

PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN
LA EMPRESA CIS LTDA.

JAVIER JACOB CÁRDENAS MORENO

LUZ STELLA VASQUEZ TONCEL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2011

PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN
LA EMPRESA CIS LTDA.

JAVIER JACOB CÁRDENAS MORENO

LUZ STELLA VASQUEZ TONCEL

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Industrial

Asesor

Víctor Manuel Quesada ibargüen Ph. D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2011

Cartagena de Indias, D. T. y C., Abril de 2011

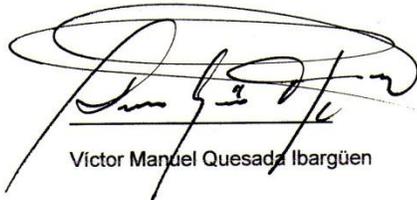
Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Ciudad

Apreciados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración el trabajo de grado titulado "PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN LA EMPRESA CIS LTDA.", realizado por los estudiantes JAVIER JACOB CÁRDENAS y LUZ STELLA VASQUEZ, para optar al título de Ingeniero Industrial. Este trabajo ha contado con mi asesoría, en calidad de director del mismo.

Atentamente,



Víctor Manuel Quesada Ibarquén

*Recibido
20/04/11*

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., 1 de Mayo de 2011

RESUMEN

En este trabajo se presentan dos métodos de control de inventarios para garantizar la disponibilidad de productos, y a la vez proteger contra los excesivos costos de mantener inventario dentro de la empresa CIS LTDA. Las políticas de control sugeridas son la cantidad fija del pedido y la revisión periódica. Las propuestas son evaluadas mediante un modelo de simulación, desarrollado en Excel, que calcula indicadores clave en gestión de inventarios y determina la efectividad de las soluciones. Se concluye que es posible obtener una reducción en los costos asociados al inventario sin afectar el nivel de servicio si se implementan las políticas propuestas.

PALABRAS CLAVE: control de inventarios, cantidad fija de pedido, revisión periódica, nivel de servicio, modelo de simulación, Excel.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO TEÓRICO.....	16
4.1 ROL DE LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS	16
4.2 MOTIVOS PARA MANTENER INVENTARIO	18
4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS	18
4.3.1 Perspectiva Estratégica	19
4.3.2 Perspectiva Operacional.....	20
4.4 LA REGLA DE PARETO Y LA CLASIFICACIÓN ABC	21
4.5 MÉTODOS DE CONTROL DE INVENTARIOS	23
4.5.1 Método del punto de reorden.....	25
4.5.2 Método de revisión periódica	26
4.6 SIMULACIÓN.....	27
4.6.1 Etapas en un estudio de simulación	28
4.7 COSTOS ASOCIADOS AL INVENTARIO	31
4.7.1 Costos de adquisición.....	31
4.7.2 Costos de mantener el inventario	32
4.7.3 Costos por falta de existencias	34
4.8 MEDIDAS DESEMPEÑO EN LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS ..	35
4.9 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LOS NIVELES DE SERVICIO.....	37
5. METODOLOGÍA.....	41
6. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN	43
6.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	43
6.2 DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL	43
6.2.1 Objetivo del modelo	44
6.2.2 Salidas del modelo.....	44
6.2.3 Factores Experimentales	46

6.2.4 Contenido del modelo	46
6.2.5 Supuestos del modelo	48
6.3 FLUJOGRAMA DEL MODELO	49
6.4 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ENTRADA	50
6.5 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	53
6.5.1 Variables	54
6.5.2 Descomposición del problema	55
6.6 INTERFAZ DE USUARIO	58
6.7 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	59
7. ANÁLISIS DATOS DE SALIDA	61
8. CONCLUSIONES	67
9. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. ¿En cuál dirección?	17
Figura 2. Curvas de diseño para la administración de inventarios	17
Figura 3. Tipos de stock según perspectiva estratégica.....	19
Figura 4. Análisis ABC	22
Figura 5. Tipos de sistemas de control de inventarios	24
Figura 6. Control de inventarios del punto de reorden bajo incertidumbre	25
Figura 7. Control de inventario de revisión periódica bajo incertidumbre	26
Figura 8. Etapas en un estudio de simulación.....	28
Figura 9. Decisiones sobre políticas de inventarios	31
Figura 10. Costos del servicio	38
Figura 11. Probabilidad del nivel de ventas según límites.....	38
Figura 12. Niveles de servicio y la distribución normal.....	39
Figura 13. Referencia para diseñar un modelo conceptual	43
Figura 14. Diagrama de flujo del modelo de inventarios	49
Figura 15. Rol de una distribución teórica de probabilidad en la simulación	50
Figura 16. Demanda 2010 Mini Split Samsung 12000 BTU	51
Figura 17. Gráfica probabilidad-probabilidad modelo AS12VBBC	51
Figura 18. Variables del modelo de simulación	54
Figura 19. Código procedimiento de inicialización	55
Figura 20. Código procedimiento de evaluación del inventario	55
Figura 21. Código procedimiento demanda cliente	56
Figura 22. Código procedimiento recepción de producto	57
Figura 23. Código procedimiento cálculo e impresión.....	57
Figura 24. Cuadro de dialogo del modelo de simulación.....	58
Figura 25. Estadísticas CASSETTE CC36BTVA.....	61
Figura 26. Estadísticas MPS LMNC242D3MO.....	62
Figura 27. Estadísticas CASSETTE LG LT-C602MLE0	63
Figura 28. Estadísticas MULTI SPLIT MC48F3AXAP	64
Figura 29. Estadísticas MPS LMNC122DUMO	65
Figura 30. Estadísticas MINI SPLIT AS12USBA	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticas productos representativos en el año 2010	12
Tabla 2. Componentes del modelo conceptual	46
Tabla 3. Estadísticas equipos seleccionados	47
Tabla 4. Distribuciones de probabilidad equipos seleccionados	52
Tabla 5. Componentes costo de almacenamiento	52
Tabla 6. Verificación y Validación en los diferentes niveles de modelización	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Distribuciones de Probabilidad	74
ANEXO B. Hoja de resultados (una sola réplica)	83
ANEXO C. Hoja de resultados (varias réplicas)	84

INTRODUCCIÓN

Los inventarios son una parte esencial de cualquier empresa. Sin embargo, muchas no visualizan el impacto que pueden tener los inventarios dentro de sus finanzas. De acuerdo a Frazelle¹, los costos anuales de almacenamiento varían entre un 15 y un 40 por ciento del valor del inventario. Si, por ejemplo, asumimos que para una empresa el valor del inventario anual es de 100 millones de pesos, mantener ese inventario un año cuesta entre 15 y 40 millones.

CIS LTDA posee un problema similar. La empresa no le está dando la importancia necesaria a la administración de los inventarios. Al consultarles reconocieron que no llevan un control riguroso de los niveles de inventario, simplemente los pedidos se realizan cuando se creen convenientes. Como consecuencia el valor del inventario anual es innecesariamente alto en muchos de sus productos.

En este trabajo se propone una solución para reducir el exceso de inventario. Si se utilizan métodos formales de control es posible reducir los costos de almacenamiento porque ajustan el nivel de inventario de acuerdo al comportamiento de la demanda. Al trabajar en función de la demanda se reduce el riesgo de tener inventario de más o de no tener inventario disponible.

El control de inventarios se resume en definir políticas que determinen cuándo y cuánto pedir. Estas políticas deben seleccionarse de modo que mantengan un balance entre servicio al cliente y los costos asociados al inventario. En el caso de este proyecto se utilizó un modelo de simulación que evaluó las diferentes políticas propuestas. El modelo, para cada propuesta, calculó varios indicadores de desempeño y determinó cuales son las políticas que logran el equilibrio óptimo.

¹ FRAZELLE, Edward. Supply chain strategy: the logistics of supply chain management. McGraw-Hill; 2002. p. 45.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

C.I.S. LTDA es una empresa prestadora de servicios de ingeniería en refrigeración que se especializa en la importación, comercialización, mantenimiento y montaje de equipos eléctricos y acondicionadores de aire. Actualmente CIS LTDA no posee una política de gestión de inventarios definida y tampoco un sistema adecuado para controlarlos. La empresa adquiere sus productos cada vez que lo cree conveniente y en cantidades inferidas de acuerdo a un pronóstico de la demanda basado en la experiencia.

Esta forma de administrar los inventarios es perjudicial porque a pesar de obtener niveles de servicio aceptables produce una acumulación de stock innecesario. Al analizar los movimientos de sus principales productos en el 2010* se observó que en la mayoría de los casos el inventario promedio supera bastante la demanda promedio. Además la rotación de inventarios es pequeña, en otras palabras, los productos permanecen demasiado tiempo en el almacén (ver productos con el símbolo de advertencia en la Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticas productos representativos en el año 2010

REFERENCIA EQUIPO		DEMANDA PROMEDIO	INVENTARIO PROMEDIO	ROTACIÓN INVENTARIO
MPS INDOOR FANCOIL LMNC122D4AO		3	8	4,8
MINI SPLIT DE 12000 SAMSUNG AS12USBA	⚠	3	10	3,2
MULTI SPLIT LG 2 X 9 M182CX	⚠	3	8	3,8
AIRE CENTRAL SAMSUNG AC36VTVA		2	4	6,7
MINI SPLIT 36000 BTU LG S362CP		2	2	14,2
MINI SPLIT 9000 SAMSUNG AS09RSB		2	5	5,0
MPS INDOOR FANCOIL LMNC092D4AO		1	3	7,8
CASSETTE LG LT-C362NLEO		1	2	7,5
ART COOL 24000BTU C242CR		1	3	3,9
MINI SPLIT DE 12000 LG	⚠	1	6	2,2

Fuente. Bases de datos CIS

Dos ejemplos críticos son el Mini Split LG de 12.000 BTU y el Mini Split SAMGSUNG de 12.000 BTU. En estos dos casos el inventario mensual promedio es más del triple de la demanda mensual promedio y la rotación no es mayor que tres, lo que significa tiempos de permanencia en el almacén de aproximadamente seis meses.

* Productos más significativos de acuerdo a clasificación ABC y comentarios del Gerente

Tener inventarios que no rotan, que casi no se venden, es un factor negativo para las finanzas de la empresa porque es un capital significativo que se mantuvo inmóvil pretendiendo satisfacer necesidades inexistentes. Este dinero, representado en inventario de sobra, pudo haberse invertido en otra opción y al menos generar alguna rentabilidad, pero como el stock se mantuvo guardado únicamente dificultó su control y generó costos adicionales a la empresa.

Entre más tiempo permanezca un producto en almacén mayor será la probabilidad de que esta se deteriore o se vuelva obsoleto. Si esto ocurre, la empresa se ve obligada a vender la mercancía a menor precio y reducir su margen de utilidad.

La administración ha logrado niveles de servicio estables a través del tiempo; sin embargo, el precio que se está pagando es demasiado alto y no se justifica porque un rediseño de sus políticas de inventario y pronósticos de la demanda más precisos lograrían lo mismo y con menos recursos.

Si esta situación sigue a este ritmo, la empresa perderá oportunidades importantes de inversión, ya que se mantiene demasiado capital inmóvil en inventarios que podría utilizarse en mejoras tecnológicas o expansiones a nuevos mercados. A largo plazo las posibilidades de crecimiento se verán truncadas y se perderá terreno frente a la competencia.

Es necesario diseñar un modelo para la planificación y el control de inventarios en CIS LTDA. Este debe suministrar los procedimientos que garanticen la disponibilidad oportuna de sus productos, y a la vez proteger contra los excesivos costos de mantener inventario.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un conjunto de recomendaciones a la administración de inventarios de CIS LTDA, basándose en modelos exitosos de gestión y validándolas por medio de la simulación, que permitan reducir los costos asociados al inventario y al mismo tiempo garantizar niveles de servicio satisfactorios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar la situación actual del manejo de inventarios en la empresa mediante entrevistas y análisis causa-efecto para describir sus resultados.
2. Proporcionar un conjunto de recomendaciones y métodos, basados en el conocimiento de las buenas prácticas en la administración de inventarios, para reducir los costos de inventario y obtener el nivel de servicio deseado.
3. Elaborar un modelo, utilizando la teoría de la simulación de procesos, que represente la administración actual de inventarios y además permita incluir las propuestas de mejora definidas en el objetivo anterior.
4. Realizar un cuadro comparativo entre los indicadores de inventario actuales y las mejoras esperadas, en términos de costos y nivel de servicio, para determinar la efectividad de las propuestas.

3. JUSTIFICACIÓN

La gestión de un sistema de inventarios es una actividad transversal a la cadena de abastecimiento que constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía. Las inversiones en los inventarios son cuantiosas y el control de capital asociados las materias primas, los inventarios en proceso y los productos finales, constituyen una potencialidad para lograr mejoramientos en el sistema.

Sin embargo, esta complejidad en la gestión se hace cada vez más aguda teniendo en cuenta los efectos que generan fenómenos como la globalización, la apertura de mercados, el incremento en la diversificación de productos y referencias, la producción y distribución de productos con altos estándares de calidad, y la masificación de acceso a la información. Esto ha hecho que sea muy común escuchar a los administradores, gerentes y analistas de logística, que uno de los principales problemas que deben enfrentar es la administración de los inventarios. CIS LTDA no es la excepción, ya que el modelo de abastecimiento vigente está pobremente diseñado y ha elevado considerablemente los costos financieros y la variabilidad en los niveles de inventarios.

Realizar esta investigación es necesario porque, utilizando métodos científicos, se desarrollará una nueva política de gestión de inventarios que permitirá ganar a la empresa una ventaja competitiva apreciable en el mercado. Esto es posible porque optimizar los niveles de inventario facilita el control de estos, minimizando las pérdidas por robo, obsolescencia o deterioro (que al final son costos trasladados al cliente); además el dinero ahorrado puede ser utilizado para inversiones tecnológicas de aumento en la productividad o proyectos de expansión para entrar a nuevos mercados.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ROL DE LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

El éxito de una empresa depende de su habilidad en proporcionar servicios a sus clientes o usuarios y permanecer financieramente viable. Para una organización la cual suministra bienes a sus consumidores, la actividad principal es tener disponibles productos adecuados a un precio aceptable en un intervalo de tiempo razonable. Específicamente, para las empresas que distribuyen productos que ya se encuentran en el mercado, en otras palabras tienen los productos adecuados a precios razonables, su actividad principal es ofrecer un suministro continuo a los clientes.

Según WILD², el control de inventarios cumple el propósito anterior porque es una actividad la cual organiza la disponibilidad de artículos a los clientes. Tiene como misión coordinar las funciones de compras, fabricación y distribución para satisfacer las necesidades de mercado. De esta forma los inventarios apoyan a la empresa en el servicio al cliente, logística o actividades de fabricación en situaciones donde la compra o fabricación de los artículos no son suficientes para satisfacer la demanda.

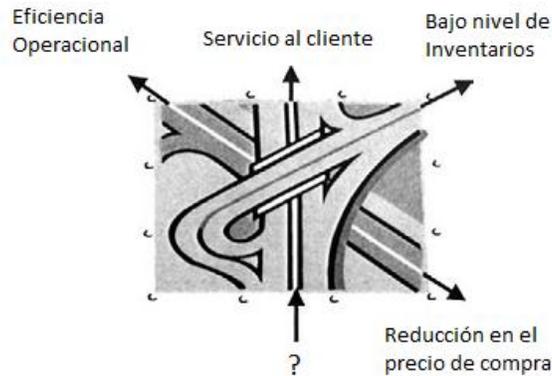
Para comprender cómo funciona el control de stock* WILD³ sugiere visualizarlo como un cruce de caminos entre las actividades de la compañía (figura 1). Muchas de las actividades dependen del nivel correcto de stock almacenado, pero la definición de “nivel correcto” varía dependiendo de la actividad que está definiendo el stock. El control de stock puede verse como un balance entre los requisitos en conflicto de las diferentes áreas de una organización (ventas, compras, finanzas, calidad, administración, entre otros), y la razón principal para el desarrollo de la administración de inventarios es resolver este conflicto de la forma que beneficie más a la empresa.

² WILD, Tony. Best practice in inventory management. 2 ed. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 2002. p. 4

* En este documento los términos “inventario” y “stock” tienen el mismo significado.

³ WILD. Op. cit. p. 4.

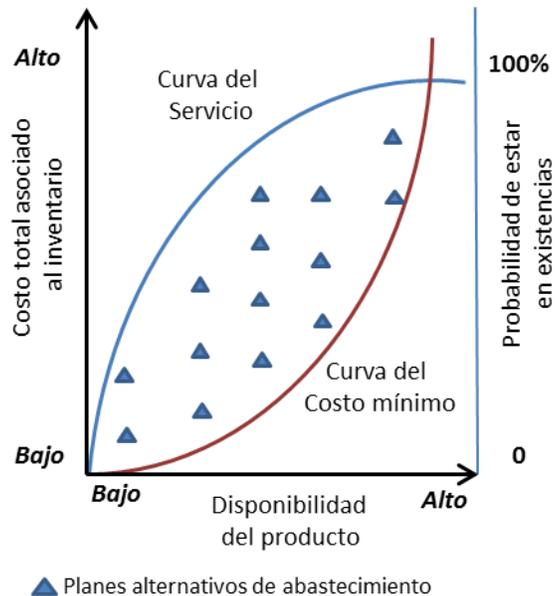
Figura 1. ¿En cuál dirección?



Fuente: WILD. Best practice in inventory management.

WILD⁴ afirma que el rol normal de la administración de inventarios es satisfacer la demanda a un costo mínimo. Entonces el propósito principal de la función del control de inventarios es encontrar el intercambio óptimo entre servicio al cliente y los costos asociados al inventario.

Figura 2. Curvas de diseño para la administración de inventarios



Fuente: BALLOU. Logística administración de la cadena de suministro.

⁴ *Ibíd.* p. 4.

4.2 MOTIVOS PARA MANTENER INVENTARIO

A pesar de la clara tendencia hacia la reducción de stocks, muchas organizaciones no pueden reducirlos. La razón principal para mantener inventarios es que ofrecen un amortiguador para la variabilidad y la incertidumbre entre oferta y demanda. Según WATERS⁵, los stocks:

- Actúan como un amortiguador entre las diferentes partes de la cadena de suministros
- Permiten demandas más grandes que las esperadas, o en momentos inesperados
- Permiten entregas que estén retrasadas o sean demasiado pequeñas
- Toman ventaja de los descuentos cuando se realizan ordenes grandes
- Permiten la compra de artículos cuando el precio es bajo y se espera que suba
- Admiten la compra de artículos que van a salir de producción o son difíciles de conseguir
- Permiten las operaciones en temporadas
- Realizan cargas completas y reducen los costos de transporte
- Dan cubrimiento a las emergencias
- Pueden ser rentables cuando la inflación es alta

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS

De acuerdo a MÖLLERING⁶ para obtener un mejor control sobre los inventarios generalmente se clasifican en diferentes tipos. La clasificación en sí depende de la perspectiva desde donde se observen los inventarios. La primera perspectiva, estratégica o también conocida como contable, distingue tres tipos de inventario basados en el valor agregado en las diferentes etapas de la fabricación. La segunda clasificación tiene un trasfondo más operacional y divide los stocks basándose en su rol dentro del sistema de inventarios.

⁵ WATERS, Donald. Logistics: an introduction to supply chain management. Hampshire: Palgrave Macmillan, 2003. p. 254

⁶ MÖLLERING, Karin. Inventory Rationing: A new approach using Markov chain theory. Kolner, 2007. p. 13.

4.3.1 Perspectiva Estratégica

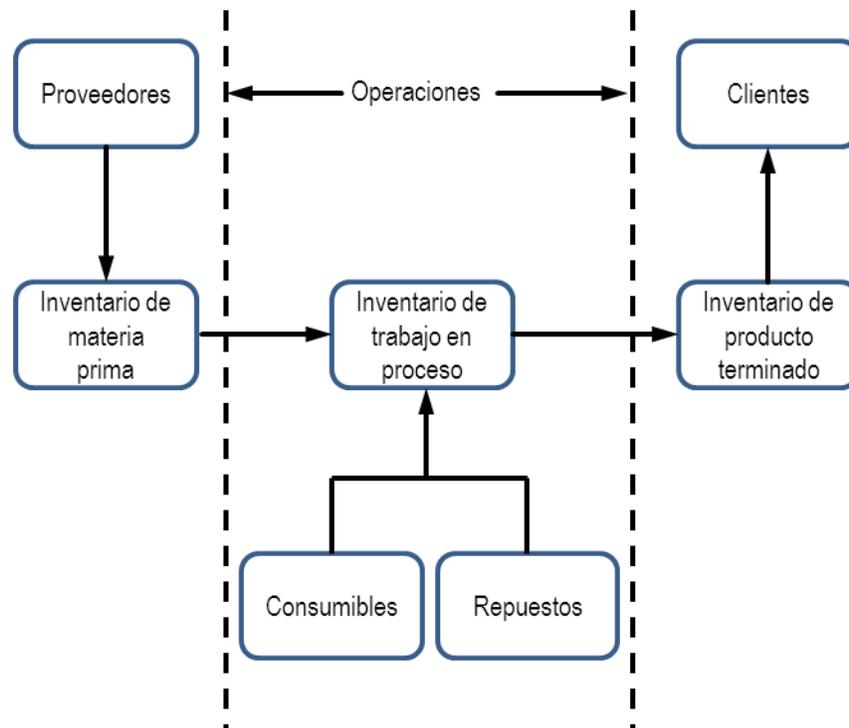
En el contexto de la fabricación los tres tipos de inventarios comunes de acuerdo a WATERS⁷ son:

- Materia prima: los materiales, partes y componentes que han sido enviados a una organización pero aún no han sido utilizados.
- Trabajo en proceso: materiales que ya empezaron, pero no han terminado su trayecto a través del proceso de producción.
- Producto terminado: bienes que ya terminaron el proceso y están esperando ser enviados al cliente.

Algunos artículos no caen fácilmente en estas categorías, y por eso se añaden dos tipos adicionales:

- Repuestos: para maquinaria, equipo, etcétera.
- Consumibles: tales como el aceite, gasolina, papel, etcétera.

Figura 3. Tipos de stock según perspectiva estratégica



Fuente: WATERS. An introduction to supply chain management.

⁷ Ibid., p. 255

4.3.2 Perspectiva Operacional

Desde el punto de vista de un administrador, los inventarios se clasifican basados en la disponibilidad o el propósito que tienen en el sistema de inventarios.

Cuando se trata de disponibilidad, los inventarios que se han pedido, pero aún no pueden ser entregados se les conoce como *inventario en tránsito*. Por otro lado a los inventarios que se encuentran físicamente en el almacén se les llama *inventario a la mano*. El inventario que está físicamente disponible puede estar comprometido de alguna manera, por ejemplo en demandas de periodos anteriores que no se cumplieron, a esto se les denomina *pedidos pendientes* (backorders en inglés). La cantidad restante de stock en almacén, que aún no ha sido comprometida, se conoce como inventario neto o nivel de inventario y se puede expresar así:

$$\text{Inventario neto} = \text{Inventario a la mano} - \text{Pedidos pendientes}$$

El inventario total disponible es llamado *posición de inventario* y se define como:

$$\begin{aligned} & \text{Posición de inventario} \\ = & \text{Inventario a la mano} + \text{Inventario en tránsito} - \text{Pedidos Pendientes} \\ = & \text{Inventario neto} + \text{Inventario en tránsito} \end{aligned}$$

En la clasificación de los inventarios de acuerdo a su propósito, dos tipos son típicamente destacables para dirigir el sistema de inventarios: *inventario de ciclo* e *inventario de seguridad*. El inventario de ciclo es el que resulta de la reposición del inventario vendido o usado en producción. Se requiere para satisfacer la demanda en condiciones de certeza; es decir, cuando es posible predecir la demanda y los tiempos de reposición (lead times* en inglés). Finalmente el inventario de seguridad es el inventario adicional que se mantiene para proteger contra las variabilidades en la demanda y el suministro. La cantidad del stock de seguridad depende de la variabilidad y la disponibilidad del producto deseado, por lo tanto, para minimizarlo es esencial realizar pronósticos precisos.

* Lead time puede definirse como la cantidad de tiempo que transcurre entre el momento de realizar un pedido y la recepción de los bienes ordenados.

4.4 LA REGLA DE PARETO Y LA CLASIFICACIÓN ABC

WATERS⁸ destaca una regla útil desarrollada en el siglo diecinueve por Vilfredo Pareto quien encontró que el 20% de la población poseían el 80% de la riqueza. En términos generales esta regla puede interpretarse así: el 80% del efecto es proporcionado por el 20% de las causas (aunque estos no son números definitivos, se dan otros casos como por ejemplo 70-20). En el caso particular de los inventarios, el 80% del valor total de los inventarios son atribuidos al 20% de los artículos en stock. De esta forma, el análisis de Pareto es una técnica que puede ser utilizada para minimizar el esfuerzo y lograr los mejores resultados concentrándose solo en estos productos.

WILD⁹ afirma que el análisis de Pareto para el nivel actual de inventario es bueno para reducir los niveles de stock, pero se requiere una clasificación más consistente cuando se enfoca a la administración de inventarios. El sugiere utilizar un ranking de acuerdo al valor anual de los productos que está dado por el volumen anual demandado multiplicado por el costo unitario. Esta nueva clasificación se conoce como ABC, y le añade al análisis de Pareto una categorización al stock de acuerdo a su valor. Se pueden definir de esta forma:

- A = 10 por ciento del inventario, brinda el 65 por ciento del valor anual
- B = 20 por ciento del inventario, brinda el 25 por ciento del valor anual
- C = 70 por ciento del inventario, brinda el 10 por ciento del valor anual

Es importante asegurar que el análisis ABC este basado en el volumen de los productos, pero no es indispensable que los porcentajes sean exactos. Además agrega que en algunos casos una categoría extra (D) es útil para incluir un número grande de productos con volumen bajo en ventas. Esto permite que los agrupados en las líneas A, B y C sean reducidos a números manejables.

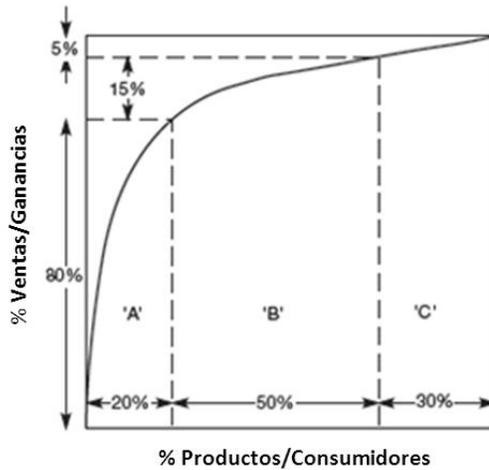
El propósito de la técnica ABC es ofrecer el servicio deseado con la menor cantidad de costo y esfuerzo. CHRISTOPHER¹⁰ reconoce que junto a otras técnicas de control, se puede usar como la base para desarrollar la estrategia con mejor relación costo-servicio. Este acercamiento se construye alrededor del supuesto que no todos los clientes y no todos los productos son igual de rentables, y que las compañías deben diferenciar sus niveles de servicio de acuerdo a la importancia de sus clientes. La figura muestra esa posición.

⁸ WATERS, Donald. Inventory control and management. Wiley. 2003. P. 208

⁹ WILD. Op. cit. p.36

¹⁰ CHRISTOPHER, Martin. Logistics and supply chain management: creating value-adding networks. Pearson Education, 2005. p. 69

Figura 4. Análisis ABC



Fuente: CHRISTOPHER. Logistics and supply management

Viéndolo desde esa perspectiva, el análisis ABC puede ser usado como base para definir las reglas de control de inventario donde la disponibilidad de productos más alta se le brinda a los productos A, un poco menos para B y las más baja para la categoría C.

Alternativamente, es posible diferenciar las políticas de almacenamiento de stock teniendo en cuenta tanto la contribución a la utilidad como el volumen de ventas. Como resultado, se tienen las matrices que definen los diferentes acercamientos a productos distintos. Este concepto de priorización en el servicio puede ser fácilmente extendido a la segmentación de los clientes. Las matrices se muestran en la figura a continuación.

4.5 MÉTODOS DE CONTROL DE INVENTARIOS

El objetivo de los métodos de control de inventarios es dar respuesta a las siguientes preguntas definidas por WATERS¹¹:

- ¿Qué productos debemos mantener en stock?
- ¿Cuándo debemos realizar una orden o empezar producción?
- ¿Cuánto debemos ordenar o producir?

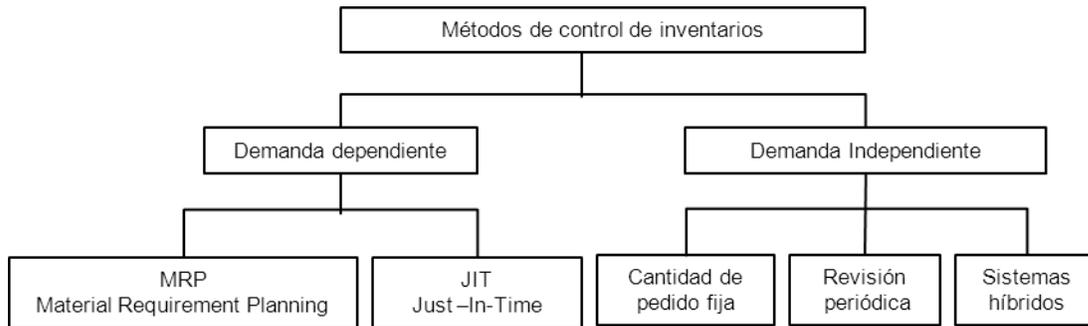
¿Qué productos debemos mantener en stock? Antes de añadir cualquier producto al inventario deben ser considerados los costos y beneficios asociados a este. Esto quiere decir que una organización no debería permitir que artículos innecesarios se añadan al inventario, y se deben realizar búsquedas regulares para remover stock obsoleto o muerto.

¿Cuándo debemos realizar una orden? Dependiendo de una gran cantidad de factores (método de control utilizado, tipo de demanda, lead time, costo del producto, etc.) se obtendrá una respuesta diferente a esta pregunta.

¿Cuánto debemos ordenar? Para determinar esta cantidad se debe establecer un equilibrio entre los costos de ordenar y de almacenamiento. Ordenes grandes e infrecuentes dan altos niveles de inventario, pero bajos costos por realizar y administrar el pedido; por otro lado, ordenes pequeñas y frecuentes dan niveles bajos de inventario, pero costos altos por realizar y administrar el pedido. Para responder estas tres preguntas, es necesario un estudio profundo de la demanda para determinar sus patrones de comportamiento. Hay dos tipos básicos de demanda, independiente (probabilística) y dependiente (determinística). La demanda para un artículo se considera independiente si los requerimientos no están asociados a cualquier otro artículo. En contraste, la demanda se considera dependiente cuando existe una relación directa entre la demanda de un artículo y otro. Para cada tipo de demanda, se usa un tipo diferente de política de inventarios.

¹¹ WATERS. Op. cit. p. 256.

Figura 5. Tipos de sistemas de control de inventarios



Fuente: WATERS. An introduction to supply chain management.

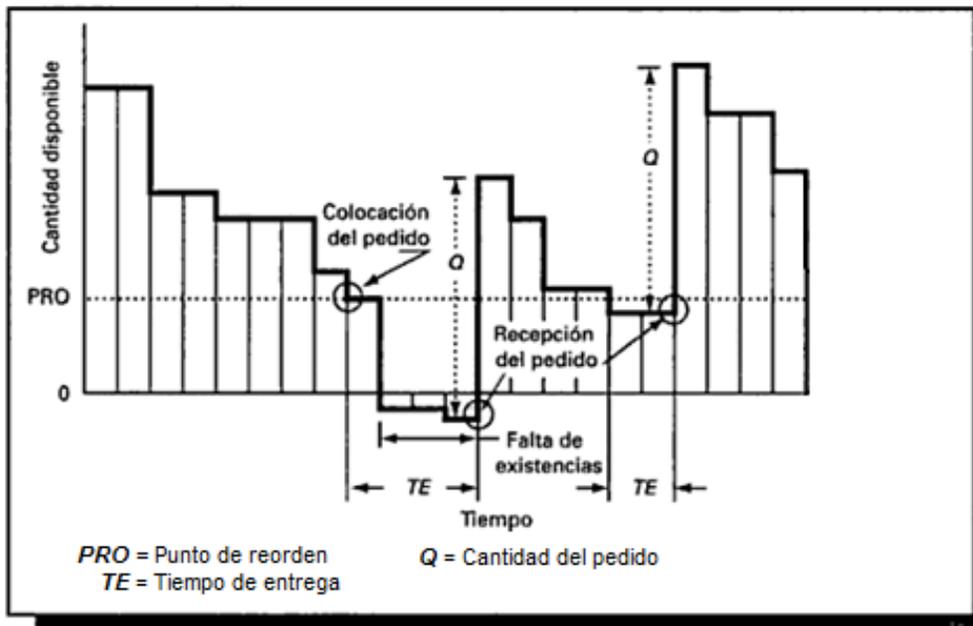
De acuerdo a BALLOU¹² dos métodos forman la base para la mayor parte de filosofías de control de inventarios con demanda independiente. Estas son el método del punto de reorden, y el método de revisión periódica. Los sistemas prácticos de control pueden basarse en cualquiera de estos métodos o en una combinación de ellos. Para el propósito de este proyecto solo se analizarán los modelos para demanda independiente basados en estos métodos.

¹² BALLOU, Ronald. Logística: Administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Pearson Educación. 2004. p. 349.

4.5.1 Método del punto de reorden

El control de inventarios por punto de reorden supone que la demanda es perpetua y actúa continuamente en el inventario para reducir su nivel. Cuando el inventario se reduce hasta el punto en el que su nivel es igual o menor que una cantidad específica llamada el punto de reorden, se coloca una cantidad Q en el punto de suministro para reponer el inventario. Entre el momento en el que se reabastece el pedido al punto de reorden y cuando el mismo llega al stock, hay riesgo de que la demanda exceda a la cantidad que queda en el inventario. La probabilidad de que esto ocurra se controla elevando o descendiendo el punto de reorden y ajustando Q .

Figura 6. Control de inventarios del punto de reorden bajo incertidumbre

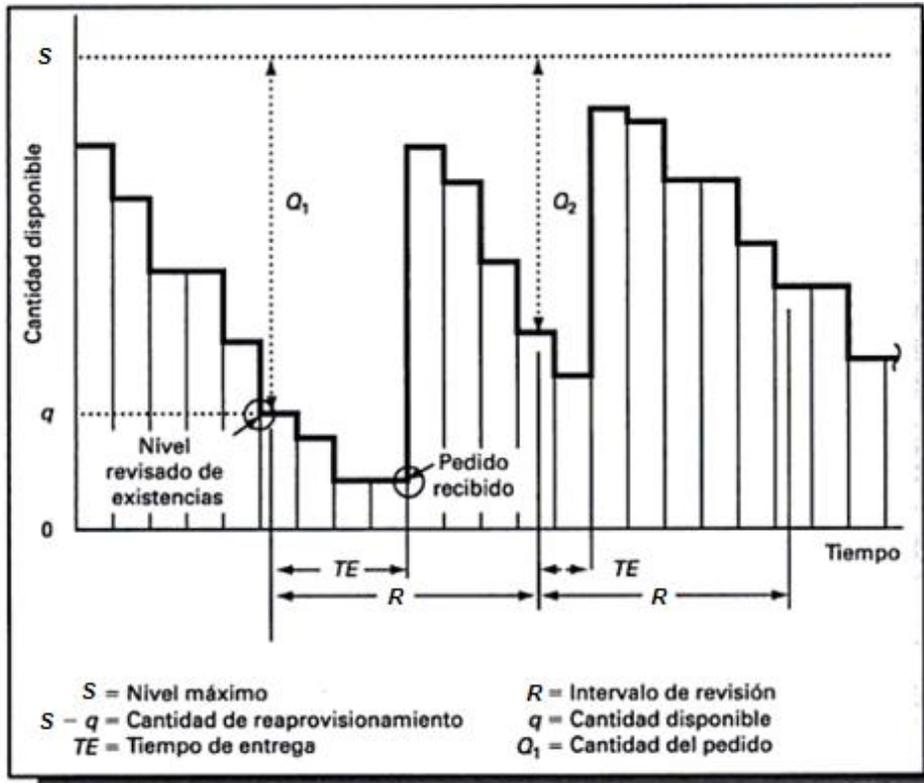


Fuente: BALLOU. Logística administración de la cadena de suministro.

4.5.2 Método de revisión periódica

En el método de control de revisión periódica la posición de inventario es auditada en intervalos de tiempo de tamaño R . La cantidad por colocar en un pedido es la diferencia entre una cantidad máxima S y la cantidad disponible en el momento de la revisión. Por lo tanto, el inventario se controla estableciendo R y S .

Figura 7. Control de inventario de revisión periódica bajo incertidumbre



Fuente: BALLOU. Logística administración de la cadena de suministro.

Es importante aclarar que en cualquiera de los métodos al momento de realizar los pedidos se hacen en función de la posición de inventario y no del nivel de inventario. Esto porque la posición de inventario captura el inventario a la mano y el que está por llegar, de esta forma se evita la tendencia de subestimar o exceder la cantidad pedida.

4.6 SIMULACIÓN

Los modelos de simulación son generalmente herramientas costosas a usar en análisis de sistemas. Mientras sea posible, un modelo analítico simple es preferible. Sin embargo, en muchos casos las condiciones asumidas por modelos analíticos con solución no se ajustan al mundo real; por lo tanto un analista duda en usarlos. Una simulación puede ser usada para sugerir un modelo aproximado apropiado y determinar qué tan buena es una aproximación dada un modelo analítico.

Un modelo de simulación en un sistema extenso y completo puede ser una herramienta muy útil, pero también costosa y demorada. Cuando sea aplicable, es preferible usar un modelo analítico simple. Sin embargo, en muchos casos las condiciones simplificadas asumidas por un modelo analítico no se ajustan al mundo real, y modelos más realistas son demasiado complejos de resolver y aquí es donde es aplicable la simulación. El estándar de la simulación es directo: responder una pregunta específica u obtener la descripción del comportamiento de un sistema mientras algunos de sus parámetros cambian.

Preferir los modelos de simulación sobre los modelos analíticos tradicionales para la planeación de inventarios brinda varios beneficios como afirma BROWNE¹³

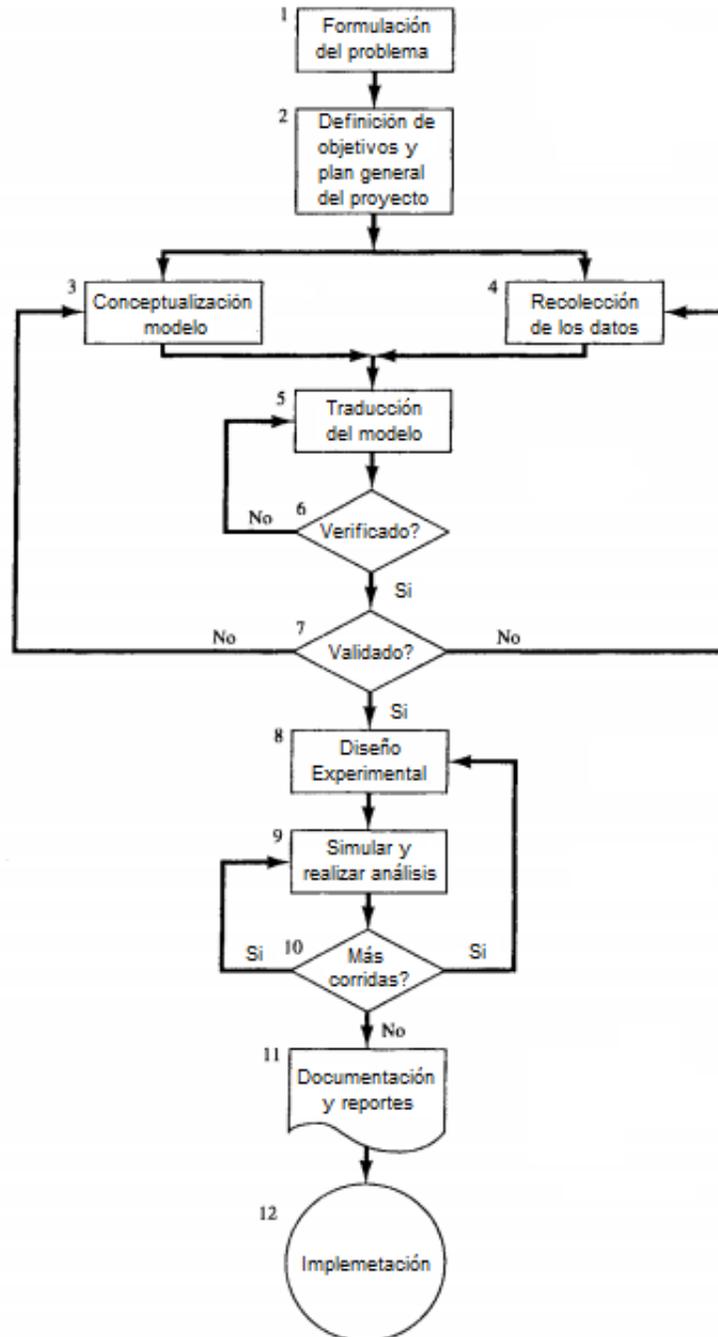
- Mayor precisión. Debido a que los patrones de reabastecimiento y demanda irregulares pueden ser modelados.
- Mayor flexibilidad. El modelo puede ser elaborado a la medida para adaptarse a la situación en vez de forzar la situación a ajustarse a las limitaciones de un modelo existente.
- Más fácil de modelar. Las formulas complejas que intentan capturar el problema en su totalidad son reemplazadas con simples expresiones aritméticas que describen relaciones básicas de causa y efecto.
- Resultados más informativos. Es posible mostrar las condiciones dinámicas del inventario a través del tiempo y brindar un resumen de la demanda, suministros y faltantes.
- Se ajusta más a la administración. Permite evaluar y comparar escenarios propuestos, además de facilitar tablas y gráficos que los directivos pueden entender rápidamente.

¹³ BROWNE, Jim. "Analyzing the dynamics of supply and demand for goods and services". Industrial Engineering, June 1994. P. 18-19.

4.6.1 Etapas en un estudio de simulación

La figura 9 resume los pasos para desarrollar un estudio de simulación.

Figura 8. Etapas en un estudio de simulación



Fuente: BANKS. et al. Discrete-Event System Simulation.

Formulación del problema. Todo estudio de simulación empieza con la formulación del problema. Si la definición es realizada por aquellos quienes tienen el problema (cliente), el analista de simulación debe tomar precauciones extremas para asegurarse que el problema está claramente entendido. Si la definición del problema es preparada por el analista de simulación, es importante que el cliente entienda y este de acuerdo con la formulación. Se sugiere que se prepare un conjunto de supuestos por el analista y estos sean acordados con el cliente. Incluso con todas esas precauciones, es posible que el problema necesite ser reformulado mientras progresa el estudio.

Definición de objetivos y del plan general. Otra forma de llamar a este paso es “realizar una propuesta”. Los objetivos indican las preguntas que el estudio de simulación responderá. El plan de proyecto para el estudio indica los términos de tiempo que serán requeridos, personal que será usado, requerimientos de hardware y software si el cliente quiere correr el modelo y realizar los análisis, etapas en la investigación, salidas en cada etapa, costo del estudio y procedimientos de facturación.

Conceptualización del modelo. El sistema del mundo real es abstraído por medio de un modelo conceptual, una serie de relaciones matemáticas y lógicas acerca de los componentes y la estructura del sistema. Se recomienda que el modelo empiece simple y la complejidad aumente hasta encontrar el modelo apropiado. No es necesario construir un modelo excesivamente complejo. Esto aumentará los costos y el tiempo del estudio sin aumentar la calidad de los resultados. El cliente debe estar involucrado en el proceso de construcción del modelo. Esto mejorará la calidad del modelo final e incrementará la confianza del cliente en su uso.

Recolección de los datos. Poco después de que la propuesta sea “aceptada”, un programa de los datos requeridos debe ser presentado al cliente. En las mejores circunstancias, el cliente ya ha estado recolectando el tipo de datos necesario en el formato requerido y pueden entregarse esos datos al analista de simulación en formato electrónico. En otras ocasiones es necesario que el analista obtenga la información por su cuenta. La recolección de datos es necesaria para estimar los parámetros de entrada del modelo que guiarán la simulación. Esta etapa es de vital importancia porque de acuerdo a la calidad de los datos suministrados al modelo así serán la calidad de los datos de salida, en otras palabras, si se ingresan datos basura, se obtendrán resultados basura.

Traducción del modelo. Luego de que el problema está completamente estudiado y la información requerida ya ha sido obtenida, el analista puede proceder a construir un modelo e implementarlo en un programa de computador. En esta fase, se debe construir una representación detallada del sistema basados en el modelo conceptual y los datos de entrada y salida recolectados.

El modelo se construye definiendo los objetos, atributos y métodos usando un lenguaje de programación. En este punto, se crea una especificación del modelo, incluyendo un conjunto de ecuaciones que definen su comportamiento y estructura. Después de terminar esta definición, se debe intentar construir una estructura preliminar del modelo (posiblemente relacionada a los variables del sistema y medidas de desempeño) describiendo cuidadosamente cualquier supuesto y simplificaciones e incluyéndolas en el programa. La construcción del modelo sigue unas pautas de crear, probar, y volver a crear, iterando hasta que el modelo cumpla los requisitos.

Verificación del modelo. En esta etapa se comprueba si el programa está funcionando correctamente utilizando las herramientas de depuración disponibles. La precisión de transformar la formulación de un problema en un modelo conceptual o la precisión de convertir un modelo conceptual en un programa de computadora ejecutable es evaluada en la verificación del modelo. En resumen la verificación se ocupa de construir correctamente el modelo.

Validación del modelo. La validación es la determinación de si el modelo conceptual es una representación precisa del sistema real. Esta fase responde la pregunta ¿Puede el modelo sustituirse por el sistema real para el propósito del experimento? En resumen la validación se ocupa de construir el modelo correcto.

Diseño experimental. Para cada escenario que será simulado, las decisiones deben realizarse de acuerdo a longitud de la simulación, el número de corridas (también llamadas replicas), y la forma de inicialización, como se requiera.

Simular y realizar análisis. Se realizan las corridas y sus respectivos análisis para estimar las medidas de desempeño para los escenarios simulados. Basados en el análisis de las corridas que ya han sido completadas, el analista determina si son necesarias más corridas y si más escenarios necesitan ser simulados.

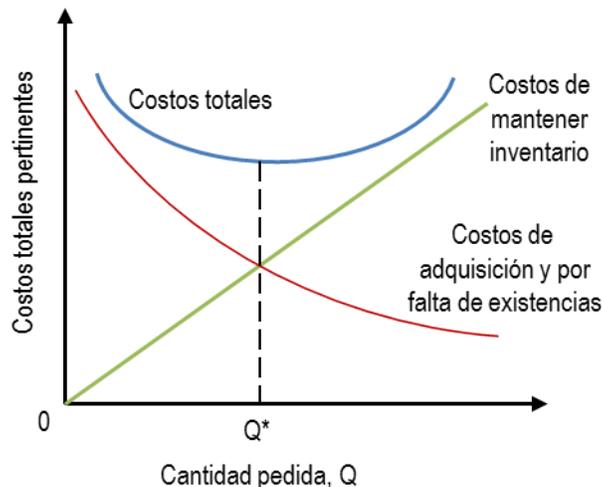
Documentación y reportes. La documentación es necesaria por numerosas razones. Si el modelo de simulación será usado de nuevo por diferentes analistas, es necesaria entender cómo opera la simulación. Esto estimulará la confianza en el modelo de simulación y así el cliente puede realizar decisiones en base al análisis. Además, si el modelo debe ser modificado, una buena documentación facilita bastante esta tarea. El resultado de todo análisis debe ser reportado de forma clara y concisa. Esto permitirá al cliente revisar la formulación final, las alternativas observadas, el criterio con el cual los sistemas alternativos fueron comparados, los resultados de los experimentos y las recomendaciones de los analistas.

Implementación. La última etapa es la implementación. Si el cliente se involucró en el estudio y los analistas siguieron todos los pasos rigurosamente, es muy probable que la implementación sea exitosa

4.7 COSTOS ASOCIADOS AL INVENTARIO

De acuerdo a BALLOU¹⁴ para determinar la política de inventarios son importantes tres clases generales de costos: costos de adquisición, costos de manejo y costos por falta de existencias. Estos costos están en conflicto, o en equilibrio entre sí. Para determinar la cantidad de pedidos de un artículo por reabastecer en un inventario, en la figura 1.4 se muestran estos efectos relevantes en equilibrio.

Figura 9. Decisiones sobre políticas de inventarios



Fuente: BALLOU. Logística administración de la cadena de suministro.

4.7.1 Costos de adquisición

El costo de ordenar incluye todos los costos incrementales asociados con colocar o recibir un pedido extra en los que se incurre sin importar el tamaño del pedido.

Este costo se estima como la suma de todos los costos componentes. Es importante que el costo a ordenar incluya sólo el cambio incremental en el costo real que produce un pedido adicional. Por lo general, el costo a ordenar es una función escalonada que es cero cuando el recurso no es completamente utilizado, pero que tiene un valor muy alto cuando el recurso se emplea en su totalidad.

¹⁴ BALLOU, Op. cit. p. 335

En ese momento, el costo de ordenar es el costo del recurso adicional requerido. Los componentes el costo de ordenar incluyen:

- **Tiempo del comprador:** Es el tiempo incremental del comprador que coloca el pedido extra. Este costo debe incluirse sólo si se utiliza en su totalidad al comprador. El costo incremental de que un comprador inactivo coloque un pedido es de cero y no se agrega al costo de ordenar. Los pedidos electrónicos reducen de modo significativo el tiempo que tarda un comprador en colocar un pedido.
- **Costo de transporte:** Con frecuencia, se incurre en un costo fijo de transporte sin importar el tamaño del pedido. El precio por una carga que no utiliza toda la capacidad del camión también incluye un componente fijo que es independiente de la cantidad enviada y un componente variable que se incrementa con la cantidad enviada. El componente fijo debe incluirse en el costo de ordenar.
- **Costo de recepción:** Se incurre en algunos costos de recepción sin importar el tamaño del pedido. Éstos incluyen cualquier trabajo de administración, como el cotejo de las órdenes de compra y a cualquier esfuerzo asociado con actualizar los registros de inventario. Los costos de recepción que dependen de la cantidad no deben incluir aquí.
- **Otros costos:** Cada situación puede tener costos únicos que deben considerarse si es que incurre en ellos en cada pedido sin importar la cantidad del mismo.¹⁵

4.7.2 Costos de mantener el inventario

Es la suma de todos los costos proporcionales a la cantidad de inventario disponible físicamente en cualquier punto en el tiempo. Entre los componentes del costo de mantener el inventario se incluyen diversos aspectos aparentemente no relacionados. Este se calcula como un porcentaje del costo de un producto y es la suma de los siguientes componentes principales.

Costo de capital: Este es el componente dominante del costo de mantener inventario de producto que no se vuelven obsoletos con rapidez. El método apropiado es evaluar el costo promedio ponderado del capital (WACC*, del inglés weighted - average cost of capital), el cual toma en consideración la tasa requerida de rendimiento del capital de la compañía y el costo de la deuda. Estos son ponderados por la cantidad de capital y deuda que tiene la compañía.

¹⁵ CHOPRA, Op. cit. p. 294,295 y 296.

* Para más información sobre el WACC véase Brealey y Myers (2000) página 525.

El WACC antes de impuestos es apropiado para una compañía que pueda incrementar su negocio usando fondos que libera gracias a la reducción de los inventarios, ya que los cálculos del inventario se realizan antes de impuestos. La mayoría de estas cifras se encuentran en el informe anual de la compañía y en cualquier informe de investigación de capital sobre la misma. La tasa de préstamo proviene de las tablas que contienen las tasas que se cobran por bonos de compañías con las mismas calificaciones de crédito. La tasa libre de riesgo es el rendimiento de los certificados de gobierno y la prima de riesgo de mercado es el rendimiento del mercado por encima de la tasa libre de riesgo. Si el acceso a la estructura financiera de la compañía no es posible, una buena aproximación se logra al emplear las cifras de compañías públicas de la misma industria y el tamaño es similar.

Costo de obsolescencia (o deterioro): El costo de obsolescencia estima la tasa a la que el valor del producto almacenado disminuye debido a que su valor de mercado a calidad bajan. El costo puede variar drásticamente, desde tasas de muchos miles por ciento hasta casi cero, dependiendo del tipo de producto. Los productos perecederos tienen tasas de obsolescencia altas. Incluso los productos no perecederos pueden tener tasas altas de obsolescencia si su ciclo de vida es breve. Un producto con un ciclo de vida de seis meses tiene un costo de obsolescencia efectivo de 200%. Por otro lado, están los productos como el petróleo crudo a los que les toma mucho tiempo volverse obsoletos o deteriorarse. Para tales productos, puede aplicarse una tasa muy baja de obsolescencia.

Costo de manejo de inventario: El costo de manejo de inventario debe incluir solo los costos incrementales de recepción y almacenaje que varían con la cantidad del producto recibida. Los costos del manejo independiente de la cantidad que varían con el número de pedidos deben incluirse en el costo de ordenar. A menudo, el costo de manejo dependiente de la cantidad no cambia si la cantidad varían dentro de un rango. Si la cantidad se halla dentro de este rango (por ejemplo, el rango de inventario que un grupo de cuatro personas pueden descargar por periodo), el costo de manejo de inventario incremental que se suma al costo de mantener inventario es cero. Si la cantidad manejada requiere más personas, se agrega un costo de manejo incremental al costo de mantener un inventario.

Costo de ocupación: El costo de ocupación refleja el cambio incremental en el costo de espacio debido al cambio de inventario de ciclo. Si se le cobra a la compañía con base en el número real de unidades mantenidas en almacenamiento, tenemos el costo directo de ocupación. Por lo regular, las compañías rentan o compran una cantidad fija de espacio. En tanto que un cambio marginal en el inventario de ciclo no modifique los requerimientos de espacio, el costo incremental de ocupación será de cero. Los costos de ocupación casi siempre toman la forma de una función escalonada, con un incremento repentino en el costo cuando la capacidad se utiliza a plenitud y debe adquirirse nuevo espacio.

Costos Varios: El componente final de los costos de mantener inventario se relaciona con una serie de otros costos relativamente pequeños. Éstos incluyen robos, seguridad, daños, impuestos y cargos adicionales de seguro en que se incurre. Una vez más, es importante estimar el cambio incremental en tales costos cuando el inventario de ciclo cambia.

4.7.3 Costos por falta de existencias

Se incurre en costos por falta de existencias cuando se coloca un pedido pero éste no puede surtir desde el inventario al cual está normalmente asignado. Hay dos tipos de costos por falta de existencias: costos por pérdidas de ventas y costos por pedido pendiente. Cada uno presupone ciertas acciones por parte del cliente, y dada su naturaleza intangible, son difíciles de medir con precisión.

Un costo por pérdida de ventas ocurre cuando el cliente, ante una situación de falta de existencias decide cancelar su requisición del producto. El costo es el beneficio que se habría obtenido de esta venta en particular y puede incluir, además, un costo adicional por el efecto negativo que el estar sin existencias pueda tener en ventas futuras. Aquellos productos que el cliente está dispuesto a sustituir por marcas de la competencia, como pan, gasolina o bebidas no alcohólicas, son los que probablemente incurran en ventas perdidas.

El costo de pedido pendiente ocurre cuando un cliente espera a que su pedido sea surtido, por lo que la venta no está perdida, sólo retrasada. Los pedidos pendientes pueden crear costos adicionales de personal y de ventas por el procesamiento de los pedidos, y costos adicionales de transporte y manejo cuando tales pedidos no se surten a través del canal normal de distribución. Estos son costos tangibles, por lo que calcularlos no es demasiado difícil. También puede producirse el costo intangible de pérdida de ventas futuras. Este costo es muy difícil de calcular. Los productos que pueden ser diferenciados en la mente del cliente (por ejemplo, automóviles y aparatos mayores del hogar) es más probable que pasen a ser pedidos pendientes en vez de ser sustituidos por el cliente.

4.8 MEDIDAS DESEMPEÑO EN LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

El desempeño logístico óptimo requiere el uso de medidas. “Todo lo que se mide mejora”¹⁶. La administración de inventarios puede ser monitoreada usando varios indicadores claves de desempeño. Los indicadores financieros clave en el desempeño de los inventarios son la inversión promedio en inventarios, los costos de mantener inventario y el margen bruto del retorno de la inversión de inventario (GMROII). Los indicadores de productividad son la cobertura en stock y la rotación en inventarios. Los indicadores de calidad son la precisión de los pronósticos, la exactitud de los inventarios y el nivel de servicio al cliente. Estas medidas de desempeño se definen en detalle a continuación:

Inversión promedio en inventarios: La inversión promedio en inventario se calcula como el promedio en el tiempo de la suma de los valores de inventario para artículos individuales. El valor del inventario promedio (AIV por sus siglas en inglés) de un artículo en particular es el producto del nivel de inventario promedio (AIL) y su valor unitario en inventario (UIV).

Costos de mantener inventarios: es el producto del AIV y la tasa de mantener inventarios (ICR). La ICR incluye los costos de inversión en inventario, almacenamiento, manejo, obsolescencia, impuestos, seguros, pérdidas y robos.

$$ICC = ICR \times AIV$$

GMROII (Gross Margin Return on Inventory Investment): es una medida financiera que nos dice cuál es el retorno que estamos obteniendo de nuestra inversión en inventarios. Responde la pregunta “Por cada dólar que invierto en inventarios, ¿cuál es mi retorno? La fórmula para calcular el GMROII es simplemente el margen bruto (la utilidad, o la ganancia que se obtiene cuando se vende un producto, después de descuentos/rebajas) dividido entre el costo promedio en inventarios (“inversión realizada”).

$$GMROII = \frac{\text{Margen bruto}}{\text{Costo promedio en inventarios}}$$

Cobertura del stock: se entiende como el tiempo que le toma al inventario acabarse a una tasa promedio de salida.

$$\text{Cobertura del stock} = \frac{\text{Stock actual} \times 52}{\text{Pronostico anual de uso}}$$

¹⁶ FRAZELLE, Op. Cit., p. 39

Rotación de inventarios: mide la productividad de los inventarios. Permite identificar cuantas veces el inventario se convierte en dinero o en cuentas por cobrar (se ha vendido). Se expresa como la razón entre las ventas anuales y el valor del inventario promedio.

$$\text{Rotación de inventarios} = \frac{\text{Ventas anuales}}{\text{Valor inventario promedio}}$$

Nivel de servicio al cliente: indica la disponibilidad del inventario en general.

$$\text{Nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{Número esperado de unidades faltantes anualmente}}{\text{Demanda total anual}}$$

Precisión de los pronósticos: Existen varias opciones para medir la precisión en los pronósticos como la desviación algebraica, la desviación media absoluta, el error porcentual de los pronósticos, y la desviación estándar del pronóstico de la demanda.

La desviación algebraica (ALD) para cualquier periodo t , es la diferencia aritmética entre la demanda actual (D) y la demanda pronosticada (F) durante el periodo. Puede ser positiva o negativa.

$$ALD_t = D_t - F_t$$

La desviación absoluta de los errores (MAD) en varios periodos (n) es el promedio del valor de las desviaciones algebraicas en los n periodos.

$$MAD = \sum_{t=1}^n (|ALD_t|) / n$$

Exactitud de los inventarios: permite que la compañía mida el grado de coherencia entre el inventario físico y el teórico (en libros o en sistemas de información). Se debe medir para productos terminados, materia prima y material de empaque.

4.9 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LOS NIVELES DE SERVICIO

Como menciona CHRISTOPHER¹⁷, para alcanzar la ventaja competitiva sobre los competidores a largo plazo, una compañía debe entregar valor a sus clientes desempeñando sus actividades primarias y de soporte más eficientemente que los demás. También hace énfasis en que hoy en día existen cuatro desafíos importantes dentro de la cadena de suministros:

- La explosión del servicio al cliente expresada en menores lead times, entregas de más frecuentes y sin valores de pedido mínimo, expectativas altas mediante la disponibilidad de productos
- Compresión del tiempo que lleva a reducir el ciclo de vida de los productos.
- Globalización de la industria que afecta al mercado mundial
- Integración organizacional

Semejante contexto competitivo de negocio tiene un impacto considerable en las estrategias logísticas. CHRISTOPHER también comenta que el rol de la logística puede identificarse como un sistema dirigido por el servicio que está diseñado para satisfacer objetivos de servicios definidos. El proceso más efectivo de tal diseño de sistema involucra la identificación y comprensión detallada de las necesidades de los clientes que junto a las técnicas de segmentación llevan a definir objetivos de servicio que se convierten el punto de inicio alrededor del cual los sistemas logísticos deben construirse.

Hay dos relaciones principales que cubren los costos de oportunidad en el acercamiento de servicio al cliente. Primero entre el nivel de servicio y los costos que lo proporcionan, segundo entre la respuesta del cliente y el cambio en el nivel de servicio.

¹⁷ CHRISTOPHER. Op. cit. p. 6

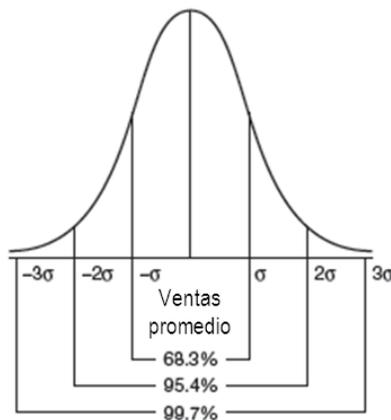
Figura 10. Costos del servicio



Fuente: CHRISTOPHER. Logistics and supply management

La relación básica entre el nivel de servicio y el costo es generalmente representada como una curva creciente (ver figura 9). Esta curva asume que la demanda del producto se distribuye normalmente. Siguiendo el mismo supuesto, la figura 10 muestra, que si la distribución representada describe las ventas diarias de un producto en particular, puede ser calculado que en el 68% de las ocasiones la demanda total estará dentro de más o menos una desviación estándar de cualquiera de los lados de la media; en aproximadamente el 95% de las ocasiones la demanda total estará dentro de más o menos dos desviaciones estándar y en el 99% de los casos tres desviaciones estándar.

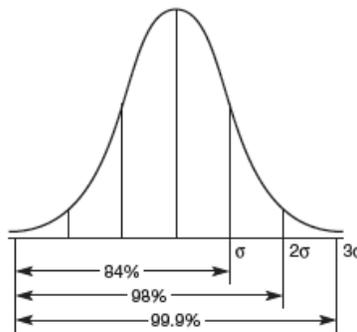
Figura 11. Probabilidad del nivel de ventas según límites



Fuente: CHRISTOPHER. Logistics and supply management

Al calcular cuánto stock de seguridad se requiere el administrador de inventarios solo se preocupa en las ocasiones donde la demanda es mayor al promedio. Si las ventas siguen aproximadamente una distribución normal, la demanda será menor que el promedio alrededor del 50% del tiempo, y además se mantendría un nivel de servicio del 50% sin stock de seguridad. En otras palabras debemos enfocarnos en el área de la curva que se encuentra a la derecha de la media. Así, definiendo un nivel de stock de una desviación estándar mayor que la media, el administrador puede alcanzar un nivel de servicio de aproximadamente del 85%. Definiendo el nivel de stock a dos y tres desviaciones obtendrá un nivel de servicio aproximado de 98% y 99% respectivamente.

Figura 12. Niveles de servicio y la distribución normal



Fuente: CHRISTOPHER. Logistics and supply management

Lo interesante es que mientras el nivel de servicio aumenta, se requiere una inversión desproporcionada en inventario para lograr mejoras incrementales en la disponibilidad.

RUSHTON et al.¹⁸ describen un acercamiento lógico para facilitar el establecimiento de políticas adecuadas de servicio al cliente. Consiste en seis etapas:

1. Identificación de aquellos elementos del servicio que son importantes para los consumidores
2. Determinación de la importancia relativa para cada elemento de servicio
3. Establecimiento de la competitividad de la compañía en cada uno de esos elementos
4. Identificación de los distintos requisitos de servicio para los diferentes segmentos de clientes
5. Desarrollo de paquetes específicos de servicio
6. Desarrollo de medidas adecuadas de servicio y procedimientos de control

La idea principal detrás de este enfoque es permitir que los recursos disponibles para que sean utilizados de forma óptima. De esta forma, no tiene sentido tener un paquete de servicios uniforme para todos los clientes, a menos que se requiera.

Finalmente la llave para alcanzar una exitosa política de servicio al cliente es desarrollar los objetivos apropiados a través de un marco apropiado que incluya un enlace con el consumidor, luego medir, monitorear y controlar los procedimientos establecidos.

¹⁸ RUSHTON, Alan, OXLEY, John y CROUCHER, Phil. Handbook of logistics and distribution management. 2 ed. Kogan Page. p. 39

5. METODOLOGÍA

La investigación es proyectiva porque consiste en la elaboración de una política que ofrezca solución al problema de la gestión de inventarios, con los resultados de un proceso investigativo. Esta se basa en la utilización del ciclo PHVA, desarrollado por Deming y Walton (1986), el cual permite administrar las iniciativas de mejora ordenadamente. El ciclo PHVA se refiere a una secuencia lógica de cuatro pasos repetitivos para el mejoramiento: Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

La fase de planeación se divide en los siguientes pasos – identificación y determinación de objetivos y metas, análisis de la situación actual, desarrollo de posibles mejoras y métodos para alcanzar los resultados esperados. Las fases *Hacer y Verificar* usan un modelo descriptivo para describir las relaciones entre los costos de inventario y los niveles de servicio deseados en escenarios definidos. Luego, apoyándose en la simulación, se evalúan las mejoras propuestas en el proceso de toma de decisiones. Finalmente, se realiza un análisis antes y después de los cambios para estimar los ahorros potenciales en el costo de inventarios para la aplicación de una política de inventarios redefinida. La fase de *Actuar* se limita a las conclusiones y recomendaciones las cuales demostraron ser exitosas en las fases preliminares del proyecto. A continuación se detallan las cuatro fases de la investigación:

PLANEAR

El primer paso consiste en revisar la literatura relevante para comprender los principios de la gestión de inventarios y como mejorar su práctica. El propósito de esta revisión será identificar los elementos clave que influyen en el inventario (nivel de servicio, precisión en los pronósticos y variabilidad en la demanda y tiempos de entrega). Además se estudiará sobre los indicadores y costos en inventarios como herramienta para determinar si una política de gestión de inventarios será efectiva.

Como la empresa maneja más de 50 productos en equipos de aire acondicionado, fue necesario seleccionar un subconjunto de productos para el estudio. El criterio utilizado fue incorporar los productos con mayor inventario promedio, ya que el problema radica en el exceso de inventario en productos que no se venden.

Se seleccionaron indicadores de desempeño para realizar el análisis de la situación actual e histórica para un periodo de evaluación. Estos fueron el número de rotaciones anuales de inventario, el nivel de servicio entregado y el costo total anual de inventario.

Para poder describir la situación y las políticas actuales en la administración de inventarios se recolectará información dentro y fuera de la empresa. Este enfoque busca establecer los factores críticos de éxito para cada función y la comprensión de las necesidades de los clientes en términos del servicio percibido desde la perspectiva de la disponibilidad de productos. La intención es entender mejor el proceso actual de administración de inventarios en la organización, incluyendo las razones de las decisiones tomadas y los factores clave que las impactaron.

En esta fase ya es posible elaborar un conjunto de recomendaciones preliminares porque se conocen cuáles son las debilidades y las fortalezas de la empresa. Estas sugerencias parten de la información recolectada de la literatura y de los clientes; con esto se elaborará una política de gestión de inventarios mejorada que minimice los costos y cumpla los niveles de servicio deseados.

HACER

Luego se desarrollará un modelo conceptual sobre el funcionamiento actual de la administración de inventarios. El modelo debe ser simple y fácil de entender dentro de la organización. Debe comparar las diferentes alternativas de niveles de inventario y servicio, además de simplificar la identificación de la mejor solución en el futuro. Con este modelo conceptual como base se desarrolla un modelo de simulación más detallado que incluya la variación de la demanda y los tiempos de entrega. Este modelo es validado con los implicados directos del proceso de tal forma que sea lo más cercano posible a la realidad.

VERIFICAR

En esta fase se evaluarán los resultados de las mejoras sugeridas; en el caso de esta investigación significa calcular los indicadores clave en la gestión de inventarios obtenidos en la simulación (por ejemplo rotación de inventarios, capital en inventarios, inventario promedio). Después se compara cada propuesta de mejora con los indicadores calculados anteriormente para así determinar la correlación entre estos y visualizar la efectividad de las soluciones. Finalmente se estiman las ganancias potenciales contrastando los resultados del estudio con la situación actual.

ACTUAR

Esta etapa se limita a las conclusiones y recomendaciones las cuales demostraron ser exitosas en las fases preliminares del proyecto. Con esto a la mano se procede a elaborar la nueva política de gestión de inventarios que utilizará C.I.S. LTDA.

6. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

6.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

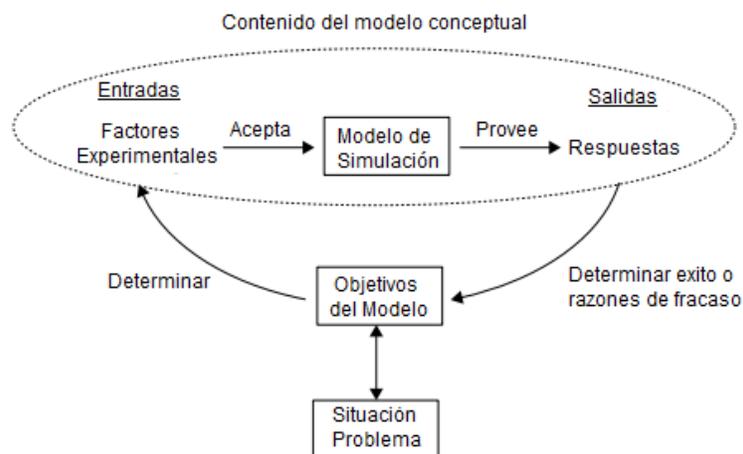
La primera etapa en el desarrollo de cualquier modelo de simulación es definir correctamente el problema. De lo contrario se corre el riesgo de dar soluciones al problema incorrecto. En la empresa CIS el problema es el exceso de capital inmóvil, representado en stock sin vender, el cual pudo haber sido mejor invertido si se siguiera una mejor política de inventario.

6.2 DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL

La figura brinda un resumen del diseño del modelo conceptual. Consiste en cinco actividades clave que son desarrolladas aproximadamente en este orden:

- Comprensión de la situación problema
- Determinar los objetivos del modelo
- Identificar las salidas del modelo (respuestas)
- Identificar las entradas del modelo (factores experimentales)
- Determinar el contenido del modelo (alcance y nivel de detalle), identificando las simplificaciones y supuestos

Figura 13. Referencia para diseñar un modelo conceptual



Fuente: ROBINSON. et al. Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation.

6.2.1 Objetivo del modelo

El objetivo del modelo es disminuir el nivel de inventario sujeto a un nivel de servicio dado para un subconjunto de productos.

6.2.2 Salidas del modelo

Luego de que los objetivos son definidos, la siguiente etapa es identificar las salidas y las entradas del modelo, representadas como los factores experimentales y las respuestas. Generalmente se identifican primero las respuestas porque es un poco más fácil pensar en términos de lo que el cliente quiere, en lugar de los cambios que deberían realizarse mientras se experimenta con el modelo.

La identificación de las respuestas adecuadas generalmente no constituye un desafío mayor. Las respuestas pueden tener dos propósitos:

- Identificar si se alcanzaron los objetivos del modelo.
- Señalar las razones por las que los objetivos no están siendo alcanzados.

En el primer caso, las respuestas pueden identificarse directamente de la definición de los objetivos del modelo, para este trabajo son el nivel del servicio al cliente y los costos asociados al inventario. Para el segundo propósito, la identificación es un poco más difícil, pero las respuestas apropiadas pueden identificarse mediante una combinación entre la experiencia del analista y la comprensión del cliente sobre el problema. En este documento se seleccionaron medidas de desempeño adicionales como el GMROI, la rotación de inventarios y la inversión promedio en inventarios para identificar las razones de los altos costos de inventario y los bajos niveles de servicio al cliente.

Las distribuciones de entrada en los modelos de simulación son, en su mayoría, probabilísticas por naturaleza. Esta variabilidad en la entrada naturalmente resulta en alguna variación en las medidas de desempeño de salida. Por esta razón, sería inapropiado realizar recomendaciones basándose únicamente en los resultados de una sola corrida de la simulación o réplica. Para reducir el riesgo de sacar conclusiones erróneas es necesario correr varias réplicas de la simulación y luego hacer recomendaciones basados en toda la información disponible.

La cantidad de réplicas para la simulación se determinará con la siguiente formula¹⁹:

$$i = \left[\frac{t_{1-\alpha} * s}{\text{Precisión Relativa} * \bar{x}} \right]^2$$

Donde

t = distribución t para $1 - \alpha/2$ y $n - 1$ grados de libertad

s = desviación estándar para la media de las replicas

n = número de réplicas usadas para calcular las estadísticas resumen

i = número de réplicas necesaria para alcanzar la precisión relativa

Se aclara que para utilizar la fórmula es necesario simular un número arbitrario de réplicas para poder calcular la desviación estándar y el promedio de esa muestra. Para este trabajo el valor inicial es de 100 réplicas y con este número base se buscará encontrar una muestra que satisfaga una precisión relativa del 4%.

¹⁹ CHUNG, Christopher. Simulation modeling handbook: a practical approach. CRC Press; 2004, p. 210.

6.2.3 Factores Experimentales

Los factores experimentales son los datos del modelo que pueden cambiarse con el fin de lograr los objetivos del modelo. Usando esta definición los factores experimentales son un subconjunto limitado de los datos generales de entrada necesarios para la realización del modelo. Así como las respuestas, la identificación de los factores experimentales es conducida por los objetivos del modelo, ya que son los medios propuestos para la consecución de estos objetivos. En este modelo el factor experimental es la política de inventarios seleccionada.

6.2.4 Contenido del modelo

Reconocidos los factores experimentales y las respuestas, el modelador debe identificar las conexiones clave entre estos y los otros componentes del mundo real. Sólo se deben en cuenta aquellos componentes y conexiones que aportan precisión de acuerdo a los objetivos del modelo. La tabla siguiente muestra los componentes principales del modelo conceptual:

Tabla 2. Componentes del modelo conceptual

Componente	Detalle	Excluir/Incluir	Comentarios
Política Inventario	Qs	Incluir	Factor experimental. Revisión continua
	RS	Incluir	Factor experimental. Revisión periódica
Cliente	Demanda	Incluir	Modelado como una distribución.
	Ventas perdidas	Incluir	Requerido para calcular el nivel de servicio
Equipo	Inventario Promedio	Incluir	Requerido para calcular costos de inventario
	Posición Inventario	Incluir	Determina el momento de realizar un pedido
Proveedor	Lead time	Incluir	Modelado como una distribución
Almacén	Capacidad	Excluir	Se asume que no hay restricciones de espacio

Fuente. Autores del proyecto

El alcance del modelo ha sido limitado solo a los equipos de aires acondicionados, no se incluyen los insumos de instalación (tuberías, soldadura, aislantes, refrigerantes) ni otro tipo eventual de mercancía (neveras, televisores, cámaras, entre otros). Esta decisión se basa en que la venta de equipos de aires acondicionados representa más de un 90% de las ventas y, por consiguiente, son la base tanto operativa como comercial.

Dado que la empresa trabaja con más de 60 equipos de aire acondicionado, de los cuales algunos tienen altos niveles de inventario y además han tenido poco movimiento en los últimos 2 años, resulta recomendable abarcar en este trabajo los productos de este tipo porque generan un alto costo para la empresa.

Junto con la empresa se decidió estudiar los productos con un mayor nivel de inventario promedio entre el período enero 2009 hasta diciembre 2010. Se seleccionaron 6 equipos debido a los problemas ya mencionados en su manejo de inventario. Estos problemas tienen su raíz, principalmente, a la imprecisión de la información en las bases de datos, y a la no utilización de un método o modelo formal de pronóstico de demanda que facilite la administración del inventario.

Tabla 3. Estadísticas equipos seleccionados

Equipo	Nivel de Inventario Promedio Semanal	Costo Total Anual de inventario
CASSETTE LG LT-C602MLE0	4	\$ 92.584.855
CASSETTE SAMSUNG CC36BTVA	4	\$ 70.593.215
MULTI SPLIT SAMSUNG 24000 BTU MC48F3AXAP	4	\$ 69.019.068
MPS INDOOR FANCOIL LMNC122DUMO	18	\$ 62.351.434
MPS INDOOR FANCOIL LMNC242D3MO	13	\$ 60.393.936
MINI SPLIT DE 12000 SAMSUNG AS12USBA	10	\$ 41.362.627

Fuente: Autores del proyecto

6.2.5 Supuestos del modelo

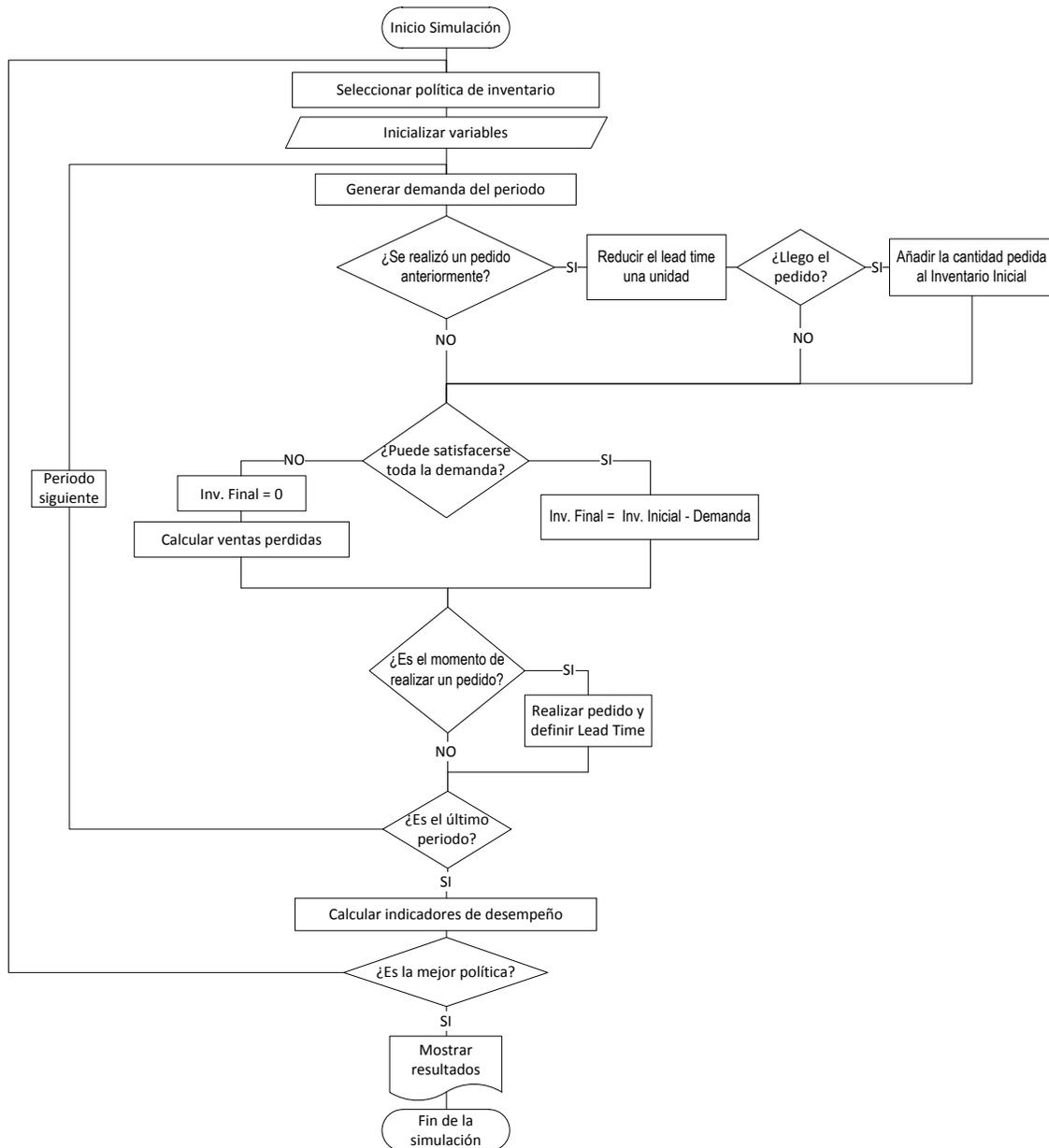
Para efectos de simulación del modelo se tuvieron en cuenta algunos supuestos, los cuales no rompen con la realidad del sistema de una manera significativa.

1. La unidad de tiempo utilizada en la simulación son las semanas.
2. Cada año tiene una duración de 52 semanas.
3. La demanda no es determinística pero se conoce su distribución de probabilidad. En la sección 6.4 se profundiza sobre este tema.
4. El lead time no es determinístico pero se conoce su distribución de probabilidad. En la sección 6.4 se profundiza sobre este tema.
5. No se permiten backorders. Si en el momento en que un cliente solicita un producto y este no se encuentra en inventario se considera como una venta perdida.
6. No hay inventario de seguridad. Este tipo de inventario no es necesario porque para los productos seleccionados la demanda es muy pequeña y los tiempos de entrega del proveedor son lo suficientemente cortos.
7. No hay descuentos por cantidad.
8. El inventario inicial para cada producto son dos unidades. Se escoge este valor porque el inventario inicial es una variable crítica que, a pesar de no ser totalmente controlable en la realidad, afecta considerablemente los costos asociados a inventarios y debe mantenerse lo más baja posible.

6.3 FLUJOGRAMA DEL MODELO

Para facilitar el desarrollo del modelo de simulación y la comunicación del modelo conceptual con el cliente se realizó un flujograma para describir la lógica del proceso.

Figura 14. Diagrama de flujo del modelo de inventarios



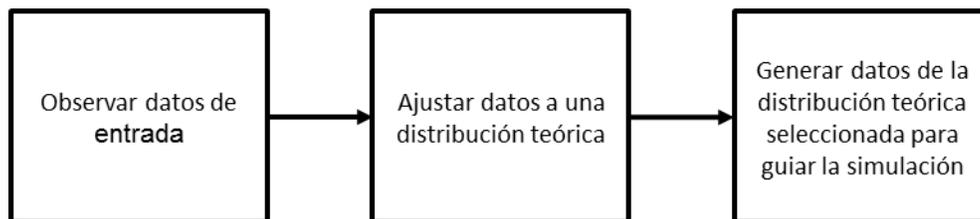
Fuente: Autores del proyecto

6.4 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ENTRADA

Esta etapa consiste en la obtención y análisis de toda la información posible del sistema real para la ejecución del modelo. Los datos de entrada son la materia prima del modelo, y de acuerdo a la calidad de estos depende la calidad de los resultados del estudio. Los datos de entrada requeridos para la realización del modelo son la demanda, el lead time, los costos de cada equipo y la política de inventarios. Los tres primeros fueron suministrados por la empresa y el cuarto, el factor experimental, es ingresado por el analista.

La demanda y el lead time tienen un componente aleatorio que dificulta su análisis, por esta razón es necesaria una herramienta para hacer frente a la incertidumbre. Ajustar una distribución de probabilidad a los datos es una forma científica de tratar con la incertidumbre y tomar decisiones de negocios menos riesgosas. Este es un procedimiento que consiste en seleccionar una distribución estadística que mejor se ajuste al conjunto de datos generados por un proceso aleatorio.

Figura 15. Rol de una distribución teórica de probabilidad en la simulación



Fuente: CHUNG. Simulation modeling handbook: a practical approach.

La demanda fue recolectada de registros históricos de los años 2009 y 2010. Las demandas se presentan de forma puntual, por este motivo son agrupadas de acuerdo a un consumo semanal para su correspondiente análisis.

Agrupando las demandas semanales, se determina el comportamiento de la demanda durante el tiempo, lo cual permite analizar con mayor exactitud los parámetros de interés de la demanda de cada artículo.

La información muestra que la demanda por equipo es intermitente ya que hay periodos largos donde no se presentan ventas. Por ejemplo para un MINI SPLIT DE 12000 SAMSUNG AS12VBBC la demanda en el año 2010:

Figura 16. Demanda 2010 Mini Split Samsung 12000 BTU

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	1	1	1

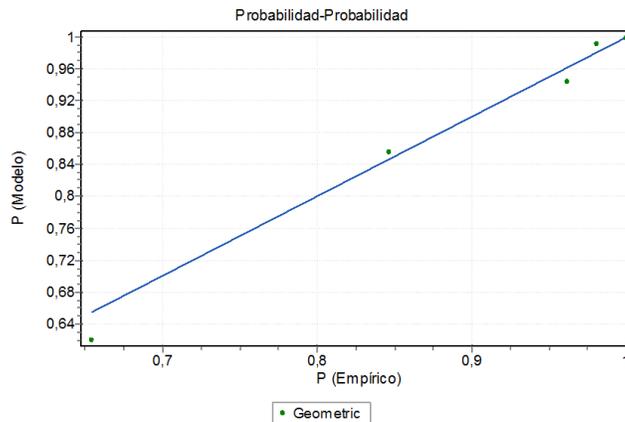
Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda	2	1	2	0	0	0	6	0	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Registros de ventas

A partir de la tabla se observa que la demanda de este equipo es muy intermitente con un 75% de registros de venta iguales a ceros. Este tipo de demanda se presenta de igual forma en los demás productos seleccionados. Debido al comportamiento asimétrico de la demanda no es posible ajustarla a una distribución de probabilidad normal y como resultado tampoco se pueden implementar varios de los modelos tradicionales de gestión de inventarios. Si se asumiera el supuesto de normalidad se correría el riesgo de generar una demanda negativa porque la media de los datos está muy cercana a cero.

Se necesita una herramienta para ajustar los datos de los equipos seleccionados a una distribución teórica que refleje mejor el comportamiento de la demanda. Para cumplir esta tarea se utilizó el software EasyFit. El programa permite ajustar automática o manualmente un gran número de distribuciones a un conjunto de datos y seleccionar el mejor modelo rápidamente.

Figura 17. Gráfica probabilidad-probabilidad modelo AS12VBBC



Fuente: Generada por EasyFit

La figura 18 es la gráfica de probabilidad que evalúa de forma visual la bondad de ajuste* de la distribución seleccionada para el MINI SPLIT DE 12000 SAMSUNG AS12VBBC. Se observa que los datos siguen aproximadamente una línea recta, sugiriendo que la distribución seleccionada, en este caso geométrica, es un modelo razonable para los datos. Con una metodología similar se ajustaron las distribuciones para el resto de equipos.

Tabla 4. Distribuciones de probabilidad equipos seleccionados

Equipo	Distribución	Parametro
CASSETTE LG LT-C602MLE0	Poisson	$\lambda = 0,05769$
CASSETTE SAMSUNG CC36BTVA	Geometrica	$\rho = 0,85246$
MULTI SPLIT SAMSUNG 24000 BTU MC48F3AXAP	Poisson	$\lambda = 0,07692$
MPS INDOOR FANCOIL LMNC122DUMO	Geometrica	$\rho = 0,83871$
MPS INDOOR FANCOIL LMNC242D3MO	Geometrica	$\rho = 0,92857$
MINI SPLIT DE 12000 SAMSUNG AS12USBA	Geometrica	$\rho = 0,61905$

Fuente: Adaptada de resultados de EasyFit

Respecto al lead time no se tienen registros en ningún periodo. Por esta razón se consultó al encargado de realizar y recibir los pedidos que estimará el tiempo promedio de entrega de un equipo, y además el tiempo más corto y más largo que ha tomado ser entregada una orden. Con esta información se le puede asignar al lead time una distribución triangular para simular su comportamiento aleatorio.

Finalmente para la información sobre los costos de equipos, con el fin de simplificar los cálculos, se seleccionaron los valores vigentes del 2011. Para el costo de almacenamiento se utilizó la tabla siguiente que desglosa los porcentajes por unidad de costo:

Tabla 5. Componentes costo de almacenamiento

	% de unidad de costo
Costo del dinero	12%
Almacenamiento	2%
Perdida	4%
Manejo	1%
Administración	1%
Seguro	1%
Total	21%

Fuente: Autores del proyecto

* La bondad de ajuste de un modelo estadístico describe que tan bien se ajusta a un conjunto de observaciones. Las medidas de bondad de ajuste generalmente resumen la discrepancia entre los valores observados y los valores esperados dentro del modelo analizado.

6.5 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Completo el modelo conceptual se procede a programarlo en un software de simulación comercial o en un lenguaje de programación general. En este trabajo el modelo de simulación se desarrolló, probó y ejecutó en una hoja de cálculo en Microsoft Excel apoyado con Visual Basic for Applications (VBA). Se optó por utilizar hojas de cálculo porque son herramientas de fácil manipulación y que poseen las funciones básicas que necesita una plataforma de simulación, que de acuerdo a Seila²⁰ son:

1. Una forma de representar las relaciones matemáticas y lógicas entre las variables en forma de cálculos y asignación de valores.
2. Una forma de generar números aleatorios de distintas distribuciones.
3. Un medio para repetir una serie de cálculos, y así implementar las réplicas.

Además tienen las siguientes características que hacen el proceso rápido y confiable:

1. Un gran número de funciones que realizan cálculos matemáticos, estadísticos, financieros, de fecha y tiempo, etc.
2. Manejo de bases de datos
3. Tablas y gráficos
4. Herramientas de visualización y documentación como las fuentes, colores y figuras geométricas para mejorar la presentación.
5. Automatización a través de lenguajes de programación como VBA.

²⁰ SEILA, Andrew F. "Spreadsheet Simulation," wsc, pp.11-18, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 2006

6.5.1 Variables

Tomando como base el contenido del modelo conceptual definido en la sección 7.2.4 se procede a declarar las variables necesarias para ejecutar el modelo de simulación. La figura muestra la sección de código donde se asignan los nombres y tipos de estas variables:

Figura 18. Variables del modelo de simulación

```
'Demanda semanal x producto
Dim D As Integer

'Inventario neto inicial de acuerdo a producto y semana
Dim NsInicial As Integer

'Inventario neto final de acuerdo a producto y semana
Dim NsFinal As Integer

'Posición inventario inicial
Dim IpInicial As Integer

'Posición inventario final
Dim IpFinal As Integer

'Faltantes de la semana
Dim Faltante As Integer

'Vector que guarda los Lead times
Dim VectorLeadTime(NumSemanas) As Integer

'Vector que guarda la cantidad pedida
Dim VectorPedido(NumSemanas) As Integer

'Vector que guarda si hay un pedido pendiente
Dim VectorEstadoPedido(NumSemanas) As Boolean

'Costo total anual
Dim CostoTotalAnual As Double

'Registra el nivel de servicio
Dim NivelServicio As Double
```

Fuente: Autores del proyecto

6.5.2 Descomposición del problema

El problema consiste en encontrar los parámetros de la política de inventario que minimice el costo total sujeto a un nivel de servicio dado. Para encontrar la solución se divide el problema original en subproblemas más pequeños o rutinas, se resuelven los subproblemas y finalmente se combinan estas soluciones.

En general la traducción del modelo se puede resumir en cinco rutinas que guían el flujo del proceso: inicialización, evaluación del inventario, demanda de producto, recepción de producto e impresión de resultados.

Rutina de Inicialización: el procedimiento inicia la simulación en la semana uno y asigna el nivel de inventario al nivel inicial digitado por el usuario. De igual forma inicializa los vectores necesarios para los cálculos en la evaluación del inventario. Dependiendo del producto analizado se extrae el costo del equipo. Para el resto de variables se utilizan sus valores por defecto. En esta etapa se asigna la política escogida por el usuario.

Figura 19. Código procedimiento de inicialización

```
'Asignar el nivel de inventario al nivel inicial
IpFinal = StartInv
NsFinal = StartInv

'Inicializar vector lead time
For i = 0 To NumSemanas
    VectorEstadoPedido(i) = False
    VectorLeadTime(i) = -1
    VectorPedido(i) = 0
Next i

'Extraer el costo de acuerdo al equipo
CostoEquipo = 2824382
```

Fuente: Autores del proyecto

Rutina de evaluación del inventario: este método comprueba si es el momento de realizar un pedido. Para una política Qs se hace un pedido cuando la posición de inventario está por debajo del límite inferior de almacenamiento s. En una política RS se realiza un pedido cada R semanas.

Luego se determina la cantidad a pedir. En una política Qs el tamaño es Q unidades, en la RS el tamaño es igual a S menos la cantidad de la posición de inventario actual. El tiempo en que se recibirá el pedido es generado con el método TriangularRand() que se encuentra dentro las librerías de EasyFit.

Figura 20. Código procedimiento de evaluación del inventario

```

'Determina si es el momento de realizar un pedido en un Política Qs
  If IpFinal <= s Then
    VectorEstadoPedido(i) = True
    VectorPedido(i) = Q
    VectorLeadTime(i) = CInt(TriangularRand(2, 1, 3))
  End If

```

```

'Determina si es el momento de realizar un pedido en un Política RS
  If (i Mod R) = 0 Then
    If IpFinal < S Then
      VectorEstadoPedido(i) = True
      VectorLeadTime(i) = CInt(TriangularRand(2, 1, 3))
      VectorPedido(i) = S - IpFinal
    End If
  End If

```

Fuente: Autores del proyecto

Rutina de demanda de producto del cliente: este procedimiento llama a la rutina correspondiente que genera el tamaño de la demanda de la semana y luego reduce el nivel de inventario esta cantidad. Se utilizaron las librerías de EasyFit para generar las demandas aleatorias cómo lo muestra la figura. Si luego de deducir la demanda el inventario final es menor que cero, este valor se registra en la variable que guarda las ventas perdidas.

Figura 21. Código procedimiento demanda cliente

```

'Procedimiento que genera la demanda y actualiza
'el inventario neto y la posición de inventario

D = GeometricRand(0.77941)
NsFinal = NsInical - D
IpFinal = IpInicial - D

If NsFinal < 0 Then
  Faltantes = NsFinal * -1
End if

```

Fuente: Autores del proyecto

Rutina Recepción de producto: este procedimiento verifica si en la semana actual llegaron los pedidos pendientes solicitados en semanas anteriores. Si llegaron pedidos se actualiza el nivel de inventario, de lo contrario se reduce en una semana los lead times de los pedidos que aún no han llegado.

Figura 22. Código procedimiento recepción de producto

```
'Revisar si hay pedidos pendientes y si ya llegaron actualizar
'Inventario Neto Inicial
  For j = 0 To i
    If VectorEstadoPedido(j) = True And VectorLeadTime(j) = 0 Then
      NsInicial = NsInicial + VectorPedido(j)
      VectorEstadoPedido(j) = False
    ElseIf VectorEstadoPedido(j) = True And VectorLeadTime(j) > 0 Then
      VectorLeadTime(j) = VectorLeadTime(j) - 1
    End If
  Next j
```

Fuente: Autores del proyecto

Rutina Cálculo e impresión de resultados: Al finalizar la duración de la simulación se procede a calcular las medidas de desempeño y la impresión de los resultados.

Figura 23. Código procedimiento cálculo e impresión

```
'Calcula los costos asociados al inventario
CostoAlmAnual = SumaAlm * CostoEquipo * (0.21/52)
CostoFalAnual = SumaFal * CostoEquipo
CostoTotalAnual = CostoAlmAnual + CostoFalAnual

'Calcula el nivel de servicio
NivelServicio = 1 - (SumaFal / SumaDemanda)

MessageBox.Show("El costo de la política es" & (CostoTotalAnual) &
"y el nivel de servicio es" & NivelServicio)
```

Fuente: Autores del proyecto

6.6 INTERFAZ DE USUARIO

Al iniciar el modelo se despliega el siguiente cuadro de dialogo que permite especificar los argumentos de entrada para ejecutar la simulación:

Figura 24. Cuadro de dialogo del modelo de simulación

The image shows a software dialog box titled "Simulación". It contains several input fields and controls, each marked with a circled number:

- 1**: A dropdown menu for "Producto" containing the text "MPS INDOOR FANCOIL LMNC122DUMO".
- 2**: A section for "Política" with two radio buttons: "Punto de Reorden" (selected) and "Revisión Periódica".
- 3**: A section for "Parámetros" with two input boxes: "Q" containing the value "3" and "s" containing the value "2".
- 4**: An input box for "Inventario Inicial" containing the value "2".
- 5**: A checkbox for "Calcular Intervalos de Confianza" which is currently unchecked.
- 6**: A "Simular" button.

Fuente: Autores del proyecto

El primer argumento es el producto. El equipo se selecciona de acuerdo a un listado predefinido (ver tabla 3). Luego se define la política a utilizar. Son dos opciones posibles: punto de reorden o revisión periódica. Dependiendo de la política seleccionada se deben ingresar los parámetros de cuándo y cuánto pedir. En el caso del punto de reorden los parámetros son Q y s. Para la revisión periódica son R y S. Por último se ingresa el inventario inicial.

Para iniciar la simulación se presiona el botón "Simular". Si se ejecuta la simulación sin activar la casilla "Calcular Intervalos de Confianza", el modelo solo mostrará los resultados de una réplica de la simulación (ver ANEXO B). Si se activa la casilla, el modelo correrá varias réplicas y calculará los intervalos de confianza para los indicadores de desempeño (ver ANEXO C).

6.7 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

La tabla resume el proceso de verificación y validación en una serie de preguntas que de ser respondidas afirmativamente mejoran la confiabilidad del modelo.

Tabla 6. Verificación y Validación en los diferentes niveles de modelización

NIVEL DE MODIFICACIÓN	VERIFICACIÓN	VALIDACIÓN
MODELO CONCEPTUAL		¿Contiene el modelo todos los elementos, sucesos y relaciones relevantes?
		¿Podrá el modelo responder a las cuestiones planteadas?
MODELO LÓGICO	¿Están los eventos representados correctamente?	¿Incluye el modelo todos los elementos considerados en el modelo conceptual?
	¿Son las fórmulas matemáticas y las relaciones correctas?	¿Contiene todas las relaciones del modelo conceptual?
	¿Están las medidas estadísticas formuladas correctamente?	
MODELO DE SIMULACIÓN	¿Contiene el código todos los aspectos del modelo lógico?	¿Es el modelo una representación válida del sistema real?
	¿Están las estadísticas y las fórmulas calculadas correctamente?	¿Puede el modelo duplicar el comportamiento del sistema real?
	¿Contiene el modelo errores de codificación?	¿Es creíble el modelo para los expertos del sistema?

Fuente: SERRANO

En el primer nivel de modelización, el nivel conceptual, se busca incluir en el modelo todos los elementos, sucesos y relaciones relevantes de acuerdo a los objetivos del estudio. Para corroborar si se incluyó toda esta información se estudió cuidadosamente la teoría de control de inventarios y se determinaron los parámetros y variables más importantes. En este nivel también se debe confirmar si el modelo puede responder a las cuestiones planteadas en la formulación del problema, para el caso de este trabajo el modelo es capaz de sugerir métodos de control de inventarios que cumplan los requisitos de costos y nivel de servicio deseados por el analista.

Para el segundo nivel, modelo lógico, se verificó en cada política la representación de los eventos, las fórmulas matemáticas y las relaciones entre las variables. Se realizó una comparación exhaustiva entre el modelo conceptual y el lógico para no dejar por fuera ningún elemento o relación.

Durante la programación del modelo de simulación se siguieron las buenas prácticas para programar en Excel sugeridas por BULLEN. et al. Se puso especial énfasis en como nombrar las variables y la inclusión de comentarios dentro del código. Esto permitió obtener una descripción clara y completa del código facilitando la depuración y la corrección de errores oportunamente.

Finalmente se debe comprobar que tan bien representa el modelo al sistema real; sin embargo, cómo se comentó en la descripción del problema la empresa no implementa ninguna política de inventarios en la actualidad. Por esta razón se utilizaron otro tipo de pruebas para validar el modelo como el test de Turing y la validación de comportamientos en casos extremos.

El test de Turing consiste en presentar informes de resultados de ejecución del sistema y del modelo a un grupo de expertos. Estos informes se reparten aleatoriamente a los ingenieros y administradores del sistema, para ver si son capaces de discernir cuáles son los reales del sistema y cuales la imitación resultado de la simulación. Si los expertos no son capaces de distinguir entre ambos, se puede concluir que no hay evidencias para considerar inadecuado al modelo. Si descubren diferencias se trabaja sobre las respuestas que ellos consideren inconsistentes para realizar mejoras en el modelo.

La validación de comportamientos en casos extremos consiste en observar el comportamiento del sistema bajo condiciones extremas, por ejemplo si se invierte gran cantidad dinero en aumentar los niveles de inventario se espera que mejoren los niveles de servicio al cliente o si por ejemplo se reducen los niveles de inventario drásticamente el nivel de servicio también disminuirá un alto porcentaje.

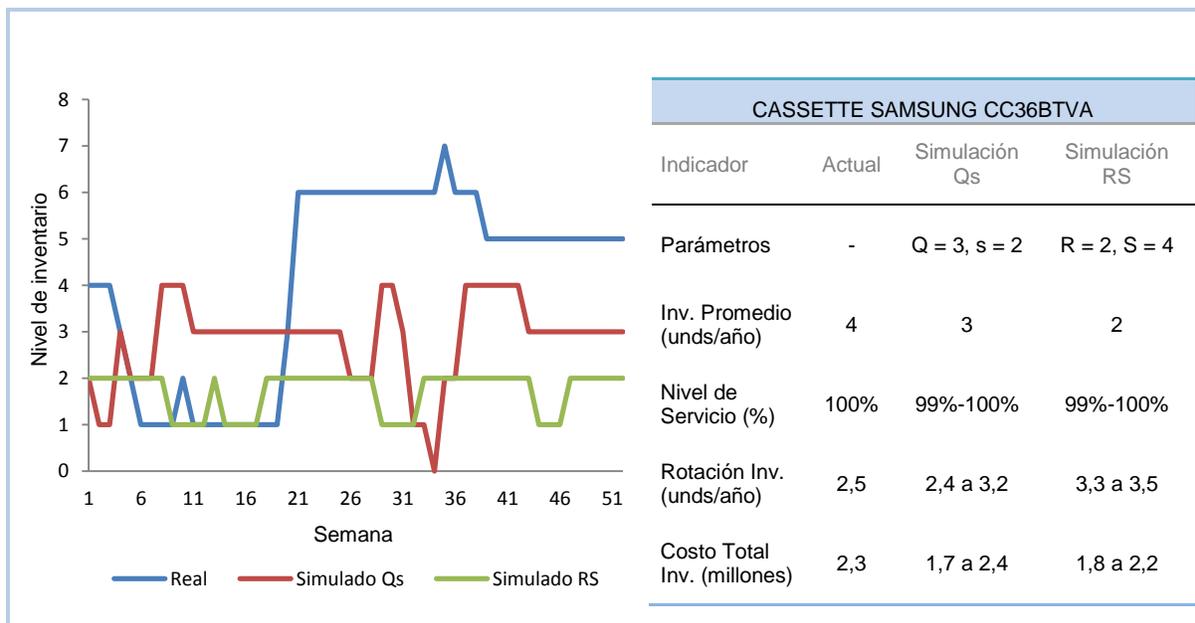
Las pruebas arrojaron resultados positivos ofreciendo buenos indicios de la capacidad de modelo de arrojar respuestas confiables y ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la administración de inventarios.

7. ANÁLISIS DATOS DE SALIDA

Para evaluar el desempeño del sistema de inventario propuesto, se realizó una simulación de las decisiones de compra. Esta se realizó en un período de simulación de 52 semanas utilizando dos políticas distintas: punto de reorden y revisión periódica. Se realizaron 1000 réplicas por cada equipo y los resultados se muestran mediante gráficas y tablas. Las gráficas comparan el nivel de inventario real en el año 2010 con una réplica de la simulación de acuerdo a la política sugerida. Las tablas son un resumen comparativo de los indicadores de desempeño entre la realidad y la simulación. Los resultados de la simulación se encuentran dentro de un intervalo de confianza del 95% y un margen de error del 4%.

A continuación se presenta la comparación de los indicadores de desempeño entre la simulación y la realidad para los productos en estudio.

Figura 25. Estadísticas CASSETTE CC36BTVA



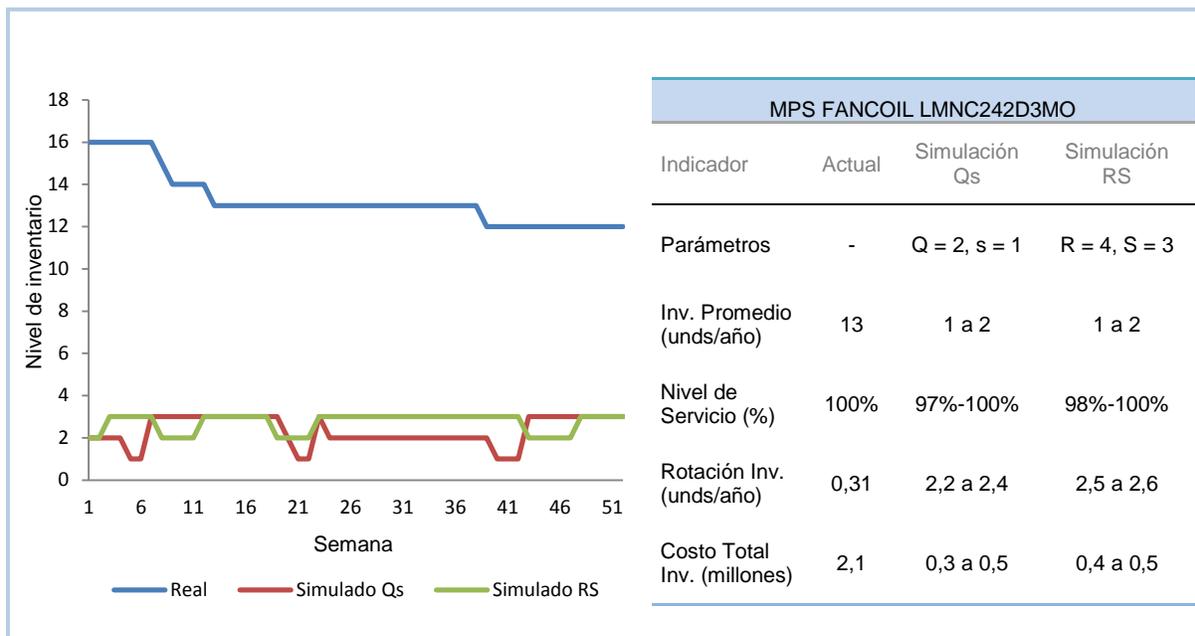
Fuente: Autores del proyecto

A partir de la gráfica se observa que el nivel de inventario histórico arranca con un inventario inicial alto de cuatro unidades y además presenta un alza en la semana 18, donde se pasó de una unidad a seis. Este incremento no es razonable de acuerdo al comportamiento de la demanda, ya que durante las semanas 11 a la 35 no existieron ventas.

La política sugerida que utiliza el punto de reorden se basa en realizar un pedido de tres unidades cada vez que la posición de inventario llega a dos unidades. Los resultados de la simulación utilizando esta política fueron modestos. Se reduce el inventario promedio en una unidad y disminuyen los costos de inventario alrededor de 250 mil pesos.

La política de revisión periódica verifica la posición de inventario cada 2 semanas. Si en el momento de la revisión, la posición de inventario se encuentra por debajo del nivel S, en este caso cuatro unidades, se realiza un pedido que la lleve a ese nivel nuevamente. Los resultados de la simulación fueron moderados. Se redujo el costo de inventario alrededor de 300 mil pesos, se disminuyó el inventario promedio a dos unidades y se mantuvieron niveles de servicio óptimos muy cerca de 100%.

Figura 26. Estadísticas MPS LMNC242D3MO



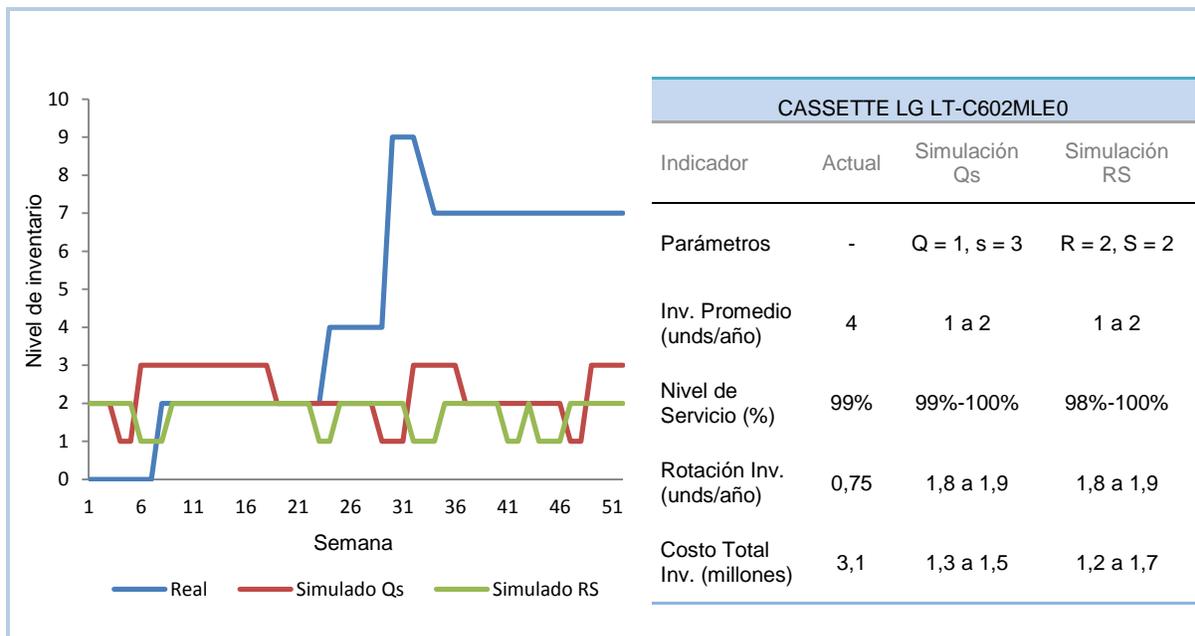
Fuente: Autores del proyecto

Al observar la gráfica se muestra que el inventario histórico para este equipo empieza con un inventario inicial excesivo de dieciséis unidades, teniendo en cuenta que la demanda del año no supero las cuatro unidades. No se realizaron más pedidos durante el año porque el inventario inicial fue suficiente para satisfacer la demanda; sin embargo, se realizó una inversión grande de 9,5 millones cuando en realidad era suficiente empezar con pocas unidades en stock y realizar pedidos de acuerdo al consumo. La inversión no era necesaria y esta cantidad de dinero pudo haberse invertido mejor.

La política punto de reorden sugiere reducir la inversión inicial en inventario a 1,4 millones. La propuesta se enfoca en empezar el año con niveles de inventario bajos y realizar pedidos pequeños de acuerdo al comportamiento de las ventas, logrando una reducción del costo en inventario a 500 mil pesos sin afectar el nivel de servicio.

La política de revisión periódica se enfoca en mantener el nivel de inventario alrededor de una unidad revisando el inventario cada cuatro semanas permitiendo el ahorro de 1,6 millones en costos asociados al inventario y obteniendo un nivel de servicio cercano al 100%.

Figura 27. Estadísticas CASSETTE LG LT-C602MLE0



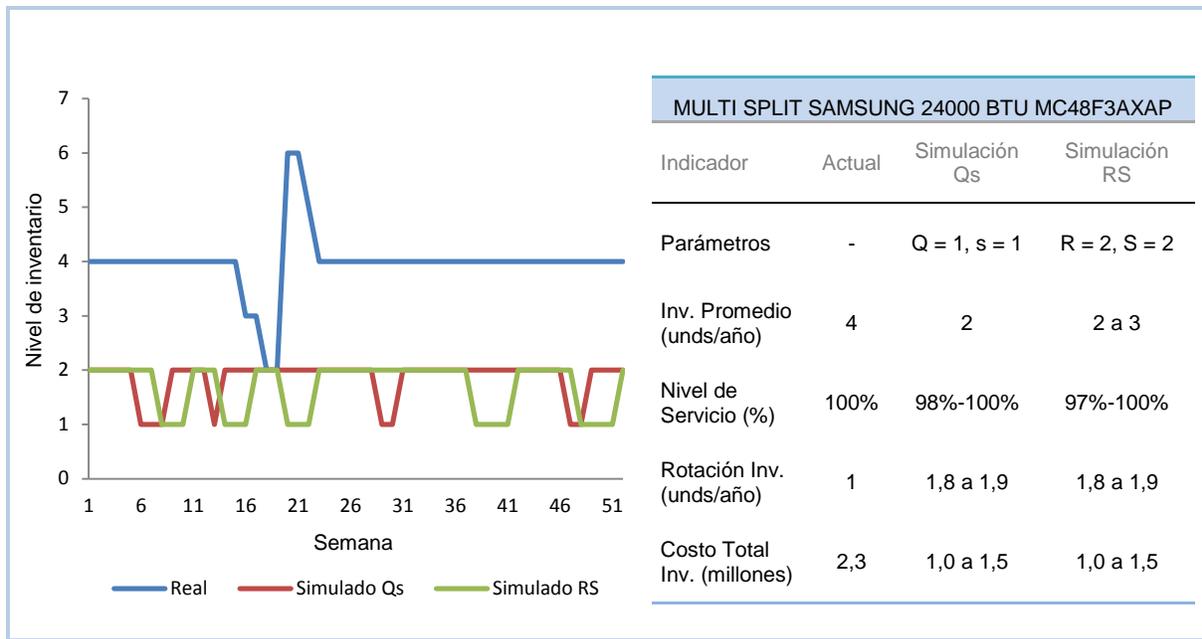
Fuente: Autores del proyecto

La gráfica muestra que el nivel de inventario histórico inicia en cero unidades, y va aumentando progresivamente en el transcurso de las semanas. En el intervalo de las semanas 22 a la 30 el nivel de inventario pasa de 2 a 9 unidades pero la demanda en el año es de apenas 2 unidades.

Los resultados obtenidos de la simulación mediante el método punto de reorden logran reducir el costo de inventario de 3,1 millones a 1,4 millones en promedio, una reducción del 45%. El nivel de servicio se mantiene en un rango ideal entre 99% y 100%.

Los resultados de la simulación mediante el método de revisión periódica también logran reducir el costo de almacenamiento pero dentro de un rango más variable que el método anterior. La propuesta se enfoca en mantener el nivel de inventario alrededor de dos unidades y realizar revisiones a la posición de inventario cada dos semanas obteniendo un costo que oscila entre 1,2 a 1,7 millones con un nivel de servicio entre 98% y 100% satisfaciendo casi toda la demanda.

Figura 28. Estadísticas MULTI SPLIT MC48F3AXAP

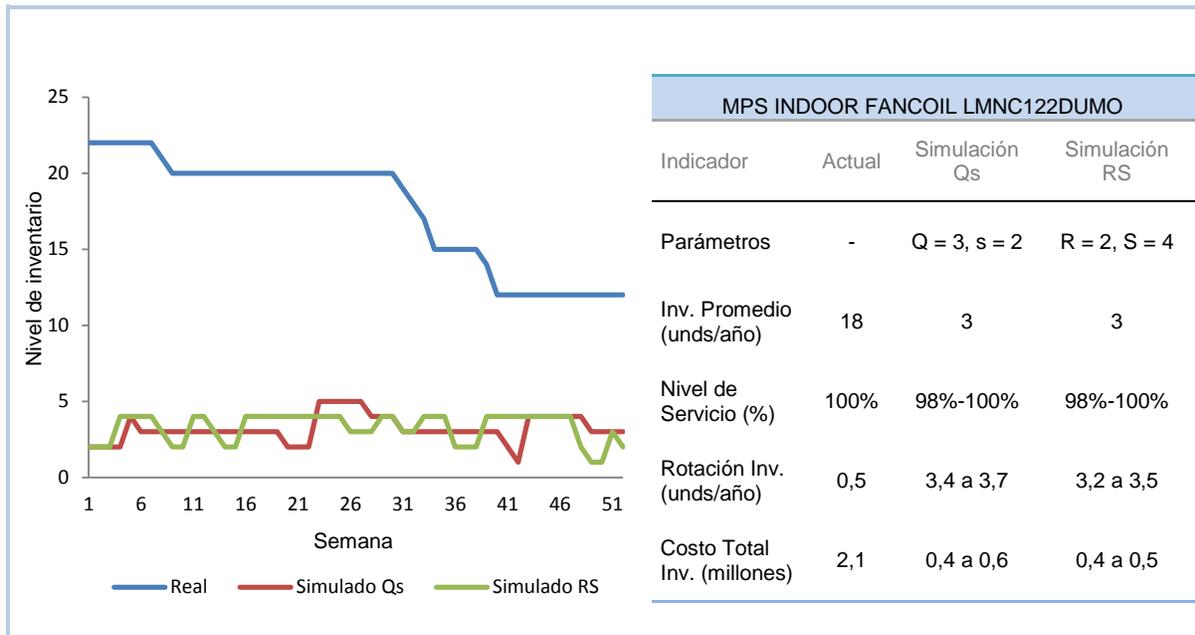


Fuente: Autores del proyecto

Al observar la gráfica se muestra que el nivel de inventario histórico empieza con un inventario inicial alto de cuatro unidades y teniendo una venta de dos unidades la semanas 15 y 17. En la semana 20 aumentan de dos unidades a seis, algo no razonable de acuerdo al comportamiento de la demanda. Además durante las semanas 23 a la 52 no existieron ventas lo cual es un factor negativo para las finanzas de la empresa porque es un capital significativo que se mantuvo inmóvil pretendiendo satisfacer necesidades inexistentes.

Las dos políticas sugeridas ofrecen resultados muy similares, logran reducir el costo de inventarios de 2,3 millones a 1,3 millones. Además disminuyen el inventario promedio reduciendo la probabilidad de que la empresa se vea obligada a vender la mercancía en menor precio y reducir su margen de utilidad. Finalmente el nivel de servicio se mantuvo en el rango ideal muy cerca al 100% de satisfacción de la demanda.

Figura 29. Estadísticas MPS LMNC122DUMO

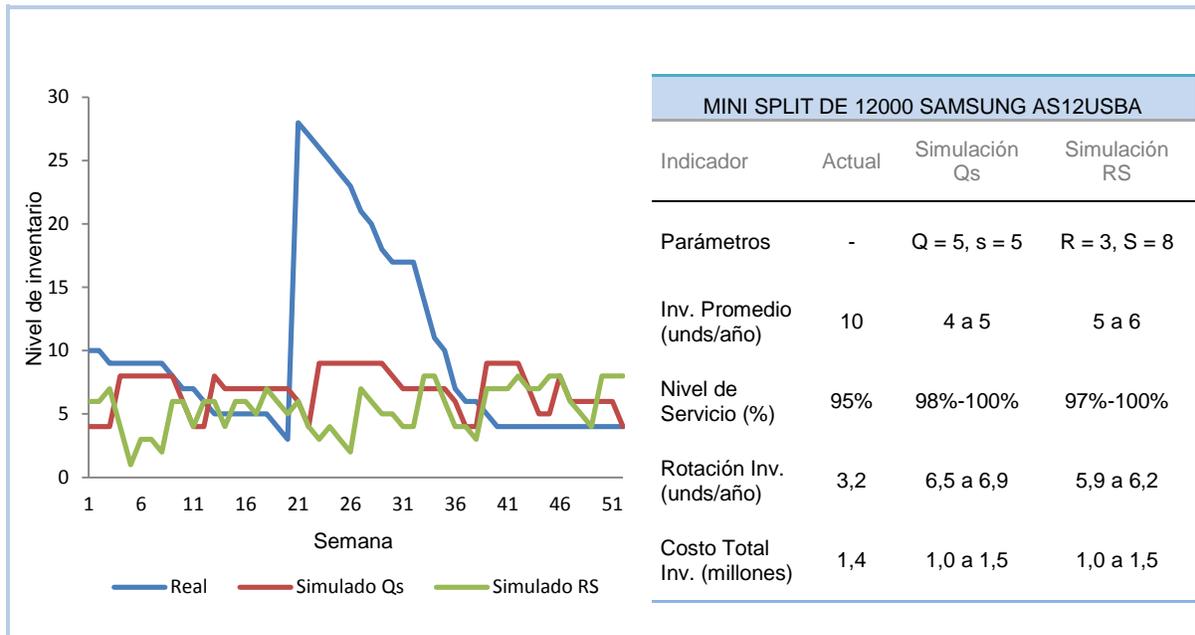


Fuente: Autores del proyecto

A partir de la gráfica se observa que el nivel de inventario histórico arranca con un inventario inicial elevado de 22 unidades y además al finalizar el año termina con un inventario final de 13 unidades. A pesar de que no se realizaron pedidos adicionales el nivel de inventario permaneció alto y mantener esta cantidad dentro del almacén durante todo el año genera un costo innecesario de inventario.

Los resultados de la simulación son sobresalientes. Como se muestra en la gráfica las políticas sugeridas disminuyen el nivel de inventario promedio significativamente, pasando de 18 a 3 unidades. En términos de dinero se pasó de una inversión inicial de 12,5 millones a una de 1,7 millones, una reducción de 10,8 millones. Los costos asociados a inventarios se reducen de 2,1 millones a 500 mil pesos y además el nivel de servicio se mantiene en niveles óptimos.

Figura 30. Estadísticas MINI SPLIT AS12USBA



Fuente: Autores del proyecto

Al observar la gráfica se observa que el nivel de inventario histórico inicializa con un inventario inicial elevado de diez unidades y además en la semana 28 se crea un pico donde se pasó de tres unidades a veintiocho. La demanda se presenta en cantidades pequeñas y periodos relativamente cortos en comparación de los equipos anteriores.

Para este equipo en especial se sugiere empezar con un inventario inicial más alto que los anteriores entre 4 y 6 unidades debido a que la demanda es uniforme durante todo el año. Los resultados de la simulación al emplear la políticas en términos de costos no son significativos; sin embargo, si se logra una disminución del inventario promedio. Esto quiere decir que se invierte menos en inventario y hay más dinero disponible. Además el nivel de servicio es el ideal y la rotación de inventario mejora, o en otras palabras, se reduce el tiempo de permanencia en almacén del producto.

8. CONCLUSIONES

En el estudio realizado para la empresa CIS, se utilizó un modelo de simulación de inventarios que busca usar eficientemente los recursos invertidos en el inventario, sujeto a un nivel de servicio dado. Esta herramienta dará una base para el área de operaciones y logística, lo cual contribuirá fuertemente a mejorar la gestión de su inventario.

Por medio del modelo se concluyó que es posible lograr mejoras significativas con las políticas sugeridas. Se comprobó que el no tener un procedimiento formal para la reposición de productos produce confusión y desorden, dejando a la intuición y criterio del jefe de logística a cargo. En general el inventario promedio se mantenía alto durante el año debido a inventarios iniciales altos y realización de pedidos que no tenían en cuenta el comportamiento de la demanda.

La simulación muestra que adoptar el modelo de administración de inventario propuesto puede generar ahorros de hasta \$50 millones de pesos en el año*, manteniendo los niveles de servicio entre 95 y 100%. Cualquiera de los dos métodos sugeridos, punto de reorden o revisión periódica, son viables técnicamente; sin embargo, se recomienda empezar con el método de revisión periódica porque es más simple y conveniente de administrar.

El éxito del modelo depende de su correcta interpretación y la actualización constante del comportamiento de la demanda y los tiempos de entrega. Por esta razón es necesario que la empresa limpie y estandarice su base de datos con el propósito de sacar provecho a la gran cantidad de información que ésta posee y prevenir malas decisiones resultantes del modelo. Además, se recomienda desarrollar un programa o plataforma que ejecute el modelo de administración de inventario y que sirva como interfaz con el usuario.

Se debe dar énfasis a la utilización de indicadores de desempeño de la gestión del inventario, pues la medición y control de éstos es fundamental, pues son representativos de la eficiencia de su administración, al medir aspectos claves como la disponibilidad de los productos y la eficacia en el uso del capital de trabajo invertido para ello.

* Asumiendo un ahorro promedio de \$ 800.000 pesos al año por producto y teniendo en cuenta que son más de 60 modelos disponibles.

La empresa debe conocer de manera técnica como se distribuyen los recursos en el mantenimiento del inventario, para comparar si la cantidad de artículos almacenados guarda relación con el consumo mantenido, y determinar si la gestión de administración del inventario se están desempeñando según sus expectativas, no solo en cuanto a conformidad de registros y auditorias del inventario físico, sino en cuanto al nivel de servicio.

Por último, a pesar de que esta variable no se tuvo en cuenta dentro del modelo, se recomienda mantener el almacén limpio y organizado. Si un material se daña dentro del almacén, no puede ser vendido, o en el mejor de los casos puede venderse pero a un precio reducido. Promover la organización y la limpieza disminuye la probabilidad de que un producto se dañe o pierda y facilitará su ubicación dentro del almacén.

9. RECOMENDACIONES

A continuación se resumen las propuestas recomendadas para reducir los costos asociados de inventario en los productos seleccionados:

CASSETTE CC36BTVA

Punto de reorden: Se recomienda pedir 3 unidades cada vez que la posición de inventario llegue a 2 unidades.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 2 semanas con un nivel objetivo de 4 unidades.

Con estas políticas se puede lograr un ahorro aproximado de 3 millones y un nivel de servicio del 99%.

MPS FANCOIL LMNC242D3MO

Punto de reorden: Se sugiere pedir 2 unidades cada vez que la posición de inventario llegue a 1 unidad.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 4 semanas con un nivel objetivo de 3 unidades.

De esta forma se logra un ahorro aproximado de 9,5 millones y un nivel de servicio del 99%.

CASSETTE LG LT-C602MLE0

Punto de reorden: Se recomienda pedir 1 unidad cada vez que la posición de inventario llegue a 3 unidades.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 2 semanas con un nivel objetivo de 2 unidades.

Con estas políticas se puede lograr un ahorro aproximado de 8,2 millones y un nivel de servicio del 99%.

MULTI SPLIT MC48F3AXAP

Punto de reorden: Se recomienda pedir 1 unidad cada vez que la posición de inventario llegue a 1 unidad.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 2 semanas con un nivel objetivo de 2 unidades y un nivel de servicio del 99%.

MPS LMNC122DUMO

Punto de reorden: Se recomienda pedir 3 unidades cada vez que la posición de inventario llegue a 2 unidades.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 2 semanas con un nivel objetivo de 4 unidades.

Con estas políticas se puede lograr un ahorro aproximado de 10 millones y un nivel de servicio del 99%.

MINI SPLIT AS12USBA

Punto de reorden: Se recomienda pedir 5 unidades cada vez que la posición de inventario llegue a 5 unidades.

Revisión periódica: Se recomienda revisar el inventario cada 3 semanas con un nivel objetivo de 8 unidades.

Con estas políticas se puede lograr un ahorro aproximado de 2,6 millones y un nivel de servicio del 99%.

BIBLIOGRAFÍA

BALLOU, Ronald. Logística administración de la cadena de suministro. 5 ed. México D.F.: Pearson; 2004.

BANKS, Jerry, NELSON, Barry, y NICOL, David. Discrete-Event System Simulation. 5 ed. Prentice Hall; 2009, p. 622.

BREALLY, Richard, MYERS, Stewart. Principles of corporate finance. McGraw Hill; 2003, p. 7.

BROWNE, Jim. Analyzing the dynamics of supply and demand for goods and services. 1994.

BULLEN, Stephen, BOVEY, Rob, WALLENTIN, Dennis, y GREEN, John. Professional Excel Development: The Definitive Guide to Developing Applications Using Microsoft Excel, VBA, and .NET. 2 ed. Addison-Wesley; 2009, p. 1156.

CHOPRA, Sunil. Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación. 3 ed. Pearson; 2008.

CHRISTOPHER, Martin. Logistics and supply management: creating value-adding networks. 3 ed. Pearson; 2005.

CHUNG, Christopher. Simulation modeling handbook: a practical approach. CRC Press; 2004, p. 608.

FRAZELLE, Edward. Supply chain strategy: the logistics of supply chain management. McGraw-Hill; 2002.

HERRERA, Anibal, MORALES, Gustavo. Propuesta de mejora para el sistema de control de inventarios para la materia prima e insumos especiales de la empresa TENARIS-TUBOCARIBE. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar; 2007, p. 119.

MÖLLERING, Karin. Inventory Rationing: A New Modeling Approach Using Markov Chain Theory. Kölner Wissenschaftsverlag; 2007, p. 196.

ROBINSON, Stewart, Brooks, Roger, Kotiadis, Kathy, y Zee, Durk-Jouke VD. Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation. Taylor & Francis; 2010, p. 527.

ROMERO, José. Diseño de políticas de control de inventario para empresas comercializadoras mediante la simulación y el diseño de experimentos. Bogota 2005.

RUSHTON, Aland, OXLEY, John, y CROUCHER, Phil. Handbook of logistics and distribution management. 2 ed. Kogan Page; 2000.

STOBINSKI, Robert. An investigation into inventory control management from the perspective of improving overall profitability in a household appliances manufacturing company. Cranfield 2005.

TAY, Chor. How supply can contribute in reducing inventory and maintaining service level at 98% concurrently. Cranfield 2005.

WATERS, Donald. An introduction to supply chain management. Palgrave McMillan; 2003.

WILD, Tony. Best practice in inventory management. 2 ed. Butterworth-Heinemann; 2002, p. 277.

YIN, Robert. Case study research: design and methods. Sage; 2003.

ANEXOS

ANEXO A. Distribuciones de Probabilidad

La distribución Geométrica o de Pascal²¹

Si un experimento aleatorio se realiza pruebas de Bernoulli independientes y con la misma probabilidad de éxito p , la variable aleatoria X que cuenta el número de pruebas hasta que se produce el primer éxito tiene distribución Pascal. Su función de probabilidad está dada por:

$$P_X(x) = p(1-p)^{x-1}, \text{ para } x = 1, 2, \dots$$

La media de esta distribución es $1/p$ y su varianza es $(1-p)/p^2$.

Puesto que los valores de la función de probabilidad decrecen en progresión geométrica la distribución recibe también el nombre de distribución geométrica.

Definamos una experiencia aleatoria cuyo resultado sólo puede ser el suceso A o su complementario A^c , y que se repite secuencialmente hasta que aparece el suceso A por primera vez.

Definamos la variable aleatoria X como el *número de veces que repetimos la experiencia en condiciones independientes hasta que se dé A por primera vez*. Bajo estas condiciones, decimos que la variable X sigue una distribución geométrica o de Pascal de parámetro $p = P(A)$.

La función de densidad puede deducirse fácilmente de la definición:

$$f(k) = P[X = k] = (1-p)^k p \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Propiedades del modelo Geométrico o de Pascal

1) Esperanza: $E(X) = (1-p)/p$

2) Varianza: $V(X) = (1-p)/p^2$

²¹ VASQUEZ, Alberto L. GONZALEZ Francisco J. Universidad de Cantabria, pp.143-144, Métodos Estadísticos para medir, describir y controlarla variabilidad.2005

Distribución Triangular²²

La distribución Triangular al igual que la distribución β es ampliamente utilizada al introducir riesgos en proyectos de inversión y caminos críticos (PERT). Ambas distribuciones se basan en una estimación pesimista, una más probable, y una optimista. Sin embargo, la distribución Triangular por su sencillez es más fácilmente comprendida por el analista y por las personas encargadas de interpretar los resultados del estudio.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2}{(c-a)(b-a)} (x-a), & \text{para } a \leq x \leq b \\ \frac{-2}{(c-a)(c-b)} (x-c), & \text{para } b \leq x \leq c \end{cases}$$

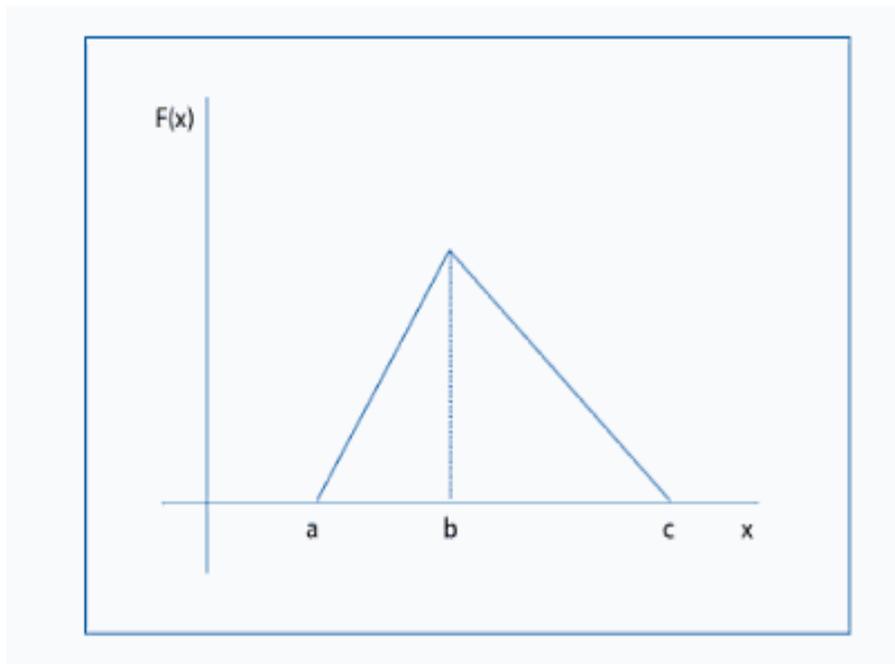


Figura: Densidad de Probabilidad triangular

El proceso es calcular la media y la varianza de los flujos de efectivo con base en la distribución triangular y luego realizar estimaciones de probabilidad basadas en la distribución normal.

²² COSS, Raul Bu. Limusa, pp.265-266, Análisis y Evaluación de Proyectos de inversión.1981

Las fórmulas para calcular la Media:

$$E(X) = \int_a^b \frac{2x(x-a) dx}{(c-a)(b-a)} + \int_b^c \frac{-2x(x-c)dx}{(c-a)(c-b)} = \frac{1}{3} (a+b+c)$$

Las fórmulas para calcular la Varianza:

$$\begin{aligned} VAR(X) &= \int_a^b \frac{2x^2(x-a)dx}{(c-a)(b-a)} + \int_b^c \frac{-2x^2(x-c)dx}{(c-a)(c-b)} - \left\{ \frac{1}{3} (a+b+c) \right\}^2 \\ &= \frac{1}{18} \{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc\} \end{aligned}$$

La distribución de Poisson²³

Con frecuencia se utiliza para describir el número de llegadas de clientes por hora, el número de accidente industriales casa mes, el número de conexiones eléctricas defectuosas por milla de cableado en un sistema eléctrico de una ciudad, o el número de máquinas que se dañan y esperan ser reparadas.

Ideada por el matemático francés Simeon Poisson (1781-1840), la distribución de Poisson mide la profundidad de un evento aleatorio sobre algún intervalo de tiempo o espacio.

Son necesarios dos supuestos para la aplicación de la distribución de Poisson:

La probabilidad de ocurrencia del evento es constante para dos intervalos cualesquiera de tiempo o espacio.

La ocurrencia del evento en un intervalo es independiente de la ocurrencia de otro intervalo cualquiera.

Dados estos supuestos, la función de probabilidad de Poisson puede expresarse como:

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (1)$$

En donde x Es el número de veces que ocurre el evento.

μ Es el número promedio de ocurrencia por unidad de tiempo o de espacio.

$e = 2.71828$, la base del logaritmo natural.

Supongamos que se está interesado en la probabilidad de que exactamente 5 clientes lleguen durante la siguiente hora(o en cualquier hora dada) Laboral. La observación simple de las últimas 80 horas ha demostrado que 800 clientes han entrado al negocio. Por, $\mu = 10$ por hora. Utilizamos la formula (1).

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} = \frac{10^5 * 2.71828^{-10}}{x!} = 0.0378$$

²³ WEBSTER, Allen L. Mach Graw Hill, pp.115-116, Estadística Aplicada a los Negocios y a la Economía, III Edición 2000.

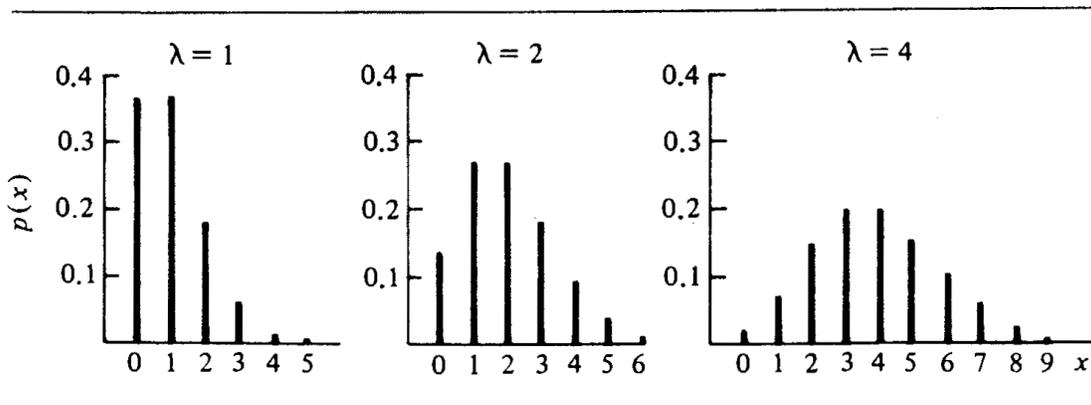
Debido a que esta fórmula es menos práctica, las probabilidades para los valores seleccionados se dan en la tabla. Diríjase al extremo superior de la tabla hasta encontrar $\mu = 10$. Baje por esa columna hasta la fila en donde está $x = 5$. Allí usted encontrará 0.0378. Existe 3.78% de oportunidad de que exactamente 5 clientes ingresen a la tienda durante la siguiente hora.

Sea x una variable aleatoria que representa el número de eventos aleatorios independientes que ocurren a una rapidez constante sobre el tiempo o el espacio. Se dice entonces que la variable aleatoria x tiene una distribución Poisson con función de probabilidad²⁴

$$p(x; \lambda) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} & x = 0, 1, 2, \dots; \quad \lambda > 0, \\ 0 & \text{para cualquier otro valor.} \end{cases} \quad (2)$$

El parámetro de la distribución es λ , el número promedio de ocurrencias del evento aleatorio por unidad de tiempo. Para valores mayores que cero, λ define una familia de distribuciones con función de probabilidad determinada por la ecuación (2).

En la figura X se proporcionan algunas graficas de la función de probabilidad de Poisson, para distintos valores de λ .



²⁴ CANAVOS, George C. Mach Graw Hill, pp.108-109, Probabilidad y Estadística Aplicaciones y métodos, 1998.

Puede verse que la ecuación (2) es una función de probabilidad, puesto que $P(X; \lambda) > 0$ Para $X = 0, 1, 2 \dots$ y

$$\begin{aligned}\sum_{x=0}^{\infty} p(x; \lambda) &= \sum_{x=0}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \\ &= e^{-\lambda} \sum_{x=0}^{\infty} \frac{\lambda^x}{x!} \\ &= e^{-\lambda} \left(1 + \lambda + \frac{\lambda^2}{2!} + \dots \right) \\ &= e^{-\lambda} e^{\lambda} \\ &= 1.\end{aligned}$$

La distribución Normal

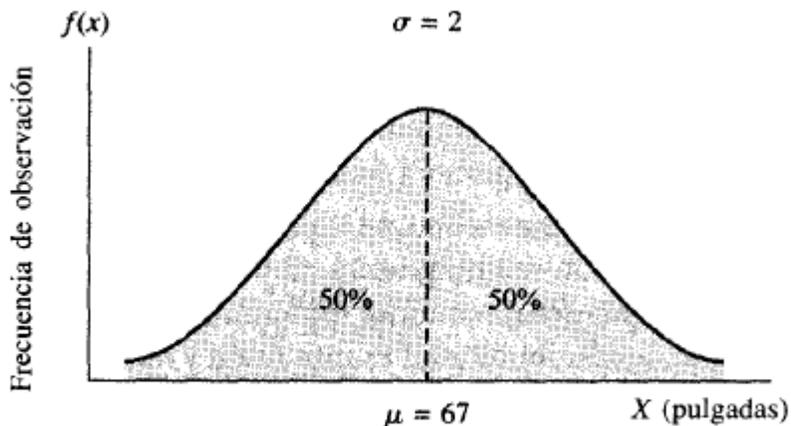
La distribución Normal tiene algunas probabilidades que hacen aplicable a un gran número de situaciones en las que es necesario hacer inferencias mediante la toma de muestras. Casi se ajusta a las distribuciones de frecuencias reales observadas en muchos fenómenos, incluyendo características humanas (peso, altura, coeficiente intelectual), resultados de procesos físicos (dimensiones y rendimientos), y muchas otras mediciones de interés para los administradores, tanto en el sector público como privado²⁵.

Características de la distribución normal de probabilidad

La curva tiene un solo pico; por tanto, es unimodal. Tiene la forma de campana.

La media es una población distribuida normalmente cae en el centro de su curva normal.

Debido a la simetría de la distribución normal de probabilidad, la mediana y la moda de la distribución se encuentran también en el centro; en consecuencia, para una curva normal, la media, la mediana y la moda tienen el mismo valor.



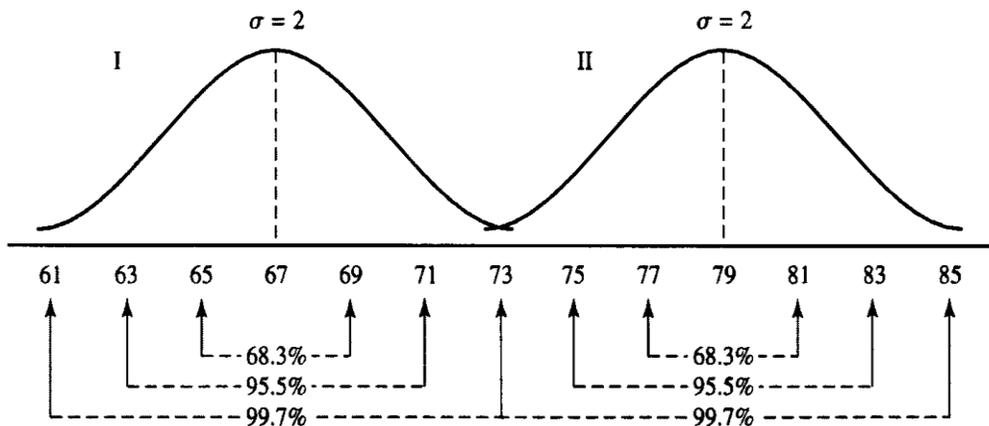
Una Gráfica de estas estaturas produciría la habitual forma de campana. La figura siguiente muestra esta gráfica, colocando las observaciones individuales en el eje horizontal, y la frecuencia con la cual cada una de estas observaciones ocurrieron en el eje vertical. Si los valores son todavía normales, entonces aparecerá la curva

²⁵ LEVIN, Richard I. RUBIN, David S. Pearson Prentice Hall, pp.209, Estadística para Administración y Economía, VII Edición 2004.

en forma de campana. Vale la pena recordar que más del 50 de las observaciones (estaturas) están por encima de la media y el 50% de éstas están debajo de la media. Similarmente el 50% de toda el área bajo la curva normal está a la derecha de la media y el 50% de esta área está a la izquierda de la media²⁶.

Comparación entre distribuciones normales

La forma y posición de una distribución normal están determinadas por dos parámetros: su media μ y su desviación estándar σ . La siguiente figura muestra dos distribuciones normales diferentes de las tallas que ToppsWeas puede encontrar en su estudio sobre las tendencias de la moda. La primera (I) corresponde a las distribuciones discretas, las cuales tienen una media de $\mu = 67$ y una desviación estándar de $\sigma = 2$. Está centrada con 67 con la mitad de las observaciones por encima de 67 y la mitad por debajo. La desviación estándar de 2 indica el grado en el cual las observaciones están dispersas por encima y por debajo de 67.



La segunda distribución (II) tiene una media más alta, de $\mu = 79$, pero la misma desviación estándar $\sigma = 2$. Por tanto, está centrada más hacia la derecha, directamente encima de 79. Pero como tiene el mismo grado de dispersión ($\sigma = 2$), toma la misma forma que la primera distribución.

²⁶ WEBSTER, Allen L. Mach Graw Hill, pp.123-124, Estadística Aplicada a los Negocios y a la Economía, III Edición 2000.

Se dice que una variable aleatoria X se encuentra normalmente distribuida si su función de densidad de probabilidad está dada por²⁷:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right], \quad \begin{array}{l} -\infty < x < \infty \\ -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0. \end{array}$$

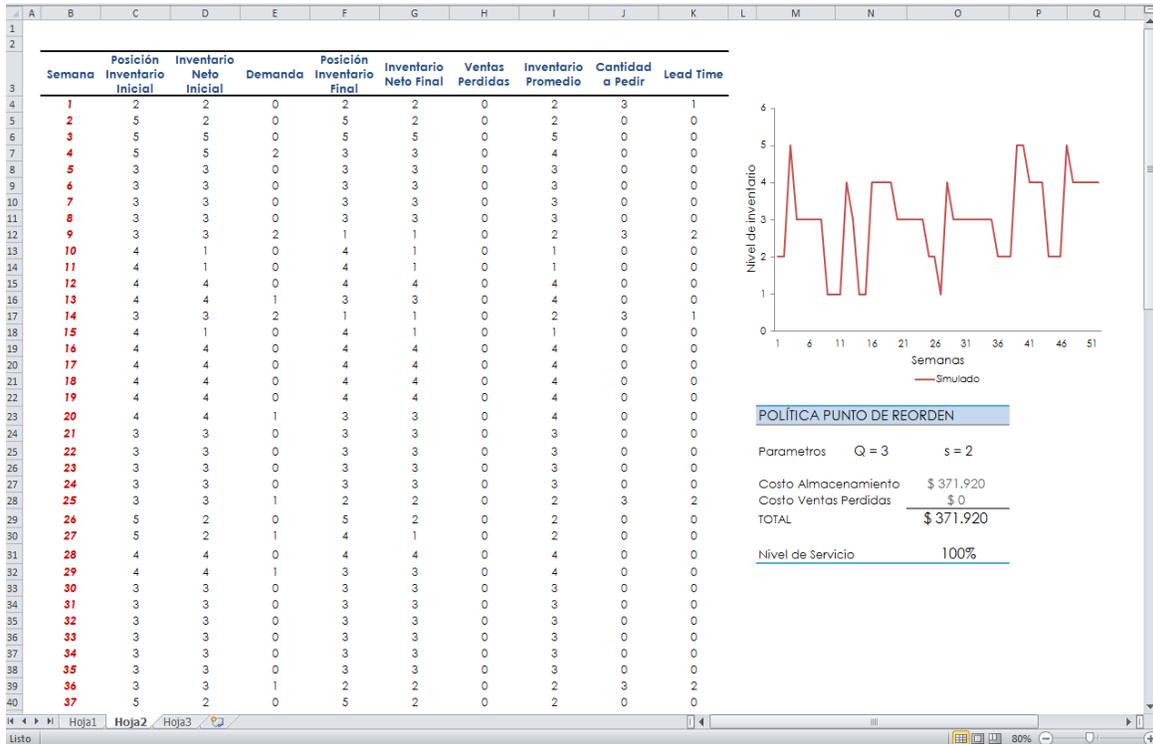
Los parámetros de la distribución normal son μ y σ y además determinan de manera completa la función de densidad de probabilidad. Estos parámetros son la media y la desviación estándar de X .

La media de una variable aleatoria distribuida normalmente se encuentra definida por:

$$E(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \int_{-\infty}^{\infty} x \exp\{-x^2/2\sigma^2\} dx.$$

²⁷ CANAVOS, George C. Mac Graw Hill, pp.131, Probabilidad y Estadística Aplicaciones y métodos, 1998.

ANEXO B. Hoja de resultados (una sola réplica)



ANEXO C. Hoja de resultados (varias réplicas)

Replica	Costo Política	Nivel de Servicio	Rotación de Inventario	Inventario Promedio
1	\$ 876.451	100%	6.2	4.2
2	\$ 789.620	100%	5.6	6.1
3	\$ 713.643	100%	5.1	7.9
4	\$ 852.030	100%	6.0	4.5
5	\$ 786.906	100%	5.6	6.1
6	\$ 830.322	100%	5.9	5.6
7	\$ 2,949.155	89%	6.6	4.2
8	\$ 944.288	100%	6.7	2.7
9	\$ 884.591	100%	6.3	3.7
10	\$ 933.434	100%	6.6	3.3
11	\$ 860.170	100%	6.1	4.8
12	\$ 2,331.517	95%	7.0	5.9
13	\$ 830.322	100%	5.9	5.3
14	\$ 900.872	100%	6.4	4.2
15	\$ 906.299	100%	6.4	3.7
16	\$ 917.153	100%	6.5	4.3
17	\$ 830.322	100%	5.9	5.6
18	\$ 2,889.459	90%	6.2	5.0
19	\$ 857.457	100%	6.1	4.6
20	\$ 862.884	100%	6.1	5.2
21	\$ 1,589.060	97%	6.5	4.9
22	\$ 743.491	100%	5.3	7.0
23	\$ 1,453.387	98%	5.5	7.4
24	\$ 2,894.885	92%	6.2	6.3
25	\$ 3,204.221	91%	8.4	3.9
26	\$ 890.018	100%	6.3	3.8
27	\$ 879.164	100%	6.2	4.2
28	\$ 881.878	100%	6.3	4.2
29	\$ 830.322	100%	5.9	5.1
30	\$ 2,165.996	94%	5.8	5.5
31	\$ 803.187	100%	5.7	6.9
32	\$ 732.637	100%	5.2	7.9
33	\$ 1,534.791	96%	6.1	4.4
34	\$ 892.732	100%	6.3	4.0
35	\$ 2,291.214	93%	7.4	3.9
36	\$ 919.867	100%	6.5	3.2
37	\$ 868.311	100%	6.2	3.9
38	\$ 1,499.516	97%	5.9	6.5
39	\$ 914.440	100%	6.5	3.2

Indicador	Promedio	Desv. Std.	Intervalo Inferior	Intervalo Superior
Costo Política	\$ 1,276,020	\$ 652,843	\$ 1,011,721	\$ 1,540,319
Nivel de Servicio	98%	3%	97%	99%
Rotación de Inventario	6.09	0.55	5.92	6.26
Inventario Promedio	5.3	1.5	5.0	6.0