyarnos en el desarrollo de este trabajo. Sin su ayuda, este trabajo no hubiese podido avanzar de la manera en que lo hicimos.

A **todos mis familiares y amigos**, que tal vez no me ayudaron de manera directa para la consecución de este trabajo, pero de alguna u otra forma siempre estuvieron allí brindándome su cariño.

Mi eterna gratitud a todos ustedes

Lorena Ortega

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de la Consolación de Táriba por acompañarme siempre en mis estudios y en mi vida.

A mi Mamá y mi Papá por su apoyo y amor incondicional, por todo lo que me enseñaron, sin ellos no hubiese podido lograr este trabajo.

A mis hermanos por ser un ejemplo a seguir, enseñándome que el que persevera alcanza sus metas.

A mi familia que con su gran amor siempre estuvieron conmigo a pesar de la distancia.

ASTRID BLANCO

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y acompañarme en todo momento.

A Silvia Salgado y Henry Ortega, por ser unos padres excepcionales y un excelente ejemplo a seguir.

A Oliver Ortega, por ser mi hermano al cual quiero y estimo mucho.

LORENA ORTEGA

INDICE GENERAL

Lista de tablas.....	xiii
Lista de figuras.....	xv
RESUMEN.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	5
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Alcance.....	11
1.5 Limitaciones.....	12
1.6 Justificación.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	18
2.2 Bases Teóricas.....	19
2.2.1 Demanda.....	19
2.2.2 Políticas de Inventario.....	19
2.2.3 Tipos de Políticas de Inventario.....	19
2.2.4 Programación.....	21

2.2.5 Reprogramación.....	22
2.2.6 Indicadores de Gestión.....	22
2.2.7 Simulación de Sistema.....	24
2.2.8 Simulación.....	24
2.2.9 Etapas para el desarrollo de un Sistema de Simulación.....	25
2.2.10 Conceptos Básicos para elaborar un Modelo de Simulación.....	26
2.2.11 Programa de Simulación.....	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1 Tipo de Investigación.....	29
3.2 Diseño de Investigación.....	29
3.3 Fuentes de Investigación.....	30
3.4 Técnicas para el Análisis de la Información.....	30
3.5 Fases de la Investigación.....	31
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO.....	33
4.1 Supuestos a Considerar.....	35
4.2 Submodelo de demanda.....	36
4.2.1 Llegadas de los clientes.....	36
4.2.2 Tamaño de Pedido.....	38
4.2.3 Disponibilidad de Cantidad Demandada del producto para la venta.....	39
4.3 Submodelo de revisión de políticas.....	43
4.3.1 Sistema de control aplicado para la reprogramación en la cadena de suministro.....	43

4.3.2	Registro de las medidas de desempeño.....	44
4.3.3	Evaluación de Parámetros.....	47
4.3.4	Posibilidades de Acciones Correctivas.....	47
4.3.5	Cambios por valores de Desempeño.....	50
4.4	Submodelo de Producción e Inventario.....	52
4.4.1	Generación de orden de producción según política de inventario.....	52
4.4.2	Producción según regla de secuenciación.....	53
4.5	Submodelo de fallas que afectan el nivel de continuidad operativa.....	54
4.6	Variables de Entrada.....	58
CAPITULO V: ESCENARIOS A SIMULAR.....		60
5.1	Simulador utilizado.....	61
5.1.1	Arena.....	61
5.1.2	Razones por las que se utilizo el simulador arena.....	61
5.2	Simulación.....	62
5.2.1	Estructura Submodelo de Demanda.....	62
5.2.2	Estructura Submodelo de Revisión de Políticas.....	67
5.2.3	Estructuras Submodelo de Producción e Inventario.....	71
5.2.4	Estructuras Submodelo de Fallas.....	76
5.3	Funcionamiento de los Submodelos.....	79
5.3.1	Funcionamiento del Submodelo de Demanda.....	79
5.3.2	Funcionamiento del Submodelo de Revisión de Políticas.....	85

5.3.3	Funcionamiento del Submodelo de Producción e Inventario.....	91
5.3.4	Funcionamiento del Submodelo de Fallas.....	95
5.4	Definición de Escenarios a Simular.....	96
5.5	Verificación del Modelo.....	106
5.6	Validación del Modelo.....	110
5.7	Análisis de los Resultados.....	111
5.7.1	Efecto de variar los periodos de reprogramación en cadenas de suministro bajo la modalidad de venta inmediata o diferida con regla de prioridad tiempo de holgura.....	111
5.7.2	Efectos de la variación de los períodos de reprogramación sobre los diferentes patrones de demanda (Poisson, Variabilidad Intermedia y Variabilidad Alta) en una cadena de suministro que trabaje con venta inmediata o diferida con regla de prioridad menor holgura.....	121
5.7.3	Efecto de variar los periodos de reprogramación en cadenas de suministro bajo la modalidad de venta total o parcial (back order) con regla de prioridad tiempo de holgura.....	122
5.7.4	Comparación de los efectos de la variación de los períodos de reprogramación entre un sistema de venta inmediata o diferida y un sistema de venta total o parcial (back order).....	131
5.7.5	Efecto sobre un sistema de venta total o parcial (back order) cuya producción es insuficiente.....	132
5.7.6	Efecto de la frecuencia de fallas en una cadena de suministro cuya capacidad es insuficiente.....	134

CONCLUSIONES.....	139
RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
APÉNDICES.....	153
APÉNDICE 1: Reportes de Salida del Software Arena®.....	154
APÉNDICE 2: Valores de demanda de Variabilidad Intermedia y demanda de Variabilidad Alta y procedimiento para la lectura de datos a través de un archivo de texto.....	176
APÉNDICE 3: Selección de los Tamaños de Muestra y Pruebas de Hipótesis.....	184

LISTA DE TABLAS

1. Niveles de Planificación de la Producción.....	7
2. Matriz de Posibles Acciones Correctivas de los Parámetros en Estudio.....	48
3. Resumen de las Etapas del Modelo de Revisión.....	51
4. Reglas de Secuenciación.....	53
5. Datos de Fallas Moderadas.....	56
6. Datos de Fallas Graves	57
7. Datos de Fallas en Maquinaria.....	58
8. Variables de Entrada.....	59
9. Escenarios a Simular bajo un sistema de producción MTS.....	96
10. Escenarios a Simular bajo un sistema de producción MTS considerando el efecto de fallas muy frecuentes.....	97
11. Venta inmediata o Diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una demanda Poisson con y sin frecuencia de reprogramación.....	112
12. Venta inmediata o Diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una demanda de Variabilidad Intermedia con y sin frecuencia de reprogramación.....	114
13. Venta inmediata o Diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una demanda de Variabilidad Alta con y sin frecuencia de reprogramación.....	117
14. Venta Total o parcial (Back Order) bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una Demanda Poisson con y sin frecuencia de reprogramación.....	122
15. Venta Total o parcial (Back Order) bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una demanda de Variabilidad Intermedia con y sin frecuencia de reprogramación.....	125
16. Venta Total o parcial (Back Order) bajo un sistema de producción MTS con regla de Prioridad tiempo de Holgura utilizando una demanda de Variabilidad Alta con y sin frecuencia de reprogramación.....	127

17. Niveles de Servicio para un Sistema Venta Total o parcial (Back Order) cuya producción es insuficiente.....	133
18. Niveles de Servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema sin fallas.....	135
19. Niveles de Servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con Fallas Comunes (Escenario 3).....	135
20. Niveles de Servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con Fallas Graves (Escenario 14).....	136
21. Niveles de Servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con Fallas Graves con la mitad de la Capacidad de Producción (Escenario 15).....	136

LISTA DE FIGURAS

1. Inflación general y subyacentes en Venezuela 2008-2011.....	6
2. Trayectoria del crecimiento Económico Venezolano 1951-2008.....	8
3. Tasa de Crecimiento Real del Producto Interno Bruto en Venezuela 1999-2010.....	14
4. Variación Interanual del Producto Interno Bruto específicamente para el sector de Manufactura entre los años de 1998-2010.....	15
5. Utilización de lenguajes de simulación para Trabajos Presentados en el área de Manufactura en la Winter Simulation Conference (WSC) 2009.....	27
6. Esquema operativo para Sistemas MTS.....	34
7. Esquema de funcionamiento para Venta Inmediata o Perdida.....	40
8. Esquema de funcionamiento para Venta Total o Parcial (Back Order).....	41
9. Esquema de funcionamiento para Venta Inmediata o Diferida.....	42
10. Esquema de funcionamiento para Venta Programada.....	42
11. Esquema de funcionamiento de un Sistema de Control.....	44
12. Posibles Combinaciones de Escenarios Derivados del Submodelo de Revisión de políticas.....	51
13. Nodo CREATE y Hoja de Datos de entrada.....	62
14. Nodo ASSIGN Y Hoja de Datos de entrada.....	63
15. Nodo DECIDE y Cuadro de Dialogo.....	64
16. Nodo RECORD Y Hoja de Datos de entrada.....	65
17. Nodo DECIDE Y Hoja de Datos de entrada.....	66
18. Nodo CREATE para la asignación de la Frecuencia de Revisión.....	67
19. Cuadro de Diálogo del Nodo CREATE para la asignación de la Frecuencia de Revisión.....	67
20. Nodo DECIDE y Nodo ASSIGN para la Verificación del Nivel de Servicio.....	68
21. Cuadro de Diálogo del Nodo DECIDE para la Verificación del Nivel de Servicio.....	68

22. Cuadro de Diálogo del Nodo ASSIGN para el cambio del Punto de Reorden.....	69
23. Nodo DECIDE y Nodo ASSIGN para la Verificación del Nivel de Inventario Promedio.....	70
24. Cuadro de Diálogo del Nodo DECIDE para la Verificación del nivel de inventario promedio.....	70
25. Cuadro de Diálogo del Nodo ASSIGN para el cambio de los tamaños de lote.....	71
26. Nodo PROCESS para la Producción continua bajo Stock.....	71
27. Cuadro de Diálogo del Nodo PROCESS.....	72
28. Casilla QUEUE.....	72
29. Cuadro de diálogo de la Casilla QUEUE para la Asignación de la Regla de Prioridad Menor Holgura para la Producción de los tipos de Productos.....	73
30. Nodo HOLD para Simular el Punto de Reorden.....	73
31. Cuadro de Diálogo del Nodo HOLD para Chequeo del Nivel o Punto de Reorden.....	74
32. Nodo ASSIGN para actualización de las existencias.....	74
33. Nodo PROCESS para el Proceso de Puesta a Punto.....	75
34. Cuadro de Diálogo del Nodo PROCESS para el Proceso de Puesta a Punto.....	75
35. Nodo DECIDE para la Verificación del Ausentismo.....	76
36. Cuadro de Diálogo del Nodo DECIDE para la Verificación del Ausentismo.....	76
37. Nodo ASSIGN para la Asignación del nuevo tiempo de Operación.....	77
38. Cuadro de Diálogo del Nodo ASSIGN para la Asignación del nuevo tiempo de Operación.....	77
39. Casilla RESOURCE para la Asignación de Fallas de Mantenimiento y Cortes Eléctricos.....	78
40. Casilla FAILURE para la Asignación de Fallas.....	78
41. Cuadro de Diálogo de la Casilla FAILURE para la Asignación de Fallas de mantenimiento y Cortes Eléctricos.....	78
42. Diagrama en Arena® de la Llegada de los Clientes.....	79

43. Diagrama de flujo Submodelo de Demanda con Venta Inmediata o Diferida.....	81
44. Diagrama en Arena® de la definición del pedido del Producto A para una venta inmediata con clientes que vuelven.....	82
45. Diagrama de flujo Submodelo de Demanda con Venta inmediata Total o Parcial (Back Order).....	84
46. Diagrama en Arena® de la definición del pedido del producto A para una Venta inmediata Total o Parcial (Back Order).....	85
47. Diagrama en Arena® del Submodelo de Revisión de Políticas.....	86
48. Diagrama de flujo de la Revisión del Nivel de Servicio.....	88
49. Diagrama en Arena® de la Evaluación del Nivel de Servicio.....	89
50. Diagrama de flujo de Revisión del Nivel de inventario Promedio.....	90
51. Diagrama en Arena® de Evaluación del Nivel de inventario Promedio.....	91
52. Diagrama en Arena® de la Generación de las Órdenes de producción.....	92
53. Diagrama de flujo del Submodelo de producción con regla de Prioridad Holgura.....	93
54. Diagrama en Arena® para el Cálculo de Holgura de las Órdenes.....	94
55. Diagrama en Arena® de Colas según regla de prioridad Holgura.....	94
56. Diagrama en Arena® de producción Continua usando Menor tiempo de Holgura.....	94
57. Diagrama en Arena® del Sistema de Fallas de una línea de producción.....	95
58. Verificación De Frecuencia de Revisión mediante Clock.....	108
59. Gráficos de las variables del Nivel de Servicio y Punto de Reorden.....	108
60. Verificación de cantidades de Inventario a la mano y de Inventario total para el Producto A.....	109
61. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 1 y 4.....	113
62. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 1.....	114
63. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 2 y 5.....	116
64. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 2.....	116

65. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 3 y 6.....	117
66. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto A.....	118
67. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto B.....	119
68. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto C.....	119
69. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 3.....	120
70. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 7 y 10.....	123
71. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 7.....	124
72. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 8 y 11.....	126
73. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 8.....	126
74. Gráfico de Nivel de Servicio vs Frecuencia de Revisión para Escenario 9 y 12.....	128
75. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto A.....	129
76. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto B.....	129
77. Numero de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto C.....	130
78. Gráfico de Nivel de inventario Promedio vs. Frecuencia de Revisión Escenario 9.....	131
79. Gráfico del Nivel de Servicio A vs Frecuencia de Revisión para los diferentes escenarios de fallas.....	137
80. Gráfico del Nivel de Servicio B vs Frecuencia de Revisión para los diferentes escenarios de fallas.....	138



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA FRECUENCIA DE REPROGRAMACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE INVENTARIOS Y PRODUCCIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO USANDO HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

TUTOR:

Ing. Andrés Giménez

AÑO: 2012

AUTORES:

BLANCO V., Astrid S.

ORTEGA S., Lorena M.

RESUMEN

Se realizó un estudio del impacto que tiene la frecuencia de revisión y reprogramación de las políticas de inventarios y de producción sobre el rendimiento de la cadena de suministro, para poder proponer acciones que permitan mejorar el desempeño del sistema. Se construyeron diferentes modelos que representan escenarios de sistemas de manufactura hipotéticos mediante el uso de herramientas de simulación. Éstos se dividieron en cuatro grandes submodelos: Demanda, Revisión de Políticas, Producción e Inventarios y Fallas, los cuales fueron simulados a través del programa Arena® 10.0. Durante el estudio se fijaron diferentes períodos de reprogramación, con el fin de determinar cuál es la frecuencia de reprogramación más adecuada en función de indicadores de gestión; siendo el nivel de servicio (número de pedidos de clientes atendidos satisfactoriamente a la primera vez) y el nivel de inventario promedio los indicadores utilizados para este trabajo. La reprogramación consistió en realizar cambios en el modelo cuando los valores de los indicadores excedían las tolerancias admitidas; en este caso específico, se aumentó el nivel de reorden cuando el nivel de servicio estuviera fuera del rango de variación permitido, y de igual forma se disminuyeron los tamaños de lote cuando el nivel de inventario promedio estuviera fuera del rango. Se estudiaron escenarios con diferentes patrones de demanda y sometidos a la ocurrencia de fallas en la línea de producción, para analizar la influencia de estos cambios en los indicadores de gestión. Finalmente, se hace énfasis en la importancia de la simulación y de las políticas de reprogramación de los sistemas como herramientas para la toma de decisiones y mejora continua del desempeño de las organizaciones.

PALABRAS CLAVES: Simulación, Frecuencia, Reprogramación, Desempeño.

INTRODUCCIÓN:

El tema de la planificación de la producción, es conocido a nivel internacional y especialmente en Venezuela, como un área compleja para trabajar, debido a todas las irregularidades e imprevistos que pueden afectar el funcionamiento de los planes de producción. Esta complejidad trae como consecuencia que a veces los modelos que se plantean son muy sencillos, lo que se traduce en una seudoplanificación, es decir, cualquier forma en la que se organice ya es considerado un modelo de planificación, sin importar si es bueno o malo. Generalmente estos modelos están basados en la experiencia, conocidos como modelos empíricos, no son modelos que tengan algún fundamento o explicación del porqué se diseñan así, simplemente están apuntalados en la experiencia, como ya se dijo. A veces la misma configuración de la planta o las nuevas líneas tienden a irse haciendo sobre la marcha sin haber realizado un estudio formal de planificación. Esto correspondería a un primer nivel de planificación, donde no se analiza el sistema pero a medida que se presentan las situaciones éste se adapta.

Otras empresas aplican una modalidad de planificación mejor a la anteriormente descrita pero aun así ineficiente, la cual consiste en hacer un pequeño estudio basado en la demanda y la capacidad, según el cual fijan un conjunto de parámetros y generan un modelo de producción para ese sistema. A diferencia del primer nivel, este segundo nivel está basado en un estudio previo. Sin embargo ambos niveles son modelos estáticos ya que el diseño de los mismos no está estructurado para que cambie, aunque se pueden ver casos donde organizaciones realizan revisiones esporádicamente pero siguen siendo modelos esencialmente estáticos.

Existe gran cantidad de variables y factores que pueden afectar la planificación de la producción. Los modelos estáticos deben ser modelos sencillos y por eso sólo consideran una pequeña parte de estas variables, siendo por ende modelos poco precisos. Esta situación genera la necesidad de realizar modelos dinámicos que permitan cambiar cuando el sistema lo requiera. Éstos no son tan usados como los estáticos, ya que para su implementación, las organizaciones necesitan de simuladores que permitan ver el comportamiento del sistema tomando en cuenta las numerosas consideraciones y situaciones que van ocurriendo a lo largo del tiempo.

Como un tercer nivel, ya en el área dinámica, las organizaciones analizan las demandas, las condiciones del sistema, el mercado, características de los clientes y su comportamiento. En función de estas características se escoge una política. Como se realizó en el Trabajo Especial de Grado de Tovar y Ramos (2008), que consistió en la medición del impacto de las políticas de producción sobre la satisfacción de diferentes comportamientos de demanda usando herramientas de simulación. Este tercer nivel es aplicado en pocas empresas en Venezuela, pudiendo ser más común su aplicación en países de mayor nivel de desarrollo.

Las condiciones consideradas para el diseño del tercer nivel son muy amplias y abarcan la realidad de lo que está pasando en ese momento, sin embargo, estas condiciones pueden variar, como por ejemplo en el caso de la demanda la cual cambia en el tiempo. De aquí surge un cuarto nivel de estudio que trata de sistemas inteligentes, que van aprendiendo de lo que ocurre, actualizando los valores de demanda según los datos más recientes y considerando las fallas que se puedan presentar durante el proceso.

Herrmann (2002) en su tesis de maestría propone una nueva variante de sistema de planificación de la producción, la cual podría considerarse como un quinto nivel de planificación que consiste en revisar el desempeño del sistema a través de indicadores y en función de éstos realizar cambios en la planificación de la producción para cumplir satisfactoriamente las necesidades del mercado. La revisión puede realizarse según dos corrientes: revisión continua (revisar siempre que ocurra una transacción en el sistema) y revisión periódica (se revisa el sistema cada cierto periodo predefinido).

Esta investigación se encarga de la medición del impacto de la frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y producción sobre el desempeño tanto interno como externo de una cadena de suministro, en conjunto con factores como fallas en los procesos, utilizando una herramienta muy importante como la simulación.

La simulación es una herramienta muy práctica para estudiar este tipo de casos, debido a que hacerlo en el sistema real resulta casi imposible por la cantidad de tiempo y dinero que se debe invertir. Además de que esta herramienta permite modificar variables que afecten al modelo, analizar el modelo bajo un gran número de configuraciones y realizar estudios

durante un largo horizonte de tiempo permitiendo obtener resultados en períodos de tiempo cortos.

Este Trabajo Especial de Grado se divide en 5 capítulos:

- Capítulo I, presenta el problema, formulación, objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación, limitaciones y el alcance del estudio.
- Capítulo II, presenta el marco teórico, los antecedentes consultados así como las bases teóricas que soportan la investigación.
- Capítulo III, presenta el marco metodológico, tipo, diseño, técnicas, fuentes y fases de la investigación.
- Capítulo IV, presenta el diseño de la estructura del modelo, describiendo todos los factores que se deben considerar en el mismo.
- Capítulo V, presenta una descripción de cada uno de los submodelos simulados así como sus respectivos diagramas de flujo y diagramas en el Arena ® y por último el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios simulados.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas mediante la investigación.

CAPITULO I

El Problema

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

En esta sección, se presenta la problemática que da origen a la investigación. Finalizando la misma con una pregunta (formulación del problema).

A continuación se presentan los objetivos tanto generales como específicos, que permitirán orientar la acción (Alcance) y los límites del estudio (limitaciones). Seguidamente, se describen los aspectos que justifican la realización del estudio (justificación).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

“La calidad de vida es la capacidad que posee un grupo social para satisfacer sus necesidades con los recursos disponibles en un espacio natural dado, depende de cada grupo social y de cómo éste defina su situación ideal de bienestar para tener acceso a un conjunto de bienes y servicios”. (Parreño, 2008). De acuerdo a esta definición, las cadenas de suministro son un factor clave en la calidad de vida de un país. Las cadenas de suministro son un conjunto de procesos, tareas, o actividades organizadas, agrupadas o no en estaciones de trabajo, cuya finalidad es suministrar bienes y servicios para satisfacer la demanda de sus clientes. Según Sipper y Bulfin (1998), estos sistemas pueden trabajar bajo la modalidad de empujar también conocido como MTS (fabricación contra inventario) o la modalidad de halar frecuentemente llamada MTO (fabricación contra pedido).

En los sistemas de empujar o MTS, el inventario es una inversión relativamente alta y que acarrea costos de manejo, almacenamiento, control, entre otros. Por esta razón, las empresas buscan reducir los costos en inventario al mínimo pero sin incurrir en escasez, debido a que tienen que mantener un equilibrio entre la necesidad de asegurar la continuidad de los procesos de producción y el desembolso de dinero por concepto de inversión en inventario. Para manejar adecuadamente esta situación, es necesaria la implementación de políticas de inventario que permitan el manejo eficiente de éstos así como evitar exceso o escasez de los mismos, garantizando la satisfacción de la demanda.

Sin embargo, independientemente de que la cadena de suministro trabaje bajo una modalidad de halar o una de empujar, se ven en la necesidad de establecer políticas tanto

de inventarios como de producción, las cuales sirven de base para planificar cuales productos producir, la secuencia de producción, la cantidad de inventario requerida, los recursos necesarios y demás actividades dentro de la cadena, para satisfacer una demanda en particular.

Las cadenas de suministros tanto interna como externamente deben ser lo más eficientes posibles. Esa eficiencia se puede medir internamente a través de muchas variables y parámetros, uno de éstos es el nivel de inventario que es el más común y genera mayor impacto. Externamente, existe una gran cantidad de problemas cuando no se puede satisfacer adecuadamente a los clientes, porque implicaría darle más espacio a la competencia y en el caso que no exista competencia, como ocurre frecuentemente en Venezuela, se genera el desabastecimiento, que si se analiza desde un punto de vista macro, provoca la disminución del producto interno bruto, el aumento de la inflación (figura 1.1), recesión económica, devaluación, entre otros.

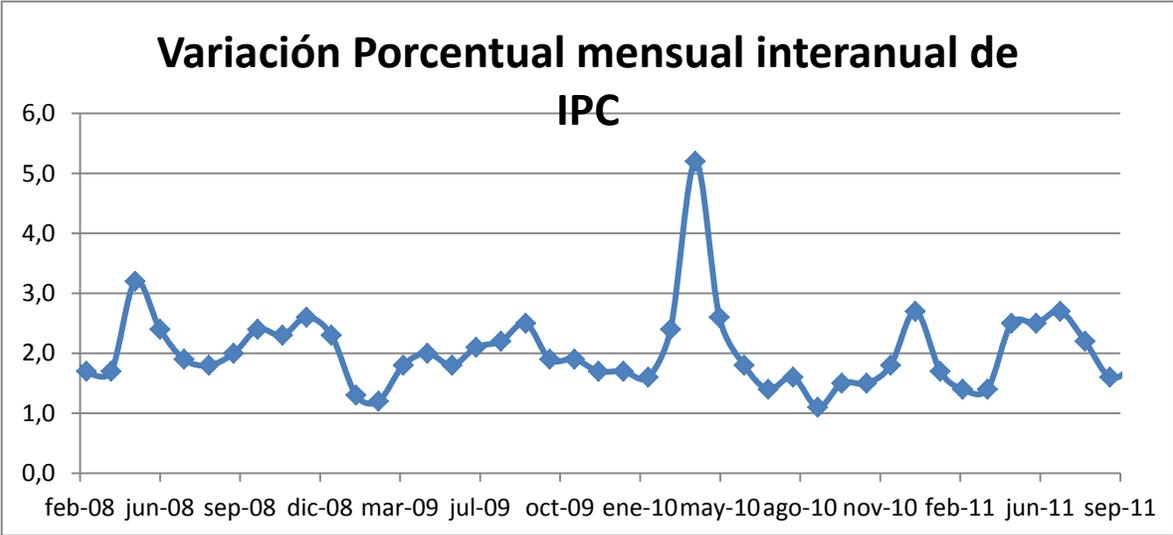


Figura 1.1: Inflación general y subyacente en Venezuela 2008-2011

Fuente: Banco Central de Venezuela

La planificación de la producción puede hacerse basándose en diferentes factores y herramientas, de acuerdo a los cuales se fijan políticas de inventarios y de producción. En

general, se puede clasificar la planificación de la producción en 5 niveles, los cuales se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Niveles de planificación de la producción

Nivel de planificación de la producción	Base de la planificación	Tipo de modelo	Utiliza simulación	Actualización de las Políticas	Revisión de la eficiencia de la planificación
Nivel 1	Planificación empírica, basado en la experiencia	Modelo estático	No	Nunca	Nunca
Nivel 2	Basado en pequeño estudio de demanda y capacidad	Modelo estático	No	Nunca	Nunca
Nivel 3	Basado en análisis de demanda, condiciones del mercado, características de los clientes, etc.	Modelo Adaptativo	Sí	Eventualmente/ Manual	Nunca
Nivel 4	Basado en análisis de demanda, condiciones del mercado, características de los clientes, etc. Además de fallas, y actualización de valores de demanda	Modelo dinámico	Sí	Continuamente/ Automática	Nunca
Nivel 5	Basado en los valores de eficiencia obtenidos en la revisión del sistema y de las condiciones actuales en el instante de la revisión.	Modelo dinámico	Sí	Periódicamente/ Automática	Continua ó Periódica

Fuente: Elaboración propia

Tradicionalmente se planifica la producción usando siempre las mismas políticas de inventarios y producción, manteniendo tanto las políticas como los parámetros de las mismas fijas en el tiempo mientras que no ocurran eventos o variaciones que obliguen a modificarlas, lo cual corresponde a los primeros tres niveles como se muestra en la tabla 1.1. Sin embargo, los cambios ambientales, sociales, políticos, el efecto de la globalización, entre otros, crean incertidumbre y variabilidad en muchas de las actividades que se realizan a lo largo de la cadena de suministro. Por ejemplo, la economía Venezolana se caracteriza por ser muy variable e inestable en el tiempo, como se puede observar en la figura 1.2 donde se muestra el comportamiento de la economía del país entre los años 1951 y 2008.

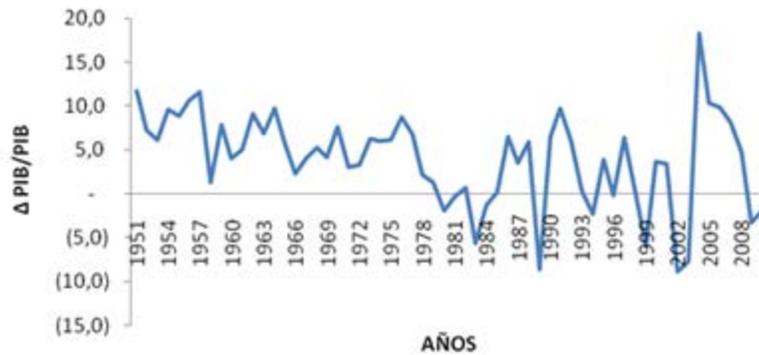


Figura 1.2: Trayectoria del crecimiento económico Venezolano 1951-2008

Fuente: Mata (2011)

La variabilidad junto con los recursos limitados hace difícil la administración del sistema y obliga a que los procesos sean más flexibles y que se tengan que adaptar a diferentes escenarios. En el caso de que la demanda de esa cadena de suministro sea homogénea y estable en el tiempo, no se revisa si esas políticas fijas siguen siendo las que mejor se adaptan o si existe alguna que se adapte mejor. Si por el contrario, la demanda es cambiante y no estable en el tiempo, es mucho más probable aún, que existan otras políticas que se adapten mejor a la nueva situación.

Según Herrmann (2002), “El rendimiento del sistema depende en gran parte de las políticas de reprogramación de las diversas actividades de planificación”. Por lo que se justifica el desarrollo del quinto nivel de planificación de la producción basado en la teoría de Herrmann, el cual consiste en que a medida que se revisa un sistema más frecuentemente, se obtienen mejores resultados en el desempeño de la cadena de suministro, que si se deja correr las políticas de la manera tradicional.

Sin embargo, esta frecuencia tiene un límite y debe ser un valor razonable. Herrmann (2002), explica que “cuando los períodos de reprogramación son demasiado cortos, trae como resultado un cambio frecuente de planes, que no es fácil de poner en práctica, ya que no se ha terminado de implementar un plan cuando ya se requiere implantar un plan nuevo. Cuando las actividades de planificación se han programado en un horizonte de tiempo muy

largo, se hace difícil manejar el sistema de manera eficiente”, debido a los frecuentes cambios y variaciones que se puedan presentar.

En el sistema real, no es fácil analizar el comportamiento que se logra con diferentes frecuencias de reprogramación y su influencia sobre el rendimiento del sistema; ya que los sistemas son dinámicos y hacer un estudio de la influencia de la frecuencia de reprogramación sobre el rendimiento de la cadena implica:

- Alta inversión de tiempo y dinero
- Numerosos escenarios de estudio
- Gran cantidad de variables a considerar en el estudio
- Lentitud en el desarrollo del estudio

La simulación es una herramienta muy útil para simplificar el estudio de la frecuencia de reprogramación en los sistemas, debido a que reduce el tiempo y costos de evaluación. La utilización de esta herramienta permite:

- Construir un sistema de manufactura semejante a la realidad.
- Estudiar el desarrollo del sistema a lo largo de un gran horizonte de tiempo permitiendo obtener resultados de las evaluaciones en periodo de tiempo cortos.
- Analizar el sistema bajo un gran número de configuraciones tomando en cuenta los posibles comportamientos de la demanda, las diversas políticas de inventario de producto terminado, las políticas de producción más comunes y diferentes frecuencias de reprogramación.
- Obtener resultados del estudio del sistema que involucra un gran número de configuraciones, las cuales sirven de apoyo al analista para tomar decisiones.
- Modificar las variables que afectan al sistema de manufactura, para determinar las más sensibles y su efecto en el modelo.

La realización de este estudio consiste, en analizar los efectos directos e indirectos de variar los plazos de reprogramación de las políticas de inventarios y producción en el desempeño de una cadena de suministro, utilizando como herramienta la simulación.

Este estudio permitirá resaltar la importancia de la interacción de los elementos que involucran un escenario de un sistema de manufactura, para obtener la respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál será la frecuencia de reprogramación más adecuada a la que puede ser sometido un sistema de manufactura, que se adapte a la presencia de una demanda en particular?

La realización del estudio se efectúa a través de la construcción de un conjunto de modelos de sistemas de manufactura en el lenguaje de simulación, que represente casos teóricos e hipotéticos de una empresa manufacturera, con la finalidad de jugar o modificar las variables que intervienen en los procesos de manufactura así como la frecuencia de la reprogramación de las políticas de inventarios y producción, permitiendo determinar la influencia de éstas sobre el desempeño de la cadena de suministro, tomando en cuenta el nivel de servicio (número de pedidos de clientes atendidos satisfactoriamente a la primera vez) y los niveles de inventario promedio.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo la simulación permite estudiar el efecto de la reprogramación de las políticas de inventarios y producción sobre el desempeño de la cadena de suministro tanto externamente en cuanto al nivel de servicio, como internamente en cuanto a los niveles de inventario promedio?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto que tiene la frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y producción para mejorar el desempeño de una cadena de suministro, utilizando herramientas de simulación y empleando indicadores de gestión.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Analizar los patrones de demanda y los factores que integran los sistemas de demanda presentes en las cadenas de suministro, específicamente en los sistemas de manufactura, utilizando referencias bibliográficas, con la finalidad de obtener los parámetros y variables de cada una de ellas.
- Construir un modelo de simulación que represente a un sistema de manufactura, creando un escenario donde se fijen una política de inventario y una política de producción con parámetros constantes durante un intervalo de tiempo determinado.
- Construir los modelos de simulación que representen los sistemas de manufactura, creando diferentes escenarios donde se estudien los cambios en la frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y de producción y cómo afecta el desempeño de la cadena de suministro.
- Comparar los escenarios planteados, mediante los indicadores de gestión, para determinar cual modelo presenta un mejor desempeño en el sistema de manufactura de una cadena de suministro, además de plantear conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos.

1.4 ALCANCE:

El alcance del presente Trabajo Especial de Grado abarca la evaluación del impacto de la frecuencia de revisión y cambio de políticas de inventario y producción sobre el desempeño de una cadena de suministro, utilizando como indicadores el nivel de servicio y los niveles de inventario promedio, seleccionando el mejor escenario de producción. Esto implica el análisis del proceso productivo desde las formas de producción, secuenciación de productos, políticas de inventario, entre otros y la influencia que tienen estos sobre los

diferentes comportamientos de la demanda. Cabe destacar, que para dicho análisis se revisarán las políticas de producción y de inventario con diferentes frecuencias.

A través del programa de simulación (Arena ®), se presenta los modelos del sistema de producción para evaluar el comportamiento de dicho sistema y se ejecutan los modelos de acuerdo con un número de repeticiones establecidas, considerando sólo empresas manufactureras y no se incluye las de servicio, sin embargo la estructura es extrapolable. Con esto se pretende buscar un adecuado escenario de producción que permita tomar decisiones con un alto grado de confiabilidad y mejorar el desempeño tanto interno como externo del sistema productivo.

Para este estudio sólo se considera la modalidad de trabajo MTS, quedando entendido que la misma metodología es igualmente aplicable para sistemas MTO, pero con las siguientes diferencias:

- En MTO se trabaja con pedidos que son generados por los clientes mientras que en MTS se utilizan órdenes de producción generadas por el gerente de dicho departamento.
- En MTO el algoritmo de demanda es con tamaños predefinidos, a diferencia de MTS donde se trabaja con demandas pronosticadas según datos históricos

1.5 LIMITACIONES:

- El estudio considera solo un conjunto determinado de escenarios, quedando excluidas otras combinaciones que pudieran surgir de acuerdo con la naturaleza y condiciones de cada empresa; aunque se explicaría como modificarlos.
- Recursos limitados en el laboratorio de computación de ingeniería industrial de la Universidad de Carabobo, debido a que la mayoría de las computadoras no cuentan con la licencia del programa Arena® la cual es fundamental para el desarrollo de la simulación.

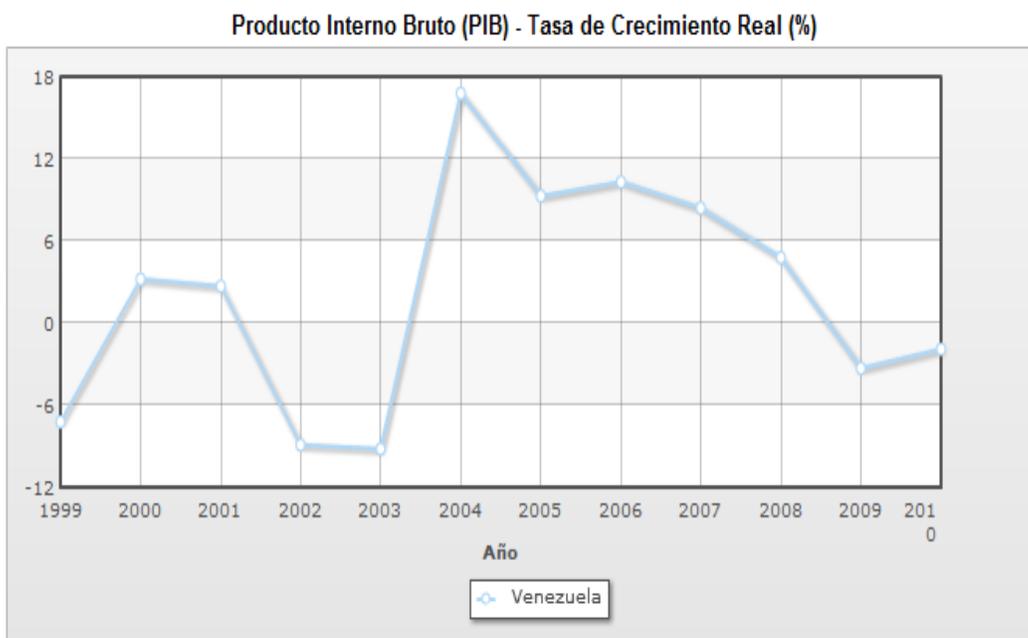
1.6 JUSTIFICACIÓN:

La velocidad de respuesta de las cadenas de suministro es la que determina su competitividad en el mercado; es deseable que las cadenas de suministro puedan responder rápidamente, tan rápido como el cliente lo requiera, para realizar la máxima transformación de materiales e insumos en resultados o en producto final. Las cadenas de suministro deben revisar, con la frecuencia que le imponga el ritmo del mercado, si están respondiendo suficientemente rápido a las necesidades de los clientes y si su manera de responder es la mejor y más competitiva. Generalmente, se considera un período histórico razonable y se evalúa diferentes políticas para satisfacer una demanda en particular en función de algún indicador de desempeño, como lo pueden ser el nivel de servicio y los niveles de inventario promedio y seleccionar aquella política que mejor resulte en esos indicadores. Esto se ha comprobado en varias investigaciones, como por ejemplo, en el Trabajo Especial de Grado de Tovar y Ramos (2008). Sin embargo, Herrmann (2002) ha planteado que al realizar estas revisiones más frecuentemente, se obtienen mejores resultados en el desempeño de la cadena de suministro, que las políticas en sí mismas.

El objeto de este estudio, es precisamente, medir el impacto que tiene la frecuencia de revisión y actualización de las políticas en el rendimiento de la cadena de suministro, en función de parámetros de referencia como lo son el nivel de servicio y los niveles de inventario promedio, de manera que permita proponer acciones que mejoren el desempeño de la cadena. Además de verificar, si efectivamente al realizar reprogramaciones más frecuentes se aumenta el desempeño del sistema.

La importancia de la reprogramación de la producción radica, no sólo en planificar, ya que si es por planificar, se organiza las tareas siempre de la misma forma, sino en armonizar el sistema de producción con las necesidades del mercado, generando así una eficiente planificación que garantice la satisfacción del cliente. Una ineficiente planificación puede traer como consecuencia que no se cuente con los productos cuando el cliente los solicita, provocando que los mismos se cambien a la competencia, disminuyendo la clientela de dicha organización. En caso de que la organización no cuente con una competencia significativa en el mercado, el efecto puede ser aun más impactante. Ya que se genera desabastecimiento del producto, disminuyendo el producto interno bruto y por ende se ve

afectada negativamente la economía del país. Si esto ocurriera en muchas organizaciones, este efecto se ve multiplicado haciendo que la economía general del país sea ineficiente. Esta situación se puede evidenciar en la figura 1.3 y la figura 1.4, donde se observa la disminución de la tasa de crecimiento del producto interno bruto en Venezuela desde el año 2004 hasta el año 2010 y la disminución del producto interno bruto específicamente para el sector de manufactura entre los años 2004 y 2010, respectivamente.



**Figura 1.3: Tasa de crecimiento real del producto interno bruto en Venezuela
(1999-2010)**

Fuente: CIA World Factbook

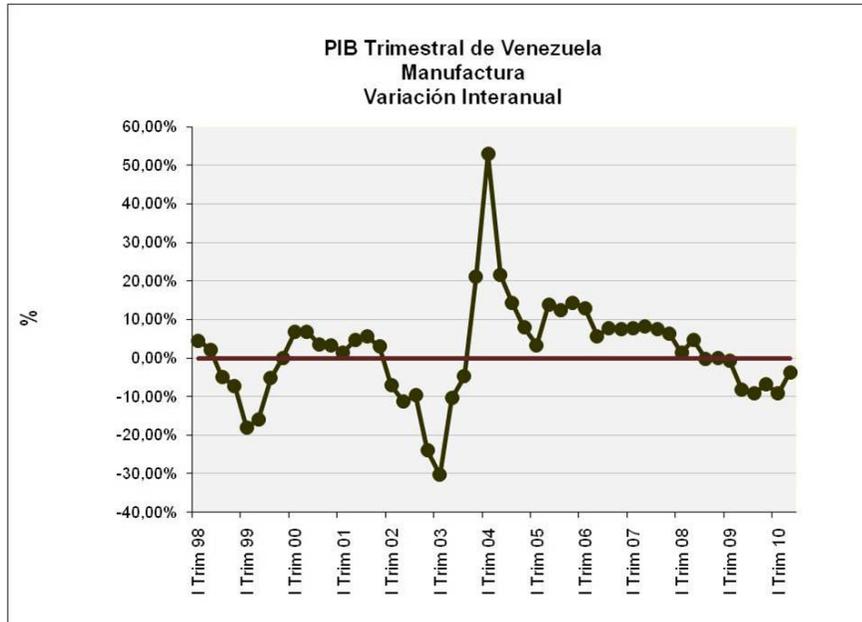


Figura 1.4: Variación interanual del producto interno bruto específicamente para el sector de manufactura entre los años 1998 y 2010

Fuente: García (2010)

Realizar este estudio en la realidad implica una inversión alta de dinero y una gran cantidad de tiempo para llevarlo a cabo; encontrándose con un sistema dinámico que está en constante cambio, y donde intervienen muchas variables en un proceso de manufactura. Para simplificar el estudio, es necesaria la implementación de herramientas tecnológicas como la simulación.

La simulación es una herramienta muy útil y conveniente para realizar este tipo de evaluaciones, pues no solo permite revisar escenarios ocurridos, sino además permite probar con demandas hipotéticas para el futuro, o con sistemas de producción modificados. A parte de minimizar los costos requeridos para la realización del estudio.

La realización de esta investigación permite demostrar que si una cadena de suministro reprograma sus políticas más frecuentemente, puede adaptarse a los cambios en la demanda, condiciones económicas, entorno político, entre otros cambios que puedan afectar a la cadena de suministro. Y de esta manera, garantizar que esté respondiendo

suficientemente rápido a las necesidades de los clientes, siendo más eficiente que si trabaja siempre bajo las mismas políticas. Es de gran importancia que las empresas realicen estudios que le permitan mejorar sus procesos, con el fin de mejorar el nivel de servicio y minimizar sus costos. De lo contrario, está expuesto a perder competitividad y productividad y ser desplazados por una empresa que ofrezca un mejor servicio a precios competitivos. Finalmente la realización de esta investigación permite a sus creadores consolidar conocimientos adquiridos en diversas áreas de la ingeniería industrial y permite cumplir con el último requisito académico exigido para la obtención del título de Ingeniería Industrial.

CAPITULO II

Marco Teórico

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Una vez definido el planteamiento del problema y los objetivos que determinan los fines de la investigación, se establecen los aspectos teóricos que sustentan el estudio en cuestión. En esta sección, se muestran las investigaciones elaboradas por otros autores (antecedentes) que sirven de base para el desarrollo del estudio, así como, las bases de las diversas teorías y conceptos relativos a los sistemas productivos y a la simulación de sistemas.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Figueredo y González (2009), Ramos y Tovar (2008), Alongi y Rivero (2008). Emplearon la simulación para el estudio del ambiente de producción y manufactura. Los primeros se encargaron de la aplicación de la simulación dinámica mediante dos modelos que ejemplifica los sistemas de producción de empujar y de halar; los segundos trabajaron con las políticas de producción más usadas en los sistemas de manufactura, mientras que los últimos aportan información sobre las políticas de inventarios. Todos utilizaron el programa Arena® siendo de mucha utilidad porque abarca por separado todos los aspectos que en conjunto se consideraron para este trabajo. Además suministra fundamentos básicos para la creación de un modelo utilizando el mismo programa de simulación.

Herrmann (2002). Este trabajo sirvió de soporte teórico sobre el estudio de los cambios de la frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y producción en las cadenas de suministro.

Vieira, Lin y Herrmann (2002). El trabajo presenta las definiciones adecuadas para la mayoría de las aplicaciones de la reprogramación de los sistemas de fabricación y describe un marco para entender las estrategias de reprogramación, las políticas y métodos. Esta investigación servirá como soporte teórico para el estudio de frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y producción en las cadenas de suministro.

2.2 BASES TEÓRICAS:

2.2.1 Demanda:

Es la cantidad de bienes y/o servicios que los compradores o consumidores están dispuestos a adquirir para satisfacer sus necesidades o deseos, quienes además, tienen la capacidad de pago para realizar la transacción a un precio determinado y en un lugar establecido.

La demanda de un bien o servicio depende de diversos factores además de su precio. Los más importantes son: el precio de otros bienes, ingresos, gustos, calidad, población, la seguridad que tiene el usuario de que el bien o servicio le brindase los beneficios apropiados, preferencia, entre otros.

2.2.2 Políticas de inventario:

Son lineamientos que debe establecer una empresa para, en función de llevar un control de los materiales y recursos usados en la fabricación de sus productos, responder a las siguientes interrogantes: ¿Qué debe ordenarse?, ¿Cuánto debe ordenarse?, ¿Cuándo debe ordenarse?

2.2.3 Tipos de políticas de inventarios:

Según Sipper y Bulfin (1998), las políticas de inventario se dividen en: políticas de revisión continua y políticas de revisión periódica.

- **Políticas de revisión continua:**

En este tipo de políticas, el inventario se controla continuamente. Cuando el nivel llega al punto de reorden s , se ordena una cantidad fija Q .

Dentro de este tipo de políticas se encuentra:

(s,S): consiste en que cuando el nivel de inventario llega al nivel s , se pide un lote de tamaño $Q = S - \text{IMO}$. Donde IMO: inventario a la mano, es el inventario que la empresa tiene disponible.

(s,Q): consiste en que cuando el nivel de inventario, que debido a la demanda va disminuyendo, llega cierto nivel s (denominado nivel de ordenamiento), se ordena un lote de tamaño Q .

(S): cada vez que se realice una transacción de demanda, se pide un lote igual al tamaño de la transacción.

(s,c,S): maneja un grupo de ítems en forma simultánea. Para cada ítem del grupo se definen tres parámetros que cumplen que $s < c < S$. Cuando, para cualquier ítem del grupo su nivel de inventario llega a un nivel s , se realiza una orden de compra para los ítems del grupo, en esta orden se incluyen todos los ítems para los cuales su nivel de inventario es menor a su nivel c ; el tamaño de los lotes a ordenar de cada uno de estos ítems se calcula como: $Q = S - \text{IMO}$.

- **Políticas de revisión periódica:**

En estas políticas, se verifica el nivel de inventario (I), en intervalos de tiempo fijo (meses, semanas) o cualquier periodo de tiempo T , llamado periodo de revisión. Se coloca una orden si (I) es menor a cierto nivel predeterminado R , llamado punto de reorden.

Estas políticas se dividen en:

(T, S): consiste en que cada periodo de tiempo T se revisa el nivel de inventario a la mano disponible. Cada vez que se revise se pide una orden del material tamaño $Q = S - \text{IMO}$: se pide hasta el nivel S .

(t_r , s , S): consiste en revisar el nivel de inventario cada cierto tiempo t_r , si el nivel de inventario es superior a s no se ordena; si el nivel de inventario es superior a s , se ordena un lote de tamaño $Q=S-IMO$.

2.2.4 Programación:

Según Domínguez (1995). Es la etapa de la planificación, que precede a la producción propiamente dicha. Es la actividad que consiste en la fijación de planes y horarios de la producción de acuerdo a la prioridad de la operación por realizar, determinando así su inicio y fin, para lograr el nivel más eficiente. La función principal de la programación de la producción consiste en lograr un movimiento uniforme y rítmico de los productos a través de las etapas de producción.

Adicionalmente, un programa de producción puede ser afectado por elementos propios del proceso, entre los cuales se tienen:

- Materiales: para cumplir con las fechas comprometidas para su entrega.
- Capacidad del personal: para mantener bajos costos al utilizarlo eficazmente, en ocasiones afecta la fecha de entrega.
- Capacidad de producción de la maquinaria: para tener una utilización adecuada de ellas, deben observarse las condiciones ambientales, especificaciones, calidad y cantidad de los materiales, la experiencia y capacidad de las operaciones en aquellas.
- Sistemas de producción: realizar un estudio y seleccionar el más adecuado, acorde con las necesidades de la empresa.

Según Tovar (1975). Programar es coordinar los tiempos de fabricación para la realización de las metas fijadas de producción. Es la determinación de cuando los trabajos deben ser procesados para cumplir con las fechas de culminación previamente establecidas. Es la fase del planeamiento en la cual las actividades de producción son coordinadas y proyectadas sobre una escala de tiempo.

2.2.5 Reprogramación:

Según Vieira, et al (2002). La reprogramación es el proceso de actualización de un programa de producción existente en respuesta a interrupciones u otros cambios. Esto incluye la llegada de nuevos puestos de trabajo, las fallas y las reparaciones de las máquinas, entre otros.

El entorno de reprogramación identifica el conjunto de puestos de trabajo que el programa debe incluir. Una estrategia de reprogramación describe si se generan o no los programas de producción. Una política de reprogramación especifica cuándo y cómo se lleva a cabo la reprogramación. La política específica los eventos que disparan la reprogramación. Estos eventos pueden ser predecibles (ocurren regularmente) o impredecible. La política especifica el método utilizado para revisar la programación existente. Es importante tener en cuenta que la política puede indicar diferentes métodos para diferentes situaciones. Si esa política tiene algún parámetro (por ejemplo, la duración del período de reestructuración), la política específica estos parámetros. Los métodos de reprogramación generan y actualizan los programas de producción.

2.2.6 Indicadores de gestión

Según Pérez (2006), “Un indicador de gestión es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso”.

Beltrán (2000), explica que un “indicador es la relación entre las variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generadas en el objeto o fenómeno observado, respecto de objetivos y metas previstos e influencias esperadas”. Los indicadores en conjunto pueden proporcionar un panorama de la situación de un proceso, de un negocio, de las ventas de una compañía, entre otros. Empleándolos en forma oportuna y actualizada, los indicadores permiten tener control adecuado sobre una situación dada; la principal razón de su importancia radica en que es posible predecir y

actuar con base en las tendencias positivas o negativas observadas en su desempeño global”.

Los indicadores son una forma clave de retroalimentar un proceso, de monitorear el avance o la ejecución de un proyecto y de los planes estratégicos y son más importantes todavía si su tiempo de respuesta es inmediato.

Deben cumplir con unos requisitos y elementos para poder apoyar la gestión para conseguir el objetivo. Estas características son:

- **Simplicidad:** Puede definirse como la capacidad para definir el evento que se pretende medir, de manera poco costosa en tiempo y recurso.
- **Adecuación:** Entendida como la facilidad de la medida para describir por completo el fenómeno o efecto. Debe reflejar la magnitud del hecho analizado y mostrar la desviación real del nivel deseado.
- **Validez en el tiempo:** Puede definirse como la propiedad de ser permanente por un periodo deseado.
- **Participación de los usuarios:** Es la habilidad para estar involucrados desde el diseño, y debe proporcionárseles los recursos y formación necesarios para su ejecución. Este es quizás el ingrediente fundamental para que el personal se motive en torno al cumplimiento de los indicadores.
- **Utilidad:** Es la posibilidad del indicador para estar siempre orientado a buscar las causas que han llevado a que alcance un valor particular y mejorarlas.
- **Oportunidad:** Entendida como la capacidad para que los datos sean recolectados a tiempo. Igualmente requiere que la información sea analizada oportunamente para poder actuar.

En general, de acuerdo a la literatura consultada referente a este tema (Beltrán, 2000), existen dos indicadores importantes a considerar para cualquier sistema de manufactura, los cuales se definen a continuación:

- **Nivel de servicio:** número de pedidos de clientes atendidos satisfactoriamente a la primera vez, el cual está relacionado con la satisfacción del cliente cuando solicita

algún producto. Lo anterior se observará mientras no haya quiebre de inventario, es decir, cuando la cantidad en existencia sea mayor que la cantidad demandada.

- **Nivel de inventario promedio:** se refiere al balance general del conjunto de bienes tangibles que se tienen para ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización.

2.2.7 Simulación de sistema:

Según Solari (2003) la simulación de sistemas “es una ciencia de la investigación de operaciones que permite estudiar los sistemas y los problemas analizándolos experimentalmente, de forma equivalente a la actividad que se realiza en un laboratorio”.

2.2.8 Simulación:

Shannon (2005) define La simulación como “Es el diseño y desarrollo de un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentalmente con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real o evaluar varias estrategias con los cuales puedan operar el sistema.”

La simulación se debe usar porque:

- Encuentra soluciones a problemas matemáticos o de sistemas para los cuales no se conoce solución analítica.
- Encuentra soluciones a problemas en los cuales la experimentación es costosa
- Investiga posibles estrategias

A la hora de realizar un modelo de simulación es necesario conocer bien el problema que se quiere simular, y la magnitud de lo que se quiere medir, con el fin de que el modelo construido tenga un propósito específico.

Según Law, et al (1999) “La mayor ventaja de usar simulación es un sistema de fabricación es que permite una visión abierta del efecto de un cambio local en el sistema de fabricación. Si un cambio se hace a una estación de trabajo en particular, su impacto en el funcionamiento de esta estación puede ser predecible”.

Law, et al (1999) definen, unos términos relacionados a la validez y credibilidad de un modelo de simulación.

Verificación lo define como “determinar que un programa de simulación de la computadora actué según lo previsto; eliminando errores del programa, así la verificación comprueba la traducción del modelo conceptual de simulación en un programa que funcione correctamente”.

La validación se refiere a “determinar si el modelo conceptual de la simulación es una representación exacta del sistema estudiado. Si un modelo es válido, entonces la decisiones hechas con el modelo deberían ser similar a esas hechas físicamente experimentado con el sistema”.

2.2.9 Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación

Según Tarifa (1997) el desarrollo de un modelo de simulación, se realiza tomando en consideración los siguientes pasos:

- **Formulación del problema.** Se define el problema que se pretende estudiar y se plantean los objetivos.
- **Diseño del modelo conceptual.** Se realiza la especificación del modelo, a partir de las características de los elementos del sistema que se quiere estudiar, teniendo en cuenta los objetivos del sistema.
- **Obtención de los datos.** Identificar, recoger y analizar los datos necesarios para el estudio.
- **Construcción del modelo.** Construcción del modelo partiendo del modelo conceptual y los datos.
- **Verificación y validación.** Comprobar que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelo.
- **Análisis.** Analizar los resultados de la simulación, con la finalidad de detectar problemas y recomendar mejoras o soluciones.
- **Documentación.** Proporcionar documentación sobre el trabajo efectuado.
- **Implementación.** Poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación.

2.2.10 Conceptos básicos para elaborar un modelo de simulación

Fábregas, et al (2003), definen algunos conceptos básicos relacionados a la simulación:

- **Evento:** Es la ocurrencia que cambia el estado del sistema.
- **Entidad:** Puede ser objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de respuesta.
- **Atributo:** Es una característica propia de cada entidad. Los atributos se definen con un nombre y deben tener un valor numérico que indique algo para el usuario.
- **Variables:** Representan características del sistema; son de carácter global, es decir, su valor es el mismo en cualquier parte del modelo. Las variables pueden ser determinadas por el programa o definidas por el usuario.
- **Recursos:** Es un elemento estacionario que puede ser ocupado por un entidad. Los recursos se emplean cuando se requiere representar actividades claves del sistema que restringe el flujo de actividades.
- **Cola:** Lugar donde esperan las entidades.

2.2.11 Programa de Simulación

Hoy en día, existe una diversidad de programas de simulación como Arena®, SLAM, FlexSim, Promedel, entre otros.

Según Ramos y Tovar (2008). El propósito de utilizar un programa de simulación es buscar resultados eficientes y efectivos en el área que se está estudiando, de cumplir de ciertas características que son indispensables para la creación de un modelo, las cuales son: El programa debe tener la posibilidad de cambiar de atributos (variables de entrada), variables globales (variables del sistema), condiciones lógicas, expresiones y funciones matemáticas; contar con interfaces gráficas amigables para así hacer fácil su utilización; manuales del programa para realizar consultas; buenos reportes tanto estadísticos como gráficos; contar con una apropiada capacidad estadística, ya que un programa de simulación debe ser capaz de generar números y variables de forma aleatoria y ser capaz de analizar los datos de entrada (ajuste de curva, Test Chi-Cuadrado, Test Kolmogorov-Smirnof, etc.) como de salida (intervalos de confianza, test estadísticos para comparara diferentes escenarios).

El programa Arena® de la empresa RockWell Software es uno de los más utilizados a nivel mundial por múltiples organizaciones según la Winter Simulation Conference (WSC) ya que el 48% de los trabajos presentados en el área de manufactura en dicha conferencia usan Arena® como programa de Simulación (ver figura 2.1). Esto es debido a la sencillez en la cual se elaboran las configuraciones específicas de simulación para la solución de problemas de cualquier tipo. Gracias a la Winter Simulation Conference (WSC), se pueden conocer los últimos avances de diversos trabajos que utilizan Arena® y otros programas de simulación.

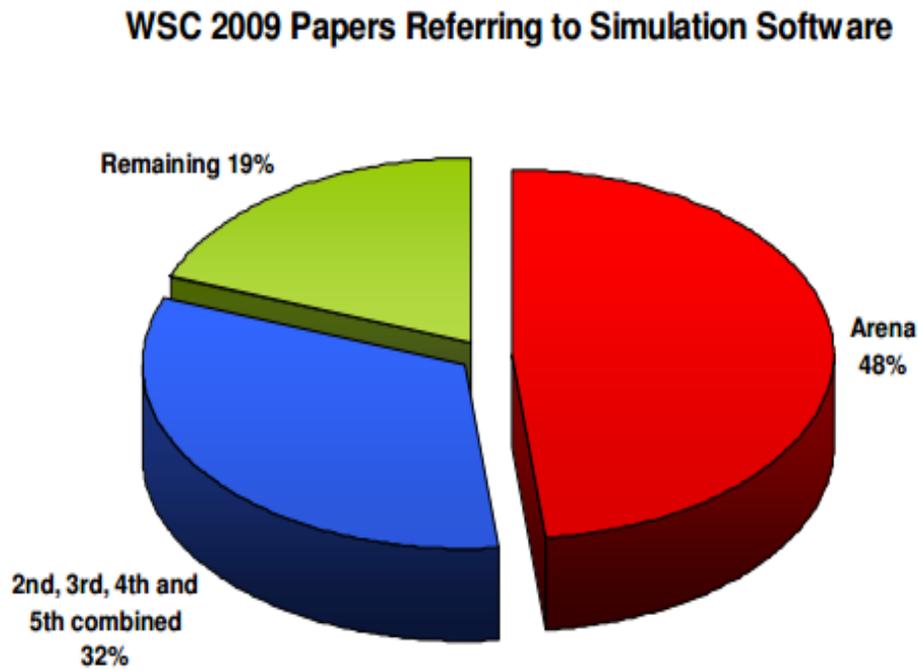


Figura 2.1: Utilización de programas de simulación para trabajos presentados en el área de manufactura en la Winter Simulation Conference (WSC) 2009.

CAPITULO III

Marco Metodológico

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

En esta sección, se presenta el tipo de investigación según la naturaleza de los objetivos, en cuanto al nivel de conocimiento que se desea alcanzar, el diseño de la investigación, donde se explica el tipo de fuente en la que se basa el estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de datos así como la metodología a seguir que permita el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Según Méndez (2001), la investigación exploratoria “tiene como finalidad, la formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa o en el desarrollo de una hipótesis, así como, aumentar la familiaridad del investigador con el fenómeno en estudio”. De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo se considera una investigación de tipo exploratoria, ya que se busca identificar los elementos y características de las diferentes políticas de producción y de inventarios que forman parte de un sistema productivo y cómo afecta la frecuencia de reprogramación de las mismas en la satisfacción de una demanda específica. Se pretende presentar y comprobar la relación entre las variables de investigación y el comportamiento del sistema en cada una de sus etapas.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

El estudio se basa en una investigación de tipo Proyecto Factible y según Gómez (2000) “consiste en una propuesta de acción viable para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”.

Esta investigación corresponde a un proyecto factible, debido a que la misma consiste, en la elaboración de un conjunto de modelos de simulación, donde se estudian elementos fundamentales tales como la demanda, el establecimiento de políticas de inventarios y de producción, que integran el sistema productivo. Con estos modelos, se pueden configurar diferentes escenarios, donde se busca medir el impacto de la frecuencia de reprogramación de las políticas de producción y de inventarios sobre la satisfacción de la demanda y los

costos de inventario, teniendo resultados que sirven de base para la toma de decisiones. Así mismo, se apoya en una investigación documental ya que requiere de la revisión bibliográfica para la sustentación teórica.

3.3 FUENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

La recolección de los datos de entrada se obtuvo de fuentes secundarias, ya que centra su atención en la observación y el análisis de la diversidad de fuentes documentales existentes (textos, manuales, tesis, etc). Según Balestrini (1998) las fuentes secundarias “son un área básica, donde se ha de coincidir, independientemente del tipo de investigación que se realice y de la implicación que esta tenga con una rama de conocimientos específica”.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se siguió una serie de etapas, propias de una investigación tipo proyecto factible. La primera etapa comprende el diagnóstico, donde se identifica el problema, se delimita el estudio y se realiza la búsqueda de fundamentos teóricos. La segunda etapa, se basa en la obtención de los datos para las variables de entrada, especificación de aspectos claves en los sistemas productivos, la definición de los tipos de políticas de producción e inventarios así como las frecuencias de reprogramación a utilizar en el modelo y los métodos de fabricación. La tercera etapa se define con la construcción del modelo de simulación.

3.4 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN:

Para evaluar los resultados obtenidos en los escenarios configurados, se utilizó indicadores de gestión, con el fin de medir el impacto de las diferentes variables obtenidas y determinar cómo afecta la frecuencia de reprogramación en la satisfacción de una demanda particular.

Entre los indicadores de gestión se tienen:

- Nivel de servicio
- Nivel de inventario promedio

3.5 FASES DE LA INVESTIGACIÓN:

Fase 1: Diagnóstico

- Definición y delimitación del problema: en esta sección se da a conocer el problema en estudio, el cual, quedó descrito en el planteamiento del problema.
- Bases teóricas: relacionadas con las políticas de inventario, producción, la simulación, la demanda, etc. El cual se recopiló a través de la información necesaria para entender el sistema que se va a modelar y el enfoque bajo el cual debe analizarse.

Fase 2: Construcción de los modelos

- Construcción de los diagramas de flujo del proceso: se diseñaron los diagramas de flujo para cada uno de los escenarios de producción, con la finalidad de poder tener una visión clara de todos los parámetros para cada política de producción y de inventarios.
- Construcción de los modelos de simulación: Después de analizar los parámetros y las variables de cada una de las políticas de producción e inventarios así como las frecuencias de reprogramación a utilizar, se procede a transformar los escenarios planteados en los diagramas de flujo a los modelos de simulación, mediante el uso del programa Arena®.

Fase3: Verificación y validación de los modelos de simulación:

- En esta fase, se comprobó el funcionamiento y validez del modelo obtenido en la fase anterior, y se verificó si los modelos construidos se ajustan o no a la representación real del sistema.

Fase 4: Análisis de los resultados obtenidos

- En esta fase se recopilan y analizan los resultados obtenidos de las aplicaciones de la fase anterior, utilizando indicadores de gestión (nivel de servicio y nivel de inventario promedio), tablas de resultados y gráficos. Además se muestran las conclusiones y recomendaciones acerca del mejor escenario de producción para una

demanda particular, comparando los resultados obtenidos con las diferentes frecuencias de reprogramación.

CAPITULO IV

Diseño de la Estructura del Modelo

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

En esta sección se explica las diferentes actividades consideradas para el estudio de los escenarios, los cuales están formados por una serie de procesos o factores, que son parte esencial en la construcción de los mismos.

En la figura 4.1, se muestra un esquema gráfico del funcionamiento de un sistema que trabaje bajo una modalidad contra inventario o MTS. El sistema se puede dividir en cuatro grandes submodelos: submodelo de demanda (1), submodelo de revisión de políticas (2), submodelo de inventarios y producción (3), y submodelo de fallas, los cuales se describen posteriormente con más detalles.

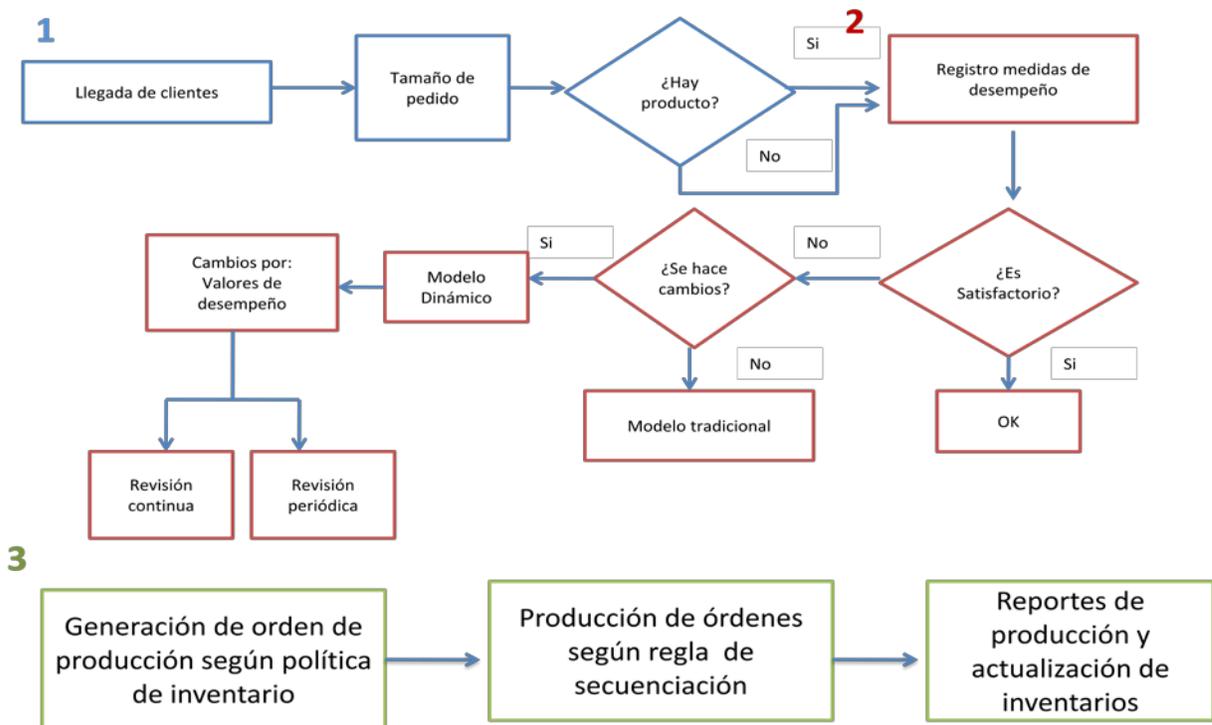


Figura 4.1: Esquema operativo para Sistemas MTS

4.1 SUPUESTOS A CONSIDERAR:

Debido a que el estudio no se realizó partiendo de un sistema real, surgió la necesidad de tener en cuenta una serie de consideraciones para poder alcanzar la construcción de los modelos, las mismas son las siguientes:

- El sistema a estudiar tendrá valores iniciales de inventario a la mano e inventario total.
- La cantidad de clientes que llegan, los valores de demanda y el tiempo entre llegada de los clientes son valores obtenidos a través de consultas con expertos en la materia.
- El proceso de producción experimenta fallas aleatorias y programadas. Estas pueden ser por maquinaria, electricidad o ausentismo, los cuales pueden ocurrir en algún punto del tiempo. Los tiempos entre fallas y la duración de las mismas serán definidas de acuerdo a una distribución específica.
- Para el sistema de producción, se va a trabajar con tres productos denominados, A, B, C y una línea de producción.
- El horario de trabajo del sistema de producción será de 24 horas. Con turnos laborales de 8 horas cada uno.
- Un cliente solo puede adquirir un solo tipo de producto, sin importar la cantidad.
- Un cliente solo puede regresar 2 veces al sistema, para solicitar un producto.
- El tiempo en que tarda un cliente en regresar nuevamente al sistema es de un día.
- El tiempo de operación depende del tamaño del lote a producir.

- La capacidad de la planta es igual a 400 unidades/día para cualquiera de los 3 productos.
- El lead time se considera como un valor que calcula la empresa según la capacidad.
- El tiempo de simulación será de 2 años, equivalentes a 720 días.

4.2. SUBMODELO DE DEMANDA:

4.2.1. Llegadas de Los Clientes:

Un cliente, es un individuo o ente jurídico que compra o alquila un producto a una persona u organización. Éstos, son los elementos más importantes para las organizaciones y satisfacer sus necesidades es el punto clave para el desarrollo y el crecimiento de las mismas.

La llegada de los clientes está relacionada con la necesidad de adquirir uno o más productos y cada uno de estos clientes tienen características propias que definen su comportamiento. Adicionalmente existen variables que están ligadas con la llegada de los clientes, como son:

- Frecuencia: definida como la cantidad de veces que el cliente solicita un determinado producto. Por ejemplo: cada 20 minutos llegan clientes a una lavandería.
- Horario de solicitud del producto: es el periodo bajo el cual el cliente puede solicitar y comprar los productos. Esto depende de las jornadas o turnos de trabajo bajo los cuales laboran las organizaciones y que el cliente debe ajustarse para poder ser atendido. Por ejemplo, una tienda de zapatos, generalmente tiene un horario comprendido entre las 9 a.m y 7 p.m, mientras que una empresa ensambladora puede atender en el lapso de 8 a.m a 4:30 p.m.

- Grupos: es la cantidad de clientes que realizan o emiten la compra de un determinado producto en un instante de tiempo. Por ejemplo: para un concierto de algún cantante, un cliente compra entradas para cuatro (4) personas.

Por lo general, las empresas que tienen cierto tiempo en el mercado suelen tener una amplia variedad de clientes como: de compra frecuente, de compra ocasional, de altos volúmenes de compra, etc.

Thompson (2006) clasifica los clientes en dos grandes ramas principales:

Clientes actuales: son aquellos que le hacen compras a la empresa de forma periódica o que lo hicieron en una fecha reciente.

Clientes potenciales: son aquellos que no le realizan compras a la empresa en la actualidad pero que son visualizados como posibles clientes en el futuro porque tienen la disposición necesaria, el poder de compra, y la autoridad para comprar.

Variación en la cantidad y frecuencia de llegada de los clientes:

La cantidad de clientes actuales de una organización puede variar, ya sea porque su clientela crezca o disminuya.

En el caso del crecimiento de la cantidad de clientes puede darse por dos factores fundamentales:

1. Crecimiento natural de la población: Cuando una empresa tiene cierto porcentaje de participación en el mercado de un producto, es lógico pensar, que al aumentar la población que conforma dicho mercado debería aumentar la cantidad de clientes que solicitan los productos a la empresa. Es decir, que a medida que hay un crecimiento vegetativo, el consumo de los productos va creciendo en función de cómo crece la población.

Para efecto de este estudio, se consideran casos de empresas establecidas en el mercado y que por lo tanto el consumo de sus productos es de crecimiento vegetativo. Como el crecimiento de la población en Venezuela está alrededor del 1,5% al 2% interanual, este aumento no es algo significativo y no se considerará.

2. Introducción de un producto nuevo en el mercado: Otra forma de crecimiento es que se trate de un producto nuevo que se está introduciendo y su demanda crecerá a medida que se da a conocer en el mercado.

Para estudiar este tipo de crecimiento es necesario realizar un estudio de demanda detallado, sin embargo, es igualmente aplicable la metodología utilizada en este trabajo.

Es importante acotar que los dos casos anteriormente descritos, son crecimientos provocados por factores externos a la organización. Otras maneras de aumentar la clientela de la empresa, puede ser mejorando las ventajas competitivas de la organización, publicidad, promociones, entre otras.

En el caso de la disminución en la cantidad de clientes, puede deberse a la introducción de nuevos competidores en el mercado, desmejoramiento de la calidad de productos o servicios en la organización, entre otros.

4.2.2. Tamaño de Pedido:

Un pedido se define cuando el cliente lo solicita o emite, generando la demanda de un producto. Las organizaciones tienen diferentes formas para definir el pedido, entre ellas se tienen:

- Con fuentes de datos históricos (pronósticos).
- Un pedido emitido por un cliente (lo cual lo pudo hacer vía telefónica, vía electrónica o personalmente).

La forma que se utilizará para definir un pedido en el modelo de estudio, será a través de un **pedido realizado por un cliente**. La definición del pedido será la cantidad en unidades del pedido solicitado por el cliente, en otras palabras, es la demanda del producto. Habrá una demanda para cada tipo de producto que se fabrica en la organización.

Variación en los tamaños de pedido de los clientes:

Las cantidades demandadas por los clientes tienden a ser mucho más variables que la cantidad de clientes. Por lo cual, esta variación es más común que esté presente, sobre todo en un país como Venezuela.

Estos cambios se deben a diferentes situaciones como: escasez o desabastecimiento de productos, que traen como consecuencia que los clientes pidan más cantidades de lo normal lo que hace que demanden menos en sus próximos pedidos; estacionalidad (la demanda varía en función de estaciones del año); demanda inestable debida a la misma inestabilidad del mercado, a las condiciones económicas, competitividad, etc. Específicamente en Venezuela, estas variaciones pueden ser aún mayores debido al control de divisas y que la gran mayoría de los productos son importados.

4.2.3. Disponibilidad de cantidad demandada del producto para la venta:

Al momento de realizar la venta de los productos a los clientes se pueden presentar los siguientes casos:

Caso n°1

Cuando el cliente desee dirigirse a su proveedor para adquirir sus productos se puede presentar dos situaciones:

- El proveedor puede realizar la venta inmediata del mismo.
- No se le puede hacer la venta inmediata del mismo, por no existir éste en el almacén.

Estas situaciones se simularan a través de un submodelo de demanda denominado “**venta inmediata o perdida**”. Como se puede observar en la figura 4.2.

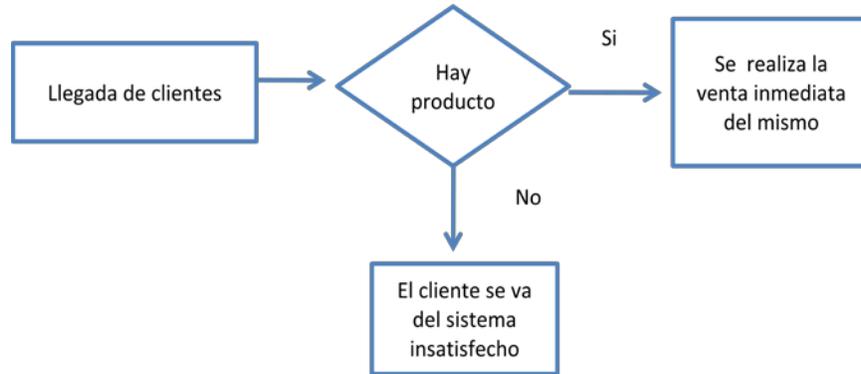


Figura 4.2: Esquema de funcionamiento para venta inmediata o perdida

Caso n°2

Cuando el cliente desee dirigirse a su proveedor para adquirir sus productos se puede presentar tres situaciones:

- El proveedor puede realizar la venta inmediata del mismo.
- No se le puede hacer la venta inmediata del mismo, por no existir la cantidad solicitada en el almacén. Sin embargo, la empresa llega a un acuerdo con el cliente, de entregar lo que se tiene en almacén (venta parcial o back order) y el resto será entregado a una fecha acordada entre las partes.
- La venta perdida, cuando el cliente decide no aceptar lo que se encuentra en el almacén.

Estas situaciones se simularan a través de un submodelo de demanda denominado “**venta inmediata total o parcial (Back Order)**”. Como se muestra en la figura 4.3.

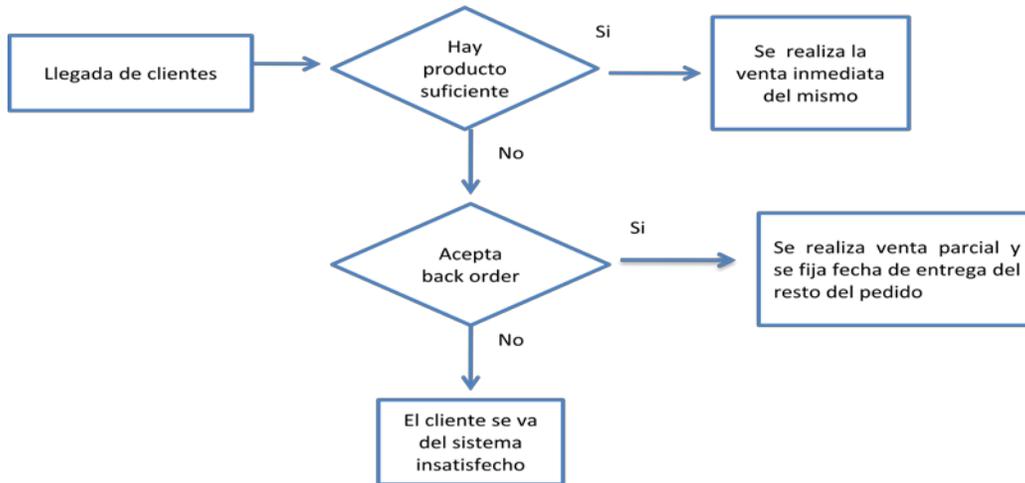


Figura 4.3: Esquema de funcionamiento para venta total o parcial (back order)

Caso n°3

Cuando el cliente desee dirigirse a su proveedor para adquirir sus productos se puede presentar tres situaciones:

- El proveedor puede realizar la venta inmediata del mismo.
- No se le puede hacer la venta inmediata, por no existir la cantidad solicitada en el almacén y este decide regresar otro día (venta diferida).
- La venta perdida, cuando el cliente decide no aceptar lo que se encuentra en el almacén.

Estas situaciones se simularan a través de un submodelo de demanda denominado “**venta inmediata o diferida**”. Como se observa en la figura 4.4.

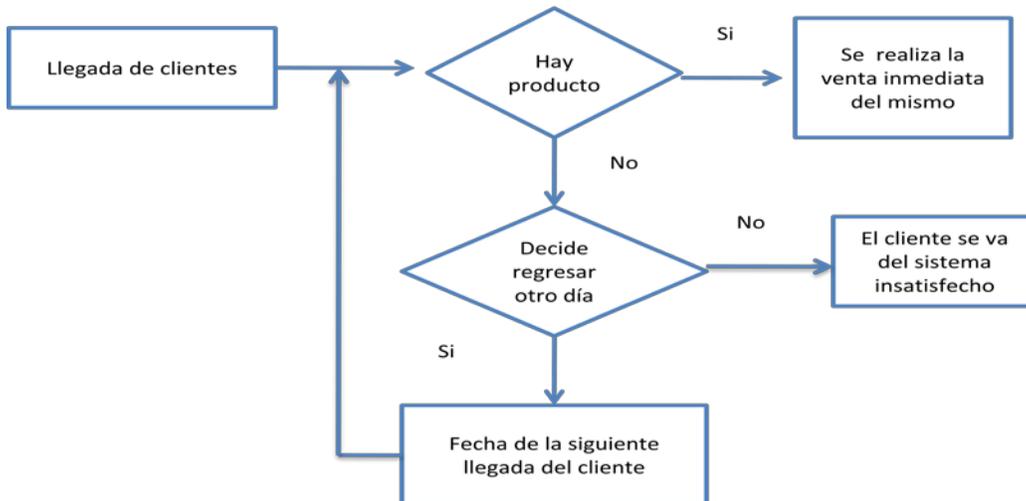


Figura 4.4: Esquema de funcionamiento para venta inmediata o diferida

Caso n°4

En este escenario, el cliente solicita la cantidad del pedido y el tiempo en el cual desee que le entreguen el mismo. Por lo tanto, la empresa trabaja contra pedido (MTO). A pesar de no considerar la modalidad de MTO en esta investigación, se describe por ser un caso posible de la disponibilidad de la cantidad demandada.

Estas situaciones se simularan a través de un submodelo de demanda denominado “**venta programada**”. Como se muestra en la figura 4.5.

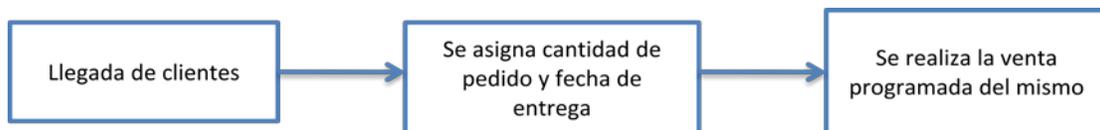


Figura 4.5: Esquema de funcionamiento para venta programada

4.3 SUBMODELO DE REVISIÓN DE POLÍTICAS

Al hacer la revisión de los valores de desempeño de un sistema, se está llevando a cabo un sistema de control, que se puede dividir en tres componentes básicos:

A. Información

La información de **cómo está** el sistema actualmente. Ésta debe ser oportuna, llegar al destino correcto y ser de buena calidad. Muchas de las ineficiencias en los sistemas de control, se deben a que no se cumplen estas tres características claves para poder tener un control exitoso.

B. Patrones de comparación:

Los patrones de comparación son los que permiten determinar **cómo debería estar** el sistema. Generalmente, las variables o parámetros que se controlan son variables aleatorias y tienen una variabilidad innata asociada. Por lo tanto, la comparación se debe hacer con respecto a cierto grado de tolerancia que dependerá de la naturaleza del proceso y/o sistema que se esté controlando.

C. Posibilidades de acciones correctivas:

Un sistema siempre puede estar expuesto a posibles desviaciones que afecten su desempeño. Conociendo estas desviaciones, se pueden tomar acciones para anticipar que algo salga mal y de ser así, se tenga un esquema de acciones que especifique: **¿Qué hacer?, ¿Cómo? ¿Cuándo? Y ¿Quién?**

4.3.1 Sistema de Control aplicado para la reprogramación en la cadena de suministro.

El primer componente del sistema de control corresponde al análisis de los parámetros, como se observa en la figura 4.6 representado con la letra A, debido a que los parámetros son la información requerida para conocer el estatus actual del sistema.

El segundo componente corresponde a la evaluación de los parámetros para verificar que sus valores estén dentro de las tolerancias admitidas, representado por la letra B de la figura

4.6, con el fin de chequear si su rendimiento es satisfactorio o si es necesario aplicar modificaciones para mejorar el cómo debería estar.

Por último, el tercer componente del sistema de control corresponde a las posibles acciones requeridas. Aquí se plantean los posibles escenarios de modificación, dependiendo del estado actual de los parámetros, de las tolerancias admitidas, recursos disponibles y de las limitaciones propias del sistema.

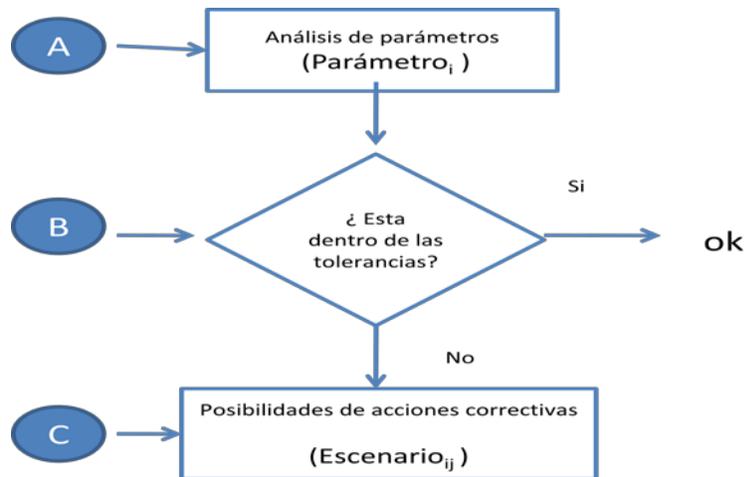


Figura 4.6: Esquema de funcionamiento de un sistema de control

A continuación se describe cada etapa del sistema.

4.3.2 Registro de medidas de desempeño:

Correspondiente a la etapa A: Análisis de los parámetros del Sistema de Control.

El número de parámetros a estudiar no es un número predefinido sino que es fijado por los analistas. Las decisiones se toman en función de los parámetros estudiados. Si se trabaja con un número reducido de parámetros, se tiene una base de decisión simple, si por el contrario se trabaja con una gran cantidad de parámetros, la base de decisión será compleja. A su vez, estos parámetros de estudio pueden ser tanto internos como externos.

Existen muchos indicadores que se pueden estudiar para obtener información sobre el desempeño del sistema. Algunos de estos pueden ser: materia prima, tiempo de entrega, nivel de servicio, costo de inventario, nivel de ventas, tiempo de operación, entre otros.

Las organizaciones deberían escoger aquellos parámetros que tengan mayor impacto sobre el desempeño del sistema. Por ejemplo, la disponibilidad de materia prima puede llegar a ser un factor muy importante dentro de una cadena de suministro, ya que si la misma no se encuentra disponible en la cantidad deseada y en el momento justo, no se puede llevar a cabo la producción del producto terminado. En caso de que la materia prima sea fácil de adquirir, este parámetro no presentará mayor relevancia. En cambio si es muy difícil de conseguir o cuenta con pocos proveedores en el mercado, tendrá mayor impacto en el proceso.

Todas las empresas, independientemente de su naturaleza, tienen como propósito la satisfacción del cliente. Por lo tanto, se seleccionó estudiar como parámetro externo **el nivel de servicio** por ser un indicador que permite medir esa satisfacción del cliente.

En el caso de aquellas empresas que trabajan bajo el sistema de fabricación MTS (Contra inventario), siempre cuentan con productos almacenados, manteniendo niveles de inventario que a su vez generan costos. Razón por la cual, se seleccionó estudiar como parámetro interno **los niveles de inventario promedio**.

El nivel de servicio

El nivel de servicio hace referencia al número de clientes atendidos satisfactoriamente a la primera vez, por lo tanto al disminuir el número de clientes no satisfechos se aumenta el nivel de servicio. Los clientes pueden irse del sistema no satisfechos por dos situaciones:

1- Cuando el cliente hace el pedido de un determinado tipo de producto, por ejemplo, de un producto A, existe inventario a la mano del producto A pero no la cantidad suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente.

2- Cuando el cliente hace el pedido de un determinado tipo de producto, por ejemplo, de un producto A, no hay inventario a la mano de ese tipo de producto.

La situación número 1, puede indicar que el nivel de reorden es bajo en comparación al ritmo con que se consume el inventario a la mano del producto. Dado a que si esta situación, ocurre un número considerable de veces (ocurre con frecuencia), es recomendable aumentar el nivel de reorden “s”, de manera que mientras llega el lote de tamaño Q de ese producto, se cuente con inventario a la mano suficiente para cubrir la demanda.

Por lo tanto, en presencia de la situación 1, para el cambio de parámetros de la política, es recomendable aumentar el nivel de reorden “s”.

La situación número 2, puede indicar que no se está garantizando variedad de productos. Puede que se cuente con inventario de otro tipo de productos, pero no se cuenta con el tipo de producto A, el cual es el que requiere el cliente en ese determinado momento. Esta situación puede deberse a que los tamaños de lote de los productos son muy grandes, lo que hace que en ciertos períodos de tiempo tenga mucha cantidad de un solo tipo de producto y se agoten los demás. Por eso, es recomendable, producir en lotes pequeños de los diferentes tipos de productos para garantizar variedad y que el cliente consiga del tipo de producto que él requiera al momento de hacer el pedido.

Por lo tanto, bajo la presencia de la situación número 2, para el cambio de parámetros de la política, es recomendable disminuir los tamaños de lote “Q”.

Nivel de Inventario Promedio:

Las empresas deben buscar la armonización de las cantidades disponibles (stock) con los costos de inventario. Los costos de inventario están conformados por la suma de los costos asociados más los costos por poseer esos niveles de inventario. Los costos asociados (almacenaje, seguros, deterioro, obsolescencia, etc.) se pueden reducir mediante justo a tiempo, dispositivos de ingeniería, mejor planificación y flujo de información, mejorar calidad de los pronósticos de las demandas. Los costos de posesión son proporcionales al nivel de inventario, por lo tanto se disminuyen reduciendo el nivel de inventario promedio. Es necesario controlar el nivel de inventario promedio de manera tal que los costos de posesión no sean tan elevados.

4.3.3 Evaluación de parámetros.

Correspondiente a la etapa B: Evaluación de los parámetros del Sistema de Control.

La evaluación de los parámetros se hace mediante la fijación de unas tolerancias admitidas. Estas tolerancias pueden variar dependiendo del caso del sistema de manufactura y pueden ser mínimas, moderadas y altas.

Tolerancias mínimas: Son recomendadas para sistemas muy sensibles como en casos donde pequeños cambios o variaciones pueden generar un impacto grande en el sistema. Por ejemplo: empresas que tienen alta competitividad en el mercado, que sus procesos de producción sean complejos, poca lealtad de sus consumidores, etc.

Tolerancias moderadas: Se aplican cuando los sistemas tienen cierto control de lo que ocurre en el mercado, sin embargo, se debe estar atento a cambios no tan pequeños que puedan afectar el desempeño de los mismos. Por ejemplo: Competencia moderada en el mercado y con nivel intermedio de lealtad en sus consumidores.

Tolerancias altas: Se pueden utilizar cuando el sistema tiene un buen control sobre lo que ocurre en el mercado, y sólo cambios muy grandes o bruscos pueden afectar el rendimiento del mismo.

Por ejemplo: empresas líderes en el mercado que no tengan gran competencia a la cual enfrentarse, poseen mucha lealtad en sus consumidores, producción masiva.

4.3.4 Posibilidades de acciones correctivas:

Correspondiente a la etapa C: Acciones correctivas del Sistema de Control.

Para poder saber cuáles son las acciones correctivas a tomar es importante saber los factores que afectan los parámetros en estudio. Para esto es recomendable elaborar una matriz donde se visualicen los parámetros y que factores hacen que aumente o disminuya su nivel y además las limitaciones asociadas a cada uno.

A continuación, se presenta la tabla 4.1 con los parámetros: nivel de servicio y los costos de inventario.

Tabla 4.1: Matriz de Posibles acciones correctivas de los parámetros en estudio

PARÁMETROS	CONSECUENCIAS NEGATIVAS DE UN BAJO DESEMPEÑO	POSIBLES ACTIVIDADES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO	LIMITACIONES / TOLERANCIAS
A. NIVEL DE SERVICIO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inexistencia en inventario del producto solicitado. 2. Altos niveles de inventario de un producto diferente al solicitado. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento del nivel de reorden 2. Disminución de los tamaños de lote 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de manufactura sensible: Porcentaje admitido de variación del NS mínimo, como un 5%. 2. Sistema de manufactura con cierto control del mercado: Porcentaje admitido de variación intermedio, como un 10%. 3. Sistema de manufactura con alto control del mercado: Porcentajes admitido de variación elevado, como un 15%
B. NIVEL DE INVENTARIO PROMEDIO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Exceso de inventario en almacén. 2. Demanda real más baja que la demanda estimada, debido a deficiencia en los pronósticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir los tamaños de lote 2. Buena estimación en los pronósticos de la demanda. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tolerancia mínima: en caso de que la empresa tenga presupuestos ajustados, productos perecederos, elevados costos de almacenamiento, entre otras condiciones que hagan a la organización sensible a las variaciones del nivel de inventario promedio. 2. Tolerancia moderada: en casos de cadenas de suministro menos sensibles. Costos, tiempos de duración del producto y presupuestos intermedios. 3. Tolerancia alta: empresas manufactureras que cuentan con los recursos necesarios para mantener altos niveles de inventario, sin que se afecten significativamente sus costos.
.....

Fuente: Elaboración Propia

Una vez planteada la matriz de los factores que afectan los parámetros bajo control, se pueden presentar los diferentes escenarios de modificaciones. Estas modificaciones pueden consistir en cambios sutiles o en cambios muy radicales, dependiendo de las condiciones actuales del sistema. Por esto se plantean dos variantes de políticas de modificación:

- **Políticas moderadas:** Consiste en modificaciones básicas que permitan subsanar las variaciones y que los indicadores vuelvan a estar dentro de los rangos de tolerancia establecidos. Pueden ser modificaciones en los que sólo se cambie el valor de los parámetros de las políticas de inventario y producción en un porcentaje bajo, conservando el mismo tipo de política. Por ser cambios más sutiles, son de menor costo, se pueden aplicar con mayor rapidez y facilidad. Sin embargo, no tienen el mismo impacto que al hacer cambios más significativos.
- **Políticas agresivas:** Consiste en modificaciones que tienen un alto impacto dentro de todas las actividades y procesos que se hacen a lo largo de la cadena de suministro. Estos cambios pueden incluir cambios de los parámetros de las políticas de producción y de inventario en porcentajes significativos o incluso cambiar los tipos de política con los que trabaja el sistema actualmente. Por ser cambios más radicales, son de mayor costo, más difíciles de implementar y pueden tomar gran cantidad de tiempo para aplicarse. Generalmente, se implementan cuando la competencia es tan difícil que al no tener un buen nivel de servicio, se pierden clientes. Situación que obliga a hacer cambios, no importa lo significativo que sean, pero que aseguren mejorar la eficiencia y nivel de servicio de la organización.

Las políticas agresivas causan mayor impacto en términos de mejorar la eficiencia y rendimiento del sistema que las políticas moderadas, pero son más costosas y más difíciles de implementar. La empresa debe evaluar si es más conveniente realizar cambios moderados o agresivos en función de las pérdidas y ganancias que se generan al implementar cada modalidad.

4.3.5 Cambios por valores de desempeño:

Existen dos formas de realizar la revisión del sistema:

1) Revisión continua (de acuerdo a valores de desempeño): A medida que ocurre cada transacción dentro del sistema, se evalúa si los indicadores de desempeño están dentro de un rango previamente establecido como satisfactorio. Al estar por lo menos un indicador fuera del rango establecido, se debe realizar un cambio en las políticas. Mientras todos los valores de los indicadores permanezcan dentro del rango establecido, no es necesario realizar ningún cambio.

Según Silver, et al (1998). “Los sistemas de revisión continua son generalmente más costosos en términos de costos de revisión, además que estos sistemas requieren de constantes cambios en la planificación existente, lo cual, en la realidad, no es muy común”.

2) Revisión periódica (a un tiempo fijo): se evalúa los indicadores de desempeño cada cierto período de tiempo, es decir, con una frecuencia fija, por ejemplo mensualmente. Si en el instante en el que se realiza la revisión, existe por lo menos un indicador fuera del rango establecido, se debe realizar un cambio en las políticas. De lo contrario, si todos los valores de los indicadores permanecen dentro del rango establecido, no es necesario realizar ningún cambio.

A medida que se revise el desempeño de la cadena de suministro más frecuentemente, se reduce la ineficiencia del sistema. Sin embargo, se pueden presentar dos problemas:

- Si se revisa muy frecuentemente, se asemeja a un sistema de revisión continua, por lo que se presentarían los mismos inconvenientes de este tipo de sistema. Además, es impráctico, ya que es poco factible hacer modificaciones en la cadena de suministro con tal nivel de velocidad.
- Por otro lado, si se revisa muy lejos en el tiempo, se asemeja al modelo tradicional.

Esto conlleva a realizarse la siguiente pregunta: ¿Cuál debería ser la mejor frecuencia de revisión de acuerdo a la relación entre el beneficio obtenido y el costo de revisión de hacerlo?

A continuación se muestra un resumen de las etapas del submodelo de revisión (tabla 4.2), así como las posibles combinaciones de escenarios que se muestran en la figura 4.7.

Tabla 4.2: Resumen de las etapas del módulo de Revisión.

PARAMETROS (i) P1. Nivel de Servicio P2. Costo de inventario
TOLERANCIAS (j) T1. Mínima T2. Moderada T3. Alta
MODIFICACIONES (k) E1. Cambios moderados E2. Cambios agresivos

N^{ro} de escenarios = $i \times j \times k$

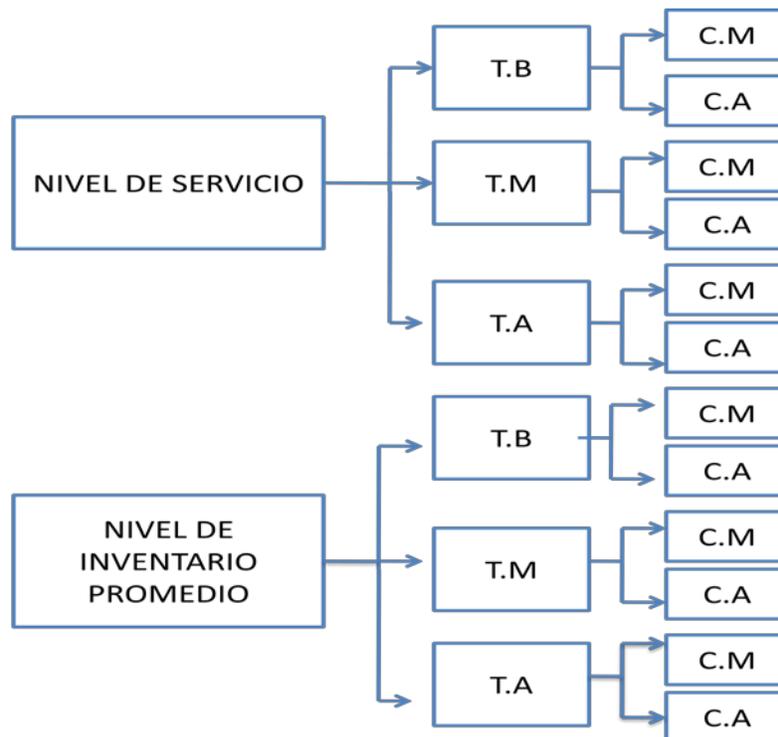


Figura 4.7: Posibles Combinaciones de Escenarios derivados del submodelo de revisión de políticas

Leyenda:

T.B: Tolerancia baja

C.M: Cambios moderados

T. M: Tolerancia moderada

C.A: Cambios agresivos

T.A: Tolerancia alta

4.4. SUBMODELO DE PRODUCCIÓN E INVENTARIOS:**4.4.1. Generación de orden de producción según política de inventario**

Díaz (1999) “Define el inventario como la cantidad de bienes, que una empresa mantiene en existencia en un momento dado”. Las organizaciones hacen uso de los inventarios para respaldarse de las fluctuaciones del mercado, bien sea manteniendo inventario de materia prima o productos terminados, esto va a depender siempre del tipo de empresa, donde se debe definir la naturaleza del inventario que debe mantener la misma. En el caso de los tipos manufacturera presentan inventarios de materia prima, producto en proceso, producto terminado.

Para poder mantener un equilibrio entre el tener producto disponible para vender y no caer en escasez, toda organización debe almacenar una cierta cantidad de inventario de sus productos. Para llevar a cabo esto, se debe realizar una buena gestión de inventario. Según Díaz (1999) “La gestión de inventarios implica dos costos básicos: costos de penalización por inexistencia de materiales y costos de almacenamiento y de gestión de inventario. Gerenciar inventarios es entonces encontrar un equilibrio razonable entre mantener mucho o poco inventario y los costos que ambos extremos suponen”.

Las organizaciones que utilizan sistemas de gestión de inventarios deben atender a las dos siguientes preguntas:

- Cuándo reponer el inventario
- Cuánto pedir

En el presente trabajo de investigación, se considerará un sistema de gestión de inventarios de revisión continua, que según Marthur y Solow (1996) lo definen como “Cada vez que se realiza una venta, se revisa la cantidad de unidades en inventario. Si dicho nivel llega al punto de reorden s, se emite una orden de producción”.

4.4.2. Producción según regla de secuenciación:

En un sistema de producción, al llegar un pedido a un centro de trabajo se puede presentar dos situaciones: que la empresa esté ocupada realizando otro pedido (produciéndose líneas de espera) o por el contrario, el centro de trabajo puede terminar un lote antes de que llegue el siguiente (generándose tiempos de ocio).

Las organizaciones definen reglas de prioridad entre los pedidos, además de una secuencia de fabricación que hay que respetar y que viene dada por dichas reglas de prioridad.

Según Chauvel (2002) “La secuencia de fabricación es el orden en el cual serán fabricados los diferentes productos, con el fin de buscar la secuencia óptima cumpliendo diferentes objetivos: inexistencia de tiempos muertos de fabricación, reducción de tiempos de cambio, ajuste de máquinas, anulación de retrasos, etc. Considerando las restricciones propias de cada fábrica como la velocidad de proceso de las máquinas, capacidad de recursos humanos y materiales.”

Entre las diferentes reglas de secuenciación se encuentran:

Tabla 4.3 Reglas de secuenciación

Regla	Descripción
FIFO	Primero en entrar, primero en salir (First in First Out)
LIFO	Ultimo en entrar, primero en salir (Last in First Out)
SPT	Menor tiempo de proceso (Short process time)
LPT	Mayor tiempo de proceso (Long process time)
EDD	Fecha de entrega más próxima (Earliest Due date)
ST	Menor tiempo de holgura (Slack Time)
RC	Relación Crítica

Fuente: Domínguez, et al (1995)

En el presente trabajo de investigación, se considerarán a lo largo del desarrollo de los modelos de simulación, las siguientes reglas de secuenciación: FIFO y ST. Domínguez, et al (1995) explican sus definiciones como:

- FIFO: Secuencia de fabricación en función de la entrada de órdenes para procesar el pedido, es decir, la primera orden en llegar será la primera en realizarse, no se tiene en cuenta el plazo de entrega ni la urgencia del trabajo a realizar.
- Tiempo de Holgura: Es el tiempo entre el alcance o tiempo de agotamiento menos el Lead Time o tiempo de operación del pedido. Siendo el alcance, los días restantes de un producto respecto a su inventario y a la tasa de consumo, lo cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Alcance} = \text{Inventario Total} / \text{Demanda}$$

$$\text{Lead Time} = \text{Tiempo de Fabricación de una pieza} * \text{Número de piezas a producir en la orden}$$

$$\text{Tiempo de Holgura} = \text{Alcance} - \text{Lead time}$$

Se seleccionará la orden con el menor tiempo de holgura y ésta será la siguiente orden en ser procesada en el sistema.

4.5 SUBMODELO DE FALLAS QUE AFECTAN EL NIVEL DE CONTINUIDAD OPERATIVA:

Todo sistema productivo está permanentemente expuesto a una serie de eventos que alteran su funcionamiento. Tales eventos pueden ocurrir de forma aleatoria o programada, a estos eventos se les denomina fallas.

Las fallas pueden originarse mediante dos tipos de eventos:

- Eventos aleatorios: se definen como las fallas que pueden presentar el sistema productivo en un momento dado e imprevisto; por ejemplo, durante el ensamble de dos piezas, mediante la soldadura, el equipo que permite aplicar la misma sufre un daño y requiere de mantenimiento o reemplazo de equipo.
- Los eventos programados: se deben a los propuestos por la empresa para revisar el funcionamiento de un equipo o área de interés; por ejemplo, se realiza un chequeo

de fluidos de una maquina cada cierta cantidad de tiempo. Esto implica que durante ese tiempo de revisión, el sistema productivo se encuentra alterado.

Las fallas siempre están presentes en las líneas de producción y su reducción depende de la implantación de un buen programa de inspección, prevención y planeación.

Adicionalmente, existen variables que están ligadas cuando ocurre una falla, como son:

- **Tiempo promedio de reparación:** representa el tiempo promedio por día, empleado para reparar la falla. Se considera el tiempo desde que el equipo pierde su funcionamiento, hasta que esté disponible nuevamente.
- **Tiempo entre fallas:** es el tiempo promedio de ocurrencia entre fallas.

Entre las fallas más comunes en una organización manufacturera, se encuentran:

Fallas en las maquinarias: la raíz de una falla por maquinaria puede deberse, a la inexistencia de una planificación para mantenimiento de equipos y herramientas, trayendo como consecuencia demoras por paradas imprevistas.

Escasez de materiales: para evitar este tipo de fallas, es necesario tomar decisiones acertadas sobre los requerimientos de materiales que deben de estar disponibles en el área de producción, evitando el exceso de inventario y usando técnicas y filosofías como el justo a tiempo.

Ausentismo: se entiende por ausentismo laboral, al conjunto de faltas por parte de los trabajadores al área de trabajo, justificadas o no. Debido a que la planeación de la producción se realice en función de la mano de obra disponible, el ausentismo puede afectar al sistema de dos maneras: aumentando directamente a los tiempos de operación o produciendo paradas por ausentismo.

- **Aumento del tiempo de operación:** ocurre cuando en la línea de producción existe ausencia de un trabajador. El tiempo de procesamiento de la línea se verá afectado por un factor o porcentaje adicional debido a la ausencia de ese trabajador.

- Paradas por ausentismo: ocurre cuando existe ausencia de más de un trabajador en la línea de producción. Lo que implica la parada total de dicha línea, en vista de que no se cuenta con la cantidad de trabajadores suficientes para el buen funcionamiento de la misma.

Fallas eléctricas: son fallas externas a la empresa, ya que se presentan cuando existe una interrupción en el suministro de la energía eléctrica debido a reparaciones, mantenimiento o ineficiencia de la corporación encargada del suministro eléctrico. Las mismas afectan el proceso, ya que la mayoría de las maquinarias y equipos funcionan con electricidad. Para subsanar estas fallas, las empresas han incurrido en la compra de plantas eléctricas las cuales no siempre pueden cubrir la demanda eléctrica total de la planta o no ser aptas de acuerdo a las especificaciones requeridas por ciertas máquinas especializadas.

Actualmente en Venezuela, se están presentando muchas irregularidades con respecto al suministro de energía eléctrica por ende es importante considerar dichas fallas en el estudio.

Existen muchas variantes de fallas que pueden afectar la continuidad operativa o afectar su nivel. Se consideran un conjunto de fallas que son representativas de casos típicos que se observan en las industrias, en la tabla 4.4 se muestran los datos de fallas eléctricas y de ausentismo utilizados con intensidad moderada, en la tabla 4.5 se describen de igual forma los valores utilizados para este tipo de fallas pero con intensidad grave, y por último en la tabla 4.6 se observan los datos de las fallas en maquinarias.

Tabla 4.4. Datos de Fallas moderadas

Fallas eléctricas		Ausentismo		
Tiempo entre fallas (días)	Duración de la falla (horas)	Tiempo entre fallas (días)	Duración de la falla (horas)	Factor de aumento del tiempo de operación
Exp (20)	Exp (2)	Normal (90; 5)	8	25%

Tabla 4.5 Datos de Fallas graves

Fallas eléctricas		Ausentismo		
Tiempo entre fallas (días)	Duración de la falla (horas)	Tiempo entre fallas (días)	Duración de la falla (horas)	Factor de aumento del tiempo de operación
Exp (7)	Exp (4)	Normal (5; 2)	8	25%

Los valores de la tabla 4.5 de fallas graves, se diseñaron con la finalidad de mostrar el efecto que puede tener la intensidad de las fallas dentro del proceso y en el desempeño del sistema. Comparando los resultados de simular bajo las condiciones de fallas moderadas de la tabla 4.4 con los resultados obtenidos de simular bajo las condiciones de fallas graves de la tabla 4.5, se puede analizar la sensibilidad que tiene el sistema ante la presencia e intensidad de las mismas, lo cual se detalla con profundidad en el escenario 14 y escenario 15 descritos en el capítulo V de este documento.

Sin embargo, es importante acotar que a pesar de que se consideraron estos datos de fallas para el diseño de los escenarios a estudiar, el modelo permite incluir cualquier tipo de falla con diferente intensidad presente en cualquier sistema u organización.

Tabla 4.6 Datos de Fallas en maquinaria

Fallas en maquinaria	
Tiempo entre fallas (días)	Duración de la falla (horas)
30	Normal (4; 0.5)

4.6 VARIABLES DE ENTRADA:

Las variables de entrada para un modelo de simulación son el conjunto de valores definidos por el usuario y que son parte del sistema en estudio. Los valores deben ser estudiados previamente para que puedan ser representativos del sistema. Éstos son recolectados de diferente manera: a través de registros históricos, a través de la observación directa y consultando a expertos.

En la tabla 4.7 se presentan las variables de entrada consideradas en el sistema en estudio, explicando cada una de ellas.

Para los valores de la cantidad demandada por los clientes, se consideraron tres casos: una demanda aleatoria que sigue una distribución Poisson denominada “**Demanda Poisson**”, una demanda aleatoria que sigue una distribución empírica ajustando los valores de forma tal que garanticen una mayor variabilidad que la Poisson denominada “**Demanda de variabilidad intermedia**”, y por último una demanda aleatoria que sigue una distribución empírica que tiene una variabilidad aun mayor que en el segundo caso, denominada “**Demanda de variabilidad alta**”. Los valores de la “**Demanda de variabilidad intermedia**” y “**Demanda de variabilidad alta**” son adjuntados mediante un archivo de texto como se explica en el apéndice 2.

La “**Demanda de variabilidad intermedia**”. considera tres tamaños de lotes diferentes con variaciones en las unidades demandadas entre 4 y 5 unidades. Mientras que la “**Demanda de variabilidad alta**”. considera igualmente tres tamaños de lotes diferentes con variaciones en las unidades demandadas entre 10 y 40 unidades. Los valores considerados para cada caso así como las gráficas de la demanda en el tiempo se muestran en el apéndice 2.

Tabla 4.7 Variables de Entrada

VARIABLE	SIGNIFICADO	VALOR ASIGNADO
Tiempo entre llegada de los clientes	Proporcionar el lapso de tiempo que existe entre las llegadas de los clientes	Normal ($\mu=210$; $\sigma=5$) minutos
Cantidad demandada	Definir el tamaño de pedido de los clientes que ingresan al sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda Poisson ($\lambda_A= 50$; $\lambda_B= 48$; $\lambda_C= 28$) unidades. • Demanda de Variabilidad Intermedia: Ver Apéndice 2 • Demanda de Variabilidad Alta: Ver Apéndice 2
Tamaño de lote	Definir el tamaño de las órdenes de producción	$Q_A= 210$ unidades; $Q_B= 170$ unidades; $Q_C= 120$ unidades
Punto de reorden	Representar el nivel mínimo que debe poseer el inventario total para emitir una orden de producción con el fin de no caer en escasez	Punto de reorden de A= 70 unidades Punto de reorden de B= 60 unidades Punto de reorden de C =50 unidades
Ausentismo	Se encarga de modificar los tiempos de operación cuando existe falta de personal	1: Hay ausentismo 0: No hay ausentismo
Capacidad de la planta	Indicar la cantidad máxima instalada que posee la planta	400 unidades/día
Aumento	Representa un incremento porcentual de tiempo de operación cuando exista ausencia de trabajadores	25 % Aplicado al tiempo de operación
Frecuencia entre ocurrencia de fallas	Indica el lapso de tiempo promedio entre ocurrencias de una falla	Ver tablas: 4.4 y 4.5 de la sección 4.4 Submodelo de Fallas que afectan el nivel de continuidad operativa
Duración de las fallas	Representa el tiempo que dura la falla hasta que el sistema regresa a su estado normal.	Ver tablas: 4.4 y 4.5 de la sección 4.4 Submodelo de Fallas que afectan el nivel de continuidad operativa

CAPITULO V

Escenarios a Simular

CAPITULO V. ESCENARIOS A SIMULAR

En esta sección se dará una breve introducción sobre el programa de simulación utilizado, se explica la manera como se simulan los factores involucrados en cada uno de los submodelos (demanda, revisión, producción e inventarios, fallas). Así como, la explicación detallada de los submodelos a través de los diagramas de flujo y de simulación, los cuales serán verificados y validados de manera que puedan ser considerados una representación aproximada del sistema en estudio. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos de la simulación y los análisis derivados de dichos resultados.

5.1 SIMULADOR UTILIZADO:

5.1.1 ARENA®:

Es un programa que permite la construcción de un modelo particular mediante un conjunto de módulos que combinados entre sí, logra la representación de cada una de las situaciones presentes en el sistema. A través de este programa, se puede describir completamente el comportamiento de una entidad, tomando en cuenta todos los factores que puedan afectar la fluidez de la misma dentro del modelo.

5.1.2 RAZONES POR LAS QUE SE UTILIZÓ EL SIMULADOR ARENA®:

- Es el simulador más utilizado en un 48% para sistemas de manufactura según resultados de WSC (2009) (Conferencia de Simulación de Invierno).
- Programa fácil de manejar, sin necesidad de tener conocimiento de programación.
- Ofrece un conjunto de herramientas gráficas bien completa.
- Compatible con paquetes de Microsoft Office.
- Es versátil con respecto a los sistemas que se pueden simular: un banco, un hospital, una empresa manufacturera, una peluquería, entre otros.
- Tiene un manual sencillo y bien puntual.
- Se cuenta con la licencia del Programa Arena® en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo.

5.2 SIMULACIÓN:

A continuación se presenta una explicación acerca de cómo simular en Arena® cada uno de los aspectos que involucran los submodelos de demanda, producción e inventarios, revisión de políticas y fallas explicados en el capítulo anterior.

5.2.1 ESTRUCTURA DEL SUBMODELO DE DEMANDA:

Simulación de la llegada de clientes:

Para realizar la simulación de estos clientes, se debe utilizar el nodo CREATE. El mismo permite la creación de entidades que se deseen ingresar en el sistema.

En la figura anexa, se observa la representación de este nodo en Arena®, así como también, el cuadro donde se especifican las características de las llegadas.

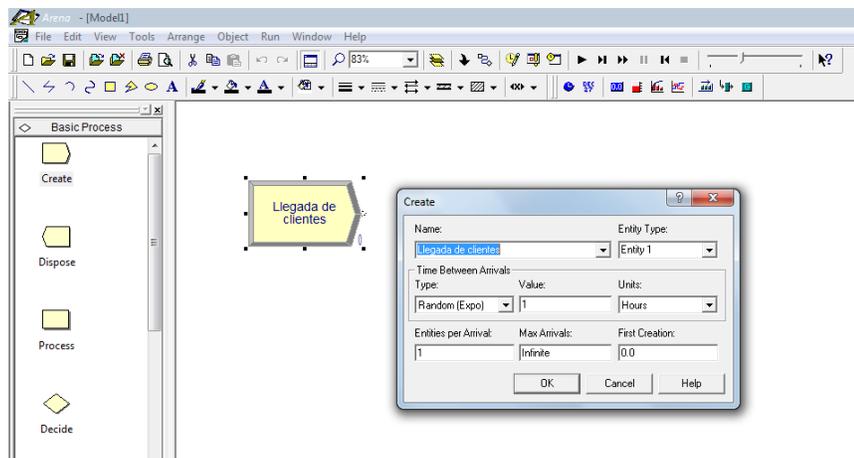


Figura 5.1: Nodo CREATE y Hoja de datos de entrada

Para simular la llegada de clientes al sistema, es necesario definir las características propias bajo la cual se simulan las llegadas. Dichas características dependen del sistema a simular y son las siguientes:

- Los turnos: se refiere al horario en que pueden ingresar los clientes al sistema.
- Frecuencia: se refiere al lapso de tiempo que transcurre entre cada llegada de clientes al sistema. Ejemplo: cada 10 minutos llegan clientes a una panadería.

- Cantidad: se refiere al número de clientes que ingresan en un mismo instante de tiempo a un sistema. Ejemplo: cada cierto instante de tiempo llegan 3 personas a una panadería.

Simulación de la cantidad demandada:

Para simular un cliente con un comportamiento específico, se utiliza el nodo ASSIGN; el cual, permite asignarle a cada cliente una característica que definirá su comportamiento a lo largo del sistema y asignarle valores a variables.

En la figura anexa, se observa la representación de este nodo en Arena®, así como también, el cuadro de diálogo donde se introducen los datos.

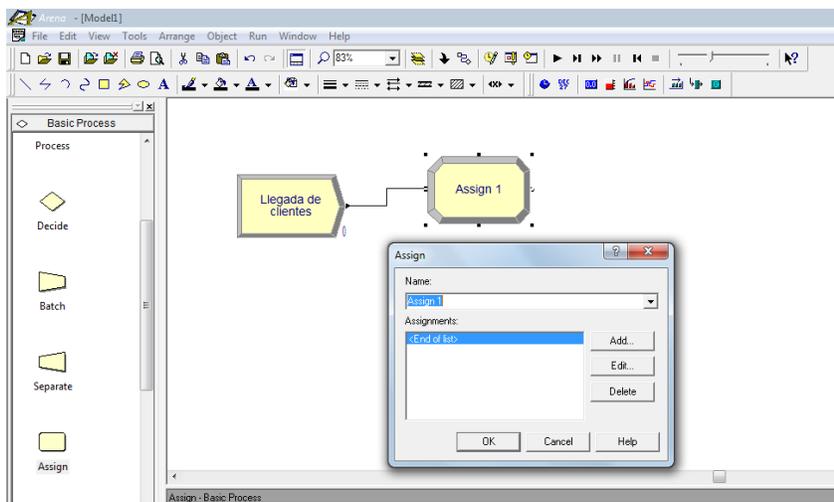


Figura 5.2: Nodo ASSIGN y Hoja de datos de entrada

Este nodo permite crear:

- Atributos: Define a una entidad, según una característica específica. Por ejemplo, la demanda de cada cliente.
- Variables: Representan características propias del sistema. Por ejemplo, el inventario a la mano disponible de la empresa.

- Dibujos: Permite identificar gráficamente a una entidad a lo largo del sistema mediante un dibujo. Por ejemplo, un sistema donde llegan hombres y mujeres, se pueden identificar a los hombres de las mujeres mediante un dibujo.

Para este trabajo, las cantidades demandadas de los productos A, B y C fueron denominados “**Demanda A, Demanda B y Demanda C**”. Cada entidad que llegue al sistema tendrá un conjunto de atributos como son: la cantidad demanda denominada demanda y el tipo de producto.

Porcentaje demandado de los productos.

La elección de un producto u otro se simula mediante el módulo DECIDE. Esto está basado en la demanda del producto. Para este trabajo, dicho módulo tiene tres opciones, uno para cada tipo de producto (A, B y C), denominado “**Tipo de Producto**”, donde existe un 45% de clientes que demandan el producto A, 30% B y el resto demanda producto C.

En la figura anexa, se observa la representación de este nodo en Arena®, así como también, el cuadro de diálogo donde se introduce el porcentaje de producto de demanda.

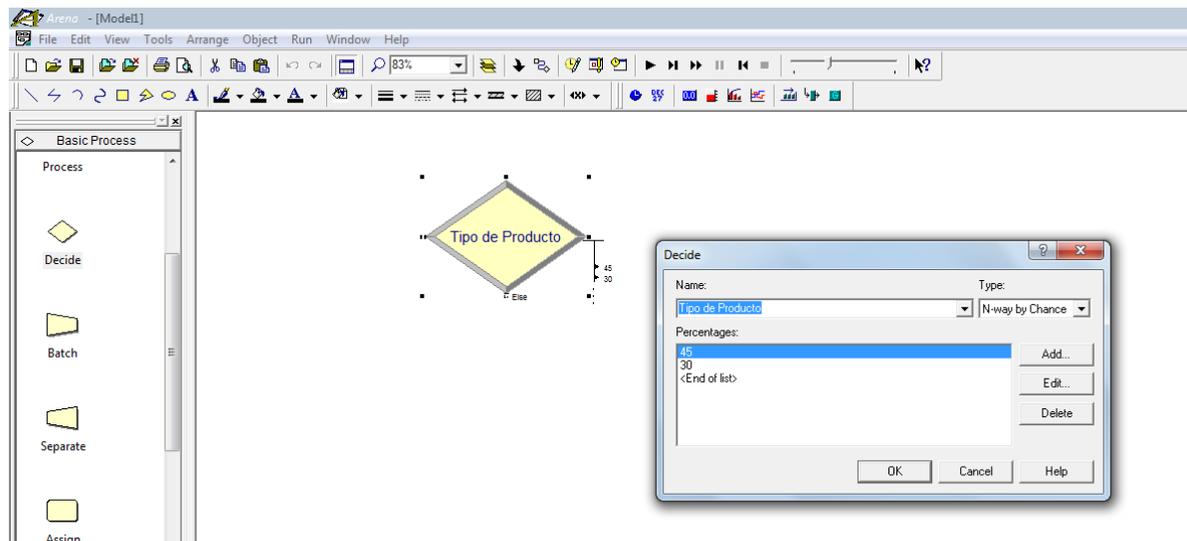


Figura 5.3: Nodo DECIDE y cuadro de diálogo

Simulación de las ventas

En Arena para ser registradas las ventas, se utiliza el nodo RECORD. El mismo, permite recabar estadísticas a lo largo del modelo.

A continuación se presenta como se visualiza el nodo en Arena ®, así como también, el cuadro de dialogo donde se introducen los datos.

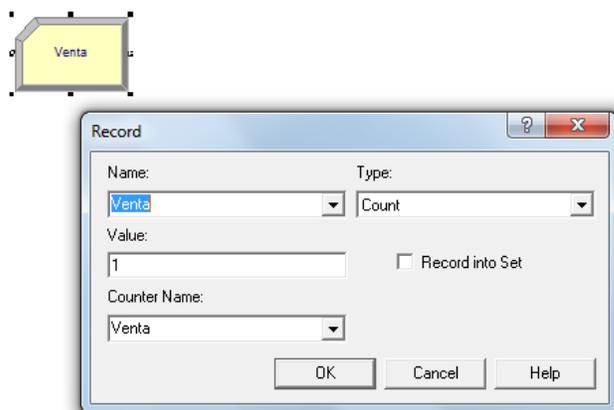


Figura 5.4: Nodo RECORD y Hoja de Datos de entrada

La contabilización de las ventas de los productos y de la cantidad de clientes que realizan dichas ventas se simulan mediante los módulos Record y Assign. En este trabajo, para cada uno de los productos (A, B y C) y cada tipo de venta (inmediata, incompleta y pérdida) fueron denominadas: **Venta inmediata A, Venta inmediata B, Venta inmediata C, Cantidad de clientes por venta inmediata A, Cantidad de clientes por venta inmediata B, Cantidad de clientes por venta inmediata C, Venta perdida A, Venta perdida B, Venta perdida C, Cantidad de clientes por venta perdida A, Cantidad de clientes por venta perdida B, Cantidad de clientes por venta perdida C, Venta incompleta A, Venta incompleta B, Venta incompleta C, Cantidad de clientes por venta incompleta A, Cantidad de clientes por venta incompleta B, Cantidad de clientes por venta incompleta C, Cantidad de clientes tipo A que aceptan Back order, Cantidad de clientes tipo B que aceptan Back order y Cantidad de clientes tipo C que aceptan Back order.**

Verificación de las existencias

Para simular la verificación de existencias, se utiliza el nodo DECIDE el cual permite, que una entidad se dirija en una ruta específica mediante un determinado criterio.

El nodo Decide posee dos vías, una afirmativa (true) y otra negativa (false). La vía positiva refleja que la condición establecida se cumpla, la entidad se dirige hacia la derecha y continúa su paso por el sistema. La vía negativa establece que no se cumplió la condición y por tanto dirige a la entidad hacia abajo.

A continuación se presenta cómo se visualiza el nodo en Arena®, así como también, el cuadro de diálogo donde se introducen los datos.

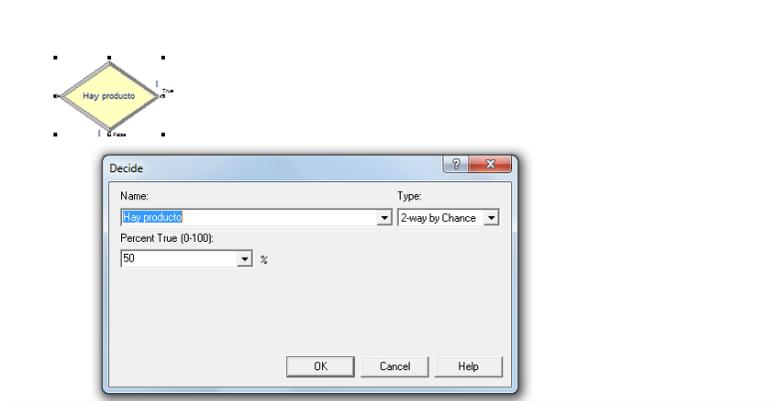


Figura 5.5: Nodo DECIDE y Hoja de Datos de entrada

Para este trabajo, cada uno de los productos (A, B y C) fueron denominados “**Hay producto tipo A?**, **Hay producto tipo B** y **Hay producto tipo C?**”

5.2.2 ESTRUCTURA DEL SUBMODELO DE REVISIÓN DE POLÍTICAS:

Asignación de frecuencia de revisión

La asignación de la frecuencia de revisión se simula mediante el nodo CREATE. Para este trabajo se denominó “**Fecha de revisión A, Fecha de revisión B y Fecha de revisión C**” (figura 5.6) cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.7. Donde el valor de tiempo entre llegadas (time between arrivals) corresponde a cada cuanto tiempo el sistema revisará los niveles de servicio e inventario promedio.



Figura 5.6: Nodo CREATE para la asignación de la frecuencia de revisión.

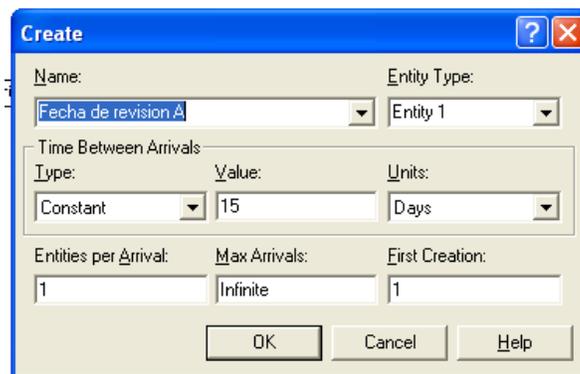
The screenshot shows a 'Create' dialog box with a blue title bar. The 'Name' field contains 'Fecha de revisión A' and the 'Entity Type' dropdown is set to 'Entity 1'. Under 'Time Between Arrivals', the 'Type' is 'Constant', the 'Value' is '15', and the 'Units' are 'Days'. At the bottom, 'Entities per Arrival' is '1', 'Max Arrivals' is 'Infinite', and 'First Creation' is '1'. There are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Figura 5.7: Cuadro de diálogo del nodo CREATE para la asignación de la frecuencia de revisión.

Verificación del nivel de servicio

La verificación del nivel de servicio se simula mediante el nodo DECIDE. Para este trabajo se denominó “**Nivel de servicio A satisfactorio, nivel de servicio B satisfactorio y nivel de servicio C satisfactorio**” (figura 5.8) cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.9. Donde se evalúa si el nivel de servicio está dentro de unos rangos establecidos para ver si es necesario hacer cambios: cambios sensibles, cambios intermedios o cambios elevados. Dichos cambios se simulan mediante el nodo ASSIGN, multiplicando el valor del nivel de reorden por un factor de aumento según sea el caso (figura 5.10).

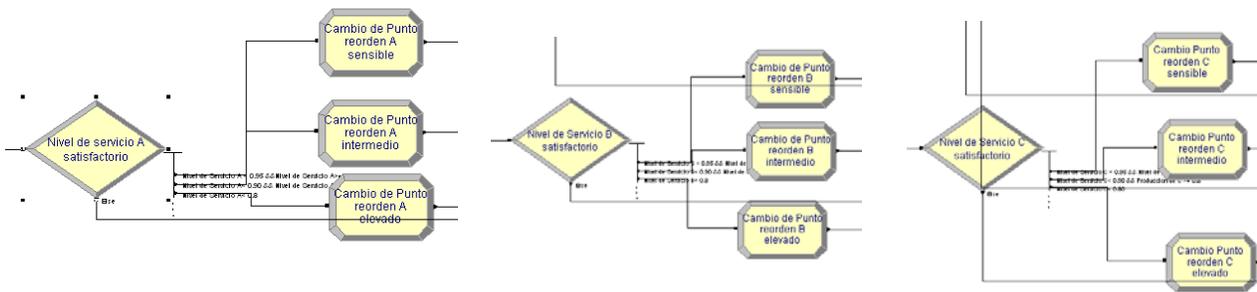


Figura 5.8: Nodo DECIDE Y nodo ASSIGN para la verificación del nivel de servicio.

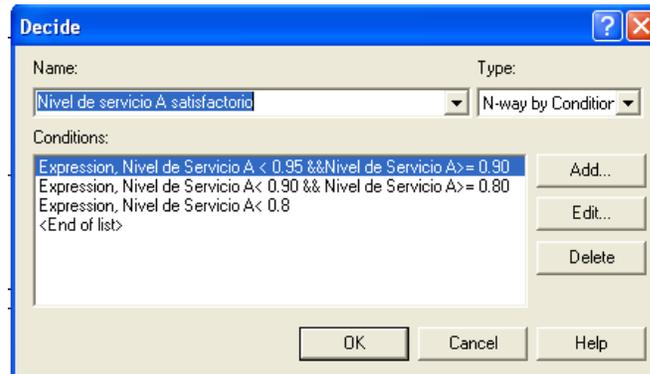


Figura 5.9: Cuadro de diálogo del nodo DECIDE para la verificación del nivel de servicio.

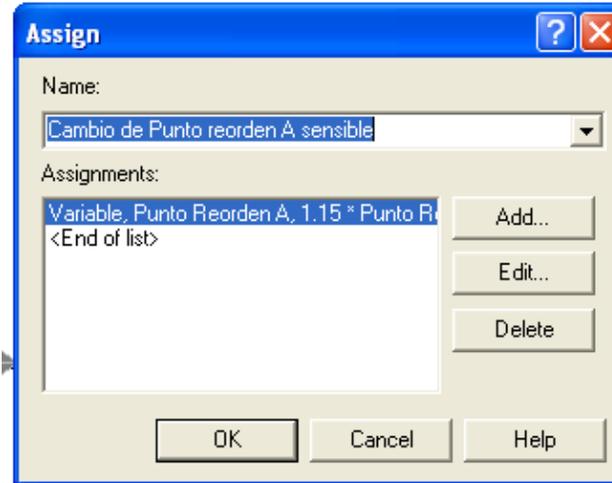


Figura 5.10: Cuadro de diálogo del nodo ASSIGN para el cambio del punto de reorden.

Verificación del nivel de inventario promedio.

La verificación del nivel de inventario promedio se simula mediante el nodo DECIDE. Para este trabajo se denominó “**Nivel de inventario de A permitido, Nivel de inventario de B permitido y Nivel de inventario de C permitido**” (figura 5.11) cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.12. Donde se evalúa si el nivel de inventario promedio es menor que un valor máximo permitido para ver si es necesario disminuir los tamaños de lotes. Dicho cambio se simula mediante el nodo ASSIGN, multiplicando el valor del nivel de tamaño de lote por un factor que lo disminuya (figura 5.13).

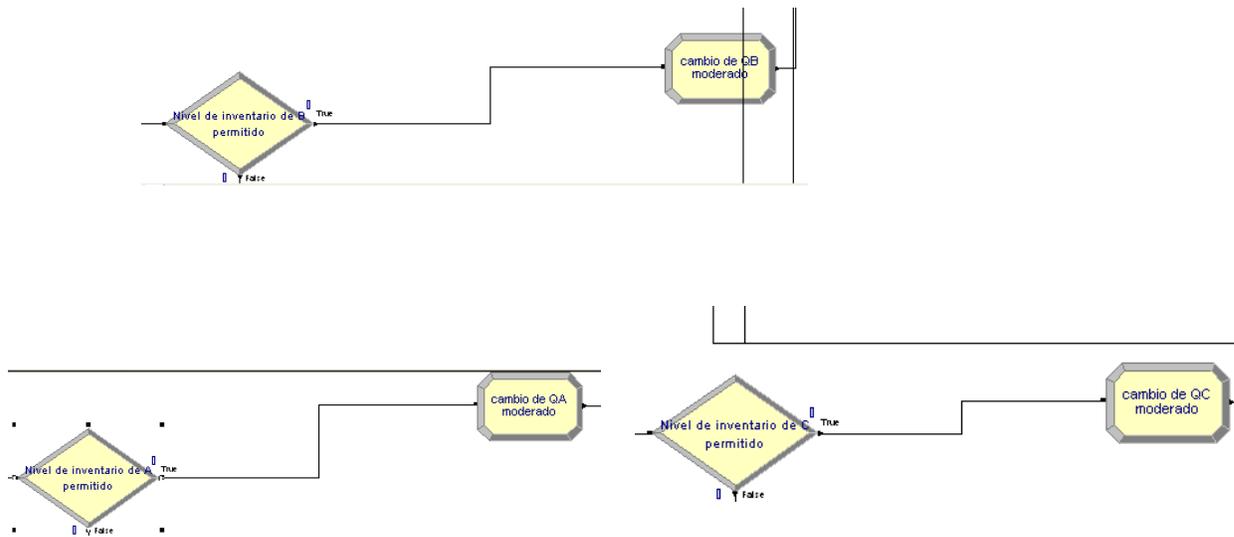


Figura 5.11: Nodo DECIDE Y nodo ASSIGN para la verificación del nivel de inventario promedio.

The screenshot shows the 'Decide' dialog box with the following configuration:

- Name:** Nivel de inventario de A permitido
- Type:** 2-way by Condition
- If:** Variable
- Named:** Nivel de inventario
- Is:** >
- Value:** 400

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help.

Figura 5.12: Cuadro de diálogo del nodo DECIDE para la verificación del nivel de inventario promedio.

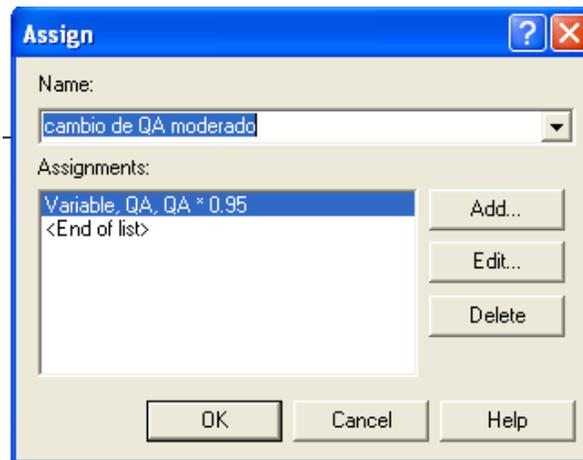


Figura 5.13: Cuadro de dialogo del nodo ASSIGN para el cambio de los tamaños de lote.

5.2.3 ESTRUCTURA DEL SUBMODELO DE PRODUCCIÓN E INVENTARIOS:

Fabricación del pedido de acuerdo a las reglas de prioridad

El proceso de producción se simula mediante el nodo PROCESS. Para este trabajo, se estudiara el sistema de producción continuo o “fabricación del producto bajo MTS”. En el cuadro de diálogo que se muestra en la figura 5.14, se asigna el tiempo de producción de la línea para la fabricación de la orden y los respectivos recursos utilizados en dicha línea (materiales, maquinaria y personal)



Figura 5.14: Nodo PROCESS para la producción continua bajo Stock

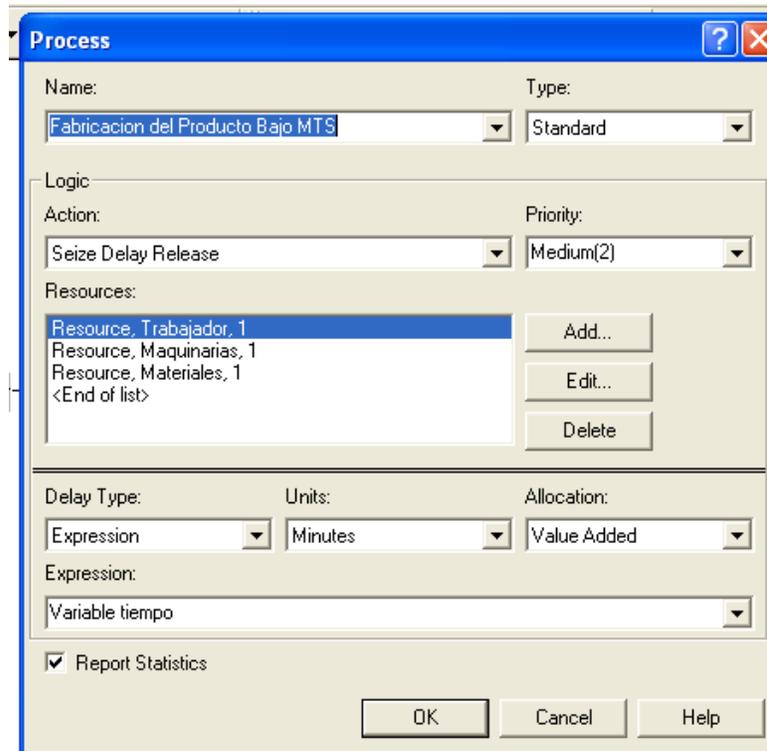
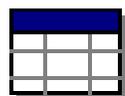


Figura 5.15: Cuadro de diálogo del nodo PROCESS.

Reglas de prioridad para producir

Las reglas de prioridad para producir se simulan mediante la casilla **QUEUE**. Esto depende del sistema que utilice la organización, esto es simplemente, definir si es fabricación bajo pedido o fabricación continua. Para este trabajo se estudia el sistema de fabricación continua. En el cuadro de diálogo que se muestra en la figura 5.17, es donde se asigna la regla de prioridad para la elaboración del producto.



QUEUE

Figura 5.16: Casilla QUEUE

Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	Fabricacion del Producto Bajo MTS.Queue	Lowest Attribute Value	Holgura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	tiempos de puesta punto.Queue	First In First Out	Holgura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Retiene Entidad.Queue	Last In First Out	Holgura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	prioridad menor holgura.Queue	Lowest Attribute Value	Holgura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	espera senal 1.Queue	Highest Attribute Value	Holgura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 5.17: Cuadro de diálogo de la casilla QUEUE para la asignación de la regla de prioridad menor holgura para la producción de los tipos de productos.

Nivel o punto de reorden

El nivel de reorden se simula mediante el nodo HOLD. Esto se realiza para chequear la cantidad que se tiene de inventario total con respecto a un nivel o punto de reorden definido y así, activar la producción de un tipo de producto, con el fin de asegurar la satisfacción de los clientes y evitar escasez del producto.

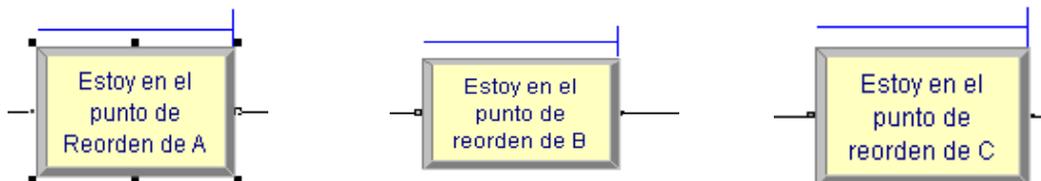


Figura 5.18: Nodo HOLD para simular el punto de reorden



Figura 5.19: Cuadro de diálogo del nodo HOLD para chequeo del nivel o punto de reorden

Actualización de las existencias:

Para simular la actualización de las existencias, se utiliza el nodo ASSIGN. Este nodo permitirá actualizar los valores de las variables.

- Inventario a la mano de producto terminado (Imano)
- Inventario total de producto terminado (Itotal)

A continuación se presenta como se visualiza el nodo en Arena®, así como también, el cuadro de diálogo donde se introducen los datos.

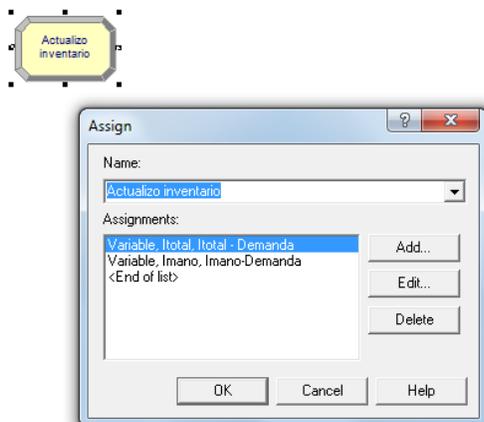


Figura 5.20: Nodo ASSIGN para actualización de existencias

Tiempo de puesta a punto

El tiempo de puesta a punto se simula a través del nodo PROCESS. Esto se realiza en las organizaciones, bien sea para cambiar una herramienta, para el cambio del proceso de fabricación de un producto, etc. Para este trabajo se denomina “**tiempo de puesta a punto**” (figura 5.21), cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.22, donde se asigna el tiempo que tarda en hacerse la operación y los recursos necesarios para la realización de la misma.



Figura 5.21: Nodo PROCESS para el proceso de puesta a punto.

Figura 5.22: Cuadro de diálogo del nodo PROCESS para el proceso de puesta a punto.

5.2.4 ESTRUCTURA DEL SUBMODELO DE FALLAS

Verificación del ausentismo

La verificación del ausentismo se simula mediante el nodo DECIDE. Para este trabajo se denominó “ **hay ausentismo?**” (Figura 5.23), cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.24. En este nodo pueden ocurrir dos resultados:

- Si la variable Ausentismo es igual a 0, significa que no existe ausencia de personal y el pedido pasará al proceso de fabricación. Pudiendo ocurrir o no algunas de las otras dos fallas (por cortes eléctricos o mecánicos)
- Si la variable Ausentismo es igual a 1, significa que existe ausencia de personal, teniendo que asignar un nuevo tiempo de operación, pues la fabricación del pedido no se realiza con la cantidad necesaria de trabajadores en la línea. Esto se hace a través de las variables aumento y tiempo de operación. Adicionalmente pueden ocurrir o no alguna de las otras dos fallas (por cortes eléctricos o mecánicos).

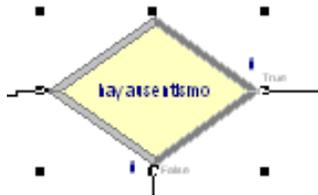


Figura 5.23: Nodo DECIDE para la verificación del ausentismo.

Name:		Type:
hay ausentismo		2-way by Condition
If:	Named:	Is:
Variable	Ausentismo	==
Value:		
0		
OK Cancel Help		

Figura 5.24: Cuadro de diálogo del nodo DECIDE para la verificación del ausentismo.

Asignación del tiempo de operación

La asignación del tiempo de operación se simula mediante el nodo ASSIGN. Para este trabajo se denominó “**Aumento tiempo de operación**” (figura 5.25) cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 5.26. Donde la variable tiempo de operación de proceso se multiplicará por la variable aumento y así obtener el nuevo tiempo de operación, cuando existe la falla de ausentismo.



Figura 5.25: Nodo ASSIGN para asignación del nuevo tiempo de operación.

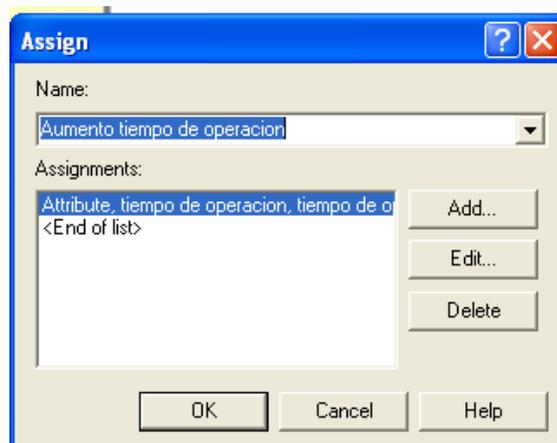


Figura 5.26: Cuadro de diálogo del nodo ASSIGN para la asignación del nuevo tiempo de operación.

Simulación de fallas

En Arena®, para simular las fallas en un recurso, se hace la declaración de las mismas en el módulo de datos del recurso y se definen en el módulo de datos FAILURE, las características de dichas fallas, tiempos de duración de las mismas, así como la frecuencia de ocurrencia.

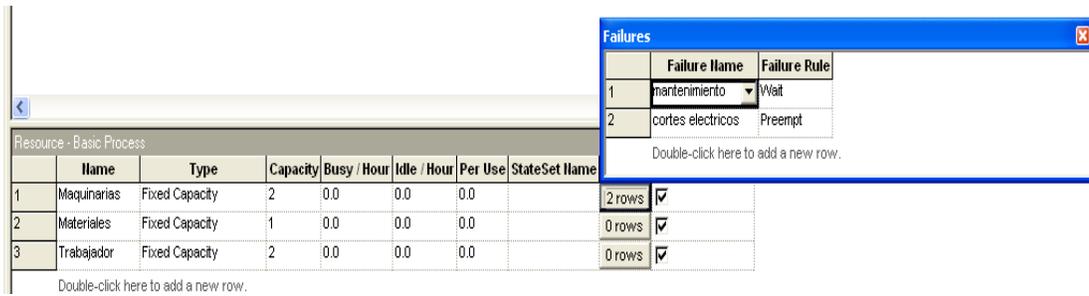
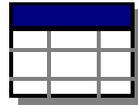


Figura 5.27: Cuadro de diálogo de la casilla RESOURCE para la asignación de fallas de mantenimiento y cortes eléctricos.



Failure

Figura 5.28: Casilla FAILURE para la simulación de fallas.

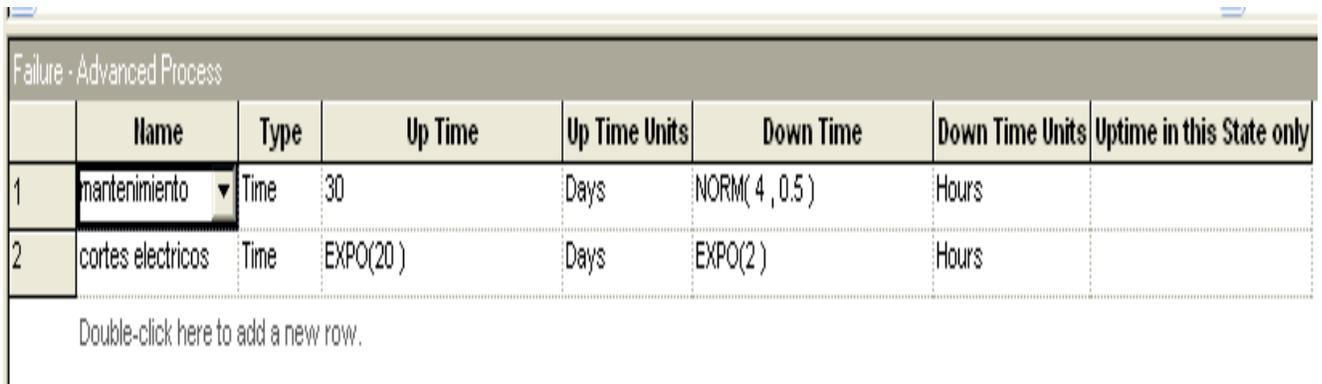


Figura 5.29: Cuadro de diálogo de la casilla FAILURE para la asignación de fallas de mantenimiento y cortes eléctricos.

5.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBMODELOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el impacto que tiene la frecuencia de reprogramación de las políticas de inventario y producción en la mejora del desempeño de una cadena de suministro. Para cumplir dicho objetivo, es necesario hacer una representación del sistema real mediante un modelo de simulación que considere todos los departamentos de un sistema de manufactura, que en este caso corresponden a los submodelos de demanda, submodelos de inventario y producción, submodelos de revisión (reprogramación) y submodelos de fallas, que se explican detalladamente a continuación.

5.3.1 FUNCIONAMIENTO DEL SUBMODELO DE DEMANDA

Llegada de los clientes:

El proceso se inicia con la llegada de las entidades (clientes en este trabajo), donde cada uno, de acuerdo a sus necesidades desea adquirir producto A, B o C. Para el caso en estudio, el 45% de los clientes desean producto A, el 35% B y el resto producto C (figura 5.30).

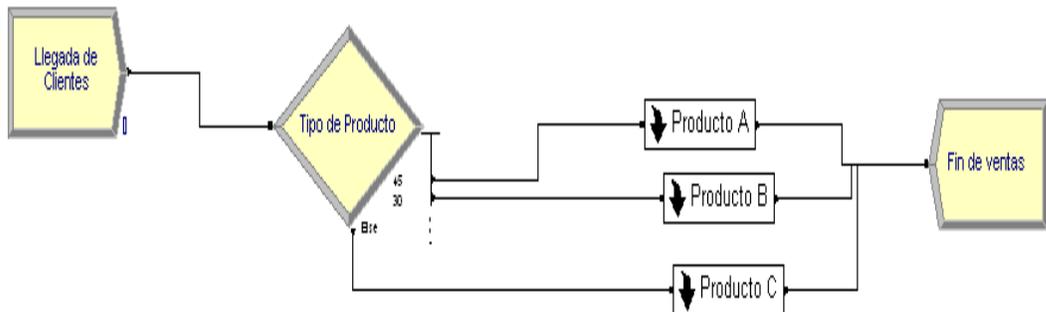


Figura 5.30: Diagrama en ARENA® de la llegada de los clientes

Venta inmediata o diferida:

Una vez que el cliente llega y decide qué producto comprar, este define la cantidad que desea adquirir (demanda). Posteriormente se verifica si existe suficiente inventario a la mano para satisfacer dicha demanda. Esto puede producir dos resultados:

1. Si el inventario a la mano es lo suficientemente grande, entonces los clientes realizan la venta inmediata y se procede a disminuir el inventario por la cantidad demandada. Para este caso, se contabiliza el número de clientes cuya demanda ha sido satisfecha.
2. Si el inventario a la mano es inferior a la demanda solicitada, entonces se le pregunta al cliente si volverá por la compra del pedido. Si el cliente regresa, pasa por el mismo proceso de verificación del inventario para ver si existe la cantidad que él desea.

En caso de que el cliente no desee volver, entonces se pierde la venta del cliente. Para este caso, se contabiliza el número de clientes cuya demanda no ha sido satisfecha.

Finalmente el cliente se va del sistema. En la figura 5.31, se muestra el diagrama de flujo de este submodelo y en la figura 5.32, se ilustra cómo se construye en el programa Arena ®.

Figura 5.31: Diagrama de flujo Submodelo de Demanda con venta inmediata o diferida.

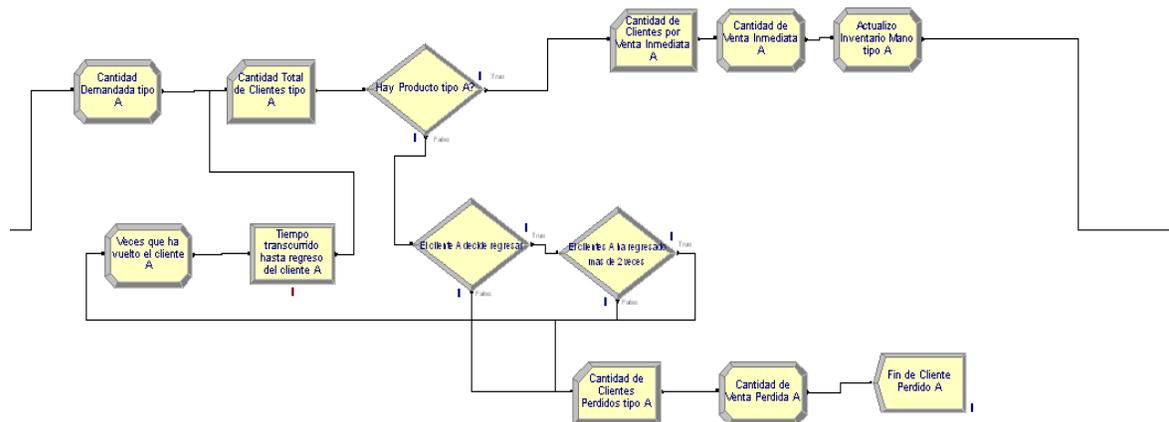


Figura 5.32: Diagrama en ARENA® de la definición del pedido del producto A para una venta inmediata con cliente que vuelve

Venta inmediata total o parcial (back order)

Una vez que el cliente llega y decide que producto comprar, este define la cantidad que desea adquirir (demanda). Posteriormente se verifica si existe suficiente inventario a la mano para satisfacer dicha demanda. Esto puede producir dos resultados:

1. Si el inventario a la mano es lo suficientemente grande, entonces los clientes realizan la venta inmediata y se procede a disminuir el inventario por la cantidad demandada. Además se contabiliza el número de clientes cuya demanda ha sido satisfecha.
2. Si el inventario es inferior a la demanda solicitada, entonces se le pregunta al cliente si acepta la cantidad que se tiene en inventario. Esto produce dos resultados:
 - Si el cliente acepta lo que está en el inventario, se produce la venta inmediata de la cantidad que se tiene (inferior a la demanda) y se procede a preguntar si desea que el resto del pedido le sea entregado en un tiempo programado. Esto genera dos resultados:

- Si decide pedir el resto del pedido, se manda a producir para un tiempo programado.
 - Si decide no pedir el resto, se convierte en una venta incompleta, pues solo adquirió lo que existe en inventario.
-
- En caso de no aceptar lo que hay en inventario, entonces se pierde la venta del cliente. Para este caso, se contabiliza el número de clientes cuya demanda no ha sido satisfecha.

Finalmente el cliente se va del sistema. En la figura 5.33, se muestra el diagrama de flujo de este submodelo y en la figura 5.34, se ilustra cómo se construye en el programa Arena ®.

Figura 5.33: Diagrama de flujo Submodelo de Demanda con venta inmediata total o parcial (back order)

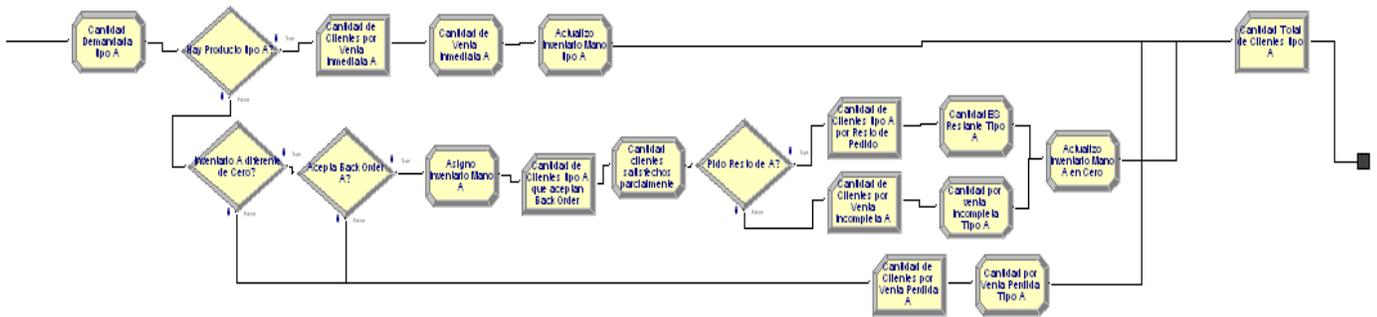


Figura 5.34: Diagrama en ARENA® de la definición del pedido del producto A para una venta inmediata total o parcial (back order)

5.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL SUBMODELO DE REVISIÓN DE POLÍTICAS:

Generalmente, las organizaciones al momento de realizar la planificación de la producción sólo consideran las condiciones actuales del sistema en cuanto a materias primas, inventarios en proceso y de producto terminado, recursos disponibles, entre otros; es decir, sólo aspectos que están directamente relacionados con la producción. Sin embargo, no se está considerando cómo está el sistema actualmente en cuanto a la satisfacción de los clientes y las necesidades del mercado.

El submodelo de revisión de políticas consiste en la revisión de los valores del desempeño de un sistema (no sólo de los aspectos relacionados directamente con la producción) para saber cómo está actualmente, compararlo con cómo debería estar y en base a esto plantear acciones correctivas de ¿Qué hacer? ¿Cómo? ¿Cuándo? y ¿Quién?

Para este trabajo, se mide el desempeño del sistema mediante dos indicadores que abarquen tanto aspectos internos como externos de la organización. El primer indicador corresponde al nivel de servicio, que permite evaluar la satisfacción de los clientes, que es el objetivo principal de cualquier organización. Y como segundo indicador, el nivel de inventario

promedio, que permite controlar los costos de inventario de manera tal que haya un balance entre la satisfacción de la demanda y los costos que acarrear mantener los niveles de inventarios (figura 5.35).

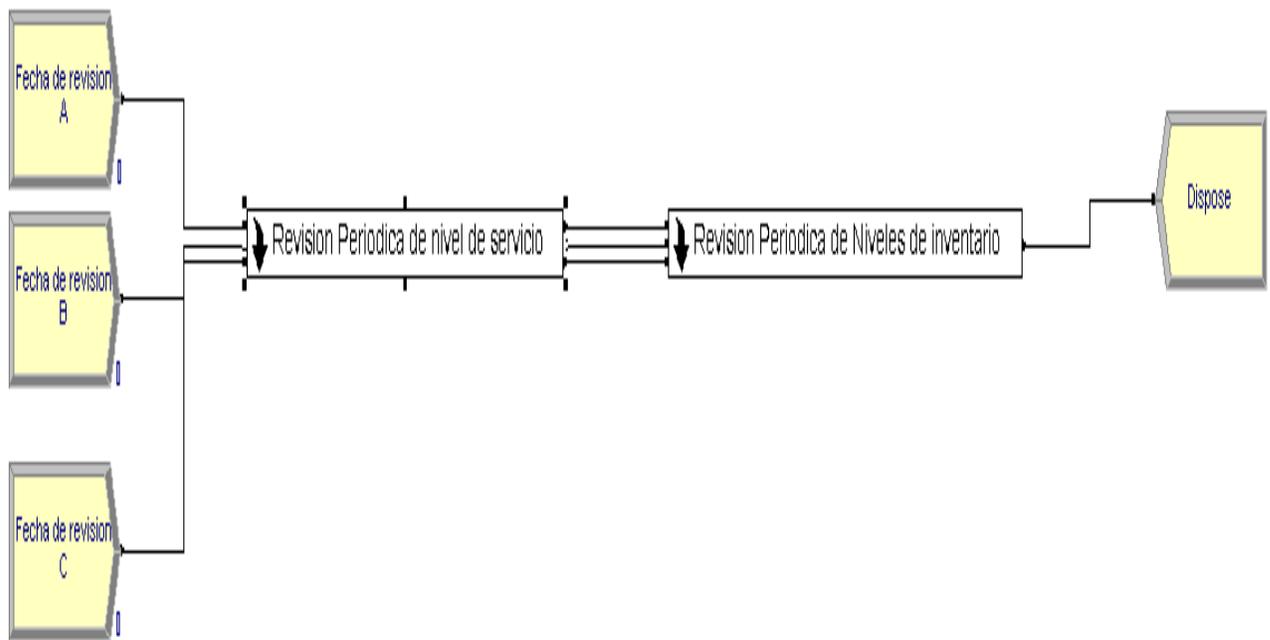


Figura 5.35: Diagrama en ARENA de Submodelo de Revisión de políticas

Evaluación del nivel de servicio:

Al momento de llegar la fecha de revisión del sistema, se evalúa el valor del nivel de servicio para cada tipo de producto en ese instante de tiempo. Esto puede producir dos resultados:

1. Si el nivel de servicio del producto evaluado (A, B o C) es mayor al valor mínimo permitido, en este caso 95%, no se efectúa ningún cambio en los parámetros del sistema y se espera hasta la siguiente revisión.

2. Si el nivel de servicio del producto evaluado (A, B o C) es menor al valor mínimo permitido, pueden presentarse tres casos:

- Si el valor del nivel de servicio obtenido para esta revisión está dentro del rango de variación mínima, para este caso entre 90% y 95%, se realiza un cambio moderado en el punto de reorden. En este estudio, el punto de reorden se aumenta en un 15%.
- Si el valor del nivel de servicio obtenido para esta revisión está dentro del rango de variación intermedia, para este caso entre 80% y 90%, se realiza un cambio intermedio en el punto de reorden. En este estudio, el punto de reorden se aumenta en un 25%.
- Si el valor del nivel de servicio obtenido para esta revisión está dentro del rango de variación elevada, para este caso menor a 80%, se realiza un cambio elevado en el punto de reorden. En este estudio, el punto de reorden se aumenta en un 40%.

Finalmente, se espera hasta la siguiente revisión de acuerdo a la frecuencia de reprogramación. En la figura 5.36, se muestra el diagrama de flujo de este submodelo y en la figura 5.37, se ilustra cómo se construye en el programa Arena ®.

Figura 5.36: Diagrama de flujo de la revisión del nivel de servicio

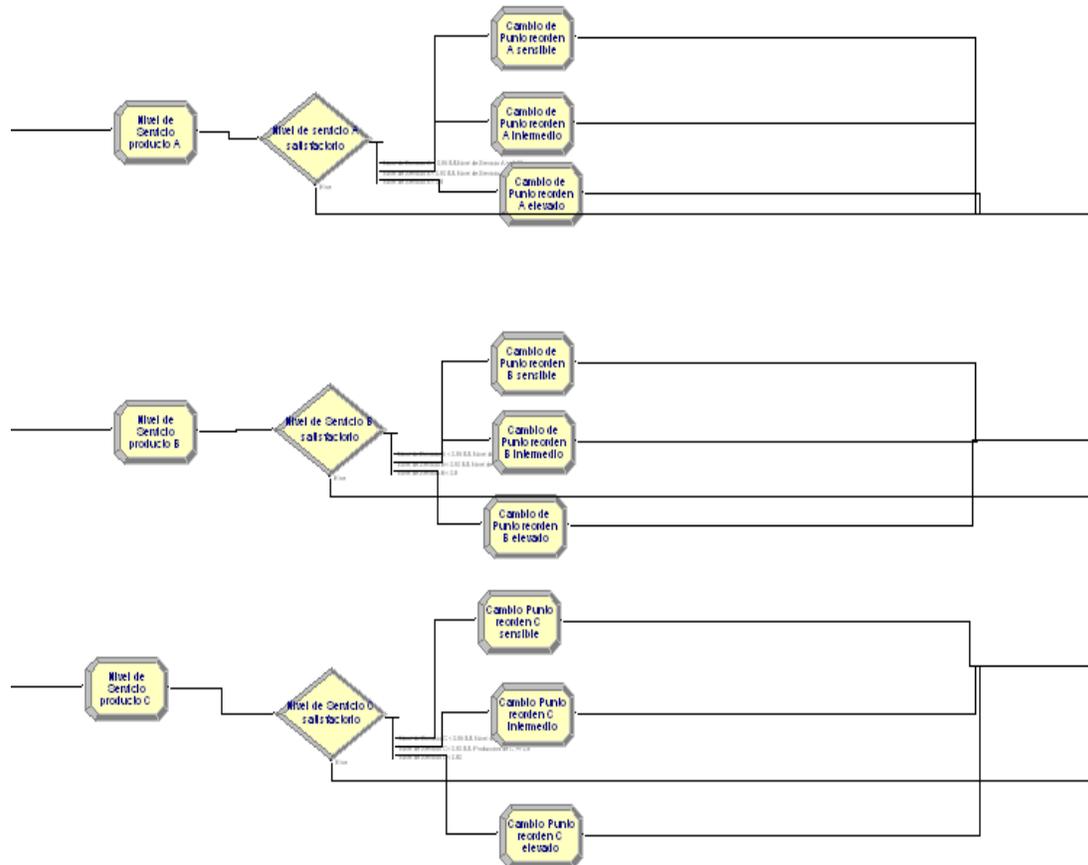


Figura 5.37: Diagrama en ARENA ® de evaluación de nivel de servicio

Evaluación del nivel de inventario promedio:

Al momento de llegar la fecha de revisión de políticas en el modelo, se evalúa el valor del nivel de inventario promedio para ese instante de tiempo. Esto puede producir dos resultados:

1. Si el nivel de inventario promedio es menor al valor máximo permitido, en este caso para el producto A y producto B, 400 unidades y para el producto C, 300 unidades; no se efectúa ningún cambio en los parámetros del sistema y se espera hasta la siguiente revisión.

2. Si el nivel de inventario promedio es mayor al valor máximo permitido, se disminuye el tamaño de lote Q de ese producto, en este caso en un 5%.

Finalmente, se espera hasta la siguiente revisión de acuerdo a la frecuencia de reprogramación. Finalmente, se espera hasta la siguiente revisión de acuerdo a la frecuencia de reprogramación. En la figura 5.38, se muestra el diagrama de flujo de este submodelo y en la figura 5.39, se ilustra cómo se construye en el programa Arena ®.

Figura 5.38: Diagrama de flujo de revisión del nivel de inventario promedio

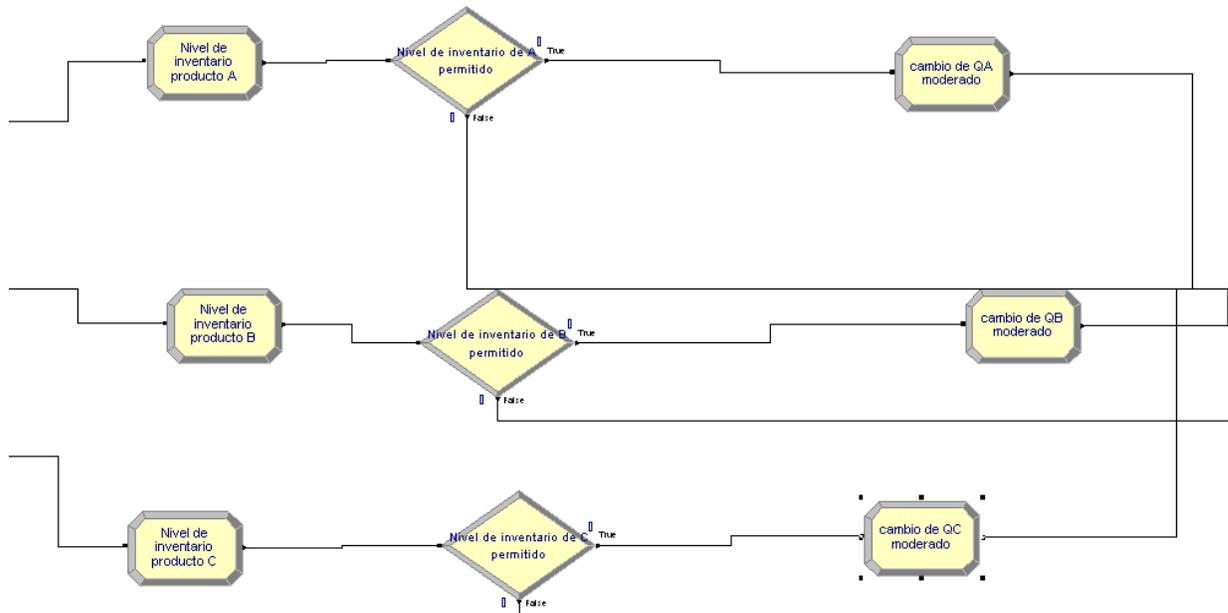


Figura 5.39: Diagrama en ARENA® de evaluación de nivel de inventario promedio

5.3.3 FUNCIONAMIENTO SUBMODELO DE PRODUCCIÓN E INVENTARIOS:

Llegada de las órdenes de producción:

El proceso de producción se inicia con la llegada de las órdenes, las cuales se generan cuando el inventario total del producto es menor al nivel de reorden. Posteriormente, se procede a asignar el tiempo de fabricación del lote. Tal como se muestra en la figura 5.40.

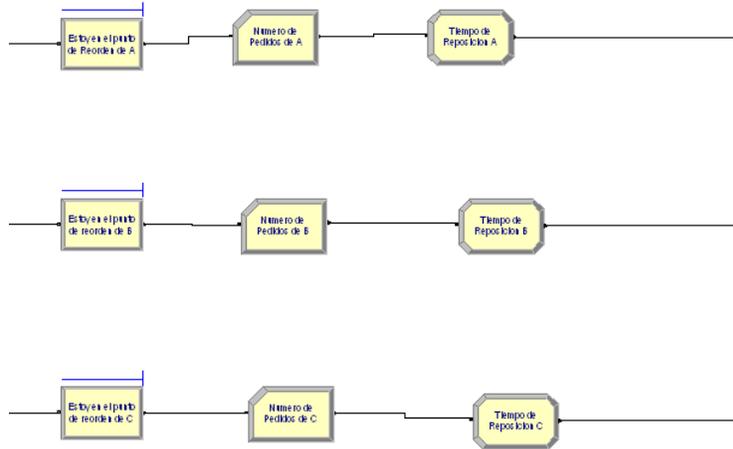


Figura 5.40: Diagrama en ARENA® de la generación de los órdenes de producción

Sistema de producción continuo MTS usando como regla de prioridad menor tiempo de holgura:

Para generarse la orden se verifica el nivel o punto de reorden, comparando el inventario total del tipo de producto con el valor establecido como punto de reorden. Esto puede producir dos resultados:

- Si el inventario alcanza o es inferior al punto de reorden, el sistema de producción se activa y se verifica el tipo de producto, para saber si corresponde con lo que el que se está produciendo en ese momento. De lo contrario, es necesario hacer puesta a punto a la línea.

Seguidamente se aumenta el inventario total del tipo de producto de la orden generada y esta orden pasará a estar en cola para ser fabricada. Es importante acotar, que cada vez que se desocupe la línea, se debe recalcular los valores de holgura (figura 5.42) de cada uno de los pedidos en cola y seleccionar la orden que tenga menor tiempo de holgura para ser la próxima a producir (ver figura 5.43). Una vez producida la orden, se procede a aumentar el inventario a la mano del tipo de producto fabricado (ver figura 5.44).

- Si el inventario no alcanza el punto de reorden, no se genera la producción del tipo de producto (A, B o C), lo que significa que se cuenta con inventario total suficiente para satisfacer a los clientes. (ver figura 5.43)

En la figura 5.41, se muestra el funcionamiento del submodelo de producción con regla de prioridad holgura mediante un diagrama de flujo.

Figura 5.41: Diagrama de flujo de submodelo de producción con regla de prioridad holgura

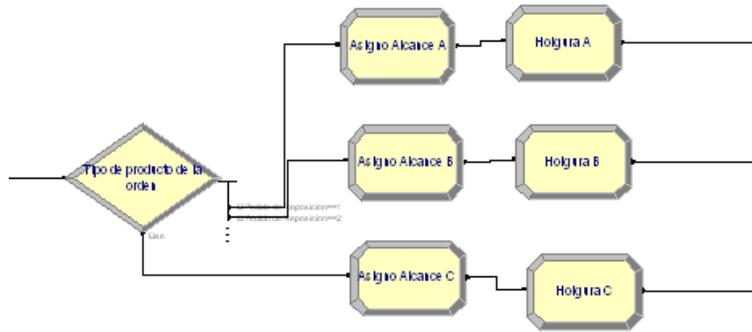


Figura 5.42: Diagrama en ARENA® para cálculo de holgura de las órdenes

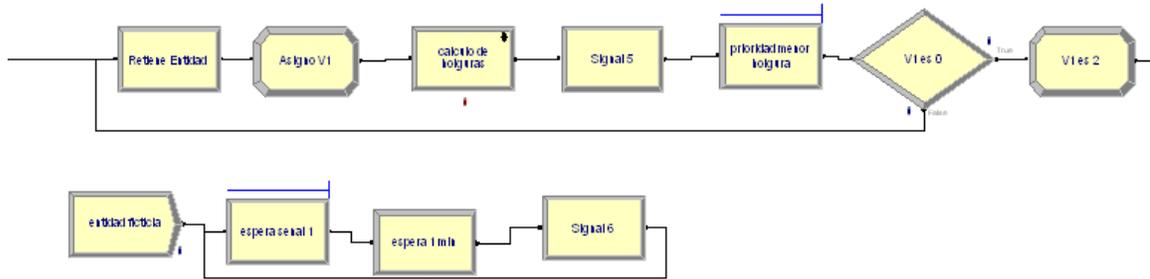


Figura 5.43: Diagrama en ARENA® de cola según regla de prioridad holgura

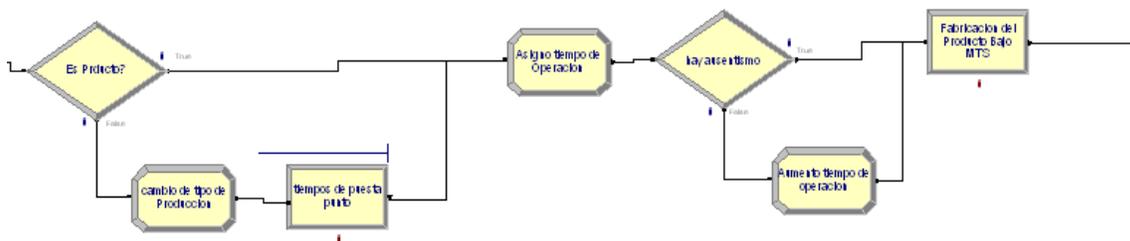


Figura 5.44: Diagrama en ARENA® de producción continua usando menor tiempo de holgura

5.3.4 FUNCIONAMIENTO DE SUBMODELO DE FALLAS.

El proceso se inicia con la generación de la falla en un tiempo específico. Esto hace que se detenga el proceso por cortes eléctricos o por paradas debido a mantenimiento de las maquinas. Mientras ocurre esto, la falla del ausentismo puede afectar o no al proceso, es decir, su valor puede ser uno (1) o cero (0).

Si la falla de Ausentismo es igual a cero (0), entonces en el proceso no se encuentra este tipo de falla, pudiendo ocurrir algunas de las otras dos (maquinarias o cortes eléctricos).

En caso, que el ausentismo sea igual a uno (1), es decir, hay ausencia de un operario en la línea, esto afectará el tiempo de operación de la línea, trayendo como consecuencia que el tiempo de fabricación de los pedidos se retarde en un 25%. Pudiendo ocurrir también algunas de las otras dos fallas (maquinarias o cortes eléctricos)

A continuación se muestra el diagrama en Arena® del proceso de falla de ausentismo (figura 5.46), para el caso de las fallas eléctricas y de maquinarias se programaron por medio de casillas, por lo tanto no tienen un diagrama en Arena®.

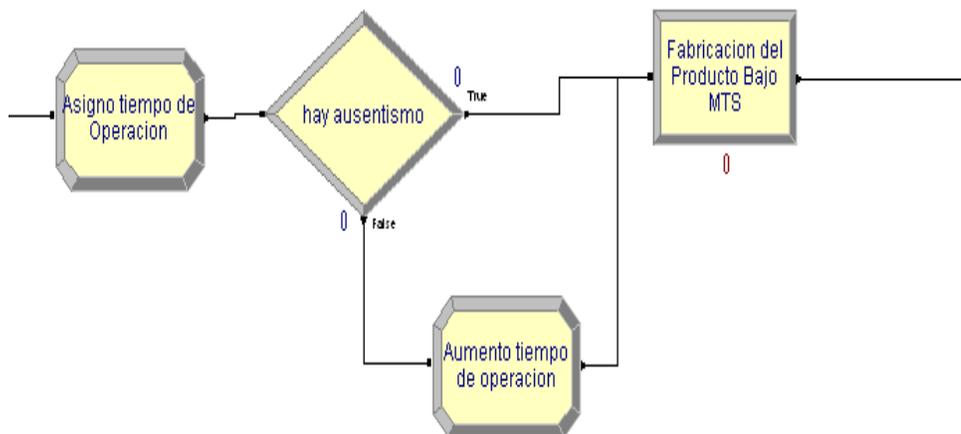


Figura 5.46: Diagrama en ARENA® del sistema de fallas de una línea de producción

5.4 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS A SIMULAR

A nivel industrial, pueden presentarse una gran cantidad de situaciones propias de cada organización. Esto es debido a la gran cantidad de factores que conforman un sistema de manufactura, como: las políticas de inventario y de producción, la economía, las ventas, la situación político social del país, la competencia, las importaciones, entre otros; lo que genera infinitos escenarios de estudio.

El propósito de esta investigación es estudiar el impacto que tiene la frecuencia de reprogramación en los sistemas y cómo pueden mejorar su desempeño. Por consiguiente, es necesario simular escenarios que se asemejen a las condiciones que comúnmente suceden en las industrias. De los infinitos escenarios posibles, se seleccionaron aquellos que son representativos de los sistemas reales para estudiar el comportamiento de los mismos ante las diferentes frecuencias de reprogramación, a continuación se describen cada uno de ellos:

Tabla 5.1: Escenarios a simular bajo un sistema de producción MTS

Escenarios a simular bajo un sistema de producción MTS						
Venta inmediata o Diferida				Venta total o parcial (back order)		
	Demanda Poisson	Demanda de Variabilidad Intermedia	Demanda de Variabilidad Alta	Demanda Poisson	Demanda de Variabilidad Intermedia	Demanda de Variabilidad Alta
Estudiando frecuencia de revisión	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9
				Escenario 13		
Sin revisión, método tradicional	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 10	Escenario 11	Escenario 12

La tabla 5.1 muestra los escenarios a simular diseñados para estudiar la frecuencia de revisión de las políticas y su efecto en los indicadores de desempeño del sistema. Estos escenarios derivan de los que fueron planteados en la figura 4.10 del capítulo IV de este documento.

Tabla 5.2: Escenarios a simular bajo un sistema de producción MTS considerando el efecto de fallas muy frecuentes

Venta inmediata o diferida utilizando una Demanda de Variabilidad Alta	
Capacidad 400 unidades/días	Capacidad 200 unidades/día
Escenario 14	Escenario 15

La tabla 5.2 muestra los escenarios planteados para analizar la sensibilidad del sistema ante la presencia de fallas con diferente intensidad, utilizando los datos suministrados en la tabla 4.5 del capítulo IV de este trabajo.

- **Escenario 1: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor específico según una distribución Poisson ($\lambda_A=50$, $\lambda_B=48$, $\lambda_C=28$) unidades. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en el 50% de las veces, el cliente puede regresar nuevamente transcurridas 24 horas a solicitar nuevamente el pedido. Después de que el cliente ha regresado dos veces y no ha conseguido el producto, se considera como cliente perdido y no regresa más al sistema.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA PERDIDA O DIFERIDA, SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA, SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

Nota: El porcentaje de veces que el cliente regresa nuevamente al sistema dependerá de la competencia que tenga cada organización. Al existir mayor competitividad, este porcentaje será menor.

- **Escenario 2: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor determinado según una distribución empírica, correspondiente a una demanda de variabilidad intermedia. Este tipo de demanda tendrá variaciones en los tamaños de pedido de los clientes en porcentajes bajos, con la finalidad de que el modelo se parezca más a la situación real, considerando una variabilidad existente en el mercado mayor a la que se refleja con la distribución Poisson. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en el 50% de las veces, el cliente puede regresar nuevamente transcurridas 24 horas a solicitar nuevamente el pedido. Después de que el cliente ha regresado dos veces y no ha conseguido el producto, se considera como cliente perdido y no regresa más al sistema.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA PERDIDA O DIFERIDA, SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA, SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

Nota:

A. El porcentaje de veces que el cliente regresa nuevamente al sistema dependerá de la competencia que tenga cada organización. Al existir mayor competitividad, este porcentaje será menor.

B. Los datos utilizados para la distribución de demanda, son suministrados mediante un archivo de texto “demanda_poco_cambiante” tal como se explica en el apéndice 2.

- **Escenario 3: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor determinado según una distribución empírica, correspondiente a una demanda de variabilidad alta. Este tipo de demanda tendrá variaciones en los tamaños de pedido de los clientes en porcentajes altos, con la finalidad de que el modelo represente situaciones críticas que pueden ocurrir cuando hay mucha inestabilidad en la economía del país, como ocurre actualmente en Venezuela o casos de empresas nuevas en el mercado cuya demanda no se ha estabilizado. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en el 50% de las veces, el cliente puede regresar nuevamente transcurridas 24 horas a solicitar nuevamente el pedido. Después de que el cliente ha regresado dos veces y no ha conseguido el producto, se considera como cliente perdido y no regresa más al sistema.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA PERDIDA O DIFERIDA, SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA, SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

Nota:

A. El porcentaje de veces que el cliente regresa nuevamente al sistema dependerá de la competencia que tenga cada organización. Al existir mayor competitividad, este porcentaje será menor.

B. Los datos utilizados para la distribución de demanda, son suministrados mediante un archivo de texto “demanda_muy_cambiante” tal como se explica en el apéndice 2.

- **Escenario 4: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 1, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 1.

- **Escenario 5: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 2, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 2.

- **Escenario 6: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 3, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 3.

- **Escenario 7: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor específico según una distribución Poisson ($\lambda_A=50$, $\lambda_B=48$, $\lambda_C=28$) unidades. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en un 50% de los veces, se llega a un acuerdo con el cliente de entregarle lo que posee en almacén, mientras que el resto se van del sistema insatisfechos. De los clientes que aceptan la venta parcial, el 50% decide regresar por el resto de su pedido que será entregado a una fecha acordada con éste y el otro 50% sólo aceptan la venta parcial y salen del sistema con una venta incompleta.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA TOTAL O PARCIAL (BACK ORDER)**, **SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA**, **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

- **Escenario 8: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor determinado según una distribución empírica, correspondiente a una demanda de variabilidades intermedia. Este tipo de demanda tendrá variaciones en los tamaños de pedido de los clientes en porcentajes bajos, con la finalidad de que el modelo se parezca más a la situación real, considerando una variabilidad existente en el mercado mayor a la que se refleja con la distribución Poisson. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en un 50% de las veces, se llega a un acuerdo con el cliente de entregarle lo que posee en almacén, mientras que el resto se van del sistema insatisfechos. De los clientes que aceptan la venta parcial, el 50% decide regresar por el resto de su pedido que será entregado a una fecha acordada con éste y el otro 50% sólo aceptan la venta parcial y salen del sistema con una venta incompleta.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA TOTAL O PARCIAL (BACK ORDER)**, **SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA**, **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

Nota: Los datos utilizados para la distribución de demanda, son suministrados mediante un archivo de texto “demanda_poco_cambiante” tal como se explica en el apéndice 2.

- **Escenario 9: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta estudiando frecuencia de reprogramación.**

La demanda por cliente será un valor determinado según una distribución empírica, correspondiente a una demanda de variabilidad alta. Este tipo de demanda tendrá variaciones en los tamaños de pedido de los clientes en porcentajes altos, con la finalidad de que el modelo represente situaciones críticas que pueden ocurrir cuando hay mucha inestabilidad en la economía del país, como ocurre actualmente en Venezuela o casos de empresas nuevas en el mercado cuya demanda no se ha estabilizado. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en un 50% de las veces, se llega a un acuerdo con el cliente de entregarle lo que posee en almacén, mientras que el resto se van del sistema insatisfechos. De los clientes que aceptan la venta parcial, el 50% decide regresar por el resto de su pedido que será entregado a una fecha acordada con éste y el otro 50% sólo aceptan la venta parcial y salen del sistema con una venta incompleta.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA TOTAL O PARCIAL (BACK ORDER)**, **SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA**, **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

Nota: Los datos utilizados para la distribución de demanda, son suministrados mediante un archivo de texto “demanda_muy_cambiante” tal como se explica en el apéndice 2.

- **Escenario 10: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 7, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 7.

- **Escenario 11: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 8, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 8.

- **Escenario 12: Venta inmediata total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta.**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 9, excepto que no se considera **SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO**. Con la finalidad de estudiar el comportamiento del sistema cuando no se revisa sus niveles de desempeño y las consecuencias que acarrea en la eficiencia de la cadena de suministro bajo las condiciones del escenario 9.

- **Escenario 13: Escasez de productos en organizaciones con producción insuficiente bajo una modalidad de venta total o back order**

La demanda por cliente será un valor específico según una distribución Poisson ($\lambda_A=50$, $\lambda_B=48$, $\lambda_C=28$) unidades. Si existe inventario a la mano suficiente para cubrir la cantidad demandada por el cliente se realiza la venta inmediata. En caso contrario, en un 50% de las veces, se llega a un acuerdo con el cliente de entregarle lo que posee en almacén, mientras que el resto se van del sistema insatisfechos. De los clientes que aceptan la venta parcial, el 50% decide regresar por el resto de su pedido que será entregado a una fecha acordada con éste y el otro 50% sólo aceptan la venta parcial y salen del sistema con una venta incompleta. A diferencia del escenario 7, cuando se producen las órdenes según el tamaño de lote no se reponen las unidades vendidas a los clientes que regresan posteriormente a buscar el resto de su pedido.

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA TOTAL O PARCIAL (BACK ORDER), SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA, SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 30 días y 90 días, considerando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

- **Escenario 14: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta con presencia frecuente de fallas**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 3, excepto que para el submodelo de fallas se aumentó la frecuencia entre ocurrencias de fallas. Se consideran fallas de maquinarias cada 3 días con una duración que se aproxima a una Normal (4 hrs; 0,5 hrs), fallas por cortes eléctricos con un tiempo entre ocurrencias según una Exponencial (5 días) y una duración que se aproxima a una Exponencial (4 hrs) y fallas por ausentismo que se presentan según una distribución Normal (3 días; 1 día) y duración de una jornada laboral (8 hrs).

Este escenario se conforma con el **SUBMODELO DE DEMANDA VENTA PERDIDA O DIFERIDA, SUBMODELO DE PRODUCCIÓN CON MENOR TIEMPO DE HOLGURA, SUBMODELO DE REVISIÓN DE NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO** bajo una revisión periódica de 15 días, 30 días, 90 días y 180 días, modificando los tres casos de fallas del **SUBMODELO DE FALLAS**.

- **Escenario 15: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta con presencia frecuente de fallas con una capacidad limitada:**

Corresponde a la misma situación planteada en el escenario 14, excepto que se disminuye la capacidad de producción del sistema de 400 unidades/día a 200 unidades/día. Debido a que se desea estudiar con mayor profundidad el efecto de las fallas cuando una empresa cuenta con una capacidad más limitada.

5.5. VERIFICACIÓN DEL MODELO

La verificación consiste en evaluar si el modelo de simulación se comporta como se planteó en el diseño de su estructura, corroborando que no presente errores de lógica ni errores de programación.

Para verificar el modelo se hicieron pruebas que permitieron monitorear el comportamiento del modelo ante diferentes escenarios, tiempos de simulación y variables de entrada, entre las cuales se pueden nombrar las siguientes:

- Se aumentó la frecuencia de ocurrencia y la duración de las fallas, verificando que trajera como consecuencia mayor número de órdenes de producción en cola.
- Se disminuyó la capacidad de producción, confirmando que el porcentaje de utilización de las máquinas y operadores aumenta, disminuyendo así el porcentaje de ocio y aumentando las órdenes en cola.

- Se aumentó la frecuencia de llegada de los clientes en el modelo manteniendo el mismo tiempo de simulación. Esto trajo como consecuencia un aumento en la cantidad de órdenes producidas y una disminución en los niveles de inventario promedio, lo cual corresponde con el comportamiento esperado, ya que al llegar mayor cantidad de clientes se consume el inventario con mayor velocidad.
- Para el submodelo de revisión de políticas, se disminuyó las tolerancias permitidas en el nivel de servicio y en el nivel de inventario promedio, lo que implica que se realicen cambios más frecuentes pues se está siendo más estricto. Al hacerlo, se comprobó que efectivamente las veces en que se realizaron cambios en las políticas fueron mayores ante tolerancias más pequeñas.

Se utilizaron diferentes herramientas que permitieron hacer seguimiento a las entidades (clientes y producto) en su trayectoria por la línea de producción y comprobar que se comporta según lo establecido en el modelo. La animación del modelo, constituye una de estas herramientas. De igual manera, se utilizaron apoyos visuales tales como:

- Clock (de la barra Animate): permite visualizar el tiempo que va transcurriendo durante la simulación, para comprobar el cumplimiento de los tiempos de revisión y de las paradas debido a las fallas utilizadas en el modelo. Cada vez que llegaba la fecha de revisión (por ejemplo, mensualmente) se podía visualizar que ingresaba una entidad al submodelo de revisión de políticas para verificar los niveles de servicio y los niveles de inventario promedio (ver figura 5.47).

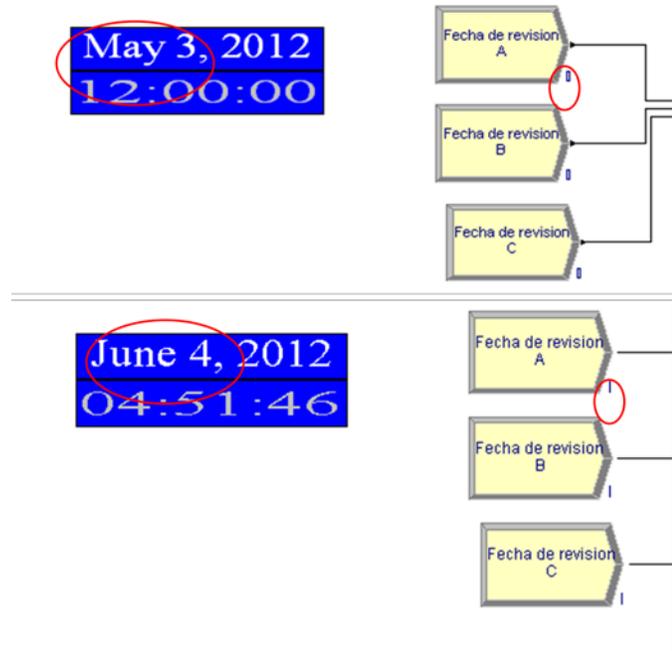


Figura 5.47: Verificación de frecuencia de revisión mediante Clock

- Gráficos (opción Plot de la barra Animate): representa en un plano coordenado XY, el valor de la variable de interés a través del tiempo (eje X: tiempo y eje Y: valor de la variable). Se realizaron gráficos del nivel de servicio, nivel de inventario promedio y tamaños de lote, los cuales permitieron visualizar que cuando se incrementaba el nivel de reorden se aumentaba el nivel de servicio y que cuando se disminuían los tamaños de lote se reducían los niveles de inventario promedio (ver figura 5.48).

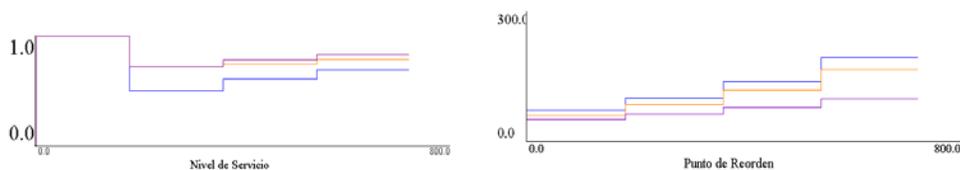


Figura 5.48: Gráficos de las variables nivel de servicio y punto de reorden

- Variables (de la barra Animate): muestra de manera numérica el valor actual de la variable de interés durante la simulación, con el fin de visualizar y verificar el funcionamiento lógico de ciertas variables y atributos. En este caso, se visualizaron los valores de variables como inventario a la mano, inventario total, punto de reorden, cantidades producidas, entre otras.

Por ejemplo, en la figura 5.49 se observa que el inventario a la mano es igual al inventario total, lo cual es completamente lógico ya que en ese momento no se encontraba con ningún pedido por llegar.

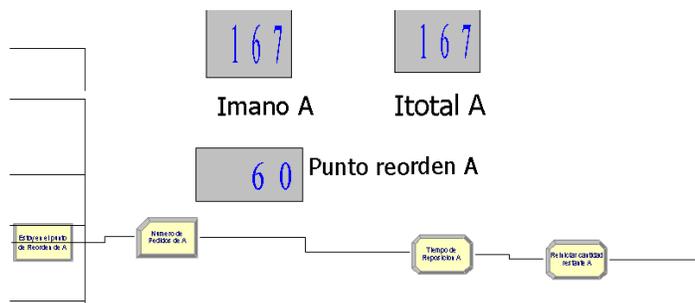


Figura 5.49: Verificación de cantidades de inventario a la mano y de inventario total para el producto A

- Text (de la barra Draw): para identificar las variables y atributos.

Luego de haber seguido las distintas entidades (clientes y productos) se logró la verificación, ya que se comprobó que el modelo se comporta como se esperaba. Esto permite concluir que el modelo no presenta errores de programación ni de lógica y de esta manera poder continuar con la validación del mismo.

5.6. VALIDACIÓN DEL MODELO

Law, et. al (1999). Define validación como la técnica que consiste en “determinar si el modelo conceptual de la simulación es una representación exacta del sistema estudiado. Si un modelo es válido, entonces, las decisiones hechas con el modelo deberían ser similares a esas hechas físicamente experimentando con el sistema”.

En esta etapa se confirman los resultados que genera el modelo simulado con los resultados que genera el sistema.

En la validación, es fundamental la utilización de métodos estadísticos de modo de comparar estadísticamente los resultados del modelo con el sistema. Es ideal que los parámetros a considerar como elementos de validación correspondan con las medidas de efectividad del modelo. Sin embargo, no siempre se puede lograr por no contar con los datos reales del sistema.

Cuando se cuenta con datos reales del sistema, la validación del modelo se realiza mediante resultados numéricos, donde es necesario realizar pruebas de contraste de hipótesis de modo de comparar los resultados del sistema con los arrojados por el modelo, con el fin de concluir que el modelo es válido y representativo del sistema.

En caso de que no se cuente con datos reales del sistema, la validación del modelo puede llevarse a cabo a través de expertos. La validación con expertos generalmente consiste en fijar reuniones periódicas donde se observa y analiza el modelo tratando de encontrar fallas o situaciones que no suceden en la realidad. Para facilitar la tarea de observación del modelo, es conveniente contar con una animación que permita ver la situación representada de una forma macroscópica, la cual consiste en gráficos y contadores.

El modelo desarrollado en esta investigación es netamente hipotético, se basó en situaciones que generalmente se observan en los sistemas y los datos fueron recolectados a través de observación directa y consultando con expertos, más no se tomó como referencia un sistema específico como tal, sino un sistema hipotético que representara situaciones que ocurren en la realidad con el fin de comprobar la teoría de la frecuencia de reprogramación.

Por esta razón, no se cuenta con datos reales del sistema ni con un experto que pueda validar el modelo de simulación. Sin embargo, la conceptualización del modelo fue consultada con expertos en la materia y el proceso de verificación fue exitoso, lo que hace lógico pensar que los resultados son válidos para probar la teoría que se quiere demostrar.

5.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de resultados se realiza comparando los valores obtenidos en las medias (promedio) del nivel de servicio y nivel de inventario promedio para cada tipo de producto. Como se está trabajando con muestras de tamaño $n=8$ (ver justificación de selección de tamaño de muestra en apéndice 3) y tienen una variabilidad asociada, en caso de que las variaciones entre los niveles de servicio entre un escenario y otro sean despreciables es necesario realizar pruebas de hipótesis para verificar que esta diferencia no se deba a la variabilidad de la muestra tomada.

5.7.1. Efecto de variar los periodos de reprogramación en cadenas de suministro bajo la modalidad de venta inmediata o diferida con regla de prioridad tiempo de holgura.

Resultados de escenario 1 y escenario 4:

En la tabla 5.3 se muestra el desempeño del sistema bajo diferentes periodos de reprogramación. Se variaron los periodos de reprogramación en los rangos de 15 días a 720 días. En la tabla, las columnas corresponden al promedio del nivel de servicio para cada tipo de producto (A, B y C) y en las filas corresponde a los diferentes periodos de reprogramación bajo los cuales se simuló el modelo.

Los resultados obtenidos en la frecuencia de reprogramación de 15 días a 180 días corresponden al primer escenario, el cual considera el submodelo de revisión. Mientras que los resultados de la frecuencia de reprogramación de 720 días equivalen al escenario 4, el cual no considera el submodelo de revisión. Lo cual permite comparar las políticas de frecuencia de reprogramación con las políticas tradicionales.

Tabla 5.3: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson con y sin frecuencia de reprogramación.

	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
Escenario 1	15	0,9792 ±0,00301	0,9814 ±0,0029	0,9986 ±0,0002
	30	0,9686 ±0,00308	0,9773 ±0,0031	0,9972 ±0,00019
	90	0,9561 ±0,00201	0,977 ±0,00303	0,9986 ±0,0099
	180	0,9586 ±0,00403	0,9803 ±0,00345	0,9986 ±0,001
Escenario 4	720	0,9360 ±0,00446	0,9724 ±0,003902	0,9986 ±0,00104

La figura 5.50 se muestra el grafico que representa en el eje X el valor de la frecuencia de reprogramación en días y el eje Y el nivel de servicio promedio para cada tipo de producto.

En el producto A, se puede notar que en los periodos de reprogramación en el rango de 15 días a 30 días, no hay cambios significativos en el nivel de servicio promedio. Los valores entre 30 y 90 días el nivel de servicio empieza a tener una variación estadística significativa como se comprueba mediante la prueba de hipótesis. (Ver Apéndice 3)

Entre el lapso de 90 días a 180 días, no hay una disminución significativa. Por último al considerar el lapso comprendido entre 180 días y el periodo de reprogramación de 720 días, que coincide con el periodo total de simulación (lo cual es equivalente a que no se revise el sistema), la disminución del nivel de servicio es mayor a medida que el periodo de reprogramación es más largo.

Siguiendo con el producto B, se observa que para periodos de reprogramación mayores a 15 días el nivel de servicio disminuye levemente. En el caso de que no se revise el sistema, que corresponde al periodo de reprogramación de 720 días, el nivel de servicio disminuye pero en menor proporción a como ocurre con el producto A.

Para el caso del producto C, no hubo variaciones significativas en el nivel de servicio promedio para ninguno de los rangos de frecuencia de reprogramación considerados.

El rango de variación del nivel de servicio promedio en el producto A fue el mayor, ya que es el producto más demandado, siguiéndole el producto B cuya variación fue menor y en el producto C donde no se observan variaciones por ser el producto de menor demanda.

Con los valores de entrada del modelo suministrado para este escenario, no se puede concluir cual debería ser la mejor frecuencia de revisión porque el modelo trabaja con una demanda aleatoria con baja variabilidad lo que la hace predecible, razón por la cual los cambios realizados no fueron significativos. Sin embargo, al realizar la prueba de hipótesis se comprobó que el nivel de servicio disminuyó (aunque en porcentajes bajos) a medida que revise más lejos en el tiempo.

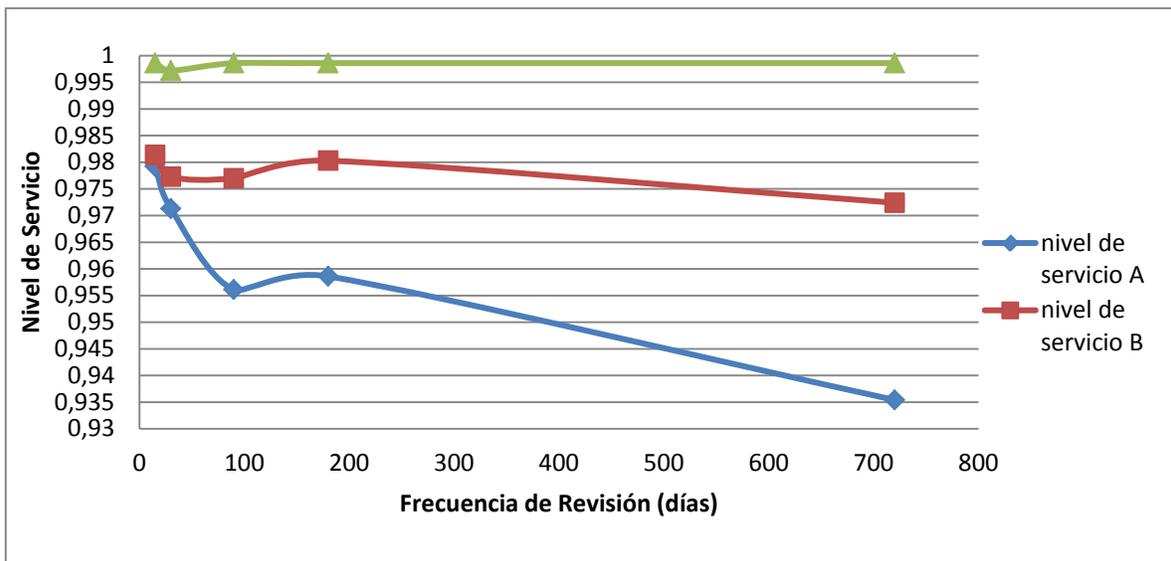


Figura 5.50: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 1 y 4.

Como la aplicación de un sistema de revisión y reprogramación de políticas de inventarios y producción, requiere el aumento del nivel de reorden cada vez que se hace un cambio, puede traer como consecuencia el aumento del nivel de inventario promedio. Si se observa la figura 5.51, el nivel de inventario promedio se mantuvo estable en el tiempo, sin presentar mayores variaciones. Esto es debido a que la demanda considerada para este

escenario no presenta fluctuaciones altas, haciendo que los cambios hechos al modelo fueran leves.

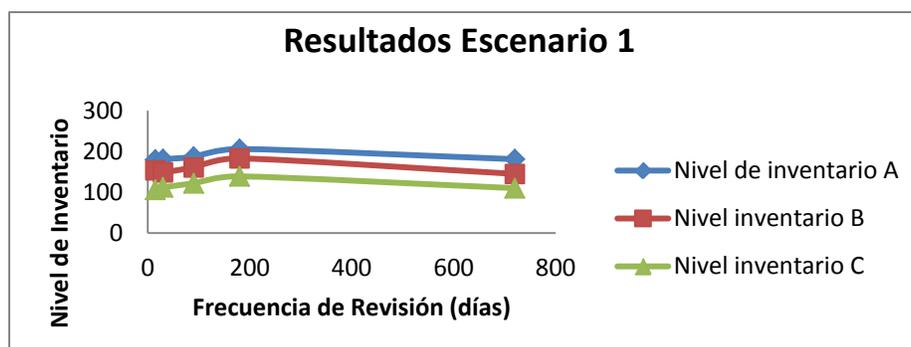


Figura 5.51: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de revisión Escenario 1

Resultados de escenario 2 y escenario 5:

En la tabla 5.4 se muestra el desempeño del sistema bajo diferentes periodos de reprogramación. Se variaron los periodos de reprogramación en los rangos de 15 días a 720 días. Los valores de entrada son similares a los de la tabla 5.3.

Los resultados obtenidos en la frecuencia de reprogramación de 15 días a 180 días corresponden al segundo escenario, el cual considera el submodelo de revisión. Mientras que los resultados de la frecuencia de reprogramación de 720 días equivalen al escenario 5, el cual no considera el submodelo de revisión.

Tabla 5.4: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia con y sin frecuencia de reprogramación.

	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
Escenario 2	15	0,9724 ±0,00205	0,9685 ±0,0019	0,9722 ±0,00105
	30	0,9628 ±0,00272	0,9608 ±0,00201	0,9624 ±0,0013
	90	0,9374 ±0,00212	0,9653 ±0,00198	0,965 ±0,00207
	180	0,9461 ±0,0048	0,9677 ±0,00215	0,956 ±0,00408
Escenario 5	720	0,9053 ±0,013	0,9437 ±0,0098	0,9535 ±0,00784

En la figura 5.52, se observa que el producto A que en los periodos de reprogramación en el rango de 15 días a 30 días, el nivel de servicio promedio baja de 97% a 96%. Para valores de frecuencia mayores a estos, el nivel de servicio empieza a disminuir con diferencias estadísticas significativas tal como se comprobó en la prueba de hipótesis en el Apéndice 3. El lapso comprendido entre 180 días y el periodo de reprogramación de 720 días, la disminución del nivel de servicio es mucho mayor ya que pasa de un 94% a un 91% y con tendencia a disminuir aun más a medida que el periodo de reprogramación sea más largo.

Siguiendo con el producto B, se observa que para periodos de reprogramación mayores a 15 días el nivel de servicio no tiene variaciones apreciables. En el caso de que no se revise el sistema, que corresponde al periodo de reprogramación de 720 días, hay una disminución en el nivel de servicio representativa en comparación con las frecuencias anteriores.

Para el producto C, no existe una diferencia relevante entre una frecuencia y otra. Por lo cual aplicar un sistema de revisión para este tipo de producto bajo este escenario, no tiene un mayor impacto en el mejoramiento del desempeño del mismo.

Igual como se presentó en el caso anterior, a medida que el producto es más demandado, el rango de disminución es mayor. Utilizando una frecuencia de revisión de 30 días se observan valores del nivel de servicio alrededor del 96 %, de igual forma trabajar con una frecuencia de revisión de 90 días es una buena alternativa pues el nivel de servicio se mantiene en 94 %. La decisión de la mejor frecuencia de reprogramación dependerá de que tan eficiente desee ser la organización y su presupuesto asignado para dicha actividad.

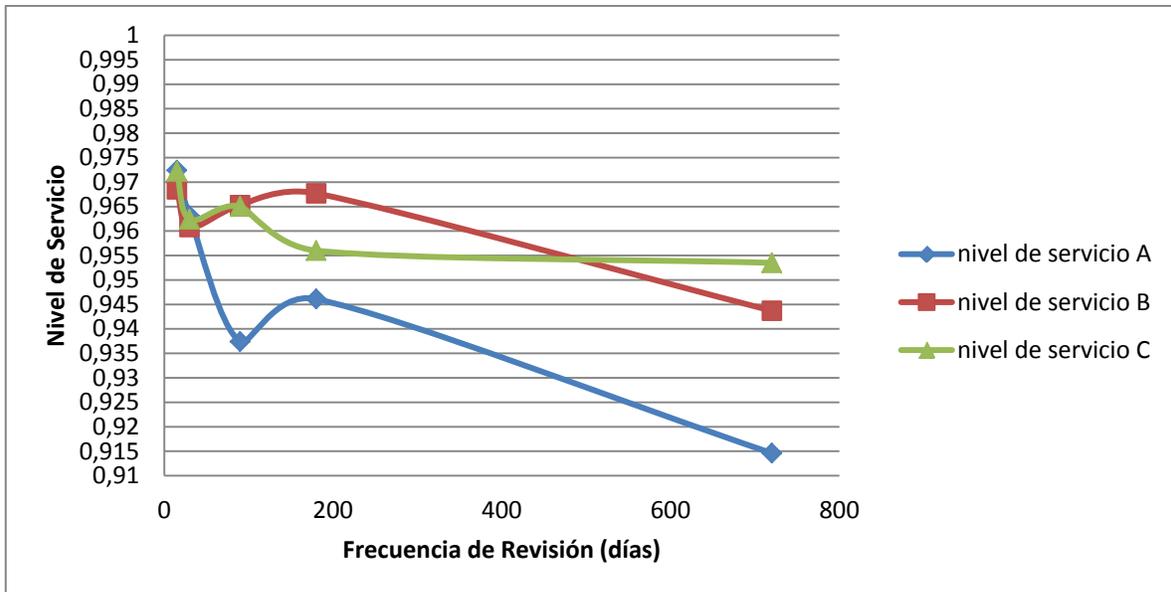


Figura 5.52: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 2 y 5.

Al observar la figura 5.53 de igual forma que en el caso anterior, se puede apreciar como el nivel de inventario promedio se mantiene estable ante las diferentes frecuencias de revisión por lo tanto la aplicación de una revisión periódica no incurre en un aumento significativo de los costos bajo este escenario.

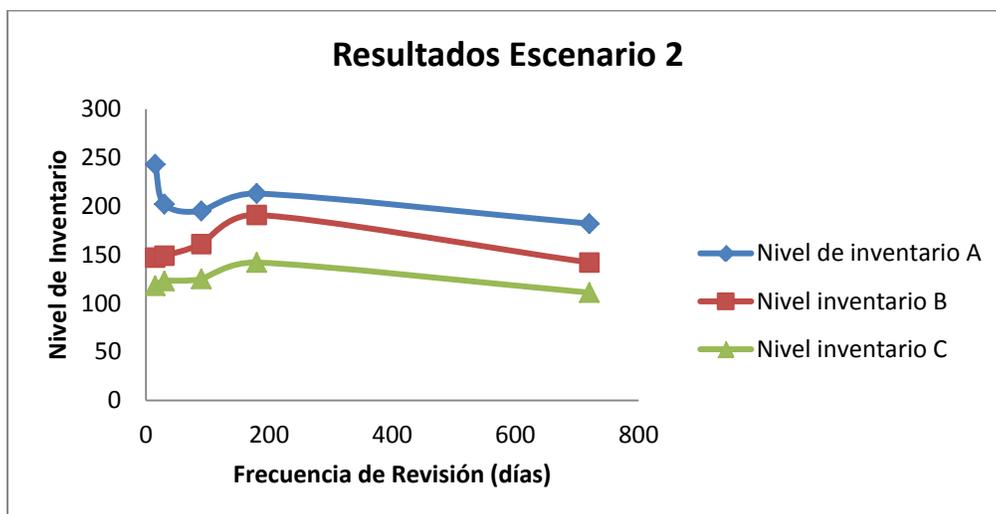


Figura 5.53: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de revisión Escenario 2

Resultados de escenario 3 y escenario 6:

En la tabla 5.5 se muestra el desempeño del sistema bajo diferentes periodos de reprogramación.

Tabla 5.5: Venta inmediata o diferida bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta con y sin frecuencia de reprogramación.

Escenario	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio	Nivel de servicio	Nivel de servicio
		A	B	C
Escenario 3	15	0,9443 ±0,01	0,9453 ±0,01	0,9635 ±0,02
	30	0,8841 ±0,02	0,9282 ±0,01	0,9426 ±0,02
	90	0,7761 ±0,03	0,8304 ±0,01	0,8688 ±0,01
	180	0,6934 ±0,03	0,8029 ±0,02	0,8236 ±0,02
Escenario 6	720	0,5829 ±0,02	0,6973 ±0,02	0,7465 ±0,02

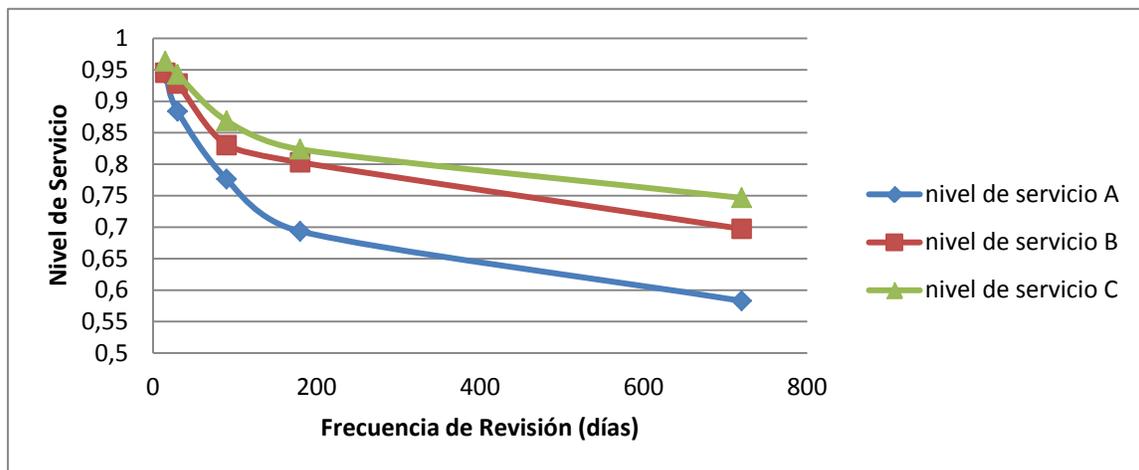


Figura 5.54: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 3 y 6.

En la figura 5.54, se puede detallar para cada uno de los tipos de producto, una tendencia clara de que a medida que los periodos de reprogramación son más largos, el nivel de servicio es cada vez más bajo. El rango de variación entre revisar con una frecuencia de 15 días y no revisar (frecuencia de 720 días) es exageradamente alto. Para el caso del producto A, el nivel de servicio baja de un 94% a un 58%, siendo el rango de disminución más alto de los 3 productos; esto puede deberse a que es el producto de mayor demanda y es más sensible a las variaciones en la misma. Sigue el producto B, que empieza con un valor de 94% y cuando no se revisa, disminuye hasta 69% y por último el producto C, que es el menos demandado, cuya variación es un poco menor pero igualmente significativa, donde su nivel de servicio disminuye de 96% a 74%.

En este escenario, el impacto de la frecuencia de revisión es sumamente significativo. Para frecuencias mayores a 90 días, el nivel de servicio es inferior al 80%. Por lo tanto, se debería revisar con una frecuencia entre 15 y 30 días, para garantizar un nivel de servicio superior al 80%.

En las gráficas 5.55, 5.56 y 5.57, se muestra para cada frecuencia de revisión y por cada tipo de producto, cuántos cambios moderados, intermedios y agresivos se hicieron durante el tiempo de simulación (720 días).

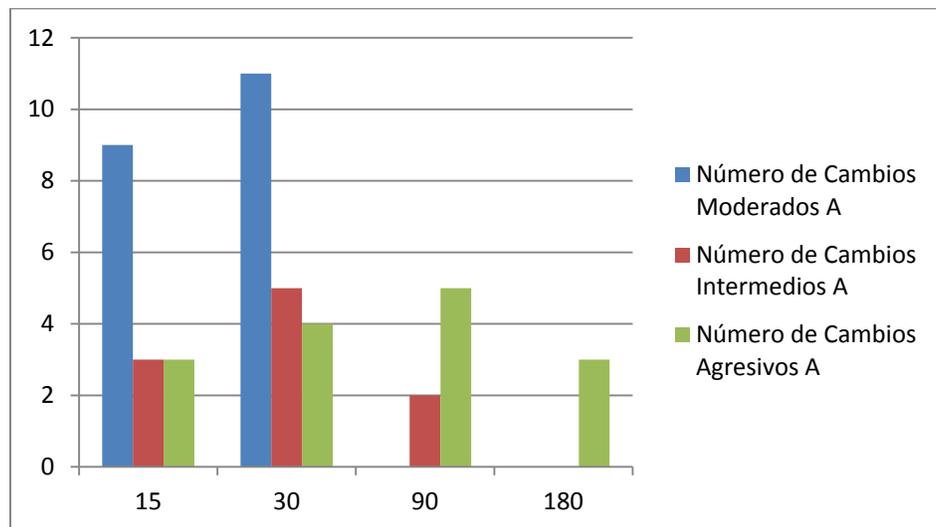


Figura 5.55: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto A

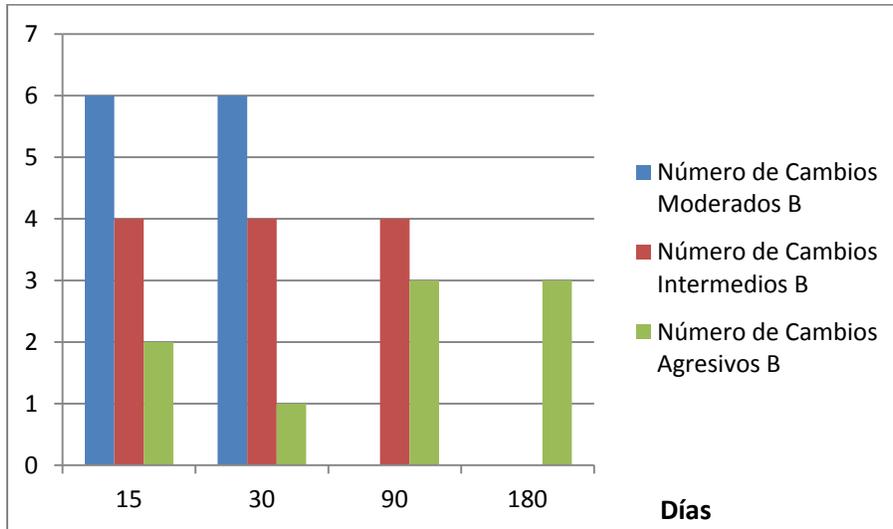


Figura 5.56: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto B

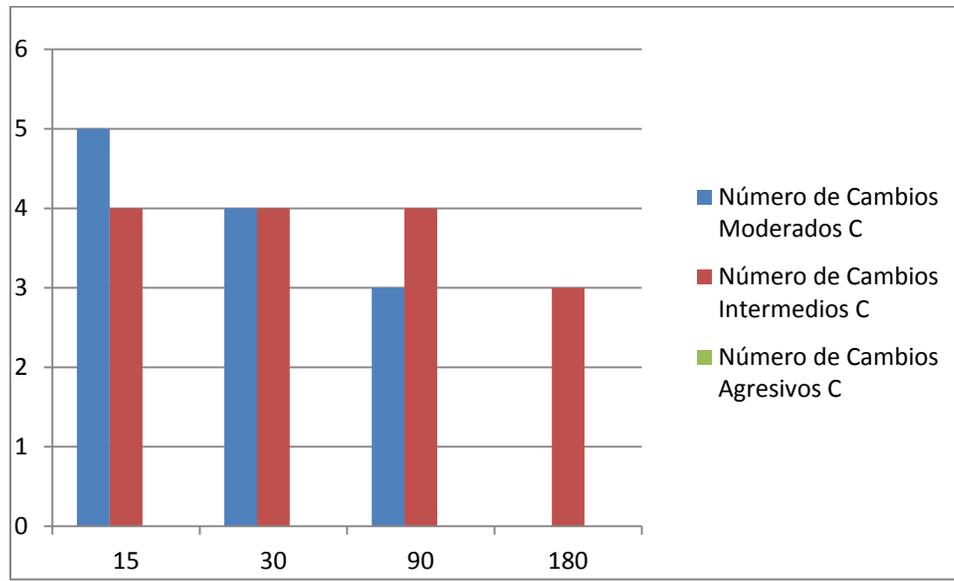


Figura 5.57: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto C

Al observar cada una de las gráficas, se aprecia que a medida que se revisa más lejos en el tiempo los cambios son netamente agresivos e intermedios. Mientras que con frecuencias

menores, de 15 y 30 días, existe mayor cantidad de cambios moderados y menos cambios intermedios y agresivos.

El número de cambios realizados para una frecuencia de 30 días es mayor a la cantidad de cambios realizados para una frecuencia de 15 días. Sin embargo, al revisar cada 15 días se hace un total de 48 revisiones en dos años, mientras que revisando cada 30 días se hace un total de 24 revisiones. Por esto, ambas frecuencias son recomendables porque garantizan un buen nivel de servicio (mayor al 85%), con 15 días se entra más veces al sistema pero se realizan menos cambios y con 30 días se entra menos veces pero se hace mayor cantidad de cambios, dependerá de la organización seleccionar cuál es mejor en función de sus necesidades y limitaciones.

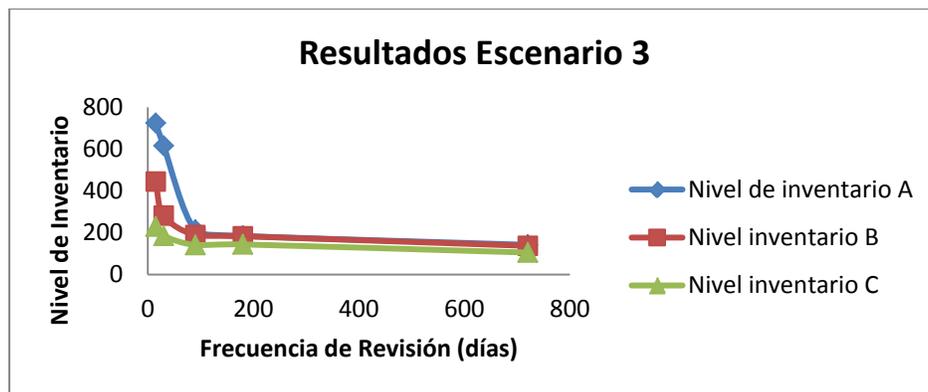


Figura 5.58: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de revisión Escenario 3

Es importante estudiar el comportamiento del nivel de inventario promedio frente a los diferentes periodos de reprogramación. Cuando estos niveles aumentan de manera significativa, aumentan proporcionalmente los costos de inventario.

Para este tercer escenario (figura 5.58), el cual a diferencia de los dos anteriores, considera una demanda con muchas variaciones en el tiempo, el nivel de inventario promedio es más alto a medida que la frecuencia de revisión es más pequeña y a partir de aproximadamente 180 días, disminuye y se estabiliza en el tiempo.

La revisión del nivel de inventario promedio permite tener un control de los costos que se incurren al aumentar los niveles de reorden de los productos cuando se aplican las políticas

de revisión y reprogramación. A pesar de que para los primeros dos escenarios (figura 5.51 y figura 5.53), no hubo variaciones considerables, siempre es importante estudiar el comportamiento de los inventarios promedios, ya que cuando hay mucha variabilidad, como el caso del escenario 3, si pueden ocurrir cambios que ameriten tomar acciones para evitar que los costos de inventario aumenten y conlleve a pérdidas para la empresa.

5.7.2. Efectos de la variación de los períodos de reprogramación sobre los diferentes patrones de demanda (Poisson, Variabilidad Intermedia y Variabilidad Alta) en una cadena de suministro que trabaje con venta inmediata o diferida con regla de prioridad menor holgura:

Al analizar la frecuencia de revisión en los tres patrones de demanda estudiados en la sección 5.7.1, se observa que hay un impacto en cada uno de ellos, más no en la misma magnitud. Para la demanda Poisson, el rango de variación es relativamente pequeño, debido a que la demanda es predecible y no presenta variaciones que ameriten cambios significativos en el sistema.

Seguidamente se estudia una demanda de variabilidad intermedia, la cual considera esos cambios que comúnmente están presentes en el mercado y donde la demanda no siempre se puede predecir de manera acertada. Los rangos de variación para este tipo de demanda son más amplios que para una demanda Poisson, porque como existen cambios en el comportamiento de la demanda, el sistema revisa y toma acciones que permitan adaptarse a los mismos. Entre más frecuentemente el sistema revisa, más rápido puede ejecutar los cambios. Mientras que si nunca revisa, el sistema no está armonizado con el nuevo comportamiento de la demanda y su nivel de servicio baja, provocando que los rangos de variación sean más grandes entre trabajar con políticas de reprogramación y trabajar según la modalidad tradicional.

Para una demanda de variabilidad alta, la cual se asemeja aún más a la realidad del mercado venezolano o demandas de productos nuevos que se están estabilizando en el mercado, se puede notar que los rangos de variación del desempeño del sistema ante las diferentes

frecuencias de revisión son mayores. Por lo cual, el impacto de la frecuencia de reprogramación es de mayor magnitud para este tipo de demanda.

5.7.3. Efecto de variar los periodos de reprogramación en cadenas de suministro bajo la modalidad de venta total o parcial (back order) con regla de prioridad tiempo de holgura.

Resultados escenario 7 y escenario 10:

En la tabla 5.6 se muestra el desempeño del sistema bajo diferentes periodos de reprogramación. Se variaron los periodos de reprogramación en los rangos de 15 días a 720 días. En la tabla, las columnas corresponden al promedio del nivel de servicio para cada tipo de producto (A, B y C) y en las filas corresponde a los diferentes periodos de reprogramación bajo los cuales se simuló el modelo.

Tabla 5.6: Venta total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda Poisson con y sin frecuencia de reprogramación.

	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
Escenario 7	15	0,9767 ±0,00098	0,9862 ±0,00079	0,9986 ±0,0004
	30	0,9760 ±0,00193	0,9862 ±0,00105	0,9986 ±0,0007
	90	0,9788 ±0,00187	0,9874 ±0,00113	0,9986 ±0,00101
	180	0,9809 ±0,00206	0,9893 ±0,00194	0,9986 ±0,00112
Escenario 10	720	0,9412 ±0,002524	0,9862 ±0,00207	0,9986 ±0,00157

La figura 5.59 se muestra el grafico que representa en el eje X el valor de la frecuencia de reprogramación en días y el eje Y el nivel de servicio promedio para cada tipo de producto.

En el producto A, se puede notar que en los periodos de reprogramación en el rango de 15 días a 180 días, el nivel de servicio va disminuyendo pero en proporciones casi despreciables. Se observa una disminución apreciable del nivel de servicio cuando no se revisa el sistema (frecuencia 720 días), la cual se comprobó mediante una prueba de hipótesis para corroborar que no se debía a la variabilidad de la muestra tomada (ver apéndice 3), arrojando que existe una variación estadística significativa. Para los productos B y C, los valores de nivel de servicio no varían en ninguno de los periodos de reprogramación, incluyendo el periodo de 720 días en el cual nunca se revisa el sistema.

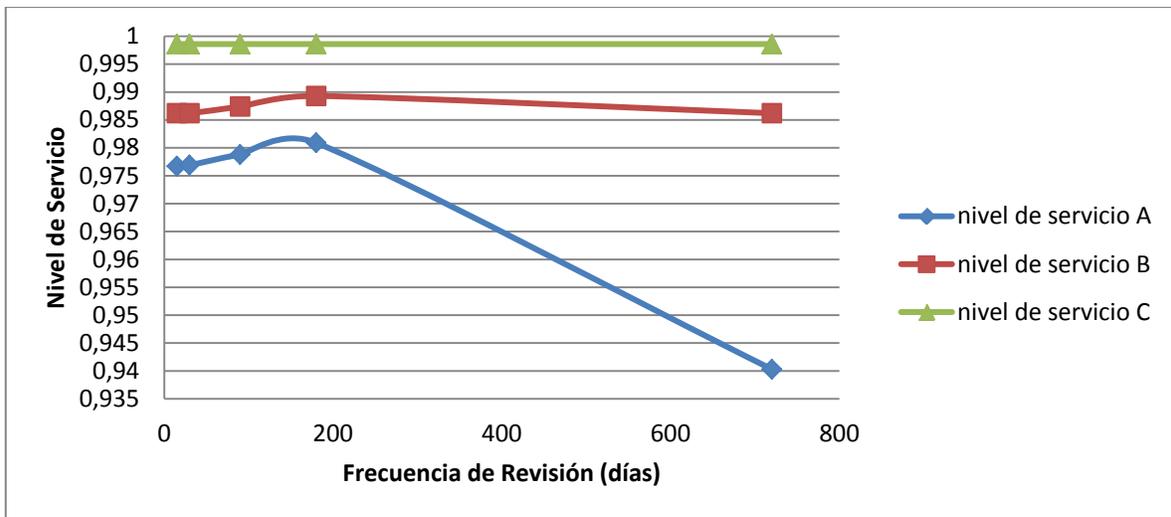


Figura 5.59: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 7 y 10.

De igual forma como ocurrió con un sistema que trabaja con la modalidad de venta inmediata o diferida, en venta parcial o total (back order) no se puede concluir cual debería ser la mejor frecuencia de revisión porque la demanda considerada para este escenario tiene una baja variabilidad y no se hacen cambios significativos. Sin embargo, al realizar la prueba de hipótesis se comprobó que el nivel de servicio disminuyó (aunque en porcentajes bajos) a medida que revise más lejos en el tiempo.

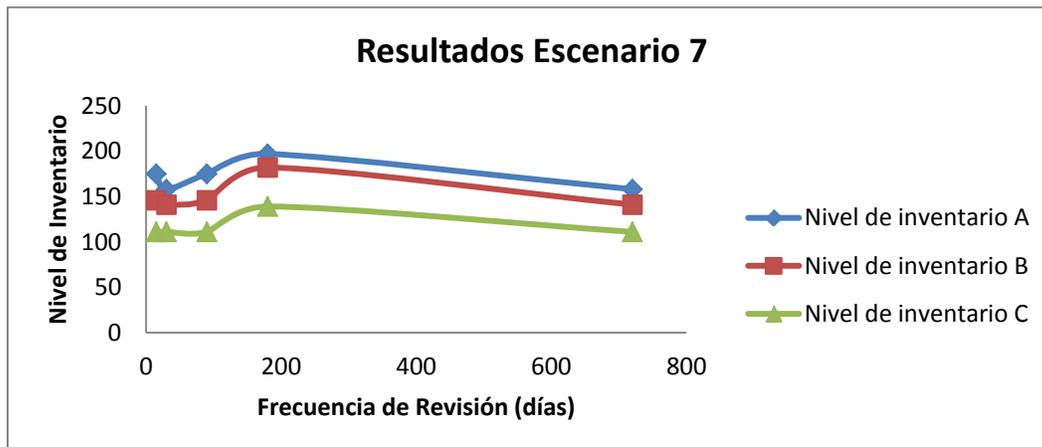


Figura 5.60: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de revisión Escenario 7

Al analizar el efecto de la frecuencia de revisión y reprogramación sobre el nivel de inventario promedio, para un sistema de venta parcial o back order que considera una demanda Poisson con baja variabilidad, se aprecia un comportamiento parecido al de un sistema de venta perdida o diferida. Observándose que no hay variaciones significativas en los niveles de inventario promedio (figura 5.60).

Resultados escenario 8 y escenario 11:

En la tabla 5.7, se muestra los niveles de servicio promedio para cada tipo de producto (A, B y C) obtenidos para cada frecuencia de reprogramación.

Tabla 5.7: Venta total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Intermedia con y sin frecuencia de reprogramación.

	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
Escenario 8	15	0,9756 ±0,00501	0,9784 ±0,00217	0,9704 ±0,0001
	30	0,9663 ±0,00644	0,9769 ±0,00301	0,9701 ±0,0001
	90	0,9633 ±0,00703	0,9645 ±0,00305	0,9696 ±0,0012
	180	0,9661 ±0,00201	0,9632 ±0,00291	0,9734 ±0,002
Escenario 11	720	0,9057 ±0,00894	0,9444 ±0,00723	0,9716 ±0,0041

En este caso, como se muestra en la figura 5.61, el producto A y el producto B, en los rangos de frecuencia de revisión de 15 días a 180 días, tiene disminuciones no significativas en el nivel de servicio. Pero cuando se deja de revisar el sistema, que corresponde a la frecuencia de 720 días, si hay una disminución estadística significativa del nivel de servicio (ver prueba de hipótesis en el Apéndice 3), siendo mayor para el producto A posiblemente por ser el de mayor demanda y el más sensible a los cambios. En el caso del producto C, no hubo cambios apreciables para ningunos de los rangos estudiados.

En este escenario se trabaja con venta parcial o total back order y una demanda de variabilidad intermedia, los resultados obtenidos en el nivel de servicio para frecuencias entre 15 días y 180 días no varían significativamente a diferencia como ocurría con estas mismas condiciones en un sistema de venta inmediata o diferida. Por lo cual, una frecuencia de revisión de 180 días garantiza un nivel de servicio mayor al 96% para cada tipo de producto.

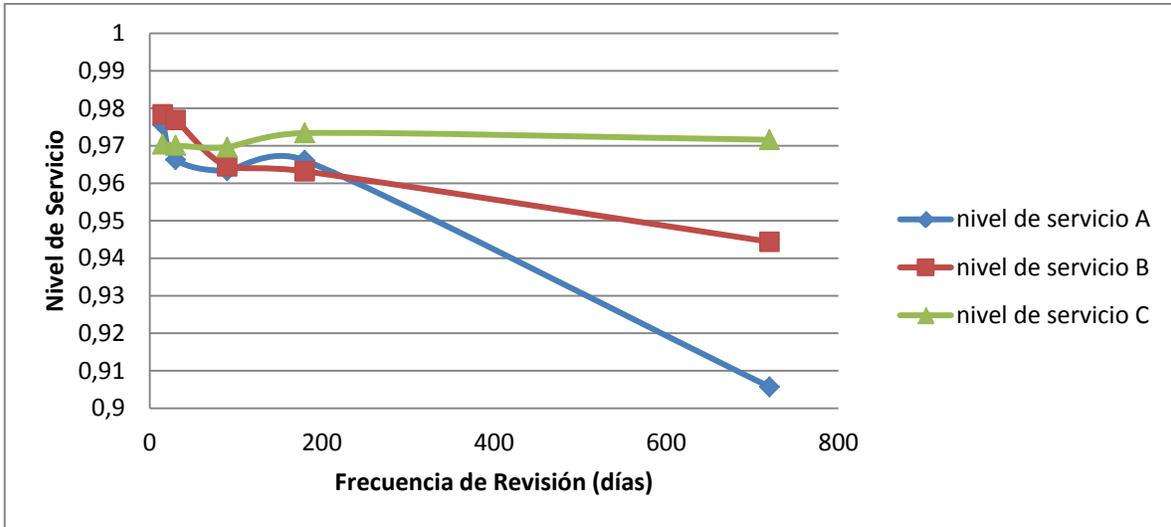


Figura 5.61: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 8 y 11.

Como se observa en la figura 5.62, de igual forma como ocurrió en el escenario 2 (sección 5.7.1), el nivel de inventario promedio se mantiene estable ante las diferentes frecuencias de revisión por lo tanto la aplicación de una revisión periódica no incurre en un aumento significativo de los costos.

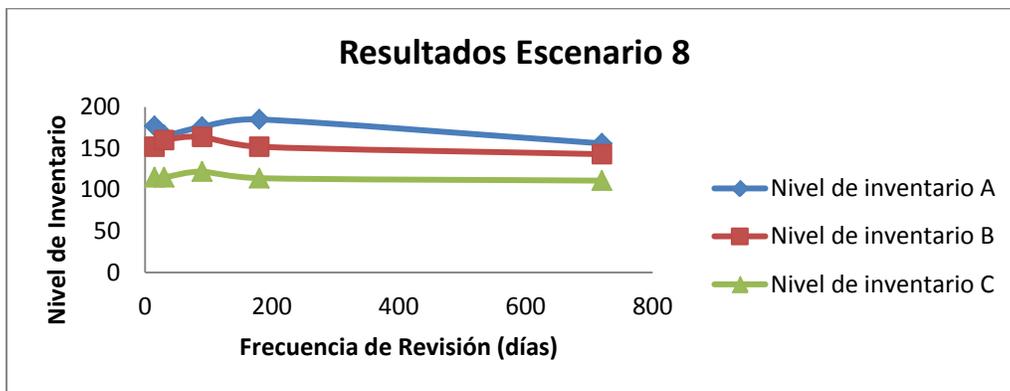


Figura 5.62: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de revisión Escenario 8

Resultados escenario 9 y escenario 12:

Al igual que la tabla 5.7, la tabla 5.6 muestra los niveles de servicio promedio para cada tipo de producto (A, B y C) obtenidos para cada frecuencia de reprogramación.

Tabla 5.7: Venta total o parcial (back order) bajo un sistema de producción MTS con regla de prioridad tiempo de holgura utilizando una Demanda de Variabilidad Alta con y sin frecuencia de reprogramación.

	Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
Escenario 9	15	0,9561 ±0,00	0,9637 ±0,00	0,9733 ±0,00
	30	0,9409 ±0,01	0,9456 ±0,00	0,9546 ±0,01
	90	0,8824 ±0,01	0,889 ±0,01	0,9277 ±0,01
	180	0,881 ±0,01	0,8978 ±0,01	0,927 ±0,01
	Escenario 12	720	0,6969 ±0,01	0,8517 ±0,01

Como se observa en la figura 5.63, el nivel de servicio promedio para los tres productos disminuye considerablemente a medida que la frecuencia de revisión es mayor. Siendo más significativa esta variación para el producto A, luego la del producto B y por último la del producto C. Además, cuando no se revisa el sistema, el nivel de servicio es mucho menor en comparación a cuando se tienen políticas de revisión y reprogramación. Por ejemplo, para el producto A, disminuye de valores entre 95-88% a un valor de aproximadamente 69%.

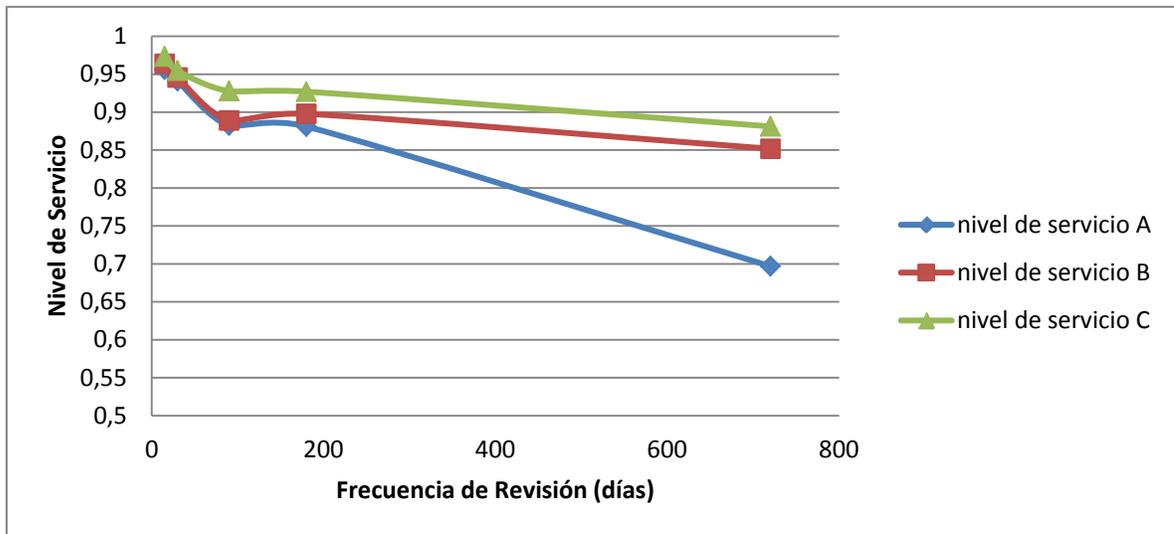


Figura 5.63: Gráfico de nivel de servicio vs frecuencia de revisión para escenario 9 y 12.

En este escenario, la frecuencia de revisión tiene un alto impacto en el desempeño del sistema. Para frecuencias mayores a 90 días, el nivel de servicio es inferior al 90%. Mientras que para frecuencias entre 15 y 30 días, el nivel de servicio está entre un 94% - 95%.

Si se analiza detalladamente la cantidad de cambios que se realizan y la intensidad de los mismos (cambios moderados, intermedios y agresivos) para cada frecuencia de revisión y por cada tipo de producto (mostrados en las gráficas 5.64, 5.65 y 5.66), se puede concluir que la mejor frecuencia de revisión es de 30 días. Esto es debido, a que el número de cambios realizados para una frecuencia de 30 días es menor a la cantidad de cambios realizados para una frecuencia de 15 días, además de que presenta menos cambios agresivos que para frecuencias mayores.

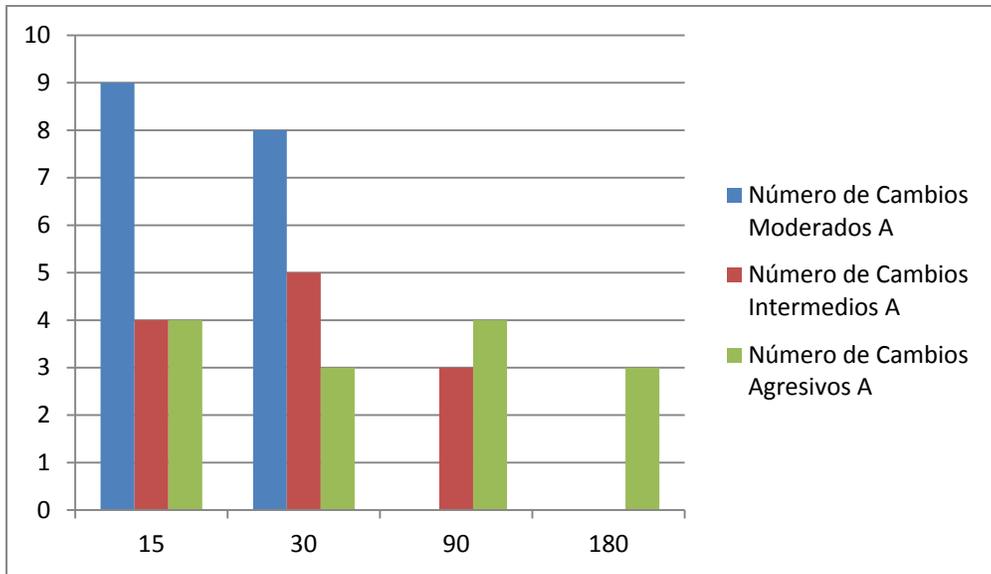


Figura 5.64: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto

A

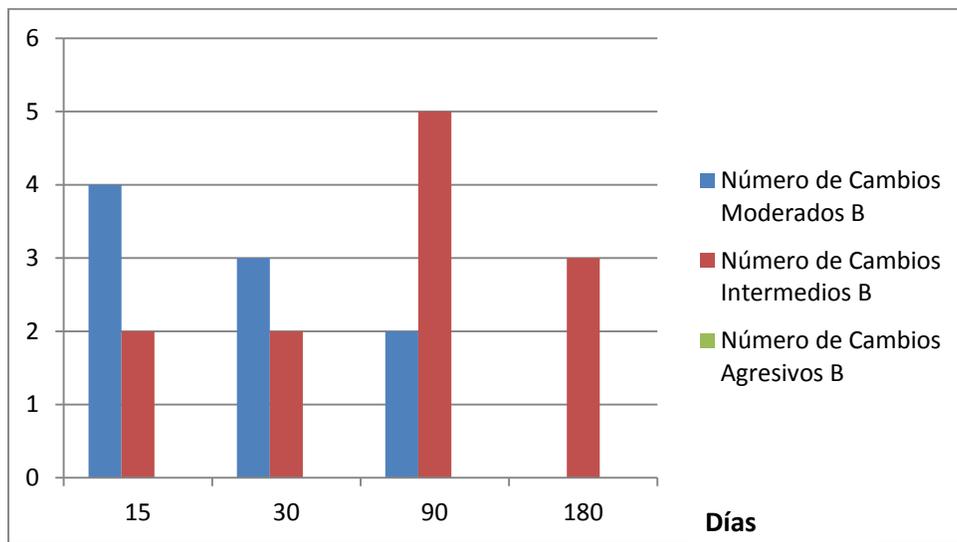


Figura 5.65: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto

B

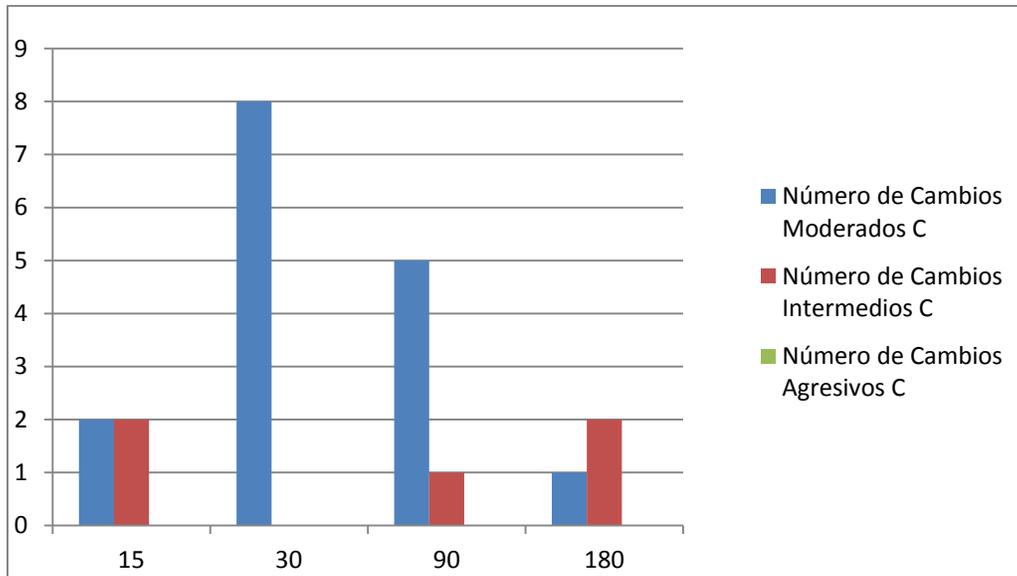


Figura 5.66: Número de cambios moderados, intermedios y agresivos para el producto C

Para este escenario, que considera una demanda con alta variabilidad, el nivel de inventario promedio aumenta cuando se revisa más frecuentemente el sistema (figura 5.67), siendo este rango de aumento del nivel de inventario promedio de menor magnitud que para el mismo escenario pero con modalidad de venta inmediata o diferida.

De igual forma, a pesar de que los rangos de variación sean más pequeños, en sistemas de venta total o parcial (back order) también es importante revisar el nivel de inventario promedio para controlar que los costos que se incurren al aumentar los niveles de reorden de los productos cuando se aplican las políticas de revisión y reprogramación no aumenten en grandes proporciones.

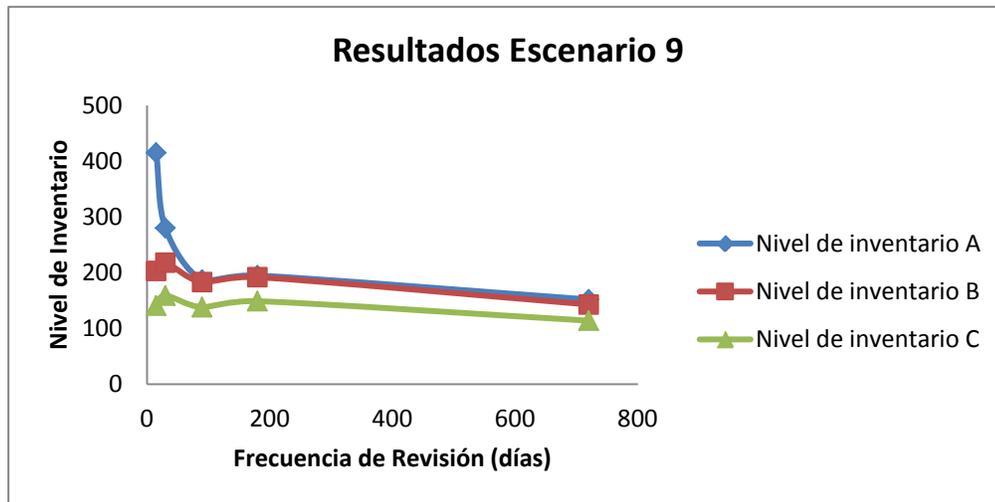


Figura 5.67: Gráfico de niveles de inventario promedio vs Frecuencia de Escenario 9

5.7.4. Comparación de los efectos de la variación de los períodos de reprogramación entre un sistema de venta inmediata o diferida y un sistema de venta total o parcial (back order):

El sistema de venta total o parcial (back order) presenta un comportamiento similar a un sistema de venta inmediata o diferida. Los rangos de variación de los niveles de servicio aumentan de magnitud, a medida que la demanda es más variable en el tiempo. Para cada patrón de demanda (aleatoria, poco cambiante y muy cambiante) se observa que mientras los periodos de reprogramación sean más largos, el nivel de servicio disminuye.

El impacto de la frecuencia de reprogramación en el sistema de venta inmediata o diferida es mayor que en el sistema que acepta venta parcial o back order. Esto se debe, a que los sistemas de venta total o parcial, permiten que en caso de no ocurrir la venta inmediata, el cliente adquiera aunque sea una parte de su pedido, teniendo la posibilidad de buscar el resto en una fecha posterior acordada con la empresa. Siendo esta la razón de que este tipo de sistemas obtenga un mejor nivel de servicio, porque al tener producto en inventario no dejan insatisfechos a los clientes sino que lo satisfacen parcialmente (aunque no sea un 100%). Por otra parte, la venta parcial o back order hace al sistema menos sensible a los cambios en el comportamiento del mercado, ya que mientras se adapta a las nuevas

condiciones, puede satisfacer aunque sea de manera parcial a sus clientes, mientras que los sistemas de venta inmediata o diferida no lo permiten, haciéndolos más limitados a la hora de responder ante los mismos cambios.

5.7.5 Efecto sobre un sistema de venta total o parcial (back order) cuya producción es insuficiente:

En la realidad, un sistema productivo MTS planifica su producción en base a una demanda pronosticada. Sin embargo, puede ocurrir que en ciertas ocasiones la empresa no logre satisfacer todas las unidades demandadas, por lo cual recurren a la modalidad de hacer ventas parciales con back order para contrarrestar esta situación.

Las ventas parciales o back order se utilizan por dos razones fundamentales: Para minimizar el efecto de la dispersión en la demanda, es decir, a veces los clientes hacen sus pedidos a destiempo (lo que normalmente pedirían mañana, lo solicitan hoy) y a través de las ventas parciales y back order se busca estandarizar los tamaños de lote a una producción nivelada. La segunda razón se debe a un aumento en la demanda, existen mayor cantidad de clientes y se demandan más unidades de las que fueron pronosticadas.

El objetivo final de trabajar con back order es aumentar el nivel de servicio que se presta a los clientes. Sin embargo, los sistemas que aceptan ventas parciales y back order no siempre son favorables. Cuando existe una demanda nueva que no se está considerando en el sistema y se sigue produciendo las mismas cantidades, cada vez que se realiza una venta parcial a un cliente se consumen las unidades que quedan en inventario provocando que los próximos clientes que lleguen no consigan producto y sean ventas perdidas. Esto ocurre porque no se está reponiendo las unidades que fueron vendidas a través de ventas parciales y back order. En este caso, el nivel de servicio disminuye abruptamente en vez de aumentar que era el objetivo deseado. Esta situación se simuló mediante el escenario 13 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.8, donde existen niveles de servicio inferiores a 21%.

Tabla 5.8: Niveles de servicio para un sistema de venta total o parcial (back order) cuya producción es insuficiente

Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
30	0,2566 ±0,15	0,2616 ±0,15	0,6233 ±0,13
90	0,2091 ±0,12	0,3512 ±0,10	0,9826 ±0,11

Para compensar esta situación anteriormente descrita, el sistema productivo debe producir el tamaño de lote más las unidades que se consumieron por venta parcial y las que se deben entregar por back order. Cuando se trabaja de esta manera, la demanda aumenta ya que se está satisfaciendo pedidos que antes quedaban como ventas perdidas.

Las empresas deben tomar la decisión de vender con back order o no, en base a la capacidad del sistema y si ésta se encuentra alineada con la demanda que se tiene actualmente. Si la capacidad de producción es muy limitada respecto a la demanda actual, no es aconsejable que la organización acepte back order, porque al realizar ventas parciales está aumentando su demanda, razón por la cual, cualquier empresa antes de trabajar con esta modalidad, debe realizarse la siguiente pregunta ¿Se tiene la capacidad de producción suficiente para cubrir la nueva demanda?

Cuando las empresas tienen la capacidad de cubrir la nueva demanda, si es aceptable que se trabaje con una modalidad de venta con back order.

Si las empresas no tienen capacidad suficiente, al trabajar con una modalidad de back order se van a vender la misma cantidad de unidades a mayor cantidad de clientes, lo que trae como consecuencia mayor cantidad de clientes insatisfechos y por ende el nivel de servicio va a disminuir. Esta situación es similar a lo que ocurre en el entorno venezolano, ya que una parte de los clientes se lleva todo lo que se produce y como no hay capacidad suficiente

para producir más, los clientes que quedaron insatisfechos deben estar pendientes de cuando lleguen nuevos productos para no quedar nuevamente sin adquirir sus pedidos.

Mediante la simulación de este escenario, se puede reflejar la gran cantidad de clientes que quedan insatisfechos cuando las empresas tienen capacidad limitada, siendo este entorno de gran interés para desarrollar un trabajo donde se pueda estudiar más a fondo dicha situación.

5.7.6 Efecto de la frecuencia de fallas en una cadena de suministro cuya capacidad es insuficiente.

En toda organización siempre va haber presencia de fallas. Para analizar el efecto de las mismas dentro del sistema, se simularon tres escenarios: escenario 3 constituido con las fallas comunes dentro de una organización y que fueron consideradas para el submodelo de fallas utilizado por los escenarios anteriores; para el escenario 14 se aumentan los parámetros de las fallas a un caso más grave y en el escenario 15 se mantienen los parámetros como el caso anterior pero la empresa cuenta con la mitad de la capacidad de producción. Por último se analiza un sistema sin fallas, comparando cada uno de estos escenarios para cada tipo de producto (A, B y C).

En la tabla 5.9, tabla 5.10, tabla 5.11, tabla 5.12, se muestra los niveles de servicio promedio para un sistema sin fallas, para un sistema con fallas moderadas, sistema con fallas graves y sistema con fallas graves pero con la mitad de la capacidad de producción, respectivamente.

Tabla 5.9: Niveles de servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema sin fallas

Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
15	0,9471 ±0,002	0,9647 ±0,002	0,9534 ±0,001
30	0,9013 ±0,001	0,9219 ±0,002	0,9249 ±0,003
90	0,7507 ±0,001	0,8528 ±0,002	0,8605 ±0,003
180	0,6936 ±0,002	0,8019 ±0,001	0,8199 ±0,002

Tabla 5.10: Niveles de servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con fallas comunes (escenario 3)

Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
15	0,9443 ±0,002	0,9453 ±0,001	0,9635 ±0,0009
30	0,8841 ±0,0019	0,9282 ±0,001	0,9426 ±0,001
90	0,7761 ±0,002	0,8304 ±0,001	0,8688 ±0,001
180	0,6934 ±0,003	0,8029 ±0,002	0,8236 ±0,001

Tabla 5.11: Niveles de servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con fallas graves (escenario 14).

Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
15	0,9311 ±0,001	0,9329 ±0,002	0,9575 ±0,001
30	0,8789 ±0,003	0,928 ±0,002	0,9307 ±0,002
90	0,7612 ±0,002	0,8171 ±0,003	0,8337 ±0,003
180	0,699 ±0,001	0,7782 ±0,003	0,8175 ±0,002

Tabla 5.12: Niveles de servicio para un sistema de venta inmediata o diferida bajo un sistema con fallas graves con la mitad de la capacidad de producción (escenario 15).

Frecuencia (Días)	Nivel de servicio A	Nivel de servicio B	Nivel de servicio C
15	0,7551 ±0,02	0,7981 ±0,01	0,3639 ±0,03
30	0,7575 ±0,01	0,6578 ±0,00	0,3207 ±0,02
90	0,6865 ±0,01	0,6425 ±0,01	0,5959 ±0,01
180	0,6366 ±0,01	0,6793 ±0,01	0,7372 ±0,01

Cuando el sistema se encuentra trabajando a plena capacidad de producción, no se percibe gran diferencia entre los casos de un sistema sin fallas (tabla 5.9), con fallas moderadas (tabla 5.10) o con fallas más graves (tabla 5.11). Esto puede deberse a que la capacidad del

sistema es mucho mayor que la demanda atendida, por lo cual, al presentarse alguna falla, no causa mayor efecto dentro de la empresa.

Sin embargo, existen muchas organizaciones que cuentan con una capacidad limitada y pueden ser más susceptibles ante la presencia de fallas. Por eso, se estudia el escenario 15 (tabla 5.12) que hace las mismas consideraciones de fallas graves del escenario 14 con la excepción que cuenta con la mitad de la capacidad de producción. Para todos los escenarios, la capacidad del sistema es de 400 unidades/día y para este escenario se redujo a 200 unidades/día.

Cuando los sistemas cuentan con una capacidad limitada respecto a la demanda, las fallas sí tienen un impacto notable dentro del sistema. Los niveles de servicio promedio disminuyeron significativamente ante la presencia de las mismas fallas consideradas cuando el sistema trabaja a plena capacidad. En la figura 5.68 y la figura 5.69, para el producto A y producto B, respectivamente, se visualiza que la curva del nivel de servicio para el escenario 15 está varias unidades por debajo de las curvas de los otros tres escenarios que trabajan con toda la capacidad.

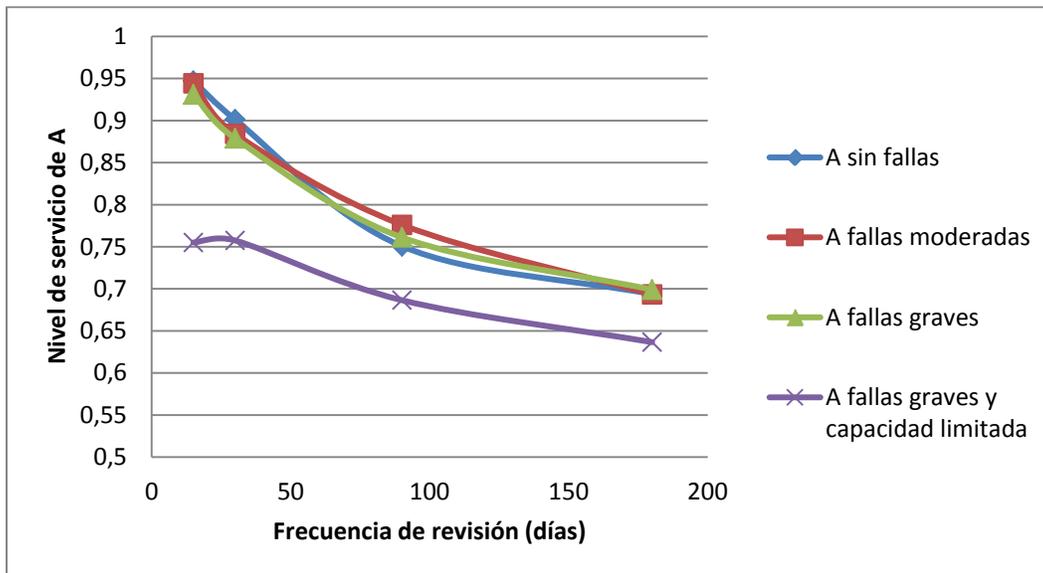


Figura 5.68: Gráfico de nivel de servicio A vs Frecuencia de revisión para los diferentes escenarios de fallas

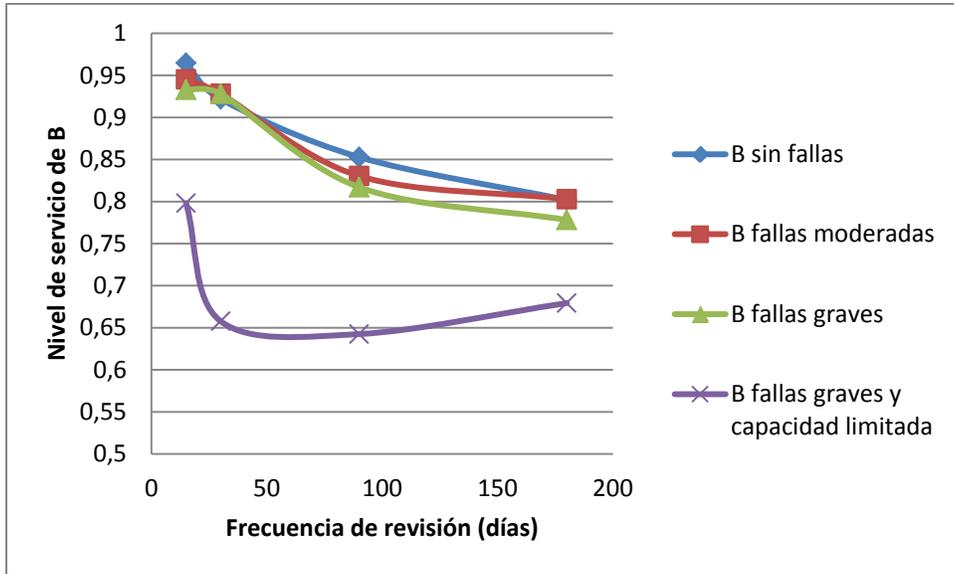


Figura 5.69: Gráfico de nivel de servicio B vs Frecuencia de revisión para los diferentes escenarios de fallas

CONCLUSIONES:

A continuación se definen las principales conclusiones que se pudieron deducir de la realización de este estudio.

1. La frecuencia de revisión y reprogramación si tiene un impacto significativo en el desempeño de una cadena de suministro, el cual depende de la variabilidad a la que esté expuesto el sistema. Esto se evidenció en todos los escenarios de estudio observados en la **sección 5.7**, tanto para sistemas con venta inmediata o diferida como para sistemas que aceptan ventas parciales y back order, considerando o no fallas dentro del proceso; lo que permite concluir que independientemente del sistema por el cual trabaje la empresa, contar con un sistema de revisión y reprogramación de las políticas de inventario y de producción, permitirá mejorar los indicadores de gestión que determinan la eficiencia de la organización. Además, se comprobó que al revisar más frecuentemente, más rápido se detectan los cambios y el sistema puede ajustar sus procesos a las nuevas condiciones, mientras que entre más tarde revise, más tardará en hacer los cambios necesarios para adaptarse a las nuevas necesidades del mercado.

Con relación a los aspectos relacionados con la demanda, se pudo concluir lo siguiente:

2. Cuando se produce más de un tipo de producto, el impacto de la frecuencia de revisión es mayor para los productos más demandados que para los productos de menor demanda. Debido a que mientras más se demande un tipo de producto, su inventario se consume más rápido, su velocidad de respuesta debe ser mayor y por ende es más sensible a las fallas que puedan alterar los procesos, a los cambios que ocurren en la demanda y en el sistema de producción, entre otros.

3. El análisis de la frecuencia de revisión utilizando los tres patrones de demanda diferentes, permitió concluir que entre más variable es la demanda en el tiempo mayor es el impacto de la frecuencia de reprogramación en el desempeño del sistema. Observándose, por ejemplo en la **sección 5.7.1** para el producto A, que cuando no se aplicaba la frecuencia de reprogramación (es decir, cuando nunca se revisó el sistema) para el caso de un sistema de venta inmediata o diferida si la demanda sólo variaba por componentes aleatorios, el nivel de servicio fue de 93,54%, para la demanda que tenía variaciones considerables en los

tamaños de lote, el nivel de servicio disminuyó a 91,46 % y para la demanda con mayores fluctuaciones e inestabilidad en el tiempo, el nivel de servicio llegó a valer 58,29%. Esto evidencia, que cuando un sistema no se revisa y ocurren variaciones en la demanda (demanda de variabilidad intermedia y demanda de variabilidad alta), el nivel de servicio disminuye y es probable que el desempeño de la organización llegue a ser ineficiente (ver **sección 5.7.2**).

Con relación a los aspectos relacionados con los indicadores de gestión, cabe destacar lo siguiente:

4. Los indicadores de gestión son una herramienta valiosa, pues a través de ellos se pueden evaluar la magnitud y eficiencia de variables con el fin de tomar acciones correctivas de una situación. En este trabajo se utilizaron como indicadores de gestión el nivel de servicio y el nivel de inventario promedio, los cuales sirvieron de guía para determinar cuándo era necesario realizar cambios en el nivel de reorden y en los tamaños de lote de cada producto.

5. El aumento del nivel de reorden cuando el nivel de servicio está fuera de las tolerancias establecidas como satisfactorias en el sistema, permitió demostrar que al aumentar el nivel de reorden se aumenta el nivel de servicio. Debido a que se asegura contar con inventario a la mano suficiente para satisfacer la demanda de los clientes, mientras se están produciendo las órdenes. Un nivel de servicio bajo es indicativo de que el nivel de reorden no es suficiente para cubrir la demanda mientras se fabrican los tamaños de lote de este producto.

6. La disminución de los tamaños de lote cuando el nivel de inventario promedio supera al valor máximo establecido por la empresa, permitió demostrar que si se disminuyen los tamaños de lote de un producto se disminuye el nivel de inventario promedio de este producto. Además, según lo reflejado en las **secciones 5.7.1 y 5.7.3**, permitió concluir que es necesario controlar el comportamiento de los niveles de inventario promedio de los productos, porque de esta forma se puede garantizar un equilibrio entre el aumento del nivel de reorden realizado por la reprogramación y el costo que conlleva aplicarlo, asegurando por una parte la presencia de inventario para cubrir la demanda de los clientes, y por otra, que no aumenten los costos más allá del presupuesto establecido por la organización.

En lo referente al tipo de sistema de venta y comercialización, se concluyó lo siguiente:

7. Al comparar las **secciones 5.7.1 y 5.7.3**, se pudo evaluar que la frecuencia de reprogramación tiene mayor impacto en aquellos sistemas que trabajan con venta inmediata o diferida que en los sistemas que trabajan con ventas parciales y back order. Debido a que las organizaciones que aceptan ventas parciales y back order pueden mejorar su nivel de servicio ofreciéndole a sus clientes al menos una parte de su pedido con la posibilidad de obtener el resto en una fecha posterior, como se evidenció en todos los escenarios estudiados, como por ejemplo, en los resultados del nivel de servicio para el producto A sin revisión para una demanda muy cambiante, donde para sistemas de venta inmediata o diferida su valor fue de 58,29% mientras que para los sistemas que aceptan back order fue de 69,69%. (Ver **sección 5.7.4**)

8. Como se pudo observar en la **sección 5.7.5**, cuando un sistema trabaja con la modalidad de ventas parciales y back order y no repone las unidades que fueron vendidas a través de esta modalidad, el nivel de servicio disminuye abruptamente en vez de aumentar. Esto ocurre cuando las organizaciones no tienen la capacidad suficiente para producir el tamaño de lote de los productos más lo que quedó pendiente por entregar a los clientes que aceptaron back order. Esta situación se observó en los resultados obtenidos en la simulación del escenario 13, donde el nivel de servicio del producto A llegó a valer 20,91%.

En cuanto a la presencia de fallas que afectan al nivel de continuidad operativa, se observó lo siguiente:

9. Los sistemas siempre están expuestos a fallas que afecten su funcionamiento. El análisis de la variación en las magnitudes y frecuencia de ocurrencia de las fallas (gravedad de las fallas), permitió demostrar que cuando una organización tiene una capacidad de producción mayor a su demanda, las fallas afectan de manera poco significativa o incluso son imperceptibles en el rendimiento del sistema. Sin embargo, cuando la capacidad es limitada con respecto a la demanda, las fallas afectan negativamente el rendimiento de la empresa, provocando que el nivel de servicio disminuya, como se evidenció en los resultados obtenidos en la simulación de los escenarios 14 y 15 presentados en la **sección 5.7.6**.

Para la determinación de la mejor frecuencia de revisión, es importante acotar las siguientes conclusiones:

10. Después de la simulación de los escenarios, se pudo determinar que los periodos de reprogramación cortos son siempre beneficiosos para el sistema. Pero también, a partir de los resultados, se notó que las mejoras obtenidas reduciendo los periodos de reprogramación no son significativas hasta más allá de cierto punto, en el caso específico de los escenarios considerados en este estudio, entre las frecuencias de 15 y 30 días de revisión los resultados no tienen variaciones apreciables, pero a partir de los 30 días se empieza a observar claramente una disminución del nivel de servicio a medida que las frecuencias de reprogramación disminuyen.

11. La asignación de diferentes frecuencias de revisión permitió evaluar el impacto que tiene el tamaño del periodo de reprogramación en el desempeño del sistema, en este caso, a través de la medición del nivel de servicio y el nivel de inventario promedio. Y de esta forma poder concluir cuál es la frecuencia de revisión más adecuada para una organización determinada. En esta investigación, se trabajó con sistemas hipotéticos que representaran las condiciones más comunes dentro de las organizaciones, observándose que con una frecuencia de revisión de 30 días se puede garantizar un alto nivel de servicio sin aumentar significativamente los costos de inventario, teniendo para cada uno de los escenarios un desempeño eficiente, siendo el nivel de servicio en los casos más extremos de un 88% (venta inmediata o diferida con demanda de variabilidad alta, **tabla 5.5**) y de un 94% (venta total o back order con demanda de variabilidad alta, **tabla 5.7**).

Es importante acotar, que no existe una frecuencia "óptima" de reprogramación sino que va a depender de la variabilidad a la que esté expuesta la organización, de su competitividad y de qué tan alto desee que sea su nivel de servicio que en muchos casos depende de las exigencias propias del mercado. Por lo tanto, se debe buscar la frecuencia de revisión que mejor se adapte a la naturaleza de la organización.

En general, se seleccionó 30 días porque no existen cambios significativos en los primeros 15 días y a partir de 3 meses, el nivel de servicio disminuye por debajo del 80%, lo cual se consideró ineficiente dada las condiciones económicas y las exigencias del mundo actual.

Además, existen muchas transacciones, cierre de actividades, actualización de status y de información, que se realizan cada fin de mes y es una buena oportunidad para revisar el desempeño del sistema mediante los indicadores y realizar cambios en caso de que se ameriten.

Con relación al apartado que contempla la aplicación de la simulación como herramienta de estudio, hay que señalar los siguientes logros:

12. A partir de las etapas de una cadena de suministro (demanda, reprogramación, inventario, producción), se pueden crear simuladores que se adapten fácilmente a cualquier tipo de organización manufacturera, en el cual se represente el proceso de producción de la misma, con todas las variables involucradas y la flexibilidad necesaria para adaptarse a los diferentes comportamientos de demanda.

13. Los simuladores permiten la modificación del sistema de manufactura a conveniencia del analista, logrando así determinar variables que pudieran haberse omitido durante la investigación, pues la herramienta permite validar y verificar que el sistema construido se asemeje a la realidad.

14. La simulación es una herramienta económica, pues no se necesita de la modificación del sistema real para evaluarlo acorde a las necesidades del analista.

RECOMENDACIONES:

En función de las conclusiones derivadas de este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones:

Para el Diseño del Modelo:

1. No se debe realizar modelos de simulación sobre-simplificados que omitan aspectos importantes del sistema, pues la calidad de los resultados que se obtienen va en función directa a los elementos que conforman al modelo, en consecuencia si se construye un modelo donde se omiten aspectos importantes del sistema que se quiere evaluar, las conclusiones no tendrán validez. Es por esto, que para construir un modelo de simulación que represente un sistema de manufactura real, es necesario tomar en cuenta todos los factores involucrados en dicho sistema, debido a que los resultados obtenidos del modelo de simulación servirán de bases para la toma de importantes decisiones.

2. En línea con lo anterior, al momento de construir un modelo de simulación, es recomendable desde el punto de vista metodológico, realizar la esquematización gráfica del problema que se quiere resolver, elaborar un diagrama de flujo que muestre gráficamente los pasos a seguir para alcanzar la solución de un problema y realizar el diagrama de simulación bajo el lenguaje del software a utilizar.

3. Para obtener conclusiones válidas con base a los resultados de los modelos de simulación es necesario que los mismos sean sometidos a los procesos de verificación y validación mediante los parámetros reales de una empresa en particular.

- Para las Políticas de Reprogramación y Control de la Producción:

4. Se recomienda que las organizaciones fijen un sistema de revisión periódica de las políticas de inventarios y producción apoyados en los últimos dos capítulos de este estudio, donde se indica paso a paso cómo desarrollar un sistema de revisión y reprogramación de políticas en función de indicadores de desempeño.

5. Al momento de seleccionar la frecuencia de revisión más adecuada para un sistema en particular, es pertinente desarrollar un simulador que represente el sistema real, de manera tal que permita orientar al analista en la toma de esta decisión.

- Respecto al uso de Indicadores de Gestión:

6. Las organizaciones deben realizar la revisión periódica de las políticas mediante indicadores de gestión que representen y tengan impacto dentro del estado actual del sistema. Una vez fijados los indicadores de mayor impacto en su desempeño, es recomendable elaborar una matriz en donde se visualicen los factores que aumentan o disminuyen el valor de éstos, permitiendo así determinar los posibles ajustes o acciones requeridas para mejorar la eficiencia y desempeño de la organización.

7. Para realizar cambios en las políticas, es recomendable que se fijen bandas de indiferencia, que permitan determinar cuándo es necesario tomar acciones correctivas. Si los valores de los indicadores están dentro de un rango establecido como satisfactorio, no será necesario realizar cambios. Mientras que si existe por lo menos un indicador fuera de la banda de indiferencia, se llevan a cabo cambios en los parámetros de las políticas. Esto es con la finalidad de evitar que se realicen cambios innecesarios en el sistema. En el caso específico de este estudio, para el indicador de nivel de servicio se aumentó el punto de reorden en función de la magnitud del rango de variación que se presentara, de igual forma se hizo para el nivel de inventario promedio.

- Para la Demanda:

8. Cuando las organizaciones producen más de un tipo de producto, es necesario que las políticas de revisión y reprogramación sean de mayor prioridad para aquellos productos que sean más demandados, debido a que los niveles de servicio de los productos de mayor demanda son los más afectados por la frecuencia de revisión de las políticas.

9. Se recomienda que las organizaciones realicen un estudio de la variabilidad de su demanda en el tiempo, para a través de estos datos desarrollar el modelo de simulación que permita orientar en la selección de la mejor frecuencia de reprogramación para su sistema. Esto es debido a que la frecuencia de reprogramación es más importante a medida que más

variaciones presente la demanda en el tiempo. Sin embargo, así la demanda sea estable, siempre es recomendable la revisión del desempeño del sistema, ya sea de manera preventiva, pues nunca se sabe que pueda ocurrir en el futuro y los resultados de aplicar un sistema de revisión de políticas siempre serán mejores o en el peor de los casos iguales, a los que se obtienen al no implementarlo.

- Para la Comercialización de los Productos:

10. Las organizaciones antes de tomar la decisión de trabajar mediante la modalidad de ventas parciales y back order, deben cerciorarse que cuenten con la capacidad de producción requerida para cubrir el aumento en la demanda que será provocado con esta modalidad.

- Para el Entorno de Trabajo:

11. Promover un ambiente de trabajo agradable, sano y seguro, en el cual los trabajadores se sientan a gusto al momento de realizar las actividades laborales, pues de esta manera se reduce la cantidad de ausencias injustificadas. Lo cual es de gran importancia en las organizaciones, ya que el ausentismo afecta negativamente el nivel de continuidad operativa de los procesos.

12. Realizar mantenimiento preventivo a las maquinarias, equipos, herramientas, entre otros implementos de trabajo que se utilizan en la organización, ya que de esta manera se reducen las fallas mecánicas que interrumpen los procesos productivos.

- A nivel Académico e Institucional:

13. Utilizando lo descrito en el capítulo V en la sección 5.2, realizar más estudios acerca de la frecuencia de reprogramación de políticas, considerando variantes en el diseño de las estructuras tomadas en este trabajo como pueden ser: variar las políticas de producción, implementar revisión continua, considerar la presencia de otro tipo de fallas, entre otros; debido a que no existen actualmente otras investigaciones acerca de este tema en Venezuela ni en otros países de América Latina.

14. Impulsar a los estudiantes de ingeniería en el uso de software de simulación para sus trabajos especiales de grado, debido a que esta es una herramienta de amplia aplicación, que permiten analizar situaciones de manufactura que no comúnmente se pueden estudiar mediante modelos analíticos por razones de costo o tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alongi, N; Rivero, M. (2008) **“MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LAS POLÍTICAS DE INVENTARIOS SOBRE LA SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA EN UN PROCESO DE MANUFACTURA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN”**. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Balestrini, M. (1998). **“COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”**. BL Consultores Asociados, Segunda Edición. Caracas, Venezuela.

Beltrán, J (2000). **“INDICADORES DE GESTIÓN. HERRAMIENTAS PARA LOGRAR LA COMPETITIVIDAD”**. Temas Gerenciales, Segunda Edición. Colombia.

Chauvel, A. (2002). **“ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN”**. Editorial Mc Graw Hill. Madrid, España

Díaz, A. (1999). **“GERENCIA EN INVENTARIOS”** Primera Edición. Ediciones IESA. Caracas, Venezuela.

Domínguez, M. (1995). **“DIRECCIÓN DE OPERACIONES”**. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Editorial Mc Graw Hill. Madrid, España.

Domínguez, M., Álvarez, M., García, S., Ruiz, A. (1995). “**DIRECCIÓN DE OPERACIONES**”. Editorial Mc Graw Hill. Madrid, España.

Fábregas, A., Wadnihar, R., Paternina, C., Mancilla, A. (2003). “**SIMULACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON ARENA**”. Ediciones Uninorte. Barranquilla, Colombia.

Figueredo, F; Gonzalez A. (2009). “**MODELOS DINÁMICOS DE EVALUACIÓN EN LA TRANSICIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE EMPUJAR A HALAR**” . Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

García, H. (2010). “**PIB DE VENEZUELA POR ACTIVIDAD ECONÓMICA. SEGUNDO TRIMESTRE DEL 2010**”. Recuperado el 14 de julio del 2012 de <http://algodeeconomia.blogspot.com/2010/08/pib-de-venezuela-por-actividad.html>

Gimenez, A. (2011). **GUÍA CONCEPTUAL PRODUCCIÓN 2 UC**. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Gómez, C. (2000). “**PROYECTO FACTIBLE**”. Editorial Predios. Valencia, Venezuela.

Herrmann, J. (2002). “**RESCHEDULING FREQUENCY AND SUPPLY CHAIN PERFORMANCE**”. Departamento de Ingeniería Mecánica e Instituto para sistemas de investigación, Universidad de Maryland, Estados Unidos.

Marthur, K; Solow, D. (1996). **“INVESTIGACION DE OPERACIONES. EL ARTE DE LA TOMA DE DECISIONES”**. Traductores México: PrenticeHoll. Ciudad de México, México.

Mata, M. (2011). **“LA INESTABILIDAD DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO VENEZOLANO”**. Recuperado el 09 de julio de 2011 de <http://www.analitica.com/va/economia/opinion/6702229.asp>

Méndez, C. (2001). **“METODOLOGÍA, DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN”**. Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición. Colombia.

Law, A., Kelton, D., Kelton D. W. (1999). **“SIMULATION MODELING AND ANALYSIS”**. Estados Unidos de América. Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición.

Lopez, E; Martínez, S (2000). **“INICIACIÓN A LA SIMULACIÓN DINÁMICA”**. Editorial Ariel, S.A. Primera edición. Barcelona, España.

Parreño, A. (2008) **“CIENCIA PARA CALIDAD DE VIDA: CONOCIMIENTO APLICADO AL BIENESTAR.”** Instituto Jesús en el Huerto de los Olivos, Olivos, Buenos Aires.

Pérez, C. (2006) **“CURSO ÍNDICES DE GESTIÓN”**. Recuperado el 11 de diciembre de 2011 de <http://www.rcm2-soporte.com/documentos/2006/SOP-Indicadores-Gestion-Articulo-Enero2006.pdf>

Shannon, R (2005). **“SIMULACIÓN DE SISTEMAS. DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN”**. Trillas, México.

Silver, E., Pyke, F., Peterson, R. (1998). **“INVENTORY MANAGEMENT AND PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING.”** Tercera Edición John Wiley and Son. New York, Estados Unidos.

Sipper, D.; Bulfin, R. (1998). **“PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN”**. Editorial Mc Graw Hill

Solari, G. (2003). **“PRIMER CONGRESO NACIONAL MULTIDISCIPLINARIO”**. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas.

Ramos, L; Tovar, F. (2008), **“MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LAS POLÍTICAS DE PRODUCCIÓN SOBRE LA SATISFACCIÓN DE DIFERENTES COMPORTAMIENTOS DE DEMANDA USANDO HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN”**. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Tarifa, E. (1997). **“TEORÍA DE MODELOS Y SIMULACIÓN”**. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy. San Salvador de Jujuy, Argentina.

Thompson, I. (2006) **“TIPOS DE CLIENTES”**. Recuperado el 12 de Junio del 2012 de <http://www.promonegocios.net/clientes/tipos-clientes.html>

Tovar, R. (1975). **“PLANEACIÓN Y CONTROL DE PRODUCCIÓN”**. Trabajo de Ascenso Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo, Venezuela.

Vieira, G., Lin, E., Herrmann, J. (2002) “**RESCHEDULING MANUFACTURING SYSTEMS: A FRAMEWORK OF STRATEGIES, POLICIES, AND METHODS**”. Departamento de Ingeniería Mecánica e Instituto para sistemas de investigación, Universidad de Maryland, Estados Unidos.

Weisbrot, M; Sandoval, L. (2008) “**ACTUALIZACIÓN: LA ECONOMIA VENEZOLANA EN TIEMPOS DE CHÁVEZ**”. Center For Economic and Policy Research. Washington, Estados Unidos.

APÉNDICES

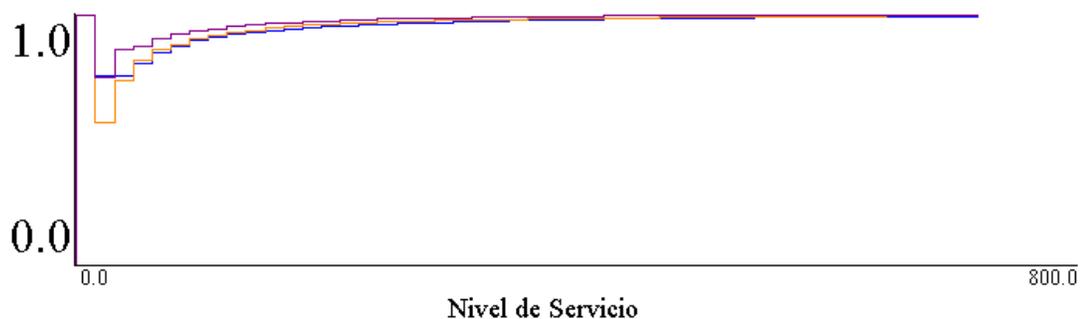
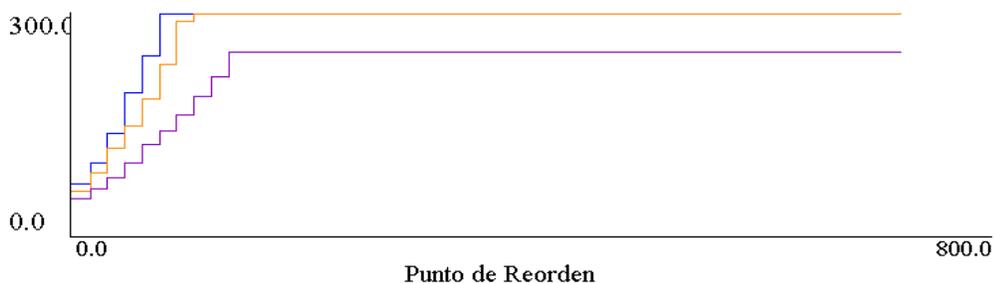
Apéndice 1. REPORTES DE SALIDA
DEL SOFTWARE ARENA

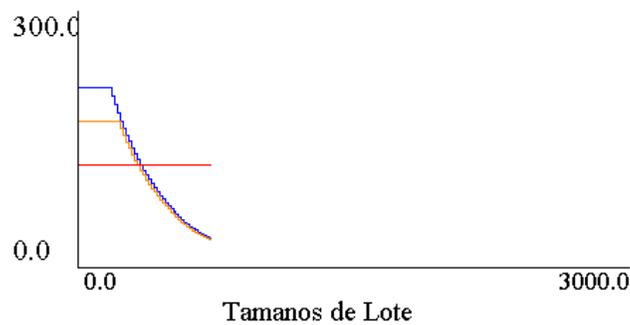
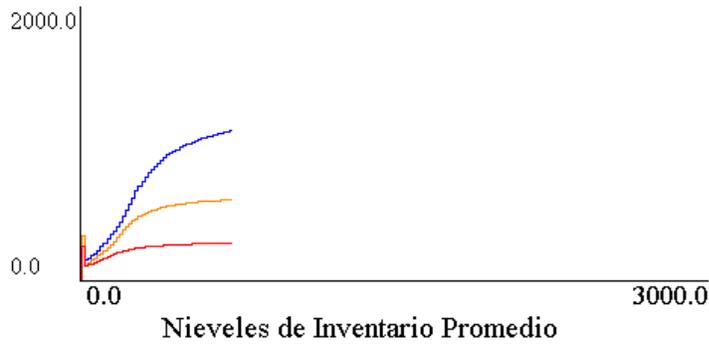
Apéndice 1. REPORTES DE SALIDA DEL SOFTWARE ARENA

A continuación se citan algunos de los reportes de salida de los resultados más relevantes obtenidos en la simulación del modelo. El producto A se identifica con el color azul, el producto B con el color amarillo y el producto C con el color rojo.

RESULTADOS ESCENARIO 3

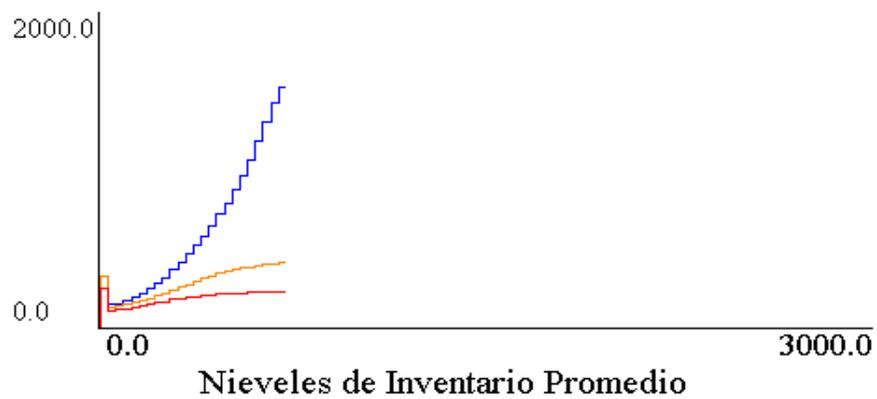
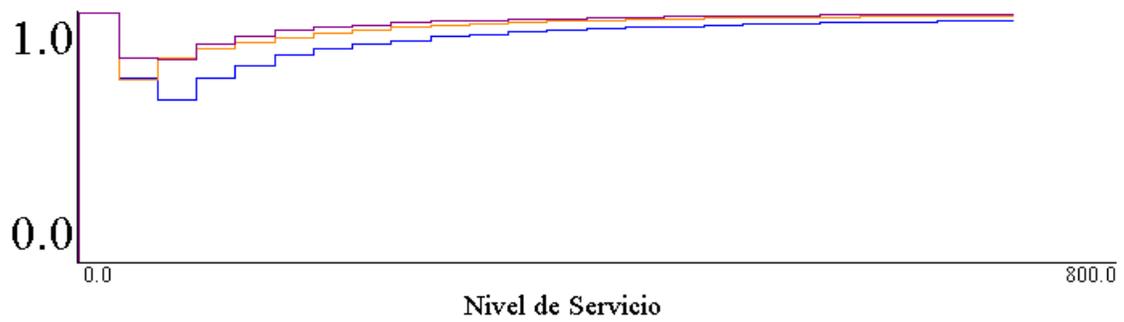
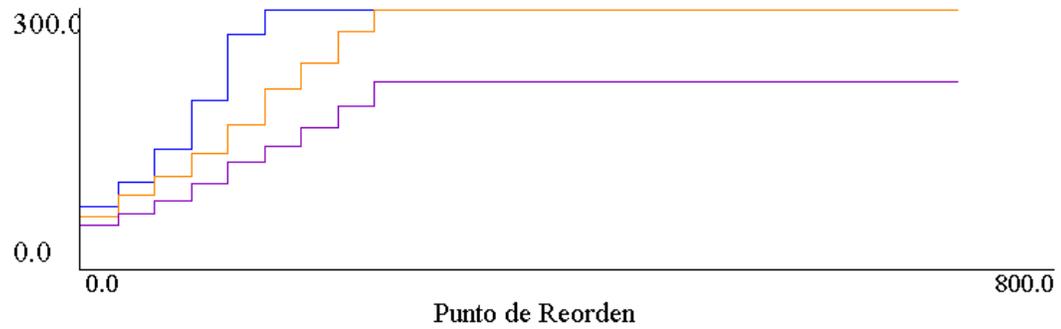
Frecuencia de revisión 15 días

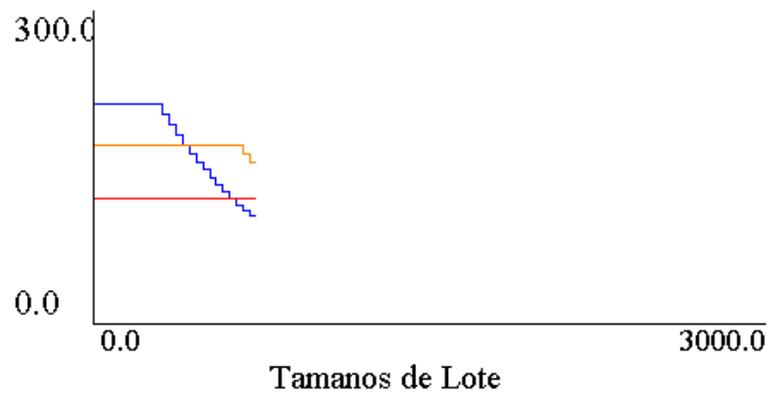




Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0,00	0.00	0.00
Inventario Mano A	1091.68	2,014,83	624.42	7495.56
Inventario Mano B	586.43	257,63	249.56	1093.18
Inventario Mano C	273.17	586,23	161.85	2264.31
Inventario Total A	1115.29	2,014,77	660.98	7535.65
Inventario Total B	618.53	256,33	275.51	1113.34
Inventario Total C	282.29	586,59	171.17	2276.23
Nivel de inventario A	725.03	793,41	491.70	3184.12
Nivel de inventario B	444.89	147,82	221.91	710.31
Nivel de inventario C	228.61	236,33	150.45	1026.54
Nivel de Servicio A	0.9440	0,01	0.9044	0.9527
Nivel de Servicio B	0.9454	0,01	0.9366	0.9684
Nivel de Servicio C	0.9637	0,02	0.9166	0.9773
Produccion de C	31089.55	1,100,28	30529.87	34643.08
Punto de Reorden B	566.72	270,46	191.83	1066.52
Punto Reorden A	1058.40	2,019,91	603.68	7496.95
Punto Reorden C	222.37	592,84	114.34	2242.27
QA	122.76	3,72	111.51	122.76
QB	108.23	27,97	99.37	170.00
QC	120.00	16,69	74.3334	120.00

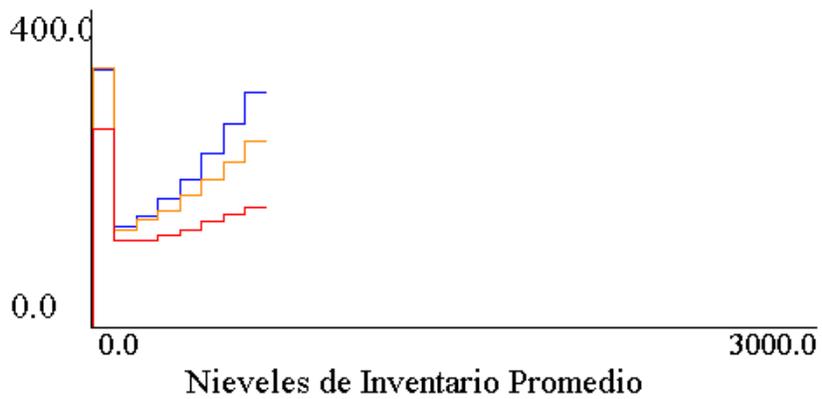
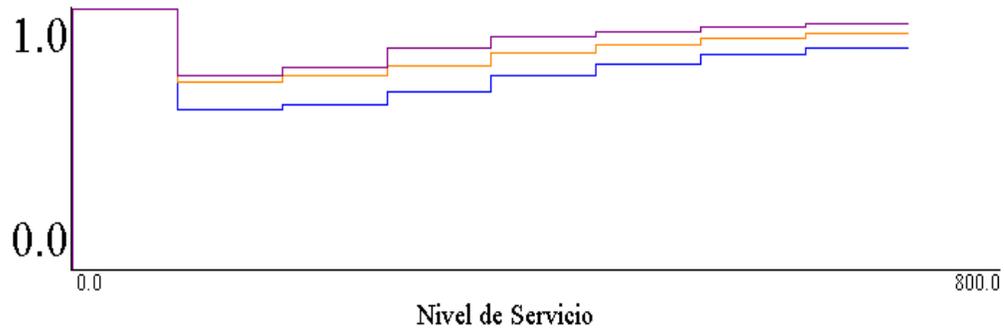
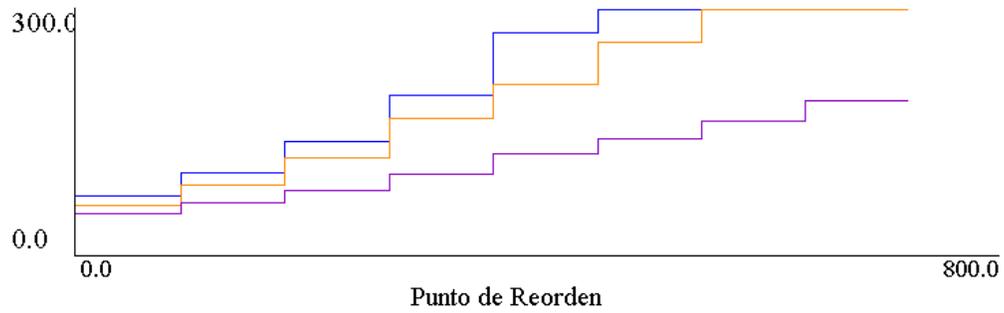
Frecuencia de revisión 30 días

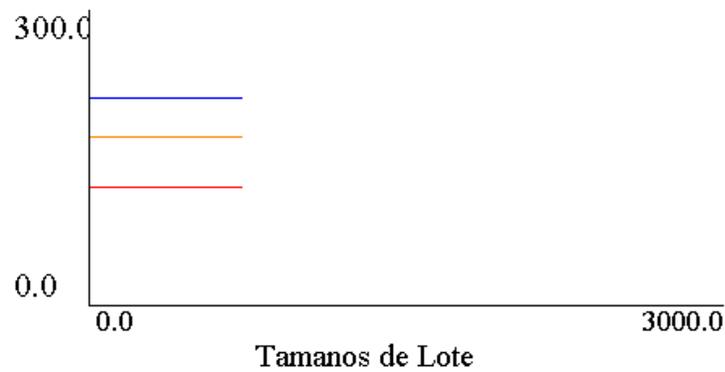




Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0,00	0.00	0.00
Inventario Mano A	1613.24	584,15	445.63	2302.25
Inventario Mano B	414.02	54,12	307.08	523.59
Inventario Mano C	230.49	130,73	228.53	637.52
Inventario Total A	1659.30	582,41	487.05	2334.64
Inventario Total B	438.69	54,04	332.60	548.35
Inventario Total C	239.76	131,07	238.43	648.08
Nivel de inventario A	616.20	122,59	344.75	750.26
Nivel de inventario B	281.87	24,82	227.18	324.61
Nivel de inventario C	185.27	34,16	183.90	294.36
Nivel de Servicio A	0.8841	0,02	0.8515	0.9342
Nivel de Servicio B	0.9282	0,01	0.9231	0.9449
Nivel de Servicio C	0.9426	0,02	0.8874	0.9423
Produccion de C	31140.87	883,03	29542.99	32757.00
Punto de Reorden B	353.85	56,31	244.10	470.18
Punto Reorden A	1576.40	586,37	393.53	2253.56
Punto Reorden C	179.52	133,02	179.52	593.27
QA	172.82	4,88	172.82	189.33
QB	168.98	4,07	156.10	170.00
QC	120.00	3,93	108.19	120.00

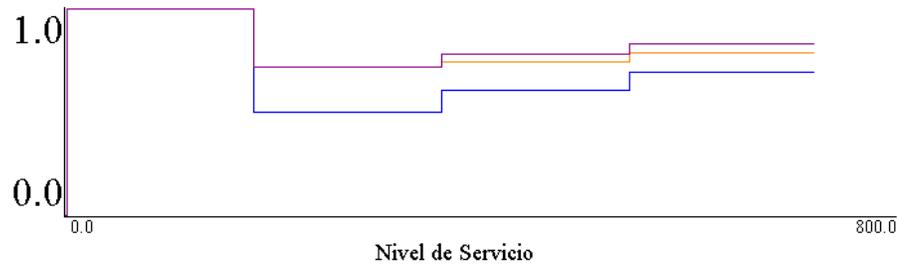
Frecuencia de revisión 90 días

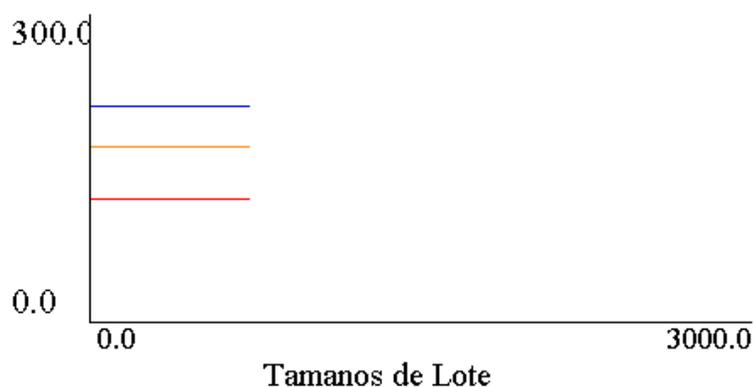




Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo de inventario B	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo de inventario C	0,00	0,00	0,00	0,00
Inventario Mano A	340.57	12,98	299.41	349.50
Inventario Mano B	260.67	11,45	211.82	257.05
Inventario Mano C	162.27	1,40	171.49	176.17
Inventario Total A	373.53	13,53	333.43	386.72
Inventario Total B	283.93	11,44	235.65	280.93
Inventario Total C	170.94	1,29	180.48	185.13
Nivel de inventario A	212.64	9,24	196.34	232.72
Nivel de inventario B	189.39	5,37	163.47	183.71
Nivel de inventario C	141.19	5,43	127.60	144.99
Nivel de Servicio A	0.7561	0,03	0.7265	0.8290
Nivel de Servicio B	0.8304	0,01	0.8439	0.8674
Nivel de Servicio C	0.8688	0,01	0.8015	0.8483
Produccion de C	27370.67	776,90	25426.61	28282.68
Punto de Reorden B	201.13	12,81	148.50	197.15
Punto Reorden A	274.47	12,95	234.65	283.19
Punto Reorden C	112.04	0,00	123.75	123.75
QA	210.00	0,00	210.00	210.00
QB	170.00	0,00	170.00	170.00
QC	120.00	0,00	120.00	120.00

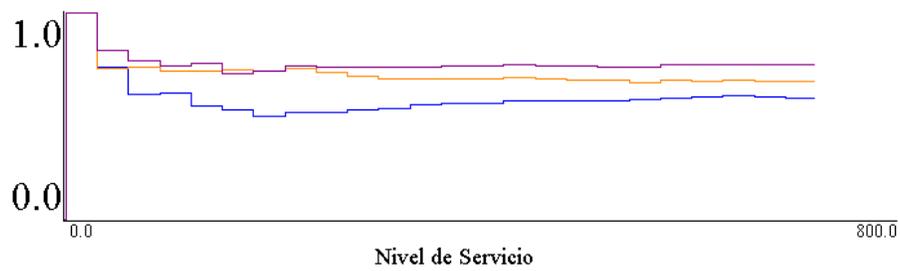
Frecuencia de revisión 180 días





Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0,00	0.00	0.00
Inventario Mano A	187.46	11,27	182.24	224.01
Inventario Mano B	167.58	3,41	160.02	170.76
Inventario Mano C	122.46	1,06	118.99	122.82
Inventario Total A	213.32	12,99	211.39	258.28
Inventario Total B	189.46	3,46	181.45	192.97
Inventario Total C	130.77	1,19	126.84	131.16
Nivel de inventario A	184.60	8,52	164.71	190.12
Nivel de inventario B	183.41	10,76	145.56	183.46
Nivel de inventario C	143.74	10,04	116.46	147.17
Nivel de Servicio A	0.6934	0,03	0.6896	0.7855
Nivel de Servicio B	0.8029	0,02	0.8051	0.8558
Nivel de Servicio C	0.8236	0,02	0.7634	0.8248
Produccion de C	25718.44	1.032,44	22489.48	25853.65
Punto de Reorden B	106.41	3,73	96.6292	106.41
Punto Reorden A	124.15	9,14	124.15	155.07
Punto Reorden C	72.0041	0,00	72.0041	72.0041
QA	210.00	0,00	210.00	210.00
QB	170.00	0,00	170.00	170.00
QC	120.00	0,00	120.00	120.00

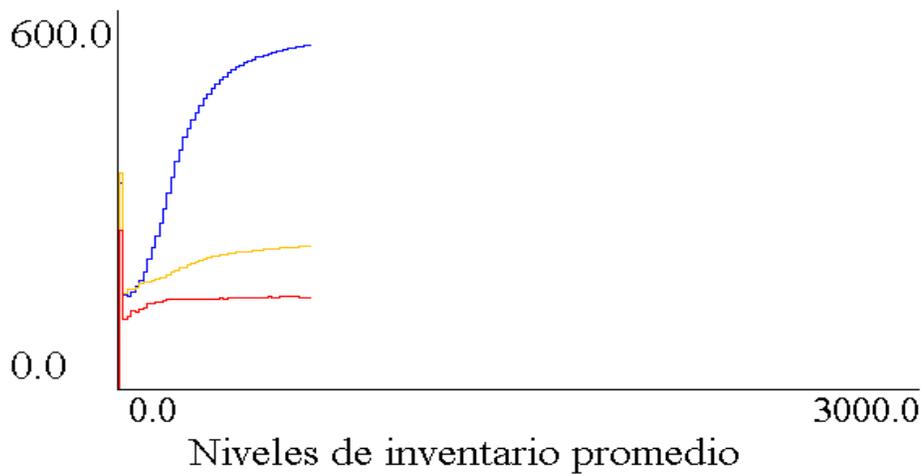
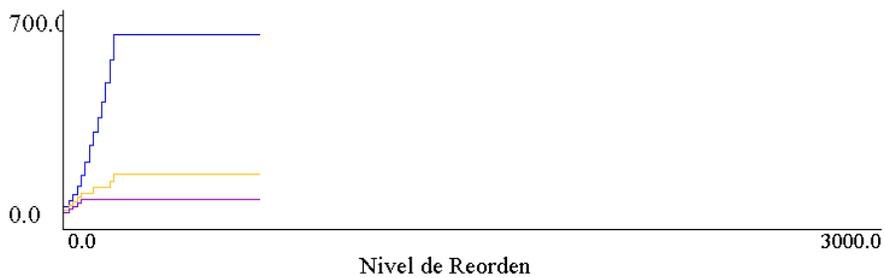
RESULTADOS ESCENARIO 6

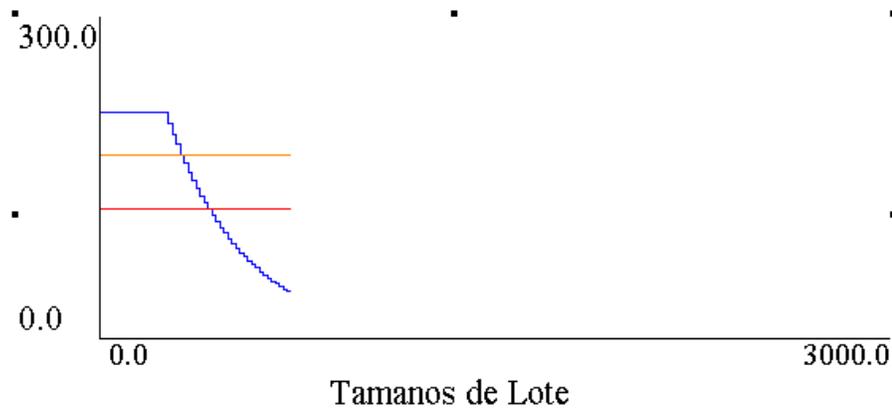


Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0,00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0,00	0.00	0.00
Inventario Mano A	126.45	1,76	121.75	129.41
Inventario Mano B	119.95	2,26	118.88	126.20
Inventario Mano C	97.7915	1,28	93.7712	98.9727
Inventario Total A	142.38	1,87	139.19	147.36
Inventario Total B	137.32	2,42	135.87	144.16
Inventario Total C	104.60	1,21	100.57	105.52
Nivel de Servicio A	0.5829	0,02	0.5307	0.6139
Nivel de Servicio B	0.6973	0,02	0.6982	0.7478
Nivel de Servicio C	0.7465	0,02	0.7005	0.7618
Produccion de C	22514.11	725,41	19966.51	22740.91
Punto de Reorden B	60.0000	0,00	60.0000	60.0000
Punto Reorden A	70.0000	0,00	70.0000	70.0000
Punto Reorden C	50.0000	0,00	50.0000	50.0000
QA	210.00	0,00	210.00	210.00
QB	170.00	0,00	170.00	170.00
QC	120.00	0,00	120.00	120.00

RESULTADOS ESCENARIO 9

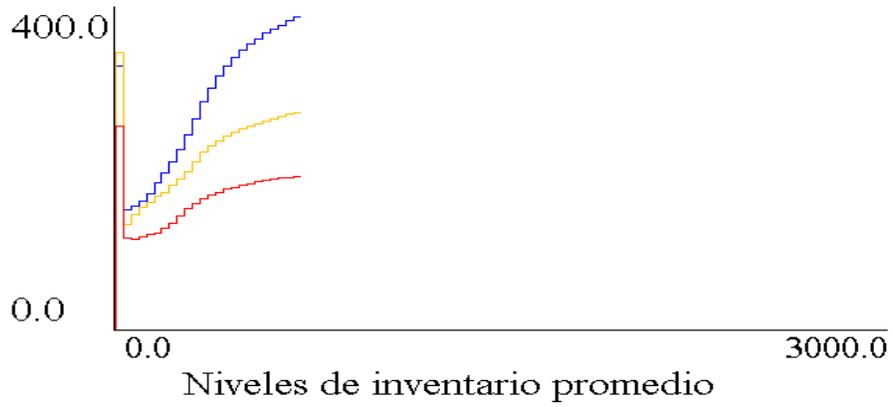
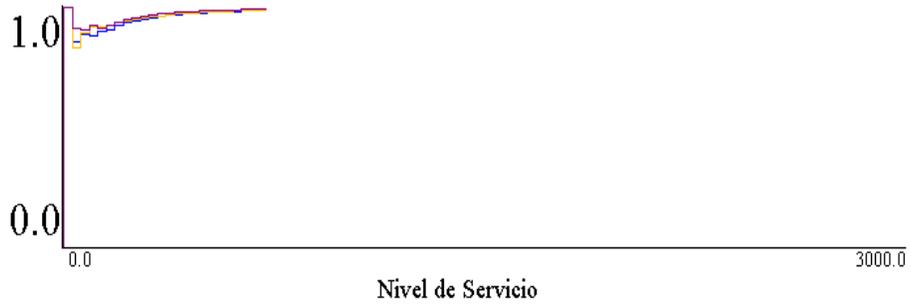
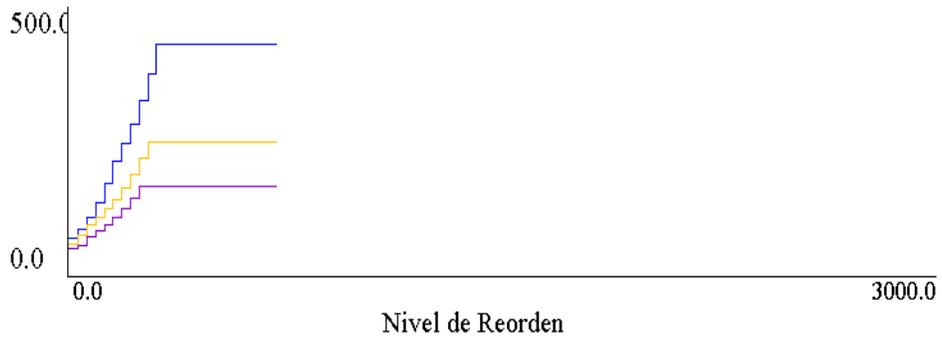
Frecuencia de revisión 15 días

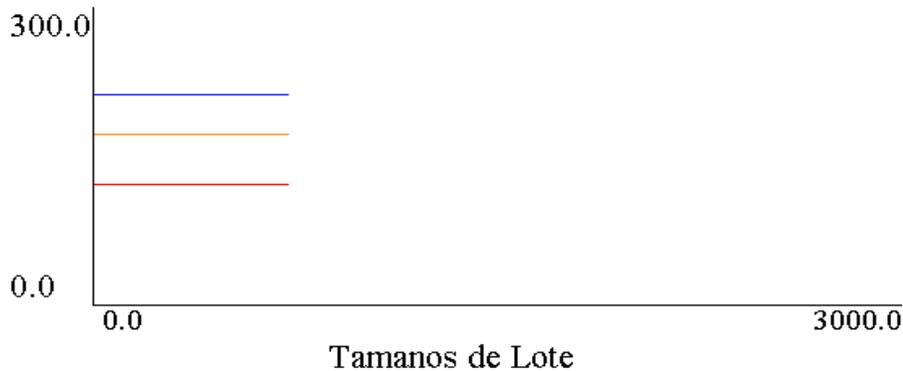




Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cantidad de clientes A satisfechos por backorder	26.1435	3.29	18.7138	29.8373	0.00	31.5556
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	544.86	96.64	360.97	684.77	0.00	1024.00
Inventario Mano B	224.75	55.63	181.53	399.80	0.00	549.00
Inventario Mano C	143.95	21.54	131.72	192.33	0.00	300.00
Inventario Total A	594.81	95.53	414.59	733.41	82.0000	1024.00
Inventario Total B	245.83	55.87	202.04	421.27	70.0000	549.00
Inventario Total C	153.27	21.71	141.08	201.89	60.0000	300.00
Nivel de inventario A	414.94	53.17	312.19	482.24	0.00	682.82
Nivel de inventario B	202.94	36.22	176.08	319.41	0.00	398.22
Nivel de inventario C	141.09	15.29	131.27	176.09	0.00	270.82
Nivel de Servicio A	0.9561	0.00	0.9504	0.9653	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.9637	0.00	0.9530	0.9692	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.9733	0.00	0.9645	0.9744	0.00	1.0000
Produccion de C	31958.18	1,202.59	29724.41	33539.63	0.00	64320.00
Punto de Reorden B	157.83	56.56	116.81	337.82	60.0000	379.49
Punto Reorden A	527.60	108.42	313.28	670.35	70.0000	816.85
Punto Reorden C	92.6340	21.82	81.2860	140.86	50.0000	148.52
QA	140.78	26.21	137.26	210.00	40.6794	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00

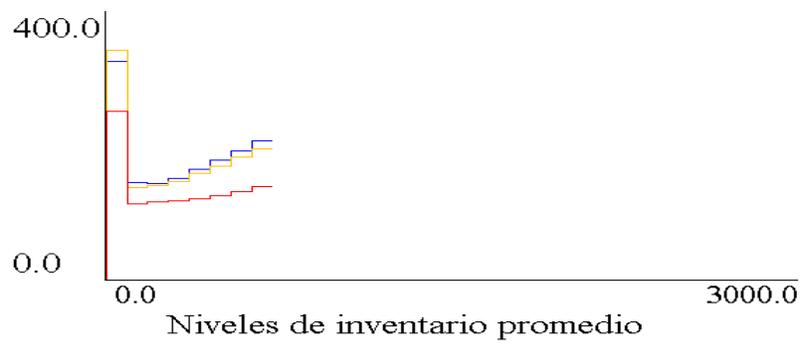
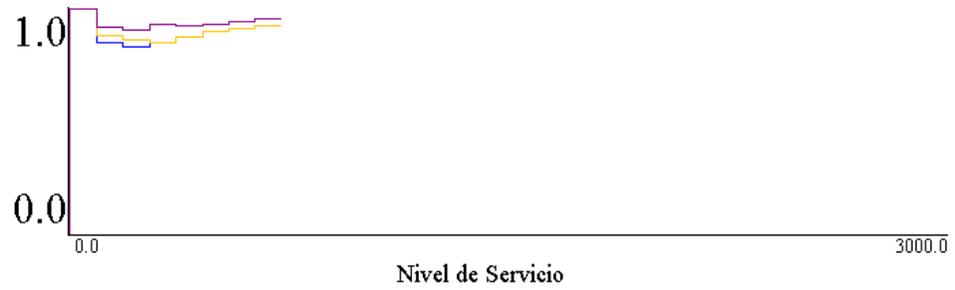
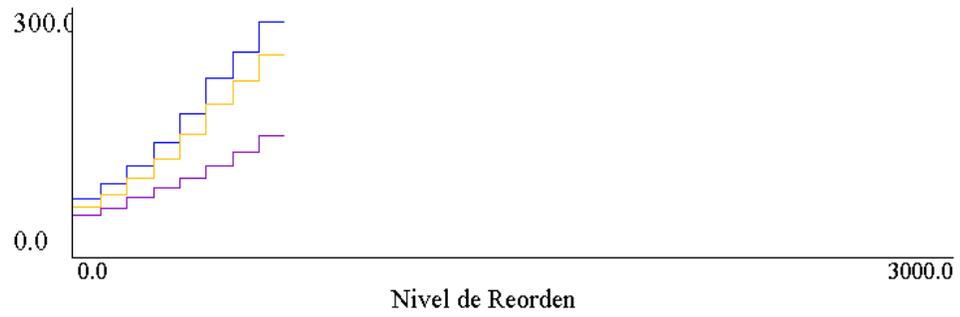
Frecuencia de revisión 30 días

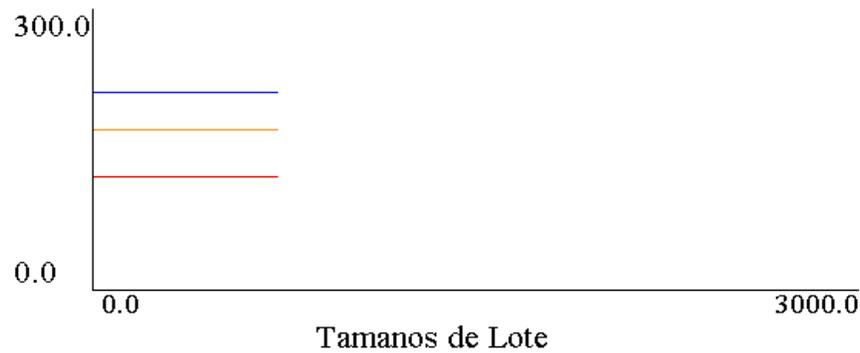




Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cantidad de clientes A satisfechos por backorder	47.4611	5.77	30.1517	52.3784	0.00	58.4415
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	389.49	60.88	299.13	530.57	0.00	918.00
Inventario Mano B	268.73	31.26	229.87	332.77	0.00	528.00
Inventario Mano C	189.73	26.77	133.47	226.17	0.00	345.00
Inventario Total A	440.66	60.02	353.01	579.27	82.0000	919.00
Inventario Total B	290.38	31.33	251.57	354.15	70.0000	528.00
Inventario Total C	199.48	27.01	142.90	236.37	60.0000	345.00
Nivel de inventario A	280.29	20.07	247.79	323.45	0.00	521.78
Nivel de inventario B	217.97	11.34	197.52	234.01	0.00	341.70
Nivel de inventario C	159.43	10.70	134.27	168.64	0.00	270.82
Nivel de Servicio A	0.9409	0.01	0.9252	0.9462	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.9456	0.00	0.9409	0.9523	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.9546	0.01	0.9467	0.9650	0.00	1.0000
Produccion de C	32283.18	1,578.62	28088.00	32283.18	0.00	64920.00
Punto de Reorden B	204.45	31.95	165.35	269.37	60.0000	358.48
Punto Reorden A	334.09	62.56	249.17	480.64	70.0000	710.30
Punto Reorden C	141.37	27.76	79.9612	176.37	50.0000	225.88
QA	210.00	6.18	192.83	210.00	132.35	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00

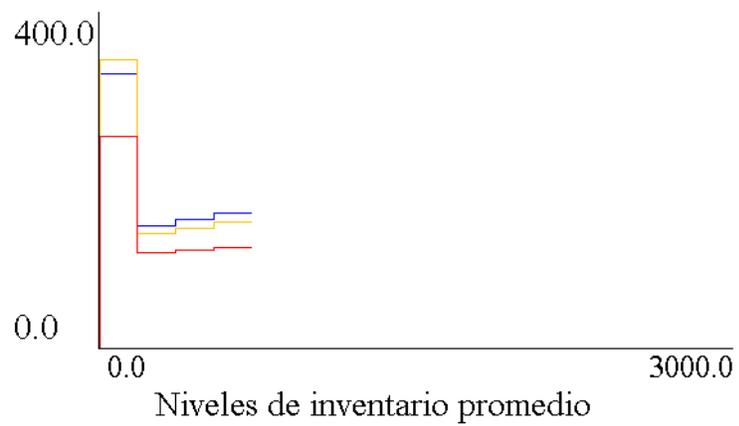
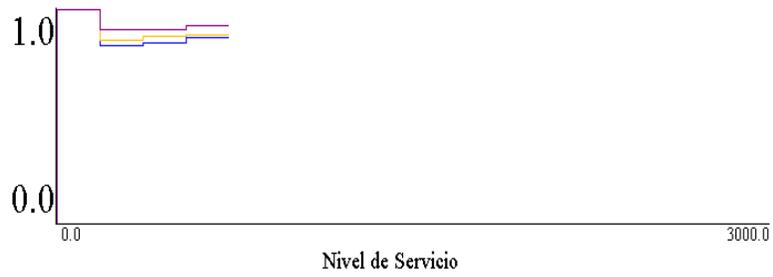
Frecuencia de revisión 90 días

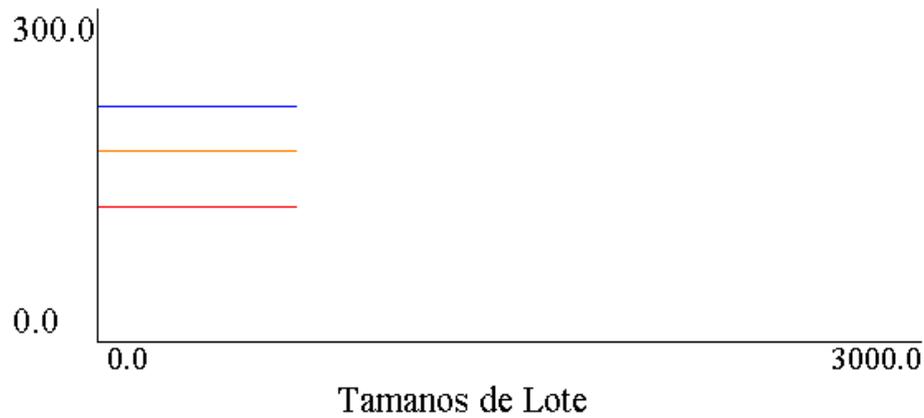




Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cantidad de clientes A satisfechos por backorder	109.30	11.27	72.3032	113.10	0.00	163.54
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	222.70	11.23	219.23	260.34	0.00	541.00
Inventario Mano B	208.59	10.06	176.53	208.59	0.00	412.00
Inventario Mano C	145.27	3.60	141.42	155.81	0.00	300.00
Inventario Total A	272.34	11.58	270.01	311.84	80.0000	541.00
Inventario Total B	229.13	10.04	197.04	229.13	62.0000	412.00
Inventario Total C	154.29	3.53	151.15	165.21	55.0000	300.00
Nivel de inventario A	187.13	5.34	173.92	196.70	0.00	324.55
Nivel de inventario B	182.88	7.30	158.36	182.88	0.00	341.70
Nivel de inventario C	137.92	5.31	128.72	145.42	0.00	270.82
Nivel de Servicio A	0.8824	0.01	0.8711	0.9036	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.8899	0.01	0.8899	0.9234	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.9277	0.01	0.9179	0.9360	0.00	1.0000
Produccion de C	28577.85	869.96	27811.51	30853.91	0.00	62760.00
Punto de Reorden B	140.78	10.22	110.34	140.78	60.0000	242.16
Punto Reorden A	164.24	12.56	164.24	207.65	70.0000	334.77
Punto Reorden C	91.9530	4.16	91.0287	105.96	50.0000	170.80
QA	210.00	0.00	210.00	210.00	210.00	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00

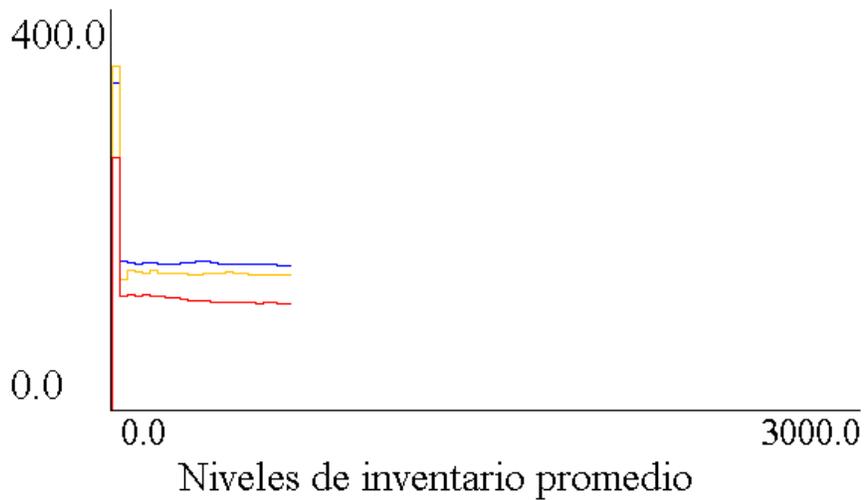
Frecuencia de revisión 180 días





Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cantidad de clientes A satisfechos por backorder	140.04	11.68	100.48	144.97	0.00	260.05
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	167.51	8.13	164.25	194.16	0.00	400.00
Inventario Mano B	158.06	2.05	150.87	158.06	0.00	350.00
Inventario Mano C	125.04	1.70	119.85	125.04	0.00	300.00
Inventario Total A	213.77	8.54	212.59	243.16	72.0000	401.00
Inventario Total B	178.02	2.31	170.13	178.16	61.0000	350.00
Inventario Total C	133.91	1.65	129.01	133.91	51.0000	300.00
Nivel de inventario A	195.10	8.56	164.09	195.10	0.00	324.55
Nivel de inventario B	191.55	11.58	147.21	191.55	0.00	341.70
Nivel de inventario C	148.73	10.32	120.81	153.42	0.00	270.82
Nivel de Servicio A	0.8810	0.01	0.8522	0.8899	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.8978	0.01	0.8849	0.9083	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.9270	0.01	0.9058	0.9306	0.00	1.0000
Produccion de C	28692.44	1,326.94	25681.52	30945.34	0.00	60960.00
Punto de Reorden B	86.4049	0.00	86.4049	86.4049	60.0000	117.19
Punto Reorden A	100.81	11.89	100.81	141.09	70.0000	191.41
Punto Reorden C	70.0618	1.53	66.7125	72.0041	50.0000	97.6563
QA	210.00	0.00	210.00	210.00	210.00	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00

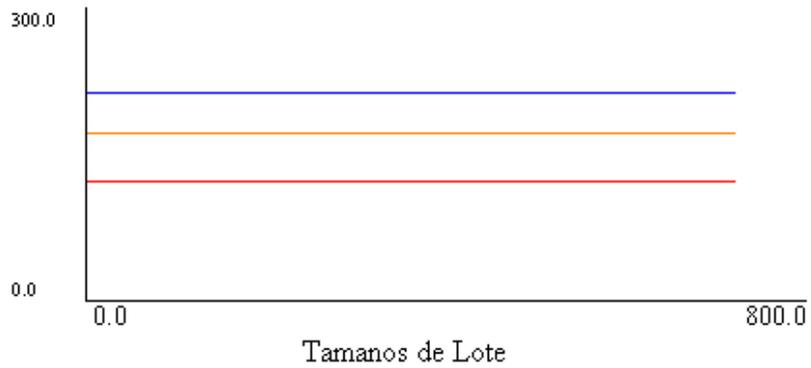
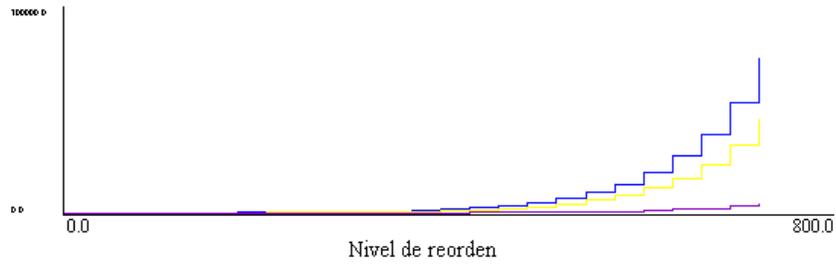
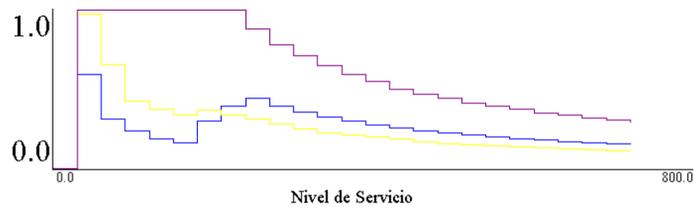
RESULTADOS ESCENARIO 12

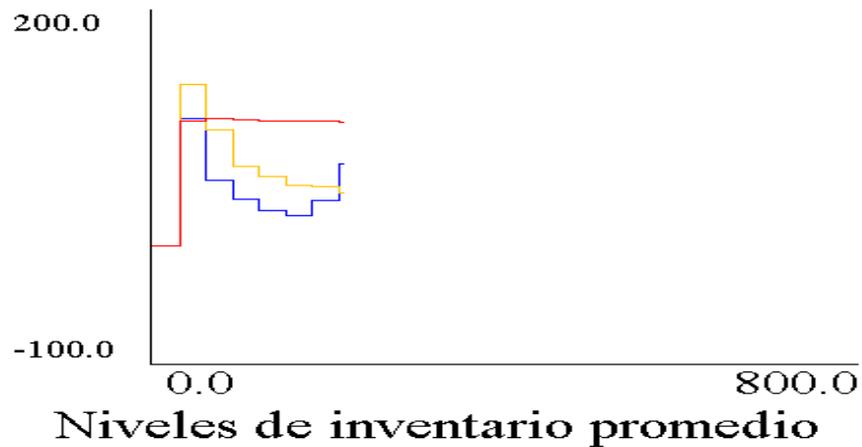


Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cantidad de clientes A satisfechos por backorder	163.08	5.39	157.71	175.80	0.00	352.03
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	141.93	1.27	139.02	144.35	0.00	400.00
Inventario Mano B	133.05	1.34	130.58	135.26	0.00	350.00
Inventario Mano C	105.26	0.97	102.65	106.37	0.00	300.00
Inventario Total A	186.23	1.09	183.48	187.89	71.0000	400.00
Inventario Total B	150.86	1.34	148.05	153.28	61.0000	350.00
Inventario Total C	113.54	0.81	111.86	114.79	51.0000	300.00
Nivel de inventario A	152.25	2.18	144.29	152.25	0.00	324.55
Nivel de inventario B	143.31	2.83	132.54	143.31	0.00	341.70
Nivel de inventario C	114.22	2.31	108.78	116.85	0.00	270.82
Nivel de Servicio A	0.6969	0.01	0.6677	0.7030	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.8517	0.01	0.8443	0.8703	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.8812	0.01	0.8580	0.8903	0.00	1.0000
Produccion de C	26788.27	822.20	25134.86	28036.23	0.00	58800.00
Punto de Reorden B	60.0000	0.00	60.0000	60.0000	60.0000	60.0000
Punto Reorden A	70.0000	0.00	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000
Punto Reorden C	50.0000	0.00	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000
QA	210.00	0.00	210.00	210.00	210.00	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00

RESULTADOS ESCENARIO 13

Frecuencia de revisión 30 días

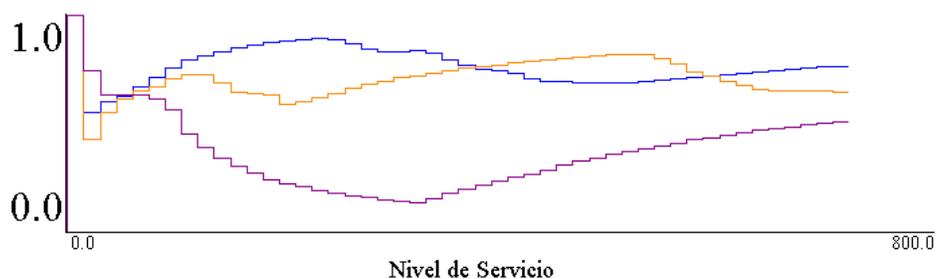




Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	32.9708	5,833.92	0.00	15610.86
Inventario Mano B	0.00	2,925.99	0.00	8587.72
Inventario Mano C	30.6357	80.74	17.6474	294.87
Inventario Total A	445.47	5,827.26	0.00	15924.98
Inventario Total B	0.00	2,999.29	0.00	8778.18
Inventario Total C	126.16	72.64	121.51	373.39
Nivel de Servicio A	0.2566	0.15	0.07470535	0.5762
Nivel de Servicio B	0.2616	0.15	0.2616	0.6509
Nivel de Servicio C	0.6233	0.13	0.4382	0.8857
Produccion de C	8135.02	4,341.11	4923.31	19812.31
Punto de Reorden B	14345.36	2,457.18	4673.67	14345.36
Punto Reorden A	23429.58	958.50	20163.51	23429.58
Punto Reorden C	1428.09	1,021.58	135.76	3894.73
QA	210.00	13.17	177.16	210.00
QB	170.00	10.22	143.41	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00

RESULTADOS ESCENARIO 15

Frecuencia de revisión 15 días



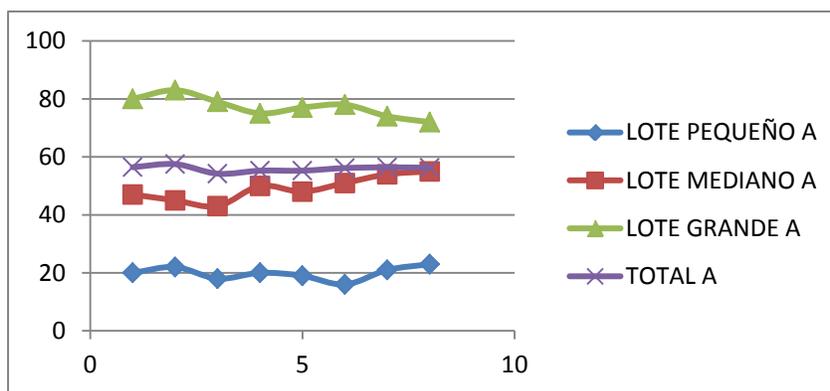
Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	557.17	1,539.68	4011.74	9683.47	0.00	23377.93
Inventario Mano B	949.84	2,102.20	1075.20	8445.31	0.00	23495.16
Inventario Mano C	598.41	1,164.44	784.65	4772.52	0.00	12646.37
Inventario Total A	739.90	1,548.70	4106.15	9816.54	71.0000	23530.65
Inventario Total B	1110.16	2,118.48	1147.59	8577.51	70.0000	23650.56
Inventario Total C	712.42	1,185.78	815.70	4867.49	60.0000	12755.53
Nivel de inventario A	423.07	438.61	1924.24	3549.00	0.00	9415.74
Nivel de inventario B	735.71	554.64	646.91	2707.96	0.00	8151.50
Nivel de inventario C	270.31	311.04	439.70	1591.94	0.00	4618.61
Nivel de Servicio A	0.7551	0.02	0.8515	0.9205	0.00	1.0000
Nivel de Servicio B	0.6981	0.01	0.8875	0.9425	0.00	1.0000
Nivel de Servicio C	0.3639	0.03	0.8418	0.9449	0.00	1.0000
Produccion de C	15043.15	1,495.04	28229.49	34096.24	0.00	75147.37
Punto de Reorden B	20218221	6,398.76	1110.66	24454.17	60.0000	55120.49
Punto Reorden A	6750882.69	37,389.25	4095.69	139132.91	70.0000	637750.84
Punto Reorden C	184344.50	24,096.30	786.91	90580.39	50.0000	606711.70
QA	125.24	1.45	115.29	119.04	29.9031	210.00
QB	119.56	4.15	96.3644	111.11	25.4813	170.00
QC	102.18	2.41	78.4331	86.3303	23.2454	120.00

Apéndice 2. VALORES DE DEMANDA
DE VARIABILIDAD INTERMEDIA Y
VARIABILIDAD ALTA Y
PROCEDIMIENTO PARA LA
LECTURA DE DATOS DE DEMANDA A
TRAVÉS DE UN ARCHIVO DE TEXTO.

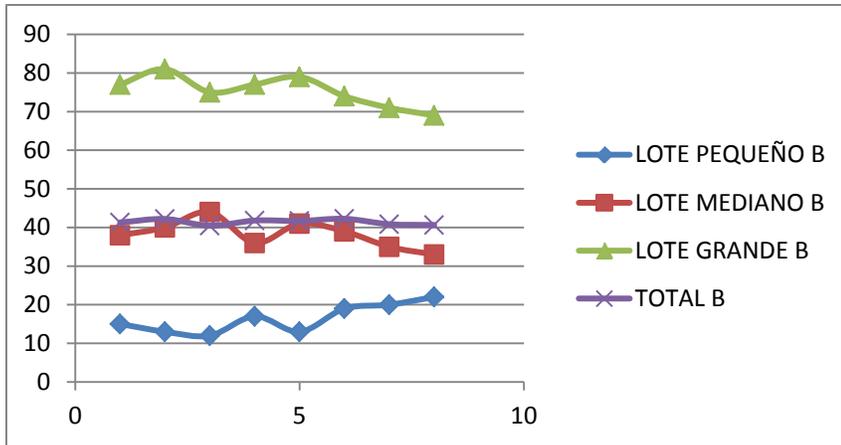
Apéndice 2. VALORES DE DEMANDA DE VARIABILIDAD INTERMEDIA Y DEMANDA DE VARIABILIDAD ALTA Y PROCEDIMIENTO PARA LA LECTURA DE DATOS DE DEMANDA A TRAVÉS DE UN ARCHIVO DE TEXTO.

Valores demanda de variabilidad intermedia:

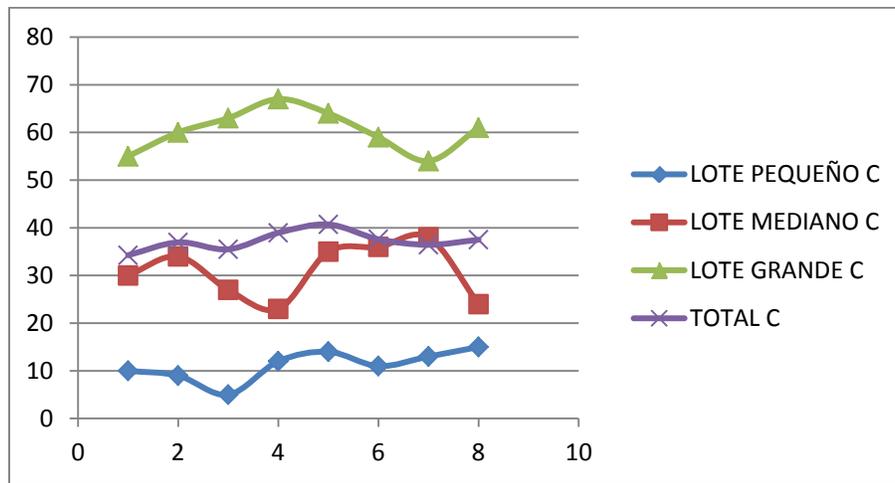
PRODUCTO A			TOTAL (unid/pedido)
20%	35%	45%	
20	47	80	56,45
22	45	83	57,5
18	43	79	54,2
20	50	75	55,25
19	48	77	55,25
16	51	78	56,15
21	54	74	56,4
23	55	72	56,25



PRODUCTO B			TOTAL (unid/pedido)
45%	20%	35%	
15	38	77	41,3
13	40	81	42,2
12	44	75	40,45
17	36	77	41,8
13	41	79	41,7
19	39	74	42,25
20	35	71	40,85
22	33	69	40,65

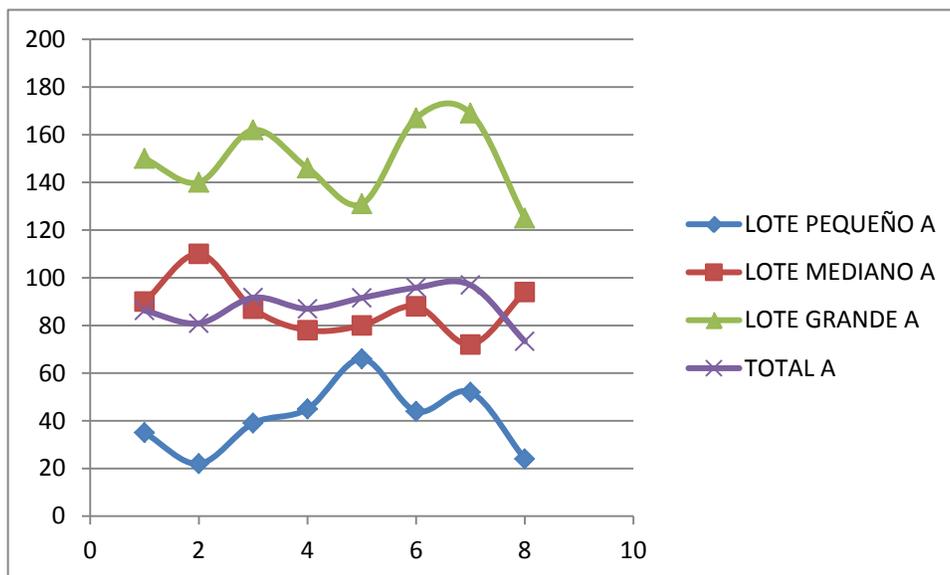


PRODUCTO C			TOTAL (unid/pedido)
35%	20%	45%	
10	30	55	34,25
9	34	60	36,95
5	27	63	35,5
12	23	67	38,95
14	35	64	40,7
11	36	59	37,6
13	38	54	36,45
15	24	61	37,5

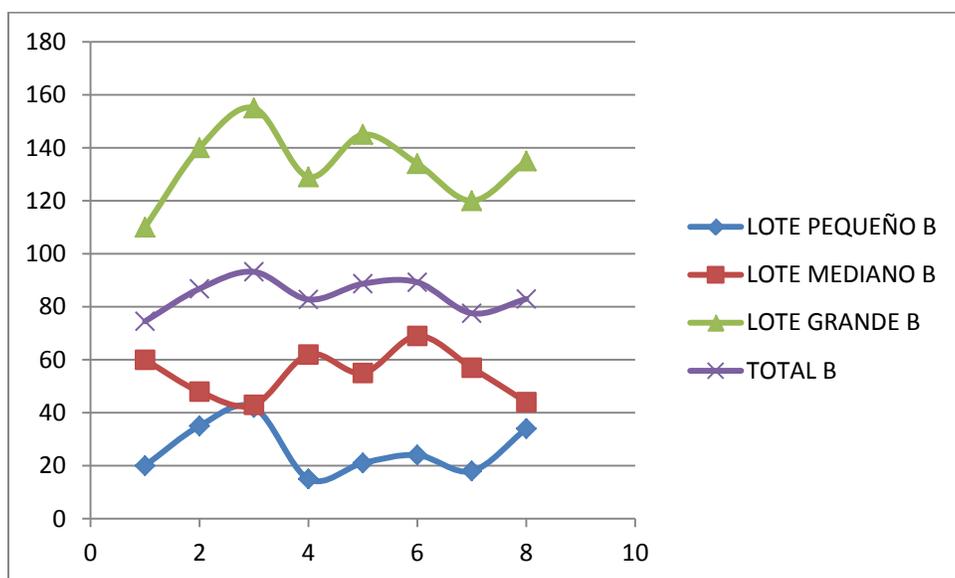


Valores de demanda de variabilidad alta

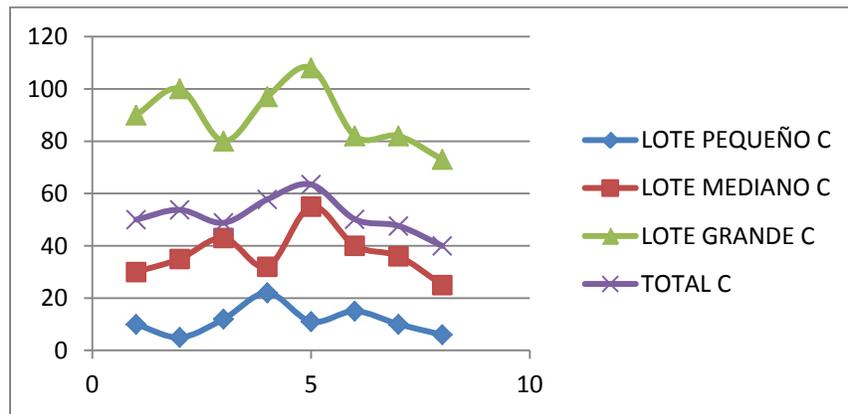
PRODUCTO A			TOTAL (unid/pedido)
45%	20%	35%	
35	90	150	86,25
22	110	140	80,9
39	87	162	91,65
45	78	146	86,95
66	80	131	91,55
44	88	167	95,85
52	72	169	96,95
24	94	125	73,35



PRODUCTO B			TOTAL (unid/pedido)
20%	35%	45%	
20	60	110	74,5
35	48	140	86,8
42	43	155	93,2
15	62	129	82,75
21	55	145	88,7
24	69	134	89,25
18	57	120	77,55
34	44	135	82,95

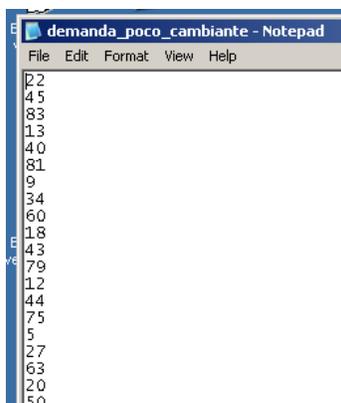


PRODUCTO C			TOTAL (unid/pedido)
35%	20%	45%	
10	30	90	50
5	35	100	53,75
12	43	80	48,8
22	32	97	57,75
11	55	108	63,45
15	40	82	50,15
10	36	82	47,6
6	25	73	39,95



Procedimiento para la lectura de datos de demanda a través de un archivo de texto:

Los datos de la demanda se deben trabajar a través de un procesador de texto (Word, MS, WordPad, NotePad). Para este caso se eligió NotePad. Dichos datos se deben separar entre uno o más caracteres de espacios en blanco.

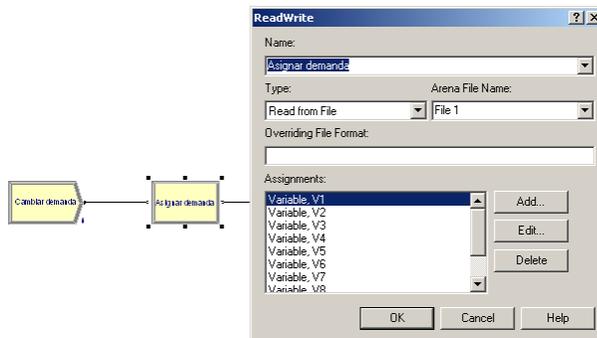


Luego el archivo se guarda eligiendo la opción “solo texto o texto sin formato”. Una vez guardado, dicho archivo se ve en el explorador de Windows de la siguiente manera:

demanda_poco_cambiante

Nota: Los archivos que se generen, no deben tener ningún tipo de encabezamiento, las porciones de decimales se deben separar por puntos (no por comas) y el archivo no debe tener ningún tipo de carácter diferente a números y puntos decimales.

Para que los datos sean leídos, se debe utilizar un nodo Readwrite donde en tipo se selecciona la opción “Read from file”, en Arena File Name se coloca el nombre del archivo en Arena para este caso “File 1” y por último en la opción Add se van agregando las variables a ser leídas en el mismo orden en que están cargadas en el archivo de texto. Como se muestra en la imagen a continuación:

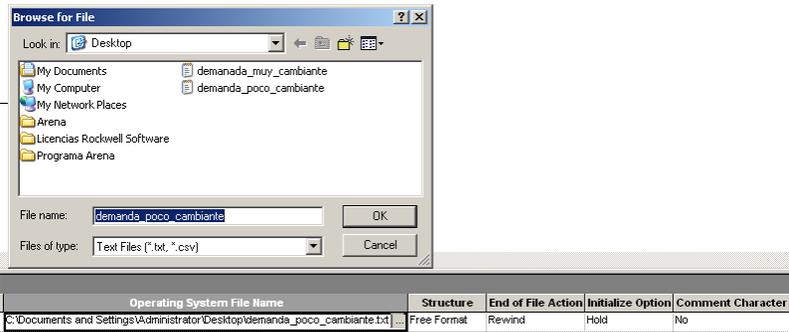


Para indicar la ruta de ubicación en el Software Arena, se selecciona la hoja de datos File

Name	Access Type	Operating System File Name	Structure	End of File Action	Initialize Option	Comment Character
File 1	Sequential File	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\demanda_poco_cambiante.txt	Free Format	Rewind	Hold	No

Hacer click aquí

Luego aparecerá la siguiente ventana:



Se selecciona la ubicación del archivo con el nombre con el cual fue guardado y por último se presiona la tecla OK.

Apéndice 3. SELECCIÓN DE LOS
TAMAÑOS DE MUESTRA Y PRUEBAS
DE HIPÓTESIS

Apéndice 3. SELECCIÓN DE LOS TAMAÑOS DE MUESTRA:

Se realizó un estudio piloto con un tamaño de muestra $m=8$. Luego se procede a verificar si esa cantidad de réplicas es suficiente o si se necesitan más observaciones, si se desea tener una precisión del 5% con un nivel de confianza del 90%, a través del siguiente procedimiento:

1. Se calcula I_m :

$$I_m = \frac{2 * T_c * SD}{\sqrt{M}}$$

Donde:

T_c = Estadístico que se obtiene de las tablas de probabilidades para la distribución “T-Student” con C y con M-1 grados de libertad

M= Numero de observaciones de la muestra piloto

SD= Desviación estándar de la muestra

I_m = Intervalo de confianza de la muestra de tamaño M

I_m para el nivel de servicio:

$T_c = 1,895$

SD= 0,0337

$$I_m = \frac{2 * 1,895 * 0,0337}{\sqrt{8}} = 0,045$$

I_m para el nivel de inventario promedio:

$T_c = 1,895$

SD= 10,87284

$$I_m = \frac{2 * 1,895 * 10,87284}{\sqrt{8}} = 14,5692$$

2. Se calcula I:

$$I = 2 * K * X_{\text{promedio}}$$

Donde:

I= Intervalo de confianza

K= precisión

Xpromedio= Media de la muestra de tamaño M

I para el nivel de servicio:

K= 5%

Xpromedio= 0,7748

$$I = 2 * 0.05 * 0,7748 = 0,07748$$

I para el nivel de inventario promedio:

K= 5%

Xpromedio= 211,08

$$I = 2 * 0.05 * 211,98 = 21,108$$

3. Se compara el valor de I_m con I, si I_m es menor que I, el tamaño de muestra es satisfactorio y no es necesario realizar más observaciones.

Para el nivel de servicio

$I_m = 0,045 < I = 0,07748$, por lo tanto el tamaño de muestra $N=M= 8$

Para el nivel de inventario promedio:

$I_m = 14,5692 < I = 21,108$, por lo tanto el tamaño de muestra $N=M= 8$

Los valores de Xpromedio y SD fueron tomados de los reportes de salida del Arena®, observados en la figura que se presenta a continuación:

Variable	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Costo de inventario A	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario B	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de inventario C	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventario Mano A	332.46	13.59	301.79	351.97
Inventario Mano B	248.89	12.75	222.60	261.65
Inventario Mano C	170.42	3.13	162.27	173.96
Inventario Total A	366.09	13.58	336.05	388.97
Inventario Total B	273.08	12.62	246.15	286.37
Inventario Total C	179.31	3.19	170.94	182.63
Nivel de inventario A	211.08	9.09	197.11	234.04
Nivel de inventario B	202.94	28.01	168.60	261.21
Nivel de inventario C	135.49	5.72	125.41	144.27
Nivel de Servicio A	0.7748	0.03	0.7407	0.8295
Nivel de Servicio B	0.8495	0.01	0.8304	0.8683
Nivel de Servicio C	0.8410	0.01	0.8174	0.8688
Produccion de C	27064.12	977.82	26114.70	29662.62
Punto de Reorden B	189.07	12.91	161.12	201.13
Punto Reorden A	265.80	13.38	234.65	283.19
Punto Reorden C	120.60	3.40	112.04	123.75
QA	210.00	0.00	210.00	210.00
QB	170.00	0.00	170.00	170.00
QC	120.00	0.00	120.00	120.00

Prueba de hipótesis para los resultados de los escenarios 1 y 4:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs H1: $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Siendo μ_1 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 1 con frecuencia de 30 días y μ_2 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 4 sin revisión.

Como la varianza en ambos casos es desconocida, se utilizará el estadístico T- student. Se considerará un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{(X_1 - X_2) - (M_1 - M_2)}{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde para este caso:

$X_1 = 0,9686$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 1 (30 días)

$X_2 = 0,9360$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 4 (sin revisión)

$S_1 = 0,00308$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 1 (30 días)

$S_2 = 0,00446$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 4 (sin revisión)

$N_1 = N_2 = 8$, que corresponde al tamaño de las muestras tomadas.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,032}{0,00000734} = 4359,6730 \text{ y para un } \alpha = 5\% \quad t_{14, 0.95} = 1,7623$$

Como $t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,036}{0,00000734} = 4359,6730 > t_{14, 0.95} = 1,7623$, se rechaza la hipótesis nula para un $\alpha = 5\%$, por ende se concluye que el nivel de servicio del escenario 1 con frecuencia de 30 días es mayor que el nivel de servicio del escenario 4 sin revisión.

Prueba de hipótesis para los resultados de los escenarios 2 y 5:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs H1: $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Siendo μ_1 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 1 con frecuencia de 30 días y μ_2 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 4 sin revisión.

Como la varianza en ambos casos es desconocida, se utilizará el estadístico T- student. Se considerará un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{(X_1 - X_2) - (M_1 - M_2)}{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde para este caso:

$X_1 = 0,9628$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 1 (30 días)

$X_2 = 0,9053$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 4 (sin revisión)

$S_1 = 0,00272$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 1 (30 días)

$S_2 = 0,0013$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 4 (sin revisión)

$N_1 = N_2 = 8$, que corresponde al tamaño de las muestras tomadas.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0575}{0,000044} = 1306,81 \text{ y para un } \alpha = 5\% \quad t_{14, 0,95} = 1,7623$$

Como $t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0575}{0,000044} = 1306,81 > t_{14, 0,95} = 1,7623$, se rechaza la hipótesis nula para un $\alpha = 5\%$, por ende se concluye que el nivel de servicio del escenario 2 con frecuencia de 30 días es mayor que el nivel de servicio del escenario 5 sin revisión.

Prueba de hipótesis para los resultados de los escenarios 7 y 10:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs H1: $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Siendo μ_1 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 1 con frecuencia de 30 días y μ_2 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 4 sin revisión.

Como la varianza en ambos casos es desconocida, se utilizará el estadístico T- student. Se considerará un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{(X_1 - X_2) - (M_1 - M_2)}{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde para este caso:

$X_1 = 0,9760$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 1 (30 días)

$X_2 = 0,9412$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 4 (sin revisión)

$S_1 = 0,00193$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 1 (30 días)

$S_2 = 0,002524$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 4 (sin revisión)

$N_1 = N_2 = 8$, que corresponde al tamaño de las muestras tomadas.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0348}{0,00000252} = 13809,52 \text{ y para un } \alpha = 5\% \quad t_{14, 0,95} = 1,7623$$

Como $t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0348}{0,00000252} = 13809,52 > t_{14, 0,95} = 1,7623$, se rechaza la hipótesis nula para un $\alpha = 5\%$, por ende se concluye que el nivel de servicio del escenario 7 con frecuencia de 30 días es mayor que el nivel de servicio del escenario 10 sin revisión.

Prueba de hipótesis para los resultados de los escenarios 8 y 11:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs H1: $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Siendo μ_1 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 1 con frecuencia de 30 días y μ_2 la media poblacional del nivel de servicio del escenario 4 sin revisión.

Como la varianza en ambos casos es desconocida, se utilizará el estadístico T- student. Se considerará un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{(X_1 - X_2) - (M_1 - M_2)}{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde para este caso:

$X_1 = 0,9633$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 1 (30 días)

$X_2 = 0,9144$, que corresponde al nivel de servicio promedio del escenario 4 (sin revisión)

$S_1 = 0,00644$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 1 (30 días)

$S_2 = 0,00894$ que corresponde a la desviación estándar estimada para el escenario 4 (sin revisión)

$N_1 = N_2 = 8$, que corresponde al tamaño de las muestras tomadas.

$$t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0489}{0,0000303} = 1613,86 \text{ y para un } \alpha = 5\% \quad t_{14, 0.95} = 1,7623$$

Como $t_{n_1+n_2-2} = \frac{0,0489}{0,0000303} = 1613,86 > t_{14, 0.95} = 1,7623$, se rechaza la hipótesis nula para un $\alpha = 5\%$, por ende se concluye que el nivel de servicio del escenario 8 con frecuencia de 30 días es mayor que el nivel de servicio del escenario 11 sin revisión.