

308917

4
24



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
ESCUELA DE INGENIERIA

con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México

**Simulación del sistema de inventarios
de una empresa elaboradora y distribuidora
de despensas alimenticias**

TESIS

que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista
Area: Ingeniería Industrial

PRESENTA:

Alejandro José Barba Zozaya

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Eduardo De la Vega Segura

México, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A la memoria de mi madre,
faltan las palabras para expresar
todo lo que has significado en mi vida,
siempre te llevaré en mi corazón.**

**A mi padre.
Gracias por tu total apoyo,
por tu inmenso amor y
por brindarme las mejores
oportunidades de mi vida.**

A mis hermanos
Ana, Jaime, Luis y Eduardo,
y a mis sobrinos
Daniel, Juan Carlos y Ana Sofía,
Por todo el cariño y todas las alegrías
que me han brindado.

A mis amigos,
gracias por su invaluable amistad
y por su incondicional apoyo.

**Agradezco profundamente al
Sr. Jorge Carlos Fernández
y al Sr. Jorge Castellá
todo su apoyo y ayuda para la
realización del presente estudio.**

**Mi agradecimiento a mi director de tesis
Ing. Eduardo De la Vega
por su valiosa colaboración
para la realización de este trabajo.**

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO UNO: Definición del Problema.	1
1.1. Actividad de la empresa.	1
1.1.1. Distribución de las despensas.	2
1.2. Generalidades sobre el almacén.	2
1.3. Proceso general para la elaboración y distribución de despensas.	4
1.4. Descripción de la lista de productos.	6
1.5. Descripción del proceso de producción.	11
1.6. Control de inventario.	14
1.7. Acciones en caso de faltantes.	15
1.8. Análisis <i>SWOT</i> de la empresa Bodega.	19
1.9. Objetivos del presente estudio.	20
CAPITULO DOS: Generalidades sobre Teoría de Inventarios.	22
2.1. Definición de inventario.	22
2.2. Clases de inventarios.	24
2.3. Tipos de demanda.	26
2.4. Costos relacionados con los inventarios.	27
2.5. Nivel de servicio.	29
2.5.1. Inventario de seguridad.	31
2.6. Tipos de sistemas de inventarios.	33
2.6.1. Sistema Q.	33
2.6.1.1. Tamaño de lote económico (EOQ).	34
2.6.2. Sistema P.	37
2.6.2.1. Un proveedor con varios artículos.	39
2.6.3. Otros sistemas de inventarios.	40
2.7. Descuentos por cantidad.	41
2.8. Exactitud de los registros.	42
2.9. Simulación de sistemas de inventarios.	43
CAPITULO TRES: Generalidades sobre Simulación	44
3.1. Definición de sistema.	44
3.2. Definición de simulación.	46
3.3. Definición de modelo.	48
3.3.1. Tipos de modelos.	48
3.4. Aplicaciones de la simulación.	50

3.5. Ventajas y desventajas de la simulación.	54
3.5.1. Ventajas de la simulación.	54
3.5.2. Desventajas de la simulación.	55
3.6. Pasos para desarrollar un estudio de simulación.	56
3.6.1. Formulación del problema.	57
3.6.2. Recolección y análisis de datos.	58
3.6.3. Desarrollo del modelo.	59
3.6.4. Verificación y validación del modelo.	60
3.6.5. Experimentación con el modelo y optimización.	62
3.6.6. Implementación de los resultados	63
3.7. Selección del lenguaje de programación.	63
3.7.1. Lenguajes de programación de alto nivel.	63
3.7.2. Lenguajes de simulación para propósitos generales.	64
3.7.3. Lenguajes de simulación para propósitos especiales.	65
3.7.4. Criterios para la selección de un lenguaje.	65
CAPITULO CUATRO: Desarrollo del Modelo.	69
4.1. Formulación del problema.	69
4.2. Recolección y análisis de datos.	73
4.2.1. Análisis de la demanda.	73
4.2.2. Análisis de costos.	80
4.2.3. Análisis de los tiempos de entrega.	84
4.3. Desarrollo del modelo.	85
4.3.1. Modelo conceptual.	86
4.3.2. Modelo lógico.	88
4.3.3. Modelo de simulación.	90
4.3.3.1. Elección del lenguaje de programación.	92
4.3.3.2. Mecanismo de avance de tiempo.	93
4.3.3.3. Generación de números aleatorios.	95
4.4. Verificación y validación.	96
4.4.1. Principales métodos de validación.	97
4.4.2. Verificación y validación del modelo de simulación.	100
4.5. Plan de la experimentación.	101
4.5.1. Análisis estadístico de los resultados.	101
4.5.2. Condiciones iniciales.	104
4.5.3. Duración de la corrida.	106
4.5.4. La clasificación ABC	107
4.6. Experimentación.	114
4.6.1. Lote económico de compra.	114
4.6.2. Resultados.	120
4.7. Implementación de los resultados	125

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

Anexo A: Cálculo del inventario de seguridad.	I
Anexo B: Tamaño de lote económico con descuentos.	IV
Anexo C: Algunos lenguajes de simulación.	VI
Anexo D: Listado del programa.	IX
Anexo E: Prueba de corridas arriba y abajo.	XXXI
Anexo F: Sistema de inventario de cada experimento.	XXXII

INTRODUCCION

Las empresas mexicanas enfrentan un gran reto originado por la situación actual del país. Este reto compromete a las empresas con la búsqueda constante de una mayor eficiencia. Existen varias formas de optimizar las operaciones de una empresa pero todas tienen su base en el manejo eficiente del inventario. Los inventarios, además de ser fundamentales para el logro de los objetivos de la compañía, representan una de las mayores inversiones de capital para la mayoría de las empresas.

Los Inventarios son costosos debido a los gastos que implica su sostenimiento y que en muchas ocasiones encubre problemas de otras áreas. Pero, no porque el inventario sea costoso, necesariamente es malo. No se debe tener como objetivo eliminar los inventarios, sino resolver los problemas que conducen a su creación.

La actividad de la empresa materia de este estudio, origina características muy peculiares en los que se mezclan aspectos de un sistema productivo con los de un sistema de compraventa de artículos. El proceso productivo consiste en surtir los diferentes pedidos de cada usuario del servicio del sistema de compraventa. Por lo anterior, la aplicación directa de los conceptos de la teoría de inventarios y de métodos analíticos resultan insuficientes para abordar satisfactoriamente este problema.

Aunque el empleo de la simulación es costoso y requiere de bastante tiempo para alcanzar los resultados deseados, la simulación no tiene límites en el desarrollo del modelo o en las suposiciones sobre el sistema que se simula, por lo que es una técnica muy poderosa y ha sido empleada ampliamente para la simulación de inventarios.

Esta tesis tiene como objetivo principal desarrollar la simulación del modelo de inventarios de la empresa para proponer, en base a la experimentación, un sistema de inventarios que lleve al logro de las metas de la compañía; el mejoramiento del nivel de servicio al cliente. Además, se busca el sistema de inventario más adecuado para su implantación en la empresa desde el punto de vista económico y operativo.

En el capítulo uno se describe la actividad de la empresa y la definición del problema que enfrenta. Los siguientes dos capítulos, sobre la teoría de inventarios y la simulación, establecen la base teórica general de este estudio. Finalmente, el capítulo cuatro trata sobre el desarrollo y la experimentación con el modelo de simulación, se propone un sistema de inventario y los lineamientos generales para su implementación.

CAPITULO UNO

Definición del Problema.

1.1. Actividad de la empresa.

Por razones de confidencialidad, a la empresa objeto de este estudio se le denominará Bodega. Por el mismo motivo varios datos no se darán a conocer y en los casos donde sea necesario se cambiarán nombres.

El giro de la empresa Bodega lo comprende la elaboración y distribución de despensas mensuales a los empleados de lo que se llamará Empresa Cliente.

La Empresa Cliente se caracteriza por tener un gran número de empleados distribuidos, prácticamente, en toda la República Mexicana. Este servicio representa una prestación para los empleados y para los jubilados de dicha empresa. Ningún empleado está obligado a solicitar este servicio pero todos los radicados dentro de la República Mexicana tienen derecho a solicitarlo.

La empresa Bodega ha estado operando desde el mes de junio de 1994, aunque anteriormente este servicio lo había estado brindando directamente la Empresa Cliente a sus empleados.

Los productos que se ofrecen para formar una despensa se pueden adquirir fácilmente en cualquier tienda de autoservicio y el precio de estos productos es de mayoreo. De hecho, la empresa no capta ganancias por la compraventa de productos sino por el servicio de la elaboración y distribución de las despensas, por el que se recibe una cuota fija por cada despensa entregada al usuario.

Cada empleado de la Empresa Cliente selecciona los productos que desea por lo que el contenido y el monto de cada despensa es diferente. Para poner límites al tamaño de las despensas, se cuenta con un monto mínimo y un máximo mensual. La despensa promedio tiene un valor aproximado de 300 nuevos pesos, un peso da 35 kilogramos y está constituida por cerca de 60 productos diferentes.

1.1.1. Distribución de las despensas:

Las despensas se entregan a domicilio y su distribución es tanto metropolitana como foránea. Para la distribución metropolitana se emplean camionetas de tres y media toneladas, las cuales pertenecen a transportistas independientes quienes trabajan para la empresa Bodega. A los transportistas se les paga una cuota fija por la entrega de cada despensa. La mayoría de estos transportistas llevan varios años prestando sus servicios entregando despensas para la Empresa Cliente y cada uno tiene designadas varias rutas, con lo que se logra un servicio más personal y eficiente.

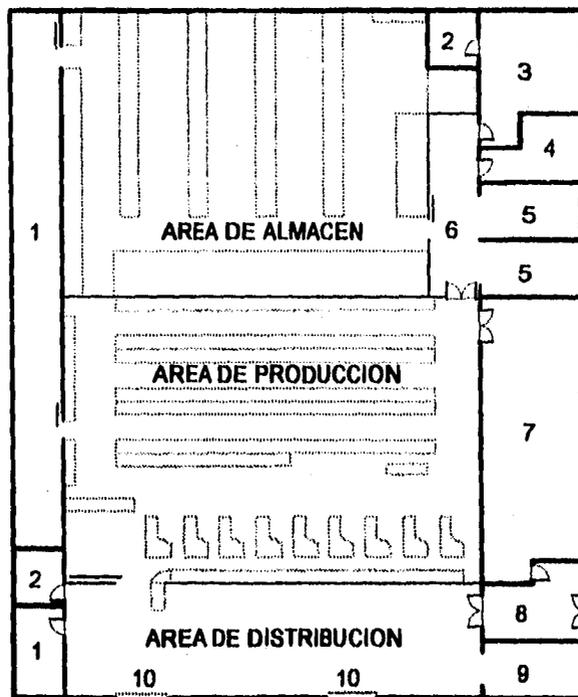
Para la distribución foránea se cuenta con 22 almacenes en las principales ciudades de la República Mexicana. Las despensas se envían a estos almacenes por medio de líneas de transportes independientes y los almacenes se encargan de redistribuir las despensas por zonas.

1.2. Generalidades sobre el almacén.

La Bodega cuenta con una nave industrial donde se distinguen tres áreas principales: almacén, producción y distribución. En la figura 1.1 se puede observar el diseño general de la planta.

El área total de la nave industrial es de 3,900 metros cuadrados, el área de almacén cuenta con 900 metros cuadrados, a producción le corresponden 1,000 metros cuadrados mientras que el área de distribución es de 400 metros

cuadrados. En el área de almacén no se está tomando en cuenta el espacio designado para el recibo de mercancías, para devoluciones, para el almacenaje del algodón y varios y para las pacas de cartón (o corrugado) que forman las cajas donde se empaquetan las despensas.



- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 Almacén de corrugado. | 6 Área de recibo. |
| 2 Baños. | 7 Oficinas. |
| 3 Almacén algodón y varios. | 8 Recepción. |
| 4 Almacén devoluciones. | 9 Rampa para embarque foráneo. |
| 5 Rampa de recibo. | 10 Embarques locales. |

Figura 1.1: Esquema general de la planta.

El área de almacén tiene la capacidad suficiente para colocar 266 tarimas directamente sobre el piso. Pero se estiba una tarima sobre otra hasta un máximo de 3 niveles, dando una capacidad total de 798 tarimas.

La empresa Bodega cuenta en total con dos montacargas eléctricos y con siete patines hidráulicos con capacidad de carga de dos toneladas. En el área de almacén y producción se emplean cuatro patines y un montacargas y el equipo restante corresponde al área de distribución. El peso promedio de cada tarima de producto es de 600 kilogramos y el peso máximo por tarima es de 1,400 kilogramos. Los pasillos en el área de almacén y de producción son por lo menos de 2.7 metros de ancho, ya que es el espacio mínimo requerido por los montacargas eléctricos para maniobrar sin dificultades.

Todas las tarimas empleadas en el área de almacén y producción son iguales y tienen 1.20 metros de frente por 1 metro de ancho y un peso de 18 kilogramos.

1.3. Proceso general para la elaboración y distribución de despensas.

Parte del proceso de elaboración y distribución de despensas es realizado por la Empresa Cliente y otra parte por la Bodega (ver figura 1.2). En resumen, el proceso de elaboración de las despensas es el siguiente:

El empleado de la Empresa Cliente llena su solicitud. La solicitud es bimensual y se llena únicamente en los casos de adhesión, modificación de los productos pedidos o cancelación del servicio. En caso de que el usuario esté incorporado y no modifique su selección de artículos de despensa, recibirá lo pedido en la última solicitud. Estas solicitudes son enviadas a la Empresa Cliente, donde son capturadas por computadora. Con estos datos, el monto de la despensa se carga por medio de la nómina a cada empleado. También se imprimen las solicitudes, a estas impresiones se les conoce como remisiones.

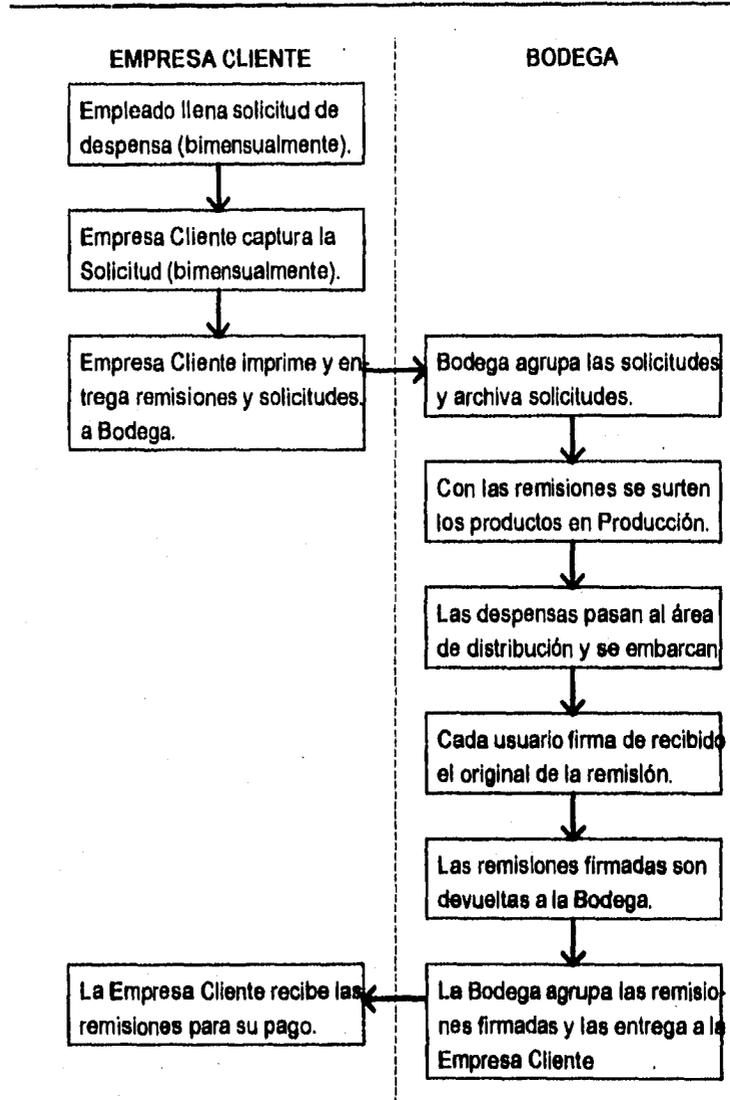


Figura 1.2: Pasos principales en la elaboración y distribución de despensas.

Cada empleado tiene un número de expediente fijo y se le asigna un número de remisión que varía cada mes. Además cada remisión es agrupada dentro de una ruta para facilitar la distribución de despensas.

Las remisiones y solicitudes son enviadas a la Bodega, se archivan las solicitudes y las remisiones son entregadas al área de producción. Con las mismas se elaboran las despensas, surtiendo los productos de acuerdo a lo solicitado. Este proceso se detalla más adelante.

Las despensas ya en cajas pasan al área de distribución donde se acomodan por ruta para posteriormente ser embarcadas a su destino.

Junto con la despensa se embarca el original y una copia de la remisión, en el original el usuario firma de recibido y se queda con la copia como comprobante.

Las remisiones originales firmadas por el usuario son enviadas de regreso a la Bodega, donde se recopilan, registran y agrupan para ser entregadas a la Empresa Cliente para su cobro.

1.4. Descripción de la lista de productos.

La empresa se caracteriza por el manejo de un volumen muy alto de mercancía. Mensualmente se desplazan más de 640 toneladas de producto y la rotación de inventario es igual a 15.25.

Los productos que se ofrecen son los autorizados por la Empresa Cliente y en muy raras ocasiones se han acordado cambios en la lista de productos.

La empresa Bodega ofrece 161 artículos diferentes que se caracterizan por ser productos de alto consumo, de marcas reconocidas y por no ser perecederos, aunque algunos tienen fecha de caducidad. Los 161 productos se agrupan de acuerdo a su uso en 13 categorías diferentes (ver tabla 1.1).

	Producto	Presentación	Clave del proveedor	Piezas por caja	Piezas por tarima	Inventario promedio
PRODUCTOS BASICOS						
001	Aceite 1	1 Lt.	280	12	840	19,704
002	Aceite 2	1 Lt.	280	12	840	1,749
003	Arroz bolsa	1 Kg	410	40	1200	6,605
004	Azúcar bolsa	2 Kg	240	25	700	4,575
005	Frijol bolsa	1 Kg.	410	40	1200	7,539
006	Garbanzo bolsa	500 gr.	410	24	1200	767
007	Lentejas bolsa	500 gr.	410	24	2400	2,033
008	Sal refinada	1 Kg	420	24	1344	6,278
ENLATADOS						
009	Atún en aceite	190 gr.	030	48	5376	27,733
010	Chlcharos	470 gr.	140	24	1680	25,049
011	Chiles en lata 1	220 gr.	190	48	2880	218
012	Chiles en lata 2	220 gr.	290	24	3648	7,038
013	Chiles en lata 3	200 gr.	190	24	3648	49,061
014	Chiles en lata 4	200 gr.	190	24	3648	40,079
015	Crema para café	350 gr.	360	24	1200	3,222
016	Leche condensada	397 gr.	360	48	2592	6,308
017	Leche en polvo	900 gr.	360	12	600	2,828
018	Leche proteinada	410 gr.	360	48	2592	10,046
019	Media crema	225 gr.	360	24	4320	1,260
020	Puré de tomate	800 gr.	140	24	1200	5,382
021	Sardinas	105 gr.	070	25	7800	19,598
022	Sopa enlatada 1	420 gr.	090	24	2376	19,209
023	Sopa enlatada 2	420 gr.	090	24	2376	9,099
CEREALES Y HARINAS						
024	Atole 1	50 gr.	440	144	7056	3,789
025	Atole 2	50 gr.	440	144	7056	2,154
026	Atole 3	50 gr.	440	144	7056	2,406
027	Atole 4	750 gr.	440	20	1000	789
028	Cereal 1	510 gr.	360	14	560	22,259
029	Cereal 2	460 gr.	360	18	640	11,113
030	Cereal 3	340 gr.	360	16	400	124
031	Cereal 4	300 gr.	220	36	900	533
032	Cereal 5	454 gr.	250	36	900	391
033	Cereal 6	400 gr.	270	36	1152	183
034	Harina de trigo	1 Kg.	310	10	980	790
035	Harina para holcakes	500 gr.	310	20	1300	3,424
CONSOMES Y PASTAS PARA SOPA						
036	Consomé de pollo 1	450 gr.	360	12	1092	5,909
037	Consomé de pollo 2	450 gr.	280	12	1176	3,349
038	Pasta 1	200 gr.	300	20	2080	3,047
039	Pasta 2	200 gr.	300	20	2080	6,391
040	Pasta 3	200 gr.	300	20	1500	1,021

Tabla 1.1: Lista de productos.

Producto		Presentación	Clave del proveedor	Piezas por caja	Piezas por tarima	Inventario promedio
041	Pasta 4	200 gr.	300	20	3200	5,934
042	Pasta 5	200 gr.	300	20	3200	6,179
043	Pasta 6	200 gr.	300	20	1500	6,964
044	Pasta 7	200 gr.	300	20	1500	696
045	Pasta 8	200 gr.	300	20	3200	5,981
048	Pasta 9	200 gr.	300	20	1500	5,721
JUGOS Y PREPARADOS						
047	Jugo 1	1 Lt.	210	12	1080	2,992
048	Jugo 2	1 Lt.	210	12	1080	3,376
049	Jugo 3	1 Lt.	210	12	1080	3,747
050	Jugo 4	355 ml.	210	24	2640	9,108
051	Jugo 5	355 ml.	210	24	2640	10,145
052	Jugo 6	355 ml.	210	24	2640	0,022
053	Jugo 7	355 ml.	210	24	2640	4,614
054	Preparado 1	200 gr.	180	24	2520	118
055	Preparado 2	675 gr.	260	12	1092	3,617
056	Preparado 3	380 gr.	160	12	1260	636
057	Preparado 4	320 gr.	180	12	1260	152
GALLETAS Y POSTRES						
058	Cajeta quemada	250 gr.	100	24	2688	4,869
059	Flan	56 gr.	260	48	5040	10,238
060	Galletas 1	1 Kg.	300	10	280	811
061	Galletas 2	950 gr.	170	10	400	799
062	Galletas 3	1 Kg.	300	10	400	97
063	Galletas 4	900 gr.	350	12	240	2,181
064	Galletas 5	1 Kg.	310	10	500	2,679
065	Galletas 6	1 Kg.	300	1	150	267
066	Galletas 7	1 Kg.	300	10	330	250
067	Geatina 1	170 gr.	260	36	3276	3,695
068	Geatina 2	170 gr.	260	36	3276	9,762
069	Geatina 3	170 gr.	260	36	3276	3,630
070	Geatina 4	170 gr.	260	36	3276	5,818
071	Geatina 5	170 gr.	260	36	3276	4,910
072	Geatina 6	170 gr.	260	36	3276	905
073	Geatina 7	170 gr.	260	36	3276	5,151
074	Geatina 8	170 gr.	260	36	3276	5,882
075	Mazapán	24 piezas	110	20	1440	304
076	Ate	700 gr.	290	12	1260	443
077	Mermelada	250 gr.	100	24	2352	2,925
078	Miel de abeja	600 gr.	020	12	1344	1,340
CHILES Y SALSAS						
079	Chile 1	100 gr.	410	40	1960	4,405
080	Chile 2	100 gr.	410	40	1960	8,902
081	Chile 3	100 gr.	410	40	1960	2,069

Tabla 1.1: Lista de productos (continuación).

	Producto	Presentación	Clave del proveedor	Piezas por caja	Piezas por tarima	Inventario promedio
082	Mole en polvo	600 gr.	010	12	756	214
083	Salsa catsup	397 gr.	140	24	1200	11,606
084	Salsa picante 1	150 gr.	190	24	1920	1,794
085	Salsa picante 2	220 gr.	190	48	2400	1,680
086	Salsa picante 3	485 gr.	140	12	1080	91
087	Salsa picante 4	500 gr.	140	12	1080	4,745
088	Salsa picante 5	500 gr.	140	12	1080	2,956
089	Salsa picante 6	335 gr.	390	48	2352	2,579
090	Salsa picante 7	260 gr.	400	48	1344	355
ADEREZOS, CONDIMENTOS Y ESPECIES						
091	Aceite de olivo	375 ml	200	10	880	985
092	Canela en polvo	50 gr.	450	24	1920	718
093	Mayonesa 1	790 gr.	260	12	720	5,554
094	Mayonesa 2	850 gr.	190	12	720	1,423
095	Mostaza	215 gr.	190	24	2376	2,052
096	Pimienta negra	50 gr.	460	24	1920	1,185
097	Vinagre blanco	500 ml.	190	24	1008	2,280
CAFE Y CHOCOLATES						
098	Café molido	450 gr.	080	50	400	357
099	Café soluble 1	200 gr.	260	12	672	250
100	Café soluble 2	200 gr.	360	12	1200	3,194
101	Café soluble 3	200 gr.	360	12	1344	182
102	Café soluble 4	200 gr.	360	12	1344	3,748
103	Chocolate en barra	360 gr.	270	24	2304	13,066
104	Chocolate en polvo 1	800 gr.	270	12	672	2,614
105	Chocolate en polvo 2	400 gr.	360	24	1152	2,014
106	Chocolate en polvo 3	400 gr.	360	24	1152	570
PRODUCTOS PARA BEBE						
107	Aceite para niños	500 ml.	120	12	980	1,769
108	Jugo para bebé 1	120 ml	180	24	4680	1,229
109	Jugo para bebé 2	120 ml	180	24	4680	1,205
110	Jugo para bebé 3	120 ml	180	24	4680	3,588
111	Jugo para bebé 4	120 ml.	180	24	4680	3,821
112	Jugo para bebé 5	120 ml.	180	24	4680	1,842
113	Pañal 1	20 piezas	230	10	320	2,781
114	Pañal 2	20 piezas	230	8	256	201
115	Puré para bebé 1	135 gr.	180	24	4680	1,907
116	Puré para bebé 2	135 gr.	180	24	4680	919
117	Puré para bebé 3	135 gr.	180	24	4680	1,139
118	Shampoo para niños	750 ml.	120	12	624	2,722
119	Talco para niños	600 gr.	120	12	780	2,255
120	Toallitas para bebé	70 piezas	130	12	1178	784
ARTICULOS PARA EL CUIDADO PERSONAL						
121	Jabón de tocador 1	150 gr.	120	98	4800	3,415

Tabla 1.1: Lista de productos (continuación).

Producto	Presentación	Clave del proveedor	Piezas por caja	Piezas por tarima	Inventario promedio
122 Jabón de tocador 2	150 gr.	280	40	6280	7,870
123 Jabón de tocador 3	150 gr.	340	48	4320	11,052
124 Gel fijador	420 gr.	040	12	960	134
125 Crema dental 1	100 gr.	120	96	3840	15,626
126 Crema dental 2	125 gr.	120	72	3240	13,671
127 Toalla femenina 1	10 piezas	230	48	1152	4,111
128 Toalla femenina 2	10 piezas	230	48	1152	3,143
129 Shampoo	470 ml.	120	12	1500	365
130 Desodorante 1	65 gr.	060	48	4368	762
131 Desodorante 2	65 gr.	060	24	4032	1,035
132 Algodón	300 gr.	130	12	288	4,803
133 Crema 1	325 ml.	430	15	1170	4,229
134 Crema 2	135 gr.	050	20	3360	4,200
135 Crema 3	165 gr.	380	12	1200	12,407
136 Crema 4	295 ml.	380	12	1740	1,031
137 Pañuelos desechables	200 piezas	230	48	768	957
ARTICULOS DE LIMPIEZA					
138 Bolsas para basura	14 piezas	370	30	1200	10,615
139 Cera para pisos	970 ml.	330	12	780	639
140 Detergente 1	5 Kg.	280	4	160	1,861
141 Detergente 2	2 Kg.	280	10	400	10,498
142 Detergente 3	2 Kg.	120	10	400	533
143 Fibra lavatrastes	1 pieza	330	72	3240	4,068
144 Jabón 1	400 gr.	280	25	3500	33,050
145 Jabón 2	400 gr.	280	25	3500	11,687
146 Lavapisos 1	1 Lt.	150	16	900	33,398
147 Lavapisos 2	1 Lt.	160	12	660	10,965
148 Lavatrastes	500 gr.	120	36	1980	1,924
149 Limpiador en polvo	682 gr.	120	28	1568	2,575
150 Papel higiénico	4 rollos	230	24	480	37,782
151 Papel toalla para cocina	1 pieza	230	48	960	2,001
152 Pastilla para sanitario	100 gr.	150	50	7650	29,525
153 Servilletas	250 hojas	230	24	576	3,669
154 Suavizante 1	1 Lt.	120	12	780	26,883
155 Suavizante 2	1 Lt.	120	16	840	14,110
PRODUCTOS VARIOS					
156 Maiz para palomitas	500 gr.	410	24	2400	2,216
157 Pantimedia 1	4 piezas	320	160	1200	408
158 Pantimedia 2	4 piezas	320	160	1200	124
159 Pantimedia 3	4 piezas	320	160	1200	176
160 Pantimedia 4	4 piezas	320	160	1200	253
161 Papel aluminio	6 m.	230	24	1860	6,466

Tabla 1.1: Lista de productos (continuación).

Con el objeto de facilitar este estudio, se les asignó a todos los productos un número de clave consecutivo diferente al empleado por la empresa Bodega.

En general, se busca manejar las presentaciones de cada producto más grandes disponibles en el mercado. Los precios oscilan entre los 58 centavos y los 34 pesos, la lista de precios empleada en este estudio es la vigente en el mes de octubre de 1995. Desafortunadamente, por el convenio de confidencialidad, dicha lista de precios no se dará a conocer.

Otro dato importante es el número de piezas por caja, ya que los productos son surtidos por cajas y no por piezas sueltas. Por cajas se entiende la forma en que el proveedor empaqueta a varias unidades de su producto para facilitar su manejo y almacenaje ya sea mediante cajas, charolas, costales o bolsas.

En la misma tabla se muestra la capacidad por tarima de cada producto. En promedio la capacidad por tarima es de 2,050 unidades pero es muy notoria la diferencia entre los diversos artículos manejados, existen productos como las galletas 6 con clave 065 con una capacidad de únicamente 150 piezas por tarima y en el otro extremo están las sardinas clave 023 con una capacidad de 7,800 unidades por tarima.

1.5. Descripción del proceso de producción.

La empresa Bodega opera nueve horas y media al día, cinco días a la semana. En total se cuenta con 20 días (190 horas) de producción mensuales para la elaboración de las despensas.

El proceso de producción es muy similar a un supermercado como se puede apreciar en la figura 1.3: se cuenta con áreas de pasillos, de cajas (verificación) y de empaquetado. En el área de pasillos se localizan todos los productos que pueden formar parte de las despensas, tales productos se encuentran en tarimas

con las capacidades (en piezas) que se detallan en la tabla 1.1 y dispuestos en el mismo orden de la remisión. A continuación se expone cada paso:

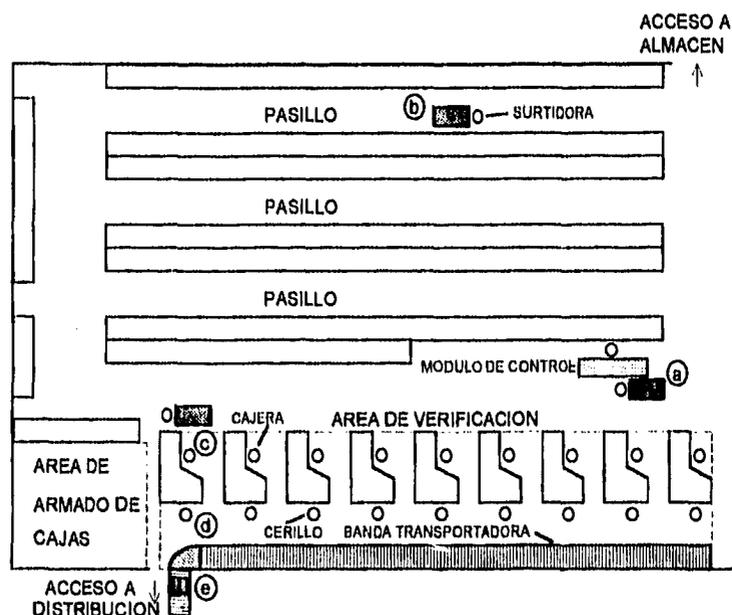


Figura 1.3: Representación de los pasos de elaboración de despensas.

a. Cada "surtidora" (nombre con el que se denomina a las personas encargadas de recolectar los productos de cada despensa) recoge en el módulo de control una remisión de acuerdo al programa de producción. En el programa de producción se enlista el orden de las rutas a producir cada día. Para evitar problemas en la distribución de las despensas siempre se producen rutas completas.

b. Las "surtidoras" recorren los pasillos dentro del área de producción con carritos de autoservicio donde van depositando los productos de la remisión. En esta área nunca se estiba una tarima sobre otra ni se emplean estibas muy altas ya que imposibilita el acceso a los productos.

En cada pasillo hay un empleado encargado de mantenerlo en orden; abrir las cajas, bolsas y costales, mantener limpio al pasillo, retirar basura (cajas, bolsas o costales vacíos), separar al producto en mal estado, etcétera.

c. Al final del recorrido, las "surtidoras" pasan al área de verificación donde las "cajeras" confirman que los productos surtidos correspondan a lo solicitado (se verifica que tanto el producto como la cantidad sean los correctos).

d. Ya verificado el contenido de la despensa, los "cerillos" empacan los productos en cajas de cartón y anotan los datos necesarios de identificación en las cajas. Estos datos de identificación son: el número de remisión, número de ruta, mes y el número de caja sobre el total de cajas. Para equilibrar la producción, por cada "cajera" se tienen a tres "surtidoras" y a dos "cerillos".

e. La despensa, ya en caja, es colocada en la banda transportadora, se sella con cinta y pasa al área de distribución.

Todas las cajas de cartón para el empaquetado de las despensas son de las mismas dimensiones y se arman mediante pistolas de grapas neumáticas en el área especial para su armado.

Algunos productos, de bajo consumo y que no requieren mucho espacio para su almacenaje, no requieren más inventario del que se tiene en el área de producción. Pero en general se mantiene inventario de los productos en el área de almacén. Así cuando en el área de producción un producto está por terminarse, se da aviso al almacén quien surte inmediatamente dicho producto al área de pasillos.

El algodón clave 132 presenta para su almacenaje el inconveniente de estar empaquetado en bolsas de plástico, por lo que no es posible estibarlos en tarimas. En el área de pasillos se amontonan sobre una tarima las bolsas de algodón pero para su almacenaje el algodón se mantiene en una área aparte del almacén como se puede ver en la figura 1.1.

Ocasionalmente se emplea el almacén de algodón para almacenar también las pantimedias claves 157, 158, 159 y 160 ya que, en general, es muy poco el inventario de pantimedias y no amerita ser colocado en el área de almacén.

1.6. Control de inventario.

En la empresa Bodega se llevan tres inventarios: el inventario en el área de producción, el inventario en almacén y el inventario de devoluciones. Para llevar el control de estos inventarios, se registran todos los movimientos de entradas o salidas entre ellos. Estos movimientos se originan por: entradas por recibo de mercancía, entradas por despensas devueltas al almacén, entradas del almacén a producción, salidas del almacén a producción, salidas por producción, salidas a devolución, etcétera. Para las salidas por producción se capturan los totales de ruta teóricos fabricados de acuerdo al programa de producción del día.

La empresa Bodega ha instalado el sistema SAE donde lleva un registro de todos los movimientos y de los niveles de inventario de todos los productos. Por lo regular, el inventario en almacén se lleva con bastante exactitud debido a que se manejan pocos movimientos que se conocen con certidumbre (generalmente son entradas por recibo y salidas al área de producción) y, además, en el almacén se manejan únicamente cajas cerradas y completas de cada producto. El inventario en el área de producción representa un problema a causa de que se manejan salidas teóricas por producción y a la cantidad de movimientos de entradas y salidas a este inventario.

Cuando se levanta un pedido a algún proveedor, el departamento de compras captura en el sistema SAE el pedido. Cuando se recibe la mercancía, se verifica lo entregado contra lo especificado en el pedido, se le da entrada al almacén y los productos se disponen en las tarimas de acuerdo a las capacidades que se muestran en la tabla 1.1.

Mensualmente, cuando se termina de producir el programa mensual se realiza un conteo físico del inventario para verificar posibles discrepancias entre el inventario físico y el teórico. Ocasionalmente cuando se sospecha sobre la exactitud de los registros de algún artículo, se realizan conteos físicos de los productos en cuestión.

Actualmente, la empresa Bodega no tiene formalmente definido un sistema de inventarios. Este sistema de inventarios está basado, principalmente, en la amplia experiencia de su equipo de compras. En general, se realizan pedidos conjuntos de varios productos a los proveedores (25 de los 45 proveedores de la empresa Bodega abastecen más de un producto). Los pedidos de mercancía se realizan periódicamente a cada proveedor, ya sea cada semana, cada dos, tres o hasta cuatro semanas, dependiendo de la demanda de los productos surtidos. El inventario mínimo empleado es de 7 días promedio de producción para todos los productos. Lamentablemente, este sistema de control de inventarios ha resultado ineficiente en la práctica y ha originado el problema de faltantes, del que se trata a continuación.

1.7. Acciones en caso de faltantes.

El problema de faltantes es grave y surge cuando se agota el inventario de algún producto antes de que llegue el próximo pedido. Existen cuatro posibles acciones que se pueden tomar en caso de faltantes:

a. Parar la producción mientras se espera al próximo pedido. Se asegura que ninguna despensa tenga faltantes pero se tienen las siguientes desventajas:

- Retrasa la producción y aumenta los costos al tener a los empleados parados indefinidamente y requerir el pago de horas extras o el incrementar el número de trabajadores en producción para compensar el tiempo perdido.
- El retraso afecta, además, al programa de embarques de despensas.
- Impacta la calidad del servicio ya que el usuario puede recibir su despensa fuera del tiempo programado.

b. Una segunda opción consiste en surtir los faltantes con productos sustitutos, ya sea cambiando marca, sabor o presentación. Con las desventajas de que:

- Origina descontento entre los usuarios al no recibir exactamente los productos solicitados. Deteriorando la imagen de la empresa.
- Crea problemas en el control del inventario ya que es muy complicado determinar la cantidad de artículos intercambiados.
- Afecta los costos, al emplear productos de diferentes marcas o presentaciones, la Bodega puede dar productos de mayor precio (aunque también puede suceder lo contrario, aumentando el enfado de los usuarios).

c. Otra alternativa consiste en no surtir los productos faltantes del mes y enviarlos junto con la despensa del mes siguiente. Aunque también se tienen desventajas:

- Impacta negativamente el nivel de servicio ya que el usuario no recibe su despensa completa (aunque se le cobra en su totalidad).
- Incrementa enormemente el trabajo administrativo al tener que elaborar listados con los expedientes y los productos faltantes, y al mes siguiente agregarlos a las remisiones para que dichos faltantes sean surtidos junto con las despensas del mes.

d. Bonificar los faltantes. Que presenta desventajas muy similares a las anteriores:

- Incrementa el trabajo administrativo al tener que enlistar y relacionar los productos faltantes, con el expediente y el monto de la bonificación. Después se envía dicha relación a la Empresa Cliente para que realice las bonificaciones pertinentes.
- Baja el nivel de servicio porque además de que el usuario no recibe su despensa completa, se le cargan todos los productos y después de un tiempo, el necesario para el largo proceso administrativo, recibe su bonificación.

La empresa ha decidido emplear una mezcla entre las opciones a, b y c, dependiendo del porcentaje de las despensas que representen dichos faltantes y si se tienen productos sustitutos. La opción de bonificar los faltantes sólo se aplica en situaciones muy excepcionales, cuando algún producto ya no existe en el mercado, puesto que implica demasiado trabajo administrativo tanto para la Bodega como para la Empresa Cliente.

Para evitar los inconvenientes de productos sustitutos con precios, marcas o contenidos diferentes, el artículo faltante se sustituye con productos que sólo cambien el sabor. No todos los productos tienen sustitutos, en la tabla 1.2 se muestran los productos que tienen sustitutos.

Así cuando se trata de productos con un consumo muy alto se para la producción (opción a), si se trata de productos de bajo consumo con sustitutos se toma la opción b y si no tienen sustitutos se surten al mes siguiente (opción c), y cuando se trata de varios faltantes (cuatro faltantes) de bajo consumo la producción se para (opción a).

Categoría de producto	Claves productos sustitutos.				
Chiles en lata	013	014			
Sopas enlatadas	022	023			
Atoles	024	025	026		
Pastas	038 043	039 044	040 045	041 046	042
Jugos (1 Lt.)	047	048	049		
Jugos (355 ml.)	050	051	052	053	
Gelatinas	067 072	068 073	069 074	070	071
Mayonesa	093	094			
Chocolates en polvo	105	106			
Jugos para bebé	108	109	110	111	112
Purés para bebé	115	116	117		
Crema dental	125	126			

Tabla 1.2: Productos sustitutos.

Para evitar los paros en producción y las despensas con faltantes, la empresa Bodega cuenta con la opción de realizar compras especiales. Estas compras especiales las realiza uno de los transportistas independientes que trabaja para la compañía y, generalmente, se adquiere el producto faltante necesario para completar la producción del día.

Los productos cuyo agotamiento paran la producción son:

001 Aceite 1	100 Café soluble 2
002 Aceite 2	153 Servilletas
003 Arroz bolsa	141 Detergente 2
004 Azúcar bolsa	142 Detergente 3
007 Lentejas bolsa	146 Lavapisos 1
008 Sal refinada	147 Lavapisos 2
009 Atún en aceite	148 Lavatrastes
017 Leche condensada	150 Papel higiénico
018 Leche en polvo	151 Papel toalla para cocina
019 Leche proteinada	154 Suavizante 1

Cuando la empresa Bodega ha operado sin parar por faltantes el resultado ha sido una gran cantidad de despensas con faltantes, alrededor de 9,500 despensas mensuales. Pero cuando la empresa adoptó la política de parar ante cualquier faltante, las horas de paro promedio llegaron a sumar 47.5 horas mensuales, lo que equivale a 5 días de producción. Actualmente, con la mezcla de las opciones a, b y c, los paros se redujeron a un promedio de 5 horas mensuales, poco más de medio día de producción.

1.8. Análisis *SWOT* de la empresa Bodega.

A pesar de que cualquier usuario del servicio de despensas tiene la libertad de cancelarlo o de adherirse a él en cualquier momento, se puede decir que el mercado es cautivo ya que existen muy pocas variaciones en el número de usuarios. De hecho, en los últimos 5 bimestres se observó un total de 1,190 adhesiones mientras que las cancelaciones sumaron un total de 805. Aunque, está claro que el nivel de servicio es un factor determinante en el número de usuarios adheridos al servicio de despensa.

Como se vio anteriormente, los precios de venta de los productos son iguales a su precio de adquisición por lo que las fluctuaciones en el precio las absorbe el usuario y no representan una amenaza. El alza en los precios puede provocar que los usuarios reduzcan el tamaño de su despensa, pero la empresa Bodega capta sus ingresos por el servicio no por la compraventa de productos. En cambio, los aumentos de precios en los materiales de empaque (corrugado, grapa y cinta) así como los aumentos en la gasolina impactan enormemente los márgenes de utilidad de la empresa Bodega.

FUERZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Manejo de un volumen muy alto de producto. - Mercado cautivo. - Fluctuaciones muy pequeñas en la demanda. - La empresa Bodega tiene amplia experiencia en el manejo de productos de alto consumo. - Dentro de la empresa Bodega hay una gran orientación al cambio. - Se cuenta con una amplia red de distribución bien establecida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se depende de un solo cliente (la Empresa Cliente). - Poca libertad para elegir productos y proveedores. - El proceso de elaboración de despensas es altamente manual. - Alta rotación de personal. - El sistema de inventario actual resulta ineficiente. - Poca liquidez por el tiempo necesario entre que una despensa sale para su distribución y que se recibe la remisión de regreso para su cobro. - Poca difusión de la empresa y de su actividad.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - El servicio de despensas se puede extender a otras empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Escasez de productos en el mercado. - El alza en los precios de gasolina, comugado, cinta, etcétera. - Posibles recortes de personal en la Empresa Cliente.

Tabla 1.3: Análisis SWOT de la empresa Bodega.

1.9. Objetivos del presente estudio.

Un punto muy importante consiste en que la empresa Bodega tiene el gran compromiso con la Empresa Cliente de prestar un servicio de calidad a los usuarios del servicio de despensas. Además se estima que el 0.08 por ciento de los usuarios que reciben su despensa con algún faltante cancelan el servicio y tomando en cuenta el tiempo promedio que un usuario está adherido al servicio

de despensa (aproximadamente 6 años 8 meses), los faltantes representan para la empresa un riesgo bastante costoso.

La Empresa Bodega busca una estrategia de servicio, actualmente se tiene como objetivo lograr cero faltantes, aunque involucre el manejo de productos sustitutos. Por todo lo anterior, es imperativo para la empresa Bodega desarrollar, en primer lugar, las políticas necesarias para el control del inventario y establecer las políticas de paro por faltantes para lograr los siguientes objetivos:

- Asegurar el nivel de servicio meta (cero faltantes).
- Disminuir los costos relacionados con el inventario.
- Reducir el uso del limitado espacio de almacén.

CAPITULO DOS

Generalidades sobre Teoría de Inventarios.

2.1. Definición de inventario.

Los inventarios representan la mejor alternativa económica para satisfacer los objetivos de servicio al cliente. Todos los tipos de compañías, a excepción de las organizaciones dedicadas en extremo al servicio donde ningún producto forma parte del paquete que conforma su servicio, tienen inventarios.

Por "Inventario" se entiende a "las existencias de cualquier artículo o recurso dentro de una organización".¹ Otra definición añade el concepto de costo, "inventario es un recurso ocioso de cualquier clase, con tal que este recurso tenga valor económico".²

Un "sistema de inventario" es el conjunto de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan que niveles se deben mantener, cuando se debe resurtir y de qué tamaño deben ser las órdenes.

Los motivos fundamentales para mantener inventarios se pueden clasificar de la forma siguiente:³

- **Motivo de trámite:** para compensar la falta de sincronización entre las entradas y las salidas de la mercancía en cuestión.

¹ Cfr CHASE, Richard B., y ALQUILANO, Nicholas J., Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Irwin, 1992, 6ª edición, p. 642.

² Cfr STARR, Martin K., y MILLER, David W., Control de Inventarios: Teoría y Práctica, Traducido por José Luis Lepe S., México, 1975, 2ª edición, p.18.

³ *Ibidem* p. 35.

- Motivo precautorio: proviene de la incapacidad usual para pronosticar la demanda con exactitud.
- Motivo especulativo: resulta cuando los precios suben, o si se espera que los costos cambien. Pueden obtenerse ganancias manteniendo inventarios a un precio inferior hasta obtener el precio más elevado.

La mayoría de las empresas tienen un gran porcentaje de sus bienes capitales invertidos en inventario. Además, es muy caro para estas organizaciones mantener tales inventarios, el costo promedio en el área manufacturera de los Estados Unidos es del 30 al 35 por ciento de su valor.⁴ Lo que indica que el inventario es un activo que debe gestionarse cuidadosamente.

El propósito básico del análisis de inventarios en sistemas productivos y de servicio de almacenaje es para especificar cuándo se deben ordenar los productos y cuánto se debe ordenar.

Tres de los principales objetivos de la mayoría de las empresas orientadas a la obtención de utilidades son:

- Máximo servicio al cliente.
- Mínima inversión en inventario.
- Operación eficiente de la planta.

El problema básico para alcanzar estos objetivos es que están básicamente en conflicto. En el mundo de los negocios, pocas compañías pueden soportar trabajar por uno de estos objetivos con la exclusión de los otros, puesto que todos son casi igual de importantes en el logro de un éxito prolongado.

Los inventarios son una fuente de conflictos entre los diferentes directores en las organizaciones. Este conflicto surge porque los directores desempeñan diferentes papeles que involucran el uso del inventario como se muestra en la tabla 2.1. El problema del inventario no se puede manejar aisladamente, está

⁴ Cfr CHASE, Op. Cit. n. 1, p. 642

relacionado con los problemas de distribución, almacenaje, manejo de materiales, compras, mercadotecnia y finanzas. El sistema de inventario es parte de un sistema mayor y debe facilitar las metas de la compañía.⁵

Area funcional	Responsabilidad funcional	Meta en relación al inventario	Nivel de inventario
Mercadotecnia	Vender al producto	Buen servicio al cliente	Alto
Producción	Elaborar al producto	Tamaños de lote eficientes	Alto
Compras	Adquirir los materiales requeridos	Bajo costo unitario	Alto
Finanzas	Proveer el capital de trabajo	Eficiente uso del capital.	Bajo
Ingeniería	Diseñar al producto.	Evitar la obsolescencia.	Bajo

Tabla 2.1: Orientaciones departamentales hacia el inventario.

2.2. Clases de inventarios.

Por su condición durante el proceso de producción, el inventario se puede clasificar en:⁶

- i. **Suministros:** Son artículos consumidos en el funcionamiento normal de una organización y no forman parte del producto final.
- ii. **Materias primas:** Son los productos que sufren modificaciones o transformaciones para elaborar los componentes de los productos terminados.

⁵ Cfr TERSINE, Richard J., *Principles of Inventory and Materials Management*, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. North Holland, 1988, 3ª edición, pp. 17 a 19.

⁶ *Ibidem* p. 4.

iii. Materiales en proceso: Son materiales y componentes sobre los que se está efectuando un trabajo o que se encuentran en estado de espera entre una operación y otra.

iv. Productos terminados: Son los artículos terminados listos para su venta, distribución o almacenaje.

La clasificación del inventario en alguna de estas categorías depende de la entidad bajo estudio, puesto que el producto terminado de una entidad puede ser materia prima de otra. Esta clasificación es relevante únicamente para compañías manufactureras y no es aplicable a otros negocios donde no existe una conversión de los materiales.

Además de agruparlos de acuerdo al proceso productivo, los inventarios pueden ser clasificados de acuerdo a su función. La clasificación funcional del inventario es útil para ilustrar los usos del mismo:

a. Inventario en tránsito (transit stock): Depende del tiempo necesario para transportar bienes de un lugar a otro. Se puede alterar modificando el diseño del sistema de distribución. Se argumenta que esta clase de inventarios no deben considerarse como tales debido a que los productos no están disponibles para satisfacer alguna demanda mientras están siendo trasladados.

b. Inventario cíclico (cycle stock): Existe cuando se hacen las órdenes mucho mayores a lo necesario para satisfacer requerimientos inmediatos. Mediante la inversión en inventarios cíclicos, se pueden satisfacer varios periodos de demanda, en lugar de los inmediatos, y mantener así el costo de envío bajo. El tamaño del inventario cíclico depende fuertemente de: los tiempos entre entregas (reaprovisionamientos), el tamaño del espacio del almacén, los descuentos por cantidades y los costos de mantenimiento del inventario.

c. Inventario de seguridad (safety stock): Brinda protección contra las irregularidades o incertidumbres en la demanda o en la entrega de un artículo. Así

el inventario de seguridad asegura que la demanda será satisfecha inmediatamente y que los clientes no tendrán que esperar.

d. Inventario de anticipación (*anticipation stock*): Es necesario para productos con demanda estacional y con entregas uniformes. Existen productos que enfrentan condiciones de demanda pico donde las facilidades de producción no son capaces de satisfacer tal demanda. Por lo tanto, inventarios de anticipación se van formando con antelación a la demanda estacional.

2.3. Tipos de demanda.

La naturaleza de la demanda es un factor muy importante a considerar cuando se está decidiendo sobre qué técnica emplear para el control de inventarios.

a. Demanda dependiente.

Los artículos con demanda dependiente son aquellos que forman parte de algún producto terminado y su demanda es afectada por factores internos que están dentro del control de la empresa. Los calendarios de producción como el FAS (Calendario de Ensamble Final) y el MPS (Calendario Maestro de Producción) regulan la demanda de tales productos y se controlan con sistemas MRP (Planeación de los Requerimientos de Materiales).

b. Demanda independiente.

Los artículos que no son empleados directamente para fabricar otros productos son conocidos como de demanda independiente, ya que su demanda es influenciada, primordialmente, por factores ajenos a las decisiones de la empresa. Tales factores inducen variaciones aleatorias para esos artículos. Este estudio se va a centrar en los productos con demanda independiente.

Existen artículos que tienen tanto demanda dependiente como independiente, tal es el caso de las refacciones donde parte de su demanda viene dada por un pronóstico de ventas y otra parte proviene del calendario de producción. Para

este tipo de artículos se recomiendan los sistemas de Planeación de los Requerimientos de Materiales MRP.

2.4. Costos relacionados con los inventarios:

El problema en el manejo del inventario consiste en equilibrar costos contrapuestos. En la práctica, los costos relacionados con el inventario se pueden agrupar en las siguientes categorías:

a. Costo de mantener el inventario.

Este costo es consecuencia del almacenamiento de artículos durante un período de tiempo y son aproximadamente proporcionales a la cantidad de artículos almacenados. Estos costos se pueden agrupar en cuatro clases.⁷

- Costo de espacio: Se deben al uso de un volumen de almacenamiento dentro de un edificio o local. En el caso de inventarios en tránsito, los costos de espacio son irrelevantes en el cálculo de los costos de mantenimiento.
- Costo de capital: Es el más intangible y subjetivo de todos los factores que constituyen el costo de mantener el inventario y se refiere a los costos del dinero invertido en inventario. El costo de capital refleja el costo de oportunidad de la inversión perdida, es un cargo por un ingreso no recibido.
- Costo de servicios del inventario: Se refiere a los costos derivados por el pago de seguros y de impuestos relacionados al inventario.
- Costos de riesgo del inventario: Incluye los costos asociados con el deterioro, merma, robo, defectos u obsolescencia de los productos.

b. Costo de ordenar.

El costo de ordenar está asociado con el procesamiento de la orden, el flete y el costo de manejo de materiales a su recibo. Usualmente se asume que este

⁷ Cfr BALLAU, Ronald H., Logística Empresarial. Control y Planeación, Traducido por Ramón Pérez M., España, Ed. Díaz de Santos, 1991, pp. 404 a 406.

costo varía directamente con el número de órdenes colocadas y no con el tamaño de la orden.

c. Costo de penalización por faltantes.

También conocido como costo por demanda insatisfecha, costo por agotamiento o costo de rotura de inventario y ocurre cuando un artículo no está disponible para cubrir su demanda. Este costo intangible es muy difícil de calcular ya que incluye el costo de oportunidad al no cumplir una venta y los efectos negativos en la voluntad de los clientes. Dependiendo de la reacción por parte del cliente, se pueden distinguir dos clases de costos de penalización por faltantes:

- **Costo por pérdida de ventas:** Tiene lugar cuando el cliente, al encontrar que no hay existencias, prefiere retirar su pedido de producto y el costo es el beneficio que se hubiera obtenido con esa venta y también se incluye el efecto negativo en la voluntad del cliente para posibles ventas futuras.
- **Costo por retardo:** En este caso el cliente espera a que su pedido se satisfaga y así la venta no se pierde, tan sólo se demora. Se originan costos adicionales debidos al procesamiento especial de pedidos.

Muchas veces, las organizaciones emplean medidas para prevenir, evitar o mitigar los faltantes (agotamientos). Las medidas típicas son embarques de emergencia, manejos especiales, tiempos extras y sustituciones. Estas medidas tienen un costo de prevención que puede ser considerado como costo de penalización por faltantes aunque realmente el faltante no ocurra.

d. Costo de compra.

Es el costo de la adquisición del artículo. A pesar de ser de gran importancia para la organización, en muchos casos se omite de los análisis ya que este costo no varía con la posible solución. Únicamente se incluye el costo de compra en el análisis, cuando se cuenta con descuentos por volumen.

Cada costo específico aparece en algunas clases de problemas de inventarios, pero generalmente no todos los diferentes costos son relevantes simultáneamente. Se debe realizar un análisis cuidadoso para determinar los costos que se deben considerar en la evaluación de los resultados de un sistema de inventarios. Dos reglas básicas son útiles en el establecimiento de los costos relevantes.⁸

- Los costos deben ser realmente costos en efectivo, no costos estándar de contabilidad.
- Deben ser costos que se vean afectados realmente por la decisión específica que se está tomando.

Los costos en el sentido contable no son siempre los que se necesitan para el análisis de un problema de decisión ya que los procedimientos contables están formados con la intención de proporcionar una especie de costos fijos promedios de todo el conjunto de decisiones administrativas.⁹

El análisis de inventario típico no es exageradamente sensible a errores razonables que se cometan en la medida de los costos. Por lo que las conclusiones de estos análisis serán esencialmente correctas, aun cuando la medición de los costos no sea precisa.¹⁰

2.5. Nivel de servicio.

Como se vio anteriormente, maximizar el nivel de servicio es uno de los objetivos principales de la dirección. La fijación de este nivel influye dramáticamente en el nivel del inventario de seguridad a mantener.

⁸ Cfr PLOSSL, George W., Control de la Producción y de Inventarios. Principios y Técnicas. Traducido por Alcántara Erick, México, Ed. Prentice-Hall, 1967, 2ª edición, p. 24.

⁹ Cfr STARR, Op. Cit. n. 2, p. 25.

¹⁰ *Ibidem* p. 31.

El servicio al cliente es un tema complejo y poco comprendido, se sabe muy poco de cómo afecta este nivel de servicio a las ventas de la empresa, por lo que frecuentemente se define superficialmente. El problema principal respecto al nivel del servicio es, precisamente, su definición. Hay muchas definiciones posibles y la estrategia de inventarios y los niveles de inventario resultantes son muy sensibles a cada definición en particular.

El establecimiento del nivel de servicio es una elección subjetiva de la dirección, puesto que su base es la conveniencia de cada definición en lugar de una justificación científica. Cuatro de las definiciones de nivel de servicio más empleadas son:¹¹

a. Frecuencia de servicio por ciclo de orden.

Indica la probabilidad de llegar a agotar el inventario durante el tiempo de entrega (reabastecimiento).

$$\text{nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{número de períodos sin faltantes}}{\text{número total de períodos}}$$

b. Frecuencia de servicio por año.

Bajo el criterio anterior, los niveles de servicio de diferentes productos no son comparables puesto que cada artículo puede tener un tiempo de entrega diferente. La frecuencia de servicio por año es la probabilidad de agotarse el inventario durante el período de un año.

$$\text{nivel de servicio} = (\text{frecuencia de servicio por ciclo de orden})^{\text{número de órdenes anuales}}$$

c. Fracción de unidades demandadas.

Es el porcentaje de unidades demandadas y surtidas instantáneamente. Debe medirse sobre algún período de tiempo, como una semana, un mes, un año o la duración del tiempo de entrega.

¹¹ Cfr. TERSINE, Op. Cit. n. 5, pp. 212 a 224.

$$\text{nivel de servicio} = \frac{\text{número de unidades surtidas}}{\text{total de unidades demandadas}}$$

d. Fracción de días operativos.

Otra medida es la duración (tiempo) en la que el agotamiento existe. Este criterio se define como la fracción de días sin agotamientos en el inventario.

$$\text{nivel de servicio} = \frac{\text{número de días operativos sin faltantes}}{\text{total de días operativos}}$$

En la literatura sobre el tema generalmente se habla, aunque con distintas denominaciones, de los enfoques de la frecuencia de servicio por ciclo de orden, o por año, y de la fracción de unidades demandadas. Pero la frecuencia de servicio por ciclo de orden o por año no miden la cantidad de unidades faltantes ni la duración de los agotamientos.

Aunque el criterio de fracción de unidades demandadas asume que las órdenes son pequeñas y distribuidas aleatoriamente, es el más realista y más práctico al proporcionar el porcentaje de cobertura de la demanda total.

2.5.1. Inventario de seguridad.

Como se mencionó anteriormente, existe una estrecha relación entre el nivel de servicio y el inventario de seguridad. El inventario de seguridad es mantenido para "asegurar" que se alcanza el nivel de servicio deseado. Conforme se aumenta el inventario de seguridad, mediante mayores inversiones en inventario, se incrementa el nivel de servicio.

Los inventarios de seguridad existen como protección contra alguna de las siguientes contingencias:

- Una demanda mayor a la pronosticada, y/o
- Un retraso en la entrega de los artículos.

El inventario de artículos con demanda dependiente se puede dividir en inventario de trabajo e inventario de seguridad. El inventario de trabajo es el que se planea emplear durante cierto periodo mientras que los inventarios de seguridad son mantenidos no porque se espera emplearlos sino porque se podría llegar a usarlos. De hecho, se pueden considerar a los inventarios de seguridad como una inversión permanente en el inventario.¹²

Los inventarios de seguridad tienen dos efectos en los costos: decrecen el costo de penalización por faltantes, pero aumentan el costo de mantener el inventario. Hay quienes sugieren balancear el costo de tener inventario (costo de mantener el inventario) contra el costo de no tenerlo (costo de penalización por faltantes).¹³ Aunque este criterio casi no se emplea debido a la renuencia de los directores a calcular el costo de penalización por faltantes y a la complicación resultante en los modelos de inventarios. En cambio, el concepto de nivel de servicio es preferido por los directores.¹⁴

Algunas organizaciones emplean un número específico de días o semanas de suministro como el criterio para determinar el nivel del inventario de seguridad. El problema consiste en que el inventario de seguridad se establece en función del nivel de demanda en lugar de establecerlo en función de la variabilidad de la demanda. Como consecuencia, este criterio proporciona demasiada protección contra artículos de alto desplazamiento con demanda relativamente predecible y brinda muy poca protección a artículos con poco desplazamiento y demandas más variables.¹⁵

¹² Cfr TERSINE, Op. Cit. n. 5, pp. 184 a 188

¹³ Cfr KILLEEN, Louis M., Techniques of Inventory Management, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. American Management Association, 1969, p. 81.

¹⁴ Cfr SALVENDY, Gavriel, Handbook of Industrial Engineering, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Wiley-Interscience, 1982, p. 11.4.17.

¹⁵ Cfr TERSINE, Op. Cit. n. 5, p. 222.

A pesar de que no existe alguna fórmula o procedimiento específico para determinar el tamaño del inventario de seguridad,¹⁶ en el anexo A se presenta una forma para calcular el inventario de seguridad en base al criterio de la fracción de unidades demandas como definición del nivel de servicio.

2.6. Tipos de sistemas de inventarios.

Los requerimientos de inventario para los productos con demanda independiente no están determinados por la demanda de los artículos de más alto nivel de los que forman parte, por lo que existen varios tipos de sistemas de inventarios, los tipos principales son el sistema Q y el sistema P.

2.6.1. Sistema Q.

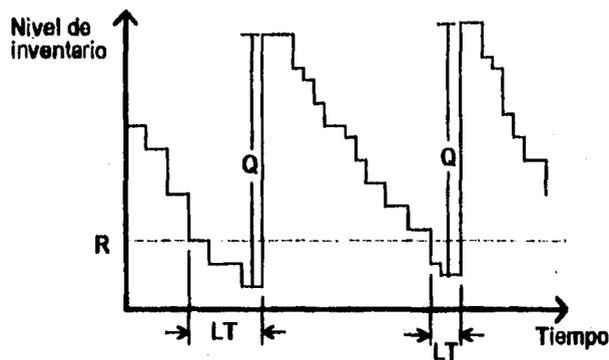


Figura 2.1: Sistema Q.

Bajo este sistema se realiza una revisión continua de los niveles de inventario, de modo que cuando el nivel de inventario del artículo baja de una cantidad

¹⁶ Ibidem p. 189.

preestablecida, conocido como punto de pedido o nivel de reorden (R), se lanza un pedido de reaprovisionamiento por una cantidad fija (Q). Como se puede ver en la figura 2.1. el intervalo entre pedidos varía al igual que los tiempos de entrega (LT), pero la cantidad de pedido es fija.¹⁷

El nivel de reorden (R) puede definirse como la suma de la demanda promedio durante el tiempo de entrega y el inventario de seguridad.

El sistema Q es más efectivo cuando la demanda es relativamente constante y tiene pequeños incrementos. Se puede tener complicaciones cuando se requieren lotes grandes e intermitentes.¹⁸

Este sistema se ha usado en la práctica durante mucho tiempo y con frecuencia se le ha llamado el sistema de dos silos, ya que una manera muy conveniente de operar este sistema es manteniendo dos silos (o recipientes) para cada artículo. En el segundo silo se mantiene el nivel mínimo (nivel de reorden) y el resto del producto se pone en el primero. Cuando se vacía el primer silo es una señal automática para realizar el segundo pedido.¹⁹ En artículos con poco valor de uso se equilibra el gasto de inventarios más altos con la reducción del costo en un control detallado del inventario.²⁰ Además, este sistema puede ser llevado por operarios que tengan poco o ningún conocimiento del fondo matemático de esta estrategia.

2.6.1.1. Tamaño de lote económico (EOQ).

Cerca de 1915, Ford Harris, de Westinghouse Electric Company, desarrolló lo que se conocería como fórmula de Wilson. Y es que éste hizo más publicidad a su obra que el propio Harris. Aunque se basa en un gran número de hipótesis,

¹⁷ Cfr BALLAU, Op. Cit. n. 4, p. 413

¹⁸ Cfr KILLEEN, Op. Cit. n. 13, p. 55.

¹⁹ Cfr STARR, Op. Cit. n. 2, pp 151 a 152.

²⁰ Cfr KILLEEN, Op. Cit. n. 13, p. 50.

todavía representa el punto típico de inicio para el desarrollo de modelos de inventarios. Actualmente se le conoce como tamaño de lote económico EOQ.²¹

Las suposiciones en las que se basa el modelo clásico del tamaño de lote económico son:²²

- La demanda es constante y conocida.
- El tiempo de entrega (abastecimiento) es conocido y constante.
- El pedido completo es entregado al mismo tiempo, no por partes.
- La estructura de los costos es fija.
- Hay suficiente espacio, capacidad y capital para soportar la cantidad deseada.
- El artículo no intereactúa con algún otro artículo del inventario.

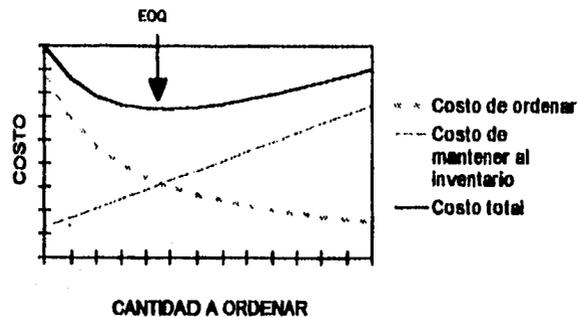


Figure 2.2: Costos anuales relativos al inventario.

La cantidad correcta a pedir es aquella que mejor equilibra los costos relacionados con el número de pedidos colocados y los costos relacionados con el tamaño de estos pedidos. Cuando se han equilibrado estos costos, se minimiza

²¹ Cfr BALLAU, Op. Cit. n. 7, p.413.

²² Cfr TERSINE, Op. Cit. n. 5, p. 94.

el costo total. En la figura 2.2. se pueden observar los costos de ordenar, los costos de mantener al inventario y los costos totales anuales.

Así, la ecuación de costos totales para un período anual, se puede expresar como:

$$CT(Q) = \frac{D}{Q} \cdot S + \frac{I \cdot C \cdot Q}{2}$$

donde:

$CT(Q)$ = costos totales anuales del inventario.

Q = tamaño de cada pedido de reabastecimiento.

D = demanda anual (en unidades).

S = costo de ordenar (pesos / pedido).

C = valor de cada unidad mantenida en inventario (pesos / unidad)

I = costo de mantener al inventario, como porcentaje anual sobre el valor de cada unidad C (%).

Mediante el cálculo diferencial, se obtiene el tamaño óptimo de pedido conocido como el tamaño de lote económico EOQ (*Economic Order Quantity*).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{I \cdot C}}$$

El número de pedidos por año es igual a la demanda anual entre el tamaño de lote económico EOQ y el nivel de reorden (R) es igual a la demanda diaria promedio por el tiempo de entrega (reabastecimiento) en días.

Aunque raramente se da una situación en que la demanda y el tiempo de abastecimiento sean constantes y conocidos con certeza, y en que los costos sean conocidos con precisión, el modelo del tamaño de lote económico es relativamente insensible en relación al nivel exacto de los valores de entrada. Por lo que este modelo puede ser aplicado en muchas situaciones prácticas.²³

²³ Cfr BALLAU, Op. Cit. n. 7, p. 419.

Como se puede ver en la figura 2.2, la curva del costo total es plana en un rango bastante amplio a cada lado del tamaño de lote económico EOQ. Esto significa que se pueden hacer ajustes, como redondeos, a la cantidad de pedido a la que se llegó por medio de la fórmula sin sacrificar ahorros significativos.²⁴

Además, la fórmula del tamaño de lote económico se puede modificar para encuadrar muchas situaciones. Únicamente se requiere crear la ecuación correcta del costo total $CT(Q)$, tomar la primera derivada de $CT(Q)$ con respecto a Q , establecer la derivada igual a cero y solucionar para Q .

2.6.2. Sistema P.

En este sistema, los niveles de inventario se revisan a intervalos fijos de tiempo (T) y se lanzan pedidos de reaprovisionamiento por la diferencia entre un nivel máximo fijado (M) y la cantidad (q) en inventario en el momento de la revisión.

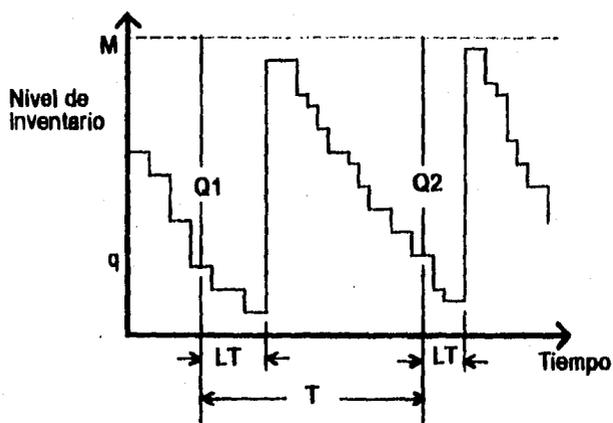


Figura 2.3: Sistema P.

²⁴ Cfr PLOSSL, Op. Cit. n. 8, p. 41.

El nivel máximo fijado es la suma de las demandas anticipadas durante el tiempo de entrega (LT) y durante el período de revisión, más el inventario de seguridad. El tiempo de entrega total es igual al tiempo de entrega, más el período de revisión.

El sistema P, también conocido como técnica de revisión periódica, encuentra gran aplicación en situaciones donde existen multitud de salidas de pequeños artículos del inventario, en forma tal que la colocación de registros para cada salida es impráctica.²⁵

El intervalo óptimo entre pedidos se puede obtener a partir de la formulación del tamaño de lote económico EOQ básico y se le conoce como EOI (Intervalo de Orden Económico). De tal forma que el intervalo entre pedidos (T^*) es:²⁶

$$T^* = \frac{EOQ}{D}$$

Este sistema de control tiene varias ventajas sobre el sistema Q. La revisión de los niveles de inventario se realiza con menos frecuencia y puede planificarse de modo que coordinen los tiempos de revisión de otros artículos, con lo que se puede realizar pedidos conjuntos. Así, se pueden conseguir descuentos en las compras y menores costos de transporte. La principal desventaja es que este sistema induce unos niveles medios de inventario ligeramente superiores a los del sistema Q.²⁷

En la práctica se usan fundamentalmente estos dos sistemas. Son típicos de la máxima sencillez administrativa. La distinción básica entre estos dos métodos es que uno es disparado por el acontecimiento de un evento (alcanzar un inventario

²⁵ Ibidem, p. 138.

²⁶ Cfr. BALLAU, Op. Cit. n. 7, p. 441.

²⁷ Ibidem, p.413.

mínimo) y el otro es disparado por el paso de un período de tiempo. En la tabla 2.2. se detallan las diferencias generales entre los dos sistemas.²⁸

Característica	Sistema Q	Sistema P
Cantidad a ordenar:	Constante (la misma cantidad cada vez).	Variable (cambia cada vez que se ordena).
¿Cuándo se ordena?	Cuando el inventario baja al nivel de reorden.	Cuando se está en el período de revisión.
Mantenimiento de registros:	Cada vez que se hace un retiro o una adición.	Sólo en el período de revisión.
Tamaño del inventario:	Menor que un modelo de sistema P.	Mayor que un modelo de sistema Q.
Tiempo invertido:	Mayor debido al perpetuo registro de datos.	
Tipo de artículos:	Artículos de alto precio, críticos o importantes.	

Tabla 2.2: Diferencias principales entre los sistemas Q y P.

El sistema P requiere mayores inventarios debido a que se debe proteger también contra agotamientos del inventario durante el período de revisión. Por lo que el sistema Q es favorecido para los productos más valiosos (su inventario promedio es menor) además, el monitoreo es más conciso y se tiene una respuesta más rápida. Para mantener ese nivel de monitoreo, el sistema Q requiere mayor tiempo ya que todo movimiento debe ser registrado.

2.6.2.1. Un proveedor con varios artículos.

Frecuentemente, un proveedor maneja numerosos productos y es más económico colocar órdenes conjuntas. El período de revisión del nivel del

²⁸ Cfr CHASE, Op. Cit. n. 1, p.648.

Inventario se puede coordinar, únicamente se requiere determinar el intervalo de tiempo T que minimiza el costo total para el conjunto total de artículos.

El intervalo óptimo entre pedidos se puede obtener en base a la fórmula de costo total:

$$CT(T) = \frac{S + n \cdot s}{T} + \frac{T \cdot I}{2} + \sum_{i=1}^n D_i \cdot C_i$$

donde:

CT(T) = costos totales anuales del inventario.

T = intervalo entre pedidos (en años).

D_i = demanda anual para el artículo i (en unidades).

S = costo de ordenar para la orden conjunta (pesos / pedido).

s = costo de ordenar asociado con cada artículo individual.

C_i = valor de la unidad i mantenida en inventario (pesos / unidad)

n = número total de artículos en la orden conjunta.

I = costo de mantener al inventario, como porcentaje anual sobre el valor de cada unidad C (%).

El intervalo entre pedidos óptimo se obtiene tomando la primera derivada con respecto a T y se obtiene:

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot (S + n \cdot s)}{I \cdot \sum_{i=1}^n D_i \cdot C_i}}$$

2.6.3. Otros sistemas de inventarios.

Una variación del sistema Q, es el llamado sistema R-M o Mín-Máx. En este sistema se realiza una revisión continua del nivel del inventario y se lanza un pedido de reaprovisionamiento cuando la cantidad disponible alcanza o baja del nivel de reorden (R). La idea en que se basa el sistema Q es que la demanda tiene lugar en pequeñas cantidades y por tanto el inventario se irá reduciendo

hasta igualar el punto de pedido. Pero si la demanda suele ser en grandes cantidades, con frecuencia pasaremos de estar por encima a estar por debajo del punto de reorden, sin igualarlo. Para tener en cuenta esto, se aumenta la cantidad de reaprovisionamiento en la diferencia entre el punto de reorden (R), y la cantidad disponible (q), en el momento de lanzar el pedido. Por tanto, la cantidad de pedido no es constante y es igual al nivel máximo fijado menos la cantidad disponible.

Este sistema es el menos elegante para optimizar al inventario y hoy en día muy rara vez se emplea.²⁹

Otra opción es el sistema T-R-M que combina las características de los sistemas P y Min-Máx. El nivel de inventario se revisa cada T unidades de tiempo para ver si la cantidad disponible ha bajado del punto de reorden (R). Si es así, se lanza un pedido de reaprovisionamiento por una cantidad igual a la diferencia entre el nivel máximo fijado y la cantidad disponible.

2.7. Descuentos por cantidad.

Los proveedores tratan a menudo de controlar las cantidades de los pedidos de los compradores, mediante la cuantía de los descuentos ofrecidos o imponiendo cantidades mínimas a los pedidos.

En general, existen dos formas de otorgar descuentos:

a. Descuento retroactivo: Donde, una vez alcanzada la cantidad límite, el precio reducido se aplica a todas las unidades solicitadas, incluso a aquellas de intervalos de precios anteriores.

b. Descuento secuencial o "por exceso": Donde un precio afecta a las unidades comprendidas entre cero y cierta cantidad límite, y a las unidades que excedan de ese límite se les aplica un precio reducido.

²⁹ Cfr KILLEEN, Op. Cit. n. 13, p. 50.

En el anexo B se detallan los métodos para calcular el tamaño de lote económico cuando se aplica alguno de estos dos descuentos.

Las ventajas de comprar con descuentos por cantidad son: Un menor precio unitario, menor costo anual de ordenar, menores agotamientos de inventario y se forma una protección contra incrementos en los precios. Las desventajas son: Un mayor inventario, se incrementa el riesgo de obsolescencia y se manejan inventarios más "viejos".³⁰

2.8. Exactitud de los registros de inventarios.

Es muy importante que la cantidad señalada en el registro de inventario corresponda realmente con el inventario físico en el almacén. La información de estos registros es la base para programar la producción, realizar ventas y levantar pedidos. Si la información es incorrecta, se puede conducir al agotamiento de productos, ineficiencias en producción y hasta a excesos de inventario.

Existen muchas razones por las cuales hay discrepancias entre los registros y el inventario físico. Algunas veces se registran recibos de mercancía que nunca ocurrieron, otras, registran salidas que no fueron realizadas. También, es posible realizar salidas de mercancía sin registrarlas y en ocasiones los productos simplemente no se colocan en sus lugares establecidos o se colocan en varios lugares provocando errores en los registros.

Por lo anterior, regularmente los niveles del inventario real deben verificarse contra los registros. Una exactitud del 100 por ciento debería buscarse, pero difícilmente puede establecerse como una meta realista. En cambio, un nivel de exactitud del 95 al 98 por ciento debe establecerse como meta.³¹

³⁰ Cfr. TERSINE, Op. Cit. n. 5, p. 106.

³¹ Cfr. SALVENDY, Op. Cit. n. 14, p. 11.4.27.

2.9. Simulación de sistemas de inventarios.

Los sistemas de inventarios frecuentemente contienen varios componentes estocásticos que interactúan entre sí. Cuando estos componentes son importantes, su consideración en el modelo matemático lo hace a éste considerablemente complejo. El modelo de inventarios determinísticos asume demanda conocida y constante; un tiempo de producción o de entrega conocido y fijo; una razón de producción infinita; no se permite faltante; y los costos de mantener el inventario y de ordenar tienen un comportamiento lineal. Si estas asunciones no se pueden aplicar al sistema de inventarios que se está analizando, el desarrollo de un modelo matemático que represente al sistema podría resultar significativamente complejo. Sin embargo, un modelo de simulación podría ser más fácil, más confiable y más efectivo.³²

Además, con el empleo de la simulación por computadora, se puede descubrir el comportamiento de rendimiento de un sistema elegible de inventarios, junto con sus políticas correspondientes, antes de llegar a aplicarlo en un medio industrial real, minimizando con ello los riesgos.³³

³² Cfr COSS, Raúl, Simulación. Un Enfoque Práctico, México, Ed. Limusa, 1992, 7ª edición, p. 85.

³³ Cfr HICKS, Philip E., Introducción a la Ingeniería Industrial y Ciencia de la Administración, México, Ed. Compañía Editorial Continental, 1960, p. 141.

CAPITULO TRES

Generalidades sobre Simulación.

3.1. Definición de sistema.

Antes de definir "simulación", es necesario establecer lo que significa un "sistema". Por sistema se entiende un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan con un propósito determinado.

Dentro de un sistema existen ciertos objetos, cada uno de los cuales tiene propiedades de interés. Existen también ciertas interacciones en el sistema que le causan cambios. Estos objetos, propiedades e interacciones se conocen como:

- **Entidad:** Denota un objeto, artículo o componente de interés dentro del sistema.
- **Atributo:** Es la propiedad de una entidad. Puede haber varios atributos para la misma entidad.
- **Actividad:** Es cualquier proceso que causa cambios en el sistema.

El término "estado" del sistema se emplea para describir cómo están todos los atributos, entidades y actividades en un cierto punto en el tiempo. "Evento", es un punto particular en el tiempo donde el estado del sistema cambia.

La frontera del sistema se escoge de tal forma que separe conceptualmente al sistema de su entorno (ver figura 3.1). Las influencias que actúan en el sistema desde afuera, y que no son afectadas por lo que pasa dentro de él son llamadas entradas, también conocidas como variables exógenas. Existen dos tipos de variables de entrada: aquellas que se pueden controlar o cambiar a voluntad, y aquellas sobre las que no se tiene control. A este último tipo se le denomina

disturbio. La propiedad del sistema que resulta de la influencia de las entradas al sistema son las salidas, también llamadas variables endógenas. Las variables de salida son cantidades observables y medibles. En un sistema dinámico las variables cambian con el tiempo¹.

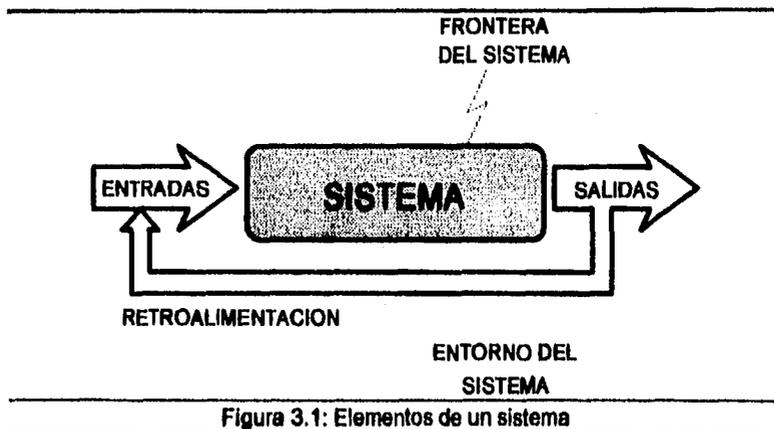


Figura 3.1: Elementos de un sistema

La retroalimentación consiste en que parte de la salida del sistema es introducida al sistema como entrada para influenciar futuros estados.

Establecer la frontera del sistema para su modelado no es tarea fácil. Esto se debe a que la mayoría de los sistemas están formados por muchos subsistemas. En muchas ocasiones los sistemas son a su vez subsistemas de sistemas más grandes, además los sistemas tienden a interactuar y a superponerse con otros sistemas, y por último aun cuando se ha establecido la frontera del sistema, éste todavía está ligado al entorno.

¹ Cfr KHEIR, Naim A., Systems Modelling and Computer Simulation, Estados Unidos de Norteamérica, Marcel Dekker, 1985, p. 7.

3.2. Definición de simulación.

En el amplio sentido de la palabra, por "simulación" se entiende la representación imitativa del funcionamiento de un sistema o proceso por medio del funcionamiento de otro. Debido al tremendo crecimiento del poder de la computadora, actualmente por el término "simulación" se entiende lo siguiente:

"Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema".²

A lo largo de este estudio, cada vez que se hable de simulación se estará haciendo referencia a la simulación por medio de computadora.

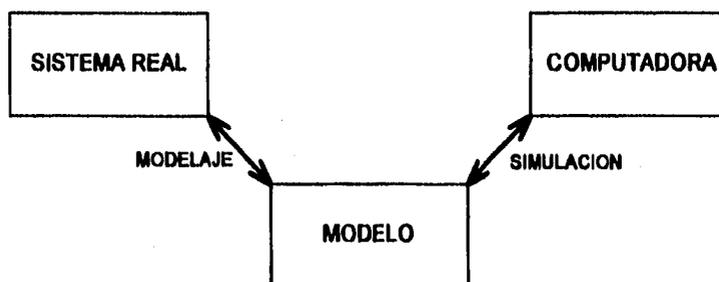


Figura 3.2: Elementos y relaciones principales en una simulación.

En la definición es evidente que se está trabajando con tres elementos principales; el sistema real, el modelo y la computadora, y dos relaciones; el modelaje y la simulación. Como se puede apreciar en la figura 3.2, el modelaje

² Vid COSS, Raúl, Simulación. Un Enfoque Práctico. México, Editorial Limusa, 1992, 7ª edición, p.12

sistemas complejos, sujetos a fluctuaciones aleatorias y con relaciones si no imposibles, muy difíciles de analizar matemáticamente. Por complejidad se entiende que el sistema es muy extenso en cuanto a su número de variables, parámetros, relaciones y eventos.

3.3. Definición de modelo.

Como se planteaba anteriormente, se requiere en primer lugar de un modelo. Podemos definir un "modelo" como el cuerpo de información reunido con el propósito de estudiar al sistema. Pero en la simulación se requiere, adicionalmente, hacer pasar al modelo a través del tiempo. La simulación le da "vida" al modelo.

Para los objetivos de la mayoría de los estudios no es necesario considerar todos los detalles del sistema real; así que el modelo no sólo es un sustituto del sistema sino también una simplificación del mismo. La habilidad de desarrollar un buen modelo es fundamental para lograr cualquier análisis por medio de la simulación. Este modelo, además, debe expresarse eficiente y efectivamente como un programa de computación.

La tarea de desarrollar el modelo de un sistema se compone de dos subtareas: establecer la estructura del modelo y obtener la información. Al establecer la estructura del modelo se determina la frontera del sistema y se identifican las entidades, atributos y actividades del sistema. La información establece los valores que los atributos pueden tomar y define las relaciones entre las actividades.

3.3.1. Tipos de modelos.

Hay una gran variedad de modelos. Por su forma se pueden clasificar en:

- a. Modelos icónicos: Son aquéllos que se asemejan al sistema real físicamente, los globos terráqueos son un ejemplo de este tipo de modelos.
- b. Modelos analógicos: Son aquéllos cuyo comportamiento asemeja al sistema real, como el flujo de agua en tuberías modela al flujo de electricidad en cables.
- c. Modelos simbólicos: No tienen relación física o analógica con el sistema real, sino más bien una relación lógica. Varían desde los modelos intuitivos hasta los matemáticos.

Debido a que el análisis por medio de la simulación requiere que el modelo sea capaz de ser implementado en una computadora, el tipo de modelo empleado es el simbólico. Hay varios tipos de modelos simbólicos y éstos se pueden clasificar bajo los siguientes criterios⁵:

- Prescriptivo / Descriptivo: Un modelo prescriptivo es empleado para formular y optimizar un problema, dando como resultado la mejor solución. Los modelos descriptivos, como su nombre lo dice, describen meramente el comportamiento del sistema y dejan el proceso de optimización totalmente en las manos del analista.
- Discreto / Continuo: Si las alteraciones al modelo ocurren continuamente conforme pasa el tiempo, se clasifica al modelo como continuo, y si los cambios ocurren únicamente en puntos discretos en el tiempo, el modelo es discreto. Para la simulación de los modelos continuos se emplean ecuaciones diferenciales, ya que las variables cambian continuamente conforme transcurre el tiempo.
- Probabilístico (Estocástico) / Determinístico: Si están presentes variables aleatorias, el modelo se clasifica como probabilístico o estocástico, por el

⁵ Cfr HOOVER, Stewart V., y PERRY, Ronald F., Simulation, A Problem Solving Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Addison-Wesley Publishing Company, 1990, 2ª edición, pp. 6 a 8.

contrario, si los valores de las variables pueden determinarse con certidumbre y son suficientes para describir el funcionamiento del sistema, el modelo es determinístico.

- Estático / Dinámico: Los modelos se clasifican como dinámicos o estáticos, dependiendo de que las variables del modelo cambien o no con el tiempo.
- Circuito Abierto / Circuito Cerrado (*Open Loop / Closed Loop*): Los modelos de circuito abierto, que constituyen la mayoría de los modelos, no retroalimentan los resultados de la simulación del modelo como entrada para modificar subsiguientes resultados. En el caso de un modelo de circuito cerrado, el resultado de la simulación es retroalimentado y comparado con un nivel deseado o meta para alterar el sistema, de tal forma, que logre la mayor aproximación al valor deseado.

3.4. Aplicaciones de la Simulación.

Actualmente, la simulación es una técnica muy poderosa para la resolución de problemas, con ella se determina una buena solución, si no la óptima, mediante la modificación de la representación de la estructura del sistema o de los parámetros de entrada y la observación de las diferentes salidas hasta descubrir la más deseable.

El avance continuo en la tecnología de las computadoras, en términos de su precisión, velocidad, capacidad y confianza, aunado con su reducción de costos, ha contribuido a un mayor uso de la simulación por medio de servidores de alto rendimiento, supercomputadoras y hasta computadoras personales.

Una de las aplicaciones más famosas del muestreo aleatorio ocurrió durante la Segunda Guerra Mundial cuando la simulación fue empleada para estudiar la difusión aleatoria de neutrones en conexión con el desarrollo de la bomba atómica. Debido al gran secreto que involucraba esta investigación, se le dio el

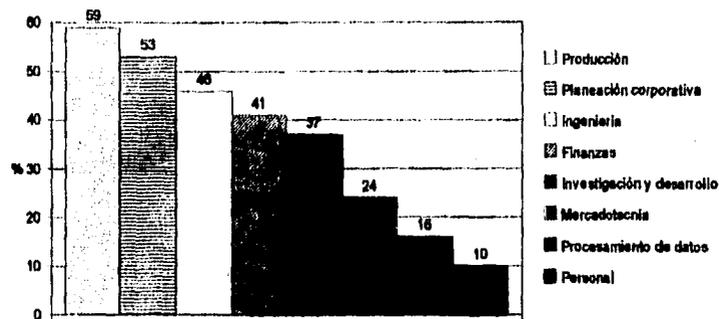
nombre de Monte Carlo, en referencia al mundialmente famoso casino. El nombre persistió, y por un tiempo fue empleado para referirse a cualquier esfuerzo de simulación. Pero el método Monte Carlo se refiere a un conjunto de procedimientos que se emplean para obtener aleatoriamente muestras de valores de las distribuciones de probabilidad. Estos valores de las muestras se emplean entonces en un modelo para su simulación. La simulación cubre una técnica de análisis más pragmática.

Las aplicaciones de la simulación se pueden encontrar históricamente en el sector productivo, pero al uso de esta técnica se ha incrementado fructíferamente a una amplia gama de contextos gracias a su gran adaptabilidad. Incluso se ha llegado a hablar de la simulación como la rama experimental de la investigación de operaciones⁶. Algunos ejemplos de aplicaciones en las siguientes áreas incluyen:

- **Area técnica / Ingeniería:** Programación de mantenimiento a equipo, diseño de aeropuertos y de aeronaves, localización y envío de ambulancias, simulación de vuelos espaciales, diseño de circuitos eléctricos, diseño de sistemas de comunicaciones, diseño de fuentes de energía, sistemas de control de inventarios, robótica, ingeniería auxiliada por computadora (CAE), diseño auxiliado por computadora (CAD), control de tráfico aéreo, líneas de producción, sistemas de manejo de materiales, programación de órdenes en talleres, programación de líneas de ensamble, diseño de sistemas de distribución, diseño de sistemas de información, diseño de estacionamientos, programación de trenes, programación de semáforos, predicción de evaluaciones financieras, diseño de un sistema de tráfico urbano, etcétera.

⁶ Cfr HILLIER, Frederick S., y LIEBERMAN, Gerald J., Introducción a la Investigación de Operaciones, México, Ed. McGraw-Hill, 1990, 2ª edición, p. 811.

- Area científica: Sistema visual humano, crecimiento de células cerebrales, sistema nervioso, drogas contra el cáncer, control de enfermedades, física de la atmósfera, sistemas planetarios, etcétera.
- Area de humanidades y ciencias sociales: Crecimiento de la población, comportamiento humano, inmigración en sistemas urbanos y regionales, predicción del comportamiento del mercado, estudios sociológicos de comunicación intergrupar, predicciones de elecciones políticas, etcétera.



* Los encuestados podían responder a más de una área de aplicación.

Figura 3.3: Áreas funcionales donde se emplea la simulación.

La flexibilidad de la simulación permite aplicaciones en todas las áreas funcionales de un negocio, como se puede ver en la figura 3.3, que es resultado de una investigación llevada a cabo en 1982 por miembros de The Institute of Management Sciences (TIMS) y The Operations Research Society of America (ORSA).⁷

⁷ Cf. CHASE, Richard B., y ALQUILANO, Nicholas J., *Production and Operations Management: A Life Cycle Approach*, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Irwin, 1992, 6ª edición, p. 788.

La simulación por computadora es un método de análisis ampliamente empleado, como lo demuestra otro resultado del mismo estudio en la tabla 3.1.⁸

Rango	Método
1	Análisis económico
2	Análisis estadístico
3	Simulación
4	Programación lineal
5	Modelos de inventarios
6	PERT (técnica de evaluación y revisión de proyectos) / CPM (método de ruta crítica).
7	Otra programación matemática (entera, dinámica, etcétera)
8	Técnica de búsqueda
9	Modelos de colas de espera
10	Teoría de juegos

Tabla 3.1: Frecuencia de uso de varios métodos gerenciales.

Una aplicación muy especial de la simulación está en el área del juego para el entrenamiento de gerentes de empresas, con los juegos de negocios o simulación de negocios, y hasta de estrategias militares (se debe tener cuidado de no confundir estos juegos con los populares video juegos). Un ejemplo del alcance en este campo lo constituyen los estudiantes de medicina que pueden aprender el arte de prescribir medicamentos interactuando con un modelo computarizado en vez de hacerlo con pacientes reales. En este tipo de juegos a los participantes se les da información sobre una situación dada y deben tomar una serie de decisiones, que se alimentan al modelo y cuya salida es retroalimentada a los participantes, generalmente los participantes vuelven a tomar decisiones en base

⁸ Cfr WATSON, Hugh J., y BLACKSTONE, John H., Computer Simulation, Singapore, John Wiley & Sons, Inc., 1969, 2ª edición, p.14.

a la retroalimentación varias veces durante el juego. En general el propósito de estos juegos es mejorar las habilidades de toma de decisiones.

Existe controversia sobre si este tipo de juegos deben ser considerados o no como simulaciones. Según la opinión de algunos, es el elemento de 'juego' el que distingue a éstos de una simulación verdadera a pesar de que el modelo puede representar o no a un sistema real. A mi parecer, la finalidad de este tipo de juegos no es el entretenimiento, sino obtener una serie de habilidades que de alguna otra forma tomaría mucho (o demasiado) tiempo adquirir y el elemento de juego, que tanto incomoda a los críticos de esta aplicación, es únicamente un medio muy eficiente para la capacitación.

3.5. Ventajas y desventajas de la simulación.

A pesar de que la simulación es una de las técnicas más sencillas de comprender, es también una de las más mal aplicadas. Algunos aseguran que es la más grande técnica para entender problemas y sistemas; otros dicen que es demasiado cara y que consume mucho tiempo como para poder ser empleada eficientemente, y hay opiniones de que es útil únicamente como último recurso para la solución de problemas.

Lo cierto es que como cualquier otra técnica, la simulación tiene sus ventajas y sus desventajas que se deben tomar en cuenta cuando se le quiere emplear en la resolución de un problema.

3.5.1. Ventajas de la simulación.

- El desarrollo de un modelo del sistema frecuentemente lleva a un mejor entendimiento del sistema real. Se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema. Esta ventaja es de vital importancia cuando se trata de sistemas complejos.

- Es más fácil controlar las condiciones experimentales en un modelo de simulación que en el sistema real. Además, las simulaciones son totalmente repetibles y no son destructivas.
- La técnica de simulación puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información.
- El tiempo se puede comprimir en la simulación. Años de experiencia en el sistema real pueden reducirse a segundos o minutos.
- Gracias a la simulación es posible experimentar en un sistema sin exponer a su contraparte real a cualquier peligro.
- La simulación brinda una réplica más realista de un sistema que un modelo matemático.
- La simulación se puede emplear como un juego para obtener experiencia en la toma de decisiones, como se vio anteriormente.
- Actualmente existen en el mercado muchos lenguajes de simulación que cubren una amplia gama de tópicos.

3.5.2. Desventajas de la simulación.

Los procesos de simulación presentan las siguientes desventajas.

- No hay garantías de que el modelo aportará buenos resultados, ya que no puede comprobarse el resultado de una simulación.
- Dependiendo del sistema a simular, construir un modelo de simulación puede tomar demasiado tiempo realizarla.
- La simulación puede ser menos exacta que los métodos analíticos al estar basada en entradas aleatorias.
- Los resultados de modelos del mismo sistema realizados por diferentes personas pueden diferir demasiado debido a la falta de una estandarización en el enfoque de la simulación.

3.6. Pasos para desarrollar un estudio de simulación.

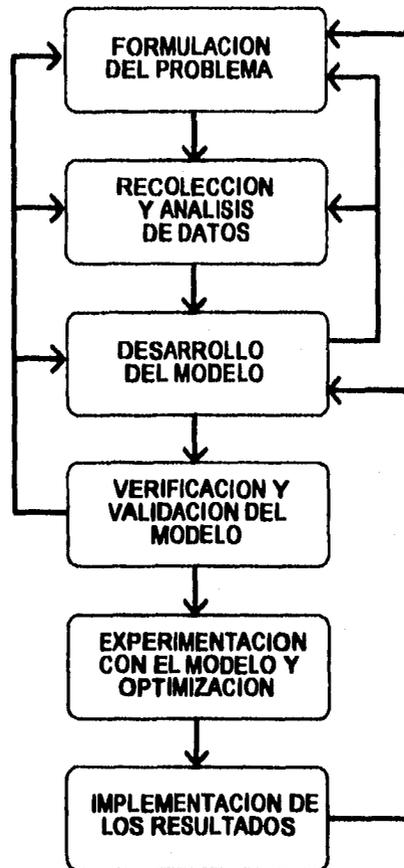


Figura 3.4: Pasos para desarrollar un estudio de simulación.

La simulación es una técnica que no posee la formulación explícita del problema ni pasos preestablecidos para llegar a una solución tal como la

programación lineal. Existe una gran variedad de formas para realizar una simulación debido a su aplicación en diferentes tipos de estudios y de sistemas. A pesar de lo anterior, se pueden identificar una serie de pasos básicos que se presentan a continuación⁹ (ver figura 3.4). Cabe notar que a pesar de que estos pasos se presentan subsecuentemente, este proceso es iterativo.

3.6.1. Formulación del problema.

La formulación del problema es el paso más importante en el análisis por medio de la simulación. No se pueden lograr resultados apropiados a problemas mal formulados. Pero antes de formular el problema éste debe ser encontrado o identificado.

El paso de definir al problema para la simulación difiere un poco de cualquier otra herramienta de análisis. Aquí se va más allá, se especifican los objetivos y se identifican las variables controlables y las no-controlables del sistema a ser estudiado.

Para evaluar la efectividad de un sistema, debemos identificar una medida (o medidas) de su comportamiento. Las medidas del comportamiento del sistema se seleccionan de entre las variables de salida. Tales medidas son elegidas para ser maximizadas o minimizadas y se conocen como función objetivo.

Cuando se seleccionan medidas de comportamiento múltiples, frecuentemente se afronta el problema de no poder optimizarlas todas simultáneamente. Con suerte, un objetivo dominante puede visualizarse entre los múltiples objetivos. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos esto no es así.

⁹ Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 5, pp. 15 a 32.

3.6.2. Recolección y análisis de datos.

En este paso el cúmulo de información es recolectado, reducido y analizado para hacer al modelo más explícito. Los métodos de recolección de datos son tan variados como los problemas a los cuales se aplican, hay desde métodos manuales hasta técnicas altamente sofisticadas. La observación directa y el registro manual de datos tienen los siguientes inconvenientes: su alto costo y los errores que cometen los observadores. El costo de los observadores es muchas veces mayor a las alternativas semi-automatizadas o automatizadas como el uso de relojes checadores, computadoras, grabaciones en video, sensores de luz o de presión, etcétera.

En la elección del método adecuado se deben considerar los siguientes puntos: la habilidad de registrar la información con la velocidad suficiente para alcanzar el nivel de exactitud deseado, el impacto del proceso de la recolección de datos en el comportamiento del sistema, la facilidad de conversión de la información a una forma procesable por la computadora y el costo del método.

Otra decisión importante consiste en definir el tamaño de la muestra; se debe buscar un equilibrio entre los criterios de costo y exactitud.

Algunos datos que definen al sistema son determinísticos, pero la mayoría son probabilísticos. Con un conjunto dado de datos se pueden tomar dos enfoques diferentes: el primero consiste en usar los datos adquiridos del muestreo para representar la distribución de probabilidad, el segundo se hace determinando una distribución de probabilidad teórica similar a la muestra, y usándola en el modelo. Esta última alternativa es muy eficiente en la ejecución del modelo y frecuentemente arroja luz sobre el comportamiento del sistema.

3.6.3. Desarrollo del modelo.

Una de las tareas más difíciles en la simulación es adquirir el suficiente entendimiento del sistema para desarrollar un modelo apropiado. A través de este peso se realiza una descripción explícite del sistema cuantificando las relaciones entre todas las variables y las medidas de su comportamiento.

Comenzando con el sistema real, se forma primeramente un modelo conceptual que debe contener todos los elementos convenientes para la adecuada representación de dicho sistema (ver figure 3.5). A partir de esta conceptualización del sistema se forme un modelo lógico que contiene las relaciones lógicas entre los elementos del sistema y las variables de entrada que lo afectan. Este segundo modelo se conoce frecuentemente como diagrama de flujo. Empleando a este modelo lógico se desarrolla entonces un modelo de simulación (también conocido como modelo de computadora), el cual ejecutará la lógica contenida en el diagrama de flujo¹⁰.

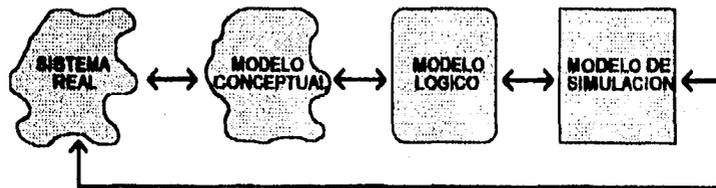


Figura 3.5: Los tres modelos desarrollados en una simulación.

El desarrollo de un modelo es un proceso iterativo. En este proceso se verifica y valida cada modelo cuestionando la veracidad de los modelos desarrollados

¹⁰ Ibidem p. 278.

anteriormente. El proceso de verificación y validación es el siguiente paso en el desarrollo de una simulación.

La construcción del modelo de simulación incluye, además, las siguientes tareas:

- Seleccionar el lenguaje de programación, (más adelante se profundiza sobre este tema).
- Elaborar un diagrama de flujo para la computadora,
- Desarrollar generadores de números aleatorios, y
- Escribir el código del programa.

3.6.4. Verificación y validación del modelo.

La verificación se centra en la consistencia interna del modelo, mientras que la validación está relacionada con la correspondencia entre el modelo y la realidad (ver figura 3.6). La verificación se debe realizar antes de la validación para evitar confundir fallas en el programa con fallas en el modelo.

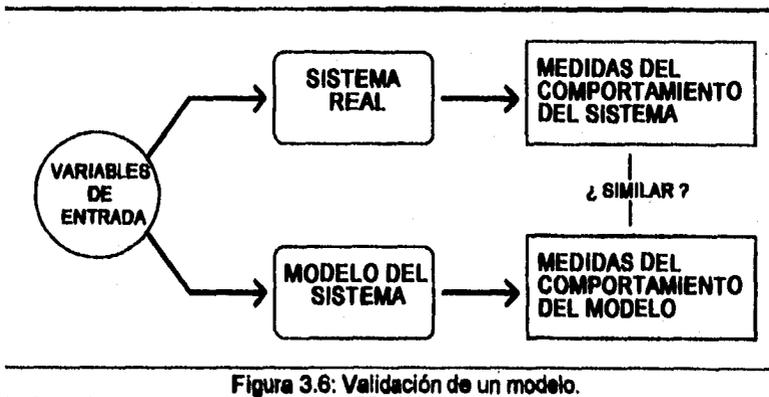


Figura 3.6: Validación de un modelo.

Para verificar y validar un modelo es necesario establecer un conjunto de criterios para juzgar si el diagrama de flujo del modelo y la lógica interna son las correctas, y si el modelo conceptual es una representación válida del sistema real.

Algunos autores distinguen grados en la validez del modelo¹¹ de modo replicativo, predictivo y estructural (*replicatively, predictively and structurally valid*) dependiendo de la habilidad del modelo para representar el pasado, el presente y el posible comportamiento futuro del sistema real. El criterio anterior no es muy útil y en algunos casos no es apropiado para juzgar un modelo, ya que los modelos de simulación excluyen aspectos del sistema real que no afectan directamente las cuestiones del sistema sometidas a estudio. No existe un conjunto de criterios universales para evaluar un modelo de simulación, ya que éste debe reflejar el propósito del modelo y las preguntas que se quieren responder con la simulación¹². Se debe tener en mente la naturaleza del sistema como guía en la definición del rango de exactitud requerido por el modelo de computadora.¹³

Como resumen de los papeles que juegan la verificación y la validación de un modelo se presenta la tabla 3.2:¹⁴

Si el modelo demuestra no ser válido, es necesario regresar algunos pasos en el desarrollo del modelo o retroceder hasta la definición del problema, para realizar revisiones que produzcan un sistema válido. Una vez que el modelo del sistema real ha sido validado, el siguiente paso es considerar cómo los resultados de tales modelos deberán ser interpretados.

¹¹ Cfr ZEIGLER, Op. Cit. n. 3, p. 5.

¹² Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 5, p.279.

¹³ Cfr KHEIR, Op. Cit. n.1, p. 5.

¹⁴ Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 5, p. 281.

Modelo	Verificación	Validación
Modelo Conceptual		¿Contiene el modelo todos los elementos, eventos y relaciones relevantes? ¿Responderá el modelo las preguntas imperantes?
Modelo Lógico	¿Se representan los eventos correctamente? ¿Son correctas las fórmulas y las relaciones matemáticas? ¿Están las medidas estadísticas formuladas correctamente?	¿Tiene el modelo todos los elementos incluidos en el modelo conceptual? ¿Contiene el modelo todas las relaciones del modelo conceptual?
Modelo de Simulación	¿Contiene el código de programación todos los aspectos del modelo lógico? ¿Están las fórmulas calculadas correctamente? ¿Contiene el modelo errores en el código?	¿Es el modelo de simulación una representación válida del sistema real? ¿Puede el modelo de simulación duplicar el comportamiento del sistema real? ¿Tienen los resultados del modelo de simulación credibilidad con expertos en el sistema y con los tomadores de decisiones?

Tabla 3.2: Tópicos principales en la verificación y validación de un modelo.

3.6.5. Experimentación con el modelo y optimización.

En esta fase se comienza a dar respuestas a las preguntas cuestionadas en la formulación del problema. La simulación de modelos sustentan estimaciones que están sujetas a error de muestreo. Debido a que los resultados de la simulación son muestras, se requiere de métodos estadísticos para analizar esos resultados. Los puntos más importantes en la obtención de estimados útiles son que la muestra sea representativa del comportamiento típico del sistema y que el tamaño de la muestra sea lo suficientemente grande para brindar cierto nivel de precisión.

3.6.6. Implementación de los resultados.

Los beneficios de un análisis tan largo y costoso no se alcanzarán sin su adecuada implementación y sin su aceptación por los usuarios finales.

Los motivos por los cuales no se alcanza una implementación exitosa incluyen: brechas en la comunicación, falta de entendimiento de los directores y usuarios finales de la jerga técnica del analista, implementación muy tardía en el proceso de análisis, resistencia al cambio, incompatibilidad entre los objetivos personales y los organizacionales.

3.7. Selección del lenguaje de programación.

La selección de un lenguaje de programación, en el cual codificar el modelo a simular, tiene gran impacto en el éxito o fracaso de la simulación. Las simulaciones se pueden desarrollar empleando una de las tres opciones siguientes:

3.7.1. Lenguajes de programación de alto nivel.

Fortran, Pascal, Ada y C son lenguajes de alto nivel que fueron desarrollados para una amplia gama de aplicaciones computacionales. Fortran es el más antiguo de éstos (fue desarrollado en 1956) y ha sido ampliamente empleado como lenguaje base en la simulación. Lo anterior se debe principalmente a su popularidad y a su disponibilidad para casi cualquier computadora. El crecimiento de microcomputadoras más pequeñas ha conducido a un mayor uso del lenguaje Pascal dentro de la simulación, y la creciente popularidad del sistema operativo Unix ha llevado a un mayor uso del lenguaje C.

Entre las ventajas de los lenguajes de programación de alto nivel se encuentran:

- Máxima flexibilidad al describir matemáticamente el modelo del sistema. No hay estructuras limitantes.
- Máxima flexibilidad en términos del tipo de experimentos que se pueden realizar en el sistema modelado.
- El programador puede seleccionar el tipo y formato de los reportes de salida. Únicamente el tiempo y su habilidad de programación limitan los reportes que pueden ser generados.
- Típicamente el analista está familiarizado en el uso del lenguaje, lo cual difícilmente sucede con los lenguajes de simulación.

3.7.2. Lenguajes de simulación para propósitos generales.

Su finalidad específica es la simulación. Esencialmente, en estos programas se cuenta con un lenguaje en el cual se describe al sistema y se cuenta con un sistema de programación que establece una imagen del sistema y que ejecuta el algoritmo de simulación. Cada lenguaje está basado en un conjunto de conceptos empleados en la descripción del sistema. La mayoría de estos lenguajes requieren menor tiempo de programación.

GPSS (*General-Purpose Systems Simulator*) desarrollado en 1962, es el primer lenguaje de simulación y se centra en colas de espera. Entre los primeros lenguajes de simulación para propósitos generales también se encuentran el GASP, DYNAMO y SIMULA. En el anexo C se exponen las características principales de estos lenguajes.

Las ventajas de lenguajes de simulación para propósitos generales son:

- Reducción en el tiempo y el esfuerzo de programación.
- La descripción del modelo es sencilla.
- El movimiento del modelo a través del tiempo es automático.
- La elaboración de reportes estadísticos es automático.

- Guía conceptual para formular un modelo y para describir y analizar al sistema.
- Fácil generación de procesos probabilísticos.
- Capacidad de diagnóstico que verifica errores de lógica y de sintaxis.

3.7.3. Lenguajes de simulación para propósitos especiales.

Estos fueron diseñados para facilitar la simulación en una área de aplicación altamente especializada. Su sintaxis está diseñada para corresponder a los parámetros bajo los cuales el problema será definido por usuarios con los conocimientos suficientes en esa área de aplicación. Como ejemplos de estos lenguajes podemos nombrar a GEMS que se concentra en el flujo de materiales en una fábrica y PASAMS que fue desarrollado para brindar un paquete de simulación basado en Pascal para aplicaciones en el área de la manufactura. En el área de la planeación financiera se encuentran el IFPS y el SIMPLAN.

Las ventajas de lenguajes de simulación para propósitos especiales son:

- Reducen el tiempo de programación.
- Ofrecen una mayor detección de errores.
- Su construcción de bloques básicos es más relevante para la simulación.
- Brindan un almacenaje dinámico de datos durante la ejecución.
- El modelo se puede cambiar fácilmente.

3.7.4. Criterios para la selección de un lenguaje.

Se han hecho varios intentos para comparar programas de simulación escritos en diferentes lenguajes, pero es muy difícil distinguir comparaciones debido a que los resultados dependen mucho de la naturaleza del modelo y de las habilidades del programador. Además, no existe un lenguaje que sea el mejor para todas las aplicaciones, cada aplicación debe ser evaluada independientemente.

Aunque en el mercado hay disponibles muchos lenguajes de simulación, muchos estudios de simulación se realizan sin emplear dichos paquetes. Hay casos donde la persona que lleva a cabo el estudio de simulación siente que el modelo es muy complicado para ser programado en un lenguaje de simulación, o, que de ser programado, resultaría ineficiente.

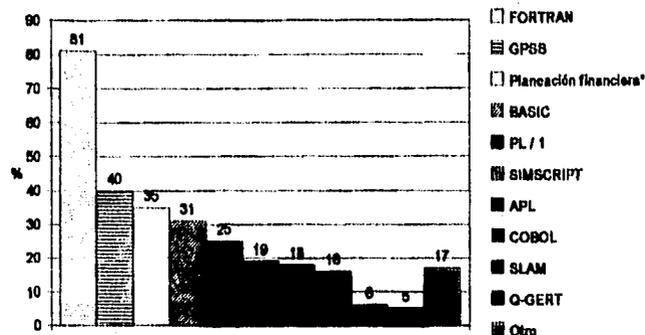
Al mismo tiempo la naturaleza del propósito general de los lenguajes de simulación, causa cierta pérdida de eficiencia en el tiempo de ejecución y en el empleo del espacio de almacenamiento de datos. Además, cuando el modelo se va a correr varias veces y éste permanecerá esencialmente sin cambios a través del estudio, el ahorro en tiempo que se puede obtener justifica el esfuerzo de escribir un programa en un lenguaje que no sea de simulación.¹⁵

En general, los lenguajes de simulación para propósitos especiales no se han difundido ampliamente, simplemente por la razón de que los analistas prefieren las herramientas de simulación que les brinden mayor flexibilidad en un rango más amplio de aplicaciones. Además, se corre el peligro de que conforme el modelo crece, éste pueda superar la capacidad del lenguaje y sería necesario reprogramarlo en un lenguaje más poderoso.

En la figura 3.7 se muestra el resultado de un estudio llevado a cabo en 1982 por miembros de The Institute of Management Sciences (TIMS) y The Operations Research Society of America (ORSA). En este estudio se pidió a los entrevistados indicar qué lenguajes son empleados en sus organizaciones en el área de la simulación. Como se puede observar, los lenguajes de programación de alto nivel como Fortran, Basic, PL/1 y Cobol son empleados en gran medida. El GPSS encabeza la lista de los lenguajes de simulación para propósito general y dentro

¹⁵ Cfr GORDON, Op. Cit. n. 4, pp. 141 a 142.

de los lenguajes de simulación para propósitos especiales, se encuentran los enfocados a la planeación financiera.¹⁶



* Lenguajes como IFPS, SIMPLAN, EXPRESS, BUDPLAN, etcétera.

Figura 3.7: Porcentaje de uso de diferentes lenguajes en simulación.

Las hojas de cálculo (como Lotus, Quattro y Excel) representan una opción interesante, aunque no son paquetes de simulación, se pueden emplear de dicha forma. Son muy útiles para las aplicaciones donde una representación en una hoja de cálculo es necesaria, tales como las simulaciones financieras. Los generadores de números aleatorios en estas hojas de cálculo soportan dichas simulaciones y la simplicidad en su uso puede compensar una posible reducción en la complejidad del modelo.

En resumen, los criterios más relevantes bajo los cuales se selecciona un lenguaje para simulación son los siguientes¹⁷:

- Tipo de sistema a ser simulado.
- Flexibilidad y poder del lenguaje.

¹⁶ Cfr WATSON, Op. Cit. n. 7, pp. 200 a 201.

¹⁷ Cfr KHEIR, Op. Cit. n. 1, p. 691.

- Familiaridad con el lenguaje.
- Documentación del lenguaje, su facilidad de aprendizaje y de uso.
- Eficiencia en tiempo de computadora del lenguaje.
- Requerimientos de almacenaje en la computadora.
- Portabilidad (habilidad del lenguaje de ser ejecutado en diferentes computadoras).
- Costo de instalar y mantener al lenguaje.

CAPITULO CUATRO

Elaboración del Modelo y Experimentación.

4.1 Formulación del problema.

En el primer capítulo del presente estudio ya se plantearon las bases del problema que se busca solucionar: el manejo del inventario para lograr el nivel meta de servicio (cero faltantes) y, además, reducir los costos y optimizar el uso del almacén.

A pesar de que la demanda de cada artículo depende de lo solicitado en las remisiones y que dentro de la empresa Bodega se lleva un proceso de producción y un programa de producción por rutas, los productos se consideraron como de demanda independiente puesto que todas las despensas son diferentes y el proceso de producción consiste básicamente en surtir cada pedido (solicitud).

La empresa Bodega presenta ciertas características peculiares que tienen gran impacto en la resolución del problema de inventario y estas son:

- La posibilidad de emplear productos sustitutos.
- El hecho de surtir la demanda no satisfecha del mes junto a la del mes siguiente.
- Los posibles paros en producción por artículos faltantes.
- La empresa capta sus ganancias por el servicio y no por la compraventa.
- Y como se verá más adelante, la definición de servicio al cliente.

Debido a este conjunto de características y a otros factores (como la incertidumbre en la demanda y en los tiempos de entrega) se imposibilita el empleo de técnicas analíticas para la resolución de este problema por lo que se optó por hacer uso de la simulación.

Para lograr los objetivos de este estudio, la atención se centró en el área de almacén y en el área de pasillos. La frontera del sistema se puede esquematizar como se muestra en la figura 4.1. Se seleccionó la frontera de forma que dentro del sistema se consideren únicamente al almacén y a la zona de pasillos del área de producción.

Un producto entra al sistema cuando es recibido al área de almacén y lo abandona cuando es tomado para elaborar una despensa o cuando se le da salida por estar en mal estado (merma).

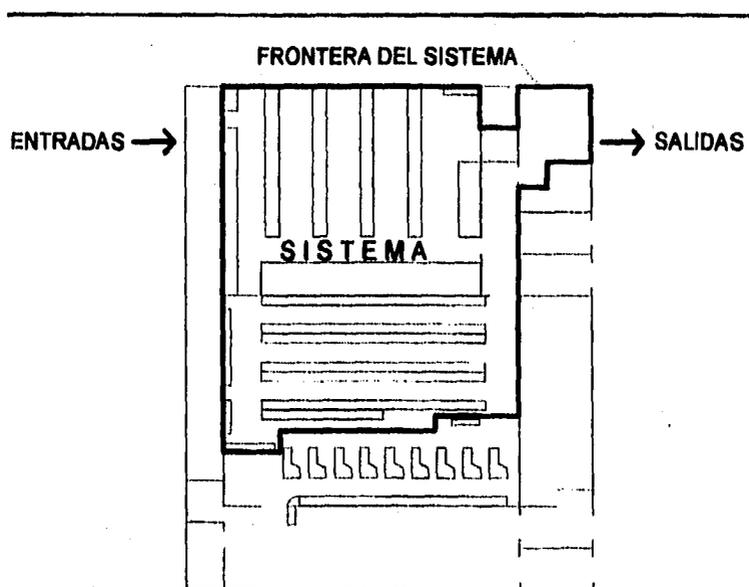


Figura 4.1: Delimitación del sistema

No se van a considerar como parte del sistema a las actividades de verificación y empaquetado de despensas así como a la distribución de las mismas, ya que estas actividades no tienen ningún impacto en la materia de estudio.

Dentro del sistema tampoco se va a considerar el tiempo requerido en el recibo de la mercancía ni al sistema de colas que esto involucra puesto que no son determinantes en el modelo y únicamente lo complicarían demasiado. Además, en la realidad, cuando llega un envío de un producto faltante, se le da prioridad de descarga y si se da el caso de que las dos rampas de descarga estén ocupadas, se recibe la mercancía por el área de distribución.

El modelo que se requiere desarrollar se puede clasificar dentro de las siguientes categorías:

- Prescriptivo; se desea analizar personalmente las diferentes opciones.
- Discreto; las variables cambian en puntos discretos en el tiempo.
- Probabilístico; existe incertidumbre en cuanto al contenido de cada despensa y en los tiempos de entrega.
- Dinámico; se requiere que el modelo cambie con el paso del tiempo.
- Circuito abierto, no hay retroalimentación entre las diferentes corridas.

Las variables requeridas por el modelo son las siguientes:

Entradas no controlables.

- La demanda de productos (reflejada en el contenido de las remisiones)
- Los tiempos de entrega de los proveedores.

Entradas controlables.

- El sistema de inventario de cada producto
- La política de paros por faltantes

Salidas.

- inventario máximo de cada producto
- Tiempo que producción estuvo parada
- Número de despensas elaboradas
- Número de despensas completas
- Número de despensas con productos sustitutos
- Nivel de servicio
- Costo total
- Ocupación del almacén

De entre las variables de salida, la función objetivo principal es el nivel de servicio. El criterio de nivel de servicio que se va a adoptar en este estudio es una modificación del concepto de fracción de unidades demandadas. En lugar de expresar las unidades faltantes entre la demanda total se busca la fracción de despensas incompletas (con faltantes) entre las despensas totales:

$$\text{Nivel de servicio 1} = 1 - \frac{\text{Número de despensas con faltantes}}{\text{Número de despensas totales}}$$

Esta modificación sigue la lógica de que las unidades faltantes no reflejan la cantidad de despensas incompletas y, por tanto, tampoco mide el número de usuarios insatisfechos. Generalmente, un usuario está satisfecho con el servicio si recibe su despensa completa y a tiempo pero no lo está si encuentra faltantes en su despensa, sea uno o sean varios los productos menos.

Aunque se permite emplear productos sustitutos, se considera que este factor también se debería reflejar en el nivel de servicio, por lo que también se va a emplear otra definición del nivel de servicio junto con la anterior:

$$\text{Nivel de servicio 2} = \frac{\text{Número de despensas completas}}{\text{Número de despensas totales}}$$

Por despensas completas se entiende las despensas que no tienen faltantes ni productos sustitutos. El nivel de servicio 2 siempre será menor o igual al nivel de servicio 1. Cabe aclarar que existen otros puntos que forman parte del nivel de servicio, pero que no dependen del sistema de inventario, como son: el tiempo de entrega de la despensa, la atención dada al usuario y las condiciones en las que el usuario recibe su despensa. La búsqueda de un nivel de servicio elevado implica elevar excesivamente los inventarios con su consecuente repercusión en los costos y en la ocupación del almacén. Las otras dos funciones objetivo son los costos totales y la ocupación del almacén. Así, mientras se busca elevar el nivel de servicio al 100 por ciento, se debe mantener las otras dos funciones objetivos (el costo total y la ocupación del almacén) lo más bajo posible.

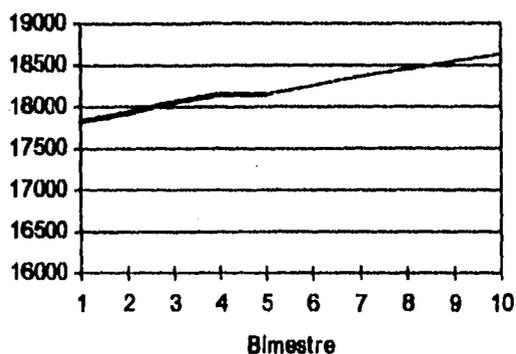
4.2. Recolección y análisis de datos.

La mayoría de los datos requeridos para realizar este estudio forman parte de los datos estadísticos y registros que se llevan dentro de la empresa de tal forma que no fue necesario el empleo de alguna técnica especial para su recolección. Algunos de los datos relevantes, como información sobre cada producto y sobre el almacén, ya fueron planteados anteriormente en el primer capítulo.

4.2.1. Análisis de la demanda.

En la figura 4.2 se muestra el número de despensas totales incorporados al servicio de despensas. Se tomaron únicamente los últimos 5 bimestres debido a un notorio decremento en el número de usuarios causado por la situación económica del país a principios del presente año. En la línea continua se aprecian los datos históricos y en la línea punteada el pronóstico del número de

usuarios empleando el método de mínimos cuadrados. En el modelo de simulación se tomaron en cuenta tales pronósticos para el año de 1996.



Bimestre

Bimestre	Histórico	Bimestre	Pronóstico
1. marzo abril 95	17,830	6. enero febrero 96	18,285
2. mayo junio 95	17,930	7. marzo abril 96	18,372
3. julio agosto 95	18,058	8. mayo junio 96	18,459
4. sept. octubre 95	18,152	9. julio agosto 96	18,546
5. nov. diciembre 95	18,154	10. sept. octubre 96	18,633

Figura 4.2: Demanda de despensas por bimestre.

Para establecer la demanda de cada producto se tomó aleatoriamente una muestra de 250 remisiones, con las mismas se elaboró una tabla de probabilidades para la demanda de n unidades de cada producto (ver tabla 4.1). Cabe notar que la distribución de la demanda de algunos productos tiene ciertas peculiaridades. Por ejemplo: el aceite 1 clave 001 cuya probabilidad de pedir dos unidades es el doble que la de pedir un solo aceite y se observa un incremento de la demanda de una caja completa a 3 por ciento.

Para elaborar la tabla 4.1 se supuso que la demanda de los distintos productos es independiente, aunque en la realidad no es así. Un usuario que

Producto	Probabilidad de que la demanda sea igual a															Merma diaria prom.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
001 Aceite 1	0.42	0.06	0.12	0.11	0.07	0.05	0.08	0.02	0.02	-	0.01	-	0.03	-	-	0.01	4.88
002 Aceite 2	0.68	0.02	0.13	0.06	0.04	0.01	0.02	-	0.01	-	0.01	-	0.02	-	-	-	4.35
003 Arroz bolsa	0.52	0.13	0.24	0.05	0.02	0.01	0.02	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.03
004 Azúcar bolsa	0.27	0.22	0.21	0.12	0.06	0.04	0.03	0.01	0.02	-	0.02	-	-	-	-	-	14.63
005 Frijol bolsa	0.74	0.06	0.10	0.04	0.02	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	14.83
006 Garbanzo bolsa	0.96	0.03	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.38
007 Lentijas bolsa	0.65	0.11	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40
008 Sal refinada	0.68	0.22	0.06	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	4.45
009 Atún en aceite	0.46	0.02	0.17	0.09	0.13	0.03	0.06	-	0.02	-	0.02	-	-	-	-	-	1.35
010 Chicharos	0.78	0.09	0.09	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26
011 Chiles en lata 1	0.89	0.04	0.04	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
012 Chiles en lata 2	0.66	0.18	0.10	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32
013 Chiles en lata 3	0.70	0.10	0.09	0.05	0.03	0.01	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	1.40
014 Chiles en lata 4	0.66	0.14	0.13	0.03	0.03	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68
015 Crema para café	0.86	0.10	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17
016 Leche condensada	0.67	0.07	0.14	0.06	0.02	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	1.22
017 Leche en polvo	0.60	0.08	0.07	0.03	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25
018 Leche proteinada	0.68	0.02	0.08	0.03	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01	-	0.03	-	-	0.01	-	0.03	2.03
019 Media crema	0.75	0.05	0.14	0.02	0.01	0.02	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	1.11
020 Puré de tomate	0.80	0.08	0.08	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17
021 Sardinas	0.91	0.03	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.51
022 Sopa enlatada 1	0.84	0.09	0.06	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.11
023 Sopa enlatada 2	0.61	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15
024 Atole 1	0.93	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17
025 Atole 2	0.92	0.02	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57
026 Atole 3	0.93	0.02	0.03	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46
027 Atole 4	0.96	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29
028 Cereal 1	0.75	0.17	0.05	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55
029 Cereal 2	0.87	0.12	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
030 Cereal 3	0.96	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
031 Cereal 4	0.62	0.06	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25
032 Cereal 5	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30
033 Cereal 6	0.96	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23

Tabla 4.1: Demanda y merma para cada producto.

Producto	Probabilidad de que la demanda sea igual a															Merma diaria prom.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
034 Harina de trigo	0.93	0.04	0.02	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.26
035 Harina para hotcakes	0.82	0.12	0.04	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40
036 Consomé de pollo 1	0.79	0.17	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15
037 Consomé de pollo 2	0.93	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
038 Pasta 1	0.76	0.11	0.08	0.02	0.02	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.37
039 Pasta 2	0.83	0.08	0.05	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58
040 Pasta 3	0.70	0.11	0.11	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.56
041 Pasta 4	0.87	0.07	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.85
042 Pasta 5	0.82	0.10	0.04	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.28
043 Pasta 6	0.92	0.04	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.48
044 Pasta 7	0.87	0.07	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34
045 Pasta 8	0.88	0.08	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88
046 Pasta 9	0.90	0.06	0.03	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37
047 Jugo 1	0.74	0.08	0.10	0.04	-	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	1.86
048 Jugo 2	0.78	0.08	0.09	0.04	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.63
049 Jugo 3	0.87	0.08	0.03	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.45
050 Jugo 4	0.90	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.51
051 Jugo 5	0.88	0.02	0.04	0.02	-	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.72
052 Jugo 6	0.93	0.01	0.02	0.02	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.63
053 Jugo 7	0.88	0.02	0.05	0.03	-	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.65
054 Preparado 1	0.96	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
055 Preparado 2	0.77	0.13	0.09	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03
056 Preparado 3	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
057 Preparado 4	0.97	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
058 Cajeta quemada	0.89	0.06	0.03	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83
059 Flan	0.82	0.04	0.08	0.01	0.02	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48
060 Galletas 1	0.88	0.10	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
061 Galletas 2	0.90	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
062 Galletas 3	0.97	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
063 Galletas 4	0.88	0.11	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12
064 Galletas 5	0.91	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
065 Galletas 6	0.99	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06

Tabla 4.1: Demanda y merma para cada producto (continuación)

Producto	Probabilidad de que la demanda sea igual a															Merma diaria prom.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
066 Galletas 7	0.97	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13
067 Gelatina 1	0.86	0.08	0.05	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43
068 Gelatina 2	0.81	0.10	0.08	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
069 Gelatina 3	0.79	0.08	0.10	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57
070 Gelatina 4	0.83	0.09	0.07	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45
071 Gelatina 5	0.90	0.06	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
072 Gelatina 6	0.90	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
073 Gelatina 7	0.81	0.11	0.06	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
074 Gelatina 8	0.80	0.11	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29
075 Mezclán	0.97	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14
076 Ate	0.94	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
077 Mermelada	0.81	0.14	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.77
078 Miel de abeja	0.94	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42
079 Chile 1	0.95	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11
080 Chile 2	0.91	0.08	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82
081 Chile 3	0.93	0.05	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12
082 Mole en polvo	0.98	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
083 Salsa catsup	0.79	0.14	0.06	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
084 Salsa picante 1	0.92	0.05	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
085 Salsa picante 2	0.99	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
086 Salsa picante 3	0.98	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
087 Salsa picante 4	0.98	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25
088 Salsa picante 5	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11
089 Salsa picante 6	0.88	0.05	0.04	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
090 Salsa picante 7	0.99	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
091 Aceite de olivo	0.90	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22
092 Canela en polvo	0.94	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
093 Mayonesa 1	0.70	0.28	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
094 Mayonesa 2	0.81	0.16	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
095 Mostaza	0.88	0.10	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22
096 Pimienta negra	0.96	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
097 Vinagre blanco	0.93	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.28

Tabla 4.1: Demanda y merma para cada producto (continuación)

Producto	Probabilidad de que la demanda sea igual a															Merma diaria prom.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
098 Café molido	0.99	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
099 Café soluble 1	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
100 Café soluble 2	0.80	0.14	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.38
101 Café soluble 3	0.90	0.08	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
102 Café soluble 4	0.80	0.15	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28
103 Chocolate en barra	0.80	0.14	0.05	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57
104 Chocolate en polvo 1	0.85	0.10	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.38
105 Chocolate en polvo 2	0.69	0.25	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46
106 Chocolate en polvo 3	0.87	0.12	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17
107 Aceite para niños	0.92	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11
108 Jugo para bebé 1	0.98	0.01	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42
109 Jugo para bebé 2	0.97	-	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29
110 Jugo para bebé 3	0.98	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
111 Jugo para bebé 4	0.97	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03
112 Jugo para bebé 5	0.98	0.01	-	-	0.01	-	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.12
113 Pañal 1	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04
114 Pañal 2	0.98	-	0.02	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
115 Puré para bebé 1	0.98	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
116 Puré para bebé 2	0.95	0.02	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34
117 Puré para bebé 3	0.98	0.02	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
118 Shampoo para niños	0.78	0.16	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25
119 Talco para niños	0.86	0.12	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
120 Toallitas para bebé	0.97	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
121 Jabón de tocador 1	0.58	0.04	0.14	0.07	0.09	0.05	0.02	-	0.01	-	0.02	-	-	-	-	-	0.37
122 Jabón de tocador 2	0.77	0.02	0.09	0.04	0.02	0.03	0.01	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.12
123 Jabón de tocador 3	0.80	0.02	0.11	0.01	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
124 Gel fijador	0.91	0.08	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55
125 Crema dental 1	0.87	0.08	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
126 Crema dental 2	0.55	0.18	0.17	0.07	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20
127 Toalla femenina 1	0.80	0.14	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17
128 Toalla femenina 2	0.85	0.08	0.08	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
129 Shampoo	0.83	0.12	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05

Tabla 4.1: Demanda y merma para cada producto (continuación)

Producto	Probabilidad de que la demanda sea igual a															Merma diaria prom.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
130 Desodorante 1	0.90	0.06	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03
131 Desodorante 2	0.92	0.04	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23
132 Algodón	0.89	0.10	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60
133 Crema 1	0.83	0.16	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17
134 Crema 2	0.89	0.10	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
135 Crema 3	0.91	0.08	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
136 Crema 4	0.90	0.09	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
137 Pañuelos desechables	0.82	0.12	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58
138 Bolsas para basura	0.68	0.25	0.08	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.85
139 Cera para pisos	0.88	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57
140 Detergente 1	0.86	0.10	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65
141 Detergente 2	0.72	0.08	0.12	0.05	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.98
142 Detergente 3	0.57	0.13	0.20	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	4.78
143 Fibra lavatrastes	0.82	0.10	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.45
144 Jabón 1	0.56	0.05	0.12	0.08	0.08	0.05	0.02	-	-	-	0.02	-	-	0.01	-	0.01	1.02
145 Jabón 2	0.90	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	1.11
146 Lavapisos 1	0.62	0.18	0.12	0.04	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.77
147 Lavapisos 2	0.78	0.12	0.07	0.03	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.58
148 Lavatrastes	0.41	0.12	0.20	0.13	0.08	0.03	0.02	-	0.01	-	0.01	-	-	-	-	0.01	4.69
149 Limpiador en polvo	0.76	0.16	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74
150 Papel higiénico	0.31	0.08	0.14	0.06	0.19	0.04	0.10	0.01	0.02	-	0.06	-	0.01	-	-	-	0.71
151 Papel toalla para cocina	0.75	0.20	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25
152 Pastilla para sanitario	0.80	0.04	0.05	0.04	0.05	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43
153 Servilletas	0.68	0.14	0.12	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	0.01	0.38
154 Suavizante 1	0.41	0.30	0.18	0.07	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.72
155 Suavizante 2	0.64	0.23	0.10	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.97
156 Miel para palomitas	0.87	0.10	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.46
157 Pantimedia 1	0.98	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
158 Pantimedia 2	0.97	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
159 Pantimedia 3	0.97	0.02	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
160 Pantimedia 4	0.88	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
161 Papel aluminio	0.62	0.28	0.09	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.63

Tabla 4.1: Demanda y merma para cada producto (continuación)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

pida, por ejemplo, pañales es más probable que pida algún otro producto para bebé. La suposición anterior se hizo en base a que tal relación de demandas no contribuye significativamente al comportamiento del sistema y complicaría al modelo inútilmente.

4.2.2. Análisis de los costos.

a. Costo de mantener el inventario: A continuación se calcula cada uno de los componentes de este costo:

- Costo de espacio: Este costo se determinó en base a la renta de la nave industrial que le corresponde a cada espacio disponible en el almacén. No se consideró los costos de espacio por el concepto del área de producción. Considerando la utilización del espacio del almacén en función de la renta mensual por metro cuadrado, el costo es de 20.24 pesos al mes por cada tarima en almacén.
- Costo de capital: Este es el factor más subjetivo y el más dominante en el costo de mantener el inventario, la dirección de la empresa Bodega estima su valor en 52.54 por ciento anual del capital invertido en el inventario. El porcentaje anterior es igual al CPP más 5 puntos y refleja los sacrificios hechos por la compañía al invertir su capital en el inventario.
- Costo de servicios del inventario: El impuesto al activo es igual a 1.80 por ciento anual y por concepto de inventarios se aplica sobre el promedio entre el inventario inicial y el final del período contable. Como el modelo puede simular periodos de tiempo menores a un año, se aplicó el 1.80 por ciento sobre el inventario promedio y para expresarlo como porcentaje del tiempo simulado se dividió entre los 260 días laborales en un año y se multiplicó por la duración de la simulación.

Por materia de seguros, la empresa Bodega paga una prima anual por concepto de abarrotos y mercancías mixtas igual a 2.45 pesos al millar. Para aplicarlo al modelo se tomó el inventario máximo (en costo) durante la simulación, se multiplicó por el factor de la prima y nuevamente se dividió entre 260 por el número de días simulados.

- Costos de riesgo del inventario: Los costos que se incluyen en éste son los derivados por el deterioro, merma y robo. En la tabla 4.1 bajo la columna con el nombre de merma se enlista el promedio diario en unidades de cada producto por concepto de deterioro, merma y robo.

b. Costo de ordenar: Ningún proveedor de la empresa impone un cargo por cada pedido o por su entrega (flete). Aunque sí se puede cargar un costo por la expedición y rastreo de órdenes y por la descarga del pedido.

Tomando el sueldo del personal encargado de expedir y capturar órdenes dividido entre el tiempo requerido para este efecto se tiene un costo de 1.754 pesos por orden y de 0.877 por cada producto en el pedido. Además se tiene un costo del supervisor de compras para el rastreo y supervisión de las entregas y es igual a 11.667 pesos por cada orden (resultado de la división de su sueldo mensual entre el número de órdenes totales). De igual forma para calcular el costo de la descarga se tomó el sueldo del personal de recibo entre el número de recibos mensuales lo que resulta en 6.667 pesos por cada orden recibida. Se tiene un costo de ordenar total igual a 20.087 por cada pedido.

c. Costo de penalización por faltantes: Dadas las características tan especiales de este servicio, no se pueden desarrollar estos costos de acuerdo a los conceptos de costo por pérdida de ventas o por retardo. El primer costo en que se incurre es por el concepto del trabajo administrativo. Este costo es igual a 0.35 pesos y resulta de la suma de los costos por el tiempo empleado de los

diferentes departamentos para procesar las despensas con faltantes, más los costos de papelería.

Cuando hay faltantes el usuario puede cancelar el servicio en el futuro, el costo que se le puede asignar a este factor son los ingresos promedio esperados por cada usuario por la probabilidad de que un usuario que reciba sus despensas con faltantes cancele (el 0.08 por ciento), el resultado es de 3.20 pesos por cada despensa con faltantes.

Otro costo derivado por los faltantes son los creados por los paros en producción. El costo asignado a este factor es sencillamente el costo del personal del área de producción por el tiempo improductivo y es igual a 184.21 pesos por hora.

a. Costo de mantener el inventario	
- Costo de espacio	\$20.24 mensuales por tarima (almacén)
- Costo de capital	57.54 % anual
- Costo de servicios del inventario	impuesto: 1.80 % anual seguro: \$2.45 al millar anual
- Costo de riesgo del inventario	variable de acuerdo a cada producto
b. Costo de ordenar	
	\$20.087 por orden más \$0.872 por cada producto en la orden
c. Penalización por faltantes	
- Costo administrativo	\$0.35 por despensa
- Costo de oportunidad	\$3.20 por despensa
- Costo por paros en producción	\$184.21 por hora
- Costo por compras especiales	\$302.635 por compra especial más el 20% extra sobre el costo de compra
d. Costo de compra	
	no se incluye en el estudio

Tabla 4.2: Resumen de los costos.

La medida de prevención de faltantes consistente en compras especiales, provoca los siguientes costos: se paga al transportista 300 pesos por viaje, y por concepto de expedición y rastreo se carga 2.635 pesos por orden. Además, los precios de estas compras de emergencia son superiores a los manejados por la empresa Bodega y en promedio se incrementan los precios de compra de cada producto en un 20 por ciento.

d. Costo de compra: Cuando se ofrecen descuentos por volumen, los costos de compra son relevantes. Pero la empresa Bodega no recibe ningún beneficio por la compraventa de los productos, por lo que los costos de compra no son relevantes en los costos. Aunque los precios de compra se toman en cuenta en el desarrollo de varios cálculos del presente estudio.

Clave del proveedor	Clave de los productos	Tiempo de entrega	Retraso máximo
10	082	5	3
20	078	5	5
30	009	5	9
40	124	5	1
50	134	4	10
60	130 131	5	1
70	021	5	1
80	098	3	5
90	022 023	5	3
100	058 077	2	5
110	075	5	3
120	107 118 119 121 125 126 129 142 148 149 154 155	3	5
130	120 132	5	5
140	010 020 083 086 087 088	5	3
150	146 147 152	3	5
160	054 056 057	5	5
170	081	3	5
180	108 109 110 111 112 115 116 117	5	5
190	011 013 014 084 085 094 095 097	2	1

Tabla 4.3: Tiempos de entrega de los proveedores.

Clave del proveedor	Clave de los productos	Tiempo de entrega	Retraso máximo
200	091	5	3
210	047 048 049 050 051 052 053	5	5
220	031	3	6
230	113 114 127 128 137 150 151 153 161	2	13
240	004	3	13
250	032	5	10
260	037 055 059 067 068 069 070 071 072 073 074 093 099	2	3
270	033 103 104	3	5
280	001 002 122 140 141 144 145	3	2
290	012 076	3	2
300	038 039 040 041 042 043 044 045 046 060 062 065 066	3	2
310	034 035 064	3	2
320	157 158 159 160	3	7
330	139 143	5	10
340	123	5	5
350	063	2	3
360	015 016 017 018 019 028 029 030 036 100 101 102 105 106	2	3
370	138	3	3
380	135 136	3	5
390	089	5	5
400	090	3	5
410	003 005 006 007 079 080 081 156	3	2
420	008	3	2
430	133	3	5
440	024 025 026 027	3	5
450	092 096	5	3

Tabla 4.3: Tiempos de entrega de los proveedores (continuación).

4.2.3. Análisis de los tiempo de entrega.

La empresa Bodega no tiene un sistema para monitorear los tiempos de entrega reales de sus proveedores y los pocos datos disponibles resultan insuficientes para realizar un análisis. La forma en que se determinaron estos tiempos fue recurriendo al personal del departamento de compras para

determinar los tiempos de entrega mínimos y los retrasos máximos de cada proveedor que se muestran en la tabla 4.3. Las semanas se consideran de cinco días. Para el modelo de simulación se supuso que los tiempos de entrega están uniformemente distribuidos entre el tiempo de entrega y el retraso máximo. Las compras especiales tienen un tiempo de entrega que oscila entre tres y cuatro horas.

4.3. Desarrollo del modelo.

No existen reglas fijas para desarrollar un modelo aunque se cuenta con algunos principios que sirven como guías en la elección de la información que se debe incluir en el modelo. Tales principios son los siguientes¹:

a. Creación de bloques: La descripción del sistema debe estar organizado en una serie de bloques o subsistemas con el objetivo de simplificar las especificaciones de interacciones dentro del sistema. Cada bloque describe una parte del sistema que depende de pocas variables de entrada y que resulta en pocas variables de salida. Entonces, el sistema como un todo puede ser descrito como la interconexión entre estos bloques.

b. Relevancia: El modelo deberá contener únicamente los aspectos del sistema que son relevantes para los objetivos del estudio. Los modelos deben contener los aspectos esenciales del sistema real. Se excluyen aquellos aspectos del sistema que no contribuyen significativamente a su comportamiento y que pueden oscurecer las relaciones entre las entradas y las salidas.

c. Exactitud: La exactitud de la información debe ir relacionada con el impacto que ésta tiene sobre las variables sujetas a estudio.

¹ Cfr GORDON, Geoffrey, System Simulation, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Prentice-Hall, 1969, pp. 12 a 14

d. **Agregación:** Otro factor a ser considerado es hasta donde el número de entidades individuales puede ser agrupado en entidades más grandes. Este concepto también se aplica a la representación de actividades.

4.3.1. Modelo conceptual.

Como se vio en el capítulo anterior, el primer paso en el desarrollo del modelo es la conceptualización del sistema real. En la tabla 4.4 se detallan los elementos que forman parte del modelo de inventarios:

Entidades	Atributos	Actividades
Remisión	- Número de unidades solicitadas de cada producto	Tomar cantidad solicitada de cada producto para elaborar la despensa.
Producto	- Número de unidades en inventario	Colocar un pedido.
Pedido	- Levantado - Surtido	Recibir un pedido
Producción	- Operando - Parado	Parar la producción por faltantes.
Almacén	- Porcentaje de ocupación.	Continuar produciendo al recibir abastecimiento del producto faltante.

Tabla 4.4. Entidades, atributos y actividades del sistema de inventarios.

Las reglas operacionales que se establecieron para desarrollar al modelo fueron las siguientes:

- El registro del inventario se realiza al final del día.
- Los pedidos siempre se redondean a número de cajas completas.
- Los pedidos de mercancía son recibidos en una sola entrega.
- Los faltantes del mes anterior se surten al final de cada día del mes en curso y en proporción directa al número de despensas producidas ese mismo

día. La merma también se descuenta al final del día y en proporción a la producción diaria.

- Los pedidos conjuntos se aplican para aquellos productos provenientes del mismo proveedor y que estén bajo el sistema P con el mismo intervalo entre pedidos T.

- Las compras de emergencia se originan al inicio de cada día y se realizan para los productos cuyo inventario es menor al necesario para terminar la producción del día y se compra únicamente el requerido para completar la producción diaria.

Los aspectos del sistema real que no se incluyeron en el modelo son:

- No se tomó en cuenta la división del inventario en tres (inventario en almacén, en producción y merma). En este modelo de simulación se trabaja con un inventario total resultado de la suma de los inventarios de almacén y producción. Lo anterior evito tener que tomar en cuenta los movimientos entre los dos inventarios. No se lleva un control del inventario de las mermas, pero sí se toma en cuenta las salidas de producto por merma y su repercusión en los costos.

- Como se mencionó anteriormente, se supuso que la capacidad de recibo de la empresa Bodega es ilimitada, los pedidos se reciben en el momento.

- Se simplifico al proceso de producción (no se incluyó la verificación y el empaquetado de despensas).

- Se supuso que todos los artículos que forman una despensa son tomados al mismo tiempo, no se tomó en cuenta el desfasamiento entre que la surtidora toma un producto y otro.

- No se contempló posibles errores en la elaboración y verificación de las despensas.

- Se omitió del estudio el proceso y el tiempo requerido para que la surtidora recoja una remisión en el modulo de control, aunque está implícito en el tiempo de producción entre despensas.

- No se tomó en cuenta alguna disposición especial de los productos dentro del área de almacén, a excepción del algodón y las pantimedias. Se supuso, además, que las tarimas en el área de pasillos siempre están a su máxima capacidad y los productos sobrantes se encuentran en el almacén. Además, cuando se recibe algún producto se completan posibles tarimas incompletas en almacén y producción, antes de emplear tarimas nuevas.

- En el presente estudio se supuso que los proveedores no tienen problemas de capacidad para el envío de los pedidos y se descartó la posibilidad de escasez de algún producto en el mercado, puesto que es una situación muy excepcional cuyo pronóstico es muy difícil y que únicamente oscurecería los resultados de este estudio.

4.3.2. Modelo lógico.

En la figura 4.3 se muestra el diagrama de flujo del modelo. Debido a que el centro de interés es el inventario, el diagrama de flujo se centra en los movimientos de cada producto en lugar de las actividades de la elaboración de las despensas. En este caso se habla del producto | por generalizar a cada uno de los 161 productos manejados por la Bodega.

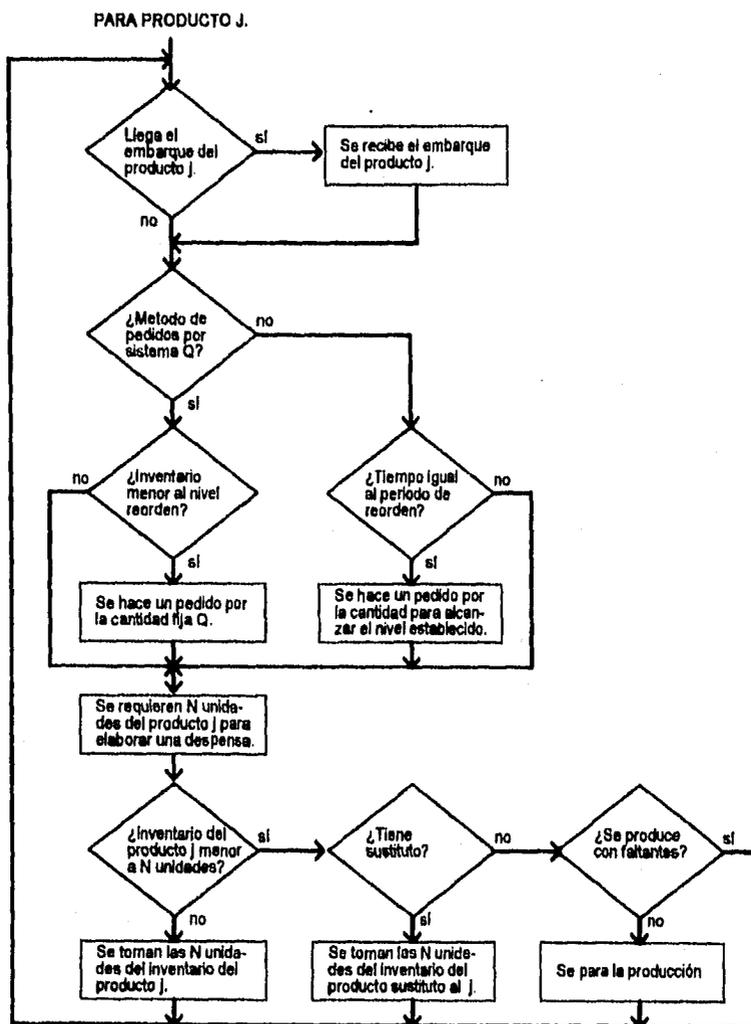


Figura 4.3: Diagrama de flujo del proceso para el producto J.

4.3.3. Modelo de simulación.

Existen tres tareas principales en la elaboración del modelo de simulación (o programa de simulación). La primera tarea consiste en generar al modelo e inicializarlo. A partir de la descripción del sistema, un conjunto de números deben crearse para representar al estado del sistema. A este conjunto de números se le denomina "imagen del sistema" debido a que su propósito es representar en todo momento al estado del sistema. Las actividades del sistema deben representarse como rutinas que llevan a cabo los cambios en la imagen del sistema.

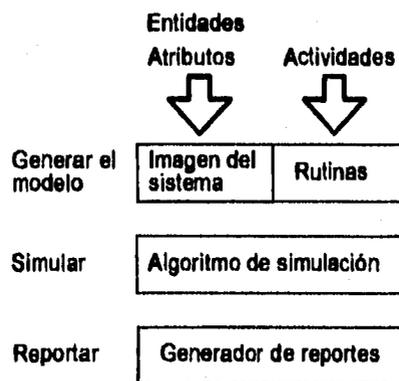


Figura 4.4: Tareas en la elaboración del modelo de simulación.

La segunda tarea es programar el procedimiento que ejecute el ciclo de acciones necesarias para llevar a cabo la simulación. Este procedimiento se conoce como el "algoritmo de simulación". Mientras que las rutinas que representan las actividades del sistema son específicas al sistema que se simula, el algoritmo de simulación no necesita serlo. La tercer tarea

corresponde a la generación de los reportes de salida donde se especifican las estadísticas reunidas durante la simulación.²

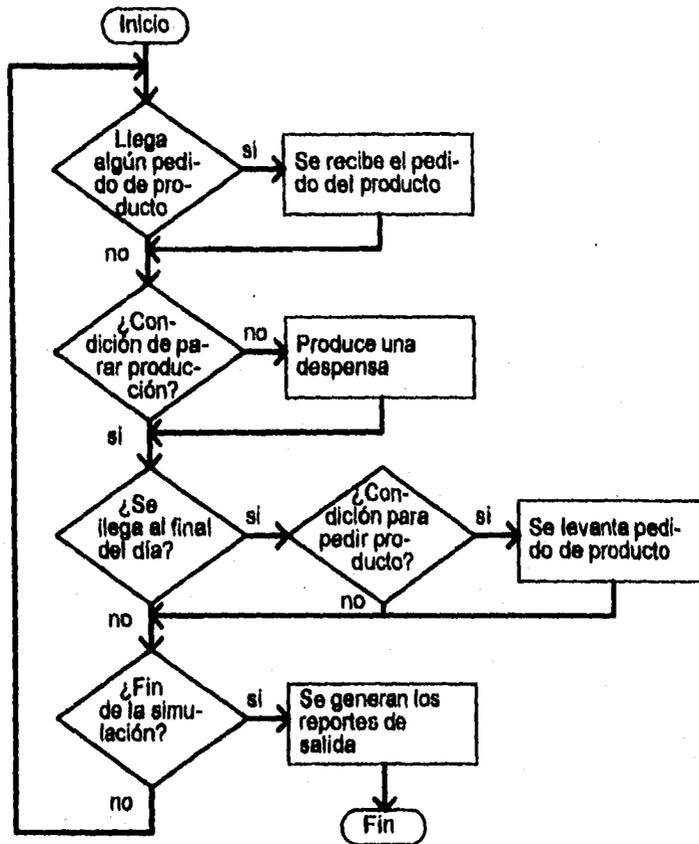


Figura 4.5: Diagrama de flujo general del modelo de simulación.

La programación del modelo de simulación se realizó en base al diagrama de flujo ilustrado en la figura 4.5 donde se esquematiza la lógica general del

² ibidem p. 130.

programa. Se desarrollaron rutinas para realizar las actividades de generar la demanda para cada remisión, verificar y realizar recibos de mercancía y para levantar pedidos de reabastecimiento.

Cuando se termina el inventario de alguno de los productos que detienen la producción o cuando hay cuatro productos faltantes son las condiciones necesarias para parar la producción. Las condiciones para levantar un pedido dependen del sistema Q o P que se asignen y de que se cumplan las condiciones de tal sistema. En la figura 4.3 se muestra esta lógica con más detalle.

Para evitar el tener que capturar los datos de todos los productos cada vez que se corriera la simulación, se crearon archivos de respaldo donde se guardaban todos los datos de cada producto (clave, nombre, unidades por caja, unidades por tarima, sustitutos, merma diaria promedio, clave del proveedor, distribución de la demanda, inventario inicial, etcétera).

Los datos necesarios para llevar la imagen del sistema consistieron en el nivel de inventario de cada producto, el nivel de servicio, los costos acumulados, el número de horas de paro de producción y la ocupación del almacén.

Para facilitar el análisis de la salida, dentro del generador de reportes se incluyó la opción de graficar los niveles de inventario diarios para cada producto, el nivel de ocupación del almacén y la producción diaria.

4.3.3.1. Elección del lenguaje de programación.

El lenguaje seleccionado para la programación del modelo de simulación fue el Turbo Pascal 7.0, se seleccionó un lenguaje de programación de alto nivel por la versatilidad y flexibilidad que ofrece. Se requiere, además, correr repetidamente la simulación por lo que la rapidez en la ejecución del programa

es de gran importancia. Además se requiere manejar un número considerable de variables. Cada producto requiere 28 datos de entrada diferentes, en total 4,508 datos de entrada.

Turbo Pascal 7.0, es un sistema de programación orientado a objetos muy poderoso, cuenta con características que facilitan la labor de la programación de la simulación como son:

- Rastreo de los valores de las variables durante la corrida,
- Gran portabilidad,
- Modo de gráficas para la representación de los resultados,
- Ayuda directa,
- Documentación muy adecuada para su uso y aprendizaje,
- Bajo costo,
- Fácil adquisición,
- Verificación de sintaxis y detección de errores, etcétera.

En el anexo D se presenta el listado del programa.

4.3.3.2. Mecanismo de avance de tiempo.

La simulación consiste en hacer pasar al modelo a través del tiempo y generalmente no existe una conexión entre el tiempo de la simulación y el tiempo en el que se lleva a cabo el programa, por lo que es muy importante el concepto de un reloj simulado.³ Para lograr este objetivo en la simulación con modelos discretos se cuenta con dos métodos de avance del tiempo (ver figura 4.6)

1) Simulación de incremento fijo (o de incremento de tiempo fijo). El incremento uniforme en el tiempo está determinado y la simulación corre en

³ Cfr CHASE, Richard B., y ALQUILANO, Nicholas J., Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Irwin, 1990, 6ª edición, p.789.

intervalos de un período en el tiempo al siguiente. En cada punto, el sistema corrobora si ocurre algún evento. Si ocurre, el evento es simulado y se avanza el tiempo; si no ocurre, únicamente se avanza el tiempo.

2) Simulación de próximo evento (también se conoce como incremento variable o incremento por eventos). El reloj se avanza la cantidad requerida para iniciar el siguiente evento.

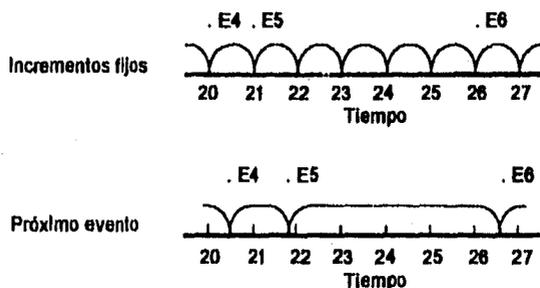


Figura 4.6: Métodos de avance de tiempo.⁴

Varios aspectos deben considerarse cuando se elige el mecanismo de avance del tiempo. En general, el método de incremento de tiempo fijo requiere una lógica más simple para incorporar el reloj simulado al programa de computadora que el de próximo evento.

Otro aspecto es el tiempo de computadora. Por un lado, un modelo de simulación de próximo evento requiere más tiempo en la ejecución de su lógica de avance de tiempo. Pero, el avance de incremento fijo típicamente avanza a puntos en el tiempo donde no ocurre ningún evento, por lo que es difícil especificar qué método minimiza el tiempo de computadora. En general, cuando

⁴ Cfr WATSON, Hugh J., y BLACKSTONE, John H., *Computer Simulation*, Singapore, Ed. John Wiley & Sons, 1989, 2ª edición, p. 522.

la probabilidad de que un evento ocurra en una unidad de tiempo es alta, es más atractivo el método de incrementos fijos.

Información sobre el comportamiento del sistema se pierde cuando se emplea un método de incrementos fijos, sin importar el tamaño del incremento fijo de tiempo. Además, con este modelo existe el error potencial de que varios eventos sean tratados como simultáneos cuando no lo sean en realidad.⁵

El mecanismo de avance de tiempo seleccionado para desarrollar este modelo fue el de próximo evento; los incrementos en el reloj simulado son variables e iguales al tiempo transcurrido para la elaboración de la siguiente despensa. Aunque para facilitar la programación, cada vez que se empieza a elaborar una despensa se verifica si se ha recibido alguna entrega de mercancía, con lo que se evita tener que comparar el tiempo de llegada de la entrega de la mercancía contra el tiempo de elaboración de las despensas para ver cuál de los dos eventos ocurre primero.

4.3.3.3. Generación de números aleatorios

A pesar de que a los números empleados en el muestreo en una simulación son referidos como aleatorios, éstos realmente no lo son, debido a que son producto de un algoritmo determinístico, aunque las propiedades de los números producidos pueden ser lo suficientemente aproximados para ser útiles en un análisis de simulación.⁶

En el lenguaje seleccionado para esta simulación, el Turbo Pascal 7.0 cuenta con un generador de números aleatorios. Este generador emplea una semilla en base al reloj del sistema para obtener los números aleatorios. El Turbo Pascal

⁵ Ibidem pp. 522 a 523.

⁶ Cfr HOOVER, Stewart V., y PERRY, Ronald F., Simulation, A Problem Solving Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1990, 2ª edición, p. 27.

ofrece la opción de inicializar la semilla ya sea aleatoriamente o con algún valor en específico para generar así secuencias determinadas de números aleatorios. Esta característica es deseable para facilitar la verificación del programa y para usar los mismos números aleatorios en diferentes corridas con el objeto de incrementar la precisión de la salida de simulación.

4.4. Verificación y Validación

Dada la amplia variedad de usos de la simulación, existe una gran variedad de procedimientos de validación. En lugar de una validación "total", un enfoque lógico es validar al modelo sólo en los términos de su uso.⁷

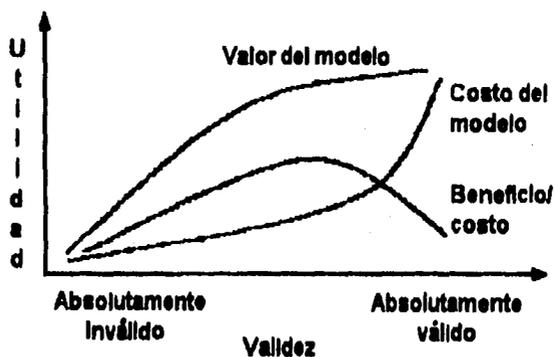


Figura 4.7: Curva beneficio-costo relativa a la validez del modelo

De entre las técnicas para validar al modelo de simulación no hay ninguna que sea predominantemente empleada debido a que el procedimiento de

⁷ Cfr WATSON, Op. Cit. n. 4, pp. 530 a 531.

validación depende en gran medida del sistema modelado y en el entorno del modelo.⁸

En general, cuanto más recursos se dediquen al desarrollo y validación del modelo, mejores serán los resultados de este modelo. Pero desde un punto de vista beneficio-costos, incrementar los gastos en la validación del modelo puede no justificar el incremento de los beneficios. La mayor razón beneficio-costos se alcanza en algún punto antes de un modelo absolutamente válido (ver figura 4.7).⁹

4.4.1. Principales métodos de validación.

Entre los principales métodos de validación se encuentran los siguientes:¹⁰

a. Comparación de la salida del modelo con el sistema real.

Este método de validación es frecuentemente sugerido. La comparación entre el modelo y el sistema real es estadística y la diferencia en las medidas del comportamiento debe estudiarse para ver si es estadísticamente significativa.

Esta comparación no es sencilla debido a que las medidas de comportamiento del modelo son obtenidas como resultado de la simulación de un período de tiempo muy largo mientras que las medidas del comportamiento del sistema real están basadas en un período de tiempo mucho más corto (semanas o cuanto mucho meses). Además, las condiciones iniciales del sistema, las cuales tienen efecto sobre el comportamiento de éste, generalmente no son conocidas en el sistema real y en muchos estudios el sistema a simular todavía no existe.

⁸ Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 6, p. 290.

⁹ Cfr WATSON, Op. Cit. n. 4, pp. 530 a 531.

¹⁰ Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 6, pp. 290 a 293.

Adicionalmente se tiene el problema de que los resultados del sistema real pueden reflejar muchos elementos o efectos en el sistema que fueron excluidos intencionalmente en el modelo de simulación.

Además, si las medidas del comportamiento del sistema real y las del modelo de simulación no son estadísticamente similares, no se puede concluir que el modelo de simulación es inválido.

b. La técnica delfos (*the delphi method*).

La técnica delfos fue creada a fines de la década de 1940 por la corporación RAND como un medio para analizar sistemas cuando se tiene a disposición muy poca información del problema o sistema. En este método un grupo selecto de expertos forman un panel que responde por consenso a las preguntas que se les plantea.

A este panel de expertos se les presenta una serie de preguntas varias veces empleando un cuestionario e información controlada, incluyendo retroalimentación de la opinión y análisis estadísticos. La técnica delfos consiste de los siguientes pasos:

1. Se envía a cada miembro del panel un cuestionario sobre la respuesta del sistema real a ciertas entradas o cambios estructurales.
2. Basándose en las respuestas del cuestionario en el paso uno, se formulan nuevas preguntas que requieran respuestas más específicas del panel.
3. Nuevas preguntas son enviadas al panel, junto con una destilación de las respuestas del panel a la ronda previa de preguntas.

Estos pasos son repetidos varias veces hasta el punto donde al analista deba tener una predicción de expertos en la respuesta del sistema a los cambios en las entradas o cambios estructurales que se estudian.

A este método se le critica que consume mucho tiempo y dinero, aunque se puede llevar a cabo al mismo tiempo que se desarrolla la simulación. Una

segunda crítica consiste en que si la técnica delfos es tan efectiva, ¿por qué no emplearlo en lugar de la simulación? en algunos casos, la técnica delfos puede ser efectiva pero generalmente no es práctico tener un panel de expertos a la mano.

c. La prueba turing (the turing test).

Este método fue creado por Alan Turing como una prueba de inteligencia artificial. En esta prueba un experto, o panel de expertos, se le presente descripciones o reportes basados en el sistema real y en el modelo de simulación. Si los expertos no pueden identificar los reportes basados en la salida del modelo de simulación, se incrementa su credibilidad.

Este método requiere un esfuerzo considerable para reunir y dar formato a las estadísticas del comportamiento del sistema real para crear pruebas turing. Una dificultad mayor es el ajuste de los resultados de las medidas de comportamiento del sistema real, de tal forma que los efectos que no son parte del modelo de simulación sean eliminados. La prueba turing requiere un análisis estadístico de la selección del panel de los reportes reales contra los simulados.

La prueba turing es en espíritu al reverso de la técnica delfos. En la prueba turing un grupo de expertos identifican en retrospectiva el sistema simulado, mientras que en la técnica delfos el panel se le pide que prediga la respuesta del sistema.

d. Comportamiento extremo.

Ocasionalmente el sistema real puede observarse bajo condiciones extremas donde surge una situación inusual. Esta es una situación ideal para reunir información en las medidas de comportamiento del sistema real para compararlas con la salida de la simulación, corrida bajo condiciones similares. También es posible que conocedores del sistema puedan predecir cómo se comporta el sistema real bajo condiciones extremas. Comparando estas predicciones del

comportamiento del sistema bajo condiciones extremas con el comportamiento del modelo bajo estas mismas condiciones, se puede validar al modelo.

4.4.2. Verificación y validación del modelo de simulación.

El lenguaje Turbo Pascal fue primordial para la verificación del modelo ya que verificaba la sintaxis del programa antes y durante su ejecución. Además, permitía rastrear los valores de las variables durante la ejecución del modelo de simulación. Cada uno de los bloques y de las actividades se verificó con la ayuda de este sistema de rastreo de las variables durante la ejecución del programa.

El sistema real de inventarios está altamente influenciado por decisiones del equipo de compras, de acuerdo a cada caso, por lo que las comparaciones entre el modelo de simulación y el sistema real no son compatibles para la validación del modelo de simulación. Tampoco fue posible reunir a un conjunto de expertos para realizar la prueba turing o la técnica delfos. Por lo que se recurrió al gerente de producción de la empresa Bodega para comprobar que la forma en que se comporta el modelo corresponde con su contraparte real.

4.5. Plan de la experimentación.

El primer paso de la experimentación consistirá en clasificar a los productos manejados por la empresa Bodega de acuerdo a un análisis ABC múltiple. La experimentación se va a llevar a cabo de la siguiente forma; en un inicio, se va a trabajar con el modelo de simulación sin incluir los paros en producción por faltantes con el fin de facilitar la experimentación y determinar un sistema que minimice la ocurrencia de productos faltantes. El punto de inicio para el sistema de inventario va a estar basado en el tamaño de lote económico.

Una vez encontrados los sistemas de inventario más apropiados se incorporan al modelo de simulación los paros por faltantes para establecer la política de paros adecuada y se determina cuál sistema es el más idóneo.

4.5.1. Análisis estadístico de los resultados.

Frecuentemente el análisis de los resultados de una simulación están autocorrelacionados, lo que representa dificultades en el análisis de la varianza. Entre los métodos que se pueden emplear en estas situaciones se encuentran:¹¹

- El método de replicaciones independientes: Con este método se repite la simulación varias veces bajo condiciones iguales, excepto por los números aleatorios empleados. Las medidas del comportamiento del sistema de cada replicación se toman como observaciones independientes. Cada una puede emplearse para estimar la varianza para esa medida de comportamiento. Aunque este método es sencillo estadística y conceptualmente requiere demasiado tiempo de computadora.

- El método del lote: Donde la corrida de simulación se corta en un número de períodos separados o lotes. Las medidas de comportamiento se registran para cada lote. El objetivo consiste en que cada medida de comportamiento de cada lote sea una observación independiente de cualquier otro lote., aunque estrictamente no son independientes porque el estado final del bloque i es el estado inicial del bloque $i+1$, por lo que es preferible tener menos lotes de mayor duración que más lotes de menor duración.¹²

- El método regenerativo: Se fundamenta en que una corrida de simulación se puede dividir en una serie de ciclos tales, que el comportamiento del sistema durante los diferentes ciclos es estadísticamente independiente y las

¹¹ Cfr HOOVER, Op. Cit. n. 6, pp 321 a 335

¹² Cfr WATSON, Op. Cit. n. 4, p. 537.

observaciones se pueden usar directamente para estimar el comportamiento de estado estable del sistema. Para lograr esto, se requiere identificar los puntos donde la simulación puede proceder sin ningún conocimiento de su historia anterior. Pero no todos los sistemas poseen tales puntos de regeneración, por lo que no siempre se puede recurrir a este método.

Por su facilidad de programación y en la realización de los cálculos, el método de lotes es el más atractivo para su incorporación dentro del modelo de simulación y se emplea únicamente para las estadísticas de las 4 funciones objetivo (nivel de servicio 1 y 2, costo promedio y ocupación del almacén).

Si n es el número de bloques simulados, la media y la varianza de la medida de comportamiento W están dadas por las siguientes fórmulas:¹³

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$$

$$s_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{w}_i - \bar{w})^2}$$

Para probar que los promedios de las funciones objetivos son estadísticamente independientes se empleó la prueba de corridas arriba y abajo (*runs up and runs down test*). En el anexo E se detalla este método.

Se busca que los niveles de servicio 1 y 2 lleguen al 100 por ciento, por lo que se presentan problemas cuando todos, o casi todos los promedios de los bloques son iguales al 100 por ciento, no hay fluctuaciones y fallan la prueba de independencia. Para solucionar esta dificultad, se optó por realizar la prueba de independencia sobre el número de despensas promedio por bloque y no sobre los niveles de servicio 1 y 2. Así la prueba de corridas arriba y abajo se realiza

¹³ *ibidem*

únicamente sobre las desventajas promedio por bloque, el costo promedio y el número de tarimas en almacén.

Al programa se añadió esta prueba de independencia de las medias con objeto de comprobar que el tamaño de lote para cada ejecución del modelo es el adecuado. En todos los experimentos se comprobó que un bloque de 5 días cumple satisfactoriamente esta condición de independencia.

4.5.2. Condiciones iniciales.

Los modelos de simulación deben comenzar con ciertas condiciones iniciales. La selección de las condiciones iniciales depende en gran medida de los aspectos del comportamiento del sistema que se está estudiando.¹⁴

Las condiciones transientes se refieren al comportamiento temporal del sistema cuando este primero comienza. Cuando esta etapa es de interés, deben seleccionarse las condiciones iniciales que reflejan cómo el sistema real está al momento de arranque.

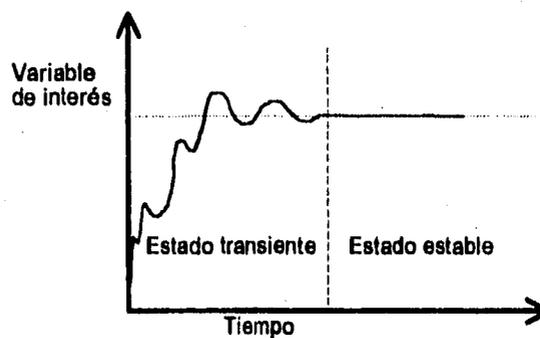


Figura 4.8: Estado transiente y estado estable para una variable de interés.

¹⁴ Cfr COSS, Raúl, *Simulación. Un Enfoque Práctico*, México, Ed. Limusa, 1992, 7ª edición, p. 15.

En los casos donde sólo las condiciones de estado estable son de interés, se pueden tomar dos enfoques: el primero es seleccionar las condiciones iniciales del sistema que reflejan cómo el sistema opera en condición estable. El segundo enfoque se emplea en casos donde las condiciones iniciales no son conocidas con anterioridad, por lo que se simula el comportamiento del sistema desde el inicio, pero se pospone la recolección de datos estadísticos hasta que se haya alcanzado el estado estable.

Cuando las condiciones transientes y de estado estable son de interés, la simulación se corre por un tiempo suficientemente largo, para observar ambas etapas. Se emplean las condiciones iniciales que reflejan las del sistema real en el momento de arranque.¹⁵

En el caso de este estudio, las condiciones iniciales se refieren a los niveles de inventario iniciales de cada producto. El estado transiente no es representativo del comportamiento del sistema de inventario, ya que el nivel de inventario promedio de un producto cambia dramáticamente de acuerdo a las políticas de inventario que se establezcan y si el inventario inicial es mucho menor o mucho mayor a este nivel promedio, le tomaría al sistema demasiado tiempo alcanzar el estado estable. Siguiendo la recomendación general de que el modelo de simulación debe inicializarse en un estado tan representativo de las condiciones de estado estable como sea posible para minimizar la longitud requerida del periodo transiente, se optó iniciar la simulación con los niveles deseados del sistema de inventario seleccionado para cada producto. En el programa se incorporó esta lógica y la opción de iniciar al sistema con una determinada condición inicial.

¹⁵ Cfr WATSON, Op. Cit. n. 4, pp. 526 a 527.

Se determinó descartar los datos recolectados durante los dos primeros bloques para disminuir la influencia del estado transiente sobre los resultados de cada corrida de simulación.

4.5.3. Duración de la corrida.

La duración de la simulación debe ser tal que la posibilidad de un error de muestreo sea controlada bajo un nivel deseado. Una posibilidad es hacer el tiempo de la corrida lo suficientemente largo de tal forma que cualquier posible error de muestreo sea controlado. Esta opción no es recomendable debido a que causa un costo de máquina excesivo e innecesario.

Una alternativa más viable consiste en especificar el error permitido y el nivel deseado de precisión estadística, y entonces resolver la duración de la corrida, de acuerdo a la siguiente fórmula:¹⁶

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Debido a que los resultados de una simulación son equivalentes a observaciones de muestreo aleatorio, esta opción es posible normalmente cuando las observaciones simuladas son estadísticamente independientes. La situación más común es que la desviación estándar de la población deba ser estimada, entonces se correría el modelo por un corto período de tiempo para obtener un estimado de la desviación estándar. Este estimado es empleado entonces para determinar el número de iteraciones a ser corridas.

También se tiene la opción de incluir en el programa una condición terminal automática. Este mecanismo para automáticamente la simulación cuando ocurre una condición preprogramada. En este caso, después de cada iteración, se recalcularía la desviación estándar de la variable de interés. Entonces se

¹⁶ Ibidem.

determinaría el error estándar de la media en base al número de corridas. Si el error estándar ha sido reducido lo suficiente para dar la precisión deseada, la lógica del programa pararía la simulación.

Para facilitar el análisis de los resultados, se especificó la precisión del modelo en un 95 por ciento y el error permitido del 10 por ciento para el nivel de servicio 1 y 2, en 1,000 pesos para el costo y en 25 tarimas para la ocupación del almacén. En cada corrida del modelo se verificó que se alcanzaba el 95 por ciento de precisión deseada. Todas las simulaciones se ejecutaron con 20 bloques de 5 días cada uno.

4.5.4. La clasificación ABC.

La clasificación ABC consiste en separar los artículos que forman el inventario en tres grupos de acuerdo a su representación en los costos (costo por volumen desplazado). Esta clasificación sigue la lógica de la ley de Pareto, muy pocos productos tienen la mayor importancia mientras que la mayoría tienen muy poca.

El análisis ABC puede aplicarse no sólo a inventarios, sino también a la planeación de ventas, a los controles de calidad y a la estimación de costos entre otras operaciones. La aplicación del análisis ABC al control de inventarios comenzó su uso alrededor de 1950 cuando gente de la compañía General Electric, como H. Ford Dickie, publicó los resultados de su uso.¹⁷

En el análisis ABC se trata de separar los artículos importantes de los no importantes con el fin de clasificar a los productos en categorías para establecer el grado de control apropiado sobre cada grupo de productos.¹⁸ La clasificación ABC es, frecuentemente, un primer paso muy útil para mejorar el manejo del inventario. El análisis ABC brinda una herramienta para identificar aquellos

¹⁷Cfr KILLEEN, Louis M., Techniques of Inventory Management, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. American Management Association, 1969, p. 20.

¹⁸CHASE, Op. Cit. n. 3, pp 729 a 730.

Se determinó descartar los datos recolectados durante los dos primeros bloques para disminuir la influencia del estado transiente sobre los resultados de cada corrida de simulación.

4.5.3. Duración de la corrida.

La duración de la simulación debe ser tal que la posibilidad de un error de muestreo sea controlada bajo un nivel deseado. Una posibilidad es hacer el tiempo de la corrida lo suficientemente largo de tal forma que cualquier posible error de muestreo sea controlado. Esta opción no es recomendable debido a que cause un costo de máquina excesivo e innecesario.

Una alternativa más viable consiste en especificar el error permitido y el nivel deseado de precisión estadística, y entonces resolver la duración de la corrida, de acuerdo a la siguiente fórmula:¹⁶

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Debido a que los resultados de una simulación son equivalentes a observaciones de muestreo aleatorio, esta opción es posible normalmente cuando las observaciones simuladas son estadísticamente independientes. La situación más común es que la desviación estándar de la población deba ser estimada, entonces se correría el modelo por un corto período de tiempo para obtener un estimado de la desviación estándar. Este estimado es empleado entonces para determinar el número de iteraciones a ser corridas.

También se tiene la opción de incluir en el programa una condición terminal automática. Este mecanismo para automáticamente la simulación cuando ocurre una condición preprogramada. En este caso, después de cada iteración, se recalcularía la desviación estándar de la variable de interés. Entonces se

¹⁶ Ibidem.

determinaría el error estándar de la media en base al número de corridas. Si el error estándar ha sido reducido lo suficiente para dar la precisión deseada, la lógica del programa pararía la simulación.

Para facilitar el análisis de los resultados, se especificó la precisión del modelo en un 95 por ciento y el error permitido del 10 por ciento para el nivel de servicio 1 y 2, en 1,000 pesos para el costo y en 25 tarimas para la ocupación del almacén. En cada corrida del modelo se verificó que se alcanzaba el 95 por ciento de precisión deseada. Todas las simulaciones se ejecutaron con 20 bloques de 5 días cada uno.

4.5.4. La clasificación ABC.

La clasificación ABC consiste en separar los artículos que forman el inventario en tres grupos de acuerdo a su representación en los costos (costo por volumen desplazado). Esta clasificación sigue la lógica de la ley de Pareto, muy pocos productos tienen la mayor importancia mientras que la mayoría tienen muy poca.

El análisis ABC puede aplicarse no sólo a inventarios, sino también a la planeación de ventas, a los controles de calidad y a la estimación de costos entre otras operaciones. La aplicación del análisis ABC al control de inventarios comenzó su uso alrededor de 1950 cuando gente de la compañía General Electric, como H. Ford Dickle, publicó los resultados de su uso.¹⁷

En el análisis ABC se trata de separar los artículos importantes de los no importantes con el fin de clasificar a los productos en categorías para establecer el grado de control apropiado sobre cada grupo de productos.¹⁸ La clasificación ABC es, frecuentemente, un primer paso muy útil para mejorar el manejo del inventario. El análisis ABC brinda una herramienta para identificar aquellos

¹⁷Cfr KILLEEN, Louis M., *Techniques of Inventory Management*, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. American Management Association, 1969, p. 20.

¹⁸ CHASE, Op. Cit. n. 3, pp 729 a 730.

productos que provocan el impacto más grande en los costos de la compañía. Aunque también existen otros criterios, como obsolescencia, disponibilidad, tiempo de entrega y criticalidad, que no están relacionados con los costos y que son importantes en la administración de inventarios.

Puesto que los objetivos de este estudio abarcan el nivel de servicio, el costo y el espacio requerido, se aplicó un análisis ABC múltiple. En la tabla 4.5 se muestra cómo se desarrolló este análisis.

a)			b)				
	Número de artículos	Porcentaje de artículos	Porcentaje de capital invertido		Número de artículos	Porcentaje de artículos	Porcentaje de capital invertido
A	18	11.18%	52.76%	I	15	9.32%	21.46%
B	49	30.43%	32.47%	II	75	46.58%	33.45%
C	94	58.39%	14.75%	III	71	44.10%	45.07%
Total	161	100.00%	100.00%	Total	161	100.00%	100.00%

c) Tiempo de entrega				
Capital Invertido	I	II	III	Total
A	4	4	10	18
B	8	26	15	49
C	3	45	46	94
Total	15	75	71	161

d)			
Categoría	Número de artículos	Porcentaje de artículos	Porcentaje de capital invertido
AA	16	9.94%	31.34%
BB	39	24.22%	42.65%
CC	106	65.84%	26.01%
Total	161	100%	100%

Tabla 4.5: Desarrollo de la clasificación ABC.

Producto	Porcentaje de capital invertido	Clasificación en base al proveedor	Clasificación	
			1	2
001 Aceite 1	6.01% A	280 III	AIII	BB
002 Aceite 2	3.31% A	280 III	AIII	BB
003 Arroz bolsa	1.66% A	410 III	AIII	BB
004 Azúcar bolsa	4.97% A	240 I	AI	AA
005 Frijol bolsa	1.08% B	410 III	BIII	CC
006 Garbanzo bolsa	0.15% C	410 III	CIII	CC
007 Lentejas bolsa	0.19% C	410 III	CIII	CC
008 Sal refinada	0.27% C	420 III	CIII	CC
009 Alón en aceite	2.38% A	30 I	AI	AA
010 Chicharos	0.45% B	140 II	BII	BB
011 Chiles en lata 1	0.08% C	190 III	CIII	CC
012 Chiles en lata 2	0.33% C	290 III	CIII	CC
013 Chiles en lata 3	0.27% C	190 III	CIII	CC
014 Chiles en lata 4	0.39% B	190 III	BIII	CC
015 Crema para café	0.37% B	360 III	BIII	CC
016 Leche condensada	1.33% B	360 III	BIII	CC
017 Leche en polvo	3.41% A	360 III	AIII	BB
018 Leche proteinada	1.87% A	360 III	AIII	BB
019 Media crema	0.65% B	360 III	BIII	CC
020 Puré de tomate	0.36% B	140 II	BII	BB
021 Sardinias	0.34% C	70 II	CII	CC
022 Sopa enlatada 1	0.49% B	90 II	BII	BB
023 Sopa enlatada 2	0.25% C	90 II	CII	CC
024 Atole 1	0.02% C	440 II	CII	CC
025 Atole 2	0.03% C	440 II	CII	CC
026 Atole 3	0.02% C	440 II	CII	CC
027 Atole 4	0.54% B	440 II	BII	BB
028 Cereal 1	0.37% B	360 III	BIII	CC
029 Cereal 2	0.27% C	360 III	CIII	CC
030 Cereal 3	0.21% C	360 III	CIII	CC
031 Cereal 4	0.06% C	220 II	CII	CC
032 Cereal 5	0.06% C	250 I	CI	BB
033 Cereal mixto	0.17% C	270 II	CII	CC
034 Harina de trigo	0.25% C	310 III	CIII	CC
035 Harina para hotcakes	0.04% C	310 III	CIII	CC
036 Consomé de pollo 1	0.75% B	360 III	BIII	CC
037 Consomé de pollo 2	0.30% C	280 III	CIII	CC
038 Pasta 1	0.13% C	300 III	CIII	CC
039 Pasta 2	0.09% C	300 III	CIII	CC
040 Pasta 3	0.17% C	300 III	CIII	CC
041 Pasta 4	0.06% C	300 III	CIII	CC

Tabla 4.6: Clasificación ABC de los productos.

Producto	Porcentaje de capital invertido	C	Clasificación en base al proveedor		Clasificación	
			III	II	1	2
042 Pasta 5	0.09%	C	300	III	CIII	CC
043 Pasta 6	0.06%	C	300	III	CIII	CC
044 Pasta 7	0.05%	C	300	III	CIII	CC
045 Pasta 8	0.06%	C	300	III	CIII	CC
046 Pasta 9	0.05%	C	300	III	CIII	CC
047 Jugo 1	0.76%	B	210	II	BII	BB
048 Jugo 2	0.25%	C	210	II	CII	CC
049 Jugo 3	0.24%	C	210	II	CII	CC
050 Jugo 4	0.54%	B	210	II	BII	BB
051 Jugo 5	0.35%	C	210	II	CII	CC
052 Jugo 6	0.23%	C	210	II	CII	CC
053 Jugo 7	0.36%	B	210	II	BII	BB
054 Preparado 1	0.13%	C	160	II	CII	CC
055 Preparado 2	0.64%	B	260	III	BIII	CC
056 Preparado 3	0.07%	C	160	II	CII	CC
057 Preparado 4	0.13%	C	160	II	CII	CC
058 Cajeta quemada	0.21%	C	100	II	CII	CC
059 Flan	0.18%	C	260	III	CIII	CC
060 Galletas 1	0.20%	C	300	III	CIII	CC
061 Galletas 2	0.74%	B	170	II	BII	BB
062 Galletas 3	0.10%	C	300	III	CIII	CC
063 Galletas 4	0.34%	C	350	III	CIII	CC
064 Galletas 5	0.32%	C	310	III	CIII	CC
065 Galletas 6	0.03%	C	300	III	CIII	CC
066 Galletas 7	0.33%	C	300	III	CIII	CC
067 Gelatina 1	0.14%	C	260	III	CIII	CC
068 Gelatina 2	0.14%	C	260	III	CIII	CC
069 Gelatina 3	0.23%	C	260	III	CIII	CC
070 Gelatina 4	0.20%	C	260	III	CIII	CC
071 Gelatina 5	0.09%	C	260	III	CIII	CC
072 Gelatina 6	0.10%	C	260	III	CIII	CC
073 Gelatina 7	0.18%	C	260	III	CIII	CC
074 Gelatina 8	0.18%	C	260	III	CIII	CC
075 Mazapán	0.23%	C	110	II	CII	CC
076 Ale	0.14%	C	290	III	CIII	CC
077 Mermelada	0.59%	B	100	II	BII	BB
078 Miel de abeja	0.20%	C	20	II	CII	CC
079 Chile 1	0.13%	C	410	III	CIII	CC
080 Chile 2	0.11%	C	410	III	CIII	CC
081 Chile 3	0.10%	C	410	III	CIII	CC
082 Mole en polvo	0.21%	C	10	II	CII	CC

Tabla 4.6: Clasificación ABC de los productos (continuación).

Producto	Porcentaje de capital invertido	Clasificación en base al proveedor	Clasificación	
			1	2
083 Salsa catsup	0.53% B	140 II	BII	BB
084 Salsa picante 1	0.10% C	190 III	CIII	CC
085 Salsa picante 2	0.05% C	190 III	CIII	CC
086 Salsa picante 3	0.05% C	140 II	CII	CC
087 Salsa picante 4	0.08% C	140 II	CII	CC
088 Salsa picante 5	0.07% C	140 II	CII	CC
089 Salsa picante 6	0.68% B	390 II	BII	BB
090 Salsa picante 7	0.04% C	400 II	CII	CC
091 Aceite de olivo	0.53% B	200 II	BII	BB
092 Canela en polvo	0.08% C	450 II	CII	CC
093 Mayonesa 1	0.99% B	280 III	BIII	CC
094 Mayonesa 2	0.59% B	190 III	BIII	CC
095 Mostaza	0.07% C	190 III	CIII	CC
096 Pimienta negra	0.08% C	450 II	CII	CC
097 Vinagre blanco	0.08% C	190 III	CIII	CC
098 Café molido	0.12% C	80 II	CII	CC
099 Café soluble 1	0.24% C	280 III	CIII	CC
100 Café soluble 2	1.97% A	360 III	AIII	BB
101 Café soluble 3	1.24% B	360 III	BIII	CC
102 Café soluble 4	1.64% A	360 III	AIII	BB
103 Chocolate en barra	0.61% B	270 II	BII	BB
104 Chocolate en polvo 1	0.58% B	270 II	BII	BB
105 Chocolate en polvo 2	0.54% B	360 III	BIII	CC
106 Chocolate en polvo 3	0.21% C	360 III	CIII	CC
107 Aceite para niños	0.29% C	120 II	CII	CC
108 Jugo para bebé 1	0.06% C	180 II	CII	CC
109 Jugo para bebé 2	0.08% C	180 II	CII	CC
110 Jugo para bebé 3	0.04% C	180 II	CII	CC
111 Jugo para bebé 4	0.04% C	180 II	CII	CC
112 Jugo para bebé 5	0.06% C	180 II	CII	CC
113 Pañal 1	0.41% B	230 I	BI	AA
114 Pañal 2	0.88% B	230 I	BI	AA
115 Puré para bebé 1	0.06% C	180 II	CII	CC
116 Puré para bebé 2	0.12% C	180 II	CII	CC
117 Puré para bebé 3	0.08% C	180 II	CII	CC
118 Shampoo para niños	0.54% B	120 II	BII	BB
119 Talco para niños	0.26% C	120 II	CII	CC
120 Toallitas para bebé	0.22% C	130 II	CII	CC
121 Jabón de tocador 1	1.05% B	120 II	BII	BB
122 Jabón de tocador 2	0.67% B	280 III	BIII	CC

Tabla 4.6: Clasificación ABC de los productos (continuación).

Producto	Porcentaje de capital invertido	Clasificación en base al proveedor	Clasificación	
			1	2
123 Jabón de tocador 3	0.42% B	340 II	BII	BB
124 Gel fijador	0.31% C	40 II	CI	CC
125 Crema dental 1	0.21% C	120 II	CII	CC
126 Crema dental 2	1.53% A	120 II	AII	AA
127 Toalla femenina 1	0.49% B	230 I	BI	AA
128 Toalla femenina 2	0.44% B	230 I	BI	AA
129 Shampoo	0.66% B	120 II	BII	BB
130 Desodorante 1	0.40% B	60 II	BII	BB
131 Desodorante 2	0.29% C	60 II	CII	CC
132 Algodón	0.35% C	130 II	CI	CC
133 Crema 1	0.50% B	430 II	BII	BB
134 Crema 2	0.56% B	50 I	BI	AA
135 Crema 3	0.36% B	360 II	BII	BB
136 Crema 4	0.25% C	360 II	CII	CC
137 Pañuelos desechables	0.79% B	230 I	BI	AA
138 Bolsas para basura	1.96% A	370 III	AIII	BB
139 Cera para pisos	0.11% C	330 I	CI	BB
140 Detergente 1	1.50% A	280 III	AIII	BB
141 Detergente 2	2.92% A	280 III	AIII	BB
142 Detergente 3	3.23% A	120 II	AII	AA
143 Fibra lavatrasles	0.12% C	330 I	CI	BB
144 Jabón 1	1.44% B	280 III	BIII	CC
145 Jabón 2	0.50% B	280 III	BIII	CC
146 Lavapisos 1	1.80% A	150 II	AII	AA
147 Lavapisos 2	0.87% B	150 II	BII	BB
148 Lavatrasles	1.26% B	120 II	BII	BB
149 Limpiador en polvo	0.38% B	120 II	BII	BB
150 Papel higiénico	7.46% A	230 I	AI	AA
151 Papel toalla para cocina	0.67% B	230 I	BI	AA
152 Pastilla para sanitario	0.52% B	150 II	BII	BB
153 Servilletas	1.50% A	230 I	AI	AA
154 Suavizante 1	3.59% A	120 II	AII	AA
155 Suavizante 2	1.36% B	120 II	BII	BB
156 Maiz para palomitas	0.11% C	410 III	CIII	CC
157 Pantimedia 1	0.10% C	320 II	CII	CC
158 Pantimedia 2	0.28% C	320 II	CII	CC
159 Pantimedia 3	0.28% C	320 II	CII	CC
160 Pantimedia 4	0.16% C	320 II	CII	CC
161 Papel aluminio	0.62% B	230 I	BI	AA

Tabla 4.6: Clasificación ABC de los productos (continuación).

El primer criterio, denotado por las categorías A, B y C en la tabla 4.5a es el capital requerido (se multiplicó las unidades necesarias de cada producto por su precio, en la tabla 4.6 se muestra el porcentaje que representa cada artículo). El segundo criterio, tabla 4.5b con las categorías I, II y III, se basó en el tiempo de entrega del proveedor de cada producto. Los tiempos de entrega más cortos (una semana o menos) se clasificaron dentro del grupo III, la categoría II está formada por productos con tiempos de entrega entre una o dos semanas y, finalmente, el grupo I tiene los productos con tiempos de entrega mayores a dos semanas.

Después de categorizar a todos los productos en las categorías A, B y C y en I, II y III, se agrupa a los productos en 9 nuevas categorías AI, AII, AIII, BI, BII, BIII, CI, CII y CIII (ver tabla 4.5c). A pesar de que nueve categorías de productos no representan ningún problema a los sistemas de inventarios controlados por computadora, se busca simplicidad en la clasificación. Mediante un proceso sencillo, se asignan los artículos AI, AII y BI a la nueva categoría AA. Los artículos en AIII, BII y CI a la categoría BB y finalmente los artículos en BIII, CII y CIII se clasifican como CC.

El resultado de este proceso se puede apreciar en las tablas 4.5d y 4.6. El siguiente paso en esta clasificación consiste en revisar la clasificación de cada producto para realizar correcciones o ajustes.

A pesar de que una clasificación de los productos se podría calificar de inadecuada debido a que dentro de la actividad de la empresa Bodega se incluye un proceso productivo (la elaboración de despensas) y desde esta punto de vista todos los productos son igualmente importantes, esta clasificación es necesaria para distinguir los productos problemáticos y prestar así más atención a estos productos sin olvidar que todos son igualmente importantes para el logro de los objetivos de la compañía.

Es notorio que de los 16 productos clasificados en la categoría AA, 9 pertenecen al proveedor 230 debido a su largo tiempo de entrega. De estos 9 productos, sólo dos (el papel higiénico clave 150 y los pañuelos desechables clave 153) requieren una inversión de capital alta.

4.6. Experimentación.

A continuación se establecen las condiciones actuales de la empresa, las cuales se pretenden mejorar en esta fase. Se estima que el costo promedio de la empresa Bodega en relación al inventario es igual a \$11,947.05. El costo diario de mantener al inventario es igual a \$10,490.86, el costo de ordenar es igual a \$375.00 y por penalización por faltantes \$1,081.19. El nivel de servicio 1 se estima en el 83.8 %. No se tiene algún estimado o indicador del nivel de servicio 2, únicamente se puede asegurar que está por debajo del nivel de servicio 1. Finalmente, el número de tarimas promedio en almacén es igual a 619 que representa el 77.57% de la capacidad total del almacén.

4.6.1. Lote económico de compra.

Como punto de partida de la experimentación se obtuvo el tamaño de lote económico (EOQ) para cada producto, el nivel de reorden al igual que el intervalo óptimo entre pedidos (EOI) y el nivel máximo (ver tabla 4.7). Debido a que la capacidad de almacenaje, la merma y la demanda varían dramáticamente entre los diferentes productos, se optó por calcular al costo de mantener al inventario para cada producto en lugar de emplear un costo general de mantenimiento para todos los artículos, expresado como un porcentaje anual sobre el costo de adquisición de cada producto.

Para determinar este costo se consideraron el costo de espacio, el costo de capital, el costo de servicios del inventario y el costo de riesgo del inventario. El

Producto	Demanda anual (Unid.)	Costo de mantener al inventario (\$ / Unid.)	Sistema Q			Sistema P		Pedidos conjuntos	
			EOQ (Unid.)	EOQ ajustado a cajas	Nivel de reorden (Unid.)	EOI (días)	Nivel máximo (Unid.)	Tiempo entre pedidos	Nivel máximo (Unid.)
001 Aceite 1	566,100	N\$4.07	2,415	2,424	10,888	2	15,242	2	15,242
002 Aceite 2	268,620	N\$4.28	1,623	1,632	5,187	3	8,266	2	7,233
003 Arroz bolsa	246,420	N\$2.35	2,097	2,120	4,740	3	7,583	3	7,583
004 Azúcar bolsa	455,100	N\$3.83	2,232	2,250	31,508	2	35,000		
005 Frijol bolsa	159,840	N\$2.05	1,808	1,840	3,075	4	5,534	3	4,919
006 Garbanzo bolsa	19,980	N\$2.97	532	552	385	8	1,000	3	615
007 Lentejas bolsa	48,840	N\$1.34	1,236	1,272	940	8	2,443	3	1,503
008 Sal refinada	115,440	N\$1.11	2,088	2,112	2,221	6	4,885		
009 Atún en aceite	448,440	N\$1.65	3,374	3,408	24,148	3	29,322		
010 Chicharos	88,800	N\$2.28	1,278	1,298	2,733	5	4,441	3	3,757
011 Chiles en lata 1	48,840	N\$0.78	1,624	1,680	565	10	2,443	3	1,128
012 Chiles en lata 2	133,200	N\$1.42	1,984	2,016	2,563	5	5,124	4	4,611
013 Chiles en lata 3	168,720	N\$0.79	2,988	3,024	1,948	6	5,841	3	3,894
014 Chiles en lata 4	148,740	N\$0.91	2,622	2,640	1,717	6	5,150	3	3,433
015 Crema para café	39,960	N\$4.46	613	648	769	5	1,538	2	1,076
016 Leche condensada	199,800	N\$2.40	1,868	1,920	3,843	3	6,149	2	5,380
017 Leche en polvo	91,020	N\$12.75	548	564	1,751	3	2,802	2	2,451
018 Leche proteinada	390,720	N\$1.69	3,117	3,168	7,515	3	12,023	2	10,520
019 Media crema	135,420	N\$2.21	1,602	1,632	2,605	4	4,689	2	3,646
020 Puré de tomate	86,580	N\$2.71	1,159	1,176	2,855	4	3,997	3	3,863
021 Sardinas	39,960	N\$2.11	892	950	923	7	1,998		
022 Sopa enlatada 1	64,380	N\$3.39	892	912	1,982	5	3,220	4	2,972
023 Sopa enlatada 2	24,420	N\$3.40	549	576	752	7	1,410	4	1,128
024 Atole 1	42,180	N\$0.34	2,278	2,448	1,299	15	3,732	8	2,596
025 Atole 2	39,960	N\$0.34	2,212	2,304	1,231	15	3,536	8	2,460
026 Atole 3	31,080	N\$0.34	1,950	2,160	957	17	2,989	8	1,913
027 Atole 4	8,880	N\$2.02	429	440	274	14	752	8	547
028 Cereal 1	82,140	N\$3.24	1,032	1,050	1,581	4	2,844	2	2,212
029 Cereal 2	31,080	N\$4.22	557	576	599	6	1,316	2	837
030 Cereal 3	11,100	N\$6.58	268	288	214	7	513	2	299
031 Cereal 4	24,420	N\$3.76	523	576	846	7	1,504		
032 Cereal 5	4,440	N\$6.59	189	216	257	11	445		
033 Cereal 6	15,540	N\$2.48	513	540	479	10	1,077	3	658

Tabla 4.7: Lote económico de compra e intervalo óptimo entre pedidos.

Producto	Demanda anual (Unid.)	Costo de mantener al inventario (\$ / Unid.)	Sistema Q			Sistema P		Pedidos conjuntos	
			EOQ (Unid.)	EOQ ajustado a cajas	Nivel de reorden (Unid.)	EOI (días)	Nivel máximo (Unid.)	Tiempo entre pedidos	Nivel máximo (Unid.)
034 Harina de trigo	26,640	NS\$2.12	727	740	513	8	1,333	4	923
035 Harina para hotcakes	64,380	NS\$2.32	1,079	1,100	1,239	5	2,477	4	2,229
036 Consomé de pollo 1	55,500	NS\$7.12	572	588	1,068	4	2,477	2	1,495
037 Consomé de pollo 2	17,780	NS\$6.11	350	360	343	6	1,922	3	547
038 Pasta 1	108,780	NS\$0.72	2,518	2,540	2,093	7	5,022	4	3,788
039 Pasta 2	71,040	NS\$0.72	2,033	2,060	1,367	8	3,553	4	2,460
040 Pasta 3	153,180	NS\$0.76	2,899	2,920	2,947	6	6,482	4	5,303
041 Pasta 4	48,840	NS\$0.68	1,732	1,760	940	10	2,819	4	1,891
042 Pasta 5	71,040	NS\$0.68	2,089	2,100	1,367	9	3,826	4	2,460
043 Pasta 6	33,300	NS\$0.78	1,341	1,360	641	11	2,050	4	1,153
044 Pasta 7	48,840	NS\$0.77	1,636	1,660	940	10	2,819	4	1,891
045 Pasta 8	51,060	NS\$0.68	1,771	1,800	983	10	2,947	4	1,768
046 Pasta 9	35,520	NS\$0.77	1,394	1,420	684	11	2,187	4	1,230
047 Jugo 1	146,520	NS\$2.03	1,740	1,752	5,636	4	7,891	3	7,326
048 Jugo 2	97,680	NS\$2.03	1,420	1,428	3,758	5	5,636	3	4,884
049 Jugo 3	79,920	NS\$2.02	1,287	1,296	3,075	5	4,812	3	3,996
050 Jugo 4	82,140	NS\$0.93	1,921	1,944	3,180	7	5,372	3	4,107
051 Jugo 5	93,240	NS\$0.93	2,048	2,064	3,587	7	6,097	3	4,662
052 Jugo 6	46,620	NS\$0.94	1,445	1,464	1,794	9	3,408	3	2,331
053 Jugo 7	104,340	NS\$0.93	2,165	2,184	4,014	6	6,422	3	5,217
054 Preparado 1	11,100	NS\$2.92	400	432	428	10	855	8	769
055 Preparado 2	75,480	NS\$4.03	886	900	1,453	4	2,614	3	2,323
056 Preparado 3	4,440	NS\$3.32	237	252	172	15	428	8	308
057 Preparado 4	6,660	NS\$3.47	284	300	257	12	565	8	462
058 Cajeta quemada	39,960	NS\$2.46	826	840	1,077	6	1,999	4	1,691
059 Flan	106,560	NS\$0.86	2,599	2,640	2,050	7	4,919	3	3,279
060 Galletas 1	31,080	NS\$3.63	600	610	599	6	1,316	4	1,076
061 Galletas 2	22,200	NS\$11.53	285	290	684	4	1,026		
062 Galletas 3	6,660	NS\$4.61	247	260	129	11	411	4	231
063 Galletas 4	28,860	NS\$6.53	431	444	556	5	1,111		
064 Galletas 5	24,420	NS\$4.55	475	490	471	6	1,034	4	846
065 Galletas 6	2,220	NS\$5.43	131	133	44	16	180	4	77

Tabla 4.7: Lote económico de compra e intervalo óptimo entre pedidos (continuación).

Producto	Demanda anual (Unid.)	Costo de mantener al inventario (\$ / Unid.)	Sistema Q			Sistema P		Pedidos conjuntos	
			EOQ (Unid.)	EOQ ajustado a cajas	Nivel de reorden (Unid.)	EOI (días)	Nivel máximo (Unid.)	Tiempo entre pedidos	Nivel máximo (Unid.)
066 Galletas 7	6,660	N\$6.68	205	210	129	9	360	4	231
067 Gelatina 1	53,280	N\$1.20	1,366	1,404	1,026	8	2,665	3	1,640
068 Gelatina 2	66,600	N\$1.20	1,529	1,548	1,282	7	3,075	3	2,050
069 Gelatina 3	86,580	N\$1.20	1,742	1,764	1,666	6	3,664	3	2,664
070 Gelatina 4	59,940	N\$1.20	1,449	1,478	1,154	7	2,767	3	1,845
071 Gelatina 5	31,080	N\$1.20	1,043	1,080	599	10	1,794	3	957
072 Gelatina 6	33,300	N\$1.20	1,081	1,116	641	9	1,794	3	1,025
073 Gelatina 7	68,820	N\$1.20	1,554	1,584	1,324	7	3,177	3	2,118
074 Gelatina 8	64,380	N\$1.20	1,503	1,548	1,239	7	2,972	3	1,981
075 Mazapán	8,880	N\$7.07	230	260	274	8	547		
076 Ate	15,540	N\$3.75	417	432	300	8	778	4	538
077 Mermelada	53,280	N\$5.11	661	696	1,435	4	2,255	4	2,255
078 Miel de abeja	13,320	N\$4.19	368	372	513	8	923		
079 Chile 1	13,320	N\$1.97	533	560	257	11	821	3	410
080 Chile 2	22,200	N\$1.43	807	840	428	10	1,282	3	684
081 Chile 3	22,200	N\$1.66	748	800	428	10	1,282	3	684
082 Mole en polvo	6,660	N\$6.07	215	228	206	9	436		
083 Salsa catsup	66,600	N\$2.84	993	1,008	2,050	5	3,331	3	2,818
084 Salsa picante 1	26,640	N\$1.44	883	912	308	10	1,333	3	815
085 Salsa picante 2	4,440	N\$1.11	410	480	52	25	479	3	103
086 Salsa picante 3	2,220	N\$4.16	150	168	69	19	232	3	94
087 Salsa picante 4	6,660	N\$4.44	251	264	206	11	488	3	282
088 Salsa picante 5	4,440	N\$4.41	206	218	138	13	360	3	188
089 Salsa picante 6	57,720	N\$6.10	630	672	1,777	4	2,665		
090 Salsa picante 7	2,220	N\$7.36	113	144	86	14	206		
091 Aceite de olivo	22,200	N\$13.05	268	280	684	4	1,028		
092 Canela en polvo	15,540	N\$2.34	528	552	479	10	1,077	6	957
093 Mayonesa 1	71,040	N\$6.35	685	696	1,367	3	2,460	3	2,186
094 Mayonesa 2	48,840	N\$6.39	567	576	565	4	1,316	3	1,128
095 Mostaza	31,080	N\$1.07	1,103	1,128	360	10	1,555	3	718
096 Pimienta negra	8,880	N\$2.80	365	900	274	12	684	8	547
097 Vinagre blanco	17,760	N\$1.51	702	720	206	11	957	3	410

Tabla 4.7: Lote económico de compra e intervalo óptimo entre pedidos (continuación).

Producto	Demanda anual (Unid.)	Costo de mantener al inventario (\$ / Unid.)	Sistema Q			Sistema P		Pedidos conjuntos	
			EOQ (Unid.)	EOQ ajustado a cajas	Nivel de reorden (Unid.)	EOI (días)	Nivel máximo (Unid.)	Tiempo entre pedidos	Nivel máximo (Unid.)
098 Café molido	4,440	NS\$10.44	134	200	138	9	281		
099 Café soluble 1	4,440	NS\$8.74	146	156	86	10	257	3	137
100 Café soluble 2	64,380	NS\$9.72	528	540	1,239	3	1,982	2	1,734
101 Café soluble 3	28,860	NS\$11.19	329	336	556	4	1,000	2	777
102 Café soluble 4	57,720	NS\$11.80	453	488	1,111	3	1,777	2	1,554
103 Chocolate en barra	62,160	NS\$3.45	870	888	1,814	5	3,109	3	2,630
104 Chocolate en polvo 1	44,400	NS\$5.95	560	576	1,367	4	2,050	3	1,879
105 Chocolate en polvo 2	84,360	NS\$3.55	999	1,032	1,623	4	2,921	2	2,272
106 Chocolate en polvo 3	37,740	NS\$3.55	668	696	727	6	1,598	2	1,017
107 Aceite para niños	17,760	NS\$6.69	334	348	547	6	957	2	726
108 Jugo para bebé 1	11,100	NS\$0.86	735	788	428	18	1,196	6	684
109 Jugo para bebé 2	18,980	NS\$0.85	991	1,008	769	14	1,845	8	1,230
110 Jugo para bebé 3	6,660	NS\$0.86	570	600	257	23	846	6	410
111 Jugo para bebé 4	15,540	NS\$0.85	876	912	599	16	1,555	6	957
112 Jugo para bebé 5	46,620	NS\$0.85	1,517	1,536	1,794	9	3,408	6	2,869
113 Pañal 1	4,440	NS\$13.39	118	130	291	8	428	4	359
114 Pañal 2	26,640	NS\$17.54	253	264	1,743	3	2,050	4	2,152
115 Puré para bebé 1	13,320	NS\$0.89	791	816	513	16	1,333	6	820
118 Puré para bebé 2	31,080	NS\$0.89	1,210	1,248	1,196	11	2,511	6	1,913
117 Puré para bebé 3	17,760	NS\$0.89	916	936	684	14	1,640	6	1,093
118 Shampoo para niños	57,720	NS\$4.56	729	744	1,777	4	2,665	2	2,360
119 Talco para niños	35,520	NS\$5.69	512	528	1,094	5	1,777	2	1,452
120 Toallitas para bebé	8,880	NS\$3.19	342	360	343	11	718	5	513
121 Jabón de tocador 1	341,880	NS\$0.97	3,846	3,936	10,520	4	15,780	2	13,976
122 Jabón de tocador 2	179,820	NS\$0.83	3,019	3,080	3,459	5	6,817	2	9,204
123 Jabón de tocador 3	126,540	NS\$1.23	2,078	2,112	4,868	5	7,301		
124 Gel fijador	22,200	NS\$5.87	399	408	513	6	1,025		
125 Crema dental 1	48,840	NS\$2.43	919	1,056	1,504	6	2,631	2	1,997
126 Crema dental 2	190,920	NS\$2.47	1,802	1,872	5,875	3	8,078	2	7,805
127 Toalla femenina 1	62,160	NS\$2.55	1,011	1,056	4,065	5	5,261	4	5,021
128 Toalla femenina 2	62,160	NS\$2.60	1,002	1,056	4,065	5	5,261	4	5,021
129 Shampoo	51,060	NS\$5.53	623	636	1,572	4	2,358	2	2,088

Tabla 4.7: Lote económico de compra e intervalo óptimo entre pedidos (continuación).

Producto	Demanda anual (Unid.)	Costo de mantener al inventario (\$ / Unid.)	Sistema Q			Sistema P		Pedidos conjuntos	
			EOQ (Unid.)	EOQ ajustado a cajas	Nivel de recorden (Unid.)	EOI (días)	Nivel máximo (Unid.)	Tiempo entre pedidos	Nivel máximo (Unid.)
130 Desodorante 1	33,300	NS3.48	638	720	769	6	1,538	4	1,281
131 Desodorante 2	33,300	NS4.27	572	600	769	5	1,410	4	1,281
132 Algodón	26,640	NS5.87	444	456	1,026	5	1,538	5	1,537
133 Crema 1	39,960	NS4.60	604	615	1,231	5	1,999		
134 Crema 2	26,640	NS5.81	439	460	1,435	5	1,948		
135 Crema 3	22,200	NS5.91	387	408	684	6	1,198	4	1,025
136 Crema 4	24,420	NS4.58	474	480	752	6	1,318	4	1,128
137 Pañuelos desechables	55,500	NS3.53	812	864	3,630	5	4,697	4	4,483
138 Bolsas para basura	97,680	NS5.84	838	870	1,879	3	3,007		
139 Cera para pisos	4,440	NS7.07	163	180	257	11	445	7	380
140 Detergente 1	39,960	NS13.23	356	360	769	3	1,231	2	1,076
141 Detergente 2	133,200	NS5.79	863	890	2,563	3	4,099	2	3,587
142 Detergente 3	210,900	NS6.06	1,209	1,220	6,490	2	8,113	2	8,622
143 Fibra lavatrastes	79,920	NS0.70	2,189	2,232	4,612	8	7,071	7	6,763
144 Jabón 1	377,400	NS1.31	3,474	3,500	7,259	3	11,613	2	10,161
145 Jabón 2	106,560	NS1.32	1,843	1,875	2,050	5	4,099	2	2,869
146 Lavapisos 1	175,380	NS3.17	1,523	1,545	5,397	3	7,421	3	7,420
147 Lavapisos 2	95,460	NS3.79	1,029	1,044	2,938	4	4,407	3	4,039
148 Lavatrastes	388,500	NS1.33	3,496	3,528	11,955	3	16,438	2	15,882
149 Limpiador en polvo	73,260	NS2.22	1,177	1,204	2,255	5	3,664	2	2,996
150 Papel higiénico	672,660	NS3.43	2,868	2,880	43,983	2	49,157		
151 Papel toalla para cocina	66,600	NS2.48	1,061	1,104	4,356	5	5,636	4	5,380
152 Pastilla para sanitario	128,760	NS1.49	1,907	1,950	3,963	5	6,439	3	5,448
153 Servilletas	170,940	NS3.22	1,493	1,512	11,178	3	13,150		
154 Suavizante 1	228,660	NS4.33	1,489	1,500	7,037	3	9,675	2	9,348
155 Suavizante 2	124,320	NS4.72	1,052	1,072	3,826	3	5,261	2	5,082
156 Maíz para palomitas	37,740	NS1.35	1,081	1,104	727	8	1,888	3	1,162
157 Pantimedias 1	4,440	NS17.85	103	300	172	7	291	3	239
158 Pantimedias 2	8,880	NS17.83	145	300	343	5	513	3	495
159 Pantimedias 3	11,100	NS17.83	162	300	428	5	641	3	620
160 Pantimedias 4	11,100	NS17.83	162	300	428	5	641	3	620
161 Papel aluminio	108,780	NS2.96	1,392	1,416	7,114	4	8,787	4	8,787

Tabla 4.7: Lote económico de compra e intervalo óptimo entre pedidos (continuación).

costo de capital y el costo de servicios del inventario se calcularon en función del costo de adquisición de cada producto, el costo de espacio está calculado en función de la capacidad por tarima de cada producto y el costo de riesgo es igual a la media promedio de cada artículo durante un año por su costo entre su demanda anual.

Debido a que la empresa realiza además pedidos conjuntos se obtuvo también intervalo óptimo entre pedidos (EOI) para los productos provenientes del mismo proveedor. En la tabla 4.7 se muestra el resultado para estos productos.

4.6.2. Resultados.

De entre las diferentes corridas del modelo de simulación bajo distintos sistemas de inventario, a continuación se exponen las más ilustrativas.

En la simulación número I, se empleó el tamaño de lote económico de la tabla 4.7, como se puede ver en los resultados, la aplicación directa del tamaño de lote económico proporciona resultados muy pobres. El experimento II se realizó con el sistema de inventario con intervalo óptimo entre pedidos, como se puede apreciar en la tabla 4.8, el nivel de servicio mejora notablemente, el costo promedio se reduce a la mitad mientras que la ocupación del almacén aumenta. Los costos de mantenimiento del inventario aumentan pero al elevar el nivel de servicio se reducen los costos de penalización por faltantes.

En el experimento III, se realizaron algunas modificaciones a los tamaños económicos de lote para reducir los faltantes (en el anexo F se muestran los valores para este sistema de inventario). Bajo estas alteraciones se alcanza un mejor servicio pero el costo sigue siendo bastante alto.

El experimento número IV se realizó con el intervalo óptimo entre pedidos para pedidos conjuntos que se muestran en la tabla 4.7, los productos provenientes de un sólo proveedor se manejaron con el sistema Q del experimento III. Se alcanza

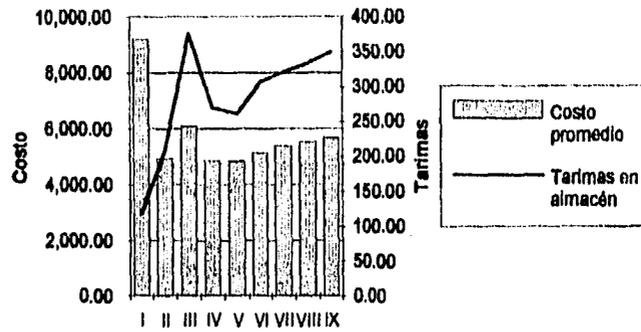


Figura 4.9: Resultados de la experimentación sin paros por faltantes

	Nivel de servicio 1		Nivel de servicio 2		Costo promedio		Tarimas en almacén		Número máximo de tarimas
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	
I	18.94	16.35	17.03	16.71	9,194.81	5,508.68	118.23	16.14	205
II	98.20	2.28	98.06	2.36	4,925.96	485.46	206.68	30.49	291
III	100.00	0.00	100.00	0.00	6,078.39	321.87	375.71	38.13	493
IV	100.00	0.02	99.86	0.07	4,843.34	381.59	269.48	37.58	399
V	99.98	0.05	99.29	1.20	4,824.03	454.38	261.84	37.98	338
VI	100.00	0.00	99.99	0.03	5,130.87	379.40	306.73	40.19	421
VII	100.00	0.01	100.00	0.01	5,371.46	443.09	320.51	44.53	436
VIII	100.00	0.02	100.00	0.02	5,524.53	413.37	334.06	40.50	434
IX	100.00	0.00	100.00	0.00	5,678.35	410.05	349.60	34.54	464

	Despensas totales	Horas de producción de tenida	Costo de mantener el inventario	Costo de ordenar	Costo de penalización por faltantes	Costo total
I	82,697	0.00	293,254.73	25,118.07	363,158.57	N\$681,527.37
II	83,097	0.00	394,033.28	33,128.18	60,122.64	N\$487,284.08
III	83,146	0.00	562,749.07	31,971.63	13,125.03	N\$607,845.73
IV	83,053	0.00	436,768.23	22,189.33	25,397.90	N\$484,335.46
V	83,089	0.00	425,847.88	25,818.69	30,740.89	N\$482,407.44
VI	83,178	0.00	485,297.87	18,085.02	9,711.19	N\$513,094.08
VII	83,181	0.00	508,759.29	18,064.06	10,322.06	N\$537,145.41
VIII	83,203	0.00	522,790.66	12,964.52	16,881.01	N\$552,446.39
IX	83,145	0.00	542,106.57	14,005.50	11,527.88	N\$587,639.05

Tabla 4.8: Resultados de la experimentación sin paros por faltantes

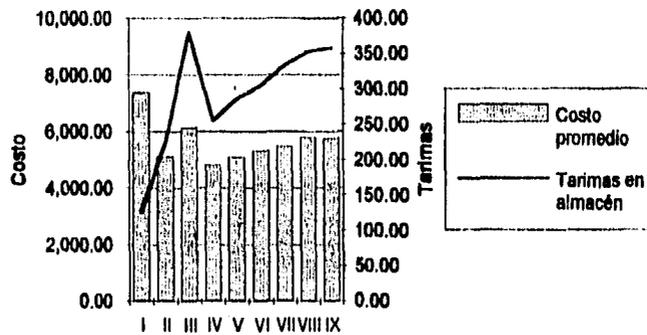


Figura 4.10: Resultados de la experimentación con paros por faltantes

	Nivel de servicio 1		Nivel de servicio 2		Costo promedio		Tarimas en almacén		Número máximo de tarimas
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	
I	100	0	100	0	7,365.82	128.97	128.97	21.03	212
II	100	0	100	0	5,096.72	452.17	225.17	28.63	308
III	100	0	100	0	6,118.78	331.64	379.47	34.24	458
IV	100	0	100	0	4,803.68	508.47	255.07	35.20	341
V	100	0	100	0	5,085.43	628.49	285.62	52.40	406
VI	100	0	100	0	5,308.94	617.99	304.97	40.32	394
VII	100	0	100	0	5,455.14	359.36	333.33	40.34	426
VIII	100	0	100	0	5,789.57	509.59	353.32	47.22	522
IX	100	0	100	0	6,750.47	370.47	358.20	38.52	468

	Despensas totales	Horas de producción detenida	Costo de mantener el inventario	Costo de ordenar	Costo de penalización por faltantes	Costo total
I	44,281	442.46	320,049.23	27,485.12	389,054.94	N\$736,589.29
II	78,414	53.25	410,533.06	33,470.94	65,670.44	N\$509,674.44
III	81,435	19.96	565,419.37	32,034.52	14,429.28	N\$611,883.17
IV	73,729	108.79	412,700.83	25,381.06	42,289.65	N\$480,371.54
V	83,089	115.42	439,157.51	25,407.29	43,983.00	N\$508,547.80
VI	77,273	67.68	490,098.97	18,018.62	22,780.17	N\$530,897.76
VII	81,543	19.00	518,582.44	18,088.53	8,842.23	N\$545,513.20
VIII	77,433	66.17	541,345.76	12,901.62	24,713.49	N\$576,960.87
IX	83,014	2.36	560,423.16	13,287.13	1,336.88	N\$575,047.17

Tabla 4.9: Resultados de la experimentación con paros por faltantes

el objetivo de nivel de servicio 1 y se mejora el costo promedio en relación a la opción anterior.

En el experimento siguiente se tomó como base el anterior con los siguientes cambios: los sistemas P se redondearon a la semana inmediata superior. Los productos con clasificación AA se manejaron con el sistema Q pero de los productos provenientes del proveedor 230 sólo se establecieron bajo el sistema Q al papel higiénico clave 150 y las servilletas clave 153. Bajo este sistema se alcanza el objetivo de nivel de servicio pero el costo no es el más bajo y el nivel de servicio 2 no es el óptimo aunque es bastante aceptable.

Un sistema de inventarios más realista y adecuado a la forma de trabajar de la empresa se presenta en el experimento número VIII, donde se realizan pedidos conjuntos cada una, dos, tres o hasta cada cuatro semanas. Este sistema representa una opción muy interesante: los niveles de servicio están al 100% pero el costo no es el menor.

Aumentando los inventarios de seguridad del sistema anterior, en el experimento IX se logran nuevamente los objetivos, pero tanto el costo y la ocupación del almacén aumentan ligeramente.

Hasta este momento, las opciones más viables son los experimentos III, VII, VIII y IX. La opción VII es la más atractiva pero falta incorporar al modelo los paros por faltantes.

El objetivo de la empresa respecto al nivel de servicio obliga a tomar la opción de parar ante cualquier faltante. Cualquier otra opción que no detenga la producción impedirá a la empresa el logro de este objetivo. A continuación se realizan los mismos experimentos añadiendo esta política de paros al modelo de simulación.

La política de paros por faltantes oculta los agotamientos de inventario, así todos estos experimentos alcanzaron los niveles de servicio deseados pero no es

conveniente para la empresa seleccionar un sistema de inventarios donde ocurran paros continuos en producción. Los experimentos en los que se debe centrar la atención son los número III, VII, VIII y IX, ya que en la primera etapa de la experimentación alcanzaban los niveles de servicio meta. En la figura 4.11 se muestra la estructura de los costos de estas 4 opciones. En esta fase el costo de penalización por faltantes es resultado de las compras especiales.

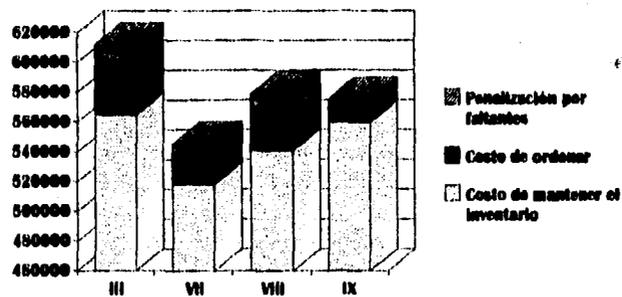


Figura 4.11: Estructura de los costos.

El experimento número VII reporta el menor costo promedio como resultado de una reducción del inventario en almacén. El sistema de inventario IX reduce al mínimo las compras especiales a cambio de mantener un mayor inventario en almacén mientras que la opción III reporta los mayores costos.

En resumen, el sistema de inventario que se propone es el descrito por la opción IX. A pesar de que los costos promedios son mayores a otros sistemas, la opción IX es la que más se acopla a la forma de trabajar de los proveedores de la empresa y de la Bodega. Esta opción además reporta los menores costos por paros en producción y por compras especiales.

En la tabla 4.10 se muestran los beneficios del sistema propuesto con los estimados del sistema actual.

Concepto	Sistema actual	Sistema propuesto	Diferencia
Nivel de servicio 1	84.00 %	100.00 %	19.05 %
Nivel de servicio 2	----	100.00%	----
Costo promedio	\$11,947.05	\$5,750.47	-51.86 %
Tarimas en almacén	619	468	-24.40 %
Horas de producción detenida	0.249	0.0236	-90.56 %

Tabla 4.10: Comparación entre el sistema actual y el propuesto.

La ocupación de almacén es una de las variables de más interés del sistema en este estudio y es notorio que en ninguna de las simulaciones se alcanzó a ocupar al almacén completamente, de hecho, la ocupación máxima fue de 522 tarimas (el 65.41% de la capacidad total del área de almacén).

4.7. Implementación de los resultados.

Para la implementación efectiva del sistema de inventarios propuesto se requiere tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Se requiere que la dirección se comprometa con el cambio y que todo el personal involucrado entienda completamente al nuevo sistema y las causas de su implantación. Es determinante su compromiso para alcanzar los objetivos de la compañía.
- Antes de su adopción total, el nuevo sistema se debe adoptar para algunos de los productos, buscando así posibles problemas no previstos.
- Durante un periodo inicial, los niveles de inventario van a ser mayores a los esperados. Esto se debe a que los productos con un nivel de inventario inferior

alcanzan rápidamente el nivel deseado mientras que los productos con inventarios excesivos requieren más tiempo para alcanzar el nivel establecido.

- La exactitud de los registros de inventario necesita mejorarse; para lograr esto se sugiere realizar conteos cíclicos en lugar de los conteos periódicos de fin de mes, los productos clasificados como AA se deberán contar una vez a la semana, los BB dos veces al mes y los CC una vez al mes. Este método implica el conteo de 12 productos diferentes cada día. Los productos clasificados bajo la categoría AA requieren de mayor atención por el departamento de compras y de producción.

El nivel de exactitud recomendado por APICS (*American Production and Inventory Control Society*) es del 0.2 por ciento para los artículos AA, 1 por ciento para los BB y del 5 por ciento para los productos CC.¹⁹ Pero estos niveles representan una meta bastante alta para la empresa Bodega, en su lugar se sugiere establecer metas más ecordes a la realidad de la empresa y conforme se vayan alcanzando estas metas se van estableciendo metas más altas.

- Se debe verificar periódicamente al sistema de inventario (cada tres bimestres), observar si se están alcanzando los objetivos establecidos y verificar posibles cambios en la demanda de los productos, en los tiempos de entrega de los proveedores, cambios en el proceso de elaboración de despensas, etcétera. También se requiere implantar un sistema de monitoreo y evaluación de los tiempos de entrega de los proveedores de la empresa Bodega y poder realizar así simulaciones más realistas sobre el sistema de inventario.

- Es recomendable establecer relaciones más estrechas con los proveedores para lograr tiempos de entrega menores y más confiables, de esta forma se podrían obtener reducciones substanciales en los inventarios y, por lo tanto, en los costos.

¹⁹ Ibidem, pp.678 a 679.

CONCLUSIONES

El manejo de los inventarios sin un análisis a fondo provoca los problemas que enfrenta la empresa objeto de este estudio. Esta mala gestión del inventario genera ineficiencias en el sistema productivo, un nivel de servicio deficiente, un aumento en los costos y un empleo inadecuado del espacio de almacén.

La empresa ha buscado formas de aminorar el impacto de los productos faltantes, ya sea mediante compras especiales, productos sustitutos o realizando paros en la elaboración de despensas, y a pesar de que estos esfuerzos representan un sacrificio para la empresa, únicamente solucionan este problema temporalmente.

Los inventarios representan una de las mayores inversiones de capital para la mayoría de las empresas y son determinantes en el logro de la operación eficiente de la planta y el nivel de servicio deseado. Además, mantener a los inventarios genera costos pero también el no tener suficiente inventario genera costos para la empresa.

El empleo de la simulación fue de gran importancia para la resolución de este problema. Aunque su elaboración requirió de bastante tiempo, la simulación probó ser una técnica muy poderosa. La experimentación directa sobre el sistema real es prohibitivamente riesgosa, requeriría de más tiempo y sus consecuencias serían bastante costosas. Un método analítico difícilmente proporcionaría los resultados obtenidos mediante la simulación debido en gran medida a las características tan especiales de la empresa.

Los resultados de la clasificación ABC de los productos manejados por la empresa llaman mucho la atención; cerca del 11 por ciento de los productos representan más del 52 por ciento del capital anual invertido en inventario

mientras que el 58 por ciento de los productos tan sólo representan el 15 por ciento.

El sistema de inventario propuesto tiene como meta lograr los objetivos de la empresa, cero faltantes y un costo bajo. No se puede asegurar que este sistema sea el óptimo pero presenta ventajas para su aplicación dentro de la empresa en cuestión. El propuesto es un sistema sencillo, transparente y operativamente similar al sistema empleado actualmente por la empresa, pero con bases más sólidas. Además, este sistema propuesto puede tomarse como punto de partida para futuras mejoras en el sistema de inventario.

La capacidad del almacén que inicialmente se calificó de limitada en relación a las necesidades de la empresa, probó ser la adecuada e incluso sobrada. Esa capacidad sobrada de almacenaje se podría aprovechar para otras actividades.

Llama la atención que el objetivo principal con respecto al nivel de servicio condujo a una notable reducción en los inventarios de la empresa en cuestión, sin ser este el objetivo principal del presente estudio. Lo anterior indica que la empresa maneja inventarios excesivos de algunos productos y para otros artículos mantiene inventarios más bajos a los necesarios, pero, en general, el inventario es más alto a lo requerido y, a pesar de ese exceso de inventario, no se alcanza un nivel de servicio aceptable.

En el modelo de simulación se hicieron varias suposiciones que no se pueden olvidar en el momento de comparar los resultados del sistema propuesto con el sistema real. Además, los resultados del sistema propuesto se deben considerar bajo ciertas reservas, sería muy ingenuo pensar que todo saldrá bien o de acuerdo a lo previsto. Pero estos resultados indican que con el sistema propuesto la empresa se está encaminando en la dirección correcta.

BIBLIOGRAFIA

- BALLAU, Ronald H., Logística Empresarial, Control y Planeación, Traducido por Ramón Pérez M., España, Ed. Díaz de Santos, 1991.
- CHASE, Richard B., y ALQUILANO, Nicholas J., Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Irwin, 1992, 6ª edición.
- COSS, Raúl, Simulación. Un Enfoque Práctico, México, Ed. Limusa, 1992, 7ª edición.
- GORDON, Geoffrey, System Simulation, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Prentice-Hall, 1969.
- HICKS, Philip E., Introducción a la Ingeniería Industrial y Ciencia de la Administración, México, Ed. Compañía Editorial Continental, 1980.
- HILLIER, Frederick S., y LIEBERMAN, Gerald J., Introducción a la Investigación de Operaciones, México, Ed. McGraw-Hill, 1990, 2ª edición.
- HOOVER, Stewart V., y PERRY, Ronald F., Simulation. A Problem Solving Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Addison-Wasley Publishing Company, 1990, 2ª edición.
- KHEIR, Naim A., Systems Modeling and Computer Simulation, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Marcel Dekker, 1988.
- KILLEEN, Louis M., Techniques of Inventory Management, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. American Management Association, 1969.
- PLOSSL, George W., Control de la Producción y de Inventarios. Principios y Técnicas, Traducido por Erick Alcántara G., México, Ed. Prentice-Hall, 1987, 2ª edición.
- SALVENDY, Gavriel, Handbook of Industrial Engineering, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Wiley-Interscience, 1982.
- STARR, Martin K., y MILLER, David W., Control de Inventarios: Teoría y Práctica, Traducido por José Luis Lepe S., México, Ed. Diana, 1975, 2ª edición.
- TERSINE, Richard J., Principles of Inventory and Materials Management, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. North Holland, 1988, 3ª edición.

WATSON, Hugh J., y BLACKSTONE, John H., Computer Simulation,
Singapore, Ed. John Wiley & Sons, 1989, 2° edición.

ZEIGLER, Bernard P., Theory of Modelling and Simulation, Estados Unidos
de Norteamérica, Ed. John Wiley & Sons, 1976.

ANEXO A

Calculo del inventario de seguridad.

El criterio de nivel de servicio es el de fracción de unidades demandadas. El desarrollo de los cálculos se basan en un sistema Q con tiempo de entrega constante, de tal forma que el nivel de reorden (R) es igual a la demanda promedio:¹

$$R = d_{\text{prom}} * LT + z * \sigma_L$$

donde:

R = Nivel de reorden en unidades.

d_{prom} = demanda diaria promedio.

LT = Tiempo de entrega (en días).

z = Número de desviaciones estándares para un nivel de servicio específico.

σ_L = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega.

El término $z * \sigma_L$ es el inventario de seguridad y entre más grande sea el inventario de seguridad más pronto se colocarán las órdenes de compra.

La demanda promedio durante el tiempo de entrega es realmente un estimado o pronóstico. La demanda diaria se puede pronosticar empleando alguna de las técnicas para tal propósito y la demanda diaria promedio es igual a:

$$d_{\text{prom}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

¹ Cfr CHASE, Richard B., y ALQUILANO, Nicholas J., Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Irwin, 1992, (6^{ta}), pp. 655-656.

El error de emplear d_{prom} para pronosticar la demanda futura es medida por la desviación estándar de los errores, la cual es:

$$\sigma_d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - d_{prom})^2}}{n}$$

Pero σ_d está referida a un solo día, si el tiempo de entrega se extiende por más de un día, se puede emplear la premisa de que la desviación estándar de una serie de observaciones independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las variancias. Eslo es, en general:

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^L \sigma_{d_i}^2}$$

Para calcular z se requiere obtener primero $E(z)$, que es el número de unidades faltantes de acuerdo al nivel de servicio deseado. Después se busca la z adecuada en una tabla de distribución normal con media igual a cero y desviación estándar igual a uno. Si σ_L es distinta de uno se multiplica $E(z)$ por σ_L .

Si se establece un nivel de servicio igual a P de tal forma que en el curso de un año el número de unidades faltantes es igual a $(1 - P) * D$ unidades donde D es la demanda anual. Si se ordenan EOQ unidades cada vez, durante un año se colocarán D / EOQ órdenes.

El número de unidades faltantes por orden, es $E(z) * \sigma_L$. Durante un año, el número de unidades faltantes es $E(z) * \sigma_L * D / EOQ$. Definido de otra forma:

Porcentaje de faltantes	x	Demanda anual	=	Número de faltantes por orden	x	Número de órdenes por año
(1 - P)	x	D	=	$E(z) * \sigma_L$	x	D / EOQ

Lo que se puede simplificar como:

$$E(z) = \frac{(1 - P) * EOQ}{\sigma_L}$$

En el caso de un sistema P, el inventario de seguridad se establece como:

$$\text{Inventario de seguridad} = z * \sigma_{T+L}$$

La desviación estándar de la demanda durante el período de revisión y el tiempo de entrega es igual a σ_{T+L} . El valor de z se puede obtener resolviendo la siguiente ecuación para E(z) donde T es igual al número de días entre revisiones del inventario. Finalmente se lee el valor correspondiente de una tabla de la distribución normal.

$$E(z) = \frac{d_{prom} * T * (1 - P)}{\sigma_{T+L}}$$

ANEXO B

Tamaño de Lote Económico con Descuentos.

Cada descuento requiere de un procedimiento diferente para obtener el tamaño de lote económico EOQ:¹

a. Descuento retroactivo:

En el descuento retroactivo se ofrecen al comprador j rangos de descuentos:

$$\begin{aligned} P_0 &\text{ para } 1 \leq Q < U_1, \\ P_1 &\text{ para } U_1 \leq Q < U_2, \dots \\ P_j &\text{ para } U_j \leq Q. \end{aligned}$$

La curva de costo total en este caso no es continua, de tal forma que el punto de menor costo total se encuentra en los puntos de discontinuidad o donde la derivada del costo total es igual a cero como lo determina el tamaño de lote económico EOQ. Para solucionar este problema se puede graficar el costo total contra el tamaño de lote y seleccionar el tamaño de lote con menor costo pero se recomienda el siguiente procedimiento:

1. Comenzando con el menor costo unitario, se calcula el tamaño de lote económico EOQ con cada costo unitario hasta obtener un EOQ válido.
2. Se calcula el costo total anual para el EOQ válido y para todas las cantidades mayores al EOQ válido donde se ofrece descuento (es decir, la menor cantidad en la que existe un nuevo descuento).
3. Se elige el tamaño de lote con menor costo total anual calculado en el paso número 2.

b. Descuento secuencial o "por exceso":

En este caso el descuento sólo se aplica a las unidades adicionales adquiridas de una cantidad fija. Para cada orden colocada, el precio unitario es:

¹ Cfr TERSINE, Richard J., Principles of Inventory and Material's Management, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. North Holland, 1968, (3^o), pp. 99 a 110.

P_0 para las primeras $U_1 - 1$ unidades,
 P_1 para las siguientes $U_2 - U_1$ unidades...
 P_j para cada unidad adicional de $U_j - 1$.

Si se define $M(Q)$ como el precio de compra si Q unidades son ordenadas, el costo se puede calcular recursivamente para cualquier tamaño de lote entre los límites, llamados cantidades de ruptura en el precio, ($U_j \leq Q < U_{j+1}$) mediante:

$$M(Q) = M(U_j - 1) + P_j * (Q - (U_j - 1))$$

$$M(Q) = M(U_j - 1) - P_j * (U_j - 1) + P_j * Q$$

El costo anual por año se puede expresar como:

$$CT_i(Q) = M(Q) * D / Q + D * S / Q + I * M(Q) / 2$$

$$CT_i(Q) = (S + M(U_j - 1) - P_j * (U_j - 1)) * D / Q + P_j * D + I / 2 * (M(U_j - 1) - P_j * (U_j - 1) + P_j * Q)$$

donde

$CT_i(Q)$ = Costo total anual del inventario

Q = Tamaño de cada pedido de reabastecimiento

D = Demanda anual (en unidades)

S = Costo de ordenar (pesos/pedido)

I = Costo de mantenimiento, como porcentaje anual (%)

El tamaño de lote económico es igual a:

$$EOQ_i = \sqrt{\frac{2 * D * (S + M(U_j - 1) - P_j * (U_j - 1))}{P_j * I}}$$

En este caso el mínimo costo total ocurre únicamente en el tamaño de lote económico EOQ válido. Un tamaño de lote económico EOQ para un rango de precio es válido si cae dentro del rango requerido para tal descuento. A continuación se presenta el procedimiento a seguir para determinar el tamaño de lote óptimo:

1. Calcular el EOQ para cada nivel de precio i .
2. Determinar que EOQ son válidos.
3. Calcular el costo total para cada EOQ válido.
4. Seleccionar el EOQ válido con el menor costo total.

ANEXO C.**Algunos Lenguajes de Simulación.**

Algunos de los principales lenguajes de simulación de propósito general se enlistan a continuación junto con sus principales características:¹

CSMP (*Continuous System Modeling Program*)

Fue desarrollado para resolver sistemas con ecuaciones diferenciales de primer orden. El lenguaje CSMP III sólo está disponible para computadoras IBM 360 y 370. Tiene gran flexibilidad, alta adaptabilidad y emplea siete técnicas de integración numérica. Dos versiones posteriores con características extendidas son el ACSL (*Advanced Simulation Language*) y el DARE-P (*Differential Analyses Replacement Evaluation*).

DYNAMO

Trata problemas que tienen énfasis en los aspectos estructurales del modelo del sistema. El DYNAMO fue desarrollado para brindar un vehículo para analizar modelos de dinámicas de industrias (*industrial dynamics*). Este lenguaje emplea un mecanismo de avance de tiempo de incremento fijo y el algoritmo de integración es del tipo de Euler.

GASP (*General Activity Simulation Program*)

Provee una estructura organizacional que permite escribir descripciones del sistema en términos de modelos discretos, continuos o la combinación de los dos. Originalmente trataba modelos discretos únicamente. Esta estructura específica

¹ Cfr SALVENDY, Gavriel, *Handbook of Industrial Engineering*, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Wiley-Interscience, 1962, (1^o), p. 11.4.17.

procedimientos para escribir ecuaciones diferenciales así como métodos para definir las condiciones lógicas que afectan las variables de estado del sistema.

GEMS (*General Equation Modeling System*)

Desarrollado en la universidad de Connecticut, es un lenguaje de simulación de sistemas continuos, provee una forma simple y conveniente de formular modelos matemáticos complejos.

GPSS (*General Purpose Simulation System*)

El principal atractivo del GPSS es su simplicidad en el modelado. Un modelo en GPSS se construye combinando un conjunto de bloques estándares en un diagrama de bloques que define la estructura lógica del sistema. Las entidades dinámicas se representan como transacciones que se mueven secuencialmente de bloque en bloque conforme procede la simulación.

Q-GERT

Es un lenguaje de simulación orientado a redes. Las letras GERT significan *Graphical Evaluation and Review Technique*, la 'Q' indica que los sistemas de colas (*Queueing Systems*) pueden ser modelados en la forma gráfica. Q-GERT es de fácil aprendizaje y brinda funciones para la generación de variables aleatorias comúnmente empleadas.

SIMSCRIPT

Este lenguaje fue desarrollado originalmente por la RAND Corporation. Uno de sus principales atractivos es su sintaxis similar al Inglés y libre de forma. Puede emplearse para simular modelos discretos, continuos o combinados. Su

capacidad de animación permite visualizar al sistema mientras se corre la simulación.

SIMULA

A pesar de su nombre, SIMULA es realmente un lenguaje de programación de propósito general. Las instrucciones tienen la forma de declaraciones de ALGOL y el concepto de clases de sistema define un conjunto de características de interés especial en ciertas áreas de aplicación.

SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling)

Slam es un lenguaje de simulación de modelos discretos y continuos basado en redes. SLAM se desarrolló a partir de GASP e incorpora las características de orientación a procesos del Q-GERT. El mayor atractivo de este lenguaje es su poder de combinar diferentes entornos y la gran flexibilidad que ofrece.

ANEXO D.

Listado del Programa de Simulación.

```

PROGRAM SIMULACION_INVENTARIOS;
($R-S)
USES DATA,GRAPH,CRT;
VAR
D
:REGISTRO1;
PR
:PROCEDIMIENTO;
I,J,K,N,CLAVEX,OPC,OPC1,XDIA,
DIA,NDIA,TF,DDIA,BLOQUE
:INTEGER;
TPO,RND,TOTDIST,T,TPAR
,COSTMAN,COSTFALT,COSTTOT :REAL;
TOTDESP,TOTFALT,TOTCOMP :LONGINT;
DESPFALT,DESPCOMP,SIM,
PRODUCE,COMPLETO
:BOOLEAN;
GRUPO
:CLAVES;
FALTANTE
:ARRAY [0..161,1..4] OF LONGINT;
PEDIDO
:ARRAY [1..161,1..8] OF REAL;
COSTO
:ARRAY [1..8] OF REAL;
ESPECIAL
:ARRAY [0..7,1..2] OF REAL;
RESULTADO
:ARRAY [0..4,1..20] OF REAL;

PROCEDURE MARCO(X1,Y1,X2,Y2,C1,C2:INTEGER;TEXT0:STRING);
VAR I:INTEGER;
BEGIN
WINDOW(X1-1,Y1,X1,Y2-1);
TEXTBACKGROUND(C1);TEXTCOLOR(C2);CLRSCR;
WINDOW(X1,Y1,X2,Y2-1);
CLRSCR;
FOR I:=1 TO X2-X1 DO
BEGIN
GOTOXY(I,1);WRITE(I);GOTOXY(I,Y2-Y1);WRITE(A);
END;
FOR I:=1 TO Y2-Y1 DO
BEGIN
GOTOXY(1,I);WRITE(I);GOTOXY(X2-X1,I);WRITE(I);
END;
GOTOXY(1,1);WRITE(B);GOTOXY(1,Y2-Y1);WRITE(A);
GOTOXY(X2-X1,1);WRITE(B);GOTOXY(X2-X1,Y2-Y1);WRITE(U);
GOTOXY(X2-X1-LENGTH(TEXT0)-8,1);WRITE(T,TEXT0,T);
END;

PROCEDURE TEXTO(LEY1,LEY2:STRING;NUMERO:REAL;ESP1,ESP2,X,X,Y:INTEGER);
VAR TEXT:STRING[35];
BEGIN
STR(NUMERO:8:ESP1,TEXT);
OUTTEXTXY(X,X,Y,LEY1);
OUTTEXTXY(X,X+ESP2,Y,TEXT+' '+LEY2);
END;(TEXT0)

PROCEDURE GRAFICO;
VAR XG,YG:REAL;
TEXT:STRING[30];
KL,JL:LONGINT;
BEGIN
RESET(REG_INV);
SETLINESYLE(0,0,1);SETCOLOR(7);
SETLINESYLE(0,0,3);SETCOLOR(12);
LINE(20,10,20,400);LINE(20,10,17,15);LINE(20,10,23,15);
LINE(20,400,630,400);LINE(630,400,625,403);LINE(630,400,625,397);
SETFILLSTYLE(1,7);BAR(18,417,422,478);
SETFILLSTYLE(1,1);BAR(20,419,620,428);
SETLINESYLE(1,1,1);SETCOLOR(7);

```

```

FOR N=0 TO 9 DO LINE(20,20+38*N,620,20+38*N);
FOR N=1 TO 10 DO LINE(20+60*N,20,20+60*N,400);
SETLINESTYLE(0,0,3);SETCOLOR(15);
TEXTO('Tiempo ', 'dias', DIA, 0, 25, 500, 406);
JL:=0;
KL:=500;
IF CLAVEX=183 THEN CLAVEX=0;
REPEAT
  JL:=JL+500;
  IF QMAX.PDTC[CLAVEX]<JL THEN KL:=JL;
UNTIL QMAX.PDTC[CLAVEX]<JL;
IF QMAX.PDTC[CLAVEX]<100 THEN KL:=100;
STR(KL,TEXT);
OUTTEXTXY(25,10,TEXT);
IF (CLAVEX>0) AND (CLAVEX<182) THEN
BEGIN
  OUTTEXTXY(5,15,'U');
  SETLINESTYLE(3,0,3);SETCOLOR(1);
  READ(REG_INV,R_INV);
  YG:=INV[CLAVEX,4]*KL;
  LINE(20,400-ROUND(360*YG),620,400-ROUND(360*YG));
  LINE(300,432,317,432);
  SETCOLOR(15);
  OUTTEXTXY(30,420,ARTICULO: '+COPY(DESCRIPCION[CLAVEX],3,30));
  TEXTO('CLAVE:', ' ', CLAVEX, 0, 50, 320, 420);
  OUTTEXTXY(500,420,CLASE: '+COPY(DESCRIPCION[CLAVEX],1,1));
  SETCOLOR(0);
  TEXTO('INVENTARIO MAXIMO', 'Unid.', QMAX.PDTC[CLAVEX], 0, 160, 30, 430);
  TEXTO('INVENTARIO PROMEDIO', 'Unid.', INV[CLAVEX, 4], 2, 200, 320, 430);
  TEXTO('CLAVE PROVEEDOR', ' ', PROV[CLAVEX], 10, 0, 160, 30, 460);
  TEXTO('TIEMPO DE ENTREGA', 'dias', TPO_ENT[PROV[CLAVEX], 1], 2, 160, 30, 460);
  TEXTO('RETASO MAXIMO', 'dias', TPO_ENT[PROV[CLAVEX], 2], 2, 160, 30, 470);
  TEXTO('FALTANTES', 'Unid.', FALTANTE[CLAVEX, 1], 0, 200, 320, 450);
  TEXTO('SUSTITUTOS', 'Unid.', FALTANTE[CLAVEX, 2], 0, 200, 320, 460);
  TEXTO('DEMANDA PROMEDIO', 'Unid.', ALMACEN[CLAVEX, 3], 0, 200, 320, 470);
  IF INV[CLAVEX, 1]=1 THEN
  BEGIN
    TEXTO('CANTIDAD FIJA', 'Unid.', INV[CLAVEX, 2], 0, 160, 30, 440);
    TEXTO('NIVEL DE REORDEN', 'Unid.', INV[CLAVEX, 3], 0, 200, 320, 440);
  END
  ELSE
  BEGIN
    TEXTO('TIEMPO FIJO', 'Dias', INV[CLAVEX, 2], 0, 160, 30, 440);
    TEXTO('NIVEL MAXIMO', 'Unid.', INV[CLAVEX, 3], 0, 200, 320, 440);
    SETLINESTYLE(1,0,3);SETCOLOR(3);
    XG:=20-2*XDIA*600/DIA;
    WHILE XG<610 DO
    BEGIN
      XG:=XG+INV[CLAVEX, 2]*600/DIA;
      IF (XG>20) AND (XG<=600) THEN
        LINE(ROUND(XG), 20, ROUND(XG), 400);
    END;
    LINE(300, 442, 317, 442);
  END;
  SETLINESTYLE(1,0,3);SETCOLOR(10);
  YG:=INV[CLAVEX, 3]*KL;
  IF INV[CLAVEX, 3]<KL THEN LINE(20, 400-ROUND(360*YG), 620, 400-ROUND(360*YG));
  LINE(300, 442, 317, 442);
  SETLINESTYLE(0,0,3);SETCOLOR(15);
END
ELSE
IF CLAVEX=0 THEN
BEGIN
  SETLINESTYLE(0,0,3);SETCOLOR(15);
  OUTTEXTXY(3,15,'T');
  OUTTEXTXY(240,420, 'TARIMAS EN ALMACEN');
  SETCOLOR(0);
  TEXTO('NUMERO MAXIMO DE TARIMAS', ' ', QMAX.PDTC[0], 0, 200, 30, 440);
  TEXTO('TARIMAS PROMEDIO', ' ', INV[0, 4], 2, 200, 30, 460);

```

```

TEXT0(PORCENTAJE,'%',QMAX.PDTC0)/798*100,2,100,320,440);
TEXT0(PORCENTAJE,'%',INV[0,4]/798*100,2,100,320,460);
READ(REG_INV,R_INV);
END
ELSE
IF CLAVEX=162 THEN
BEGIN
SETLINESTYLE(0,0,3);SETCOLOR(15);
OUTTEXTXY(3,15,'D. ');
OUTTEXTXY(240,420,' PRODUCCION DE DESPENSAS');
SETCOLOR(0);
TEXT0('PRODUCCION MAXIMA','DESP.',QMAX.PDTC0(CLAVEX),0,200,20,440);
TEXT0('PRODUCCION PROMEDIO','DESP.',TOTDESP/DIA,2,200,20,460);
TEXT0('PRODUCCION TOTAL','DESP.',TOTDESP,0,200,320,440);
TEXT0('PRODUCCION DETENIDA','DIAS',TPAR/8.5,2,200,320,460);
READ(REG_INV,R_INV);
END;
XG:=20;SETCOLOR(15);
YG:=R_INV.PDTC0(CLAVEX)/KL;
MOVETO(20,400-ROUND(YG*360));
WHILE NOT EOF(REG_INV) DO
BEGIN
READ(REG_INV,R_INV);
YG:=R_INV.PDTC0(CLAVEX)/KL;
LINETO(ROUND(XG),400-ROUND(YG*360));
XG:=XG+600/(DIA);
LINETO(ROUND(XG),400-ROUND(YG*360));
END;
CLOSE(REG_INV);
END;(GRAFICO)

PROCEDURE PRODUCE_COMPLETO;
VAR L1:INTEGER;
BEGIN
L1:=0;
RND:=0;
REPEAT
RND:=RND+0.00957+0.003831*RANDOM;
L1:=L1+1;
UNTIL (RND>1) OR (ROUND(T/NDIA)>9.5);
DDIA:=DDIA+L1;
R_INV.PDTC0:=0;
FOR N:=1 TO TOTPDTC DO
INV[N,0]:=INV[N,0]-ROUND(ALMACEN[N,3]/845.5*L1+0.49); (845.5=9.5*89 DESP/HR)
T:=T+1;
RESULTADO[2,BLOQUE]:=RESULTADO[2,BLOQUE]+L1;
END;(PRODUCE_COMPLETO)

PROCEDURE GENERA_REM;
VAR DIST,N,L1,L2,LM,CODE:INTEGER;
MAX:REAL;
BEGIN
RESET(DATOS);
N:=1;
DDIA:=DDIA+1;
R_INV.PDTC0:=0;
WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
READ(DATOS,D);
RND:=RANDOM(100);
DIST:=15;
I:=0;
IF RND<D.DIST[0] THEN
DIST:=0
ELSE
REPEAT
IF (RND>=D.DIST[I]) AND (RND<D.DIST[I+1]) THEN
BEGIN
DIST:=I;

```

```

I:=14;
END;
I:=I+1;
UNTIL (I=15);
IF INV[N,0]-DIST<0 THEN
BEGIN
IF D.SUSTITUTO<>' THEN
BEGIN
MAX:=0;LM:=0;
VAL(COPY(D.SUSTITUTO,1,3),L1,CODE);
VAL(COPY(D.SUSTITUTO,5,7),L2,CODE);
FOR I:=L1 TO L2 DO
IF INV[I,0]>MAX THEN
BEGIN
MAX:=INV[I,0];
LM:=I;
END;
IF (INV[LM,0]-DIST>0) AND (LM>0) THEN
BEGIN
INV[LM,0]:=INV[LM,0]-DIST;
FALTANTE[N,2]:=FALTANTE[N,2]+DIST;
DESPCOMP:=FALSE;
END;
END;
IF LM=0 THEN
BEGIN
FALTANTE[N,1]:=FALTANTE[N,1]+DIST;
FALTANTE[N,3]:=FALTANTE[N,3]+DIST;
IF NOT(DESPFALT) THEN
BEGIN
RESULTADO[1,BLOQUE]:=RESULTADO[1,BLOQUE]+1;
DESPFALT:=TRUE;
DESPCOMP:=FALSE;
END;
END;
END;
ELSE
INV[N,0]:=INV[N,0]-DIST;
N:=N+1;
END;
IF DESPCOMP THEN RESULTADO[2,BLOQUE]:=RESULTADO[2,BLOQUE]+1;
CLOSE(DATOS);
END;(GENERA_REM);

PROCEDURE GENERA_PEDIDO(F,G:INTEGER);
BEGIN
IF G=1 THEN
RND:=0
ELSE
IF G=3 THEN
RND:=PEDIDO(F,1)
ELSE
IF G=5 THEN
RND:=PEDIDO(F,1)+PEDIDO(F,3)
ELSE
RND:=PEDIDO(F,1)+PEDIDO(F,3)+PEDIDO(F,5);
IF INV[F,3]-INV[F,0]-RND>0 THEN
BEGIN
PEDIDO(F,G):=ROUND((INV[F,3]-INV[F,0]-RND)/INV[F,5]+0.40)*INV[F,5];
COSTO[5]:=COSTO[5]+0.877;
RESULTADO[3,BLOQUE]:=RESULTADO[3,BLOQUE]+0.877;
GRUPO:=GRUPO+F;
END;
END;(GENERA_PEDIDO)

PROCEDURE VERIFICA_INV;
BEGIN
GRUPO:=[];
FOR J:=1 TO TOTPDTO DO

```

```

BEGIN
  RND:=ROUND(ALMACEN[J,2]*RANDOM*0.5); {DESCONTAR MERMA}
  IF (INV[J,0]-RND>0) AND (RND>0) THEN
    BEGIN
      INV[J,0]:=INV[J,0]-RND;
      COSTO[4]:=COSTO[4]+RND*INV[J,8];
      RESULTADO[3,BLOQUE]:=RESULTADO[3,BLOQUE]+RND*INV[J,8];
    END;
  RND:=ROUND(FALTANTE[J,4]/18500*DDIA);
  IF INV[J,0]-RND=0 THEN {DESCONTAR FALTANTES MES ANTERIOR}
    INV[J,0]:=INV[J,0]-RND
  ELSE
    FALTANTE[J,3]:=FALTANTE[J,3]+ROUND(RND);
  END;
  FOR J:=1 TO TOTPDTO DO
    IF NOT(J IN GRUPO) THEN
      BEGIN
        IF (INV[J,1]=1) AND (INV[J,0]<INV[J,3]) AND (PEDIDO[J,1]=0) THEN
          BEGIN
            PEDIDO[J,1]:=INV[J,2];
            PEDIDO[J,2]:=T*(TPO_ENT[PROV[J],1]+TPO_ENT[PROV[J],2]*RANDOM)*9.5;
            COSTO[5]:=COSTO[5]+20.965;
            RESULTADO[3,BLOQUE]:=RESULTADO[3,BLOQUE]+20.965; {20 965 COSTO DE ORDENAR}
          END
        ELSE
          IF (NDIA MOD ROUND(INV[J,2])=0) AND (INV[J,1]=2) AND (PEDIDO[J,5]=0) THEN
            BEGIN
              IF PEDIDO[J,1]=0 THEN N:=1
              ELSE
                IF PEDIDO[J,3]=0 THEN N:=3
                ELSE
                  IF PEDIDO[J,5]=0 THEN N:=5
                  ELSE
                    N:=7;
              GENERA_PEDIDO(J,N);
              PEDIDO[J,N+1]:=T*(TPO_ENT[PROV[J],1]+TPO_ENT[PROV[J],2]*RANDOM)*9.5;
              IF J<181 THEN
                FOR K:=J+1 TO 181 DO
                  IF (K IN CONJVE[ROUND(PROV[J],1)]) AND (INV[K,1]=2) THEN
                    BEGIN
                      GENERA_PEDIDO(K,N);
                      PEDIDO[K,N+1]:=PEDIDO[J,N+1];
                    END;
                  COSTO[5]:=COSTO[5]+20.088;
                  RESULTADO[3,BLOQUE]:=RESULTADO[3,BLOQUE]+20.088; {$20.088 POR ORDEN+$0.677 POR PDTO}
                END;
              END;
            END;
          VERIFICA_INV
        END;
      BEGIN
        PROCEDURE LIMPIA;
        BEGIN
          TOTFALT:=0;
          TOTCOMP:=0;
          TPAR:=0;
          T:=0;
          BLOQUE:=1;
          FOR J:=0 TO 7 DO
            BEGIN
              ESPECIAL[J,1]:=0;
              ESPECIAL[J,2]:=0;
              COSTO[J]:=0;
            END;
          FOR J:=1 TO 4 DO
            FOR I:=1 TO 20 DO
              RESULTADO[J,I]:=0;
              FALTANTE[0,1]:=0;
              FALTANTE[0,2]:=0;
              FALTANTE[0,4]:=0;
              OMAX.PDTO[0]:=0;
            END;
          END;
        END;
      END;
    END;
  END;

```

```

FOR N:=1 TO 161 DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    PEDIDO(N,J):=0;
    FALTANTE(N,J):=0;
  END;
  FOR J:=5 TO 8 DO
  PEDIDO(N,J):=0;
  QMAX.PDTON:=0;
  INV(N,4):=0;
  END;
  TOTDESP:=0;
  PRODUCE:=TRUE;
END;(LIMPIA)

PROCEDURE ESTADISTICA;
BEGIN
  MARCO(5,5,76,20,1,15,'RESULTADOS GLOBALES');
  COSTFALT:=3.65*TOTFALT+184.21*TPAR+COSTO(8);
  GOTOXY(7,3);WRITELN('TOTAL DESPENSAS      -> ',TOTDESP);
  GOTOXY(7,4);WRITELN('TOTAL FALTANTES      -> ',FALTANTE(0,1),' Unid. ');
  GOTOXY(7,5);WRITELN('TOTAL SUSTITUTOS     -> ',FALTANTE(0,2),' Unid. ');
  GOTOXY(7,6);WRITELN('TOTAL DESPENSAS CON FALTANTES -> ',TOTFALT);
  GOTOXY(7,7);WRITELN('TOTAL DESPENSAS COMPLETAS -> ',TOTCOMP);
  GOTOXY(7,8);WRITELN('TIEMPO DE PRODUCCION DETENIDA -> ',TPAR/2.2,' Hrs. =',TPAR/8.5/2.2,' Dias');
  GOTOXY(7,10);WRITELN('NIVEL DE SERVICIO 1   -> ',100-(TOTFALT/TOTDESP)*100/4.2,'%');
  GOTOXY(7,11);WRITELN('NIVEL DE SERVICIO 2   -> ',TOTCOMP/TOTDESP*100/4.2,'%');
  GOTOXY(7,12);WRITELN('COSTO PROMEDIO        -> $ ',(COSTMAN+COSTO(5)+COSTFALT)/QMA:2.2);
  GOTOXY(7,13);WRITELN('TARIMAS EN ALMACEN PROMEDIO -> ',INV(0,4)/2.2,' Tarimas');
  READLN(D.CLASE);
  MARCO(5,4,76,23,1,15,'RESULTADOS GLOBALES');
  GOTOXY(28,2);WRITELN('DESARROLLO DE LOS COSTOS);
  GOTOXY(5,3);WRITELN('COSTO DE ESPACIO     -> $ ',COSTO(1)/10.2);
  GOTOXY(5,4);WRITELN('COSTO DE CAPITAL     -> $ ',COSTO(2)/10.2);
  GOTOXY(5,5);WRITELN('COSTO DE SERVICIOS   -> $ ',COSTO(3)/10.2);
  GOTOXY(5,6);WRITELN('COSTO DE RIESGO      -> $ ',COSTO(4)/10.2);
  GOTOXY(5,7);WRITELN('COSTO DE MANTENER INVENTARIO -> $ ',COSTMAN/10.2);
  GOTOXY(5,7);WRITELN('COSTMAN(COSTMAN+COSTO(5)+COSTFALT)*100/8.2; %');
  GOTOXY(5,9);WRITELN('COSTO DE ORDENAR     -> $ ',COSTO(5)/10.2);
  GOTOXY(5,9);WRITELN('COSTO(5)(COSTMAN+COSTO(5)+COSTFALT)*100/8.2; %');
  GOTOXY(5,11);WRITELN('COSTO CANCELACIONES -> $ ',3.2*TOTFALT/10.2);
  GOTOXY(5,12);WRITELN('COSTO POR PAROS     -> $ ',184.21*TPAR/10.2);
  GOTOXY(5,13);WRITELN('COSTO ADMINISTRATIVO -> $ ',0.35*TOTFALT/10.2);
  GOTOXY(5,14);WRITELN('COMPRAS ESPECIALES  -> $ ',COSTO(6)/10.2);
  GOTOXY(5,15);WRITELN('PENALIZACION POR FALTANTES -> $ ',COSTFALT/10.2);
  GOTOXY(8,15);WRITELN('COSTFALT/(COSTMAN+COSTO(5)+COSTFALT)*100/8.2; %');
  TEXTBACKGROUND(7);TEXTCOLOR(0);
  FOR I:=2 TO 70 DO
  BEGIN
    GOTOXY(I,17);WRITELN(' ');
  END;
  GOTOXY(9,17);WRITELN(' COSTO TOTAL      -> $ ',COSTMAN+COSTO(5)+COSTFALT/10.2);
  GOTDXY(80,17);WRITELN('100.001/8.2; %');
  READLN;
  WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
  MARCO(5,4,76,20,3,1,'RESULTADOS GLOBALES');
  GOTOXY(2,2);WRITELN('9;INVENTARIO:17;INVENTARIO:17;UNIDADES:18);
  GOTOXY(2,3);WRITELN('CLAVE:9; PROMEDIO:17; MAXIMO:17;FALTANTES:18);
  WINDOW(6,7,74,18);TEXTBACKGROUND(1);CLRSCR;
  TEXTCOLOR(15);
  GOTOXY(1,1);
  FOR N:=1 TO TOTPDTON DO
  BEGIN
    WRITELN(N,8,INV(N,4)/17.2,QMAX.PDTON/16,FALTANTE(N,1)/18);
    IF N MOD 10 = 0 THEN READLN;
  END;
  IF N MOD 10 <> 0 THEN READLN;
  WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;

```

END,(ESTADISTICA)

PROCEDURE COMPRA_ESP;

BEGIN

K:=0;

IF (ESPECIAL{0,2}<2.5) THEN

REPEAT

K:=K+1;

IF ESPECIAL{K,1}=0 THEN

BEGIN

ESPECIAL{K,1}:=J;

ESPECIAL{K,2}:=ALMACEN{J,3}-INV{J,0};

ESPECIAL{0,2}:=ESPECIAL{0,2}+ESPECIAL{K,2}/ALMACEN{K,1};

COSTO{6}:=COSTO{6}+ESPECIAL{K,2}*0.20*INV{J,6};

RESULTADO{3,BLOQUE}:=RESULTADO{3,BLOQUE}+ESPECIAL{K,2}*0.20*INV{J,6};

END;

UNTIL (K=7) OR (ESPECIAL{K,1}=J);

END;

PROCEDURE SIMULA;

BEGIN

DIA:=DIA*XDIA;

PR.INICIALIZA;

LMPA;

TEXTCOLOR(15);TEXTBACKGROUND(4);

WINDOW(30,12,40,15);CLRSCR;

GOTOXY(2,2),WRITE("");GOTOXY(19,2),WRITE("");GOTOXY(2,3),WRITE("");GOTOXY(19,3),WRITE("");

GOTOXY(2,1),WRITE('AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA');GOTOXY(2,4),WRITE('AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA');

GOTOXY(6,2),WRITELN('ESPERE...');

TEXTCOLOR(0);

REWRITE(REG_INV);WRITE(REG_INV,R_INV);

FOR NDIA:=1 TO DIA+2*XDIA DO

BEGIN

DDIA:=0;

R_INV.PDTC{0}:=0;

ESPECIAL{0,1}:=T+2*5*RANDOM;

IF ESPECIAL{0,2}=0 THEN (PEDIDO ESPECIAL)

BEGIN

FOR J:=1 TO TOTPDTC DO

IF (COPY(DESCRIPCION{J,1,1})='A') AND (INV{J,0}<ALMACEN{J,3}) THEN COMPRA_ESP;

FOR J:=1 TO TOTPDTC DO

IF (COPY(DESCRIPCION{J,1,1})='A') AND (INV{J,0}<ALMACEN{J,3}) THEN COMPRA_ESP;

END;

REPEAT

DESPFALT:=FALSE;

DESPCOMP:=TRUE;

PRODUCE:=TRUE;

COMPLETO:=TRUE;

TF:=0;

FOR J:=1 TO TOTPDTC DO

BEGIN

IF (INV{J,1}>1) AND (T>=PEDIDO{J,4}) AND (PEDIDO{J,4}>0) THEN

BEGIN

INV{J,0}:=INV{J,0}+PEDIDO{J,3};

PEDIDO{J,3}:=PEDIDO{J,5};

PEDIDO{J,4}:=PEDIDO{J,6};

PEDIDO{J,5}:=PEDIDO{J,7};

PEDIDO{J,6}:=PEDIDO{J,8};

PEDIDO{J,7}:=0;

PEDIDO{J,8}:=0;

END;

IF (T>=PEDIDO{J,2}) AND (PEDIDO{J,2}>0) THEN

BEGIN

INV{J,0}:=INV{J,0}+PEDIDO{J,1};

IF INV{J,1}=1 THEN

BEGIN

PEDIDO{J,1}:=0;

PEDIDO{J,2}:=0;

END

```

ELSE
BEGIN
  PEDIDO{J,1}:=PEDIDO{J,3};
  PEDIDO{J,2}:=PEDIDO{J,4};
  PEDIDO{J,3}:=PEDIDO{J,6};
  PEDIDO{J,4}:=PEDIDO{J,6};
  PEDIDO{J,5}:=PEDIDO{J,7};
  PEDIDO{J,6}:=PEDIDO{J,8};
  PEDIDO{J,7}:=0;
  PEDIDO{J,8}:=0;
END;
END;
IF INV{J,0}<ROUND(ALMACEN{J,3}/9.5*3+0.40) THEN
COMPLETO:=FALSE;
IF (INV{J,0}<15) THEN (PARA PRODUCCION POR FALTANTES)
IF (DESCRIPCION{J,1}='A') THEN
PRODUCE:=FALSE
ELSE
TF:=TF+1;
IF TF=4 THEN PRODUCE:=FALSE;
END;
IF (T>=ESPECIAL{0,1}) AND (ESPECIAL{0,2}>0) THEN (RECIBE PEDIDO ESPECIAL)
BEGIN
  COSTO{0}:=COSTO{0}+202.635;
  RESULTADO{3,BLOQUE}:=RESULTADO{3,BLOQUE}+202.635;
  FOR J:=1 TO 7 DO
  IF ESPECIAL{J,1}>0 THEN
  BEGIN
    INVROUND(ESPECIAL{J,1},0)=INVROUND(ESPECIAL{J,1},0)+ESPECIAL{J,2};
    ESPECIAL{J,1}:=0;
    ESPECIAL{J,2}:=0;
  END;
  ESPECIAL{0,2}:=0;
END;
IF COMPLETO THEN PRODUCE_COMPLETO;
IF PRODUCE THEN GENERA_REM;
RND:=RANDOM;
IF NOT(PRODUCE) THEN
BEGIN
  TPAR:=TPAR+0.00967+0.003631*RND;
  RESULTADO{3,BLOQUE}:=RESULTADO{3,BLOQUE}+(0.00967+0.003631*RND)*184.21;
END;
T:=T+0.00967+0.003631*RND;(T:=T+0.00967+0.003631*RND);
IF TOTDESP MOD 18500 = 0 THEN
BEGIN
  FALTANTE{J,4}:=FALTANTE{J,3};
  FALTANTE{J,3}:=0;
END;
UNTIL ROUND(T/NDIA)>0.5;
TOTDESP:=TOTDESP+DDIA;
R_INV.PDTC{162}:=DDIA;
RESULTADO{0,BLOQUE}:=RESULTADO{0,BLOQUE}+DDIA;
VERIFICA_INV;
FOR J:=1 TO TOTPDTC DO
BEGIN
  R_INV.PDTC{J}:=ROUND(INV{J,0});
  IF INV{J,0}>ALMACEN{J,1} THEN
  R_INV.PDTC{0}:=ROUND(INV{J,0}/ALMACEN{J,1}+0.40)-1+R_INV.PDTC{0};
  INV{0,4}:=INV{0,4}+ROUND(INV{J,0}/ALMACEN{J,1}+0.40)-1+R_INV.PDTC{0};
  INV{J,4}:=INV{J,4}+INV{J,0};
  IF (R_INV.PDTC{J}>ALMACEN{J,1}) AND (NOT(J IN {0,132,157,158,159,160})) THEN
  COSTO{1}:=COSTO{1}+(ROUND(R_INV.PDTC{J}/ALMACEN{J,1}+0.40)-1)*1.01; ($1.01 POR TARIMA)
  IF R_INV.PDTC{J}>QMAX.PDTC{J} THEN QMAX.PDTC{J}:=ROUND(INV{J,0});
  COSTO{3}:=COSTO{3}+INV{J,0}*INV{J,6};
END;
INV{0,4}:=INV{0,4}+R_INV.PDTC{0}/DIA;
RESULTADO{4,BLOQUE}:=RESULTADO{4,BLOQUE}+R_INV.PDTC{0}/DIA;
IF (NDIA MOD XDIA=0) THEN
BEGIN

```

```

RESULTADO[3,BLOQUE]=RESULTADO[3,BLOQUE]+COSTO[1];
FOR N:=1 TO TOTPDTO DO {1.80 % IMPTO AL ACTIVO Y 52.54% COSTO CAPITAL}
RESULTADO[3,BLOQUE]=RESULTADO[3,BLOQUE]+INV[N,4]*INV[N,6]*0.5254/260+
(INV[N,4]*INV[N,6])*0.0180/260;
RESULTADO[3,BLOQUE]=RESULTADO[3,BLOQUE]+3.55*RESULTADD[1,BLOQUE];
RESULTADO[3,BLOQUE]=RESULTADO[3,BLOQUE]*X/DIA;
IF BLOQUE=0 THEN
BEGIN
TPAR:=0;
TOTDESP:=0;TOTFALT:=0;TOTCOMP:=0;
FOR J:=1 TO 6 DO COSTO[J]:=0;
FOR J:=0 TO 4 DO FOR I:=1 TO 0 DO RESULTADD[J,I]:=0;
REWRITE(REG_INV);
END;
BLOQUE:=BLOQUE+1;
COSTO[1]:=0;
CDSTO[3]:=0;
FOR N:=0 TO 161 DO INV[N,4]:=0;
END;
COSTMAN:=0;
WRITE(REG_INV,R_INV);
GDTOXY(7,3);WRITELN(NDIA/(DIA*2*X/DIA)*100.4,2,'%');
END;
BLOQUE:=BLOQUE-1; {CALCULOS}
RESET(REG_INV);
RND:=0;
READ(REG_INV,R_INV);
QMAX.PDTC[162]:=0;
FOR N:=0 TO TOTPDTO DO
QMAX.PDTC[N]:=R_INV.PDTC[N];
WHILE NOT EOF(REG_INV) DO
BEGIN
READ(REG_INV,R_INV);
FOR N:=0 TO TOTPDTO DO
BEGIN
INV[N,4]:=INV[N,4]+R_INV.PDTC[N]/DIA;
IF (R_INV.PDTC[N]>ALMACEN[N,1]) AND (NDT(N IN 10,132,157,158,159,160)) THEN
COSTO[1]:=COSTO[1]+(ROUND(R_INV.PDTC[N]/ALMACEN[N,1]+0.49)-1)*1.01;
IF R_INV.PDTC[N]>QMAX.PDTC[N] THEN QMAX.PDTC[N]:=R_INV.PDTC[N];
COSTO[3]:=COSTO[3]+R_INV.PDTC[N]*INV[N,6];
END;
IF R_INV.PDTC[162]>QMAX.PDTC[162] THEN QMAX.PDTC[162]:=R_INV.PDTC[162];
IF CDSTO[3]>RND THEN RND:=COSTO[3];
COSTO[3]:=0;
END;
CLOSE(REG_INV);
COSTO[3]:=RND*2.5/1000*DIA/260; {SEGURD 2.5 EL MILLAR}
FOR N:=1 TO TOTPDTO DO
BEGIN
FALTANTE[0,1]:=FALTANTE[N,1]+FALTANTE[0,1];
FALTANTE[0,2]:=FALTANTE[N,2]+FALTANTE[0,2];
COSTO[2]:=COSTO[2]+INV[N,4]*INV[N,6]*0.5254*DIA/260; {52.54% COSTO CAPITAL}
CDSTO[3]:=CDSTO[3]+(INV[N,4]*INV[N,6])*0.0180*DIA/260; {1.80 % IMPTO AL ACTIVO}
END;
CDSTMAN:=COSTO[1]+COSTO[2]+CDSTO[3]+CDSTO[4];
FOR I:=1 TO BLOQUE DO
BEGIN
TOTFALT:=TOTFALT+ROUND(RESULTADO[1,I]);
TOTCOMP:=TOTCOMP+ROUND(RESULTADO[2,I]);
IF RESULTADO[0,I]>0 THEN
BEGIN
RESULTADO[1,I]:=1-RESULTADO[1,I]/RESULTADO[0,I];
RESULTADO[2,I]:=RESULTADO[2,I]/RESULTADO[0,I];
END;
END;
Sound(1000);
Delay(200);
NoSound;
TEXTCOLOR(15);TEXTBACKGROUND(1);

```

```

WINDOW(30,12,40,15);CLRSCR;
GOTOXY(2,2);WRITE(" ");GOTOXY(19,2);WRITE(" ");GOTOXY(2,3);WRITE(" ");GOTOXY(19,3);WRITE(" ");
GOTOXY(2,1);WRITE("AAAAAAAAAAAAAAAAA");GOTOXY(2,4);WRITE("AAAAAAAAAAAAAAAAA");
GOTOXY(8,2);Writeln(' F I N ');
DELAY(1000);
FOR I:=1 TO 0 DO
FOR J:=0 TO 4 DO
RESULTADO[J,I]:=0;
RESULTADO[3,0]:=RESULTADO[3,0]+RND*0.0025/280;
FOR I:=1 TO BLOQUE DO
FOR J:=0 TO 4 DO
RESULTADO[J,0]:=RESULTADO[J,0]+RESULTADO[J,I]/BLOQUE;
FOR I:=1 TO BLOQUE DO
FOR J:=0 TO 4 DO
RESULTADO[J,I]:=RESULTADO[J,I]+SQR(RESULTADO[J,I]-RESULTADO[J,0])/BLOQUE-1);
FOR J:=0 TO 4 DO
RESULTADO[J,-1]:=SQRT(RESULTADO[J,-1]);
END;(SIMULA)

PROCEDURE BLOQUES;
VAR C1,C2:CHAR;
E:REAL;
BEGIN
MARCO(6,5,74,21,3,1,'METODO DE BLOQUES');
GOTOXY(2,2);Writeln('DESPENSAS:23,NIVEL DE SERVICIO:20');
GOTOXY(2,3);Writeln('BLOQUE:9,TOTALES:13,1:7,2:11,COSTO:14,TARMAS:12');
WINDOW(8,8,74,19);TEXTBACKGROUND(1);CLRSCR;
Writeln;TEXTCOLOR(3);
FOR I:=1 TO BLOQUE DO
BEGIN
WRITE('1:8,RESULTADO[0,I]:16:2,RESULTADO[1,I]*100:9:2,%,RESULTADO[2,I]*100:9:2,%;
Writeln(RESULTADO[3,I]:11:2,RESULTADO[4,I]:11:2);
IF I=10 THEN READLN(C1);
END;
READLN(C1);
Writeln;TEXTCOLOR(15);
WRITE(' PROMEDIO ',RESULTADO[0,0]:12:2,RESULTADO[1,0]*100:9:2,%;
Writeln(RESULTADO[2,0]*100:9:2,%,RESULTADO[3,0]:11:2,RESULTADO[4,0]:11:2);
Writeln(' OESVIACION');
WRITE(' ESTANDAR ',RESULTADO[0,-1]:12:2,RESULTADO[1,-1]*100:9:2,%,RESULTADO[2,-1]*100:9:2);
Writeln('%,RESULTADO[3,-1]:11:2,RESULTADO[4,-1]:11:2);
Writeln;Writeln(' PRUEBA INDEPEN-');
WRITE(' OENCIA -> ');
FOR J:=0 TO 4 DO
BEGIN
N:=0;
C2:='';
FOR I:=2 TO BLOQUE DO
BEGIN
IF RESULTADO[J,I-1]>RESULTADO[J,I] THEN
C1:='; ELSE C1:='';
IF C1<>C2 THEN N:=N+1;
C2:=C1;
END;
RND:=(N-(2*BLOQUE-1)/3)/SQRT((16*BLOQUE-29)/90);
IF J IN {1,2} THEN
WRITE(' ')
ELSE
IF (RND<1.96) AND (RND>-1.96) THEN
WRITE(RND:7:2,' Ind')
ELSE
WRITE(RND:7:2,' Dep');
END;
READLN;
END; (BLOQUES)

PROCEDURE MENU_SIMULA;
VAR XX,YY:INTEGER;
LX:STRING(3);

```

```

BEGIN
  XX:=9;YY:=2;
  REPEAT
    TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
    WINDOW(1,1,79,1);TEXTBACKGROUND(7);
    TEXTCOLOR(0);CLRSCR;
    GOTOXY(1,1);
    WRITE(' 1.PRODUCTO 2.PROVEEDOR 3.COND. INICIALES 4.SMA. INVENTARIO 5.SIMULACION');
    TEXTCOLOR(4);GOTOXY(3,1);WRITE('1. ');GOTOXY(15,1);WRITE('2. ');
    GOTOXY(28,1);WRITE('3. ');GOTOXY(46,1);WRITE('4. ');GOTOXY(64,1);WRITE('5. ');
    WINDOW(49,2,79,9);TEXTBACKGROUND(7);
    TEXTCOLOR(0);CLRSCR;
    FOR I:=2 TO 7 DO
      BEGIN
        GOTOXY(2,1);WRITE('*');GOTOXY(30,1);WRITE('*');
      END;
    FOR I:=2 TO 29 DO
      BEGIN
        GOTOXY(I,1);WRITE('A');GOTOXY(I,8);WRITE('AU');
      END;
    GOTOXY(2,1);WRITE('U');GOTOXY(2,8);WRITE('A');
    IF NOT(SM) THEN
      BEGIN
        SIM:=TRUE;
        FOR I:=2 TO 29 DO
          BEGIN
            GOTOXY(I,4);WRITE('A');
          END;
        GOTOXY(2,4);WRITE('A');
        GOTOXY(7,3);WRITELN('CORRER SIMULACION');
        GOTOXY(5,5);WRITE('TAMANO DEL BLOQUE ->');
        GOTOXY(5,8);WRITE('BLOQUES A SIMULAR ->');
        REPEAT
          GOTOXY(27,5);READLN(XDIA);
        UNTIL XDIA>1;
        REPEAT
          GOTOXY(27,6);READLN(DIA);
        UNTIL DIA>1;
        SIMULA;
      END
    ELSE
      BEGIN
        FOR I:=2 TO 29 DO
          BEGIN
            GOTOXY(I,8);WRITE('A');
          END;
        GOTOXY(2,8);WRITE('A');
        GOTOXY(4,2);WRITELN('1. CORRER SIMULACION');
        GOTOXY(4,3);WRITELN('2. GRAFICAR');
        GOTOXY(4,4);WRITELN('3. RESULTADOS GLOBALES');
        GOTOXY(4,5);WRITELN('4. RESULTADOS POR BLOQUES');
        GOTOXY(5,7);WRITE('OPCION -> ');READ(OPCI);
        CASE OPC1 OF
          1:BEGIN
              WINDOW(49,9,79,12);CLRSCR;
              FOR I:=2 TO 29 DO
                BEGIN
                  GOTOXY(I,1);WRITE('A');GOTOXY(I,4);WRITE('AU');
                END;
              GOTOXY(2,1);WRITE('A');GOTOXY(2,4);WRITE('A');
              GOTOXY(2,2);WRITE('*');GOTOXY(30,2);WRITE('*');
              GOTOXY(2,3);WRITE('*');GOTOXY(30,3);WRITE('*');
              GOTOXY(5,2);WRITE('TAMANO DEL BLOQUE ->');
              GOTOXY(5,3);WRITE('BLOQUES A SIMULAR ->');
              REPEAT
                GOTOXY(27,2);READLN(XDIA);
              UNTIL XDIA>1;
              REPEAT
                GOTOXY(27,3);READLN(DIA);

```

```

UNTIL DIA>1;
SIMULA;
END;
2.BEGIN
REPEAT
WINDOW(49,9,79,15);CLRSR;
CLAVEX:=1;
FOR I=2 TO 6 DO
BEGIN
GOTOXY(2,I);WRITE(*);GOTOXY(30,I);WRITE(*);
END;
FOR I=2 TO 29 DO
BEGIN
GOTOXY(I,1);WRITE(A");GOTOXY(I,5);WRITE(A");GOTOXY(I,7);WRITE(AU);
END;
GOTOXY(2,1);WRITE(A);GOTOXY(2,5);WRITE(A);GOTOXY(2,7);WRITE(A);
GOTOXY(11,2);WRITE(P - PRODUCCION);
GOTOXY(11,3);WRITE(T - TARIMAS);
GOTOXY(5,4);WRITE(1.1.TOTPDTO.3. - PRODUCTO);
GOTOXY(5,6);WRITE(OPCION ->);
READLN(LX);
IF (LX="T") OR (LX="Y") THEN CLAVEX:=163
ELSE
IF (LX="P") OR (LX="p") THEN CLAVEX:=162
ELSE
VAL(LX,CLAVEX,I);
UNTIL (CLAVEX IN {1..TOTPDTO,162,163});
INITGRAPH(PX,YY,"");
GRAFICO;
READLN;
CLOSEGRAPH;
END;
3. ESTADISTICA;
4. BLOQUES;
END;
END;
WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSR;
UNTIL OPC1>4;
END;(MENU_SIMULA)

PROCEDURE MENU_PRINCIPAL;
BEGIN
CLRSR;
TEXTCOLOR(15);
WINDOW(1,1,79,1);
TEXTBACKGROUND(7);TEXTCOLOR(0);
CLRSR;
GOTOXY(1,1);
WRITE( 1.PRODUCTO 2.PROVEEDOR 3.COND. INICIALES 4.SMA. INVENTARIO 5.SIMULACION);
TEXTCOLOR(4);GOTOXY(3,1);WRITE(1.);GOTOXY(15,1);WRITE(2.);
GOTOXY(26,1);WRITE(3.);GOTOXY(46,1);WRITE(4.);GOTOXY(64,1);WRITE(5.);
TEXTCOLOR(15);TEXTBACKGROUND(1);
WINDOW(30,12,50,14);CLRSR;
GOTOXY(2,2);WRITE(*);
GOTOXY(20,2);WRITE(*);
GOTOXY(2,1);WRITE(UAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA);
GOTOXY(2,3);WRITE(AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA);
GOTOXY(5,2);WRITE(OPCION ->);
READ(OPC);
PR.INICIALIZA;
CASE OPC OF
1:PR.PDTO_DAT;
2:PR.PROV_DAT;
3:PR.COND_INI;
4:PR.POLITICA_INV;
5:MENU_SIMULA;
END;
END;(MENU_PRINCIPAL)

```

```

BEGIN (PRINCIPAL)
RANDOMIZE;
ASSIGN(REG_INV;REG_INV.DAT);
SIM:=FALSE;
CALCULA:=TRUE;
REPEAT
  MENU_PRINCIPAL;
UNTIL OPC>5;
TEXTCOLOR(7);
TEXTBACKGROUND(0);
WINDOW(1,1,70,25);
CLRSCR;
END.

UNIT DATA;
INTERFACE
TYPE CLAVES = SET OF 1..161;
REGISTRO1 = RECORD
  CLAVE           :INTEGER;
  ARTICULO       :STRING(20);
  UndPorCaja     :INTEGER;
  UndPorTarima   :INTEGER;
  SUSTITUTO      :STRING(7);
  MERMA          :REAL;
  CLASE          :CHAR;
  COSTO          :REAL;
  CLAVE_PROV     :INTEGER;
  DIST           :ARRAY[0..15] OF INTEGER;
END;
REGISTROS = RECORD
  PDTO           :ARRAY[0..162] OF LONGINT;
END;
PROCEDIMIENTO = OBJECT
  PROCEDURE PDTO_DAT;
  PROCEDURE PROV_DAT;
  PROCEDURE COND_INI;
  PROCEDURE INICIALIZA;
  PROCEDURE POLITICA_INV;
END;

VAR REG_INV      :FILE OF REGISTROS;
    R_INV_QMAX   :REGISTROS;
    DATOS       :FILE OF REGISTRO1;
    INV         :ARRAY[0..161,0..6] OF REAL;
    ALMACEN     :ARRAY[1..161,1..3] OF REAL;
    TPO_ENT     :ARRAY[1..46,1..2] OF REAL;
    PROV        :ARRAY[1..161] OF INTEGER;
    DESCRIPCION :ARRAY[1..161] OF STRING(20);
    CONJCVE     :ARRAY[1..46] OF CLAVES;
    TOTPDTO     :INTEGER;
    CALCULA     :BOOLEAN;

IMPLEMENTATION
USES CRT;
TYPE
  REGISTRO2 = RECORD
    CLAVE_PROV :INTEGER;
    TPOENT     :REAL;
    MEDIA      :REAL;
  END;
  REGISTRO3 = RECORD
    CLAVE :INTEGER;
    INVINI :LONGINT;
  END;
  REGISTRO4 =RECORD
    INV :ARRAY[1..3] OF REAL;
  END;
VAR DATOS1 :FILE OF REGISTRO1;

```

```

D,DX :REGISTRO1;
PROVE,PROVE1 :FILE OF REGISTRO2;
P,PX :REGISTRO2;
CONDINI :FILE OF REGISTRO3;
C :REGISTRO3;
POL_INV :FILE OF REGISTRO4;
PI :REGISTRO4;
I,J,N,CLAVEX,OPC1,DIA :INTEGER;
TPQ,RND,TOTDIST,T,TACUM :REAL;

```

PROCEDURE ASIGNA;

```

BEGIN
  ASSIGN(DATOS,DATOS.DAT);
  ASSIGN(DATOS1,DATOS1.DAT);
  ASSIGN(PROVE,PROVE.DAT);
  ASSIGN(PROVE1,PROVE1.DAT);
  ASSIGN(CONDINI,CONDINI.DAT);
  ASSIGN(POL_INV,POL_INV.DAT);
END;(ASIGNA)

```

PROCEDURE MARCO(X1,Y1,X2,Y2,C1,C2:INTEGER;TEXT0:STRING);

```

VAR I:INTEGER;
BEGIN
  WINDOW(X1,Y1,X2-1,Y2);
  TEXTBACKGROUND(C1);TEXTCOLOR(C2);CLRSCR;
  FOR I=1 TO X2-X1 DO
  BEGIN
    GOTEXY(I,1);WRITE(I);GOTEXY(I,Y2-Y1);WRITE(A);
  END;
  FOR I=1 TO Y2-Y1 DO
  BEGIN
    GOTEXY(1,I);WRITE(I);GOTEXY(X2-X1,I);WRITE(I);
  END;
  GOTEXY(1,1);WRITE(P);GOTEXY(1,Y2-Y1);WRITE(A);
  GOTEXY(X2-X1,1);WRITE(P);GOTEXY(X2-X1,Y2-Y1);WRITE(U);
  GOTEXY((X2-X1-LENGTH(TEXT0)+8),1);WRITE(T,TEXT0,T);
END;(MARCO)

```

PROCEDURE MARCO2(X1,X2:INTEGER);

```

BEGIN
  WINDOW(X1,2,X1+21,5+X2);TEXTBACKGROUND(7);
  TEXTCOLOR(0);CLRSCR;
  FOR I=2 TO 3+X2 DO
  BEGIN
    GOTEXY(2,I);WRITE(I);
    GOTEXY(21,I);WRITE(I);
  END;
  FOR I=2 TO 20 DO
  BEGIN
    GOTEXY(I,1);WRITE(A);
    GOTEXY(I,X2+2);WRITE(A);
    GOTEXY(I,X2+4);WRITE(A);
  END;
  GOTEXY(2,1);WRITE(U);
  GOTEXY(2,X2+2);WRITE(A);
  GOTEXY(2,X2+4);WRITE(A);
END;(MARCO2)

```

PROCEDURE PDTO_DISPLAY;

```

BEGIN
  GOTEXY(2,2);WRITE(DESCRIPCION);
  GOTEXY(4,2);WRITE(CLAVE);
  GOTEXY(6,2);WRITE(D.CLAVE);
  GOTEXY(2,4);WRITE(CLAVE DEL PROVEEDOR);
  GOTEXY(2,5);WRITE(MERMA DIARIA PROMEDIO);
  GOTEXY(3,4);WRITE(UNIDADES POR CAJA);
  GOTEXY(3,5);WRITE(UNIDADES POR TARIMA);
  GOTEXY(2,6);WRITE(SUSTITUTOS);
  GOTEXY(3,6);WRITE(CLASIFICACION);

```

```

GOTOXY(2,7);WRITE(COSTO);
GOTOXY(20,9);WRITE(DISTRIBUCION DE LA DEMANDA);
FOR I:=0 TO 15 DO
BEGIN
  GOTOXY(4+16*(I DIV 4),1+10-4*(I DIV 4)); WRITE(' P(I.) = ');
END;
END; (PDTO_DISPLAY)

```

```

PROCEDURE PRODUCTO;
BEGIN
  WITH (D) DO
  BEGIN
    PDTO_DISPLAY;
    TEXTCOLOR(11);
    GOTOXY(15,2);READLN(ARTICULO);
    GOTOXY(27,4);READLN(CLAVE_PROV);
    GOTOXY(27,5);READLN(MERMA);
    GOTOXY(27,6);READLN(SUSTITUTO);
    GOTOXY(27,7);READLN(COSTO);
    GOTOXY(63,4);READLN(UndPorCaja);
    GOTOXY(63,5);READLN(UndPorTarima);
    GOTOXY(63,6);READLN(CLASE);
    J:=0;
    FOR I:=0 TO 15 DO
    BEGIN
      GOTOXY(15+16*(I DIV 4),1+10-4*(I DIV 4));
      IF J<100 THEN READLN(DIST[I]);
      ELSE
        DIST[I]:=0;
        J:=J+DIST[I];
        DIST[I]:=J;
      END;
    END;
  END; (PRODUCTO)

```

```

PROCEDURE PDTO_ACOMODA;
BEGIN
  CLOSE(DATOS);
  CLOSE(DATOS1);
  REWRITE(DATOS);
  RESET(DATOS1);
  WHILE NOT EOF(DATOS) DO
  BEGIN
    READ(DATOS1,D);
    IF D.CLAVE<>0 THEN WRITE(DATOS,D);
  END;
END; (PDTO_ACOMODA)

```

```

PROCEDURE PDTO_INSERTA;
BEGIN
  MARCO(5,5,76,20,11,15,DATOS DE PRODUCTO);
  WHILE NOT EOF(DATOS) DO
  BEGIN
    READ(DATOS,D);
    WRITE(DATOS1,D);
  END;
  D.CLAVE:=D.CLAVE+1;
  PRODUCTO;
  WRITE(DATOS1,D);
  PDTO_ACOMODA;
END; (PDTO_INSERTA)

```

```

PROCEDURE PDTO_BUSCA;
BEGIN
  PDTO_DISPLAY;
  WHILE NOT EOF(DATOS) DO
  BEGIN
    READ(DATOS,D);
    WITH (D) DO

```

```

IF CLAVE=CLAVEX THEN
BEGIN
GOTOXY(15,2);WRITE(ARTICULO);
GOTOXY(55,2);WRITE(CLAVE:');
GOTOXY(27,4);WRITE(CLAVE_PROV);
GOTOXY(27,5);WRITE(MERMA:2:2);
GOTOXY(63,4);WRITE(UndPorCaja);
GOTOXY(63,5);WRITE(UndPorTarima);
GOTOXY(63,6);WRITE(CLASE);
GOTOXY(27,6);WRITE(SUSTITUTO);
GOTOXY(27,7);WRITE((COSTO:2:2)$ XJX);
GOTOXY(16,10);WRITE(DISTO);
FOR I:=1 TO 15 DO
BEGIN
GOTOXY(15+16*(I DIV 4),1+10-4*(I DIV 4));WRITE(DISTO-DISTI-1);
END;
READLN;
END;
END;(PDTO_BUSCA)

PROCEDURE PDTO_MODIFICA;
BEGIN
PDTO_BUSCA;
CLOSE(DATOS);
RESET(DATOS);
WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
READ(DATOS,D);
IF D.CLAVE=CLAVEX THEN PRODUCTO;
WRITE(DATOS1,D);
END;
PDTO_ACOMODA;
END;(PDTO_ELMINA)

PROCEDURE PDTO_LISTADO;
BEGIN
MARCO(5,5,76,20,3,1,'LISTADO DE PRODUCTO');
GOTOXY(2,2);
WRITE('CLAVE:5,ARTICULO:15,U/C:10,U/T:6,PROVEEDOR:11,CLASE:6,SUSTITUTO:12);
MARCO(6,7,76,16,1,1,'');
TEXTCOLOR(3);
RESET(DATOS);
I:=1;
GOTOXY(1,1);
WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
READ(DATOS,D);
WITH (D) DO
BEGIN
WRITE(CLAVE:5,ARTICULO:22,UndPorCaja:5);
Writeln(UndPorTarima:6,CLAVE_PROV:5,CLASE:6,SUSTITUTO:14);
IF I MOD 10 = 0 THEN READLN;
I:=I+1;
END;
END;
READLN;
END;(PDTO_LISTADO)

PROCEDURE PROCEDIMIENTO.PDTO_DAT;
BEGIN
ASIGNA;
REPEAT
RESET(DATOS);
REWRITE(DATOS1);
MARCO(1,4);
GOTOXY(5,2);WRITELN(1...AMADIR);
GOTOXY(5,3);WRITELN(2...MODIFICAR);
GOTOXY(5,4);WRITELN(3...CONSULTA);

```

```

GOTOXY(5,5);WRITELN('4...LISTADO');
GOTOXY(5,7);WRITE('OPCION -> ');READLN(OPC1);
IF OPC1=1 THEN PDTO_INSERTA
ELSE
IF (OPC1=2) OR (OPC1=3) THEN
BEGIN
WINDOW(1,9,22,11);CLRSCR;
FOR I=2 TO 20 DO
BEGIN
GOTOXY(1,1);WRITE('A');
GOTOXY(1,3);WRITE('AU');
END;
GOTOXY(2,1);WRITE('A');GOTOXY(2,3);WRITE('A');
GOTOXY(2,2);WRITE('*');GOTOXY(2,2);WRITE('*');
GOTOXY(5,2);WRITE('CLAVE -> ');READLN(CLAVEX);
MARCO(5,5,7,20,11,15,'DATOS DE PRODUCTO');
IF OPC1=2 THEN PDTO_MODIFICA ELSE PDTO_BUSCA;
END;
IF OPC1=4 THEN PDTO_LISTADO;
CLOSE(DATOS);
CLOSE(DATOS1);
WINDOW(1,2,7,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
UNTIL OPC1>4;
END; (PDTO_DAT)

PROCEDURE ACOMODA_PROV;
BEGIN
CLOSE(PROVE);
CLOSE(PROVE1);
REWRITE(PROVE);
RESET(PROVE1);
WHILE NOT EOF(PROVE1) DO
BEGIN
READ(PROVE1,P);
WRITE(PROVE,P);
END;
END; (ACOMODA_PROV)

PROCEDURE INSERTA_PROV;
BEGIN
WHILE NOT EOF(PROVE) DO
BEGIN
READ(PROVE,P);
WRITE(PROVE1,P)
END;
GOTOXY(15,4);WRITE('CLAVE DEL PROVEEDOR');
GOTOXY(15,6);WRITE('TIEMPO DE ENTREGA (DIAS)');
GOTOXY(15,8);WRITE('RETRASO MAXIMO (DIAS)');
GOTOXY(50,4);READLN(P.CLAVE_PROV);
GOTOXY(50,6);READLN(P.TPOENT);
GOTOXY(50,8);READLN(P.MEDIA);
WRITE(PROVE1,P);
ACOMODA_PROV;
END; (INSERTA_PROV)

PROCEDURE LISTADO_PROV;
BEGIN
MARCO(5,5,7,20,3,1,'LISTADO DE PROVEEDORES');
GOTOXY(2,2);WRITELN('CLAVE:7, TIEMPO DE ENTREGA:25, RETRASO MAXIMO:25');
MARCO(6,7,7,18,1,1,');
TEXTCOLOR(3);
I:=1;
GOTOXY(1,1);
WHILE NOT EOF(PROVE) DO
BEGIN
READ(PROVE,P);
WRITELN(P.CLAVE_PROV:6,P.TPOENT:20,2,P.MEDIA:25,2);
IF I MOD 10 = 0 THEN READLN;
I:=I+1;

```

```

END;
READLN;
WINDOW(1,2,78,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
END;(LISTADO_PROV)

PROCEDURE PROCEDIMIENTO.PROV_DAT;
BEGIN
ASIGNA;
REPEAT
RESET(PROVE);
REWRITE(PROVE1);
MARCO2(10,2);
GOTOXY(6,2);WRITELN('1...ANADIR');
GOTOXY(6,3);WRITELN('2...LISTADO');
GOTOXY(6,5);WRITE('OPCION -> ');READLN(OPC1);
MARCO(6,5,78,20,11,16,'DATOS PROVEEDOR');
IF OPC1=1 THEN INSERTA_PROV;
IF OPC1=2 THEN LISTADO_PROV;
CLOSE(PROVE);
CLOSE(PROVE1);
UNTIL OPC1>2;
WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
END;(PROV_DAT)

PROCEDURE LISTADO_COND;
BEGIN
MARCO(5,5,78,20,3,1,'CONDICIONES INICIALES');
GOTOXY(2,2);WRITELN('CLAVE:7,ARTICULO :30,INVENTARIO INICIAL:20);
MARCO(6,7,78,18,1,1,');
TEXTCOLOR(3);
I:=1;
RESET(CONDINI);
GOTOXY(1,1);
WHILE NOT EOF(CONDINI) DO
BEGIN
READ(CONDINI,C);
WRITELN(C.CLAVE:5,COPY(DESCRIPCION(I),3,30),30,C.INVINI:16);
IF I MOD 10 = 0 THEN READLN;
I:=I+1;
END;
READLN;
END;(LISTADO_COND)

PROCEDURE CONDINI_INI;
BEGIN
N:=1;
INV(0,4):=0;
RESET(CONDINI);
WHILE NOT EOF(CONDINI) DO
BEGIN
READ(CONDINI,C);
INV(N,0):=C.INVINI;
R_INV.PDTC(N):=C.INVINI;
IF (R_INV.PDTC(N)>ALMACEN(N,1)) AND (ALMACEN(N,1)>0) THEN
R_INV.PDTC(0):=ROUND(R_INV.PDTC(N)/ALMACEN(N,1)*0.49)-1+R_INV.PDTC(0);
N:=N+1;
END;
CLOSE(CONDINI);
END;(CONDINI_INI)

PROCEDURE INSERTA_COND;
BEGIN
CONDINI_INI;
REWRITE(CONDINI);
MARCO(6,5,78,20,11,15,'INVENTARIO INICIAL');
WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
READ(DATOS,D);
IF (CLAVEX=0) OR (CLAVEX=D.CLAVE) THEN

```

```

BEGIN
  GOTOXY(5,4);WRITE(PRODUCTO);
  GOTOXY(15,4);WRITE(D.ARTICULO);
  GOTOXY(55,4);WRITE(CLAVE);
  GOTOXY(65,4);WRITE(D.CLAVE);
  GOTOXY(10,6);WRITE(INVENTARIO INICIAL 'R_INV.PDTC[D.CLAVE]);
  GOTOXY(50,6);READ(R_INV.PDTC[D.CLAVE]);
END;
END;
RESET(DATOS);
WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
  READ(DATOS.D);
  C.CLAVE:=D.CLAVE;
  C.INVNI:=R_INV.PDTC[D.CLAVE];
  WRITE(CONDINI,C);
END;
RESET(DATOS);
END;(INSERTA_COND)

PROCEDURE PROCEDIMIENTO.COND_INI;
BEGIN
  ASIGNA;
  RESET(DATOS);
  RESET(CONDINI);
  CLAVEX:=0;
  REPEAT
    MARCO2(27,3);
    GOTOXY(4,2);WRITELN('1. CALCULAR');
    GOTOXY(4,3);WRITELN('2. ESTABLECER');
    GOTOXY(5,6);WRITE('OPCION -> ');READ(OPC1);
    IF OPC1=2 THEN
      BEGIN
        MARCO2(27,3);
        GOTOXY(4,2);WRITELN('1...CAMBIAR TODO');
        GOTOXY(4,3);WRITELN('2...CAMBIAR UNO');
        GOTOXY(4,4);WRITELN('3...LISTADO');
        GOTOXY(5,6);WRITE('OPCION -> ');READLN(OPC1);
        CALCULA:=FALSE;
        IF OPC1=2 THEN
          BEGIN
            WINDOW(27,8,46,10);CLRSCR;
            FOR I:=2 TO 20 DO
              BEGIN
                GOTOXY(I,1);WRITE('A');
                GOTOXY(I,3);WRITE('A0');
              END;
            GOTOXY(2,1);WRITE('A');GOTOXY(2,3);WRITE('A');
            GOTOXY(2,2);WRITE('*');GOTOXY(21,2);WRITE('*');
            GOTOXY(5,2);WRITE('CLAVE -> ');READLN(CLAVEX);
            MARCO(5,5,76,20,11,15,'CONDICIONES INICIALES');
            INSERTA_CONO;
          END;
          MARCO(5,5,76,20,11,15,'CONDICIONES INICIALES');
          IF OPC1=1 THEN INSERTA_COND;
          IF OPC1=3 THEN LISTADO_COND;
          WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
        END;
        WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
      UNTIL (OPC1>3) OR ((OPC1=1) AND (CALCULA=TRUE));
      CLOSE(DATOS);
      CLOSE(CONDINI);
      CONDINI_INI;
    END;(COND_INI)

  PROCEDURE POLINV_INI;
  BEGIN
    N:=1;
    RESET(POL_INV);
  
```

```

WHILE NOT EOF(POL_INV) DO
BEGIN
  READ(POL_INV,PI);
  INV[N,1]:=PI.INV[1];
  INV[N,2]:=PI.INV[2];
  INV[N,3]:=PI.INV[3];
  N:=N+1;
END;
CLOSE(POL_INV);
END; (POLINV_INI)

PROCEDURE INSERTA_POL;
BEGIN
  POLINV_INI;
  REWRITE(POL_INV);
  MARCO(5,5,76,20,11,15,'SISTEMA DE INVENTARIO');
  WHILE NOT EOF(DATOS) DO
  BEGIN
    READ(DATOS,D);
    IF (CLAVEX=0) OR (CLAVEX=D.CLAVE) THEN
    BEGIN
      GOTOXY(5,4);WRITE('PRODUCTO');
      GOTOXY(15,4);WRITE(D.ARTICULO);
      GOTOXY(55,4);WRITE('CLAVE');
      GOTOXY(65,4);WRITE(D.CLAVE);
      GOTOXY(10,6);WRITE('SISTEMA DE INVENTARIO');
      GOTOXY(15,7);
      IF INV[D.CLAVE,1]=1 THEN
      BEGIN
        WRITE('1..CANTIDAD FIJA Q = ',INV[D.CLAVE,2];8,2' N = ',INV[D.CLAVE,3];8,2);
        GOTOXY(15,8);WRITE('2..TIEMPO FIJO');
      END
      ELSE
      BEGIN
        WRITE('1..CANTIDAD FIJA ');
        GOTOXY(15,8);WRITE('2..TIEMPO FIJO T = ',INV[D.CLAVE,2];8,2' M = ',INV[D.CLAVE,3];8,2);
      END;
      RND=D.CLAVE;
      GOTOXY(40,8);READ(INV[D.CLAVE,1]);
      IF INV[D.CLAVE,1]=0 THEN
        INV[D.CLAVE,1]:=RND
      ELSE
      BEGIN
        IF INV[D.CLAVE,1]=1 THEN
        BEGIN
          GOTOXY(10,10);WRITELN('CANTIDAD FIJA');
          GOTOXY(10,12);WRITELN('NIVEL DE REORDEN');
          GOTOXY(40,10);READ(INV[D.CLAVE,2]);
          IF (ROUND(INV[D.CLAVE,2] MOD D.UndPorCaja > C) THEN
            INV[D.CLAVE,2]:=ROUND(INV[D.CLAVE,2]/D.UndPorCaja+0.40)*D.UndPorCaja;
        END
        ELSE
        BEGIN
          GOTOXY(10,10);WRITELN('TIEMPO FIJO');
          GOTOXY(10,12);WRITELN('NIVEL 7');
          GOTOXY(40,10);READ(INV[D.CLAVE,2]);
        END;
        GOTOXY(40,12);READ(INV[D.CLAVE,3]);
      END;
    END;
  END;
  RESET(DATOS);
  WHILE NOT EOF(DATOS) DO
  BEGIN
    READ(DATOS,D);
    PI.INV[1]:=INV[D.CLAVE,1];
    PI.INV[2]:=INV[D.CLAVE,2];
    PI.INV[3]:=INV[D.CLAVE,3];
    WRITE(POL_INV,PI);
  END;

```

```

END;
RESET(DATOS);
END.(INSERTA_POL)

PROCEDURE LISTADO_POL;
BEGIN
MARCO(5,5,78,20,3,1,'POLITICA DE INVENTARIOS');
GOTOXY(2,2);WRITELN('CLAVE:7;SISTEMA:10;Q:10;N.R.:12;T:10;N:11);
MARCO(6,7,75,18,1,1,' ');
TEXTCOLOR(3);
I:=1;
REBET(POL_INV);
GOTOXY(1,1);
WHILE NOT EOF(POL_INV) DO
BEGIN
READ(POL_INV,PI);
IF PI.INV(1)=1 THEN
WRITELN('1;Q:8;PI.INV(2):15;2;PI.INV(3):12;2;:8;:12);
ELSE
WRITELN('1;P:8;:13;:12;PI.INV(2):12;2;PI.INV(3):12;2);
IF I MOD 10 = 0 THEN READLN;
I:=I+1;
END;
READLN;
END.(LISTADO_POL)

PROCEDURE PROCEDIMIENTO.POLITICA_INV;
BEGIN
ASIGNA;
RESET(DATOS);
CLAVEX:=0;
REBET(POL_INV);
REPEAT
CLAVEX:=0;
MARCO2(4,3);
GOTOXY(4,2);WRITELN('1...CAMBIAR TODO');
GOTOXY(4,3);WRITELN('2...CAMBIAR UNO');
GOTOXY(4,4);WRITELN('3...LISTADO');
GOTOXY(5,8);WRITE('OPCION ->');READLN(OPC1);
IF OPC1=2 THEN
BEGIN
WINDOW(4,8,65,10);CLRSCR;
FOR I:=2 TO 20 DO
BEGIN
GOTOXY(I,1);WRITE('A');
GOTOXY(I,3);WRITE('AU');
END;
GOTOXY(2,1);WRITE('A');GOTOXY(2,3);WRITE('A');
GOTOXY(2,2);WRITE('*');GOTOXY(21,2);WRITE('*');
GOTOXY(5,2);WRITE('CLAVE ->');READLN(CLAVEX);
MARCO(5,5,78,20,11,15,'POLITICA DE INVENTARIOS');
INSERTA_POL;
END;
MARCO(5,5,78,20,11,15,'POLITICA DE INVENTARIOS');
IF OPC1=1 THEN INSERTA_POL;
IF OPC1=3 THEN LISTADO_POL;
WINDOW(1,2,79,25);TEXTBACKGROUND(0);CLRSCR;
UNTIL OPC1=3;
CLOSE(DATOS);
CLOSE(POL_INV);
END.(POLITICA_INVENTARIO)

PROCEDURE PROCEDIMIENTO.INICIALIZA;
BEGIN
ASIGNA;
N:=1;
FOR I:=1 TO 45 DO
CONJVE(I):=0;
RESET(DATOS);

```

```

WHILE NOT EOF(DATOS) DO
BEGIN
  READ(DATOS,D);
  DESCRIPCION[N]=D.CLASE+'$'+D.ARTICULO;
  INV[N,6]=D.COSTO;
  INV[N,5]=D.UndPorCaja;
  ALMACEN[N,2]=D.MERMA;
  ALMACEN[N,3]=0;
  FOR I=1 TO 16 DO
  ALMACEN[N,3]=ALMACEN[N,3]+I*(D.DIST[I]-D.DIST[I-1])*8.25; (850/100=8.5)
  RESET(PROVE);
  WHILE NOT EOF(PROVE) DO
  BEGIN
    READ(PROVE,P);
    IF D.CLAVE_PROV=P.CLAVE_PROV THEN PROV[N]=ROUND(D.CLAVE_PROV/10);
  END;
  CLOSE(PROVE);
  ALMACEN[N,1]=D.UndPorTarima;
  CONJVE[ROUND(D.CLAVE_PROV/10)]=CONJVE[ROUND(D.CLAVE_PROV/10)]+{N};
  N:=N+1;
END;
TOTPDTO:=N-1;
RESET(PROVE);
N:=1;
WHILE NOT EOF(PROVE) DO
BEGIN
  READ(PROVE,P);
  TPO_ENT[N,1]=P.TPOENT;
  TPO_ENT[N,2]=P.MEDIA;
  N:=N+1;
END;
CLOSE(PROVE);
CLOSE(DATOS);
POLINV_INI;
IF CALCULA THEN
FOR N:=1 TO TOTPDTO DO
BEGIN
  INV[N,0]=INV[N,3];
  IF INV[N,0]<0 THEN INV[N,0]=ALMACEN[N,3]*TPO_ENT[PROV[N],1];
  R_INV.PDTO[N]=ROUND(INV[N,0]);
  IF (R_INV.PDTO[N]>ALMACEN[N,1]) AND (ALMACEN[N,1]>0) THEN
  R_INV.PDTO[0]=ROUND(R_INV.PDTO[N]/ALMACEN[N,1]*0.49)-1+R_INV.PDTO[0];
END
ELSE
CONDINI_INI;
END,(INICIALIZA)
END.

```

ANEXO E.

Prueba de Corridas Arriba y Abajo.²

Esta prueba de independencia está basada en el número de corridas ascendentes y descendentes en una secuencia de números. Las corridas se indican por el signo de las diferencias entre elementos sucesivos en la muestra, es decir, se reemplaza cada observación con un signo de "+" o de "-" dependiendo de que la observación sea mayor o menor que la observación previa. Entonces, se cuenta el número de corridas de "+" y de "-". R es el número total de corridas en la muestra.

Si las observaciones son independientes, se tiene que el número total esperado de corridas es igual a:

$$E(R) = (2 * n - 1) / 3$$

Y la varianza se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Var}(R) = (16 * n - 29) / 90$$

Conforme se incrementa al tamaño de la muestra n, R tiende a seguir la distribución normal:

$$Z = \frac{R - E(R)}{\sigma_R}$$

Con la fórmula anterior se compara el número total de corridas en la muestra R con la frecuencia esperada E(R) y se toma una decisión sobre la independencia de las muestras.

² Cfr HOOVER, Stewart V., y PERRY, Ronald F., *Simulation. A Problem Solving Approach*, Estados Unidos de Norteamérica, Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1990, (2^a), pp.218 a 220 y 326

ANEXO F.

Sistemas de inventario de cada Experimento.

Producto	III	V	VI
001 Aceite 1	Q= 13080 R= 13068	T= 2 M= 15242	T= 5 M= 23142
002 Aceite 2	Q= 7241 R= 6196	T= 2 M= 7233	T= 5 M= 10981
003 Arroz bolsa	Q= 6647 R= 5684	T= 3 M= 7583	T= 6 M= 10074
004 Azúcar bolsa	Q= 31550 R= 31508	Q= 31550 R= 31508	Q= 31550 R= 31508
005 Frijol bolsa	Q= 5568 R= 4299	T= 3 M= 4919	T= 5 M= 6534
006 Garbanzo bolsa	Q= 729 R= 462	T= 3 M= 615	T= 5 M= 817
007 Lentejas bolsa	Q= 1670 R= 1127	T= 3 M= 1503	T= 5 M= 1997
008 Sal refinada	Q= 3168 R= 3105	T= 5 M= 4719	T= 5 M= 4719
009 Alúñ en aceite	Q= 27696 R= 25865	Q= 27696 R= 25865	Q= 27696 R= 25865
010 Chicharos	Q= 3440 R= 3073	T= 3 M= 3757	T= 5 M= 4620
011 Chile en lata 1	Q= 2102 R= 752	T= 3 M= 1128	T= 5 M= 1634
012 Chile en lata 2	Q= 3612 R= 3073	T= 4 M= 4811	T= 5 M= 5445
013 Chile en lata 3	Q= 4340 R= 2594	T= 3 M= 3994	T= 5 M= 5643
014 Chile en lata 4	Q= 3903 R= 2287	T= 3 M= 3433	T= 5 M= 4975
015 Crema para café	Q= 1098 R= 922	T= 2 M= 1078	T= 5 M= 1634
016 Leche condensada	Q= 5418 R= 4808	T= 2 M= 5380	T= 8 M= 8168
017 Leche en polvo	Q= 2461 R= 2100	T= 2 M= 2451	T= 5 M= 3721
018 Leche proteinada	Q= 10576 R= 9011	T= 2 M= 10520	T= 5 M= 15972
019 Media crema	Q= 3877 R= 3124	T= 2 M= 3848	T= 5 M= 5538
020 Puré de tomate	Q= 3543 R= 3197	T= 3 M= 3983	T= 5 M= 4505
021 Sardinas	Q= 1281 R= 1229	T= 6 M= 1931	T= 10 M= 2529
022 Sopa enlatada 1	Q= 2509 R= 2229	T= 4 M= 2972	T= 5 M= 3360
023 Sopa enlatada 2	Q= 955 R= 846	T= 4 M= 1128	T= 5 M= 1271
024 Atole 1	Q= 2915 R= 1461	T= 8 M= 2596	T= 10 M= 2979
025 Atole 2	Q= 2754 R= 1364	T= 8 M= 2480	T= 10 M= 2822
026 Atole 3	Q= 2542 R= 1076	T= 8 M= 1913	T= 10 M= 2195
027 Atole 4	Q= 528 R= 342	T= 8 M= 547	T= 10 M= 627
028 Cereal 1	Q= 2225 R= 1896	T= 2 M= 2212	T= 5 M= 3358
029 Cereal 2	Q= 846 R= 718	T= 2 M= 837	T= 5 M= 1271
030 Cereal 3	Q= 400 R= 300	T= 2 M= 299	T= 5 M= 454
031 Cereal 4	Q= 1051 R= 940	T= 6 M= 1453	T= 10 M= 1615
032 Cereal 5	Q= 360 R= 291	T= 10 M= 430	T= 10 M= 429
033 Cereal 6	Q= 720 R= 599	T= 3 M= 658	T= 5 M= 809
034 Harina de trigo	Q= 980 R= 717	T= 4 M= 923	T= 5 M= 1089
035 Harina para hotcakes	Q= 1753 R= 1486	T= 4 M= 2229	T= 5 M= 2632
036 Consomé de pollo 1	Q= 1505 R= 1281	T= 2 M= 1495	T= 5 M= 2269
037 Consomé de pollo 2	Q= 508 R= 411	T= 3 M= 547	T= 5 M= 728
038 Pasta 1	Q= 3393 R= 2510	T= 4 M= 3768	T= 5 M= 4447
039 Pasta 2	Q= 2624 R= 1639	T= 4 M= 2480	T= 5 M= 2904
040 Pasta 3	Q= 4133 R= 3534	T= 4 M= 5303	T= 5 M= 6262
041 Pasta 4	Q= 2154 R= 1127	T= 4 M= 1691	T= 5 M= 1997

Producto	III	V	VI
042 Pasta 5	Q= 2680 R= 1911	T= 4 M= 2490	T= 5 M= 2904
043 Pasta 6	Q= 1635 R= 897	T= 4 M= 1153	T= 5 M= 1362
044 Pasta 7	Q= 2054 R= 1127	T= 4 M= 1691	T= 5 M= 1997
045 Pasta 8	Q= 2211 R= 1179	T= 4 M= 1768	T= 5 M= 2088
046 Pasta 9	Q= 1712 R= 820	T= 4 M= 1230	T= 5 M= 1452
047 Jugo 1	Q= 8774 R= 6197	T= 3 M= 7326	T= 5 M= 6712
048 Jugo 2	Q= 4516 R= 4132	T= 3 M= 4884	T= 5 M= 5808
049 Jugo 3	Q= 3698 R= 3381	T= 3 M= 3996	T= 5 M= 4752
050 Jugo 4	Q= 3821 R= 3475	T= 3 M= 4107	T= 5 M= 4884
051 Jugo 5	Q= 4314 R= 3944	T= 3 M= 4692	T= 5 M= 5544
052 Jugo 6	Q= 2181 R= 1973	T= 3 M= 2331	T= 5 M= 2772
053 Jugo 7	Q= 4831 R= 4414	T= 3 M= 5217	T= 5 M= 6204
054 Preparado 1	Q= 541 R= 471	T= 8 M= 789	T= 10 M= 867
055 Preparado 2	Q= 2042 R= 1742	T= 3 M= 2323	T= 5 M= 3086
056 Preparado 3	Q= 298 R= 189	T= 8 M= 308	T= 10 M= 347
057 Preparado 4	Q= 383 R= 309	T= 8 M= 462	T= 10 M= 520
058 Cajeta quemada	Q= 1410 R= 1383	T= 4 M= 1691	T= 5 M= 1931
059 Flan	Q= 3504 R= 2458	T= 3 M= 3279	T= 5 M= 4356
060 Galletas 1	Q= 858 R= 637	T= 4 M= 1076	T= 5 M= 1271
061 Galletas 2	Q= 860 R= 799	T= 4 M= 1073	T= 6 M= 1155
062 Galletas 3	Q= 321 R= 155	T= 4 M= 231	T= 6 M= 273
063 Galletas 4	Q= 785 R= 667	T= 4 M= 1074	T= 5 M= 1180
064 Galletas 5	Q= 687 R= 585	T= 4 M= 846	T= 5 M= 999
065 Galletas 6	Q= 151 R= 53	T= 4 M= 77	T= 5 M= 91
066 Galletas 7	Q= 271 R= 155	T= 4 M= 231	T= 5 M= 273
067 Gelatina 1	Q= 1848 R= 1230	T= 3 M= 1640	T= 5 M= 2176
068 Gelatina 2	Q= 2094 R= 1537	T= 3 M= 2050	T= 5 M= 2723
069 Gelatina 3	Q= 2463 R= 1996	T= 3 M= 2684	T= 5 M= 3540
070 Gelatina 4	Q= 1971 R= 1384	T= 3 M= 1845	T= 5 M= 2451
071 Gelatina 5	Q= 1354 R= 719	T= 3 M= 957	T= 5 M= 1271
072 Gelatina 6	Q= 1407 R= 789	T= 3 M= 1025	T= 5 M= 1362
073 Gelatina 7	Q= 2147 R= 1588	T= 3 M= 2118	T= 5 M= 2814
074 Gelatina 8	Q= 2077 R= 1486	T= 3 M= 1981	T= 5 M= 2632
075 Mezapán	Q= 388 R= 342	T= 7 M= 528	T= 10 M= 627
076 Abe	Q= 444 R= 432	T= 4 M= 536	T= 5 M= 636
077 Mermelada	Q= 1896 R= 1843	T= 4 M= 2256	T= 5 M= 2574
078 Miel de abeja	Q= 630 R= 615	T= 8 M= 941	T= 10 M= 1040
079 Chile 1	Q= 702 R= 308	T= 3 M= 410	T= 5 M= 546
080 Chile 2	Q= 1050 R= 596	T= 3 M= 684	T= 5 M= 908
081 Chile 3	Q= 1010 R= 513	T= 3 M= 684	T= 5 M= 908
082 Mole en polvo	Q= 291 R= 232	T= 9 M= 446	T= 10 M= 471

Producto	III		V		VI	
083 Salsa catsup	Q= 2574	R= 2305	T= 3	M= 2818	T= 5	M= 3465
084 Salsa picante 1	Q= 1140	R= 410	T= 3	M= 615	T= 5	M= 891
085 Salsa picante 2	Q= 552	R= 69	T= 3	M= 103	T= 5	M= 149
086 Salsa picante 3	Q= 197	R= 87	T= 3	M= 94	T= 5	M= 116
087 Salsa picante 4	Q= 327	R= 258	T= 3	M= 282	T= 5	M= 347
088 Salsa picante 5	Q= 282	R= 172	T= 3	M= 188	T= 5	M= 231
089 Salsa picante 6	Q= 2256	R= 1998	T= 3	M= 2575	T= 5	M= 3003
090 Salsa picante 7	Q= 209	R= 95	T= 14	M= 207	T= 15	M= 215
091 Aceite de olivo	Q= 860	R= 769	T= 4	M= 1073	T= 5	M= 1155
092 Canela en polvo	Q= 695	R= 539	T= 8	M= 957	T= 10	M= 1098
093 Mayonesa 1	Q= 1924	R= 1639	T= 3	M= 2186	T= 5	M= 2904
094 Mayonesa 2	Q= 952	R= 752	T= 3	M= 1128	T= 5	M= 1634
095 Mostaza	Q= 1390	R= 479	T= 3	M= 718	T= 5	M= 1040
096 Pimienta negra	Q= 1800	R= 342	T= 8	M= 547	T= 10	M= 627
097 Vinagre blanco	Q= 890	R= 342	T= 3	M= 410	T= 5	M= 594
098 Café molido	Q= 284	R= 155	T= 6	M= 281	T= 10	M= 314
099 Café soluble 1	Q= 202	R= 120	T= 3	M= 137	T= 5	M= 182
100 Café soluble 2	Q= 1741	R= 1488	T= 2	M= 1734	T= 5	M= 2832
101 Café soluble 3	Q= 785	R= 687	T= 2	M= 777	T= 5	M= 1180
102 Café soluble 4	Q= 1570	R= 1332	T= 2	M= 1554	T= 5	M= 2390
103 Chocolate en barra	Q= 2420	R= 2152	T= 3	M= 2630	T= 5	M= 3234
104 Chocolate en polvo 1	Q= 1720	R= 1537	T= 3	M= 1879	T= 5	M= 2310
105 Chocolate en polvo 2	Q= 2302	R= 1946	T= 2	M= 2272	T= 5	M= 3449
106 Chocolate en polvo 3	Q= 1033	R= 872	T= 2	M= 1017	T= 5	M= 1543
107 Aceite para niños	Q= 700	R= 615	T= 2	M= 728	T= 5	M= 924
108 Jugo para bebé 1	Q= 912	R= 514	T= 6	M= 684	T= 10	M= 867
109 Jugo para bebé 2	Q= 1200	R= 923	T= 6	M= 1230	T= 10	M= 1560
110 Jugo para bebé 3	Q= 875	R= 309	T= 6	M= 410	T= 10	M= 620
111 Jugo para bebé 4	Q= 1055	R= 659	T= 6	M= 957	T= 10	M= 1213
112 Jugo para bebé 5	Q= 2181	R= 1973	T= 6	M= 2899	T= 10	M= 3639
113 Pañal 1	Q= 300	R= 291	T= 4	M= 359	T= 5	M= 347
114 Pañal 2	Q= 1752	R= 1743	T= 4	M= 2152	T= 5	M= 2079
115 Puré para bebé 1	Q= 942	R= 615	T= 8	M= 820	T= 10	M= 1040
116 Puré para bebé 2	Q= 1510	R= 1315	T= 6	M= 1913	T= 10	M= 2428
117 Puré para bebé 3	Q= 1096	R= 820	T= 6	M= 1093	T= 10	M= 1396
118 Shampoo para niños	Q= 2230	R= 1998	T= 2	M= 2360	T= 5	M= 3003
119 Talco para niños	Q= 1376	R= 1230	T= 2	M= 1452	T= 5	M= 1848
120 Toallitas para bebé	Q= 440	R= 377	T= 5	M= 513	T= 5	M= 526
121 Jabón de tocador 1	Q= 13274	R= 11829	T= 2	M= 13978	T= 5	M= 17787
122 Jabón de tocador 2	Q= 10180	R= 8995	T= 2	M= 9204	T= 5	M= 13976

Producto	III	V	VI
123 Jabón de tocador 3	Q= 5995 R= 5363	T= 5 M= 7525	T= 5 M= 7524
124 Gel fijador	Q= 696 R= 683	T= 5 M= 991	T= 5 M= 990
125 Crema dental 1	Q= 2008 R= 1691	T= 2 M= 1997	T= 5 M= 2541
126 Crema dental 2	Q= 7489 R= 6606	T= 2 M= 7805	Q= 7489 R= 6606
127 Toalla femenina 1	Q= 4128 R= 4085	T= 4 M= 5021	T= 5 M= 4851
128 Toalla femenina 2	Q= 4128 R= 4085	T= 4 M= 5021	T= 5 M= 4851
129 Shampoo	Q= 1975 R= 1788	T= 2 M= 2088	T= 5 M= 2857
130 Desodorante 1	Q= 1071 R= 897	T= 4 M= 1281	T= 5 M= 1485
131 Desodorante 2	Q= 1047 R= 897	T= 4 M= 1281	T= 5 M= 1485
132 Algodón	Q= 1236 R= 1230	T= 5 M= 1537	T= 5 M= 1584
133 Crema 1	Q= 1551 R= 1384	T= 4 M= 1931	T= 5 M= 2079
134 Crema 2	Q= 1680 R= 1537	Q= 1680 R= 1537	Q= 1680 R= 1537
135 Crema 3	Q= 868 R= 789	T= 4 M= 1025	T= 5 M= 1155
136 Crema 4	Q= 955 R= 846	T= 4 M= 1128	T= 5 M= 1271
137 Pañuelos desechables	Q= 3698 R= 3630	T= 4 M= 4483	T= 5 M= 4332
138 Bolsas para basura	Q= 2968 R= 2253	T= 3 M= 3257	T= 5 M= 3693
139 Cera para pisos	Q= 312 R= 291	T= 7 M= 380	T= 10 M= 429
140 Detergente 1	Q= 1078 R= 1078	T= 2 M= 1078	T= 5 M= 1634
141 Detergente 2	Q= 3590 R= 3073	T= 2 M= 3597	T= 5 M= 5448
142 Detergente 3	Q= 8115 R= 8108	T= 2 M= 8622	Q= 8120 R= 8108
143 Fibra lavatrastes	Q= 5292 R= 4918	T= 7 M= 6763	T= 10 M= 7722
144 Jabón 1	Q= 10185 R= 8704	T= 2 M= 10161	T= 5 M= 15428
145 Jabón 2	Q= 2891 R= 2458	T= 2 M= 2898	T= 5 M= 4358
146 Lavapisos 1	Q= 8780 R= 8089	T= 3 M= 7420	Q= 8780 R= 8089
147 Lavapisos 2	Q= 4414 R= 3670	T= 3 M= 4039	T= 5 M= 4867
148 Lavatrastes	Q= 14963 R= 13443	T= 2 M= 15882	T= 5 M= 20213
149 Limpiador en polvo	Q= 2857 R= 2536	T= 2 M= 2898	T= 5 M= 3812
150 Papel higiénico	Q= 44040 R= 43983	Q= 44040 R= 43983	Q= 44040 R= 43983
151 Papel toalla para cocina	Q= 4418 R= 4356	T= 4 M= 5360	T= 5 M= 5198
152 Pañete para sanitario	Q= 4085 R= 4458	T= 3 M= 5498	T= 5 M= 6699
153 Servilletas	Q= 11232 R= 11178	Q= 11232 R= 11178	Q= 11232 R= 11178
154 Suavizante 1	Q= 8808 R= 7913	T= 2 M= 9348	Q= 8808 R= 7913
155 Suavizante 2	Q= 5744 R= 4778	T= 2 M= 5082	T= 5 M= 6488
156 Meiz para pelonitas	Q= 1417 R= 1017	T= 3 M= 1162	T= 5 M= 1543
157 Pantimeda 1	Q= 484 R= 189	T= 3 M= 239	T= 5 M= 284
158 Pantimeda 2	Q= 518 R= 377	T= 3 M= 495	T= 5 M= 628
159 Pantimeda 3	Q= 685 R= 471	T= 3 M= 620	T= 5 M= 680
160 Pantimeda 4	Q= 685 R= 471	T= 3 M= 620	T= 5 M= 680
161 Papel aluminio	Q= 7128 R= 7114	T= 4 M= 8787	T= 5 M= 8480

Producto	VII	VIII	IX
001 Aceite 1	T= 5 M= 23913	T= 5 M= 21745	T= 5 M= 25245
002 Aceite 2	T= 5 M= 11575	T= 5 M= 10548	T= 5 M= 11545
003 Arroz bolsa	T= 5 M= 10414	T= 5 M= 9470	T= 5 M= 10386
004 Azúcar bolsa	Q= 31550 R= 31508	Q= 31550 R= 31508	Q= 31650 R= 31508
005 Frijol bolsa	T= 5 M= 7038	T= 5 M= 6426	T= 5 M= 7020
006 Garbanzo bolsa	T= 5 M= 584	T= 5 M= 607	T= 5 M= 682
007 Lentejas bolsa	T= 5 M= 2064	T= 5 M= 1677	T= 5 M= 2059
006 Sal refinada	T= 5 M= 5063	T= 10 M= 6786	T= 10 M= 7216
009 Alón en aceite	Q= 27696 R= 27582	Q= 27696 R= 25865	Q= 27696 R= 25865
010 Chicharos	T= 5 M= 4777	T= 5 M= 4437	T= 5 M= 4787
011 Chile en lata 1	T= 5 M= 1689	T= 5 M= 1502	T= 5 M= 1684
012 Chile en lata 2	T= 5 M= 5631	T= 10 M= 7596	T= 10 M= 8091
013 Chile en lata 3	T= 5 M= 5632	T= 5 M= 5186	T= 5 M= 5613
014 Chile en lata 4	T= 5 M= 5147	T= 5 M= 4577	T= 5 M= 5130
015 Crema para café	T= 5 M= 1688	T= 5 M= 1535	T= 5 M= 1684
016 Leche condensada	T= 5 M= 8440	T= 5 M= 7678	T= 5 M= 8416
017 Leche en polvo	T= 5 M= 3838	T= 5 M= 3497	T= 5 M= 3836
018 Leche proteinada	T= 5 M= 16504	T= 5 M= 15008	T= 5 M= 16480
019 Media crema	T= 5 M= 5721	T= 5 M= 5202	T= 5 M= 5708
020 Puré de tomate	T= 5 M= 4658	T= 5 M= 4328	T= 5 M= 4648
021 Sardinias	T= 10 M= 2809	T= 10 M= 2458	T= 10 M= 2754
022 Sopa enlatada 1	T= 5 M= 3468	T= 10 M= 4416	T= 10 M= 4658
023 Sopa enlatada 2	T= 5 M= 1316	T= 10 M= 1676	T= 10 M= 1858
024 Atole 1	T= 10 M= 3081	T= 20 M= 4487	T= 20 M= 4487
025 Atole 2	T= 10 M= 2919	T= 20 M= 4251	T= 20 M= 4400
026 Atole 3	T= 10 M= 2272	T= 20 M= 3308	T= 20 M= 3424
027 Atole 4	T= 10 M= 667	T= 20 M= 963	T= 20 M= 1085
028 Cereal 1	T= 5 M= 3471	T= 5 M= 3158	T= 5 M= 3462
029 Cereal 2	T= 5 M= 1313	T= 5 M= 1194	T= 5 M= 1310
030 Cereal 3	T= 5 M= 476	T= 5 M= 433	T= 5 M= 517
031 Cereal 4	T= 10 M= 1773	T= 20 M= 2680	T= 20 M= 2771
032 Cereal 5	T= 10 M= 457	T= 20 M= 605	T= 20 M= 673
033 Cereal 6	T= 5 M= 780	T= 10 M= 1098	T= 10 M= 1127
034 Harina de trigo	T= 5 M= 1127	T= 10 M= 1622	T= 10 M= 1721
035 Harina para holcales	T= 5 M= 2724	T= 10 M= 3674	T= 10 M= 3914
036 Consomé de pollo 1	T= 5 M= 2348	T= 5 M= 2133	T= 5 M= 2340
037 Consomé de pollo 2	T= 5 M= 751	T= 5 M= 683	T= 5 M= 749
038 Pasta 1	T= 5 M= 4601	T= 5 M= 4184	T= 5 M= 4589
039 Pasta 2	T= 5 M= 3006	T= 5 M= 2733	T= 5 M= 2997
040 Pasta 3	T= 5 M= 8479	T= 5 M= 5892	T= 5 M= 6482
041 Pasta 4	T= 5 M= 2086	T= 5 M= 1879	T= 5 M= 2081

Producto	VII	VIII	IX
042 Pasta 5	T= 5 M= 3005	T= 5 M= 2733	T= 5 M= 2987
043 Pasta 6	T= 5 M= 1408	T= 5 M= 1281	T= 5 M= 1405
044 Pasta 7	T= 5 M= 2068	T= 5 M= 1879	T= 5 M= 2081
045 Pasta 8	T= 5 M= 2180	T= 5 M= 1984	T= 5 M= 2154
046 Pasta 9	T= 5 M= 1503	T= 5 M= 1367	T= 5 M= 1488
047 Jugo 1	T= 5 M= 10757	T= 5 M= 10198	T= 5 M= 10198
048 Jugo 2	T= 5 M= 7172	T= 5 M= 6798	T= 5 M= 6798
049 Jugo 3	T= 5 M= 5888	T= 5 M= 5582	T= 5 M= 5582
050 Jugo 4	T= 5 M= 6031	T= 5 M= 5718	T= 5 M= 5718
051 Jugo 5	T= 5 M= 6848	T= 5 M= 6489	T= 5 M= 6489
052 Jugo 6	T= 5 M= 3424	T= 5 M= 3245	T= 5 M= 3245
053 Jugo 7	T= 5 M= 7081	T= 5 M= 7261	T= 5 M= 7261
054 Preparado 1	T= 10 M= 897	T= 20 M= 1267	T= 20 M= 1477
055 Preparado 2	T= 5 M= 3323	T= 5 M= 3034	T= 5 M= 3315
056 Preparado 3	T= 10 M= 358	T= 20 M= 507	T= 20 M= 575
057 Preparado 4	T= 10 M= 542	T= 20 M= 784	T= 20 M= 884
058 Caja quemada	T= 5 M= 1988	T= 10 M= 2588	T= 10 M= 2737
059 Flan	T= 5 M= 4503	T= 5 M= 4085	T= 5 M= 4491
060 Galletas 1	T= 5 M= 1315	T= 5 M= 1198	T= 5 M= 1312
061 Galletas 2	T= 5 M= 1196	T= 20 M= 2348	T= 20 M= 2431
062 Galletas 3	T= 5 M= 283	T= 5 M= 257	T= 5 M= 332
063 Galletas 4	T= 5 M= 1221	T= 20 M= 2719	T= 20 M= 2827
064 Galletas 5	T= 5 M= 1034	T= 5 M= 940	T= 5 M= 1304
065 Galletas 6	T= 5 M= 96	T= 5 M= 88	T= 5 M= 104
066 Galletas 7	T= 5 M= 283	T= 5 M= 257	T= 5 M= 307
067 Galletina 1	T= 5 M= 2252	T= 5 M= 2048	T= 9 M= 2774
068 Galletina 2	T= 5 M= 2815	T= 5 M= 2580	T= 5 M= 2808
069 Galletina 3	T= 5 M= 3658	T= 5 M= 3327	T= 5 M= 3649
070 Galletina 4	T= 5 M= 2564	T= 5 M= 2334	T= 5 M= 2557
071 Galletina 5	T= 5 M= 1357	T= 5 M= 1238	T= 5 M= 1354
072 Galletina 6	T= 5 M= 1408	T= 5 M= 1280	T= 5 M= 1404
073 Galletina 7	T= 5 M= 2988	T= 5 M= 2702	T= 5 M= 2958
074 Galletina 8	T= 5 M= 2721	T= 5 M= 2474	T= 5 M= 2714
075 Mazapán	T= 10 M= 649	T= 20 M= 945	T= 20 M= 1077
076 Ale	T= 5 M= 886	T= 10 M= 894	T= 10 M= 1010
077 Mermelada	T= 5 M= 2884	T= 5 M= 2480	T= 5 M= 3848
078 Miel de abeja	T= 10 M= 1083	T= 20 M= 1527	T= 20 M= 1777
079 Chile 1	T= 5 M= 563	T= 5 M= 512	T= 5 M= 612
080 Chile 2	T= 5 M= 945	T= 5 M= 860	T= 5 M= 943
081 Chile 3	T= 5 M= 939	T= 5 M= 854	T= 5 M= 937
082 Mole en polvo	T= 10 M= 488	T= 10 M= 462	T= 10 M= 537

Producto	VII	VIII	IX
083 Salsa catsup	T= 5 M= 3585	T= 5 M= 3330	T= 5 M= 3578
084 Salsa picante 1	T= 5 M= 921	T= 5 M= 819	T= 5 M= 1017
085 Salsa picante 2	T= 5 M= 171	T= 5 M= 154	T= 5 M= 171
086 Salsa picante 3	T= 5 M= 120	T= 5 M= 111	T= 5 M= 129
087 Salsa picante 4	T= 5 M= 359	T= 5 M= 333	T= 5 M= 408
088 Salsa picante 5	T= 5 M= 239	T= 5 M= 222	T= 5 M= 273
089 Salsa picante 6	T= 5 M= 3105	T= 10 M= 3957	T= 10 M= 4172
090 Salsa picante 7	T= 15 M= 223	T= 20 M= 258	T= 20 M= 283
091 Aceite de olivo	T= 5 M= 1195	T= 20 M= 2348	T= 20 M= 2431
092 Canela en polvo	T= 10 M= 1136	T= 20 M= 1654	T= 20 M= 1770
093 Mayonesa 1	T= 5 M= 3002	T= 5 M= 2730	T= 5 M= 2994
094 Mayonesa 2	T= 5 M= 1689	T= 5 M= 1502	T= 5 M= 1684
095 Mostaza	T= 5 M= 1075	T= 5 M= 958	T= 5 M= 1072
096 Pimienta negra	T= 10 M= 807	T= 20 M= 1103	T= 20 M= 1103
097 Vinagre blanco	T= 5 M= 644	T= 5 M= 578	T= 5 M= 642
098 Café molido	T= 10 M= 325	T= 20 M= 473	T= 20 M= 524
099 Café soluble 1	T= 5 M= 198	T= 5 M= 179	T= 5 M= 213
100 Café soluble 2	T= 5 M= 2721	T= 5 M= 2474	T= 5 M= 2714
101 Café soluble 3	T= 5 M= 1223	T= 5 M= 1112	T= 5 M= 1328
102 Café soluble 4	T= 5 M= 2438	T= 5 M= 2217	T= 5 M= 2432
103 Chocolate en barra	T= 5 M= 3454	T= 10 M= 4371	T= 10 M= 4371
104 Chocolate en polvo 1	T= 5 M= 2465	T= 10 M= 3120	T= 10 M= 3120
105 Chocolate en polvo 2	T= 5 M= 3554	T= 5 M= 3241	T= 5 M= 3555
106 Chocolate en polvo 3	T= 5 M= 1598	T= 5 M= 1451	T= 5 M= 1592
107 Aceite para niños	T= 5 M= 958	T= 5 M= 888	T= 5 M= 954
108 Jugo para bebé 1	T= 10 M= 903	T= 20 M= 1273	T= 20 M= 1441
109 Jugo para bebé 2	T= 10 M= 1613	T= 20 M= 2279	T= 20 M= 2354
110 Jugo para bebé 3	T= 10 M= 543	T= 20 M= 785	T= 20 M= 885
111 Jugo para bebé 4	T= 10 M= 1255	T= 20 M= 1773	T= 20 M= 1899
112 Jugo para bebé 5	T= 10 M= 3782	T= 20 M= 5318	T= 20 M= 5480
113 Pañal 1	T= 5 M= 481	T= 5 M= 444	T= 5 M= 444
114 Pañal 2	T= 5 M= 2758	T= 5 M= 2854	T= 5 M= 2854
115 Puré para bebé 1	T= 10 M= 1555	T= 20 M= 2000	T= 20 M= 2000
116 Puré para bebé 2	T= 10 M= 2508	T= 20 M= 3544	T= 20 M= 3880
117 Puré para bebé 3	T= 10 M= 1433	T= 20 M= 2025	T= 20 M= 2081
118 Shampoo para niños	T= 5 M= 3105	T= 5 M= 2884	T= 5 M= 3099
119 Talco para niños	T= 5 M= 1911	T= 5 M= 1775	T= 5 M= 1907
120 Toallitas para bebé	T= 5 M= 547	T= 10 M= 678	T= 10 M= 810
121 Jabón de tocador 1	T= 5 M= 18403	T= 5 M= 17094	T= 5 M= 18366
122 Jabón de tocador 2	T= 5 M= 14408	T= 5 M= 13087	T= 5 M= 14388

Producto	VII	VIII	IX
123 Jabón de tocador 3	T= 5 M= 7786	T= 10 M= 9853	T= 10 M= 10124
124 Gel fijador	T= 5 M= 1030	T= 20 M= 2183	T= 20 M= 2349
125 Crema dental 1	T= 5 M= 2629	T= 5 M= 2442	T= 5 M= 2624
126 Crema dental 2	Q= 7486 R= 6906	Q= 7486 R= 6906	Q= 7486 R= 6026
127 Toalla femenina 1	T= 5 M= 6284	T= 5 M= 6046	T= 5 M= 6046
128 Toalla femenina 2	T= 5 M= 6188	T= 5 M= 5950	T= 5 M= 5950
129 Shampoo	T= 5 M= 2749	T= 5 M= 2563	T= 5 M= 2659
130 Desodorante 1	T= 5 M= 1537	T= 10 M= 2028	T= 10 M= 2152
131 Desodorante 2	T= 5 M= 1537	T= 10 M= 2028	T= 10 M= 2152
132 Algodón	T= 5 M= 1652	T= 10 M= 2046	T= 10 M= 2243
133 Crema 1	T= 5 M= 2304	T= 10 M= 2894	T= 10 M= 2894
134 Crema 2	Q= 1680 R= 1537	Q= 1680 R= 1537	Q= 1680 R= 1537
135 Crema 3	T= 5 M= 1195	T= 10 M= 1523	T= 10 M= 1523
136 Crema 4	T= 5 M= 1315	T= 10 M= 1675	T= 10 M= 1766
137 Pañuelos desechables	T= 5 M= 5537	T= 5 M= 5324	T= 5 M= 5324
138 Bolsas para basura	T= 5 M= 4129	T= 10 M= 5599	T= 10 M= 5599
139 Cera para pisos	T= 10 M= 445	T= 10 M= 427	T= 10 M= 478
140 Detergente 1	T= 5 M= 2772	T= 5 M= 2819	T= 5 M= 2819
141 Detergente 2	T= 5 M= 5636	T= 5 M= 5125	T= 5 M= 5620
142 Detergente 3	Q= 8120 R= 8108	Q= 8120 R= 8108	Q= 8120 R= 8108
143 Fibras lavatrastes	T= 10 M= 7987	T= 10 M= 7881	T= 10 M= 7881
144 Jabón 1	T= 5 M= 15941	T= 5 M= 14498	T= 5 M= 15899
145 Jabón 2	T= 5 M= 4501	T= 5 M= 4083	T= 5 M= 4489
146 Lavapisos 1	Q= 6785 R= 6099	Q= 6780 R= 6099	Q= 6780 R= 7373
147 Lavapisos 2	T= 5 M= 5172	T= 5 M= 4806	T= 5 M= 5161
148 Lavatrastes	T= 5 M= 19408	T= 5 M= 19362	T= 5 M= 20806
149 Limpiador en polvo	T= 5 M= 3944	T= 5 M= 3983	T= 5 M= 3936
150 Papel higiénico	Q= 44040 R= 43983	Q= 44040 R= 43983	Q= 44040 R= 43983
151 Papel toalla para cocina	T= 5 M= 6630	T= 5 M= 6375	T= 5 M= 6375
152 Pañales para sanitario	T= 5 M= 6627	T= 5 M= 6434	T= 5 M= 6613
153 Servilletas	Q= 11232 R= 11178	Q= 11232 R= 11178	Q= 11232 R= 11178
154 Suavizante 1	Q= 6808 R= 7913	Q= 6808 R= 7913	Q= 6808 R= 6763
155 Suavizante 2	T= 5 M= 6689	T= 5 M= 6196	T= 5 M= 6658
156 Melz para pelonitas	T= 5 M= 1622	T= 5 M= 1477	T= 5 M= 1618
157 Pantimeda 1	T= 5 M= 274	T= 20 M= 505	T= 20 M= 566
158 Pantimeda 2	T= 5 M= 547	T= 20 M= 1008	T= 20 M= 1107
159 Pantimeda 3	T= 5 M= 684	T= 20 M= 1280	T= 20 M= 1428
160 Pantimeda 4	T= 5 M= 684	T= 20 M= 1280	T= 20 M= 1386
161 Papel aluminio	T= 5 M= 10430	T= 5 M= 10007	T= 5 M= 10007