

01168

29.3

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO E IMPLANTACION DE UN SIMULADOR DE INVENTARIOS

LEOVIGILDO LOPEZ GARCIA

TESIS
PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA
(INVESTIGACION DE OPERACIONES)

CIUDAD UNIVERSITARIA

MEXICO, D. F., JUNIO DE 1988

TESIS CON
FALLA DE ORDEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
1.- ASPECTOS BASICOS DE INVENTARIOS	4
1.1 Definición y Objetivo	4
1.2 Tipos de Sistemas de Inventarios	6
1.3 Componentes de un Sistema de Inventarios	7
1.4 Modelos para el Control de Inventarios	12
2.- MODELOS DE INVENTARIOS CLASICOS	22
2.1 Determinísticos	23
2.1.1 Modelo de Lote Económico	23
2.1.2 Modelo de producción-inventario	29
2.2 Estocásticos	36
2.2.1 Modelo $\langle Q, r \rangle$	36
2.2.2 Modelo $\langle R, T \rangle$	42
2.2.3 Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$	47
2.2.4 Modelo $\langle R, r, T \rangle$	52
3.- SIMULACION DE INVENTARIOS	56
3.1 Aspectos Básicos de Simulación	57
3.2 Clasificación de los Modelos de Simulación	68
3.3 Simulación en Sistemas de Inventarios	75

4.-	SISTEMA SIMULADOR DE INVENTARIOS (SISI)	82
	4.1 Generalidades	83
	4.2 Estructura del Sistema	89
5.-	APLICACIONES DEL SISTEMA SISI	100
	5.1 Aplicación Práctica	100
	5.1.1 Descripción del Problema	101
	5.1.2 El Modelo Propuesto	105
	5.1.3 Parámetros del Modelo	108
	5.1.4 Solución	122
	5.1.5 Uso del Sistema SISI	124
	5.2 Aplicaciones Teóricas	134
	5.2.1 Modelo de Lote Económico	134
	5.2.2 Modelo de Producción	138
	5.2.3 Modelo $\langle Q, r \rangle$	141
	5.2.4 Modelo $\langle R, T \rangle$	156
	5.2.5 Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$	169
	5.2.6 Modelo $\langle R, r, T \rangle$	177
	CONCLUSIONES	184
ANEXO 1	Pruebas Estadísticas	
ANEXO 2	Código del Sistema	
ANEXO 3	Reporte Completo de una Salida del Sistema SISI	

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

En la vida práctica, los sistemas de inventarios tienen una gran importancia en diversos tipos de industrias o empresas. Cada día se requiere más del uso de modelos de inventarios y de herramientas para el análisis, evaluación e implantación de soluciones que permitan mantener un control estricto sobre ciertas existencias.

En la realidad los modelos que más se adecúan a los problemas diarios de almacenamiento son los estocásticos, y éstos, normalmente, presentan una gran dificultad para su resolución analítica, ya que casi nunca se pueden obtener expresiones que proporcionen la solución óptima y cuando éstas se logran, con frecuencia son muy difíciles de evaluar numéricamente, ya que involucran expresiones muy complicadas para su evaluación y éstas se tienen que aplicar un grán número de veces durante la búsqueda de la solución óptima. Más aún, casi no existen desarrollados métodos numéricos para resolver algunos modelos estocásticos. Es por ello necesario utilizar cierto tipo de técnicas numéricas que faciliten dar alguna solución, aunque sea aproximada, a este tipo de modelos. Una técnica numérica muy importante para resolver problemas que involucren este tipo de modelos es la simulación, ya que presenta grandes ventajas respecto a la búsqueda de la solución analítica.

En este trabajo se desarrolla e implanta un sistema simulador de inventarios, que, además de proporcionar soluciones exactas a modelos determinísticos y aproximadas a modelos estocásticos, permite conocer información importante, relativa al proceso de simulación de los sistemas de inventarios que se tratan. Esta información se puede obtener con la frecuencia deseada. Los modelos estocásticos permiten varias posibilidades en cuanto a las distribuciones de probabilidad de la demanda, del tiempo entre demandas y de los tiempos de espera para los reabastecimiento del inventario.

Se indican las ventajas que tiene el utilizar la simulación, las limitaciones de uso del sistema, las ventajas respecto a soluciones analíticas. Finalmente, se muestra una aplicación a una empresa productora de aceites y varias aplicaciones teóricas, una por cada modelo considerado.

Este tiempo puede conocerse con certeza (determinístico), o ser aleatorio. En el caso determinístico la entrega puede ser instantánea o en un tiempo mayor que cero.

Costos

Algunos de los costos involucrados de una u otra forma con los inventarios son:

a) Costos de Adquisición

Se acostumbra dividir estos costos en dos subclases: los que se producen por compras al exterior, llamados costos de ordenar y los originados por autoabastecimiento, a los que comúnmente se les denomina de acondicionamiento o de preparación y consideran la preparación de la producción de un lote de artículos. Ambos costos juegan el mismo papel en el planteamiento analítico del problema de inventarios. Los costos incurridos cada vez que se coloca un pedido, comienzan con la requisición de compra, incluyendo además la expedición de la orden de compra, el seguimiento de la misma, recibo de los artículos y su colocación en el inventario.

Los costos de preparación se refieren a los gastos incurridos en el requerimiento, la programación, cambios de maquinaria y de proceso, recibo e inspección y almacenamiento.

INTRODUCCION

Una condición necesaria para que las empresas o industrias operen correctamente, es que mantengan un estricto control en el almacenamiento, ya sea de materias primas, de productos intermedios o de los productos finales que comercializan. Por ejemplo, una empresa que produce algún dulce, debe tener una operación correcta del inventario de su materia prima como azúcar, jarabes, saborizantes artificiales, envolturas y otros elementos necesarios para la elaboración de su producto. Es necesario, también, que mantenga niveles adecuados de inventario de su producto terminado, de tal manera que pueda satisfacer la demanda que se le presente y que no tenga grandes cantidades de excedentes. De manera similar, una organización de servicios debe tener un inventario de los artículos necesarios para prestar sus servicios. Por ejemplo, una empresa de transportes debe tener refacciones suficientes en inventario, que le permitan prestar sus servicios en forma satisfactoria, sin incurrir en gastos extremos debidos a un exceso de inventarios.

En la mayoría de las empresas, la inversión en inventarios representa una suma importante. Como esta inversión es tan grande, las prácticas que se determinen para el control de los inventarios, que ofrezcan ahorros en un pequeño porcentaje del valor del inventario total, pueden representar grandes ahorros monetarios. Entonces, es tan clara la necesidad de controlar adecuadamente los inventarios que no

tiene sentido preguntar si es preciso utilizar un modelo para ello, sino que es imperante responder a las interrogantes ¿Cuánto se debe mantener en inventario? y ¿Cómo se debe operar un sistema de inventarios?, en otras palabras ¿cuanto ordenar? y ¿cuando ordenar?.

Conviene señalar que a fines de los años cincuentas, los inventarios representaban, aproximadamente, la tercera parte de los activos totales de la industria en general, en los Estados Unidos [12], razón por la cual parece natural el uso de modelos matemáticos para control de los inventarios, que minimicen el costo total de operación. Cuando en un modelo de inventarios se conoce con precisión la demanda futura y el tiempo de reposición de un reabastecimiento del inventario, dar respuestas efectivas a las preguntas planteadas, normalmente no presenta problema alguno, pero cuando esos elementos no se pueden conocer de antemano, sólo en términos de una distribución de probabilidad, en muchos casos se puede complicar la búsqueda de las mejores respuestas.

Cuando en la práctica se desea utilizar algún modelo estocástico, se observa que éstos son muy difíciles de resolver, de hecho no tienen solución analítica y se tiene que emplear métodos numéricos para dar una solución aproximada. Más aún, en la mayoría de ellos no se ha desarrollado una técnica numérica que proporcione una solución aproximada, ya que representa un trabajo muy difícil. A pesar de esto, se observa que la simulación puede ser una técnica que ayude considerablemente para resolver estos problemas tan complicados.

Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora, los cuales requieren cierto tipo de modelos que describan el comportamiento de un sistema en periodos prolongados [2,p14].

El objetivo de este trabajo es desarrollar e implantar un sistema interactivo que permita dar solución y además simular diversos sistemas de inventarios que corresponden a ciertos modelos, tanto determinísticos como estocásticos. El sistema recibe el nombre de SISI (Sistema Simulador de Inventarios) y fue desarrollado para una computadora personal.

El trabajo se desarrolla como se indica a continuación: en el capítulo 1 se presentan algunos conceptos básicos de la teoría de inventarios. En el capítulo 2 se describe el funcionamiento de los modelos considerados en el sistema desarrollado, sus componentes y se dan expresiones para los costos totales. En el capítulo 3 se exhiben algunos aspectos básicos de simulación. En el capítulo 4 se da una descripción detallada del sistema, tanto de su estructura como de su funcionamiento, opciones de uso y limitaciones. En el capítulo 5 se presenta un caso de aplicación. Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas, la bibliografía utilizada y dos anexos: en el primero se muestran las pruebas estadísticas utilizadas en el capítulo 5, y en el segundo se da el código del sistema.

CAPITULO 1

ASPECTOS BASICOS DE INVENTARIOS

En este capítulo se presentan algunos aspectos básicos de la administración de los inventarios. En la sección 1.1 se da el concepto de inventarios y la función que éstos tienen; en la sección 1.2 se indican los tipos de sistemas de inventarios existentes; en la sección 1.3 se comentan las componentes de un sistema de inventarios y, finalmente, en la sección 1.4 se da una clasificación de los tipos de inventarios y la terminología usual para su estudio.

1.1 Definición y Función de los Inventarios

En términos generales, los inventarios son recursos utilizables que se encuentran almacenados. En un medio ambiente fabril, el inventario se compone de materia prima, productos intermedios, productos semiterminados y/o artículos terminados. En empresas del ramo comercial, los inventarios se contemplan como artículos que están disponibles para la venta. En organizaciones como hospitales, universidades y otras del ramo servicios, el equipo, los materiales y el personal pueden formar los inventarios.

Los inventarios se crean para lograr un cierto grado de independencia entre etapas consecutivas en el proceso de producción o entre escalas consecutivas en sistemas de distribución. Por ejemplo,

es común encontrar inventarios en tránsito, inventarios de contingencia, inventarios estacionales e inventarios cíclicos.

La existencia de estos inventarios permite la conducción de cada una de las principales actividades en forma relativamente independiente. Por supuesto, hay interacciones, sin embargo, éstas no son tan marcadas como sería el caso si tratáramos de operar en cada una de las etapas con un abastecimiento instantáneo, ya que, cualquier interrupción del flujo en un punto del sistema afectaría rápidamente todas las etapas siguientes.

En una organización, para lograr que ésta opere de la mejor manera posible, a veces entran en contradicción dos o más áreas, por ejemplo, al área de finanzas le interesaría mantener los inventarios lo más bajos posibles, mientras que al área de producción le puede interesar mantener los inventarios en un nivel lo más alto posible, para garantizar la producción que satisfaga la demanda futura. El control adecuado de los inventarios permitirá mediar entre esos dos objetivos particulares de la organización.

El objetivo fundamental al controlar los inventarios es minimizar el costo total del inventario, es decir, minimizar la suma de los costos que se involucran en el mantenimiento de los inventarios. Esto trae como consecuencia varios aspectos como son, entre otros:

- 1.- Minimizar la inversión en el inventario
- 2.- Mantener un inventario suficiente para que la producción no carezca de materia prima, partes y suministros
- 3.- Minimizar el costo de almacenamiento
- 4.- Minimizar la pérdida por daños, obsolescencia y mermas
- 5.- Mantener un transporte eficiente de los elementos que conforman el inventario
- 6.- Mantener funciones adecuadas de despacho y recepción de productos
- 7.- Mantener un sistema de información eficiente para el inventario
- 8.- Proporcionar informes sobre el valor de los inventarios a diversas áreas de la organización
- 9.- Mantener un flujo uniforme de productos
- 10.- Utilizar equipos de manera razonable
- 11.- Mantener buen servicio a los clientes

1.2 Tipos de Sistemas De Inventarios

Antes de analizar las técnicas que permitan minimizar los costos de operación, es necesario estudiar la naturaleza de los inventarios y de los sistemas de inventarios, así como sus componentes más importantes.

Los sistemas de control de inventarios caen en dos grandes categorías: sistemas de distribución de mercancía y sistemas de

manufactura o producción. En un sistema de distribución, el producto pasa del fabricante al vendedor mayorista, al vendedor al menudeo y por último al consumidor final, o en el más breve de los casos, del productor al consumidor directamente.

Los procesos de manufactura exhiben otro tipo de estructura de inventario. Empezando con materia prima y suministros, el proceso puede dar como resultado inventarios de componentes, subensambles, y bienes parcialmente terminados en varios niveles intermedios, antes de llegar a la etapa final de bienes terminados.

Es importante entender que el sistema es interdependiente, es decir, que las políticas y prácticas de inventarios del minorista se ven afectadas por las demandas de los consumidores, las políticas del distribuidor, por las prácticas del minorista y así sucesivamente a lo largo de todo el sistema.

1.3 Componentes de un Sistema de Inventarios

En un sistema de inventarios existen varios elementos que se interrelacionan. Los conceptos que se manejan y que representan precisamente a los componentes de un sistema de inventarios son:

- Demanda
- Tiempo de entrega o de producción
- Costos

- Horizonte de planeación
- Productos

La demanda

La demanda es el factor más importante en el control de los inventarios. Representa el número de unidades requeridas en un periodo, por los consumidores del bien que se trate. En ocasiones la demanda se puede conocer con toda exactitud, aunque en la mayoría de los casos varía de manera aleatoria. En el primer caso, se dice que la demanda es **determinística** y en el segundo la demanda se llama **estocástica** y su distribución de probabilidad se puede conocer o no.

La demanda puede ser constante o variar en cada periodo. En el primer caso se le llama **estática** y en el segundo **dinámica**.

El Tiempo de Entrega

Corresponde al lapso que transcurre entre el momento que se ordena un artículo o se decide fabricar éste, y, el momento en que llega al almacén o se termina su producción. Se acostumbra llamarlo tiempo de envío, tiempo de entrega, tiempo de reposición o tiempo de reabastecimiento, indistintamente.

Este tiempo puede conocerse con certeza (determinístico), o ser aleatorio. En el caso determinístico la entrega puede ser instantánea o en un tiempo mayor que cero.

Costos

Algunos de los costos involucrados de una u otra forma con los inventarios son:

a) Costos de Adquisición

Se acostumbra dividir estos costos en dos subclases: los que se producen por compras al exterior, llamados costos de ordenar y los originados por autoabastecimiento, a los que comúnmente se les denomina de acondicionamiento o de preparación y consideran la preparación de la producción de un lote de artículos. Ambos costos juegan el mismo papel en el planteamiento analítico del problema de inventarios. Los costos incurridos cada vez que se coloca un pedido, comienzan con la requisición de compra, incluyendo además la expedición de la orden de compra, el seguimiento de la misma, recibo de los artículos y su colocación en el inventario.

Los costos de preparación se refieren a los gastos incurridos en el requerimiento, la programación, cambios de maquinaria y de proceso, recibo e inspección y almacenamiento.

b) Costos de Aprovisionamiento

Son los costos en que se incurre por tener inventario y por no tener inventario.

El costo de tener inventarios incluye a su vez varios costos, algunos de los cuales son:

- Costo de Oportunidad

Dado que el dinero invertido en el inventario podría utilizarse en otra parte para obtener algún provecho, es necesario asignar un costo que tome en cuenta la pérdida de utilidades. El costo que se asigna depende del uso que se pudiera dar al dinero si éste estuviera disponible.

- Costos de Almacenamiento

El espacio que se requiere para almacenar el inventario generalmente tiene un costo asociado ya que depende de que haya una alternativa para usarlo.

Se puede calcular como el valor del espacio ocupado por los almacenes en relación con el espacio total de la planta.

- **Costos por Desperfectos**

Muchos artículos bajan de valor durante el almacenamiento, consecuencia de su deterioro real, obsolescencia o pillaje. Por tal motivo, esta pérdida de valor representa un costo que debe asignarse al mantenimiento del inventario.

- **Costos por Seguro**

Va que muchos inventarios requieren seguros, es necesario incluir este costo en el mantenimiento de inventarios.

- **Costos por Abarrotamiento**

Es el costo que resulta al quedar existencias del inventario después que la demanda por el artículo ha terminado. La interpretación de este costo depende del problema de inventarios en estudio, es decir, si éste es estático o dinámico.

El costo por no llevar inventarios se llama costo por carencia o por faltantes. Este costo presenta dos variantes, que dependen de la reacción del cliente potencial ante el caso de carencia. Si el cliente acepta que su pedido sufra una entrega diferida; se presentarán costos adicionales entre los que se pueden nombrar los

siguientes: costos de apresuramiento, costos por manejos especiales, costos por empaque y embarques especiales, entre otros. Si por el contrario, el cliente se rehusa a hacer un pedido por un artículo agotado, debe considerarse un costo llamado comúnmente costo pérdida de la buena voluntad.

Horizonte de Planeación

Es el tiempo considerado en el análisis y para el cual se cree necesario planear los inventarios.

Los Productos

Los productos pueden ser uno solo o varios. Clasificándose en unidad o lote según el proceso; perecederos o duraderos según su vida útil; divisibles o indivisibles según que acepten o no valores fraccionarios.

1.4. Modelos para el Control de los Inventarios

En la práctica, cada vez que se desea establecer un control en los inventarios de alguna organización, es preciso abstraer las características fundamentales del sistema de inventarios y

representarlas de una manera más sencilla en un modelo matemático, para que se pueda manipular y ofrecer respuestas favorables relacionadas con las preguntas fundamentales ¿cuánto ordenar cada vez? y ¿cuándo hacerlo?

Respecto al modelo que puede funcionar mejor, dependerá de las características en cada caso. Esas características se refieren a la naturaleza de la demanda, del tiempo de envío o de producción (según sea el caso tratado) y de la costumbre y/o posibilidades de revisión.

En las dos secciones siguientes se da una clasificación de los modelos de inventarios y la terminología utilizada en ellos.

Clasificación

En primera instancia, se puede decir que los modelos que se utilizan para controlar los inventarios pueden ser divididos en función de la certidumbre que se posee en cuanto al comportamiento de las variables que lo afectan.

Los modelos **DETERMINISTICOS** son aquellos en los que la demanda de artículos, el tiempo de entrega o de producción cuando se hace un pedido y el tiempo entre demandas son conocidos y constantes.

Los modelos **PROBABILISTICOS** o **ESTOCASTICOS** son aquellos modelos en los que la demanda y/o el tiempo entre demandas y/o el

tiempo de entrega o de producción (según sea el caso) no es fijo ni conocido, pero se sabe que se comportan de acuerdo a alguna distribución de probabilidad conocida, pudiendo ser tal distribución diferente para cada variable.

Esta primera división es la más importante pues determina la complejidad de los métodos analíticos o heurísticos que se tienen que utilizar. Un modelo determinístico es muy fácil de ser tratado, sea por métodos heurísticos o por formulación matemática, pero es también el menos realista. Por otro lado, un modelo estocástico se complica significativamente, sobre todo desde el punto de vista matemático conforme más elementos probabilísticos considere en su formulación, pero permite representar en forma más realista el sistema de inventarios.

Otra clasificación útil en los modelos estocásticos surge tomando como criterio el momento cuando se revisa el inventario. De esta forma, existen modelos de **REVISION CONTINUA** cuando se asume que en cualquier momento del tiempo se puede revisar y conocer la posición del inventario y modelos de **REVISION PERIODICA** en los que el nivel de inventarios sólo puede ser conocido en ciertos momentos fijos y predefinidos de tiempo. Las dos clasificaciones se pueden observar en el esquema de la figura 1.1. Además, a manera de clasificación, aunque formalmente no lo es, se puede decir que en cualquiera de los casos anteriores, existen dos posibilidades en caso de que se presenten faltantes, estas son: pérdida de ventas y retraso de ventas, según la actitud de los clientes que demandan el artículo

o servicio de la organización.

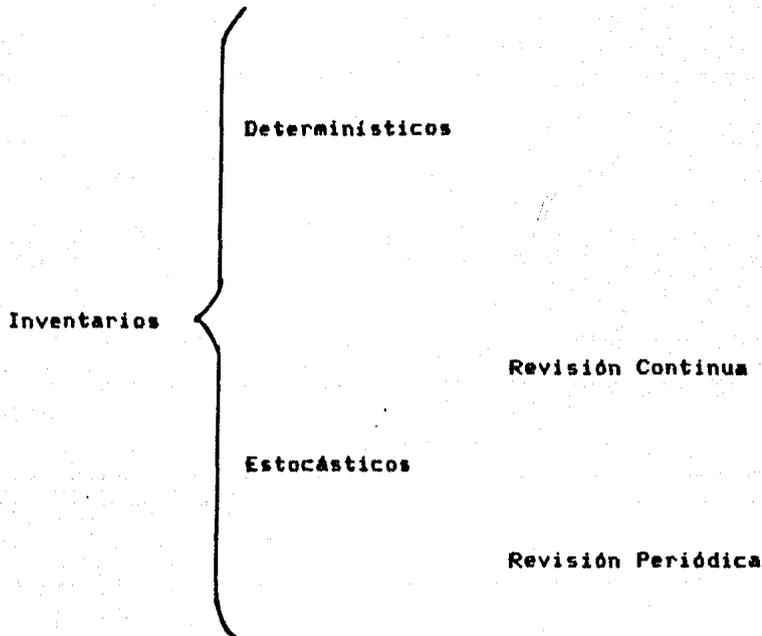


Figura 1.1 Clasificación de los modelos de inventarios

Otro aspecto de interés para la aplicación de los modelos de inventario es el de definir qué artículos vale la pena controlar más estrictamente. Normalmente, en una empresa existen varios tipos de productos y lo más probable es que resulte incosteable el llevar un mismo control estricto de cada uno de ellos. El costoso tiempo y esfuerzo que implica el controlar las existencias y establecer logísticamente las políticas de reabastecimiento lo dedican las empresas a una pequeña porción del total de renglones del inventario,

que engloban la mayor parte del valor total en dinero que suma el inventario.

S.H. Ford Dickie en la General Electric, efectuó una clasificación de productos conocida como el método ABC. La idea es simple y muy útil, el punto de interés es el valor de los artículos. Según esto, unos pocos productos, entre el 10% y el 20% representan entre el 70% y el 80% del valor total de inventarios; en consecuencia, para este grupo llamado "A", hay que tener marcada vigilancia, lo que sugiere el desarrollo y uso de modelos sofisticados. Otro tanto de artículos, entre el 30% y el 40% representan entre el 15% y el 20% del valor del inventario, a este grupo se le denomina grupo "B" y dado que no representan una gran proporción de la inversión en el inventario, se justifica un control menos riguroso, este control puede estar basado en sistemas de límites en cantidad monetaria, cantidad de productos o de tiempo, según sea el caso.

Finalmente el grupo "C" queda constituido por productos de valor relativamente bajo, es decir, el 40% ó 50% del total de los artículos que representan entre el 5% y el 10% del valor del inventario; razón por lo cual requieren una supervisión simple en el nivel de existencias para satisfacer las necesidades de venta y/o producción y prácticamente no existe control estricto sobre ellos. Los porcentajes mencionados pueden variar de empresa a empresa y, a manera de ejemplo, se muestra en la figura 1.2 el método ABC.

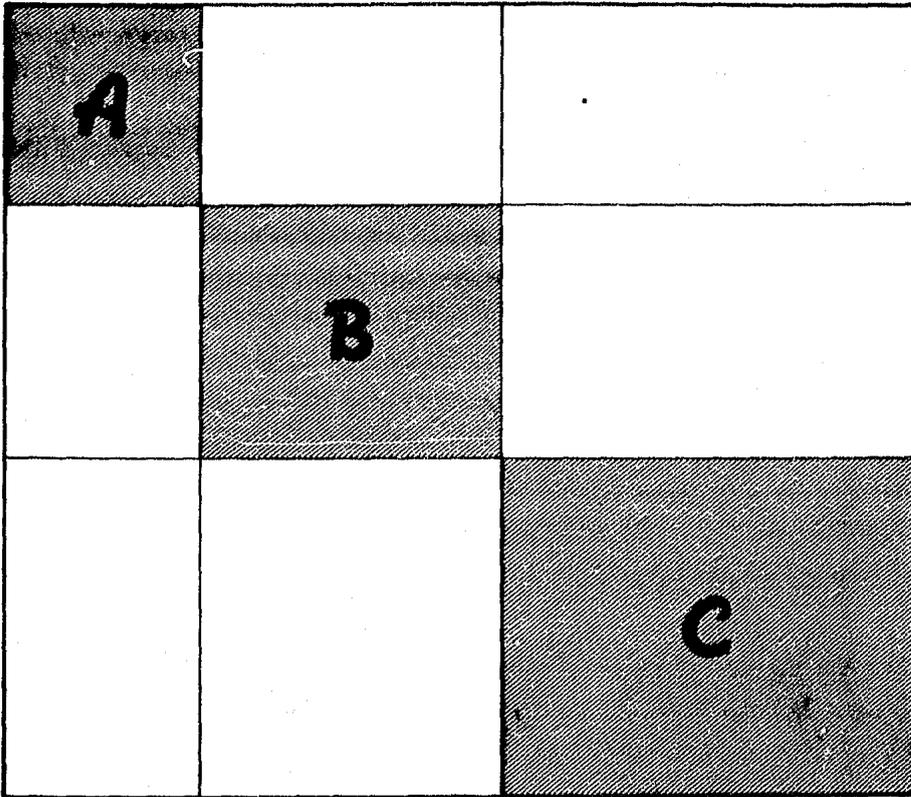


Fig.1.2 Método ABC de Clasificación de Inventarios

Este método es usado ampliamente en la industria y aunque es común la clasificación en los tres grupos A, B y C, se podría generar un número diferente de ellos (2 ó 4, por ejemplo).

1.4.2 Terminología

En los modelos para control de inventarios se emplean términos que son característicos del trabajo de análisis y de establecimiento de políticas de abastecimiento. Por tal motivo se presenta a continuación la definición de los términos que se emplean a lo largo del desarrollo de los capítulos siguientes.

- **Punto de Reorden (r).** Es el nivel de existencias que indica que se debe colocar un pedido. Está determinado por la cantidad requerida para satisfacer la demanda ocurrida durante el periodo de reabastecimiento más la cantidad de reserva que se mantiene para los casos imprevistos de variaciones en la demanda o en la entrega de pedidos.
- **Inventario Físico (IF).** Es igual a la cantidad física de artículos que se tiene almacenada.
- **Inventario Neto (IN).** Es igual al Inventario Físico menos las órdenes de ventas pendientes si es el caso de ventas pendientes e igual al Inventario Físico en el caso de pérdida de ventas.

- **Posición de Inventario (PI).** Es igual al Inventario Neto más la cantidad ordenada pendiente.
- **Tiempo de Carencia.** Es el tiempo que transcurre desde que el Inventario Físico toma el valor de cero hasta que una orden se incorpora al inventario. También se le llama tiempo de faltantes.
- **Faltantes.** Representa la cantidad demandada durante el tiempo de carencia.
- **Ciclo.** Corresponde al intervalo de tiempo entre dos incorporaciones consecutivas de órdenes al inventario.
- **Orden.** Es la cantidad ordenada o producida.
- **Costo de Faltantes (Cf).** Es el costo en que se incurre cuando existen faltantes en el inventario. Este costo es diferente en los casos de pérdida de ventas y retraso de ventas.
- **Costo de Ordenar (Co).** Es el costo ocasionado cada vez que se elabora una orden de reabastecimiento del inventario.
- **Costo de Producción (Cp).** Es el costo que resulta al ordenar un lote de producción.

- **Coste de Mantener en Inventario (Cm).** Se refiere al costo ocasionado por mantener una unidad del producto en inventario. También se le llama **coste de mantenimiento.**
- **Coste de Revisión (Cr).** Es el costo ocasionado al realizar una revisión de la posición del inventario.
- **Nivel de seguridad (s).** Es el inventario neto un instante antes de que se incorpore una orden al inventario.
- **Tiempo de Envío.** Es el tiempo que tarda en ser entregada una orden.
- **Costo Total (CTA).** Es la suma de todos los costos involucrados en el modelo.
- **Inventario Máximo (Im).** Es el máximo valor que el inventario alcanza. En algunos modelos será $r + Q$ en otros R y en otro I_0 .
- **Tiempo entre Revisiones (T).** Es el lapso transcurrido entre dos revisiones consecutivas del inventario.
- **Demanda durante el tiempo de envío (n).** Es la demanda que tiene el inventario mientras se espera la llegada de una orden pendiente.

- **Demanda anual (D).** Es la cantidad promedio anual que se espera tenga el inventario.

CAPITULO 2

MODELOS DE INVENTARIOS CONSIDERADOS

En el capítulo anterior se mencionó que si en un sistema de inventarios se conoce la demanda, el tiempo entre demanda y el tiempo de envío, podemos representar su comportamiento con un modelo determinístico, mientras que si se desconoce al menos uno de estos elementos, pero se puede predecir en términos probabilísticos, el comportamiento del inventario se puede representar con un modelo estocástico.

En este capítulo, se presenta la descripción de los modelos de inventario a considerar posteriormente, los componentes, los supuestos y la función del costo total del inventario, sin pretender dar una deducción matemática de ésta⁸. En todos los modelos se considera un horizonte de planeación de un año, sin que esto signifique que no se pueda considerar un periodo diferente.

Este capítulo se desarrolla en dos grandes apartados. En el primero se mencionan los modelos determinísticos tratados: el modelo de lote económico y el modelo de producción-inventario; en la segunda parte se presentan los modelos estocásticos $\langle Q, r \rangle$, $\langle R, T \rangle$, $\langle nQ, r, T \rangle$ y $\langle R, r, T \rangle$

⁸ Para ver la deducción detallada de la función de costos, se pueden consultar las referencias [1] y [4].

2.1 Modelos Determinísticos

Los dos modelos determinísticos simulados en el sistema SISI, son: el de Lote Económico con algunas variantes, sin faltantes o con faltantes y en este caso, con las opciones retraso de ventas o pérdida de ventas; y el modelo de producción, es decir, se considera tasa de reemplazo finita, pero mayor que la tasa de demanda, tomando en cuenta faltantes.

2.1.1 Modelo de Lote Económico

En este modelo se inicia con un inventario físico igual al tamaño del lote económico, Q , la demanda es constante y conocida, el tiempo entre demandas también es una constante conocida y se solicita una orden, ya sea cuando el inventario neto llega a cero (sin faltantes) o cuando existen faltantes iguales a una cantidad s , pero en ambas situaciones, toda la orden solicitada es entregada instantáneamente (tiempo de envío cero), lo cual hace considerar una tasa de reemplazo infinita. El último supuesto de este modelo es que los costos unitarios involucrados son constantes.

Los costos considerados en el modelo son tres: el de ordenar, el de mantenimiento y el de faltantes. Una descripción gráfica de este modelo, con sus tres opciones, se muestra en las figuras 2.1, 2.2 y 2.3.

Se considera que un ciclo es constante e igual a t , que junto con el valor de Q responderá a las dos preguntas fundamentales que se presentan en todo sistema de inventarios: ¿Cuánto Ordenar? y ¿Cuándo Ordenar?

Si la demanda anual es D , la duración promedio de cada ciclo será:

$$t = Q / D$$

En el caso en que no se consideran faltantes (figura 2.1) el costo por este concepto será cero y la expresión del costo total anual, en términos de Q , es

$$CTA(Q) = C_o D / Q + C_m Q / 2 \quad (2.1)$$

donde $CTA(Q)$ = Costo total del inventario,

C_o = Costo de ordenar,

Q = Cantidad a ordenar,

D = Demanda anual esperada,

C_m = Costo de mantener una unidad en inventario

El caso en el que existen faltantes se presenta en las figuras 2.2 y 2.3, donde durante el tiempo t_1 se logra satisfacer la demanda mientras que en el tiempo t_2 existen faltantes.

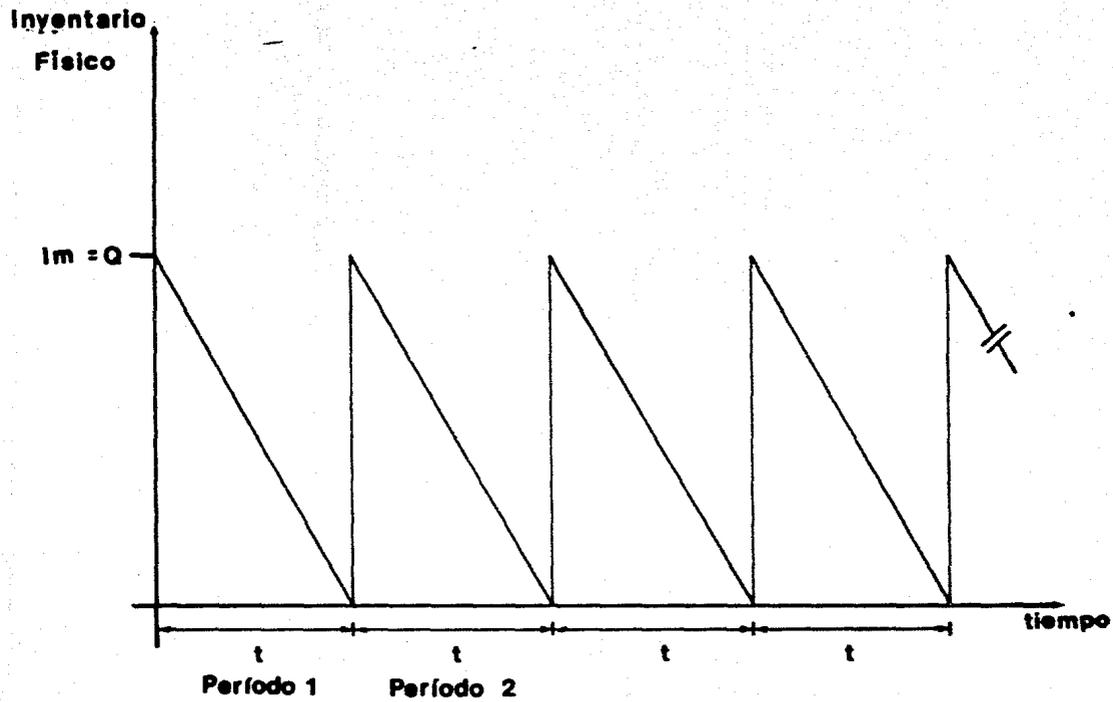


Fig. 2.1 Modelo de Lote Económico sin Falta

El caso retraso de ventas se presenta en la figura 2.2, donde se muestra que durante el tiempo t_z se acumula la demanda para satisfacerla cuando la orden se incorpora al inventario. El caso pérdida de ventas se muestra en la figura 2.3, donde, durante el tiempo t_z se pierden las ventas. En los dos casos, los faltantes por ciclo son s y el costo total anual dependerá de Q y de s .

El costo total anual para el caso retraso de ventas esta dado por la expresión 2.2, mientras que para el caso pérdida de ventas, está dado por la expresión 2.3.

$$CTA(Q,s) = CoD/Q + Cm(Q - s)^2/2Q + Cfs^2/2Q \quad (2.2)$$

$$CTA(Q,s) = CoD/Q + Cm(Q^2)/2(Q+s) + Cfs^2/2(Q + s) \quad (2.3)$$

donde $CTA(Q,s)$ = Costo total del inventario,

Co = Costo de ordenar,

Cm = Costo de almacenamiento

Cf = Costo de faltantes

D = Demanda anual esperada,

Q = Cantidad a ordenar.

El costo de faltante unitario en cada caso tendrá un significado diferente.

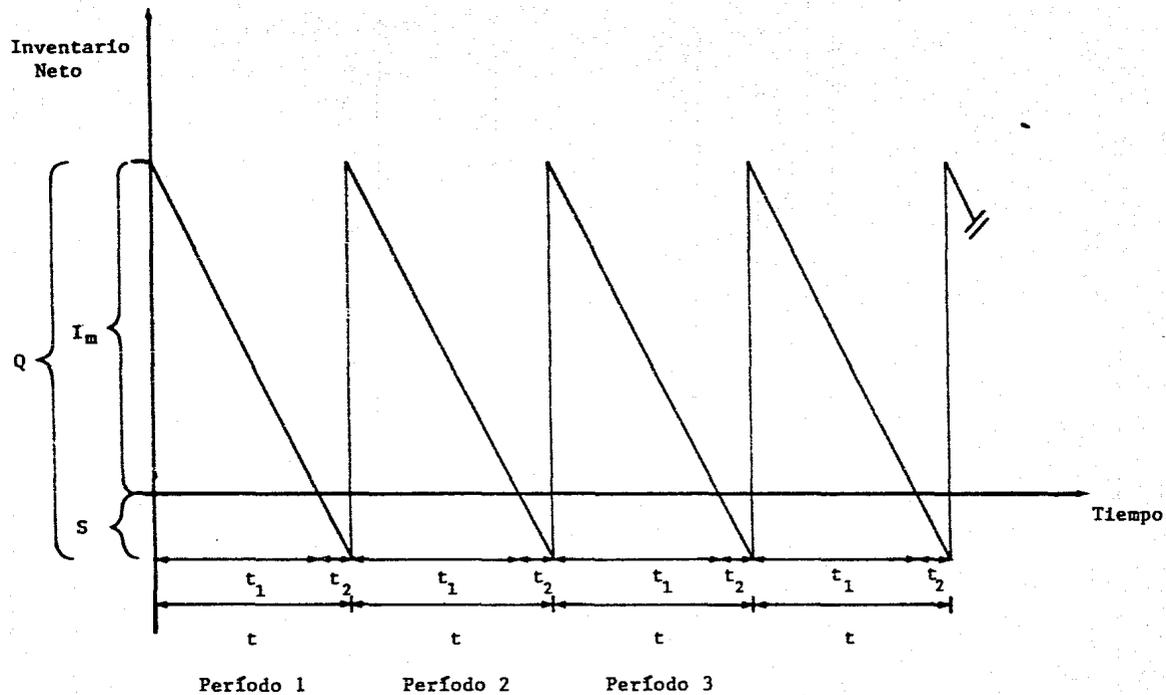


Figura 2.2 Modelo de Lote Económico con Faltantes. Retraso de Ventas

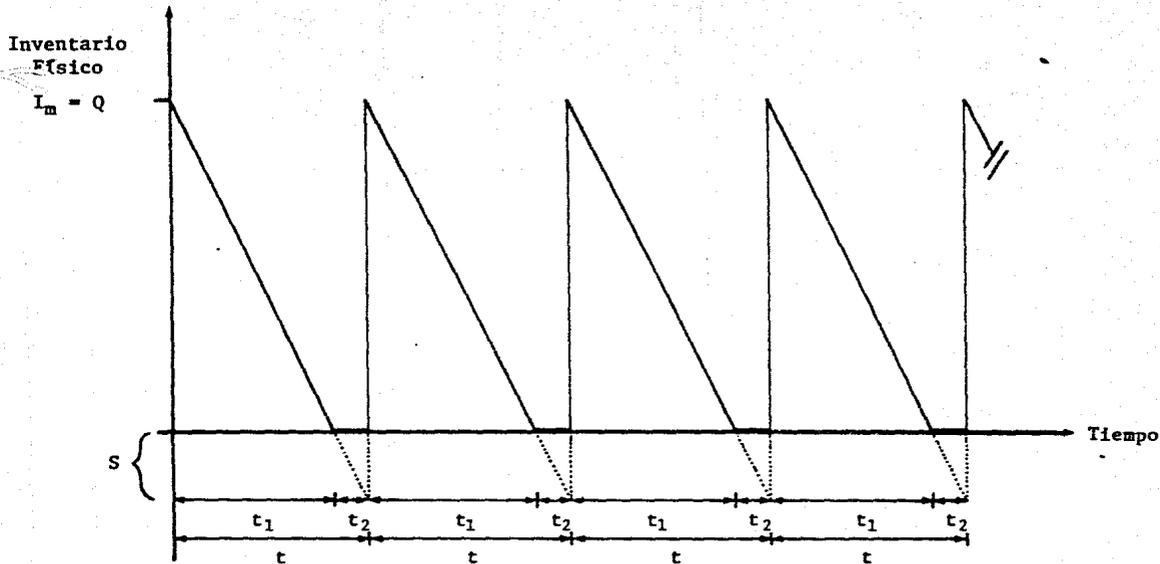


Figura 2.3 Modelo de Lote Económico con Faltantes. Pérdida de Ventas

2.1.2 Modelo de Producción-Inventario

Por ser un modelo determinístico, éste también supone demanda constante y conocida, tiempo entre demandas constante y conocido y costos constantes. La diferencia con el modelo de Lote Económico es que en vez de solicitar órdenes de tamaño Q a los proveedores, cada vez que el inventario llegue a cero o que exista una cantidad de faltantes igual a s y esta orden sea entregada inmediatamente, en este caso se producirá la misma cantidad Q , día a día, durante cierto tiempo, a una tasa mayor que la de demanda, es decir se considera una tasa de reemplazo finita. Esto permite que durante el periodo de producción del lote, el inventario neto se incremente hasta obtener el inventario máximo, I_m .

Después que se logra lo anterior, se deja de producir, ocasionando que, al existir solamente demandas, el inventario neto disminuya hasta que sea igual a cero o hasta tener faltantes por una cantidad s . En este momento se pide un reabastecimiento con la producción de otro lote. Al tiempo entre los dos reabastecimientos se le llamará ciclo.

Vale la pena hacer notar que este modelo representa no sólo el caso de producción, también se puede utilizar cuando al solicitar una orden de reabastecimiento a los proveedores, ésta llegue en partes, de tal manera que la cantidad que entra al inventario es mayor que la que sale y es constante.

Las gráficas que representan a este modelo corresponden a las figuras 2.4, 2.5, y 2.6. En la figura 2.4 se muestra el caso en el que no se permiten faltantes. En ésta se puede observar que el tiempo de producción es t_1 y el tiempo de demanda es t_2 . Si la tasa de producción anual es R y la tasa de demanda anual es D , la pendiente de la gráfica del inventario en el tiempo t_1 es $R-D$ y en el tiempo t_2 es $-D$. Durante t_1 se produce la cantidad Q , como al mismo tiempo existe demanda, el inventario físico sólo sube hasta el punto I_m , desde donde empieza a decrecer durante el tiempo t_2 , donde sólo existe demanda.

Los costos unitarios que se involucran son: el unitario, el de mantenimiento y , en vez del costo de ordenar, ahora se involucra el costo de producción. La expresión para el costo total anual en este caso es la siguiente:

$$CTA(Q) = C_p D/Q + C_m Q/2 (1 - D/R) \quad (2.4)$$

donde: C_p = Costo de producir una orden,
 C_m = Costo de mantener una unidad en inventario,
 D = Tasa de demanda,
 R = Tasa de producción,
 Q = Cantidad a producir.

Nuevamente, la duración de cada ciclo es $t = Q/D$ y nos indica el momento en que debemos solicitar la producción de otro lote de tamaño Q .

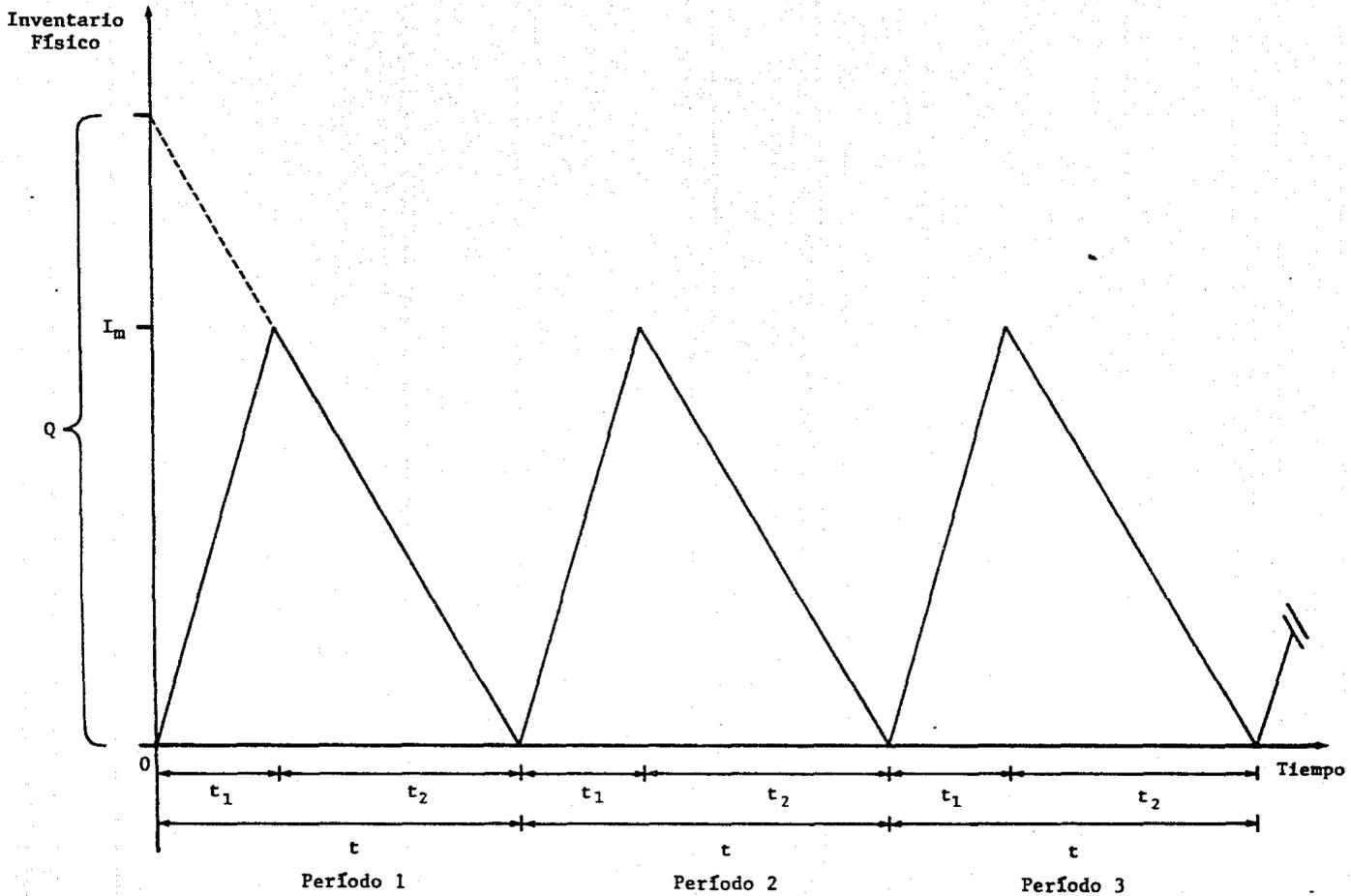


Figura 2.4 Modelo de Producción sin Faltantes

Si se permiten faltantes, el caso retraso de ventas se muestra en la figura 2.5. En ella se puede observar que son de interés cuatro tiempos: el de producción con demanda y con faltantes, t_1 , el de producción con demanda, t_2 , el de demanda únicamente, t_3 y el de demanda con faltantes, t_4 .

El funcionamiento con esta opción es como en el caso sin faltantes, excepto que ahora, cuando existen estos, se permite que se acumule la demanda durante su tiempo de ocurrencia (t_4), para ser satisfecha cuando se empiece a producir (t_1 y t_2), elevándose el inventario hasta el inventario máximo I_m .

La expresión del costo total anual es la (2.5).

$$CTA(Q) = C_p D/Q + (C_m / 2Q) [Q (1 - D/R) - s]^2 [1/(1-D/R)] + C_f (s^2/2Q) [1 / (1 - D/R)] \quad (2.5)$$

En donde:

C_p = Costo de producir una orden,

C_f = Costo por faltantes,

C_m = Costo de mantener una unidad en el inventario,

D = Tasa de demanda,

R = Tasa de producción,

Q = Cantidad a ordenar,

s = Nivel de seguridad.

Inventario
Neto

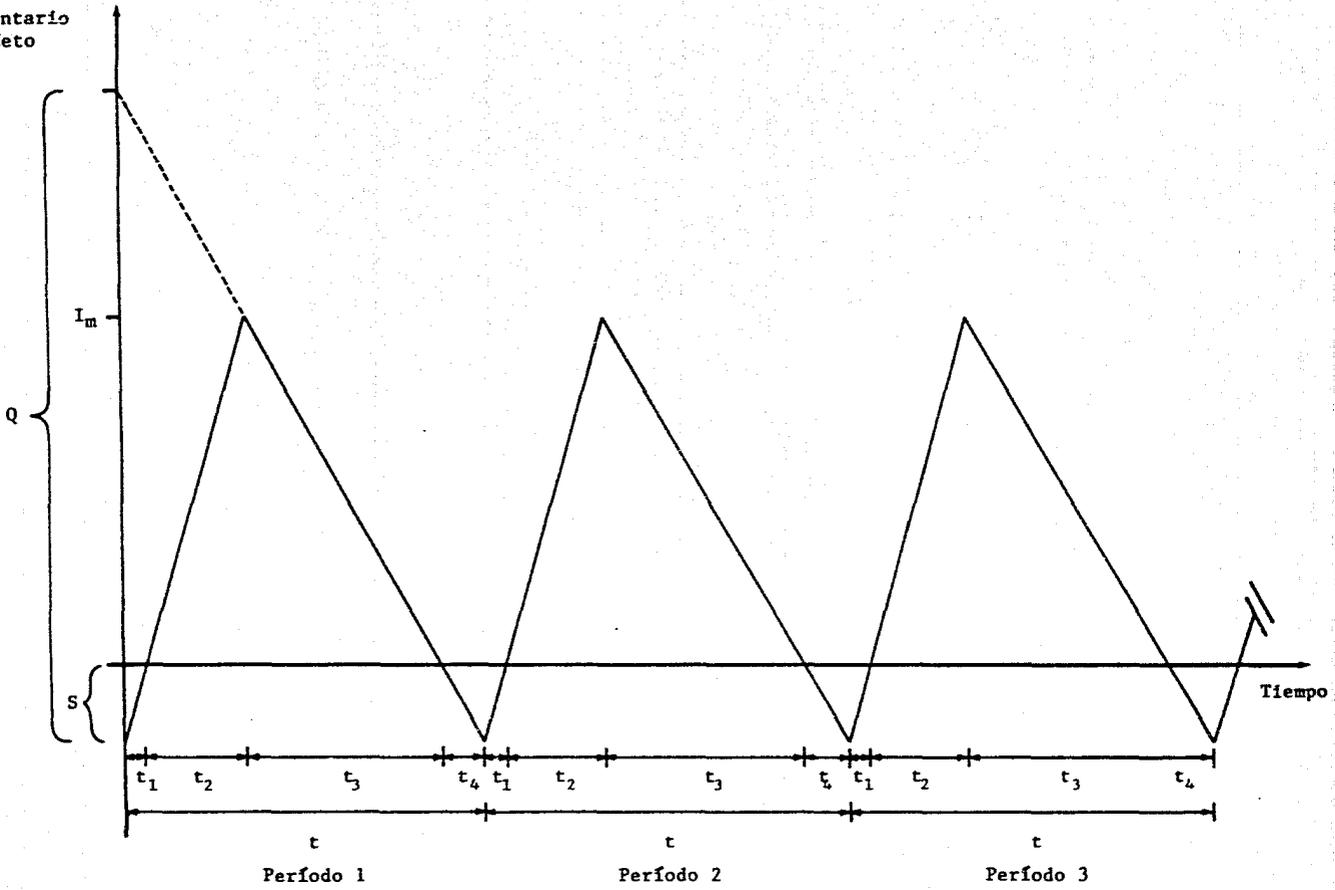


Figura 2.5 Modelo de Producción con Faltantes. Caso: Retraso de Ventas

El caso pérdida de ventas se presenta en la figura 2.6 en este caso sólo interesan tres tiempos: el de producción, t_1 , el de producción y demanda, t_2 y el de faltantes, t_3 . Nuevamente, se supone que la producción en cada ciclo, que esta vez está dado por la suma de los tres tiempos mencionados, es igual a Q unidades. Los faltantes por ciclo son iguales a s y el inventario máximo es I_m .

El costo total anual en esta ocasión también está representado en la ecuación (2.5), donde C_f representa el costo por pérdida de una venta unitaria.

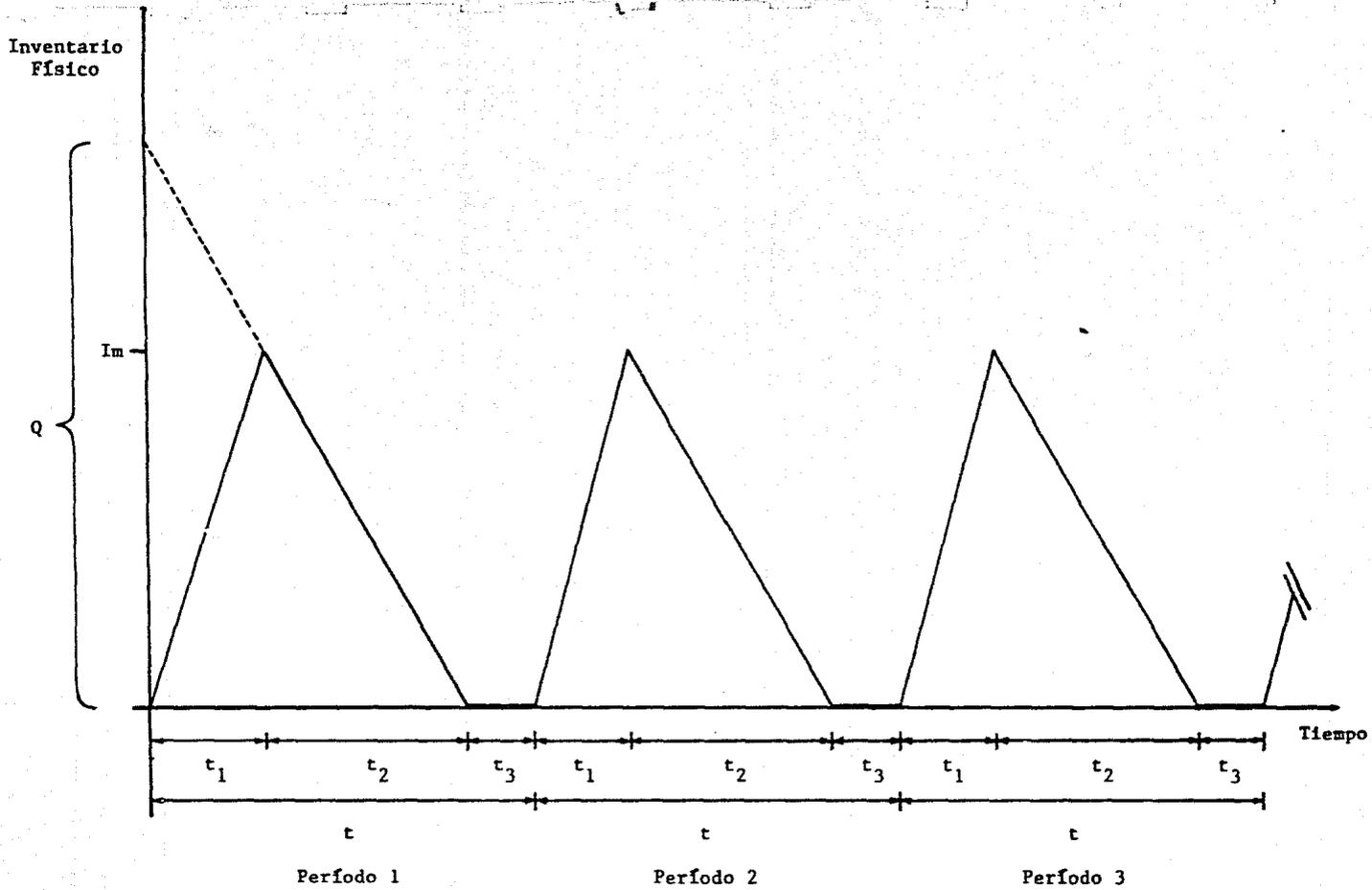


Figura 2.6 Modelo de Producción con Faltantes. Caso: Pérdida de Ventas

2.2 Modelos Estocásticos

En esta sección también se muestran los aspectos fundamentales de cada uno de los modelos mencionados, es decir la descripción de cada uno, sus componentes, los supuestos y la expresión del costo total anual. Son cuatro los modelos estocásticos considerados en el sistema SISI. Uno de ellos es de revisión continua y los otros tres de revisión periódica y en cualquiera de ellos se simulan los casos pérdida de ventas y retraso de ventas. Se inicia la presentación de esta sección con el modelo de revisión continua y se termina con los de revisión periódica.

2.2.1 Modelo $\langle Q, r \rangle$

Este modelo de revisión continua también se conoce como modelo de lote económico-punto de reorden. Maneja los tres conceptos de nivel de inventario definidos en el capítulo 1, es decir, inventario físico, inventario neto y posición del inventario. Para el caso retraso de ventas, se manejan los conceptos inventario neto (IN) y posición del inventario (PI), mientras que para el caso pérdida de ventas, se trabaja con los conceptos inventario físico (IF) y posición del inventario (PI).

En este modelo se supone que al iniciar el periodo de estudio, el inventario físico o neto, según sea el caso, es igual a $r > 0$ y la posición del inventario es $r + Q$, es decir, existe una orden pendiente al iniciar el periodo de estudio.

Por ser un modelo estocástico, tanto la demanda como el tiempo entre éstas y el tiempo de envío pueden obedecer a una distribución de probabilidad conocida, que puede ser discreta o continua. Los niveles del inventario disminuirán de acuerdo a la distribución de la demanda y cuando se llegue al punto de reorden, r , se solicitará una orden por una cantidad constante Q , denominada lote económico, que tardará en ser entregada un tiempo t , el tiempo de envío. Si la demanda x durante este tiempo es mayor que el nivel de reorden, se dice que existen faltantes y se pueden presentar los casos retraso de ventas o pérdida de ventas.

Si se considera el caso retraso de ventas, se solicitará una orden cuando la posición del inventario llegue al punto de reorden y en ese momento se tendrá una orden pendiente. El supuesto más importante en este modelo, para su resolución analítica, es que no se admiten dos o más órdenes pendientes al mismo tiempo, dicho con otras palabras, se supone que al incorporarse la orden al inventario, la posición del inventario sube hasta un valor mayor que el punto de reorden, ya que de no ser así, nunca más se volverá a solicitar reabastecimiento, porque la posición del inventario no volverá a cruzar el punto de reorden. Este caso se ilustra en la figura 2.7.

En la realidad, nada garantiza que se satisfará este supuesto, que está representando una restricción, ya que puede ocurrir que el tiempo de envío sea tan grande y/o la demanda durante ese tiempo tan fuerte, que la posición del inventario (líneas punteadas en las figuras 2.7 y 2.8) caiga por debajo del punto de reorden, lo que significaría que se debe ordenar nuevamente.

En el Sistema Simulador de Inventarios desarrollado y presentado en el capítulo 4, no se requiere del anterior supuesto tan restrictivo, ya que se pueden simular perfectamente bien todas las llegadas de los reabastecimientos, sea cual fuere el orden de éstas. En otras palabras, se está diciendo que en el sistema SISI se permiten dos o más órdenes pendientes al mismo tiempo, sin que esto afecte el desarrollo de la simulación, lo cual es más real.

El último supuesto de este modelo es el considerar los costos constantes durante el periodo de trabajo.

El costo total anual del inventario está dado en la expresión (2.6), en la que $E(c)$ representa la cantidad de faltantes esperada por ciclo y $E(x)$ es la demanda esperada durante el tiempo de envío.

$$CTA(Q,r) = C_o D/Q + C_m [Q/2 + r - E(x)] + C_f E(c) D/Q \quad (2.6)$$

donde

C_o = Costo de ordenar,

C_m = Costo de mantener una unidad en el inventario,

C_f = Costo por faltar una unidad en el inventario,

Q = Cantidad a ordenar,

D = Demanda anual esperada,

r = Nivel de reorden,

$E(c)$ = Valor esperado de faltantes,

$E(x)$ = Valor esperado de la demanda durante el tiempo de envío.

Niveles del Inventario

$r + Q$

r

Posición del Inventario

Inventario Neto

Punto c reorder

Tiempo

t t t t

Período 1 Período 2

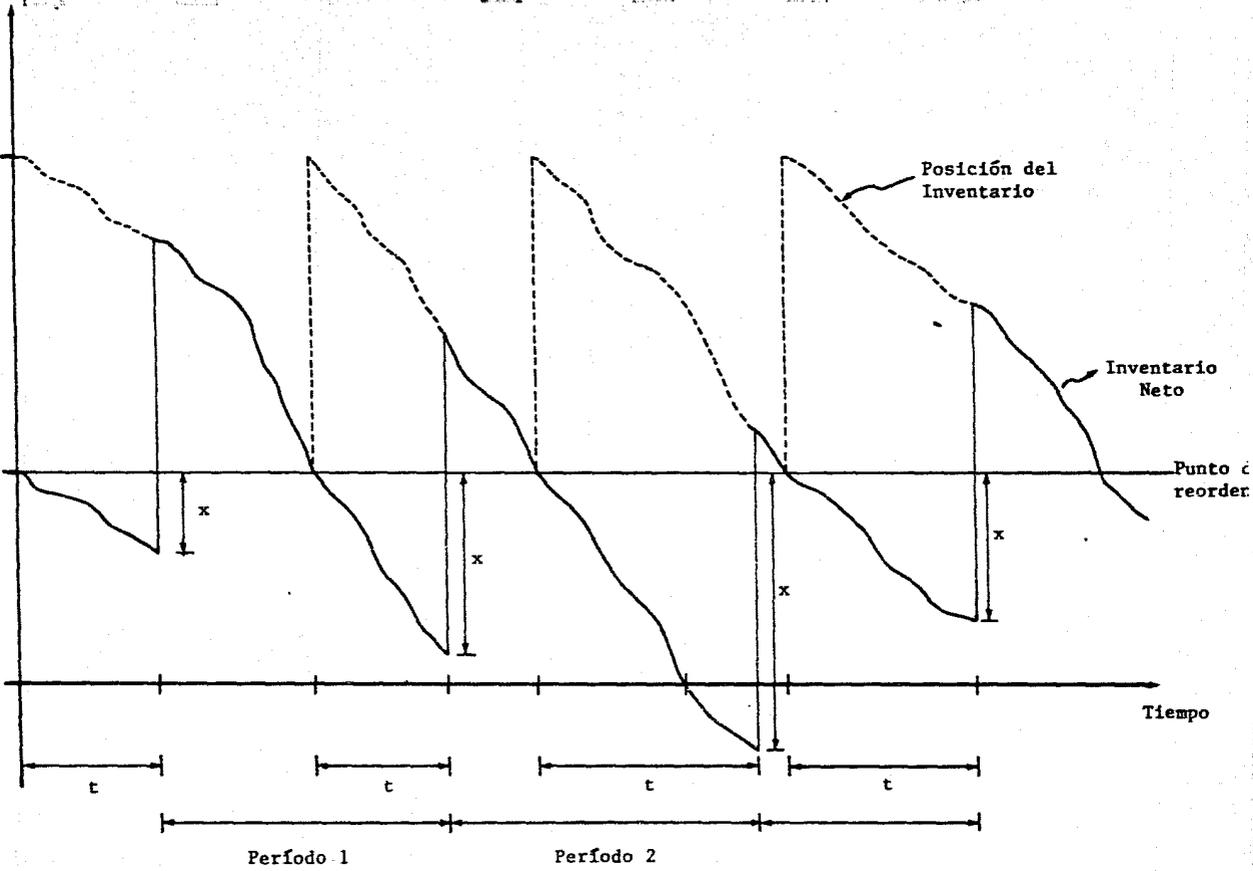


Figura 2.7 Modelo $\langle Q, r \rangle$. Caso: Retraso de Ventas

El caso pérdida de ventas se diferencia del caso retraso de ventas en que en el momento de existir faltantes, no se pueden acumular las demandas para ser satisfechas en el momento en que llegue la orden, sino que éstas se pierden. Este caso se muestra en la figura (2.8), en la que se puede observar que en cada periodo de trabajo se almacena, en promedio, una mayor cantidad que en el caso retraso de ventas, debido a que en este último, al llegar una orden, primero se satisfacen las demandas acumuladas, con lo cual la posición del inventario sube hasta un nivel menor que en el caso pérdida de ventas, lo que produce un menor almacenamiento.

El momento para solicitar una orden es el mismo que el del caso anterior, es decir cuando la posición del inventario llega al punto de reorden. El costo total anual está dado en la expresión (2.7), donde son válidas las mismas consideraciones del caso anterior.

$$CTA(Q,r) = CoD/Q + Cm[Q/2 + r - E(x)] + (Cm + Cf D/Q)E(c) \quad (2.7)$$

donde

Co = Costo de ordenar,

Cm = Costo de mantener una unidad en inventario,

Cf = Costo por faltar una unidad,

Q = Cantidad a ordenar,

r = Nivel de reorden,

D = Demanda anual esperada,

$E(x)$ = Valor esperado de la demanda durante el tiempo de envío,

$E(c)$ = Cantidad esperada de faltantes.

Niveles del
Inventario

$r + Q$

r

Posición del
Inventario

Inventario
Físico

Punto de
Reorden

x

x

x

x

Tiempo

t

t

t

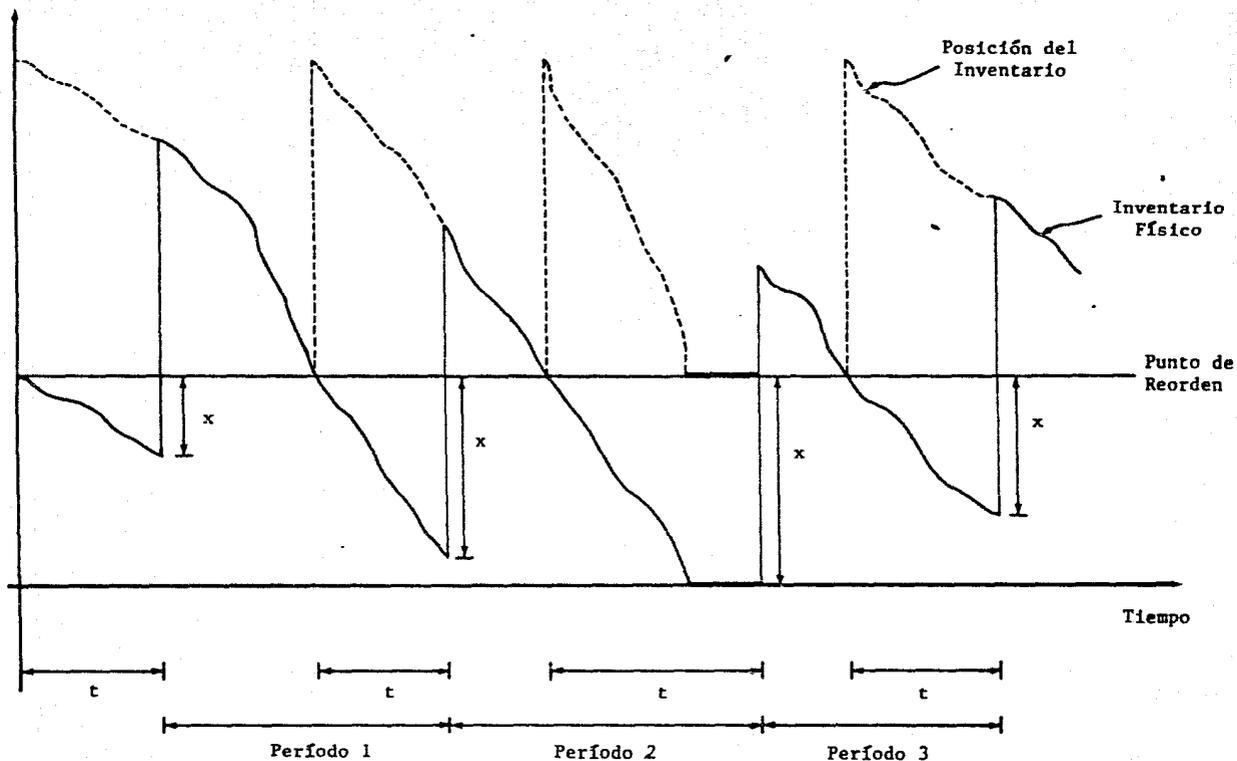
t

Período 1

Período 2

Período 3

Figura 2.8 Modelo $\langle Q, r \rangle$. Caso: Pérdida de Ventas



2.2.2 Modelo < R, T >

Este es un modelo de revisión periódica en el que se revisa el inventario cada intervalo de tiempo de duración T , momento en el que se solicita una orden que haga que la posición del inventario suba hasta el máximo nivel R . Este modelo tiene dos diferencias principales respecto al modelo anterior, una es que en vez de revisar continuamente el inventario, se revisará cada período de tiempo T ; la otra es que no se solicitará siempre la misma cantidad, en este modelo las órdenes serán por cantidades variables, es decir se solicitará reabastecimiento hasta R .

En este modelo se considera un costo que no se había utilizado antes, es el costo de revisión, C_r . Se supone que este costo es independiente de los valores de R y T .

Otro supuesto consiste en considerar que el costo de faltantes es independiente del tiempo de faltantes.

El último supuesto consiste en asumir que las órdenes se reciben en la misma secuencia en que se solicitan y que los tiempos de envío son variables aleatorias independientes.

En la realidad, lo más probable es que el supuesto de la secuencia en las órdenes no se cumpla al pie de la letra, por ejemplo, si cada reabastecimiento proviene de diferentes ciudades y la $(n + 1)$ -ésima orden será cubierta desde una ciudad más lejana que

la ciudad desde donde se satisfará la (n+1)-ésima orden y se utiliza en ambos casos el mismo medio de transporte, puede ocurrir que primero se incorpore al inventario la (n + 1)-ésima orden, con lo que se estaría violando la hipótesis mencionada y con esto ya no se puede utilizar la solución proporcionada por algún método que aproxime la solución analítica de este modelo. Sin embargo a través de la simulación, y en particular con el sistema SISI, se puede incluir esta posibilidad en la búsqueda de la solución, es decir, se admite que las órdenes no lleguen en la secuencia que fueron colocadas.

La descripción gráfica del modelo, para el caso retraso de ventas está dado en la figura (2.9) y el costo total anual está dado en la ecuación (2.8).

$$CTA(R,T) = (C_o + C_r) / T + C_m (R - \Omega - DT/2) + C_f E(R,T) \quad (2.8)$$

donde

C_o = Costo de ordenar,

C_r = Costo de revisar el inventario,

C_f = Costo de faltantes,

C_m = Costo de mantener una unidad en inventario,

D = Demanda anual esperada

T = Tiempo entre revisiones,

R = Nivel hasta el que se ordena,

Ω = Demanda esperada durante el tiempo de envío,

$E(R,T)$ = Cantidad promedio de faltantes por año.

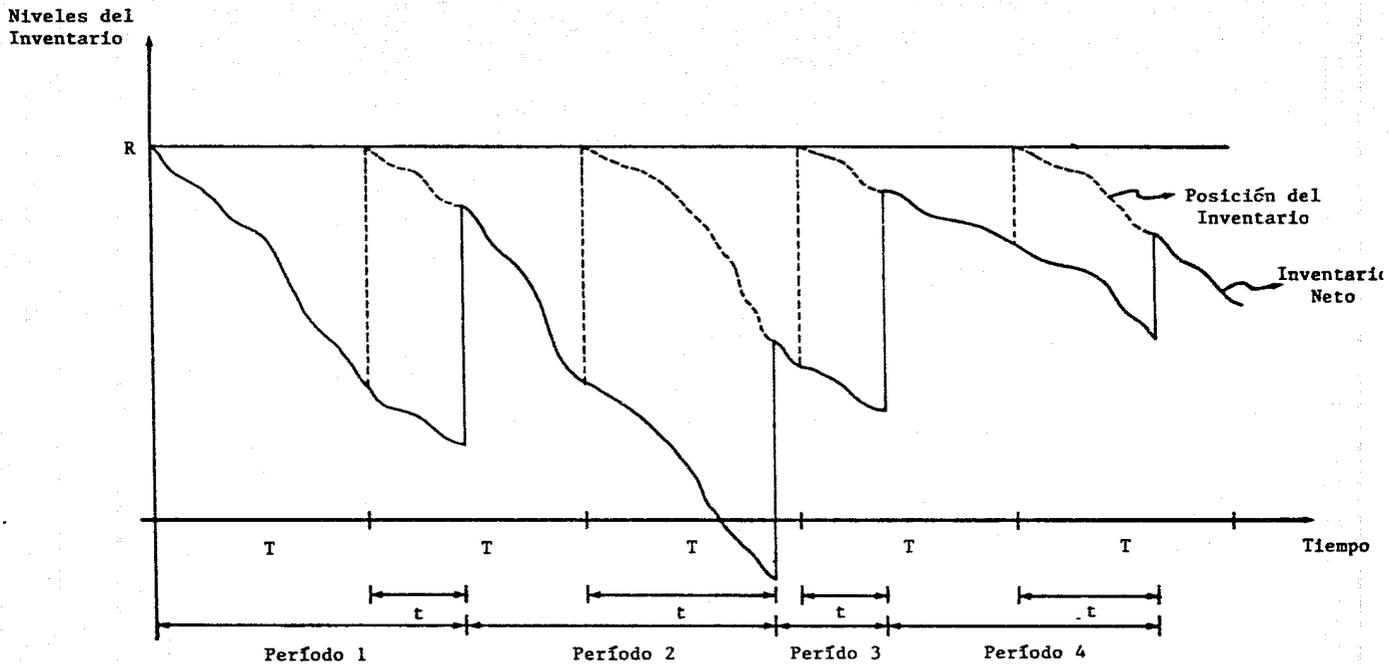


Figura 2.9 Modelo (R,T). Caso: Retraso de Ventas

El caso pérdida de ventas se muestra en la figura (2.10) y el costo total anual se presenta en la ecuación (2.9).

$$CTA(R,T) = C_r / T + C_m (R - \Omega - DT/2) + (C_m T + C_f) E(R,T) \quad (2.9)$$

donde

C_r = Costo de revisar el inventario,

C_m = Costo de mantener una unidad en inventario,

C_f = Costo de faltantes,

D = Demanda anual esperada,

T = Tiempo entre revisiones,

Ω = Demanda esperada durante el tiempo de envío,

$E(R,T)$ = Número promedio de faltantes por año.

Niveles de
Inventario

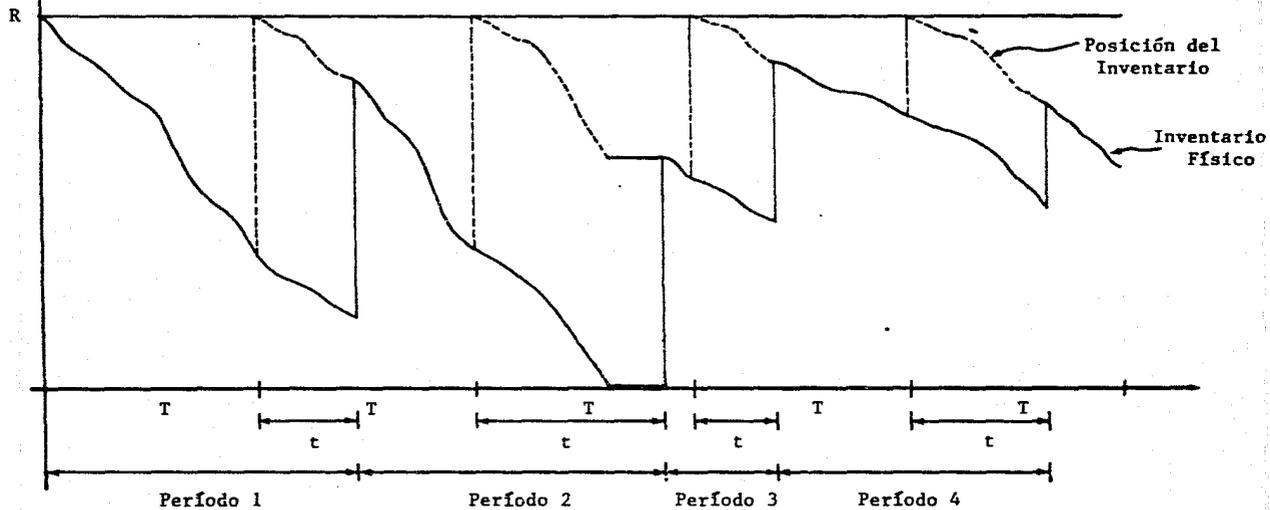


Figura 2.10 Modelo (R,T). Caso: Pérdida de Ventas

2.2.3 Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$

En éste y en el próximo modelo, las expresiones de los costos totales anuales son muy difíciles de resolver, de hecho la solución más viable es aplicar algún método numérico que proporcione mínimos globales, ya que las funciones de costo no tienen solución analítica, aún simplificando la realidad. En la referencia [1], se ha supuesto que el tiempo de envío es constante y se han dado expresiones de la función del costo considerando distribuciones Poisson y Normal para la demanda, además, éstas son válidas sólo para el caso retraso de ventas.

El modelo inicia el periodo de estudio con un inventario neto igual a $r + Q$. Por tener la característica de ser de revisión periódica, las revisiones se realizan cada tiempo T , momento en que se tiene que decidir si se ordena un reabastecimiento o no. Si el inventario neto está por debajo del punto de reorden, se colocará una orden igual a nQ , pero si está por arriba de éste, no se ordenará.

En caso de solicitar la orden, ésta debe ser tal que la posición del inventario quede entre r y $r + Q$, es decir, se determinará el valor de n tal que lo anterior se cumpla.

La representación gráfica se muestra en la figura (2.11) y se proporcionan dos expresiones para el costo total anual: (2.10) supone demandas Poisson, mientras que (2.11) demandas Normal.

$$CTA(nQ, r, T) = Cr / T + (Co/T) p_{or} + Ca (Q/2 + 1/2 - \Omega - DT/2) + \\ Cf E(Q, r, T) + (Cf' + Cm) B(Q, r, T) \quad (2.10)$$

$$CTA(nQ, r, T) = Cr / T + (Co/T) p_{or} + Ca (Q/2 + r - \Omega - DT/2) + \\ Cf E(Q, r, T) + (Cf' + Cm) B(Q, r, T) \quad (2.11)$$

donde

Cr = Costo de revisar el inventario,

Co = Costo de ordenar,

Ca = Costo de mantener una unidad en inventario,

Cf = Parte fija del costo de faltantes,

Cf' = Parte variable del costo de faltantes,

Ω = Demanda esperada durante el tiempo de envío

p_{or} = Probabilidad de colocar una orden en cualquier revisión,

$E(Q, r, T)$ = Número promedio de "backorders" por año,

$B(Q, r, T)$ = Número promedio de unidades-año de faltantes

Cuando la demanda es Poisson, se tiene :

$$E(Q, r, T) = 1/(QT) \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=r+j}^{\infty} (k-r-j) \{ p[k; 1(\tau+T)] - p[1(\tau)] \}$$

$\sum_{k=r+j}^{\infty} (k-r-j) p[k; 1(\tau+T)]$ = Número esperado de "backorders" en el tiempo $t + \tau + T$, si la posición del inventario es $r + j$ inmediatamente después de la revisión en el tiempo t ,

$\sum_{k=r+j}^{\infty} (k-r-j) p[k; 1(\tau)]$ = Número esperado de "backorders" en el tiempo $t + \tau$ bajo la misma condición del elemento anterior,

$$B(Q, r, T) = 1/(QT) \sum_{u=r+1}^{r+Q} \int_r^{r+T} \sum_{x=u}^{\infty} (x-u)p(x|t) dt$$

$p(x|T)$ = probabilidad de que la demanda durante T sea x ,

Cuando la demanda es Normal, las expresiones para $E(Q, r, T)$ y $B(Q, r, T)$ son análogas a las anteriores, sólo que se cambian las sumas por integrales.

En la figura (2.12) se muestra lo que correspondería al caso pérdida de ventas.

Niveles del Inventario

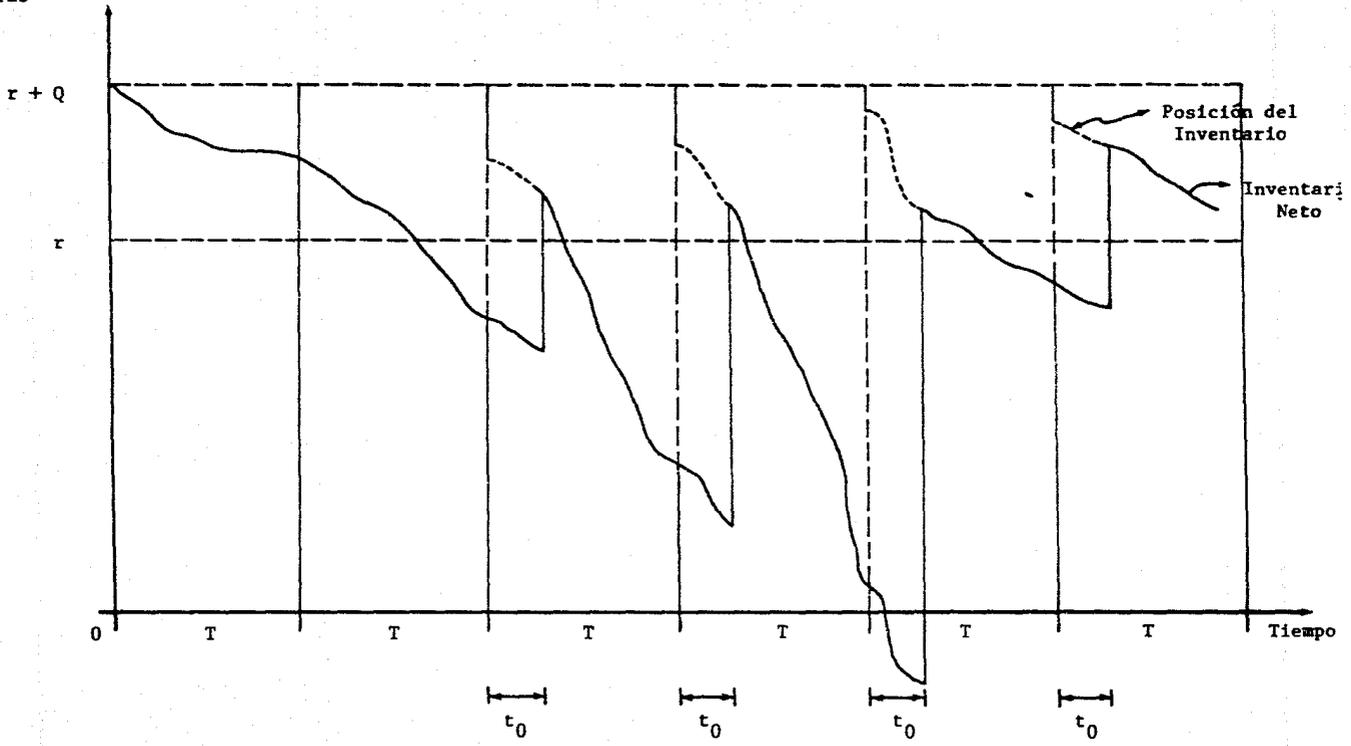


Figura 2.11 Modelo (nQ, r, T) . Caso: Retraso de ventas

Niveles del
Inventario

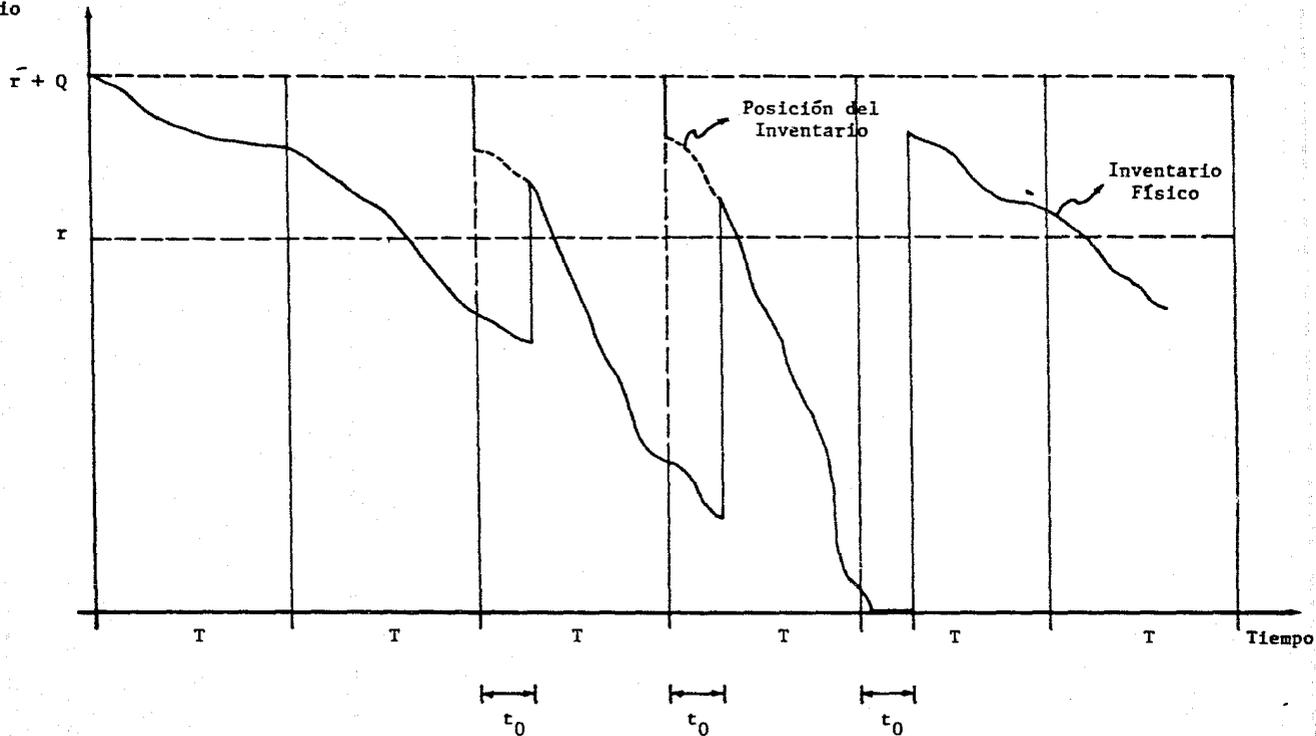


Figura 2.12 Modelo (nQ, rT) . Caso: Pérdida de Ventas

2.2.4 Modelo $\langle R, r, T \rangle$

Este es el último modelo considerado en el sistema BISI y por el grado de dificultad que tiene la formulación de su costo total, se han realizado algunos supuestos que simplifican la deducción, pero limitan mucho su uso.

El modelo inicia con un inventario neto igual al máximo nivel R . A diferencia del modelo anterior, en el que se solicita una cantidad constante Q , esta vez se solicitará un reabastecimiento hasta el nivel R , es decir las órdenes serán variables. La colocación de una orden se realizará cuando la posición del inventario esté por debajo del punto de reorden al momento de realizar una revisión. Estas revisiones se realizarán cada tiempo T .

Aquí también se supone que el tiempo de envío es constante y sólo se considerará el caso retraso de ventas en el planteamiento. La representación esquemática se muestra en la figura (2.13) y en las expresiones (2.12) y (2.13) se presentan los costos totales anuales, correspondientes a funciones de densidad discretas y continuas, respectivamente, para la demanda.

$$CTA(R, r, T) = \frac{Cr}{T} + \frac{Co + \sum_{n=0}^{R-r} \sum_{j=1}^{R-r} p^{(n)}(R-r-j; T) H(r+j, T)}{T + \sum_{n=1}^{R-r} \sum_{j=1}^{R-r} np^{(n-1)}(R-r-j; T) P(j; T)} \quad (2.12)$$

$$CTA(R, r, T) = \frac{C_r + C_o + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{R-r} v^{(n)}(R-r-x; T) H(r+x; T) dx + H(R, T)}{T \left[\sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{R-r} n v^{(n-1)}(R-r-x; T) V(x; T) dx + V(R-r; T) \right]} \quad (2.13)$$

donde:

C_r : Costo de revisión,

C_o : Costo de ordenar,

T : Tiempo entre revisiones,

$H(r+j, T)$: Costo esperado de almacenamiento y de retraso de ventas incurrido en un periodo de longitud T , desde el tiempo $T_0 + nT + t$.

t_s : tiempo de envío, constante.

$p^{(n)}(R-r-j; T)$: Probabilidad de que se demanden exactamente $R - r - j$ unidades en un periodo de longitud nT , desde el tiempo t_0 .

$P(x; T)$: Distribución acumulada complementaria de $p(x; T)$.

$p(x; T)$: Distribución de la demanda en un ciclo.

$v(x; T)$: Función de densidad de probabilidad de la demanda en un periodo.

$v^{(n)}(x; T)$: n -ésima convolución de $v(x; T)$.

$V(x; T)$: Distribución acumulada complementaria de $v(x; T)$.

La figura (2.14) representa el mismo modelo, pero tomando en cuenta el caso pérdida de ventas.

Niveles del
Inventario

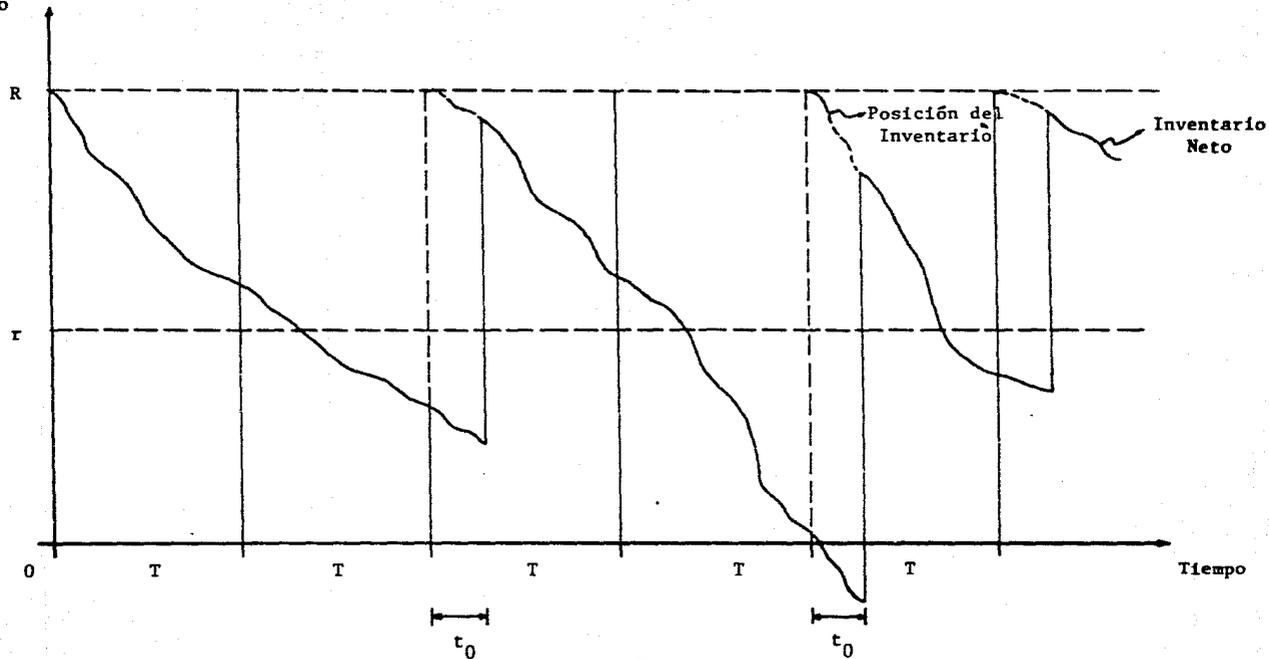


Figura 2.13 Modelo (R,r,T) . Caso: Retraso de Ventas

Niveles del
Inventario

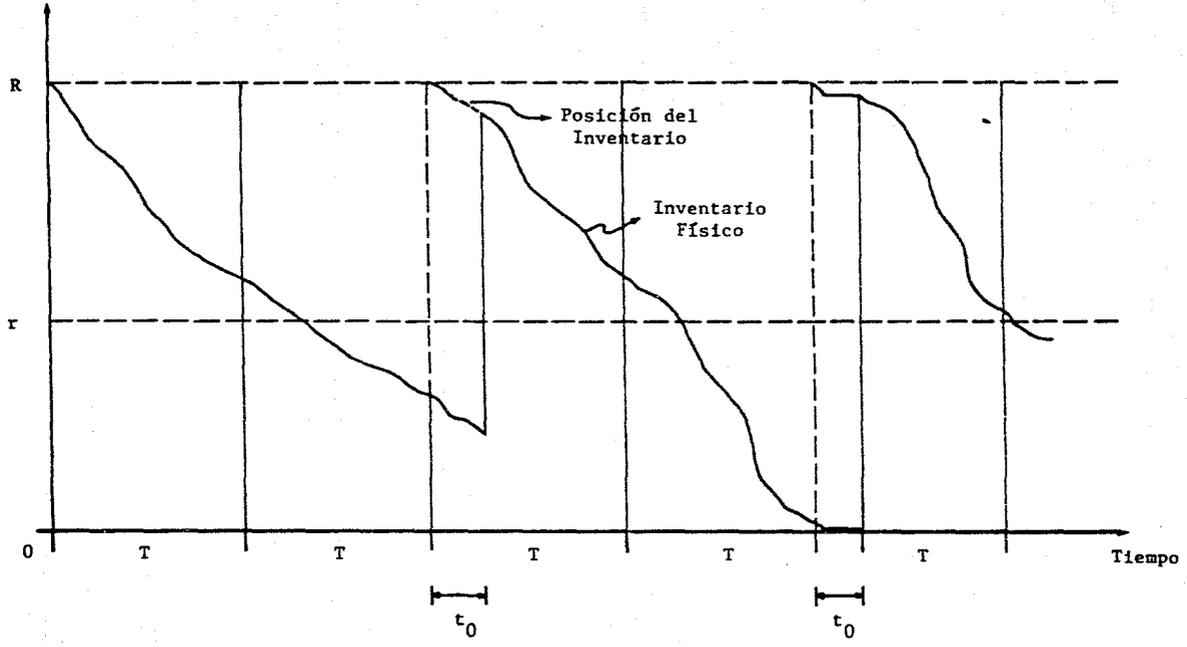


Figura 2.14 Modelo (R,r,T). Caso: Pérdida de Ventas

CAPITULO 3

SIMULACION DE INVENTARIOS

El objetivo de este capítulo es ubicar la importancia de la simulación, justificar las ventajas que ésta tiene para determinar una solución óptima, aproximada, a modelos de inventarios, respecto al empleo de otras técnicas numéricas que intenten proporcionar alguna solución, también aproximada, a los mismos modelos. Finalmente se pretende indicar las desventajas y/o limitaciones de esta técnica numérica.

Este capítulo está conformado por dos secciones que permiten ambientar el trabajo objeto de esta tesis, es decir, si aquí se desarrolla un sistema simulador de inventarios y en los dos capítulos anteriores ya se habló de los fundamentos y los modelos de inventarios considerados, conviene ahora hablar, de manera general, acerca de los conceptos básicos de la técnica numérica denominada Simulación, lo cual se hace en la primera sección, y de manera particular, de la simulación de sistemas de inventarios, hecho esto en la segunda sección.

3.1 Aspectos Básicos de Simulación

En la vida diaria, a menudo se escucha, en diversas disciplinas, y de formas diferentes, la palabra simular. Se habla de simular vuelos de aeronaves, simular procesos químicos, simular escenarios económicos, simular el flujo de tránsito en diversas arterias, simular llegadas de clientes a un centro de servicio, simular características demográficas diferentes, etc. Sin embargo no todos estos tipos de simulaciones son iguales, se pueden diferenciar en que algunos no requieren de conceptos matemáticos para su ejecución, mientras que en otros es indispensable. En algunos es imperativo contar con diversos equipos especializados del área respectiva, mientras que en otros, a veces se requerirá como equipo especial sólo una computadora. En lo que si hay coincidencia es que para simular, se requiere de un modelo, sea éste matemático o físico, en el sentido de que se reproduce físicamente alguna nave, una línea de producción, una presa, etc. que puede ser a escala o no y completo o incompleto.

El uso de la palabra simulación, se remota a fines de 1940, cuando Von Neumann y Ulam, utilizaron el término "análisis de Monte Carlo" para aplicarlo a una técnica matemática que utilizaban para resolver ciertos problemas de reacciones nucleares, que eran, o demasiado costosos para resolverlos experimentalmente o demasiado complicados para ser tratados analíticamente. El análisis de Monte Carlo involucra la solución de un problema matemático no probabilístico, mediante la simulación de un proceso estocástico cuyos momentos o distribuciones de probabilidad satisficían las

relaciones matemáticas del problema no probabilístico.

Con el surgimiento de las computadoras de gran velocidad, a inicios de los años 50's, la simulación tomó una importancia preponderante, ya que se vislumbró la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos en diversas áreas. Surgieron numerosas aplicaciones, y con ello, una cantidad mayor de problemas teóricos y prácticos. Sin embargo, aún se requería de computadoras "grandes" para la aplicación de la simulación, pero el advenimiento de las computadoras personales ha puesto al alcance de muchos interesados la posibilidad de simular sus problemas, de manera tal que en la actualidad no es difícil contar con todos los elementos que permitan tratar de aplicar esta técnica tan importante, la Simulación.

En los párrafos anteriores se ha hablado ya de la simulación y aún no se ha definido. Como ocurre en otras disciplinas y con el empleo de técnicas diferentes, existen diversas y variadas definiciones de simulación, pero a manera de muestra se darán sólo algunas que presentan las formas diferentes de ver esta técnica, sin embargo las dos últimas se ajustan bien al objetivo que tiene el desarrollo del sistema simulador de inventarios que se presenta en este trabajo. Las definiciones son las siguientes:

"Simulación de un sistema (o un organismo), es la operación de un modelo (simulador), el cual es una representación del sistema. Este modelo puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas. La operación de un modelo

puede estudiarse y con ello, inferirse las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real" [17, p. 909].

Esta definición debida a Martín Shubil, no es muy precisa ni formal, pero da una gran idea de lo que es la simulación. Una definición más formal, pero que sigue siendo en tanto imprecisa es la que propone C. West Churchman [18, p. 12]:

"x simula a y si y sólo si

- a) x y y son sistemas formales;
- b) y se considera como el sistema real;
- c) x se toma como una aproximación del sistema real;
- d) las reglas de validez en x no están exentas de error".

Geoffrey Gordon en [17], donde trata sistemas dinámicos continuos, define simulación de sistemas como:

"La técnica de resolver problemas siguiendo cambios, en el tiempo, de un modelo dinámico de un sistema". Las dos definiciones siguientes, aunque en tanto más restringidas, dan una idea muy clara de lo que es la simulación y además, se ajustan bien al objetivo perseguido al desarrollar el sistema simulador de inventarios. La primera es debida a Shannon [18] y la segunda a Naylor, Balintfy, Durdick y Chu en [2].

"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 y evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema".

"Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticas, que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en períodos extensos de tiempo real".

Una vez definido el término simulación, es importante indicar que existen dos variantes importantes: los juegos operacionales y el análisis de Monte Carlo.

Los juegos operacionales se refieren a las simulaciones que se realizan cuando existe alguna forma de interés en conflicto entre dos, o más "jugadores", que pueden ser personas u organizaciones. A su vez, los juegos operacionales se pueden presentar en dos formas: juegos militares y juegos gerenciales. Con los primeros se capacita a dirigentes militares para probar sus estrategias bajo condiciones simuladas de guerra, mientras que con los segundos se capacita a directivos de empresas o gobierno en situaciones simuladas, lo que les ayuda a tomar, de una mejor manera, las decisiones que afectan a su organización.

Por su lado, el análisis de Monte Carlo es una técnica de simulación para problemas que tiene una base probabilística o

estocástica. Desde hace tiempo, se ha desarrollado una gran cantidad de métodos de Monte Carlo para simular la mayoría de las distribuciones de probabilidad teóricas.

Objetivos, Ventajas y Desventajas de la Simulación

Uno de los objetivos fundamentales al utilizar la simulación, sea el área que sea, es el deseo de adquirir conocimientos relativos, en cierta manera, a la predicción del futuro, sin embargo, la simulación también se usa por otras razones diferentes, como las expuestas por Naylor et al en [2, pp. 22 y 23]:

1. La simulación hace posible estudiar y experimentar con las complejas interacciones que ocurren en el interior de un sistema dado, ya sea una empresa, industria, economía o un subsistema de cualquiera de ellas.
2. A través de la simulación se pueden estudiar los efectos de ciertos cambios informativos, de organización y ambientales, en la operación de un sistema, al hacer alteraciones en su modelo y observar los efectos de éstas en el comportamiento del sistema.
3. La observación detallada del sistema que se está simulando, conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo, que de otro modo no podrían obtenerse, es decir "se vive el problema". "Hay en realidad, una

buena evidencia de que los seres humanos tienen una gran capacidad para entender el funcionamiento de los sistemas complicados y pueden encontrar reglas de decisión casi óptimas, procedimientos de operación, etc., si tienen bastante experiencia con el sistema y éste es lo suficientemente estable".

4. La simulación puede ser usada como recurso pedagógico, para estudiantes y practicantes, al enseñarles los conocimientos básicos en el análisis teórico, el análisis estadístico y la toma de decisiones. Entre las disciplinas en las que la simulación ha sido utilizada con éxito para el mencionado propósito, pueden incluirse la administración de empresas, la economía, la medicina y el derecho.
5. Los juegos operacionales "han demostrado construir un medio excelente para estimular el interés y el entendimiento de parte del participante y son particularmente útiles en la orientación de las personas con experiencia en la disciplina relativa al juego".
6. La experiencia que se adquiere al diseñar un modelo de simulación en sí misma. El conocimiento que se obtiene al diseñar un estudio de simulación sugiere, frecuentemente, cambios en el sistema en cuestión. Los efectos de estos cambios pueden probarse, entonces, a través de la simulación, antes de implantarlos en el sistema real.

7. La simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema y cómo ellas obran entre sí.
8. La simulación puede emplearse para experimentar con situaciones nuevas acerca de las cuales tenemos muy poca o ninguna información, con el objeto de estar preparados para alguna eventualidad.
9. La simulación puede servir como una prueba de preservicio para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema, antes de tomar el riesgo de experimentar con el sistema real.
10. "Las simulaciones son valiosas, ya que algunas veces proporcionan una forma conveniente de dividir un sistema complicado en subsistemas, cualesquiera de los cuales puede ser modelado por un analista o un equipo de expertos en esa área".
11. Para ciertos tipos de problemas estocásticos, la secuencias de los eventos puede ser muy importante, pues la información acerca de los valores esperados y de los momentos, puede no ser suficiente para describir el proceso. En estos casos los métodos de Monte Carlo pueden constituir la única forma satisfactoria de obtener la información requerida.
12. La simulación de Monte Carlo pueden realizarse para verificar

soluciones analíticas.

13. La simulación permite estudiar los sistemas dinámicos, ya sea en tiempo real, tiempo comprimido o tiempo expandido.
14. Cuando se presentan nuevos componentes de un sistema, la simulación puede emplearse para ayudar a descubrir los obstáculos y otros problemas que resulten de la operación del sistema.
15. "La simulación convierte a los especialistas en técnicos generales. Se obliga a los analistas a hacer una apreciación y a entender todos los aspectos del sistema, con el resultado de que las conclusiones serán menos susceptibles a la parcialidad por inclinaciones particulares y menos susceptibles de volverse impracticables dentro de la configuración del sistema".

Por si lo anterior fuera poco, la simulación también se usa cuando no se pueden seguir algunos de los pasos del método científico al intentar resolver un problema, lo cual se convierte en ventajas de la simulación sobre la solución analítica. Para justificar el uso de la simulación cuando alguno(s) de los pasos del método científico no se puede(n) seguir, se mencionarán a continuación los rasgos más importantes de este método, a los cuales se hará referencia en los párrafos siguientes:

1. Observación de un sistema físico
2. Formulación de una hipótesis que intente explicar las observaciones hechas al sistema.
3. Predicción del comportamiento del sistema, con base en la hipótesis formulada mediante el uso de la deducción lógica o matemática, esto es, por la obtención de soluciones del modelo o modelos matemáticos.
4. Realización de experimentos para probar la validez de las hipótesis o del modelo matemático.

Respecto al paso 1, pudiera ser muy costoso o imposible observar ciertos procesos del mundo real, como Naylor dice, antes de los primeros vuelos espaciales tripulados, realizados por los Estados Unidos o la Unión Soviética, la NASA no tenía información de los efectos que esos vuelos tendrían sobre los seres humanos, pues nadie antes lo había experimentado. Esto justifica notoriamente el uso de la simulación de este tipo de vuelos. Otros ejemplos que justifican el uso de la simulación, se presentan cuando algún país desea conocer cuáles son los efectos que tendrían, en la economía nacional, determinadas políticas impositivas o cuándo se desea medir los efectos de políticas demográficas como control natal. En cualquiera de estos casos, el uso de la simulación proporcionaría gran cantidad de información que sería tan útil como la observación misma de los resultados y no se tendría que esperar mucho tiempo, ni invertir grandes cantidades de dinero para tener la información necesaria que coadyuve a la toma de decisiones.

En referencia al paso 2, en ocasiones puede ser sumamente difícil representar en un modelo, o conjunto de modelos matemáticos, que pueden ser usados con fines predictivos, todas las relaciones reales de una situación o de un sistema. Esto traería como consecuencia que el sistema real se empiece a restringir para facilitar su conceptualización matemática y esto lleva a que se deba tener mucho cuidado con la interpretación de los resultados obtenidos con el modelo resultante, ya que representa parcialmente el sistema modelado. En situaciones como éstas, la simulación puede dar resultados satisfactorios, ya sea simulando el funcionamiento de una empresa o inclusive partes de sistemas de una ciudad o un país.

Con relación al punto 3, nada garantiza que si se logró modelar el sistema de interés, se pueda dar solución analítica al modelo obtenido, ya que a veces las relaciones matemáticas involucradas en el modelo pueden tener tal grado de dificultad que no exista método analítico que permita resolverlas. Esto ocurre en diversas áreas, entre ellas la Economía y la Investigación de Operaciones, en particular la teoría de inventarios. Si bien, para los modelos matemáticos en casos como los mencionados, no existe algún método que ofrezca solución analítica, esos modelos se pueden simular y a través de esta técnica se puede buscar alguna solución, que puede no ser exacta y en ocasiones no es la óptima, pero que permite experimentar con un gran número de soluciones, que correspondan a diversas situaciones y que ayuden a tomar decisiones.

Finalmente, respecto al cuarto punto, puede resultar muy caro o

imposible realizar la validación del modelo o de los resultados analíticos obtenidos (cuando estos se pueden obtener). La validación implicaría experimentar en la realidad con el modelo propuesto y con resultados que arroje su solución, lo cual en ocasiones puede ser sumamente delicado, mientras que con la simulación, se pueden realizar los experimentos que sean necesarios para probar el modelo y verificar si las relaciones consideradas en él son válidas o no, si se requiere de otras relaciones o algunas son redundantes.

La última ventaja de la Simulación que se mencionará aquí es que, a diferencia de la solución analítica, la simulación puede proporcionar más información que el simple resultado de un problema particular, ya que se tiene información sobre el estado de un sistema en diversos momentos, lo cual puede ser de mucha utilidad al tomar decisiones. Por ejemplo, la solución analítica a un modelo de inventarios puede decir qué cantidad de faltantes cabe esperar por cierto período de tiempo, mientras que un modelo de simulación podría, además, decir en qué momento se presentan los faltantes en el inventario, cuánto tiempo duran, el número de veces que hubo faltantes en el período y qué cantidad faltó cada vez.

Dentro de las desventajas que se pueden notar están las siguientes: la simulación puede requerir de equipo de cómputo y recursos humanos que a veces resultan ser muy costosos; generalmente se requiere bastante tiempo para desarrollar y perfeccionar un modelo de simulación; la simulación podría no proporcionar soluciones exactas a un problema, mientras que puede existir algún método

analítico si las ofrezca; por último, algo muy importante, es posible que los directivos de una organización no entiendan la técnica y esto puede crear dificultad para que se acepte como método de solución.

En conclusión, la simulación puede ser una técnica muy útil al tratar de resolver cierto tipo de problemas complejos y los beneficios que aporte pueden ser sumamente importantes cuando la situación sea favorable para su uso. Este es el caso particular del problema que se ocupa en esta tesis, la simulación del modelos de inventarios.

3.2 Clasificación de los Modelos de Simulación

Lejos de pretender dar toda una teoría sobre la clasificación de modelos, en esta sección se restringirá el objetivo a ubicar, de manera muy general los modelos de simulación, teniendo en mente que los que interesan en este trabajo son los modelos matemáticos en computadora. La clasificación que en seguida se da tiene la ventaja de ser sumamente sencilla, aunque es un tanto arbitraria. De esta manera, se clasificarán los modelos de simulación como determinísticos, estocásticos, dinámicos y estáticos.

Modelos Determinísticos. Son aquellos en los que ningún componente tiene un comportamiento aleatorio, es decir, se conoce perfectamente cuál será el comportamiento de cada componente del modelo. Como se mencionó en el capítulo 2, algunos modelos de

inventarios son determinísticos.

Modelos Estocásticos. En este tipo de modelos se admite el comportamiento probabilístico de por lo menos una componente, es decir, no se sabe con exactitud cuál será el valor de una variable o el tipo de relación entre dos o más variables, pero se puede determinar en términos probabilísticos. Algunos modelos de inventarios se clasifican en este rubro.

Modelos Estáticos. Aquellos modelos que no toman en cuenta, explícitamente, a la variable tiempo, se denominan modelos estáticos. Ejemplos de este tipo de modelos pueden ser algunos de programación lineal, no lineal o teoría de juegos.

Modelos Dinámicos. Los modelos de simulación que consideran variaciones en alguna componente, a través del tiempo, reciben el nombre de modelos dinámicos. Ejemplos de este tipo pueden ser los referidos a fenómenos de espera o de inventarios.

Etapas en un Estudio de Simulación

Aunque se mencionaron diversas razones que pueden motivar la utilización de la simulación, ésta sólo se debe utilizar como técnica de análisis si se está seguro que es posible obtener una solución exacta o aproximada del problema en cuestión, si la simulación es el procedimiento menos costoso para resolver el problema y si los

resultados obtenidos con esta técnica se pueden interpretar y utilizar fácilmente por los interesados en la solución, o bien, siendo igual de complicada, precisa y costosa que otras técnicas alternativas, esta técnica numérica se puede utilizar si dá elementos adicionales para el análisis de los resultados.

En caso de decidir que se debe utilizar la simulación para tratar algún problema, es necesario considerar ciertos pasos como los mínimos necesarios en un estudio que utilice la simulación. Aunque se ha escrito mucho acerca de los pasos necesarios para realizar un estudio de simulación, la mayoría de los autores coincide en considerar los siguientes:

Definición del Problema. Como en otras áreas de la investigación científica, cualquier estudio de simulación en computadoras debe iniciar con la formulación de un problema o con la declaración explícita de los objetivos del experimento.

Formulación de Modelo. Después de definir los objetivos del estudio es necesario construir el modelo que represente el problema que se quiere solucionar.

Colección de Datos. Es posible que la facilidad o dificultad para obtener los datos involucrados en el modelo pueda influenciar su formulación, por consiguiente, es importante definir con claridad los datos necesarios. Normalmente, la información requerida en un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de

órdenes de compra, de registros de almacenes, de opiniones de expertos o bien de la experimentación misma.

Estimación de Parámetros del Modelo. Una vez que se ha recolectado la información necesaria, a veces será necesario estimar algunos parámetros involucrados en las relaciones de comportamiento del modelo, como ciertas distribuciones de probabilidad en el caso de modelos estocásticos. Además, será necesario realizar algunas pruebas estadísticas.

Desarrollo de un Programa para Computadora. El siguiente paso consiste en desarrollar un programa para computadora, que permita conducir los experimentos de simulación del modelo de manera satisfactoria. Aquí se presenta dos alternativas, escribir el código del programa en un lenguaje de propósitos generales como FORTRAN, PASCAL, BASIC, ALGOL, C, etc. o utilizar un lenguaje de simulación de propósitos específicos como GPSS, GASP, SIMULA, SIMSCRIPT, DYNAMO, etc. Aunque cada opción puede representar ventajas respecto a la otra. La elección dependerá de las necesidades y recursos con que cuenta el usuario.

Las ventajas principales que puede presentar un lenguaje de propósitos específicos son: que ahorra tiempo de programación y que usualmente proporcionan técnicas para la búsqueda de errores que son superiores a las de los lenguajes de propósito general. Las ventajas fundamentales de los lenguajes de propósito general son: mayor flexibilidad en los modelos, menor tiempo de cómputo, diseño de

formatos de salida al gusto del usuario y menor costo de los compiladores de este tipo de lenguaje que los de propósito específico, sobre todo para microcomputadoras.

Validación. Esta es una de las etapas principales y más difíciles etapas de un estudio de simulación. A través de esta etapa es posible detectar y detallar deficiencias ya sea en la formulación del modelo, en los datos abastecidos o en el desarrollo e implantación del programa de computadora. La validación se puede hacer de las formas siguientes:

- a) Revisando la opinión de los expertos sobre los resultados de la simulación.
- b) Analizando la exactitud con que se predicen los resultados históricos.
- c) Analizando la exactitud de las predicciones a futuro.
- d) Comprobando la falla del modelo al utilizar diversos tipos de datos.
- e) La aceptación del modelo y la confianza de las personas que harán uso de los resultados que arrojen los experimentos de simulación.

Experimentación. Cabe destacar aquí tres consideraciones importantes. Primeras: se deben seleccionar los valores de los parámetros del modelo o combinaciones de ellos y el orden de los experimentos. Segundas: se debe cuidar que los valores de los parámetros seleccionados eliminan posibles errores lógicos en la

ejecución de la simulación. Tercera: se debe realizar análisis de sensibilidad con los resultados obtenidos.

Análisis de los Resultados. Esta etapa consiste en analizar cuidadosamente los resultados que arrojan los experimentos diseñados ya que como conclusión de esto se tomarán decisiones.

Consideraciones Finales

Puesto que la simulación tiene fuertes fundamentos Matemáticos de teoría de la Probabilidad, de Estadística, de Computación y de las áreas propias de aplicación (Economía, Administración, Demografía, Investigación de Operaciones, etc.), es bueno mencionar que intervienen algunas de estas áreas en la formulación de un modelo de simulación.

Generación de Variables Aleatorias. Si el modelo que se simula es estocástico, es preciso generar valores de variables aleatorias que tengan distribuciones teóricas o empíricas de probabilidad. Esto se logra con un generador de números uniformes en el intervalo $(0,1)$ (que normalmente traen las computadoras) y una función o un método que transforme esos números en valores de la distribución de probabilidad deseada. Existe mucha bibliografía en la que se han desarrollado métodos diversos para la generación de valores de muy variadas distribuciones de probabilidad, tanto discretas como continuas. Se pueden consultar las referencias [2] y [14].

Lenguajes de Programación. Una vez que se ha definido el problema que se desea resolver y representado en un modelo matemático, llega el momento de describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora que se va a utilizar. Como se mencionó en párrafos anteriores, si no se cuenta con programas o paquetes de cómputo que sirvan para este propósito, se tiene dos opciones: Se desarrolla lo necesario o se compra algún paquete que resuelva el problema. La elección dependerá de diversas condiciones en la organización, que pueden ser de índole económica, de restricción de tiempo, entre otros.

Número de Simulaciones. Como la información proporcionada por el experimento de simulación será la base para decidir respecto a la operación de un sistema real, esta información deberá ser tan exacta y precisa como sea posible y el grado de imprecisión presente en la información resultante debe ser conocido. Es por esto que es muy importante determinar el número de corridas que se deben realizar, de tal manera que se asegure un nivel deseado de precisión y al mismo tiempo se minimice el costo de operación del modelo. El número de corridas del modelo (tamaño de la muestra) se puede obtener de dos maneras: previa e independiente a la operación del modelo o durante la operación del modelo y basado en los resultados que éste arroje. En cualquiera de los dos casos se puede crear un intervalo de confianza con la precisión deseada.

3.3 Simulación en Sistemas de Inventarios

En la sección 3.1 se mencionaron las ventajas y desventajas que puede tener la simulación en la obtención de la solución de diversos tipos de problemas. El objetivo de esta sección es mostrar el papel tan importante que tiene la simulación en el tratamiento de sistemas de inventarios, el cual motivó la realización de este trabajo.

Importancia de la Simulación de inventarios

Los sistemas de inventarios, a menudo consideran entre sus componentes algunas con comportamiento estocástico, que pueden interactuar entre sí afectando conjuntamente al inventario. La consideración de esta situación en el modelo matemático que describa al sistema, lo hace adquirir en cierto grado de complejidad para su resolución.

A diferencia de los sistemas determinísticos de inventarios, los cuales suponen demanda, tiempo entre demandas y tiempo de envío constantes y conocidos y que los costos tienen un comportamiento lineal, los sistemas estocásticos pueden representar tanto la demanda como el tiempo entre demandas y el tiempo de envío como variables aleatorias con cierta distribución de probabilidad, lo cual hace más sofisticado el sistema. Si aunado a esto, los costos pudieran tener comportamientos no lineales, el desarrollo de un modelo matemático que represente el sistema puede resultar significativamente complejo.

Sin embargo, un modelo de simulación que se procese en una computadora, podría representar al sistema, de una manera más fácil, más confiable y más efectiva.

Debido a la complejidad para desarrollar el modelo matemático, muchas veces se tienen que hacer supuestos muy restrictivos de la realidad, para facilitar el desarrollo del modelo. A veces esos supuestos hacen que el modelo propuesto ya no represente claramente a la realidad, sin embargo, en algunas ocasiones la realidad se "ajusta" al modelo, lo que puede traer errores de consideración en la implantación de los resultados obtenidos.

Varios autores han desarrollado formulaciones matemáticas de diversos modelos que abstraen ciertas características de la realidad (ver [1] y [19]). Pero, dada la complejidad de tales formulaciones ninguno de los modelos tiene solución analítica y sólo en dos de ellos se puede obtener, de una manera no muy difícil, una solución aproximada, con ayuda de métodos numéricos. Sin embargo, el tratamiento de otros se vuelve sumamente complicado, a tal grado que hasta el momento no existe bibliografía conocida (al menos hasta donde se pudo investigar) que les dé solución con algún método numérico. No obstante lo anterior, esos modelos pueden simularse sin mucha complicación e inclusive resolverse, aproximadamente, utilizando la técnica descrita en secciones anteriores: la simulación. Más aún, algunos de los supuestos restrictivos en el modelo matemático pueden ser omitidos en el tratamiento vía simulación lo cual hace más confiables y reales los resultados.

En el capítulo 4 se presentan algunas ventajas específicas al tratar los modelos estocásticos mostrados en el capítulo 2, vía simulación.

Aunque los modelos determinísticos de inventarios no presentan dificultad alguna para su resolución, estos también podrían simularse, con el único propósito de obtener información adicional a la solución, que pueda ser útil en algún sentido, a alguna organización que los utilice, si esto no le representa un costo adicional excesivamente alto.

Consideraciones en la Simulación de Inventarios

En términos generales, son cinco los eventos que se pueden presentar en la simulación de algún sistema de inventarios. Estos eventos son los siguientes:

1. Demanda de artículos al inventario
2. Incorporación de una orden al inventario
3. Revisión de la posición del inventario (para determinar si se debe ordenar un reabastecimiento del inventario o no)
4. Presentación de resúmenes parciales de información
5. Fin de la simulación, que implica un resumen final de información

Los dos últimos eventos mencionados no tiene significancia en un

sistema de inventarios en la práctica, se definen como algo interno del modelo de simulación, para enriquecer la información que presente la simulación.

La figura 3.1 muestra una representación gráfica de la ocurrencia de los 5 eventos mencionados a través del tiempo, donde se denota con E_i el evento número i , para $i = 1, 2, 3, 4, 5$ y se han supuesto incrementos de tiempo constantes, sin que esto signifique que así deba ser.

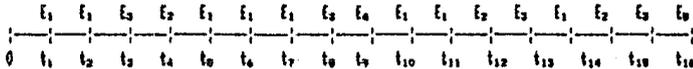


Figura 3.1 ocurrencia de los eventos en el tiempo, en una simulación

La determinación de los eventos, a lo largo del tiempo, dependerá de varios factores. El tiempo entre demandas puede ser constante y conocido o corresponder a una variable aleatoria. Lo mismo puede ocurrir con el tiempo de envío. Los resúmenes parciales de información pueden ser a intervalos iguales de tiempo o cada vez que ocurra un evento que se determine de antemano.

En cualquier caso, los tiempos de ocurrencia de cada uno de los cinco eventos se debe determinar al iniciar la simulación y conforme vaya aumentando el tiempo y presentándose cada evento, se generará inmediatamente, después de cada ocurrencia, otro tiempo para la

siguiente ocurrencia del mismo evento, es decir, si en el tiempo t_1 se presentó el evento 1 (una demanda al inventario), según se muestra en la figura 3.1, después de realizar los ajustes necesarios en el inventario, ocasionados por esa demanda se vuelve a generar otro tiempo para la ocurrencia del evento E_1 . La idea es mantener, en todo momento, valores para los 5 eventos posibles.

Esto trae como consecuencia la suposición de un reloj interno en la computadora, que controle el valor del tiempo y que maneje el sistema de inventarios simulado. En dicho reloj se basará el modelo de simulación para indicar el evento próximo a ocurrir.

En la práctica son usuales dos métodos alternativos para avanzar el tiempo a lo largo de la simulación; uno supone incrementos constantes en el reloj, mientras que otro toma incrementos variables. Con el primer método, al iniciar la simulación se da un incremento constante de tiempo al reloj y se verifica si en cada momento se presenta algún evento. En caso afirmativo se procede como corresponda, de acuerdo al evento presente. Si no ocurre evento alguno, se vuelve a incrementar el valor del reloj en la misma cantidad constante, verificando nuevamente la ocurrencia de un evento, etc. En el segundo método el tiempo del reloj avanza una cantidad necesaria hasta alcanzar el momento del evento siguiente, de acuerdo a la generación de los tiempos de cada evento. Después de los ajustes correspondientes, el reloj se incrementa en otra cantidad hasta el tiempo de ocurrencia del evento siguiente, etc.

Con cualquiera de los dos métodos, es necesario que internamente, el sistema tenga siempre en la memoria de la computadora los tiempos de ocurrencia de cada evento.

La elección del método a utilizar dependerá de la naturaleza de los eventos a considerar, es decir, dependerá de que los tiempos en el modelo de inventarios sean determinísticos o estocásticos. En un modelo determinístico, el incremento en el tiempo puede ser constante, mientras que en un modelo estocástico, el incremento debe ser variable.

Objetivos al Simular Sistemas de Inventarios

Además de algunos de los beneficios que se mencionan en la sección 3.1.2 se pueden perseguir algunos otros objetivos particulares en la simulación específica de sistemas de inventarios. Los que se mencionan a continuación fueron los que motivaron el desarrollo de esta tesis.

Uno de los objetivos fundamentales es determinar cuál es el valor de algunas medidas de eficacia del modelo que se simula. Esa medida es el costo total del inventario. Dicho de otra manera, un objetivo consiste en indicar el valor de la función del costo total del inventario, dados ciertos valores de las variables y los parámetros del modelo, para que los decisores indiquen si los valores asignados a las variables son adecuados o no. Si el modelo que se

simula no tiene solución analítica, como es el caso de los que aquí se tratan, otro objetivo de la simulación de inventarios puede ser la búsqueda de una solución, aunque sea aproximada, que permita conocer el orden de los valores de las variables del modelo.

Un tercer objetivo al utilizar la simulación en sistemas de inventarios, puede ser para realizar análisis de sensibilidad en los valores de los parámetros y/o de las variables del problema, es decir, mediante la simulación se puede llegar a obtener soluciones que, sin que sean óptimas, proporcionen un valor de la función del costo total que no esté muy alejada del valor óptimo, y que además los valores de los parámetros y/o variables sean más accesibles que los que ofrece la solución óptima.

Otro objetivo fundamental al simular este tipo de modelos, consiste en proporcionar información relativa a demandas del inventario, niveles de almacenamiento, cantidades de faltantes por periodo de tiempo, costos parciales por diversos conceptos, entre otros tipos. Esta información puede ser muy útil para los usuarios del modelo de simulación, ya que puede permitir la corrección de los valores de ciertas variables y/o parámetros que les ofrezcan mejores resultados. Es decir, la simulación puede permitir conocer más un sistema de inventarios.

CAPITULO 4
SISTEMA SIMULADOR DE INVENTARIOS
(SIBI)

Como se mencionó antes, todos los modelos estocásticos presentan un alto grado de dificultad en su resolución analítica, razón por la cual se buscan métodos alternativos de solución. Uno de esos métodos es la simulación, que además permite conocer paso a paso la situación en un sistema de inventarios y realizar análisis de sensibilidad con las soluciones óptimas. En este capítulo se presenta el Sistema Simulador de Inventarios desarrollado. Cuenta con las bondades que se han enunciado y permite, con gran facilidad, simular una gran variedad de modelos de inventarios tanto determinísticos como estocásticos.

En la sección 4.1 se hacen algunos comentarios generales del sistema SIBI. En la sección 4.2 se da una descripción detallada de la estructura del sistema y en la sección 4.3 se comenta su funcionamiento, los resultados que se pueden obtener y se analizan las opciones de uso y sus limitaciones.

4.1 Generalidades

Naylor [2] afirma que cuando exista un método que determine la solución exacta a un problema no tiene sentido utilizar la simulación, sin embargo, como en los modelos estocásticos considerados en el Sistema no se tiene solución analítica, sí tiene validéz utilizar la técnica de simulación.

Después de describir en el capítulo 2 el funcionamiento de cada modelo estocástico, enunciar sus supuestos y mostrar la expresión del costo total anual, se pueden hacer algunas observaciones que representan ventajas del manejo de los modelos con simulación, respecto del manejo analítico de éstos.

Primera: Los supuestos de los modelos no siempre se van a cumplir en la práctica. En el modelo $\langle Q, r \rangle$ se supone que nunca habrá más de una orden pendiente; visto de otra forma, se supone que la demanda durante el tiempo de envío de una orden nunca será mayor que Q , en un período dado, ya que si esto ocurre, al llegar la orden del período en cuestión, la posición del inventario no subiría del punto de reorden y entonces no se volvería a ordenar nunca más, lo que produciría, teóricamente, que todas las demandas futuras no se podrían satisfacer y se seguirían acumulando o se perderían.

Es por demás claro que en la realidad puede ocurrir que existan dos o más órdenes pendientes. Si ocurre que la

demanda durante el tiempo de envío de alguna orden es mayor que Q , en algún momento la posición del inventario (en línea punteada en la figura 4.1) volvería a cruzar el punto de reorden, momento en el que se debe solicitar otro reabastecimiento, con lo que existirían en ese momento dos órdenes pendientes. En la figura 4.1 esto ocurre durante el tiempo τ .

Una ventaja que tiene el manejo de este modelo, vía simulación, es que se pueden considerar dos o más órdenes pendientes al mismo tiempo. Esta consideración la toma en cuenta el sistema SISI.

En el modelo $\langle R, T \rangle$ se supone que las órdenes se reciben en la secuencia en que fueron colocadas. Este es un hecho que no siempre se cumple en la práctica. Por ejemplo, una empresa que reciba el reabastecimiento de su materia prima de un proveedor que tiene sus almacenes en diversos puntos de la República Mexicana, pudiera recibir su orden k -ésima desde un almacén de cierta población y su orden $(k + 1)$ -ésima desde otra población, de tal manera que la orden $k + 1$ colocada en t_{k+1} , llegue antes de la orden k , colocada en el tiempo t_k , con $t_k < t_{k+1}$.

Esta posibilidad se muestra en la figura 4.2, en la que se puede observar que la segunda orden se coloca en el tiempo t_2 , el tercer reabastecimiento se solicita en el tiempo

Niveles del
Inventario

$r + Q$

r

Tiempo

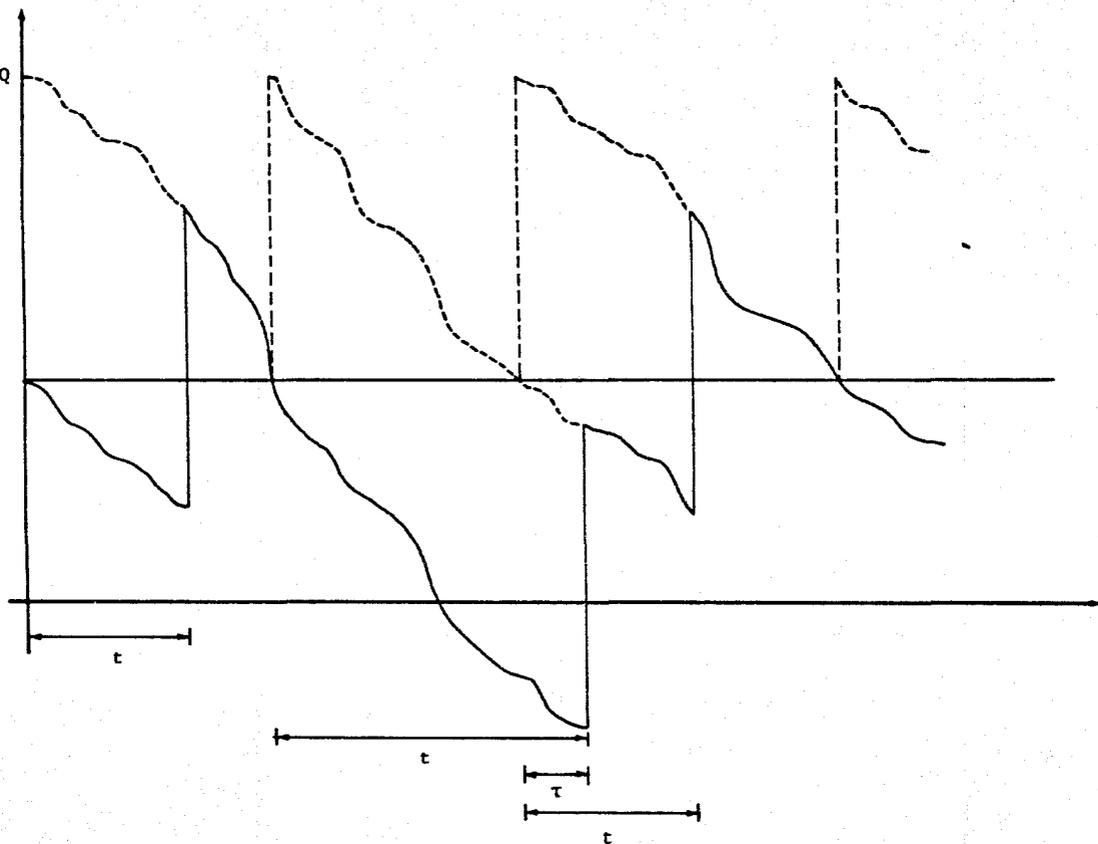


Figura 4.1 Modelo $\langle Q, r \rangle$ con dos Ordenes Pendientes Simultáneas

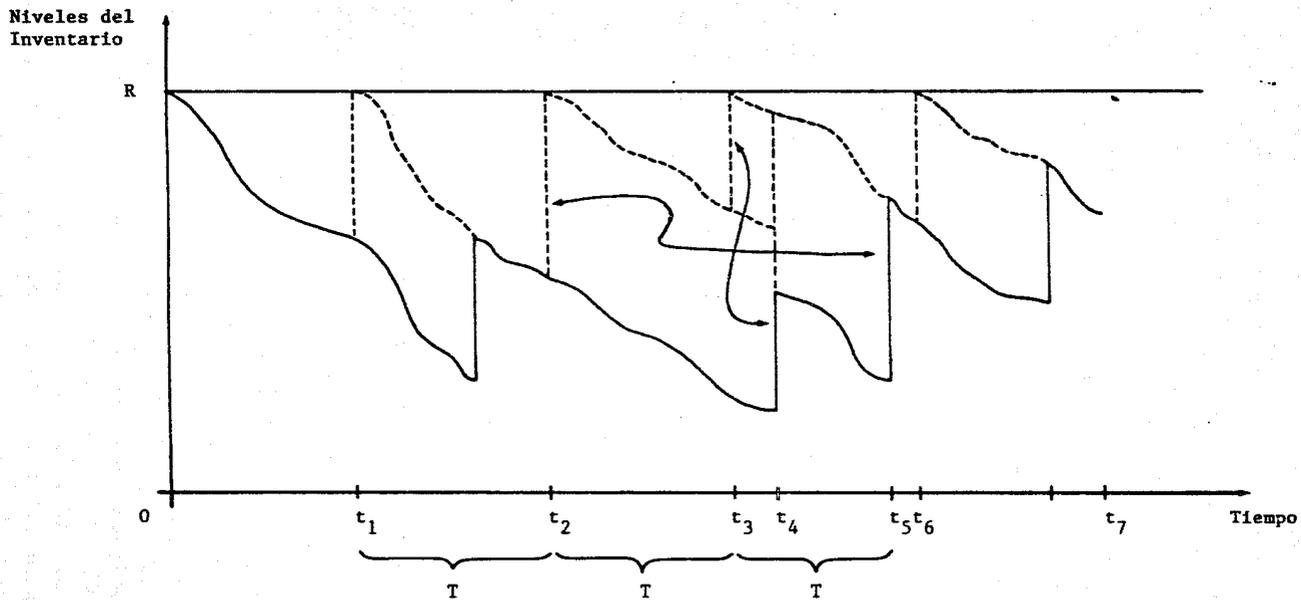


Figura 4.2 Modelo $\langle R, T \rangle$ en el que las Ordenes se Reciben en Secuencia Diferente a las Colocaciones

t_3 , la tercera orden llega en el momento t_4 y la segunda en el tiempo t_5 , donde $t_2 < t_3 < t_4 < t_5$, es decir, la tercera orden se incorpora al inventario antes de que lo haga la segunda orden. Las flechas en la gráfica indican las cantidades solicitadas y recibidas en las órdenes segunda y tercera.

Este hecho también se admite en el sistema SISI, esto es, se contempla que en un momento dado pueden existir dos o más órdenes pendientes y éstas pueden llegar al inventario en cualquier secuencia.

Segunda: Las expresiones de los costos son tan difíciles de evaluar, porque consideran elementos con cierto grado de dificultad, como son las convoluciones o las sumas de sumas de distribuciones de probabilidad o la suma de integrales de otras distribuciones, que el costo computacional de realizar evaluaciones de estas expresiones puede ser muy elevado.

En cambio, al manejar los modelos con simulación, no se requiere de tales sofisticaciones. Las evaluaciones son de suma sencillez. En el sistema SISI, se puede evaluar fácilmente cualquiera de las expresiones de los modelos considerados, las veces que se desee dentro de una corrida de simulación.

Tercera: Para dar solución analítica a cada modelo, se tendría que derivar cada ecuación del costo total (CTA), respecto a los parámetros respectivos. Hacer esto no representa problema para algunos de los modelos, pero sí para otros, por ejemplo, las expresiones (2.12) y (2.13) son sumamente difíciles de derivar respecto a los parámetros R , r y T .

Suponiendo que se pueden derivar todas las expresiones de los costos totales en todos los modelos. Al igualar a cero cada derivada, en cada modelo, se formarían sistemas de ecuaciones que no tienen solución analítica. Esto significa que se deben desarrollar métodos numéricos para resolverlos con cierta aproximación. Para los modelos $\langle Q, r \rangle$ y $\langle R, T \rangle$ no existe mucha complicación, (ver referencia [4], capítulo III) pero, para los modelos $\langle nQ, r, T \rangle$ y $\langle R, r, T \rangle$ el grado de complejidad es tal que se tienen que suponer distribuciones de probabilidad específicas para la demanda y que el tiempo de envío es constante (ver referencia [1], capítulo 5).

En la referencia [5], se propone un método para dar solución numérica al modelo $\langle nQ, r, T \rangle$, considerando distribución normal en la demanda y tiempo de envío constante. La propuesta utiliza un método de optimización global que se presenta en las referencias [6] y [13].

Si bien el sistema SIGI no está diseñado para obtener soluciones exactas, en un momento dado se podría utilizar para buscar una solución aproximada, con el nivel de aproximación deseado. Además, este sistema se puede utilizar para medir el grado de bondad de soluciones obtenidas por otros métodos; para realizar análisis de sensibilidad de las soluciones al variar los valores de los parámetros y para saber cual sería la situación en el inventario en un momento dado.

4.2 Estructura del Sistema

El sistema que simula el funcionamiento de los inventarios, está diseñado de tal forma que permite manejar una gran gama de posibilidades, tanto por el tipo de revisión como por las opciones en caso de faltante y las opciones para manejar las formas de la demanda, del tiempo entre demandas y del tiempo de espera de una orden.

Los modelos de inventarios a considerar pueden ser determinísticos o probabilísticos. Los modelos determinísticos que permite manejar el sistema son:

- Modelo de Lote Económico con variantes
- Modelo de Producción-Inventario

y los modelos estocásticos considerados son:

- Modelo $\langle Q, r \rangle$
- Modelo $\langle R, T \rangle$
- Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$
- Modelo $\langle R, r, T \rangle$

Los tres primeros son considerados en la opción de revisión continua, mientras que los restantes se pueden abordar al elegir la revisión periódica.

Con cualquiera de estas dos últimas opciones, se consideran dos alternativas, en caso de que existan faltantes:

- Pérdida de Ventas
- Retraso de Ventas

Además de lo anterior, para cada uno de los tres conceptos siguientes:

- Tiempo entre dos Demandas Consecutivas
- Tiempo de Envío de una Orden
- Demanda

se permiten catorce opciones. Una de ellas, la opción "constante", en los tres conceptos, hace que los modelos sean determinísticos, mientras que las trece opciones restantes se usan en modelos estocásticos. Estas opciones obedecen a las siguientes distribuciones de probabilidad:

- Constante
- Uniforme
- Exponencial
- Gamma
- Normal
- Ji-Cuadrada
- t de Student
- F de Snedecor
- Binomial
- Poisson
- Geométrica
- Binomial Negativa
- Hipergeométrica
- Empírica

todo esto hace que en el sistema se puedan combinar una gran gama de posibilidades.

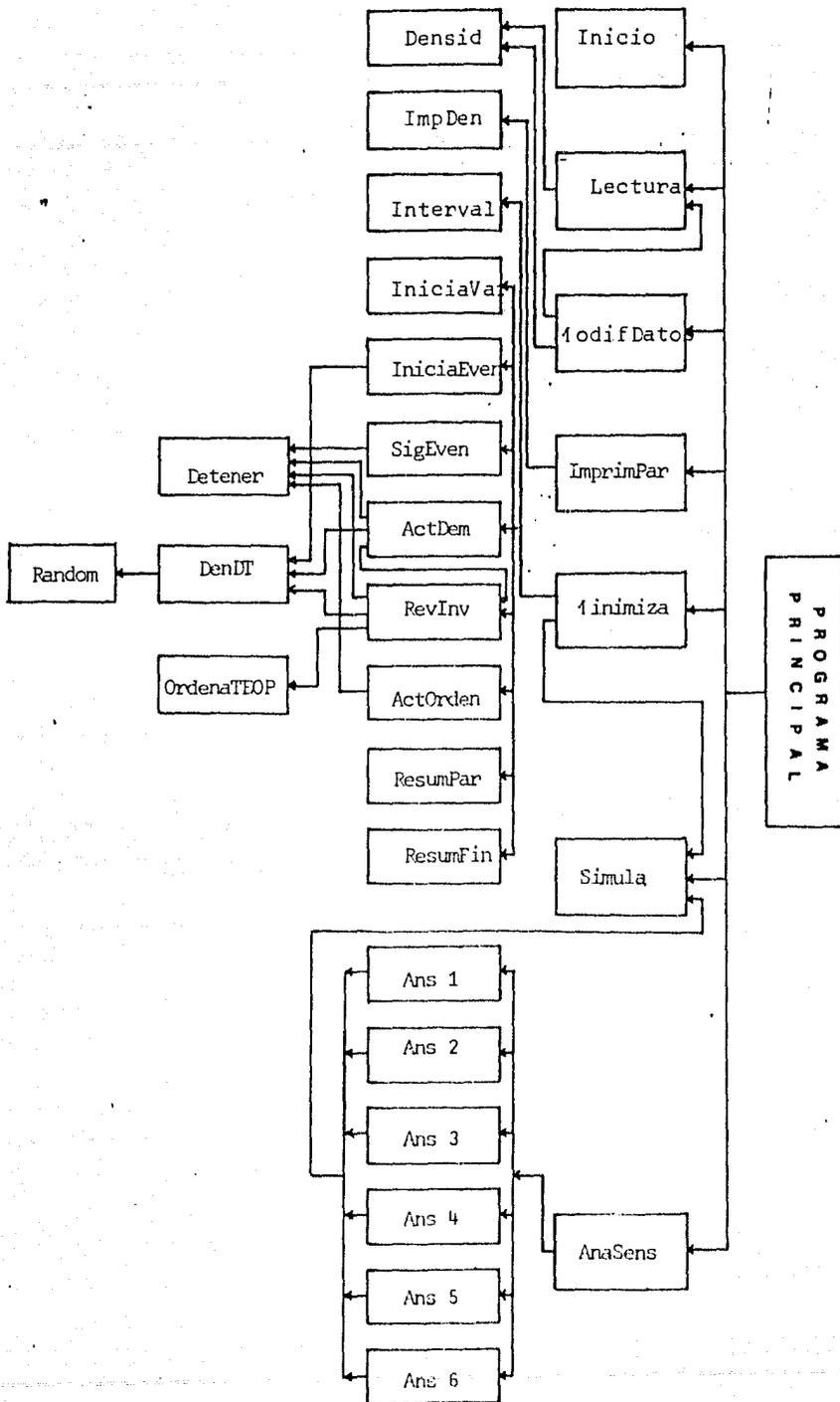
El sistema está estructurado de tal forma que la función del programa principal consiste únicamente en la dirección de la simulación, es decir, conduce la simulación, haciendo uso de cerca de treinta rutinas. La estructura gráfica del sistema se muestra en la figura 4.4.

El sistema permite, en una misma sesión, realizar tantas simulaciones como se desee, ya sea con cambios pequeños en los parámetros, lo cual permite llevar a cabo análisis de sensibilidad, o bien cambios radicales en algunos o todos los parámetros. Esta última opción es útil si se tiene más de un producto en inventario y se desea controlarlos al mismo tiempo.

Al iniciar una sesión con el sistema, aparecerá una serie de indicaciones que orientarán al usuario en su aplicación. En seguida, solicitará los datos que requiere para la simulación; esto lo realiza con la rutina LECTURA. Inmediatamente después de abastecer los datos, preguntará si se desea hacer alguna corrección a éstos (rutina MODIFDATOS). En caso afirmativo, dá la lista de posibles cambios y se procede a ello. En caso negativo inicializa los valores de todas las variables involucradas (rutina INICIAVAR).

La filosofía del sistema consiste en dar tiempos de ocurrencia a cinco eventos que se pueden presentar a lo largo de toda la simulación. Los eventos son los siguientes:

Figura 4.4.- Estructura del Sistema SISI.



- Ocorre una demanda
- Se revisa el nivel del inventario
- Se recibe una orden
- Se elabora un resumen parcial de resultados
- Se termina la simulación, proporcionando un resumen final de resultados.

El siguiente paso en el programa principal consiste en inicializar los tiempos de ocurrencia de los eventos (rutina INICIAEVENT), de acuerdo con las opciones elegidas al abastecer los datos. En los casos en los que se escojan modelos estocásticos, se generan valores de variables aleatorias que obedezcan a la(s) distribución(es) de probabilidad seleccionada(s) (rutina DENDT) y se asignan los eventos correspondientes.

A continuación, se determina el evento más próximo, en base a los tiempos determinados. De acuerdo a la ocurrencia de alguno de los cinco eventos, el sistema procede a realizar diferentes actividades.

Si ocurre el primer evento, significa que se presentó una demanda al inventario. Esta puede ser satisfecha si se tienen existencias suficientes, o pueden no ser satisfecha si las existencias no lo permiten. En este segundo caso existen faltantes y puede ocurrir una de las dos situaciones siguientes:

- La demanda se pierde (Pérdida de Ventas)
- La demanda se acumula (Retraso de Ventas)

Después de realizada la demanda al inventario, se llama a la rutina ACTDEM, independientemente de las opciones existentes, que actualiza el inventario, de acuerdo a lo que haya ocurrido con la demanda. Si se satisfizo, se disminuye tanto el inventario neto como la posición del inventario. Si no se satisfizo, los faltantes se acumulan para determinar el costo correspondiente, ya sea por pérdida o por retraso. Esta rutina también acumula, dado el caso, la cantidad almacenada.

Al especificar el costo unitario por faltante, se debe considerar que el valor asignado debe corresponder a la opción elegida (Pérdida o Retraso de Ventas). Si en otra simulación, en la misma sesión, se cambia la opción, el costo se deberá modificar al correspondiente, cuando el sistema pregunte si se desean cambios.

El segundo evento consiste en revisar el inventario. Esto se hace en la rutina REVINV con las dos opciones:

- Revisión Continua
- Revisión Periódica

En este sistema, la revisión continua se simula revisando el inventario cada vez que se presenta una demanda, mientras que en la revisión periódica se establece un tiempo entre revisiones. Cabe

hacer notar que el modelo estocástico $\langle R, T \rangle$ no requiere revisiones, simplemente, cada determinado tiempo se elabora una orden de reabastecimiento del inventario.

Dependiendo del modelo seleccionado, la posición del inventario al iniciar la simulación tendrá cierto valor, pero en algunos casos estocásticos, al empezar la simulación se supone que el inventario neto inicial es igual a r (punto de reorden) y, por lo tanto, inmediatamente se tiene que solicitar una orden y entonces existe una orden pendiente, cuyo tamaño dependerá del modelo que se esté trabajando, aunque internamente se le llamará Q en cualquier caso.

Si al revisar el inventario éste se encuentra en un nivel que amerite solicitar un reabastecimiento, se solicitará una orden del tamaño que corresponda a la opción elegida y se generará un tiempo de espera para recibir esa orden.

Se puede dar el caso que exista, con ésta, más de una orden pendiente. Si ocurre esto, el sistema llama a la rutina ORDENATEORDP, que acomoda, de acuerdo a las fechas de ocurrencia, las llegadas de las órdenes pendientes, para asignarle como tiempo de ocurrencia del evento 3 el menor de estos tiempos.

La rutina REVINV termina acumulando el número de revisiones y el número de órdenes solicitadas para calcular los costos asociados a estos conceptos.

El tercer evento se presenta cuando llega una orden que reabastecerá el inventario. En este momento se llama a la rutina ACTORDEN para actualizar los niveles del inventario. Se acumula la cantidad almacenada para poder calcular el costo de almacenamiento y se disminuye en uno el número de órdenes pendientes.

El cuarto evento consiste en realizar un resumen parcial de resultados de la simulación. Este se presenta cada cierto período especificado en los datos. La rutina que proporciona este resumen es RESUMPAR y presenta resultados por período y acumulados, para varios conceptos como son:

- Número de demandas recibidas
- Cantidad demandada
- Número de veces que hubo faltantes
- Cantidad de faltantes
- Cantidad almacenada
- Número de órdenes solicitadas
- Número de revisiones del inventario
- Costo de faltantes
- Costo de almacenamiento
- Costo de revisiones
- Costo de ordenar
- Costo total

El quinto evento significa que la simulación llegó a su término y entonces se presenta un resumen final de los conceptos mostrados en el evento 4.

Después de esto, el sistema pregunta si se desea otra simulación. En caso afirmativo, se vuelven a inicializar valores, se leen nuevos datos o se modifican anteriores y se continúa con el proceso de asignación de tiempos a los eventos, elección del evento más próximo y la realización de lo que ésto implique. En caso negativo, el sistema termina su ejecución.

Respecto a la ejecución de la simulación, existen tres opciones para elegir:

- Se puede ver todo el proceso
- Se pueden ver sólo resultados parciales
- Se puede ver sólo el resumen final

En cualquier caso, los resultados se pueden ver por pantalla y existe la opción de guardarlos en un archivo.

Respecto a la opción de minimización (aproximar el mínimo costo total a partir de valores de las variables r , R , Q y T), ésta se hace en la rutina MINIMIZA, en la que se solicitan los valores inferior y superior de las variables, rangos en los que se piensa se pueden mover los valores de éstas, y se realiza la simulación en todo el espacio definido por estos rangos, tomando entre ellos el que proporcione el menor costo total de inventario.

Si desea, ya que no se puede asegurar que el mínimo sea el que se ha obtenido en una sola corrida, se puede simular varias veces el modelo elegido, con los mismos datos, a fin de obtener un intervalo de confianza para el costo total, haciendo uso del teorema del límite central, es decir, la rutina MINIMIZA, llama a otra rutina, denominada INTERVAL, que proporciona la medida del costo total anual y su desviación estándar, y con esos datos y un nivel de confianza dado se obtiene un intervalo de confianza para el costo, total anual promedio.

CAPITULO 5

APLICACIONES DE SISTEMA BIBI

Con el objetivo de mostrar el funcionamiento y el tipo de información que proporciona el sistema BIBI, este capítulo se desarrolla en dos grandes apartados. En el primero se presenta una aplicación práctica a una empresa productora de aceites y en el segundo una serie de aplicaciones teóricas a ejemplos que están resueltos en algunos textos, éste último con la finalidad de mostrar la bondad del sistema.

5.1 Aplicación Práctica

A manera de ejemplo de aplicación, se retomará un problema de la empresa paraestatal Industrias Conasupo, S. A., trabajado en 1980 en la referencia [7]. El problema se refiere al almacenamiento de semillas oleaginosas. Los datos a utilizar corresponden al año señalado y los costos se han traído a valor actual (diciembre de 1987) considerando el índice nacional de precios al productor que emite el Banco de México anualmente.

Conviene recalcar que el sistema no se aplicará en la empresa citada, el objetivo al utilizar estos datos es constatar la utilidad del sistema SISI. Para lograr el objetivo, se utilizarán los datos de dos formas: primero, para determinar la solución analítica utilizando una propuesta de [4] y, segundo, para mostrar las ventajas y desventajas que tiene la simulación en general, y el sistema SISI en particular, sobre la alternativa de resolver analíticamente un modelo de inventarios.

5.1.1 Descripción del Problema

La empresa Industrias Conasupo, (ICONSA) es una empresa filial de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), que se dedica a la elaboración de diversos productos comestibles como son: pastas para sopas, harinas, mantecas vegetales, alimento balanceado para animales, aceites comestibles, entre otros. Esta empresa tiene varias plantas en la República Mexicana, pero el problema se trató en la planta de Tultitlán, estado de México.

El interés fundamental de esta aplicación, radica en la parte inicial del proceso de producción del aceite comestible en la planta de Tultitlán de ICONSA, esto es, en el almacenamiento de las semillas oleaginosas utilizadas en la producción del aceite comestible. La compra de la semilla se puede hacer a mercado libre, es decir, directamente a los productores o a CONASUPO.

Cuando la semilla se compra a mercado libre, se tiene que comprar durante la época de cosecha (aproximadamente de junio a agosto) todo lo que se planea moler en un año, después se almacena en bodegas rentadas por la empresa, de donde se envía a las bodegas de la planta "tan pronto como se pueda" para tratar de pagar la menor cantidad posible por concepto de almacenamiento. Debido a la carencia de transporte, las cantidades y la frecuencia con que se envía semilla a las bodegas de la planta, están sujetas a la disponibilidad del mismo en las bodegas rentadas o cerca de ellas, provocando con esto algunos problemas graves, como los siguientes:

Primero, las bodegas de la planta se pueden encontrar vacías, provocando un paro en la producción y, por lo tanto, un costo representado por la pérdida potencial de ingresos. En 1980 se paró la producción durante cuatro meses, lo que indica que se dejaron de producir alrededor de 29 millones de litros de aceite, que a precios de diciembre de 1987 tendrían una utilidad bruta de aproximadamente 6,879 millones de pesos. (La utilidad bruta por caja de 12 litros de aceite era de \$ 84.1511 en ese año).

Segundo, cuando existe escasez de transporte, la semilla tiene que permanecer almacenada en las bodegas alquiladas, y en ocasiones pueden pasar varios meses antes de que ésta se pueda mover, incurriendo de esta manera en costos de almacenamiento que crecen considerablemente. Para darnos una idea de la cantidad que se pagó por almacenamiento en 1979, diremos que el plan de compra de semillas

oleaginosas para ese año fue de 120,000 toneladas y toda se compró a mercado libre. Las últimas cantidades de esta compra que se recibieron en la planta fueron en enero de 1980 y el almacenamiento se pagó a \$14.71, tonelada/mes lo que equivaldría a \$497.55 de diciembre de 1987. La deuda con las bodegas ajenas debida a almacenamiento, ascendió a varios cientos de millones de pesos de diciembre de 1987.

Tercero, cuando no se tienen problemas con el medio de transporte y éste es abundante, puede ocurrir que llegue mucha semilla a la planta y que en un momento dado ya no se cuente con espacio disponible en sus bodegas para almacenarla, provocando con esto que los vehículos que la transportan tengan que permanecer parados en los patios de la planta, incurriendo así en costos que marcan los transportistas.

Cuarto, cuando las bodegas de la planta se encuentran saturadas de semilla, debido a la frecuente llegada de ésta, ocurre un fenómeno de combustión con la semilla, ocasionado por la fuerte fricción entre ella, es decir, la semilla que se encuentra en el piso (la que soporta el peso del resto) se quema y ya no puede utilizarse más, generando un costo de merma, que puede resultar muy elevado.

Cuando la semilla se compra a CONASUPO se firma un contrato de compra-venta, en donde ICONSA expone sus necesidades de semilla durante la vigencia del contrato (un año, regularmente) y CONASUPO marca fechas tentativas de entrega de la semilla. CONASUPO se

compromete a entregarla en las plantas indicadas por ICONSA. Después de firmado el contrato, ICONSA tiene que solicitar un reaprovisionamiento de semilla a CONASUPO por medio de una orden que se envía a ésta. Después de esto, CONASUPO marca un cierto lapso para entregar la semilla a la planta (fecha que depende de la disponibilidad de transporte, y que, por lo tanto, no siempre se cumple). Al llegar la semilla a la planta se elabora una forma de control, en la que se registra la cantidad que ingresa, la fecha de llegada y la fecha de embarque en el lugar de origen.

Aún cuando parece que la situación al comprar a CONASUPO cambia favorablemente para ICONSA, no dejan de existir los problemas señalados anteriormente (excepto el segundo, porque ICONSA ya no paga almacenamiento directamente a los dueños de las bodegas), aunque dichos problemas disminuyen notoriamente. En este caso los problemas no son causados únicamente por el transporte, sino también porque los reaprovisionamientos se piden en cantidades y fechas que no siempre resultan adecuadas.

Es claro que un modelo de control de inventarios debe mejorar la situación de la empresa. Si bien es cierto que la solución a algunos de los problemas mencionados no están bajo control estricto de los directivos y personas encargadas de los almacenes, hay otros problemas a los que se les puede dar un buen tratamiento con la elección de un modelo para control de inventarios.

5.1.2 El Modelo Propuesto

En esta sección se describirá brevemente el modelo propuesto para el control de inventario de semillas oleaginosas. El modelo es estocástico, ya que no se conoce con precisión ni el tiempo que tarda en ser entregada a la planta una orden, ni la cantidad que se demandará cada día a la bodega de la planta. Sin embargo, estas variables se pueden describir en términos probabilísticos. Debido a la aleatoriedad de la demanda y del tiempo de envío, no es posible predecir exactamente la cantidad de semilla que se tendrá en inventario en un momento dado, es decir, el nivel de inventario es también una variable aleatoria.

El modelo propuesto es conocido como modelo de "lote económico-punto de reorden" y es tal que cuando el nivel de inventario alcanza el punto de reorden, se ordena una cantidad de semilla siempre igual, denominada lote económico y denotada por Q . La función del punto de reorden es satisfacer la demanda que tenga la bodega mientras la orden es entregada, es decir, mientras la cantidad Q se incorpora al inventario.

A este modelo de inventarios también se le conoce como modelo $\langle Q, r \rangle$ o política $\langle Q, r \rangle$ y pertenece al grupo de los llamados modelos de revisión continua, ya que se debe tener conocimiento del momento en que el inventario llega al punto de reorden. Una forma de aproximar la revisión continua es llevar registros diarios del nivel del inventario. Para el caso particular que se trata existen, dentro

de la planta, registros del nivel de inventario diario, así como de la cantidad demandada cada día a la bodega de semilla. En este caso, la demanda la realiza otro departamento de la misma empresa, el departamento de producción.

Cabe hacer la observación de que, en nuestro caso, la cantidad Q no se ordena en el preciso momento en que el nivel del inventario alcanza el punto de reorden, ya que la empresa carece de aparatos de medición precisos para saberlo; lo que se puede conocer, con ayuda de los registros diarios mencionados, el día en que el nivel del inventario está tan cerca del punto de reorden que es seguro o casi que al día siguiente éste se alcance, por lo tanto, la orden se solicitará cuando el nivel del inventario esté en una vecindad cercana al punto de reorden.

Dada la aleatoriedad en el tiempo de entrega de los pedidos y en la demanda, se corre el riesgo de que la bodega de la planta quede sin existencias (esto sucederá cuando la cantidad demandada durante este tiempo sea mayor que el punto de reorden). Si esto ocurre se dice que existen faltantes y se pueden presentar dos casos. En el primero se admiten retrasos para satisfacer la demanda que ocurra, es decir, la demanda que tenga la bodega durante el tiempo de carencia de semilla se acumula para ser satisfecha cuando el pedido se incorpora al inventario. A este caso se le llama retraso de ventas.

En el segundo caso, al que se le llama pérdida de ventas, la demanda que ocurra durante el tiempo de faltantes queda sin ser

satisfecha y por lo tanto no se obtendrán los beneficios que se obtendrían al satisfacerla.

En cualquiera de los casos se incurre en un costo variable, el costo de carencia por unidad, que será diferente para cada caso. Existen otros dos tipos de costo contemplados por el modelo, el costo de almacenamiento por tonelada de semilla y el costo en que se incurre cada vez que se ordena un pedido a los proveedores, al cual se le llama costo de ordenar, y junto con los otros dos determina la función $CTA(Q,r)$, que proporciona el costo total del inventario. El criterio que se utilizará para obtener la política óptima es la minimización de la función $CTA(Q,r)$.

Como todo modelo de inventarios, éste tiene varios supuestos, algunos de éstos facilitan su resolución analítica y otros son lógicos. De ambos tipos se citan a continuación (tomados de [1] y [9]):

- Se considera un período de estudio de tamaño igual a un año.
- El punto de reorden r es mayor que cero.
- Nunca hay más de una orden pendiente, es decir, cuando el inventario neto o la posición del inventario llegan al punto de reorden (ver figuras 5.1 y 5.2) no existen órdenes pendientes.
- Continuamente se revisa el inventario.
- La posición del inventario al iniciar el período de estudio es $r + Q$.
- El costo de carencia total no depende del tiempo de

carencia, sino de la cantidad de carencia esperada por ciclo y del número de ciclos al año (esto es una aproximación en el modelo).

- El costo total de mantenimiento en inventario es el costo unitario C_m por el inventario neto promedio al año.
- El costo total de ordenar es el costo unitario C_o por el número de órdenes esperadas al año.

Las figuras 5.1 y 5.2 muestran el comportamiento del inventario para los casos retraso de ventas y pérdida de ventas, respectivamente.

La hipótesis más fuerte que se está haciendo es que nunca hay más de una orden pendiente. En otras palabras, ésto significa que la posición del inventario y el inventario neto son iguales desde el momento en que la orden se incorpora al inventario, hasta que se alcanza el punto de reorden. Entonces podemos medir el punto de reorden con el inventario físico o con el inventario neto o con la posición del inventario. Esta hipótesis es equivalente a pedir que el inventario neto, después de incorporar una orden al inventario sea mayor que el punto de reorden.

5.1.3 Parámetros del Modelo

En esta sección se indicará la forma en que se obtuvieron los costos unitarios involucrados en el modelo y las distribuciones de

Niveles del
Inventario

$r + Q$

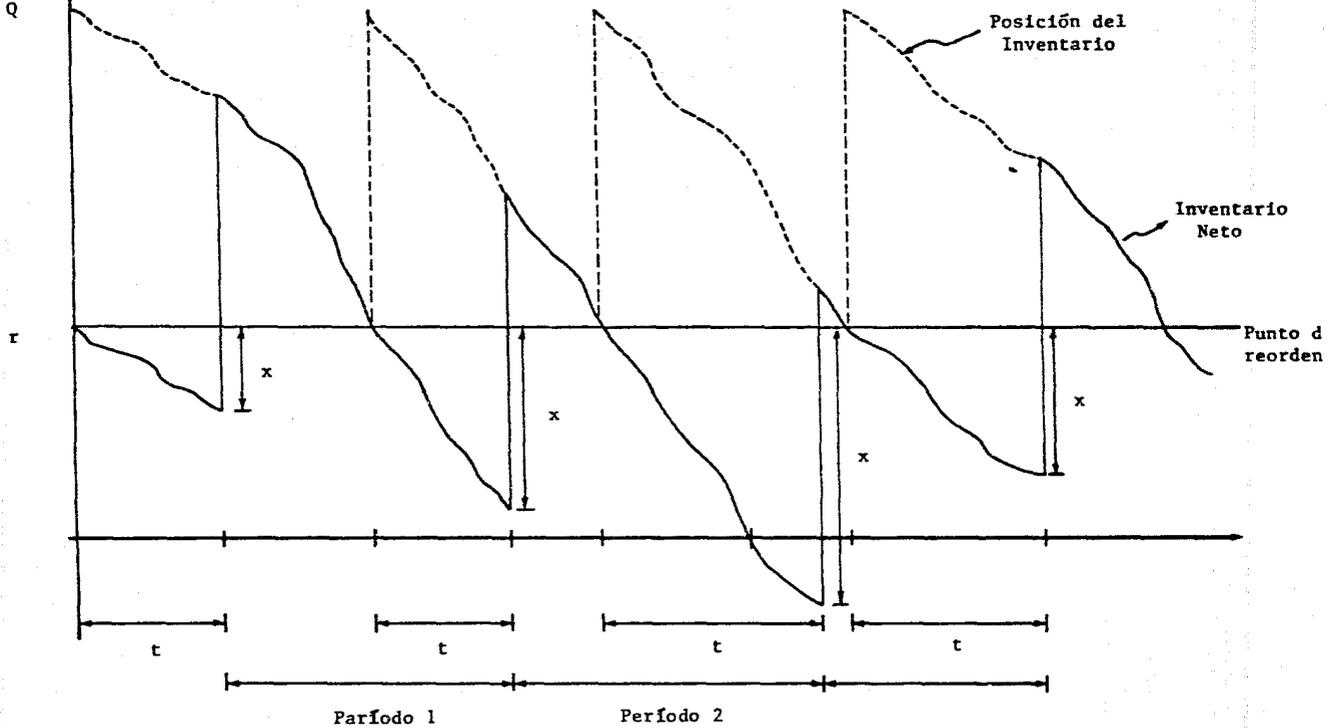


Figura 5.1 Modelo $\langle Q, r \rangle$. Caso: Retraso de Ventas

Niveles del
Inventario

$r + Q$

Posición del
Inventario

Inventario
Físico

Punto de
reorden

Tiempo

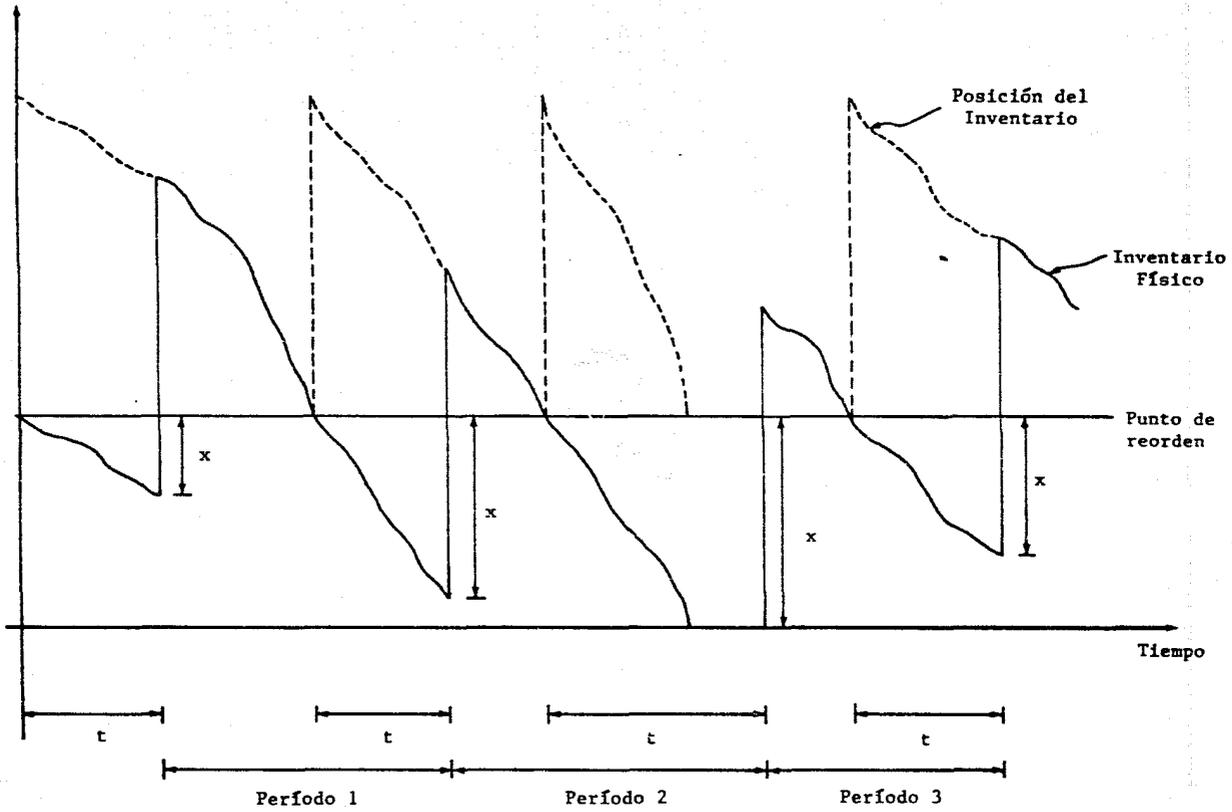


Figura 5.2 Modelo $\langle Q, r \rangle$ Caso: Pérdida de Ventas

probabilidad, tanto del tiempo de envío como del tiempo entre demandas y de la demanda misma. No se hace una presentación detallada de los costos unitarios, ya que ésto fue un trabajo muy extenso y laborioso, que está fuera del objetivo de esta tesis. Los interesados en ello pueden revisar el capítulo 3 de la referencia [7], de donde se han tomado todos los parámetros del modelo, actualizándolos con el indicador del Banco de México ya citado.

Costos del Modelo

Se consideran tres costos en el modelo: el de ordenar, el de almacenamiento y el de faltantes. Estos costos se determinan a detalle en 1980 en el trabajo citado y, simplemente, se actualizaron, multiplicándolos por el índice nacional de precios en la rama económica Aceites y Grasas Vegetales Comestibles de 1980 a 1987 del Banco de México [8], que fue de 3382.5%.

Costo Unitario de Ordenar

Este costo es en el que se incurre cada vez que se solicita una orden de semilla a los proveedores. Aquí se incluyen algunos costos, como son la actualización de registros, costos por procesar una orden en los diferentes departamentos de la empresa, que deben incluir costos de papelería, porteo, sueldos y teléfono. También se consideran unos costos variables, que dependen de la cantidad ordenada, como son costos de recepción, en donde se debe incluir un costo de análisis de calidad de la semilla, un costo de descarga de

la misma y la papelería necesaria en esta parte. También se debe incluir el costo de transporte cuando la compra de semilla se hace a mercado libre.

Los costos enunciados se pueden dividir en costos constantes, es decir, que no dependen de la cantidad ordenada y costos variables, que están en relación directa con la cantidad ordenada. Los costos constantes incluyen papelería, porteo, teléfono, y sueldos, mientras que los costos variables incluyen los costos de un análisis de calidad, descarga, una parte de papelería y, según el caso, transporte.

Como el modelo propuesto supone que el costo de ordenar es independiente del tamaño de la orden, se determinará el costo variable por tonelada y se sumará al costo unitario de la semilla. En el departamento de Contabilidad de Costos de la empresa ICONSA, manejan el término costo estándar de la semilla, que representa el costo unitario de la semilla puesta en planta. Cuando la compra se hace a CONASUPO, se compra a un precio estándar, es decir, CONASUPO entrega la semilla en la planta. Cuando la compra se hace a mercado libre, para obtener el costo estándar necesario agregar al precio de garantía de la semilla, el costo de almacenamiento fuera de la planta y el costo unitario de transporte. Si al costo estándar se le agrega la parte variable del costo unitario de ordenar, se obtiene el costo unitario de la semilla puesta en el almacén, es decir, lista para salir a producción cuando se requiera.

En ICONSA, usan indistintamente tres tipos de semillas oleaginosas: soya, cártamo y girasol. Como no se diferencia su uso y su costo unitario es diferente, se obtuvo un costo unitario promedio, ponderado de acuerdo a la cantidad que se compre de cada tipo y se trabajará con él, debidamente actualizado.

Sean CST, CCT y CGT los costos unitarios estándar por tonelada de semilla de soya, cártamo y girasol, respectivamente; TAS, TAC y TAG las toneladas anuales de semilla de soya, cártamo y girasol, respectivamente, que marca el plan de molienda; $D = TAS + TAC + TAG$ es la demanda anual esperada de semilla, entonces

$$CPS = (CST \times TAS + CCT \times TAC + CGT \times TAG) / D$$

es el costo promedio estándar que se utiliza por tonelada de semilla.

Si se denota con C_o la parte constante del costo unitario de ordenar, con C_v la parte variable por tonelada del mismo costo y con C el costo promedio de la semilla puesta en la bodega de la planta, es decir, en el inventario, entonces, $C = CPS + C_v$ y el costo incurrido por una orden de Q toneladas será

$$C_o + C \times Q$$

Si la demanda anual es D y la demanda por ciclo es Q , el número de ciclos al año será D / Q y el costo anual de ordenar será

$$C_o D / Q + C \times D$$

Como $C \times D$ es constante y el mínimo de la suma de una constante y una función es igual a la suma de la constante y el mínimo de la función, entonces no se considerará el costo de la semilla en la función a minimizar. Por lo tanto, el costo unitario de ordenar se denotará sólo con Co .

Después de una serie de estimaciones engorrosas, se determinó que el costo unitario de ordenar es:

$$Co = \begin{cases} \$ 840.00 & ; \text{ para compra a CONASUPO} \\ \$ 1,420.00 & ; \text{ para compra a mercado libre} \end{cases}$$

estos costos se traen a valor actual de la forma siguiente:

$$Co = 840 \times IP_{80-87} \quad \text{ó} \quad Co = 1420 \times IP_{80-87}$$

donde IP_{80-87} es el índice acumulado de precios al productor del año 1980 al año 1987 y es igual a 3382.5%, de acuerdo a [8], con lo que se obtiene que el costo de ordenar, a precios de ahora es

$$Co = \begin{cases} \$ 28,413.00 & \text{ si se compra a CONASUPO} \\ \$ 48,031.50 & \text{ si se compra a mercado libre} \end{cases} \quad (5.1)$$

Costo Unitario de Mantenimiento en Inventario

En este rubro se deben representar aquellos costos que se originan por mantener una tonelada almacenada, ya sea en la bodega de la planta de ICONSA o en alguna bodega ajena. También aquí es preciso diferenciar las dos opciones de compra de la semilla, ya que en el primer caso el costo de almacenamiento fuera de la planta va incluido en el precio de la semilla y sólo se incurrirá en un costo por este concepto dentro de la planta. En el segundo caso, se genera este costo dentro y fuera de la planta.

Si para el caso de compra de semilla a mercado libre se determina el costo unitario de almacenamiento fuera de la planta y, junto con el costo unitario de transporte en la referencia [7] se agrega el precio de garantía, se obtiene el costo unitario estándar y entonces ya se puede dar el mismo tratamiento a los dos casos, para determinar el costo de almacenamiento unitario dentro de la planta.

Las componentes de este costo son: costo unitario de seguro dentro de la planta, costo unitario de merma, costo de operación en la bodega de la planta, como energía eléctrica y mano de obra, finalmente, un costo muy importante que no aparece en los estados de cuenta de la empresa, el costo de oportunidad, que representa la ganancia que se deja de obtener por cada peso invertido en la semilla almacenada y que está dado por la máxima tasa de rendimiento que la empresa puede obtener de inversiones alternativas.

Como una aproximación, se supuso que todas estas componentes del costo buscado son directamente proporcionales al inventario físico y al tiempo. Esto no es del todo cierto, ya que el costo de operación en la bodega varía en una forma un tanto diferente.

Nuevamente, después de numerosos cálculos, estimaciones y consideraciones, se llegó a la determinación siguiente: \$ 1,284.94, que a precios actuales es $1284.94 \times IP_{80-87}$, es decir

$$C_m = \$ 43,463.10$$

(5.2)

Costo Unitario de Faltantes

Este costo se origina cuando se demanda semilla al inventario y éste carece de ella. Regularmente es necesario distinguir este costo para los casos retraso de ventas y pérdida de ventas.

En el caso pérdida de ventas es necesario considerar costos como: pérdida potencial de las ganancias que se obtendrían al realizar las ventas que en realidad se pierden, pérdida de buena fé de parte de los clientes, es decir, pérdida de compras futuras debido a pérdida de clientes, costo por reiniciar la línea de producción, entre otros.

En el caso retraso de ventas se deja de considerar los costos ocasionados por la pérdida potencial de ganancias y por la pérdida de buena fé, pero se considera un costo ocasionado por conseguir el

producto demandado, que puede ser la diferencia entre el costo original de la semilla y el costo por conseguirla de "urgencia".

El ejemplo que aquí se considera, es un tanto especial, porque ICONSA sólo distribuye sus productos a organismos públicos como DICONSA (Distribuidora COMASUPO, S. A.) e IMPECSA (Impulsora del Pequeño Comercio, S. A.). Esto permite considerar sólo el caso retraso de ventas, ya que aquí no se presenta la pérdida de buena fé. Sin embargo, es necesario representar de alguna manera este costo, ya que en realidad normalmente existen pérdidas por no producir. Se encontró conveniente determinar este costo con la pérdida potencial de las ganancias, al menos teóricas, que se obtendrían de los productos y subproductos resultantes durante el proceso de producción del aceite, por tonelada (utilidad bruta por tonelada de semilla faltante). Además de este costo, se consideraron solamente los costos fijos de producción por tonelada, ya que no existen datos para considerar el costo de reinicio de la línea de producción y el costo de "urgencia" de la semilla.

Se estimó el costo promedio asociado a cada tonelada de semilla demandada y no satisfecha, para que al multiplicarlo por la cantidad de faltantes esperada por ciclo, dé el costo anual debido a falta de semilla. La referencia [7] reportó un costo de faltantes por tonelada igual a \$ 2,297.49, que al multiplicarlo por el índice de precios al productor, de 1980 a 1987, IP_{80-87} , se obtiene

$$C_f = \$ 77,712.60$$

(5.3)

Las Distribuciones de Probabilidad

Son tres las distribuciones de probabilidad requeridas en el sistema SISI, éstas se refieren a :

- tiempo de envío
- tiempo entre demandas
- demanda

Estas distribuciones también se obtienen de información utilizada en la referencia [7].

Aunque el modelo $\langle Q, r \rangle$ requiere de las distribuciones de probabilidad del tiempo de envío y de la demanda condicional durante este tiempo, y al comparar con las distribuciones requeridas por el sistema SISI, se observa que sólo hay coincidencia en la distribución del tiempo de envío; esto no significa que existan incongruencias entre las soluciones que se obtengan con los métodos de solución, ya que la del sistema SISI utiliza un mecanismo diferente al empleado en la solución analítica del modelo.

Es bueno mencionar que en la práctica, determinar la distribución de probabilidad de una función de densidad condicional es más complicado que determinar la de una no condicional, sin embargo, por las características de la demanda de semilla, que consiste en traslados del almacén al área de producción, dentro de la

misma planta, se puede suponer, sin cometer faltas importantes, que la distribución, condicional o no, es la misma. Por esta razón, la distribución de la demanda puede utilizarse como una aproximación de la distribución de la demanda condicional, durante el tiempo de envío. Así se utilizará para obtener la solución analítica que se comparará con los resultados del sistema.

Distribución del Tiempo de Envío

Cada vez que llega una orden de semilla a la planta, se elabora una forma de control de entrada, en la que se registra, entre otras cosas, la fecha de embarque de la semilla en el lugar de origen y la fecha de recepción en la planta, información que sirve para determinar una parte del tiempo de envío de cada orden. La otra parte es el tiempo que transcurre desde que se alcanza el punto de reorden, señal de que debe solicitarse una orden, hasta que ésta se embarca en su lugar de origen. No existe información registrada para esta segunda parte, pero la experiencia de la gente encargada de estas actividades, llevó a suponer un tiempo constante de cuatro días, entonces, el tiempo de envío de una orden, en días, está dado por la relación siguiente:

$$\text{fecha de recepción} - \text{fecha de embarque} + 4 \quad (5.4)$$

Para determinar la función de densidad de probabilidad del tiempo de envío de las órdenes de semilla, denotada con $h(t)$ en la solución analítica del modelo (ver [1]), se realizó un muestreo de

las formas de control de entrada de semilla a la planta y después, según lo observado en los datos obtenidos, se propuso una distribución de probabilidad, la cual se probó con dos métodos diferentes, usando la prueba Ji-cuadrada y la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Para realizar las pruebas, fue necesario realizar un muestreo de las diversas formas de control que se llevan en la planta en cuestión, el detalle del desarrollo del muestreo se presenta en el anexo 1.

La aplicación del muestreo arrojó los resultados siguientes: se determinó que el tamaño de la muestra debía ser de 44 formas de control. El muestreo seguido fue el sistemático y se estimó la media del tiempo de envío en 18.84 días y una varianza de 56.68, lo cual produce una varianza del tiempo promedio igual a 1.23. De acuerdo a esto, un intervalo del 95% de confianza para el tiempo promedio de envío, al 95% de confianza es el siguiente:

$$16.66 \leq t \leq 21.01$$

Con la información obtenida en el muestreo, se realizaron las dos pruebas estadísticas mencionadas. La gráfica de los datos se presenta en la figura 5.3. Debido a la forma de la distribución de frecuencias observada en esta gráfica, se propuso la distribución Gamma, definida como:

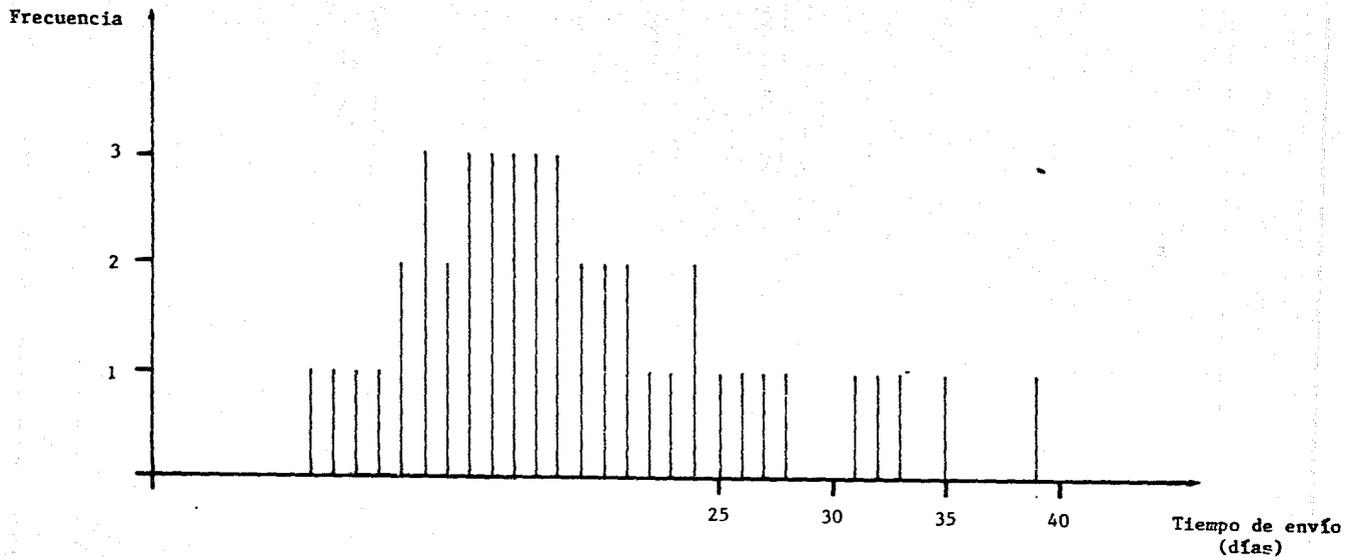


Figura 5.3 Frecuencias del tiempo de envío de la muestra obtenida

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} / \beta^{\alpha} \Gamma(\alpha) & , x > 0 \\ 0 & , x \leq 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

Para determinar sus parámetros, se procedió como a continuación se indica:

La función generadora de momentos de esta distribución es

$$M_x(t) = [1 / (1 - \beta t)] \quad \text{para} \quad -\infty < t < \infty \quad (5.6)$$

entonces, derivando (5.6) dos veces y evaluando en $t = 0$, se tiene

$$E(X) = \alpha\beta$$

y

$$V(X) = \alpha\beta^2$$

de donde α y β se pueden estimar con las expresiones siguientes:

$$\alpha = E^2(X) / V(X) \quad (5.7)$$

y

$$\beta = V(X) / E(X) \quad (5.8)$$

De acuerdo a la muestra obtenida,

$$E(X) = 18.84 \quad \text{y} \quad V(X) = 56.68$$

de donde los valores de los parámetros resultan ser

$$\alpha = 6.2622724 \quad \text{y} \quad \beta = 3.0084926$$

En la figura 5.4 se muestran las frecuencias de los tiempos de envío reales y la distribución Gamma para los parámetros anteriores. En ella se puede observar que el ajuste es bastante bueno y esto lo corroboran las pruebas realizadas, que se muestran a detalle en el anexo 1.

Distribución del Tiempo entre Demandas

En la empresa ICONSA, se elabora cada año un plan de producción, que se revisa con cierta frecuencia. Al iniciar un año cualquiera, se mantiene en mente el plan de molienda, que para 1980 consistía en 120,000 toneladas al año. Para cumplirlo, se estipuló que se moliera un promedio de 420 toneladas diariamente. Esto es importante en el sentido de que de aquí se desprende que la demanda de semilla es diaria, es decir, el tiempo entre demandas es determinístico e igual a un día. Esta información sirve para determinar la distribución de la demanda, la cual se determina en la sección siguiente.

Distribución de la Demanda

Dado que también se tenía una gran cantidad de registros de las salidas diarias de semilla del almacén, se hizo un muestreo, siguiendo los mismos pasos que en el inciso anterior, en cuanto a

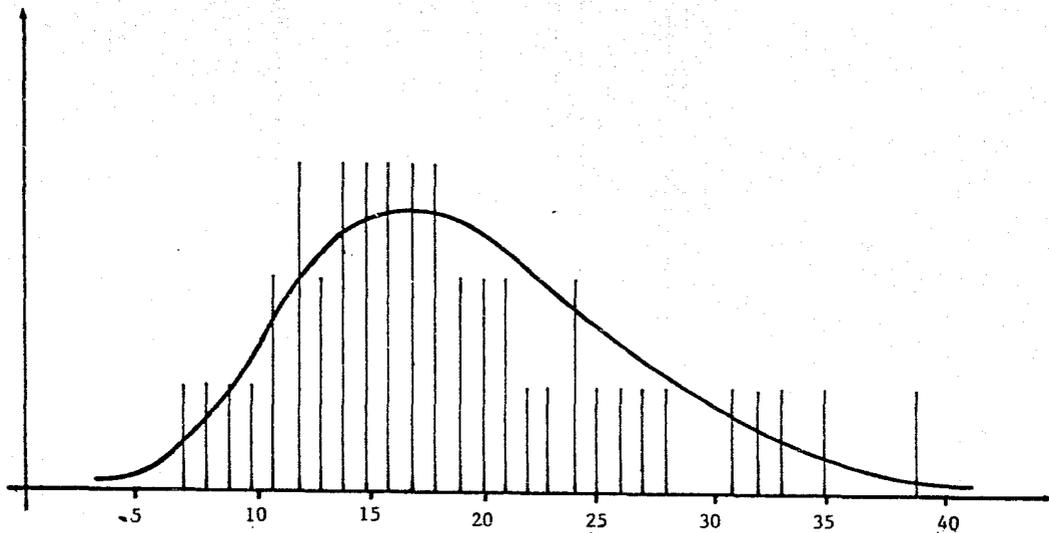


Figura 5.4 Frecuencias del tiempo de envío y la distribución Gamma ajustada ($\alpha = 6.26$ y $\beta = 0.33$)

muestreo se refiere, y se obtuvo el tamaño de muestra igual a 36. Al extraer la muestra se obtuvo una demanda diaria promedio de 370.17 toneladas, con una desviación estándar de 135.55 toneladas. Los datos de las observaciones en la muestra se indican en la figura 5.5. Al realizar las pruebas estadísticas respecto a una distribución uniforme, se obtuvieron resultados favorables, procediéndose a estimar los parámetros de la función, de la siguiente manera:

Como la función de densidad de probabilidad uniforme se define como

$$f(x, \theta_1, \theta_2) = 1 / (\theta_2 - \theta_1) \quad (5.9)$$

y su media y varianza se definen como

$$E(X) = (\theta_1 + \theta_2) / 2$$

y

$$V(X) = (\theta_2 - \theta_1)^2 / 12$$

al manipular algebraicamente estas expresiones se obtienen los estimadores de los parámetros, que son:

$$\theta_1 = 135.39 \quad \text{y} \quad \theta_2 = 604.94$$

Los detalles de las pruebas se muestran en el anexo 1.

5.1.4 Solución

Una vez que se han determinado los parámetros involucrados en el modelo, se procedió a la búsqueda de la solución óptima, es decir, a indicar cuanto se debe ordenar cada vez, cada cuando se debe ordenar y cuál es el costo anual del inventario.

Para dar solución a este problema, se utilizó uno de los programas propuestos en [4], con el cual se obtuvieron los resultados siguientes:

$$r^* = 77.87774$$

$$Q^* = 11,889.4000864$$

$$CTA(r^*, Q^*) = 204,052.86$$

En ocasiones, la solución "óptima" que se obtiene no necesariamente es factible para la empresa o industria que se trata, ya que su bodega puede tener una capacidad menor a la cantidad Q sugerida por la solución y en ese sentido, la solución ofrecida no es factible. En este caso, conviene realizar un análisis de sensibilidad, para ver, entre las soluciones factibles, cuál sería la óptima factible. Este análisis se puede hacer al cambiar los valores de los parámetros, en cierto rango y comparar los costos que se obtienen cada vez.

Algunas veces, por la forma de la función, cambios importantes en magnitud, en los parámetros, no producen cambios relevantes en el

valor de la función de costo y, si éste es el caso en la práctica, valores más accesibles en las variables, para la empresa en cuestión, pueden ofrecer valores en la función del costo cercano al mínimo. Esto se puede ver con el sistema SISI, ya que permite hacer modificaciones a los parámetros ya sea en forma "manual" (al indicar, cuando lo pregunte, que se desea realizar más simulaciones y modificar los valores de los parámetros), o en forma automática, indicándolo cuando el sistema pregunte por esta opción.

Por otro lado, la solución analítica que se obtiene, cuando se puede obtener, ofrece números un tanto fríos en el sentido de que no nos ofrece otro tipo de información que no sea la cantidad que se debe ordenar y en el momento en que se debe hacer. A diferencia de esto, el sistema SISI nos ofrece información adicional respecto a otros parámetros que pueden ser de interés. Estos parámetros de referencia son:

- número de veces que el inventario tiene faltantes,
- cantidad promedio de faltantes,
- cantidad total de faltantes,
- número de demandas recibidas
- cantidad demandada
- cantidad almacenada
- número de órdenes elaboradas
- número de revisiones del inventario
- costos parciales de
 - + almacenamiento

- + ordenar
- + revisiones
- + faltantes

Esta información se puede obtener con la frecuencia deseada (diario, semanal, mensual, etc.), además de esta misma información pero anualizada. Todo esto hace atractivo aplicar el sistema SIGI a este problema.

5.1.5 Uso del Sistema SIGI

Como se mencionaba en el capítulo anterior, en un momento dado se puede manejar la opción en el sistema SIGI, para obtener valores de la función del costo total que corresponden a diversos valores de las variables en un rango establecido, con ciertos incrementos, los cuales se pueden hacer tan finos como se desee. Esto es con la idea de que se busque un óptimo para la función del costo total en un espacio dado. Es claro que éste no es un método eficiente de solución, sin embargo, no es el principal objetivo del sistema y a pesar de ello éste permite dar solución (tan aproximada como se desee) a los modelos estocásticos que son muy difíciles de resolver analíticamente. Esta opción se debe ver como un recurso alternativo para encontrar el mínimo de la función de costo. Es decir si se cuenta con un buen método numérico, se debe utilizar éste y en todo caso, se puede utilizar SIGI a manera de comprobación o para obtener información adicional de los resultados.

Mantenimiento en la mente lo expresado en el párrafo anterior, se procedió a buscar la solución con el sistema SIBI. El primer paso que se dio fue correr una simulación con la solución óptima mostrada en la sección anterior, con la idea de comparar el costo, total del inventario. Los resultados de la simulación se presentan en el grupo de cuadros 5.1.

En el cuadro (a) se muestran los datos abastecidos al sistema y en los restantes se presentan resultados parciales de la simulación. (Los datos referidos a costos tienen como unidad miles de pesos). En el cuadro (e) se resumen los resultados de todo el año de simulación. En éste se puede observar que el costo total del inventario es de 248.8 millones de pesos (de diciembre de 1987), contra los 204 millones obtenidos con la solución obtenida con el programa que se cita de la referencia [4].

Cabe hacer mención aquí que como SIBI utiliza una semilla (número "aleatorio" inicial) y ésta es completamente arbitraria, dada por el usuario, el valor del costo total puede variar de simulación a simulación si la semilla cambia. Es decir, seguramente con cierta semilla se puede obtener un costo menor que el presentado en el cuadro (e), aunque con otras el costo, será mayor. Para que sea válida la comparación, se debe construir un intervalo de confianza al realizar un gran número de simulaciones, con diferente semilla, que permita ver si contiene al valor obtenido con el otro método numérico. Esto se hará con la solución óptima obtenida con SIBI.

Cuadro 5.1.- Simulación con los valores óptimos de un método numérico.

(a)

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :	
MODELO :	<Q,r>
CASO :	RETRASO DE VENTAS
CANTIDAD A ORDENAR :	11889.41
NIVEL DE REORDEN :	77.88
COSTO DE ORDENAR :	28.41
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO :	43.46
COSTO DE FALTANTES :	77.71
COSTO DE REVISION :	0.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS :	CONSTANTE (1.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO :	GAMMA (6.26 , 3.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA :	UNIFORME (135.39, 604.94)
DURACION DE LA SIMULACION :	360 DIAS
*** Oprima RETURN para continuar ***	

(b)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 120.00 (DIAS)		
CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	120
CANTIDAD DEMANDADA	44879.713	44879.713
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	73	73
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	3093.840	3093.840
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	27181.222	27181.222
CANTIDAD ALMACENADA	1545.135	1545.135
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	120
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	2112334.32	2112334.32
PROMEDIO DE FALTANTES	240431.60	240431.60
DE ALMACENAMIENTO	67156.21	67156.21
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	113.65	113.65
T O T A L	307701.46	307701.46

(c)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 240.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	240
CANTIDAD DEMANDADA	42862.644	87742.357
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	69	142
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1922.839	2508.339
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	23833.484	51014.706
CANTIDAD ALMACENADA	1359.360	1452.248
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	8
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	240
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	1852171.51	3964505.83
PROMEDIO DE FALTANTES	149429.56	194930.58
DE ALMACENAMIENTO	59081.88	63119.05
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	113.65	227.30
T O T A L	208625.09	258276.93

(d)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 360.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	360
CANTIDAD DEMANDADA	44646.755	132389.111
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	75	217
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	2400.131	2472.270
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	31650.890	79226.977
CANTIDAD ALMACENADA	984.147	1296.214
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	12
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	360
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	2459685.60	6079253.05
PROMEDIO DE FALTANTES	186521.40	192127.52
DE ALMACENAMIENTO	42773.96	56337.35
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	113.65	340.96
T O T A L	229409.01	248805.83

(e)

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	360
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	132389.111
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	217
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	2472.270
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	78226.977
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	1296.214
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	12
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	360

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	6079253.05
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	192127.52
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	56337.35
TOTAL DE REVISIONES	0.00
TOTAL DE ORDENAR	340.96
T O T A L	248805.83

Una vez aclarado lo anterior, se procedió a realizar 25 simulaciones, para diversos valores de Q y r , con la idea de buscar la combinación que arrojara el menor costo total del inventario, esta combinación fue dada por los valores siguientes, con el costo que se indica:

$$r^* = 82.0$$

$$Q^* = 11,910.0$$

$$CT(r^*, Q^*) = 206,469.14$$

Como se puede notar, los valores Q y de r ofrecidos por ambos métodos son muy aproximados. Si se está hablando de 120,000 toneladas esperadas para la molienda anual, una diferencia de 20.6 toneladas por orden es realmente despreciable si se considera que existen 10 ó 12 órdenes al año, (de acuerdo a la solución numérica de referencia o al sistema SIGI, respectivamente), lo cual haría una diferencia entre 120 y 144 toneladas al año. Esta diferencia representa aproximadamente el 0.1% de la demanda anual esperada.

Respecto al nivel de reorden, puede decirse que prácticamente es el mismo, ya que la diferencia es de apenas 4.12 toneladas. Si se tiene en mente que la demanda diaria que tiene el almacén fluctuaría entre 135 y 605 toneladas, se concluye que esa diferencia es despreciable.

Una vez obtenido el mínimo, se procedió a determinar un intervalo de confianza para éste. El sistema proporcionó el siguiente intervalo, al 95% de confianza.

$$163,380.69 \leq CT \leq 319,447.20$$

que nos hace concluir que el costo total promedio es de 241.4 millones de pesos y su desviación estándar de 39.8 millones, lo cual indica un coeficiente de variación del 16.5%.

Al realizar la simulación para la solución óptima obtenida con el sistema, se obtuvieron los resultados que se muestran en el conjunto de cuadros 5.2. Nuevamente, el cuadro (a) presenta los datos abastecidos al sistema y los restantes los resultados parciales. Analicemos un poco el cuadro (f), que resume los resultados finales.

En la empresa ICONSA esperaban moler 120,000 toneladas de semillas oleaginosas. De acuerdo a la distribución ajustada, en el renglón 2 se observa que la demanda total simulada sería de casi 133 mil toneladas, lo que hace que la demanda promedio diaria sea de 369 toneladas. Además, deben esperar que en 197 ocasiones se presenten faltantes a la bodega, para un total de 70,457 toneladas. Sin embargo, el cuarto renglón dice que deben esperar una cantidad promedio de faltantes al año, por 1784 toneladas, lo que representa el 1.3% de la demanda total. Respecto a los costos, el mayor corresponde a faltantes y después a almacenamiento. El costo total del inventario, en las condiciones indicadas sería de 206.5 millones de pesos.

Cuadro 5.2.- Simulación con los valores óptimos obtenidos con SISI.

(a)

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

MODELO : <Q,r>
CASO : RETRASO DE VENTAS
CANTIDAD A ORDENAR : 11890.00
NIVEL DE REORDEN : 82.00
COSTO DE ORDENAR : 28.41
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 43.46
COSTO DE FALTANTES : 77.71
COSTO DE REVISION : 0.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (1.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : GAMMA (6.26 , 3.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : UNIFORME (135.39 , 604.94)
DURACION DE LA SIMULACION : 360 DIAS
*** Oprima RETURN para continuar ***

(b)

Se Realizara Una Simulacion

*** Oprima RETURN para iniciar ***

(c)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 120.00 (DIAS)		
C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	120
CANTIDAD DEMANDADA	43450.493	43450.493
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	92	92
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	3068.634	3068.634
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	32824.435	32824.435
CANTIDAD ALMACENADA	549.541	549.541
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	120
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	2550885.35	2550885.35
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	238472.79	238472.79
DE REVISIONES	23884.70	23884.70
DE ORDENAR	0.00	0.00
TOTAL	113.65	113.65
TOTAL	262471.14	262471.14

(d)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 240.00 (DIAS)		
C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	240
CANTIDAD DEMANDADA	45227.124	88677.617
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	52	144
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1041.099	2054.867
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	26383.155	51509.097
CANTIDAD ALMACENADA	2119.930	1334.735
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	8
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	240
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	2050314.10	4002926.47
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	80906.93	159689.86
DE REVISIONES	92138.50	58011.60
DE ORDENAR	0.00	0.00
TOTAL	113.65	227.30
TOTAL	173159.08	217926.76

(e)

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 360.00 (DIAS)

C O N C E P T O	P O R P E R I O D O	A C U M U L A D O
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	120	360
CANTIDAD DEMANDADA	44280.228	132957.845
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	53	197
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1241.691	1783.808
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	24313.812	70457.292
CANTIDAD ALMACENADA	1989.879	1553.116
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	4	12
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	120	360
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	1889499.23	5475447.54
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	96495.54	138625.09
DE REVISIONES	86486.09	67503.10
DE ORDENAR	0.00	0.00
	113.65	340.96
T O T A L	183095.28	206469.14

(f)

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	360
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	132957.845
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	197
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	1783.808
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	70457.292
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	1553.116
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	12
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	360
C O S T O S	
TOTAL DE FALTANTES	5475447.54
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	138625.09
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	67503.10
TOTAL DE REVISIONES	0.00
TOTAL DE ORDENAR	340.96
T O T A L	206469.14

5.2 Aplicaciones Teóricas

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos con el sistema SISI a problemas resueltos en algunos textos o a problemas que se han buscado para que permitan comparar fácilmente la verdadera solución y la obtenida con el sistema SISI. De esta manera se presentan y comparan los resultados obtenidos y se muestran las ventajas y/o desventajas que ofrece la solución del sistema en relación a la solución dada en los libros a que se hace referencia. Por facilidad, se seguirá un mismo patrón en cada inciso, que consiste en mostrar primero la solución obtenida en las fuentes, y después los resultados que arroja SISI, con los grupos de cuadros que ofrece este sistema.

5.2.1 Modelo de Lote Económico

Tomado de la referencia: [20]

Datos:

Demanda anual esperada, (D) = 18,000
 Costo de ordenar, (Co) = 400
 Costo de almacenamiento, (Ca) = 1.2

Distribuciones :

De la demanda : Constante = 50
 tiempo entre demandas : Constante = 1
 tiempo de envío : Constante = 0 (instantánea)

Resultados mostrados en el libro:

Tiempo entre pedidos = 0.1925 de año

Cantidad a ordenar, Q = 3465

Costo total del inventario, CT = 4156

Resultados obtenidos con SIBI :

Tiempo entre pedidos : 0.19 año

Cantidad a ordenar, Q = 3464

Costo total del inventario, CT = 4156.92

Cuadro 5.3.- Simulación del Modelo de Lote Económico Determinístico.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA MINIMIZACION :

M O D E L O : LOTE ECONOMICO (DETERMINISTICO)

COSTO DE ORDENAR : 400.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 1.20

DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (1.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (0.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (50.00)

DURACION DE LA SIMULACION : 360 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

S e R e a l i z a r a U n a M i n i m i z a c i o n

Oprima RETURN para iniciar

Valores optimos para el Modelo de Lote Economico -
Punto de Reorden, Deterministico ;

Tamaño del lote economico, Q =	3464.10
Inventario de seguridad, s =	0.00
Tiempo entre pedidos, t =	69.28
Numero de demandas al año, N =	5.20
Inventario maximo, Im =	3464.10
Costo total del inventario, CT =	4156.92

5.2.2 Modelo de Producción-Inventario

Tomando de la referencia [20]

Datos:

Demanda anual: 18,000

Tasa de producción anual: 36,000

Costo de organizar una tanda de producción: 500

Costo de almacenamientos: 1.8

Distribuciones:

Demandas: Constante = 50

tiempo entre demandas: constante = 1

Resultados del libro:

Inventario máximo, $I_m = 2,235$

Cantidad a producir, $Q = 4,470$

tiempo de producción, $t = 0.1241$ años

Costo total = 40,026

Resultados con SISI: (se muestran en el cuadro 5.4 (c)

Figura 5.4.- Simulación del Modelo de Producción - Inventario.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA MINIMIZACION ;

M O D E L O : DE PRODUCCION - INVENTARIO

NIVEL DE PRODUCCION ANUAL : 36000.00
DEMANDA ANUAL ESPERADA : 18000.00
COSTO DE PRODUCCION : 500.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 1.80

DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (1.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO :
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA :

DURACION DE LA SIMULACION : 360 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

S e R e a l i z a r a U n a M i n i m i z a c i o n

Oprima RETURN para iniciar

Valores Optimos para el Modelo de Produccion - Inventario :

Tamaño del lote de produccion, Q =	4472.14
Inventario Maximo, Im =	2236.07
Inventario de Seguridad, s =	0.00
Numero de lotes al año, N =	4.02
Tiempo de produccion, t =	44.72
Costo total del inventario, CT =	4024.92

5.2.3 Modelo $\langle Q, r \rangle$

Antes de presentar algún ejemplo de un libro es conveniente presentar un ejemplo en el que fácilmente se pueden calcular a mano los resultados que son comparables a los que presenta el sistema BISI.

El siguiente ejemplo, al que llamaremos modelo $\langle Q, r \rangle 1$, utiliza los datos que a continuación se muestran y que se esquematizan en la figura 5.5.

Datos:

$Q = 10$	
$r = 5$	
Costo de Almacenamiento	: 1
Costo de Ordenar	: 1
Costo de Faltantes	: 1
Costo de Revisar el inventario	: 1

Distribuciones:

Demanda	: Constante = 1
Tiempo entre demandas	: constante = 1
Tiempo de envío	: constante = 4

Respecto a los resultados, se destacarán cinco, que están entre los principales, cuatro de ellos determinan el costo total y el otro es el costo mismo. Para ello obsérvese la figura 5.5.

5.2.3 Modelo $\langle Q, r \rangle$

Antes de presentar algún ejemplo de un libro es conveniente presentar un ejemplo en el que fácilmente se puedan calcular a mano los resultados que son comparables a los que presenta el sistema SISI.

El siguiente ejemplo, al que llamaremos modelo $\langle Q, r \rangle$, utiliza los datos que a continuación se muestran y que se esquematizan en la figura 5.5.

Datos:

$Q = 10$	
$r = 5$	
Costo de Almacenamiento	: 1
Costo de Ordenar	: 1
Costo de Faltantes	: 1
Costo de Revisar el inventario	: 1

Distribuciones:

Demanda	: Constante = 1
Tiempo entre demandas	: constante = 1
Tiempo de envío	: constante = 4

Respecto a los resultados, se destacarán cinco, que están entre los principales, cuatro de ellos determinan el costo total y el otro es el costo mismo. Para ello obsérvese la figura 5.5.

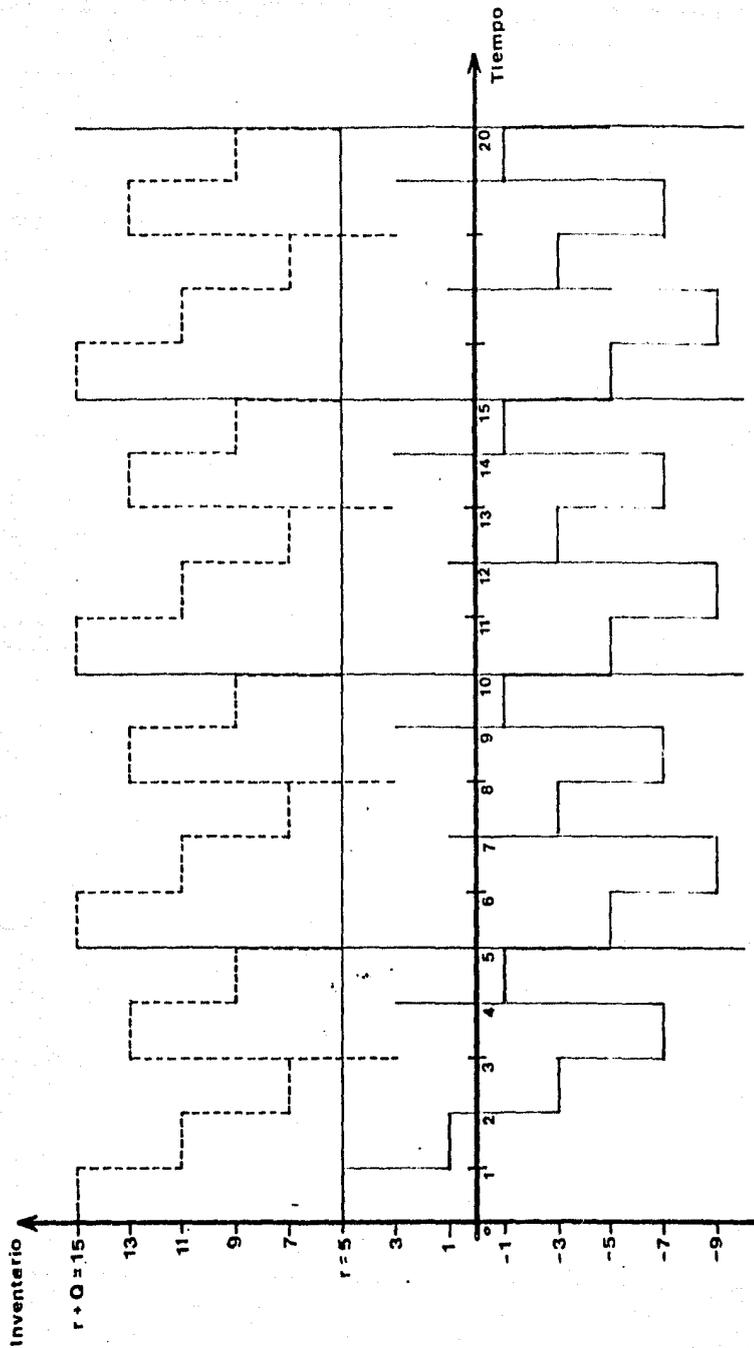


Figure 5.5 Simulación del Modelo $\langle Q, r \rangle$

Cantidad Almacenada Promedio

El área de los rectángulos que están arriba del eje de las abscisas determina la cantidad total almacenada. Para obtener la cantidad promedio por periodo, habrá que dividir esas cantidades entre el número de días que tiene éste y/o el número de días acumulados hasta cierto periodo. Por ejemplo, en SISI se pedirán resúmenes parciales cada 5 días, así que habrá que calcular el área por periodos de 5 días y acumulados. En la 5.5 se puede observar que en el primer periodo esa área es 6, y al dividirla entre los 5 días da como resultado una cantidad almacenada promedio de 1.2 unidades. Como durante el segundo periodo de 5 días no hay cantidad almacenada, el promedio de almacenamiento hasta el día 10 será de 0.6 (6 unidades en todo el periodo acumulado entre 10 días que tiene ese mismo periodo). Continuando sucesivamente, se obtiene 0.4 unidades almacenadas promedio hasta el día 15 y 0.3 hasta el día 20.

Cantidad de Faltantes Promedio

Algo similar ocurre con la cantidad promedio de faltantes. Esta vez se obtiene el área entre el eje de las abscisas y los rectángulos que está abajo de éste. Durante el primer periodo se tiene una área de 11, que al dividirla entre los 5 días da una promedio de 2.2 faltantes. Hasta el periodo 20., que abarca hasta el décimo día, se tiene una área de 35, (11 en el primer periodo y 25 en el segundo), que significa una cantidad promedio de faltantes (acumulado) de 3.6

unidades y de 5 en ese periodo, resultante del Área igual a 25 entre los 5 días . Continuando sucesivamente se obtiene que en el 3er. periodo se presentan también 5 unidades y 4:06 hasta ese periodo, en promedio. Los otros dos conceptos son más sencillos de explicar.

Número de Reabastecimientos (Órdenes)

Aquí, simplemente se debe observar el número de reabastecimientos que tiene que solicitar el sistema de inventario, es decir, el número de órdenes que se hacen a los proveedores. De acuerdo a la política $\langle Q,r \rangle$, dado que el modelo es de revisión continua, después de cada demanda se revisa el inventario y si la posición está por abajo del nivel de reorden se solicita un reabastecimiento. Para este ejemplo se solicitan reabastecimientos los días 0, 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18 y 20, nueve en total, de los cuales 3 corresponden al primer periodo, 2 al segundo, 2 al tercero y 2 al cuarto.

Número de Revisiones

Dado que este modelo es de revisión continua, se debe revisar el inventario cada vez que llega una demanda. Como la demanda, según los datos, es diaria, en cada periodo de 5 días se realizará 5 revisiones.

Costo total del Inventario

Se obtiene sumando los productos de los costos unitarios por los cuatro conceptos expresados en los párrafos anteriores. Este mismo procedimiento es aplicado a los ejemplos de los modelos restantes.

En el cuadro 5.5 se muestran los valores calculados manualmente para este modelo y en el grupo de cuadros 5.6 los resultados del sistema SISI. En ellos se pueden ver claramente que ambos resultados coinciden perfectamente.

CONCEPTO	PRIMER PERIODO	ULTIMO PERIODO
Cantidad almacenada promedio	1.2	0.3
Cantidad de faltantes promedio	2.2	4.3
Número de Ordenes	3	9
Número de Revisiones	5	20
Costo	11.4	33.60

Cuadro 5.5 Resultados del modelo $\langle Q, r \rangle$ obtenidos por observación

Cuadro 5.6.- Simulación del Modelo $\langle Q, r \rangle$ 1.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

MODELO : $\langle Q, r \rangle$
CASO : RETRASO DE VENTAS
CANTIDAD A ORDENAR : 10.00
NIVEL DE REORDEN : 5.00
COSTO DE ORDENAR : 1.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 1.00
COSTO DE FALTANTES : 1.00
COSTO DE REVISION : 1.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (1.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (4.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (4.00)
DURACION DE LA SIMULACION : 20 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

Se Realizara Una Simulacion

*** Oprima RETURN para iniciar ***

Día : 3.00

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 5.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	5
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	20.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	4	4
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	2.200	2.200
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	12.000	12.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.200	1.200
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	3	3
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	5
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	12.00	12.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	2.20	2.20
DE REVISIONES	1.20	1.20
DE ORDENAR	5.00	5.00
	3.00	3.00
T O T A L	11.40	11.40

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 10.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	10
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	40.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	5	9
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	5.000	3.600
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	21.000	28.000
CANTIDAD ALMACENADA	0.000	0.600
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	2	5
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	10
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	21.00	28.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	5.00	3.60
DE REVISIONES	0.00	0.60
DE ORDENAR	5.00	10.00
	2.00	5.00
T O T A L	12.00	19.20

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 15.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	15
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	60.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	5	14
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	5.000	4.067
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	21.000	44.000
CANTIDAD ALMACENADA	0.000	0.400
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	2	7
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	15
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	21.00	44.00
PROMEDIO DE FALTANTES	5.00	4.07
DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.40
DE REVISIONES	5.00	15.00
DE ORDENAR	2.00	7.00
T O T A L	12.00	26.47

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 20.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	20
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	80.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	5	19
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	5.000	4.300
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	21.000	60.000
CANTIDAD ALMACENADA	0.000	0.300
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	2	9
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	20
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	21.00	60.00
PROMEDIO DE FALTANTES	5.00	4.30
DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.30
DE REVISIONES	5.00	20.00
DE ORDENAR	2.00	9.00
T O T A L	12.00	33.60

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

CONCEPTO	VALOR
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	20
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	80.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	19
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	4.300
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	60.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	0.300
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	9
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	20

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	60.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	4.30
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	0.30
TOTAL DE REVISIONES	20.00
TOTAL DE ORDENAR	9.00
T O T A L	33.60

El siguiente ejemplo para el modelo $\langle Q,r \rangle$ fue tomado de un texto.

Referencias [1]

Datos

Cantidad a Ordenar, (Q) = 34
 Nivel de Reorden, (r) = 8
 Costo de Ordenar, (Co) = 100
 Costo de almacenar, (Ca) = 20
 Costo de Faltantes, (Cf) = 15
 Costo de Revisión, (Cr) = 0
 Duración de la Simulación = 1800 días (5 años)

Distribuciones:

Demanda : Constante = 1

Tiempo entre demandas : Exponencial (100)

Tiempo de envío: Constante = 29 (días)

los resultados presentados, en relación al costo total son los siguientes: costo total esperado, anual = 717.07 con una desviación estándar de 18.8, lo cual da el intervalo de confianza (al 95) que se muestra a continuación:

$$680.15 \leq CT \leq 753.99$$

Mientras que SISI da como resultados un costo total promedio de

571.195, con una desviación estándar de 75.22, lo cual nos determina el siguiente intervalo de confianza (al 95%).

$$423.76 \leq CT \leq 718.63$$

Cabe mencionar que el intervalo dado con los resultados de la referencia [21], se obtuvo con 5 observaciones (una para cada año), mientras que el intervalo segundo, se obtuvo con 30 simulaciones, cada una por 5 años. Nuevamente, la semilla inicial puede afectar un tanto los resultados.

Los resultados proporcionados por SISI, para este ejemplo, se presentan en el conjunto de cuadros 5.6.

Cuadro -5.7.- Simulación del Modelo <Q, r>.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

M O D E L O : <Q,r>
 CASO : RETRASO DE VENTAS
 CANTIDAD A ORDENAR : 34.00
 NIVEL DE REORDEN : 8.00
 COSTO DE ORDENAR : 100.00
 COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 20.00
 COSTO DE FALTANTES : 15.00
 COSTO DE REVISION : 0.00
 DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : EXPONENCIAL (0.01)
 DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (29.00)
 DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (1.00)
 DURACION DE LA SIMULACION : 1800 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 360.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	8	8
CANTIDAD DEMANDADA	8.000	8.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	30.601	30.601
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	8	8
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	612.03	612.03
DE ORDENAR	0.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00
	712.03	712.03

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 720.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	6	14
CANTIDAD DEMANDADA	6.000	14.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	22.668	26.635
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	0	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	6	14
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	453.37	532.70
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	0.00	100.00
T O T A L	453.37	632.70

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1080.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	18
CANTIDAD DEMANDADA	4.000	18.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	25.991	26.420
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	0	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	4	18
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	519.82	528.40
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	0.00	100.00
T O T A L	519.82	628.40

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1440.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	22
CANTIDAD DEMANDADA	4.000	22.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	19.570	24.708
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	0	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	4	22
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	391.40	494.15
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	0.00	100.00
T O T A L	391.40	594.15

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1800.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	7	29
CANTIDAD DEMANDADA	7.000	29.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	17.922	23.351
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	0	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	7	29
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	358.45	467.01
DE REVISIONES	0.00	0.00
DE ORDENAR	0.00	100.00
T O T A L	358.45	567.01

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	29
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	29.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	23.351
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	1
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	29

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	0.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.00
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	467.01
TOTAL DE REVISIONES	0.00
TOTAL DE ORDENAR	100.00
T O T A L	567.01

INTERVALO DE CONFIANZA OBTENIDO
(AL 95%)

423.76 < CT < 718.63

SIMULACION # 30 CT = 599.67

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	29
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	29.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	23.351
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	1
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	29

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	0.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.00
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	467.01
TOTAL DE REVISIONES	0.00
TOTAL DE ORDENAR	100.00
TOTAL	567.01

INTERVALO DE CONFIANZA OBTENIDO
(AL 95%)

423.76 < CT < 718.63

SIMULACION # 30 CT = 599.67

5.2.4 Modelo <R,T>

De la misma manera que en la sección anterior, el primer ejemplo numérico que se presenta aquí, es uno en el que es fácil verificar los resultados obtenidos con el Sistema Simulador de Inventarios. Los datos abastecidos fueron los siguientes:

Datos:	Ordenar hasta el nivel, (R)	: 17
	Tiempo entre revisiones, (r)	: 9
	Costo de Ordenar, (Co)	= 1
	Costo de Almacenamiento, (Ca)	= 1
	Costo de Faltantes, (Cf)	= 1
	Costo de Revisiones, (Cr)	= 1
	Duración de la simulación	: 36 días

Distribuciones:	Demandas	Constante = 4
	Tiempo entre demandas	Constante = 2
	Tiempo entre envíos	Constante = 5

La representación gráfica del inventario se muestra en la figura 5.6, los resultados obtenidos manualmente, siguiendo el mismo método del inciso anterior, en el cuadro 5.7 y los resultados obtenidos con SISI, en el cuadro 5.8.

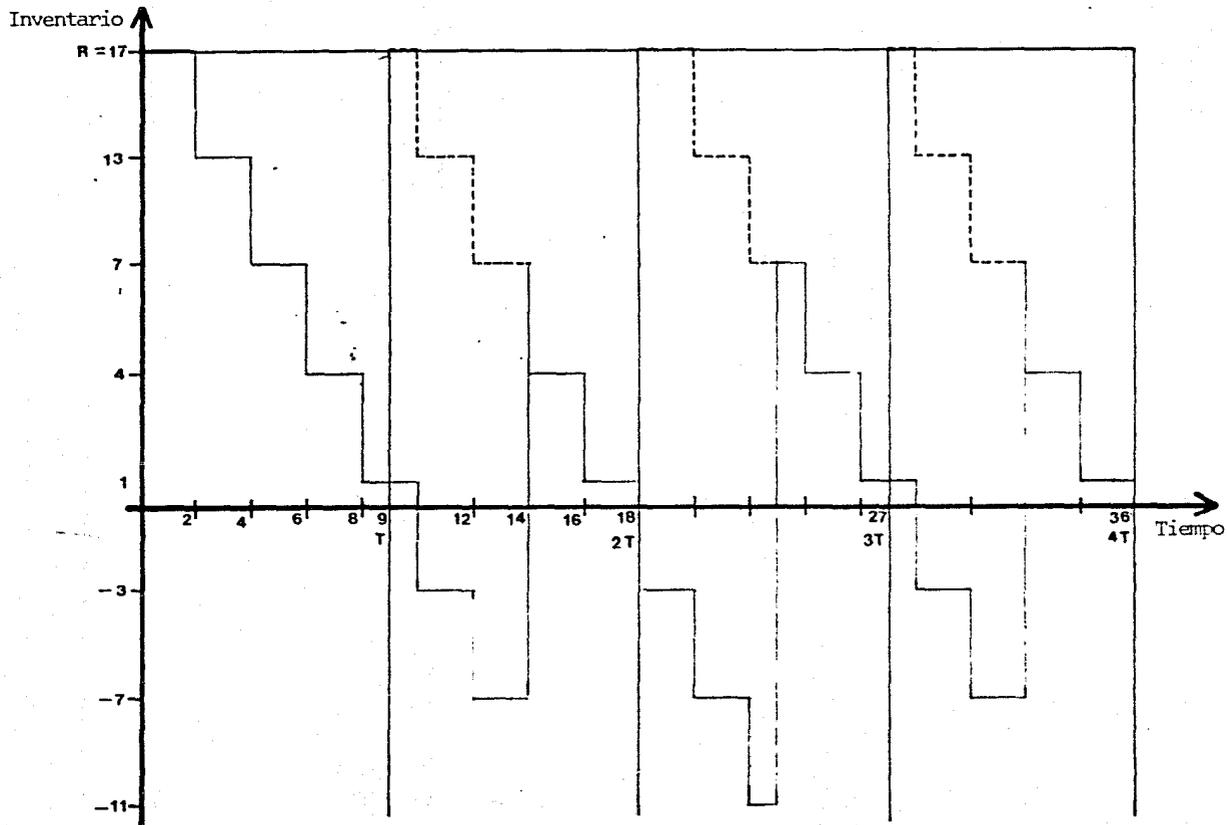


Figura 5.6.- Simulación del Modelo $\langle R, T \rangle$.

CONCEPTO	PRIMER PERIODO	ULTIMO PERIODO
Cantidad almacenada promedio	6.6	2.76
Cantidad de faltantes promedio	0	0.24
Número de Ordenes	1	5
Número de Revisiones	1	5
Costo	8.6	13.0

Cuadro 5.7 Resultados manuales del modelo < R, T >

Cuadro 5.8.- Simulación del Modelo <R, T>.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :			
M O D E L O : <R,T>			
CASO : RETRASO DE VENTAS			
ORDENAR HASTA :	9.00		
TIEMPO ENTRE REVISIONES :	5.00 DIAS		
COSTO DE ORDENAR :	1.00		
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO :	1.00		
COSTO DE FALTANTES :	1.00		
COSTO DE REVISION :	1.00		
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS :	CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO :	CONSTANTE (3.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA :	CONSTANTE (3.00)
DURACION DE LA SIMULACION :	25 DIAS		
*** Oprima RETURN para continuar ***			

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO :			5.00 (DIAS)
C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO	
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	2	2	
CANTIDAD DEMANDADA	6.000	6.000	
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0	
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000	
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000	
CANTIDAD ALMACENADA	6.600	6.600	
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	1	
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	1	
C O S T O S			
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00	
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00	
DE ALMACENAMIENTO	6.60	6.60	
DE REVISIONES	1.00	1.00	
DE ORDENAR	1.00	1.00	
T O T A L	8.60	8.60	

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 10.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	3	5
CANTIDAD DEMANDADA	9.000	15.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.800	4.200
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	2
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	2
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	1.80	4.20
DE REVISIONES	1.00	2.00
DE ORDENAR	1.00	2.00
T O T A L	3.80	8.20

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 15.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	2	7
CANTIDAD DEMANDADA	6.000	21.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	1
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.600	0.200
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	3.000	3.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.400	3.400
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	3
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	3
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	3.00	3.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.60	0.20
DE ALMACENAMIENTO	1.40	3.40
DE REVISIONES	1.00	3.00
DE ORDENAR	1.00	3.00
T O T A L	4.00	9.60

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 20.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	3	10
CANTIDAD DEMANDADA	9.000	30.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	1
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.150
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	3.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.800	3.000
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	4
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	3.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.15
DE ALMACENAMIENTO	1.80	3.00
DE REVISIONES	1.00	4.00
DE ORDENAR	1.00	4.00
T O T A L	3.80	11.15

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 25.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	2	12
CANTIDAD DEMANDADA	6.000	36.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	2
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.600	0.240
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	3.000	6.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.320	2.760
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	5
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	5
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	3.00	6.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.60	0.24
DE ALMACENAMIENTO	1.32	2.76
DE REVISIONES	1.00	5.00
DE ORDENAR	1.00	5.00
T O T A L	3.92	13.00

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

CONCEPTO	VALOR
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	12
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	36.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.240
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	6.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	2.760
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	5
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	6.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.24
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	2.76
TOTAL DE REVISIONES	5.00
TOTAL DE ORDENAR	5.00
T O T A L	13.00

El siguiente ejemplo fue tomado de la referencia [21]

Datos:

Ordenar hasta el nivel, (R): 42
 Tiempo entre revisiones, (T): 72
 Costo de Ordenar, (Ca): 200
 Costo de almacenamiento, (Ca) = 20
 Costo de Faltantes, (Cf) = 50
 Costo de Revisión, (Cr) = 60
 Duración de la simulación : 5 años

Distribuciones:

Demandas Constante = 1
 Tiempo entre demandas: Exponencial (100)
 Tiempo entre envíos: Constante = 0

Cabe hacer una aclaración en este punto. En la referencia [21] se presentan costos esperados por año, mientras que SISI proporciona el costo acumulado año tras año. Se tomará esto en cuenta al comparar los datos. Una vez hecha la aclaración, se comentarán los resultados. En la referencia [21] se muestran los siguientes costos promedios anuales: 1928.641 para el primer año, 2058.423 para el segundo, 2046.476 para el tercero, 2195.021 para el cuarto y 2264.548 para el quinto, mientras que en el grupo de cuadros 5.9 se observan los costos acumulados 2105.19 para el primer año, 3414.26 para el segundo,

4715.99 para el tercero; 6018.24 para el cuarto y 7320.28 para el quinto. Para hacer comparables estos resultados, es preciso homogenizar las unidades, por esto, se transformarán los resultados del SISI a costos promedios anuales. El único cambio a realizar viendo en los costos de revisiones y de ordenar. Dada la política de inventario a seguir, se debe ordenar cada vez que se revisa el inventario, es por esto que en los cuadros 5.9 se puede observar que estos términos siempre son iguales.

Como en cada periodo de 360 días (un año) se realizan 5 revisiones y reabastecimientos, el número promedio anual de estos dos conceptos será 5, de donde se concluye que para obtener el costo promedio de ordenar y de revisar, al segundo año se debe restar una vez 5×260 , donde 260 es la suma de los costos de ordenar (200) y de revisar (6); al tercer año se le deben restar dos veces 5×260 , al cuarto año tres veces esa cantidad y al quinto cuatro veces, con esto, los costos anuales promedio son 2105.19, 2115.99, 2118.24 y 2120.28, respectivamente para los años uno a cinco. Estos costos anuales son semejantes a los citados anteriormente.

Cuadro 5.9.- Simulación del Modelo <R, T>.

```
PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :  
      M O D E L O : <R,T>  
      CASO : PERDIDA DE VENTAS  
      ORDENAR HASTA : 42.00  
      TIEMPO ENTREREVISIONES : 72.00 DIAS  
      COSTO DE ORDENAR : 200.00  
      COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 20.00  
      COSTO DE FALTANTES : 30.00  
      COSTO DE REVISION : 60.00  
      DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : EXPONENCIAL ( 0.02 )  
      DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE ( 0.00 )  
      DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE ( 1.00 )  
      DURACION DE LA SIMULACION : 1800 DIAS  
      *** Oprima RETURN para continuar ***
```

```
      S e   R e a l i z a r a   U n a   S i m u l a c i o n  
  
      *** Oprima RETURN para iniciar ***
```

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 360.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	14	14
CANTIDAD DEMANDADA	14.000	14.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	40.259	40.259
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	5	5
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	5
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	805.19	805.19
DE ORDENAR	300.00	300.00
	1000.00	1000.00
T O T A L	2105.19	2105.19

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 720.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	8	22
CANTIDAD DEMANDADA	8.000	22.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	32.488	40.713
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	5	10
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	10
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	649.76	814.26
DE ORDENAR	300.00	600.00
	1000.00	2000.00
T O T A L	1949.76	3414.26

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1080.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	10	32
CANTIDAD DEMANDADA	10.000	32.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	29.795	40.799
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	5	15
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	15
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	595.91	815.99
DE ORDENAR	300.00	900.00
	1000.00	3000.00
T O T A L	1895.91	4715.99

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1440.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	8	40
CANTIDAD DEMANDADA	8.000	40.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	23.305	40.912
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	5	20
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	20
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	466.09	818.24
DE ORDENAR	300.00	1200.00
	1000.00	4000.00
T O T A L	1766.09	6018.24

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 1800.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	45
CANTIDAD DEMANDADA	5.000	45.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	22.294	41.014
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	5	25
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5	25
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES DE ALMACENAMIENTO	0.00	0.00
DE REVISIONES	445.87	820.28
DE ORDENAR	300.00	1500.00
	1000.00	5000.00
T O T A L	1745.87	7320.28

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	45
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	45.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	41.014
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	25
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	25
C O S T O S	
TOTAL DE FALTANTES	0.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.00
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	820.28
TOTAL DE REVISIONES	1500.00
TOTAL DE ORDENAR	5000.00
T O T A L	7320.28

5.2.5 Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$

Después de una búsqueda exhaustiva en diversos libros, no se encontraron ejemplos comparables con los modelos $\langle nQ, r, T \rangle$ y $\langle R, r, T \rangle$. Los ejemplos resueltos en algunos textos como el Hodley y Within [1] u otros, no son completamente comparables, ya sea por la forma de definir los costos o porque falta algún dato, como es el caso de la distribución entre demandas. La decisión tomada fue desarrollar ejemplo, que, como se mencionó en la sección 5.2.3, sean fáciles de simular en papel y tan fácil sea la forma de determinar los conceptos como cantidades promedios de almacenamiento, faltantes, coantdad total de faltantes en el inventario, nuevo de revisiones del inventario y número de solicitudes de reabastecimiento realizados, así como cada uno de los costos que determinan el costo total de inventario. Para el modelo $\langle nQ, r, T \rangle$ se desarrolló el ejemplo que considera los datos siguientes:

Datos:

Cantidad a ordenar multiplicada por n	$\langle Q \rangle$: 5
Nivel de reorden	$\langle r \rangle$: 14
Tiempo entre revisiones	$\langle T \rangle$: 8
Costo de Ordenar	$\langle Co \rangle = 1$
Costo de Almacenamiento	$\langle Ca \rangle = 1$
Costo de Faltantes	$\langle Cf \rangle = 1$
Costo de Revisiones	$\langle Cr \rangle = 1$
Duración de la simulación:	40 días

Distribuciones:

Demanda:	Constante = 3
Tiempo entre demandas:	Constante = 2
Tiempo de envío:	Constante = 7

La figura 5.7 muestra la evolución del inventario para estos datos. De ella se pueden obtener los resultados que se muestran en el cuadro 5.10 y los resultados de la simulación con SISI se presentan el grupo de cuadros 5.11.

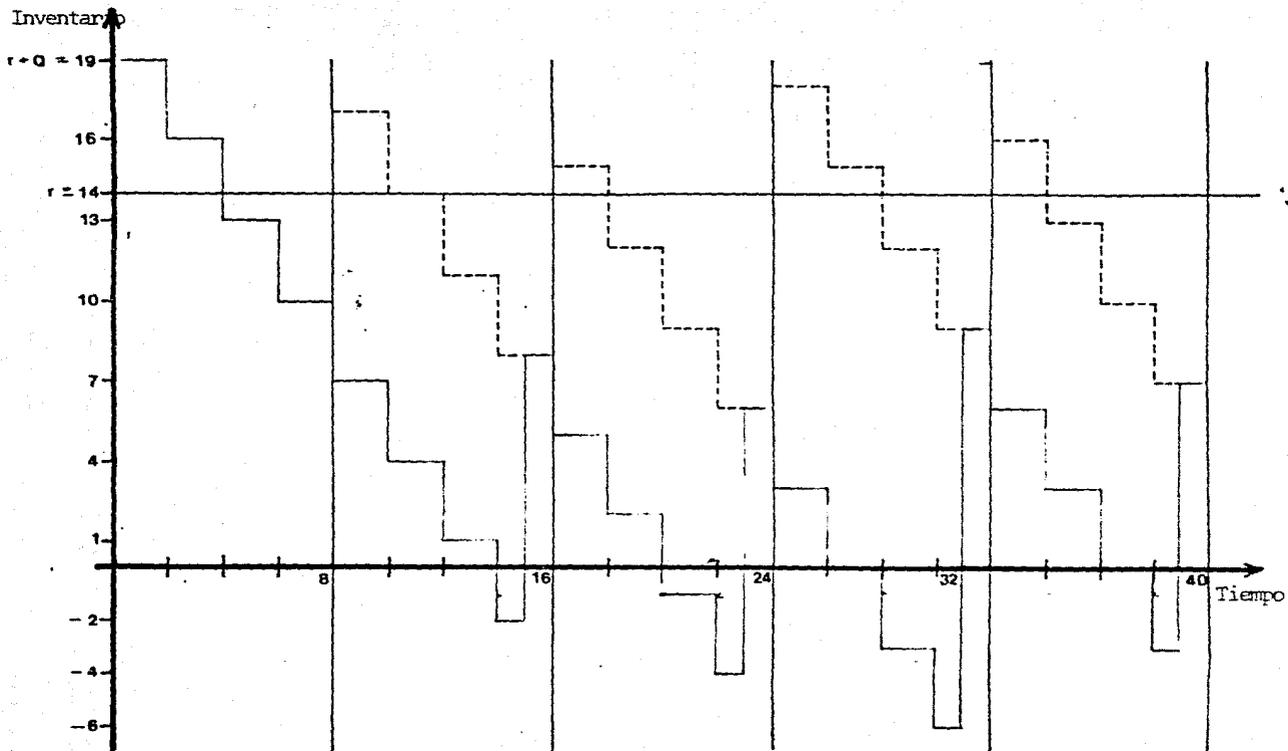


Figura 5.7.- Simulación del Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$.

CONCEPTO	Período No. 1		Período No. 2		Período No. 3		Período No. 4		Período No. 5	
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
Cantidad acumulada promedio	14.5	14.5	4	9.25	2.5	7	1.875	5.72	3.125	5.2
Cantidad faltantes promedio	0	0	0.25	0.125	0.75	0.33	1.5	0.622	0.375	0.573
Cantidad total de faltantes	0	0	2	2	4	6	6	12	3	15
Número de veces que hubo fal	0	0	1	1	2	3	2	5	1	6
Número de revisiones del inv	1	1	1	2	1	3	1	4	1	5
Número de órdenes	1	1	1	2	1	3	1	4	1	5
Costo Total	16.5	16.5	6.25	13.375	5.25	13.33	5.38	14.34	5.5	15.77

Notas: P significa "por periodo" y A significa "acumulado"

Cuadro 5.10 Resultados parciales y acumulados para el modelo $\langle nQ, r, T \rangle$

Cuadro 5.12.- Simulación del Modelo $\langle nQ, r, T \rangle$.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

M O D E L O : $\langle nQ, r, T \rangle$
CASO : RETRASO DE VENTAS
ORDENAR n VECES : 5.00
NIVEL DE REORDEN : 14.00
TIEMPO ENTRE REVISIONES : 8.00
COSTO DE ORDENAR : 1.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 1.00
COSTO DE FALTANTES : 1.00
COSTO DE REVISION : 1.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (7.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (3.00)
DURACION DE LA SIMULACION : 40 DIAS
*** Oprima RETURN para continuar ***

S e R e a l i z a r a U n a S i m u l a c i o n

*** Oprima RETURN para iniciar ***

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 8.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	4
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	12.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	14.500	14.500
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	1
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	14.50	14.50
DE REVISIONES	1.00	1.00
DE ORDENAR	1.00	1.00
T O T A L	16.50	16.50

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 16.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	8
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	24.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	1
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.250	0.125
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	2.000	2.000
CANTIDAD ALMACENADA	4.000	9.250
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	2
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	2
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	2.00	2.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.25	0.13
DE ALMACENAMIENTO	4.00	9.25
DE REVISIONES	1.00	2.00
DE ORDENAR	1.00	2.00
T O T A L	6.25	13.37

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 24.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	12
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	36.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	3
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.750	0.333
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	4.000	6.000
CANTIDAD ALMACENADA	2.500	7.000
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	3
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	3
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	4.00	6.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.75	0.33
DE ALMACENAMIENTO	2.50	7.00
DE REVISIONES	1.00	3.00
DE ORDENAR	1.00	3.00
T O T A L	5.25	13.33

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 32.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	16
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	48.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	5
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1.500	0.625
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	6.000	12.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.875	5.719
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	4
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	6.00	12.00
PROMEDIO DE FALTANTES	1.50	0.62
DE ALMACENAMIENTO	1.88	5.72
DE REVISIONES	1.00	4.00
DE ORDENAR	1.00	4.00
T O T A L	5.38	14.34

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 40.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	20
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	60.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	6
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.375	0.575
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	3.000	15.000
CANTIDAD ALMACENADA	3.125	5.200
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	5
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	5
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	3.00	15.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.38	0.57
DE ALMACENAMIENTO	3.13	5.20
DE REVISIONES	1.00	5.00
DE ORDENAR	1.00	5.00
T O T A L	5.50	15.77

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	20
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	60.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	6
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.575
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	15.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	5.200
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	5
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5
C O S T O S	
TOTAL DE FALTANTES	15.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.57
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	5.20
TOTAL DE REVISIONES	5.00
TOTAL DE ORDENAR	5.00
T O T A L	15.77

5.2.6 Modelo $\langle R, r, T \rangle$

Este es el último ejemplo que se presenta. Como se mencionó en la sección anterior, se desarrolló un ejercicio en el que se puede obtener fácilmente los resultados escritos en el cuadro 5.12; éstos se obtienen a partir de la figura 5.8. Los resultados obtenidos con el sistema SISI se presentan en el conjunto de cuadros 5.13.

Datos:	Ordenar hasta el nivel	$\langle R \rangle$: 15
	Nivel de reorden	$\langle r \rangle$: 8
	Tiempo de revisiones	$\langle T \rangle$: 11
	Costo de Ordenar	$\langle Co \rangle = 1$
	Costo de Almacenamiento	$\langle Ca \rangle = 1$
	Costo de Faltantes	$\langle Cf \rangle = 1$
	Costo de Revisiones	$\langle Cr \rangle = 1$
	Duración de la simulación:	44 días

Distribuciones:	Demandas:	Constante = 4
	Tiempo entre demandas:	Constante = 2
	Tiempo entre envíos:	Constante = 2

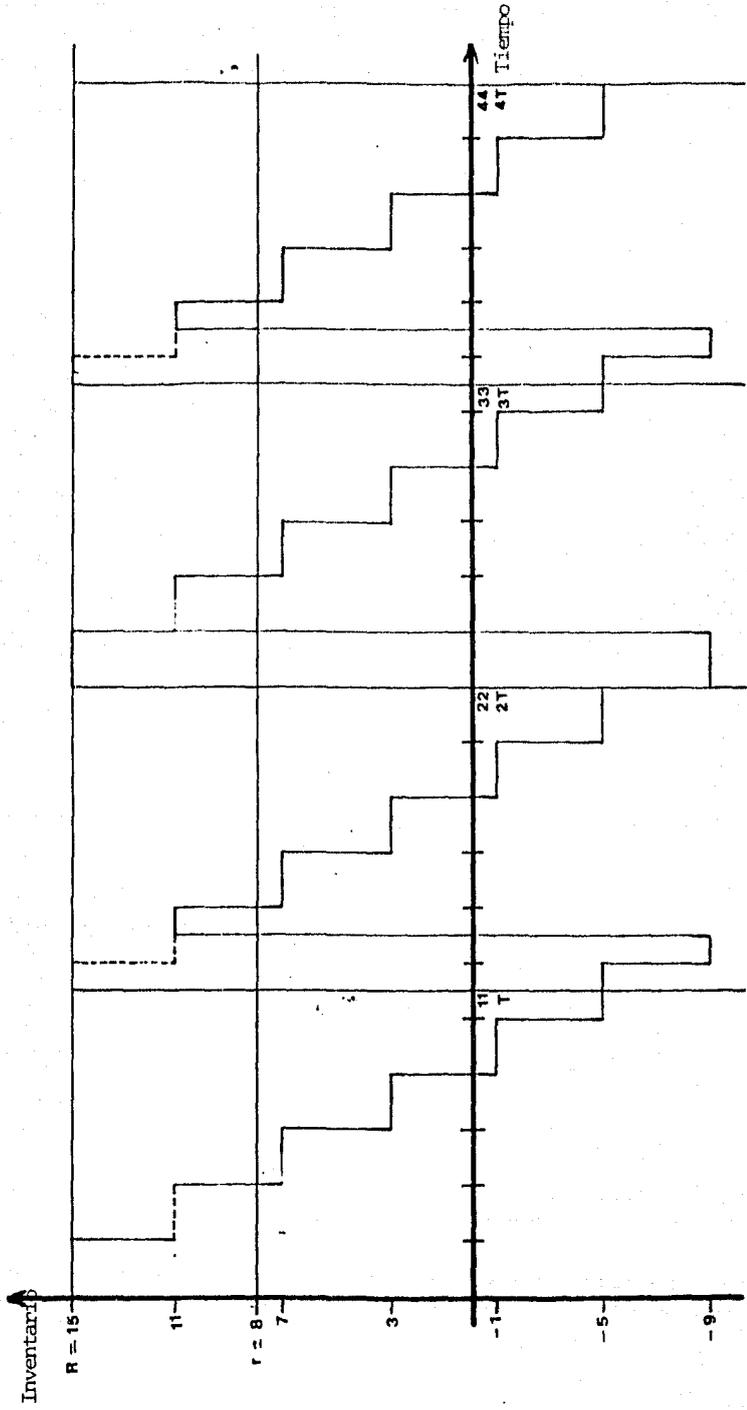


Figura 5.8.- Simulación del Modelo $\langle R, r, I \rangle$.

CONCEPTO	Periodo No. 1		Periodo No. 2		Periodo No. 3		Periodo No. 4	
	P	A	P	A	P	A	P	A
Cantidad acumulada promedio	6.54	6.54	2.81	4.68	3.81	4.39	2.81	4
Cantidad faltantes promedio	0.63	0.63	2.36	1.5	2.27	1.75	2.36	1.90
Cantidad total de faltantes	5	5	18	18	5	23	14	32
Número de veces que hubo fal	2	2	4	6	0	8	3	11
Número de revisiones del inv.	1	1	1	2	1	3	1	4
Número de órdenes	1	1	1	2	1	3	1	4
Costo Total	9.18	9.18	7.18	10.18	8.09	12.14	7.18	13.94

Notas: P significa "por periodo" y A significa "acumulado"

Cuadro 5.12 Resultados parciales y acumulados para el modelo <R,r,T>

Cuadro 5.13.- Simulación del Modelo <R, r, T>.

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

MODELO : <R,r,T>
CASO : RETRASO DE VENTAS
ORDENAR HASTA : 15.00
NIVEL DE REORDEN : 8.00
TIEMPO ENTRE REVISIONES : 11.00
COSTO DE ORDENAR : 1.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 1.00
COSTO DE FALTANTES : 1.00
COSTO DE REVISION : 1.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (4.00)
DURACION DE LA SIMULACION : 44 DIAS
*** Oprima RETURN para continuar ***

Se Realizara Una Simulacion

*** Oprima RETURN para iniciar ***

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 11.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	5
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	20.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	2
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.636	0.636
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	5.000	5.000
CANTIDAD ALMACENADA	6.545	6.545
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	1
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	5.00	5.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.64	0.64
DE ALMACENAMIENTO	6.55	6.55
DE REVISIONES	1.00	1.00
DE ORDENAR	1.00	1.00
T O T A L	9.18	9.18

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 22.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	6	11
CANTIDAD DEMANDADA	24.000	44.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	4	6
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	2.364	1.500
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	18.000	18.000
CANTIDAD ALMACENADA	2.818	4.682
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	2
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	2
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	18.00	18.00
PROMEDIO DE FALTANTES	2.36	1.50
DE ALMACENAMIENTO	2.82	4.68
DE REVISIONES	1.00	2.00
DE ORDENAR	1.00	2.00
T O T A L	7.18	10.18

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 33.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	5	16
CANTIDAD DEMANDADA	20.000	64.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	8
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1.970	1.758
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	14.000	23.000
CANTIDAD ALMACENADA	3.818	4.394
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	3
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	3
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	14.00	23.00
PROMEDIO DE FALTANTES	1.97	1.76
DE ALMACENAMIENTO	3.82	4.39
DE REVISIONES	1.00	3.00
DE ORDENAR	1.00	3.00
T O T A L	7.79	12.15

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 44.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	6	22
CANTIDAD DEMANDADA	24.000	88.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	4	12
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	2.364	1.909
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	18.000	36.000
CANTIDAD ALMACENADA	2.818	4.000
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	4
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	18.00	36.00
PROMEDIO DE FALTANTES	2.36	1.91
DE ALMACENAMIENTO	2.82	4.00
DE REVISIONES	1.00	4.00
DE ORDENAR	1.00	4.00
T O T A L	7.18	13.91

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	22
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	88.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	12
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	1.909
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	36.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	4.000
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	4
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	4
C O S T O S	
TOTAL DE FALTANTES	36.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	1.91
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	4.00
TOTAL DE REVISIONES	4.00
TOTAL DE ORDENAR	4.00
T O T A L	13.91

CONCLUSIONES

Cuando empecé a realizar este trabajo, tenía el firme objetivo de desarrollar un sistema que permitiera simular el comportamiento de un inventario, con la finalidad de obtener información relevante que permitiera conocer su posible estado en un momento dado. Esto es interesante para cualquier industria o empresa que almacene materia prima, productos intermedios, subproductos o productos terminados, ya que de ello puede depender su adecuado funcionamiento y los resultados, que a final de cuentas se pueden traducir a cuestiones económicas, tanto a nivel micro como a nivel macro.

A medida que avanzaba, fui visualizando otros objetivos. Resulta que al describir el sistema en cuestión, noté que con algunos cambios y adiciones se podía simular cualquier sistema de inventarios que obedeciera a cualquiera de los modelos estocásticos que se tratan en la referencia [1].

Más adn, me percaté que esos modelos se podían simular con más veracidad, ya que el planteamiento teórico exige algunos supuestos que pueden ser muy restrictivos en la realidad. Además de ésto, observé que dar solución analítica a cada modelo es imposible y que un método que proporcionara una solución numérica no era tan fácil de desarrollar, en especial para los modelos $\langle nQ, r, T \rangle$ y $\langle R, r, T \rangle$. En ese momento, se incorporó otro objetivo a este trabajos: permitir buscar y encontrar una solución óptima a cada modelo.

Estos fueron los objetivos que perseguí a lo largo del desarrollo del sistema SISI, y siento que han sido alcanzados. El sistema logrado permite conocer la situación de un sistema de inventario en el momento que se le indique. Si así se desea, se puede ver todo el proceso, día a día o bién obtener sólo un resúmen final de resultados.

Se consideraron los modelos estocáticos a que se hace mención en párrafos anteriores y dos modelos determinísticos. Se relajaron algunas condiciones que se requieren en el planteamiento de los modelos, de tal manera que se pueden simular con mayor realidad. Finalmente, se presenta la opción para buscar el mínimo de la función de costo del inventario y para realizar cierto tipo de análisis de sensibilidad al cambiar los valores de los parámetros en el modelo. si bién el método para lograr la solución puede no ser el más adecuado, al menos permite obtener esa solución, que se puede aproximar con la presición que el usuario jusgue conveniente.

Fueron varias las experiencias adquiridas durante el tiempo de desarrollo de este trabajo. Es importante tener cuidado al seleccionar los métodos de generación de valores de variables aleatorias, ya que algunas no cumplen con los requisitos que marca la Estadística. Si se quiere garantizar tranquilidad de que los generadores sean aceptables, es preciso realizarles las pruebas estadísticas correspondientes. Existen generadores de varios tipos, algunos más eficientes que otros.

En el momento que se desee comparar resultados con otros, obtenidos con métodos diferentes, se debe asegurar que las unidades correspondan, ya que diferentes autores pueden definir de diversas formas tanto los parámetros de un modelo, como algunas distribuciones de probabilidad involucradas en el mismo.

Algo importante es el hecho de que en una simulación se requiere conocer la distribución de probabilidad de tres elementos, éstos son:

- la demanda
- el tiempo de envío
- el tiempo entre demandas

mientras que el planteamiento, y como consecuencia alguna solución que se derive de éste, requiere sólo del conocimiento de las distribuciones de los dos primeros elementos, es decir, en el planteamiento matemático no consideran la distribución del tiempo entre demandas. Esto hace que la comparación de resultados no sea del todo confiable y obliga a realizarla con mucha reserva.

Seguramente que al sistema se le pueden incorporar algunas cosas, por ejemplo un módulo de graficación, o alguna idea que se ocurra más adelante. Queda entonces este sistema, que no persigue otra finalidad que no sea facilitar la búsqueda o dar conocimiento relacionado con el desarrollo de algún sistema de inventarios. Para mí, el esfuerzo ha valido la pena.

ANEXO 1

PRUEBAS ESTADISTICAS

A1.1. Esquema de Muestreo Estadístico Realizado

El esquema de muestreo estadístico utilizado para determinar la función $h(t)$ (distribución del tiempo de envío) fue el muestreo sistemático, debido a la facilidad de su realización y a la conveniencia que presenta con respecto a otros esquemas, ya que basta elegir el primer elemento de la muestra para que ésta quede automáticamente determinada.

Según lo observado en las formas de control de entrada de semilla a la planta, se puede inferir que el orden de los tiempos de envío es aleatorio. Esto quiere decir que el tiempo de envío de una orden dada puede ser menor, igual ó mayor que el tiempo de envío de la orden anterior (o de la siguiente), sin seguir necesariamente un orden creciente, decreciente o cíclico, en cuanto a dicho tiempo. En este caso el muestreo sistemático es equivalente con el muestreo aleatorio irrestricto (m.a.i.) sin reemplazo y, por lo tanto, se puede hacer uso de las expresiones de este esquema para los estimadores de los parámetros de interés.

De acuerdo con lo expresado en la sección 9 de [10], si se ordena la muestra de acuerdo a los valores de los tiempos de envío, t_i , de tal manera que cambien paulatinamente, en orden creciente

o decreciente, el muestreo sistemático produce varianzas menores de los estimadores que con el esquema del m.a.i., debiéndose esto a que la muestra queda más dispersa en la población. En esta situación, por simplicidad, se pueden usar las expresiones indicadas en el m.a.i. como una aproximación, tomando en cuenta que las varianzas serán menores.

En nuestro caso acomodamos la población en orden no decreciente con respecto a los valores de t_i y utilizamos las expresiones del m.a.i., que a continuación se indican:

T_i : Variable aleatoria que mide el tiempo de envío de la i -ésima orden, es decir, mide el tiempo obtenido con la expresión (5.4).

t_i : Tiempo de envío observado (en la muestra) de la i -ésima orden recibida.

T : Suma de los tiempos de envío de todas las órdenes recibidas.

N : Número de órdenes recibidas.

\bar{T} : Tiempo de envío promedio.

$$S^2_{\bullet} = \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2 / (N-1) \quad ; \quad \text{Varianza poblacional}$$

Es de interés estimar el tiempo de envío promedio

$$\bar{T} = \left(\sum_{i=1}^N T_i \right) / N$$

que se estima como

$$\hat{\bar{T}} = \bar{t} = \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) / n \quad (A1.1)$$

donde n es el tamaño de la muestra utilizada. Este es un estimador insesgado de T y su varianza es

$$V(\bar{t}) = (1 - n/N) S^2_t / n \quad (A1.2)$$

con

$$S^2_t = \left[\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 \right] / (N-1) \quad (A1.3)$$

y S^2_t se estima como

$$\hat{S}^2_t = s^2_t = \left(\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right) / (n-1) \quad (A1.4)$$

entonces, un estimador de la varianza de \bar{t} es

$$V(\bar{t}) = (1 - n/N) s^2_t / n \quad (A1.5)$$

Haciendo uso del teorema del límite central (ver capítulo 7 de [3]) se obtiene

$$\bar{t} \sim N (T , V(\bar{t})) \quad (A1.6)$$

Y estimando $\bar{V}(t)$ con 5.9 se obtiene el siguiente intervalo de confianza aproximado para el tiempo de envío promedio, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$:

$$P [\hat{T} - 1.96 \sqrt{\hat{V}(\hat{T})} < T < \hat{T} + 1.96 \sqrt{\hat{V}(\hat{T})}] = 0.95 \quad (A1.7)$$

Para determinar el tamaño de la muestra se hace uso de (A1.6) y se fija el error de estimación del tiempo de envío promedio en d días con una cierta probabilidad, es decir, se pide que

$$P [|\bar{t} - \bar{T}| \leq d] = 1 - \alpha \quad (A1.8)$$

entonces, existe un valor $Z_{\alpha/2}$ tal que

$$P [|Z| \leq Z_{\alpha/2}] = 1 - \alpha$$

donde

$$|Z| = (\bar{t} - \bar{T}) / [V(\bar{t})]^{1/2} \sim N(0,1) \quad y$$

$$Z_{\alpha/2} = d / [V(\bar{t})]^{1/2} \quad (A1.9)$$

De acuerdo con la expresión (A1.2) y la última igualdad, se obtiene un valor para n dado por

$$n = 1 / [(d^2 / Z^2 \alpha / 2 S^2_0) + (1/N)] \quad (A1.10)$$

Mediante una muestra piloto se estimó S^2_0 con (A1.4) y después se calculó el tamaño de muestra necesario para obtener la máxima desviación fijada con una probabilidad de ocurrencia $1 - \alpha$, usando la expresión (A.1.10).

El total de órdenes recibidas durante el tiempo considerado fue 1029 y el tamaño elegido para la muestra piloto fue 10 (aproximadamente el 1% de la población total).

Se ordenó la población de menor a mayor, en cuanto al tiempo de envío y se obtuvieron 10 grupos de 103 elementos cada uno (excepto el último, que tuvo 102). Se escogió un número aleatorio mediante el siguiente procedimiento: De una tabla de números aleatorios se escogió un elemento, fijando de antemano el criterio de considerar sólo los dos últimos caracteres (tomando en cuenta que si alguno de los dígitos era cero, se descartaba y se tomaba otro elemento), de los cuales el de la izquierda indicaría el número del renglón y el de la derecha el número de la columna de otro elemento de la tabla de números aleatorios. Este segundo número se consideró elemento de intervalo $[0,1]$ y se multiplicó por 103 para hacer equiprobables los elementos de cada grupo creado. Así, la muestra obtenida dio los siguientes resultados:

$$\bar{t} = 17.9$$

$$s^2_0 = 47.21$$

de donde

$$V(\bar{t}) = 4.675$$

Si en (A1.8) se elige $\delta = 2$ y $\alpha = 0.05$ entonces $Z_{\alpha/2} = 1.96$ y el tamaño de la muestra resulta ser 44. Se formaron 44 grupos de 23 elementos y uno de 17. Se siguió el proceso descrito en el párrafo anterior y la muestra obtenida dio los siguientes resultados:

$$t = 18.84$$

$$s^2_e = 56.68$$

con

$$V(\bar{t}) = 1.23$$

A1.2 Descripción de las Pruebas Estadísticas Utilizadas

a) La Prueba Ji - Cuadrada

Con el siguiente procedimiento se describe la prueba estadística Ji-Cuadrada [15]:

- 1.- Planteamiento de la hipótesis nula.
- 2.- Dividir el intervalo muestral en k subintervalos I_1, I_2, \dots, I_k de tal manera que cada uno contenga al menos 5 valores de la muestra dada x_1, x_2, \dots, x_n . Determinar

el número b_j de los valores de la muestra que caen en el subintervalo I_j , $j = 1, \dots, k$.

Si un valor de la muestra cae en un punto frontera común a dos intervalos, sumar 0.5 a cada uno de los b_j correspondientes.

3.- Usando la función hipotética, calcular la probabilidad p_j de que la variable aleatoria x considerada tome cualquier valor en el intervalo I_j , $j = 1, \dots, k$. Calcular

$$e_j = np_j, \quad j = 1, \dots, k$$

que representa el número de valores de la muestra teóricamente esperados en I_j , si la hipótesis nula es cierta.

4.- Calcular la expresión

$$\chi^2_0 = \sum_{j=1}^k (b_j - e_j)^2 / e_j$$

5.- Determinar la solución C de la ecuación

$$P (\chi^2 \leq C) = 1 - \alpha$$

mediante los valores de la distribución Ji-cuadrada con $k - 1$ grados de libertad y un nivel de significación fijado de antemano. Si la distribución propuesta tiene r parámetros desconocidos, se usan los estimadores de máxima verosimilitud y la distribución Ji-cuadrada con $k-r-1$ grados de libertad en vez

de $k-1$.

6.- Si $X^2_0 \leq C$, no se rechaza la hipótesis nula.

Si $X^2_0 > C$, se rechaza la hipótesis nula.

b) La Prueba Kolmogorov - Smirnov

La prueba Kolmogorov-Smirnov se utiliza sólo para distribuciones continuas y la hipótesis que se plantea es que cierta función $F(x)$ es la función de distribución de una población a la cual pertenece cierta muestra x_1, x_2, \dots, x_n .

A continuación se describe la prueba [16]:

1.- Plantear la hipótesis nula, es decir, especificar la función acumulativa teórica.

2.- Obtener las frecuencias acumuladas observadas, $F_0(x)$, y teóricas $F_T(x)$.

3.- Calcular

$$D = \max_x |F_0 - F_T|$$

4.- Determinar la región de rechazo mediante tablas, donde la región la determina el valor C mediante la ecuación

$$p(A \leq C) = 1 - \alpha$$

- 5.- - Si $D \leq C$ no se rechaza la hipótesis nula
- Si $D > C$ se rechaza la hipótesis nula.

A1.3 Desarrollo de las Pruebas Estadísticas

Prueba Estadística para la Distribución del Tiempo de Envío

a.- Prueba Ji-Cuadrada

La hipótesis es la siguiente:

H_0 : La población de donde se extrajo la muestra tiene una distribución Gamma con parámetros

$$\alpha = 6.26 \quad \text{y} \quad \beta = 3.0$$

En la tabla A1.1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos con esta prueba

j	I_j	b_j	e_j	$(b_j - e_j)^2 / e_j$
1	[0.0 , 11.5]	6	6.80	0.040
2	[11.5 , 14.5]	8	6.67	0.265
3	[14.5 , 17.5]	9	7.40	0.346
4	[17.5 , 23.5]	10	12.31	0.433
5	[23.5 , 56.0]	11	10.81	0.003

Tabla A1.1 Algunos resultados básicos de la prueba Ji-Cuadrada para el tiempo de envío.

Como se puede observar, $X^2_{\alpha} = 1.141$. Si escogemos un nivel de significación $\alpha = 0.10$ y como $r = 2$, el valor de las tablas es 4.605, entonces

$$X^2_{\alpha} < C$$

y, por lo tanto, no se rechaza H_0 .

b) Prueba Kolmogorov - Smirnov

La hipótesis planteada es la misma que la del inciso a.

En la tabla A1.2 se presentan las diferencias entre los valores acumulados de la distribución teórica (FT) y la observada (FO) para diferentes valores de la variable aleatoria. En ella se puede observar que la máxima diferencia, en valor absoluto, entre las distribuciones es 0.076227 y el valor de las tablas para esta prueba y un nivel de significación del 10% es $C = 0.183921$, es decir, $D < C$. Por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula.

Dado que no se rechaza la hipótesis planteada en ninguna de las dos pruebas, se asume que el tiempo de envío sigue una distribución Gamma definida por (5.15) con parámetros $\alpha = 6.26$ y $\beta = 3.0$

Pruebas Estadísticas para la Distribución de la Demanda

a) Prueba Ji-Cuadrada

Ho: La población de donde se extrajo la muestra tiene una distribución uniforme continua, con parámetros

$$\theta_1 = 135.39 \quad \text{y} \quad \theta_2 = 604.94$$

j	I_j	h_j	e_j	$(h_j - e_j)^2 / e_j$
1	[135 , 230)	8	7.28	0.0712087
2	[230 , 325)	7	7.28	0.0107692
3	[325 , 425)	8	7.67	0.0141981
4	[425 , 500)	8	5.75	0.8804347
5	[500 , 610)	5	8.43	1.3955991

Tabla A1.3 Algunos resultados básicos de la prueba Ji-Cuadrada para la demanda.

Como $\chi^2_0 = \sum_{j=1}^k (b_j - e_j)^2 / e_j = 2.37221$,

el valor en tablas al 10% de significación es $\chi^2(.10, 2) = 4.605$,

al 5% es $\chi^2(.05, 2) = 5.99147$, y como en ambos casos $\chi^2_0 < \chi^2(\alpha, n - k + 1)$, entonces no rechazamos H_0 y por lo tanto, podemos pensar que existe evidencia de que la muestra proviene de una población con distribución uniforme entre 135.39 y 604.94, es decir, se puede decir que la demanda se distribuye uniformemente en el intervalo (135.29 , 604.94)

b) Prueba Kolmogorov - Smirnov

La hipótesis nula es la misma del inciso a.

En la tabla A1.4 se muestra el desarrollo de esta prueba. En ella puede observar que la máxima diferencia D , en valor absoluto, entre las frecuencias teóricas y observadas, es $D = .0846$ y el valor de tablas para esta prueba, a un nivel de significación del 10% es $C = 0.183921$ es decir, $D < C$. Por lo tanto, se concluye que no se rechaza la hipótesis nula.

Nuevamente, en ninguna de las dos pruebas estadísticas se rechaza la hipótesis nula, esto nos lleva a concluir que podemos asumir que la demanda tiene una distribución uniforme en el intervalo (135.39, 604.94).

j	I _j	F ₀	F _T	F ₀ - F _T
1	[135,230)	.2222	.2014907	.0207315
2	[230,325)	.41667	.4038121	.0128545
3	[325,425)	.63889	.616782	.0221079
4	[425,500)	.86111	.7763094	.0846016
5	[500,610)	1.0000	1.0000	0

Tabla A1.4 Algunos resultados de la prueba kolmogorov - Smirnov para la distribución de la demanda.

ANEXO 2

CODIGO DEL SISTEMA SISI

PROGRAMA SICI;

{(1)}

Const

Resp = 17;

Label

Valido ;

{ ----- }

{(1) Skeleton.Poc}

{(1) Tuoll.Poc }

{(1) SizaCurs.Poc }

Type

Ochenta = String(80);

{ ----- }

Var

HesPriComp, NusDemAn, Linct : Integer ;

FracPeriodo, TOpt, NOpt : Real ;

Dum: : Char ;

Truquito : Array[1..2] of Real ;

Resp : Char ;

{ ----- }

Function UpperC (Source : Ochenta) : Ochenta ;

Var

X : Integer ;

Begin

For X := 1 to Length (Source) do

Source[X] := UpCase(Source[X]);

UpperC := Source ;

End;

{ ----- }

PROCEDURE DETENER ;

BEGIN

CONT := CONT + 1 ;

IF CONT >= 20

THEN

BEGIN

WRITELN(' ');

WRITE(' *** OPPIHA RETURN PARA CONTINUAR *** ');

READLN(ALGO);

CLRSCL ;

CONT := 0 ;

END ;

END ; { DEL PROCEDURE DETENER }

{ ----- }

Procedura MuestraDistribuciones ;

```

Begin
s(1).c1:=42;s(1).r1:=2;s(1).l1:=
CONSTANTE ; ;
s(2).c1:=42;s(2).r1:=3;s(2).l1:=
UNIFORME ; ;
s(3).c1:=42;s(3).r1:=4;s(3).l1:=
EXPONENCIAL ; ;
s(4).c1:=42;s(4).r1:=5;s(4).l1:=
GAMMA ; ;
s(5).c1:=42;s(5).r1:=6;s(5).l1:=
NORMAL ; ;
s(6).c1:=42;s(6).r1:=7;s(6).l1:=
JI - CUADRADA ; ;
s(7).c1:=42;s(7).r1:=8;s(7).l1:=
T DE STUDENT ; ;
s(8).c1:=42;s(8).r1:=9;s(8).l1:=
F DE SNEDECOR ; ;
s(9).c1:=42;s(9).r1:=10;s(9).l1:=
BINOMIAL ; ;
s(10).c1:=42;s(10).r1:=11;s(10).l1:=
POISSON ; ;
s(11).c1:=42;s(11).r1:=12;s(11).l1:=
GEOMETRICA ; ;
s(12).c1:=42;s(12).r1:=13;s(12).l1:=
BINOMIAL NEGATIVA ; ;
s(13).c1:=42;s(13).r1:=14;s(13).l1:=
HIPERGEOMETRICA ; ;
s(14).c1:=42;s(14).r1:=15;s(14).l1:=
TABULAR ; ;

```

End;

{ ----- }

{
}

{ ----- }

{fi Inicio,pos }

{ ----- }

OVERLAY PROCEDURE LECTURA ;

REGIN

```

Locate (15,2,'SISTEMA SIMULADOR DE INVENTARIOS');
MARCO(1,79,1,3);
MARCO(1,4,4,22);
MARCO(6,73,4,22);
MARCO(75,79,6,22);
MARCO(1,79,23,25);
s(1).c1:=15; s(1).r1:=9; s(1).l1:='MODELO DE LOTE ECONOMICO'CON VARIANTES' ;
s(2).c1:=15; s(2).r1:=10; s(2).l1:='MODELO DE PRODUCCION' ;
s(3).c1:=15; s(3).r1:=12; s(3).l1:='MODELO <D,r>' ;
s(4).c1:=15; s(4).r1:=13; s(4).l1:='MODELO <R,T>' ;
s(5).c1:=15; s(5).r1:=14; s(5).l1:='MODELO <nD,r,T>' ;
s(6).c1:=15; s(6).r1:=15; s(6).l1:='MODELO <R,r,T>' ;

```

NumMod := Sel(5,6);

IF NUMMOD < 4

THEN

REVCOD := 1

ELSE

REVCOD := 0 ;

If (NumMod = 1)

Then

Begin

WriteLn ;

Write(' Se admiten faltantes en el modelo ? : ') ;

ReadLn(OpFalt) ;

If ((OpFalt = 'SI') or (OpFalt = 'si'))

Then

Backor := 1 ;

End ;

Repeat

```

MinHip := UpperC( MinHip );
Until ( (MinHip = 'SI') or (MinHip = 'NO') );
( Declara Ventana para borrado rapido, solamente se dejaron barras
de Mensajes y Titulos )
Window(1,4,80,22);
ClrScr;
Window(1,1,80,25);
Marco(1,10,1,20); { Cuadro Grandate izquierda (1) }
Marco(1,79,1,16); { Cuadro Derecha (2) }
Marco(1,79,17,20); { Cuadro Abajo (3) }
Locate ( 42,6,'Demanda Anual esperada ? : ' );
Read( D );
Locate (42,8,'Deme los sig. por metros: ' );
WaitReturn(6000.00);
IF ( ( MinHip = 'NO' ) Or ( MinHip = 'no' ) )
THEN
BEGIN
IF NumMod in [ 1, 2, 3, 5 ]
THEN
BEGIN
Locate ( 42,8,'Tasa Late Económico, Q = ' );
READ(Q);
END
ELSE
BEGIN
Locate(42,8,'Nivel Mx. de Inventario,R = ' );
READ( R );
END;
IF NUMMOD in [ 3, 5, 6 ]
THEN
BEGIN
Locate (42,9,'Nivel de Reorden, r = ' );
READ( REORDEN );
END;
If ( ( NumMod = 1 ) and ( ( OpFalt = 'SI' ) or ( OpFalt = 'si' ) ) )
Then
Begin
Locate (42,9,'Inventario de Seguridad, InvSeg = ');--
Read( InvSeg );
End;
IF NUMMOD = 2
THEN
BEGIN
Locate (42,10,'Tasa de Prod. (# Art.Anuales), P =');
READ( P );
If P < D
Then
Begin
Write(Beep);
Locate(42,18,' ** Error, la tasa de produccion anual ');
Locate(42,19,'es menor que la tasa de demanda anual **');
For Linet := 1 to 2 do
Locate(42,17+i,' ');
Locate(42,10,'Tasa correcta de produccion, P = ');
Read( P );
Locate(42,11,'Tasa correcta de demanda, D = ');
Read( D );
End;
END;
Writeln;
IF NUMMOD in [ 4 ..6 ]
THEN
BEGIN
Write(' Tiempo entre Revisiones, T = ');

```

```

MinHip := UpperC( MinHip );
Until ( (MinHip = 'SI') or (MinHip = 'NO') );
( Declaro Ventana para borrado rapido, solamente se dejaron barras
de Mensajes y Titulos )
Window(1,4,80,22);
ClrScr;
Window(1,1,80,25);
Marco(1,10,1,20); { Cuadro Grandote izquierda (1) }
Marco(1,79,1,16); { Cuadro Derecha (2) }
Marco(1,79,17,20); { Cuadro Abajo (3) }
Locate ( 12,6,'Demanda Anual esperada ? ');
Read( D );
Locate (2,8,'Deme los sig. par metros: ');
WaitReturn(6000.00);
IF ( ( MinHip = 'NO' ) Or ( MinHip = 'no' ) )
THEN
BEGIN
IF NumMod in [ 1, 2, 3, 5 ]
THEN
BEGIN
Locate ( 12,8,'Tamaño Late Económico ,D = ');
READ(Q);
END
ELSE
BEGIN
Locate(12,8,'Nivel M x. de Inventario,R = ');
READ( R );
END ;
IF NUMMOD in [ 3, 5, 6 ]
THEN
BEGIN
Locate ( 12,9,'Nivel de Reorden, r = ');
READ( REORDEN );
END ;
If ( ( NumMod = 1 ) and ( ( OpFalt = 'SI' ) or ( OpFalt = 'si' ) ) )
Then
Begin
Locate (12,9,'Inventario de Seguridad, InvSeg = ');
Read( InvSeg );
End ;
IF NUMMOD = 2
THEN
BEGIN
Locate (12,10,'Tasa de Prod. (# Art.Anuales), P =');
READ( P );
If P < D
Then
Begin
Write(Resp);
Locate(12,18,' ** Error, la tasa de producción anual ');
Locate(12,19,'es menor que la tasa de demanda anual **');
For Linet := 1 to 2 do
Locate(12,17+i,' ');
Locate(12,10,'Tasa correcta de producción, P = ');
Read( P );
Locate(12,11,'Tasa correcta de demanda, D = ');
Read( D );
End;
END ;
WriteLn ;
IF NUMMOD in [ 4 ..6 ]
THEN
BEGIN
Write(' Tiempo entre Revisiones, T = ');

```

```

END
ELSE
  BEGIN
    REVCON := 1 ;
    TRCV := MaxInt ;
    END ;

  END ;
Locate(42,10,'Costo de Ordenar, Co = ') ;
READ(CO) ;
Locate(42,11,'Costo de Almacena, Ca = ') ;
READ(CA) ;
Locate(42,12,'Costo de Faltantes, Cf = ') ;
READ(CF) ;
Locate(42,13,'Costo de Revisi'n, Cr = ') ;
READ(CR) ;
IF NumMod = 2
  Then
    Begin
      Locate(42,14,'Costo de Producci'n, Cp = ') ;
      Read( CP ) ;
    End ;
  IF NumMod in [ 3..6 ]
    Then
      Begin
        NormVideo;
        Locate(3,6,' Se consideran dos opciones en caso');
        Locate(3,7,'de faltantes :') ;
        NormVideo;
        S(1).c:=15;s(1).r:=9;s(1).l:='Retraso de Ventas';
        S(2).c:=15;s(2).r:=10;s(2).l:='Perdida de Ventas';
        BackOr := Sel(S,2);
        NormVideo;
      End ;
    IF ( ( NUMMOD = 1 ) OR ( NUMMOD = 2 ) )
      THEN
        BEGIN
          Borra_Cuadro(3,39,6,19);
          Locate(3,6,'Distr. del tiempo entre demandas :');
          DEMSID( 1, FDTD, P1TD, P2TD, P3TD ) ;
          Borra_Cuadro(3,39,6,19);
          Locate(3,6,'Distribucion del tiempo de envio :');
          DEMSID( 1, FDTE, P1TE, P2TE, P3TE ) ;
          Borra_Cuadro(3,39,6,19);
          Locate(3,6,'Distribucion de la demanda ;');
          DEMSID( 1, FDD, PID, P2D, P3D ) ;

          Reorden := P3TE * D / 360 ;
        END
      ELSE
        BEGIN
          NormVideo;
          Locate (42,18,'Escoja las distribuciones ');
          WaitReturn(60000.00);
          NormVideo;
          Borra_Cuadro(41,79,5,20);
          Borra_Cuadro(1,79,1,3);
          Marca(1,40,4,20);
          Marco (41,79,1,17);
          MuestraDistribuciones;
          NormVideo;
          Borra_Cuadro(3,39,6,19);
          Locate(3,6,'Elija la opci'n correspondiente :') ;
          Locate(3,7,' Para la Demanda ') ;

```

```

NormVideo;
Locate(3,9,'Para el Tiempo entre Demandas : ');
NUMDENTD := Sel(S,14);
If ( NumDenTD = 14 ) Then NumDenTD := 15 ;
DENSID(NUMDENTD, FDTD, P1TD, P2TD, P3TD ) ;
NormVideo;
Locate(3,11,'Para el Tiempo de Envio : ');
NUMDENDE := Sel(S,14);
If ( NumDenTD = 14 ) Then NumDenTD := 16 ;
DENSID(NUMDENDE, FDE, P1TE, P2TE, P3TE ) ;
END ; { DEL ELSE NUMMOD = 1 }

IF ( ( MinHip = 'NO' ) Or ( MinHip = 'no' ) )
THEN
BEGIN
NormVideo;
Locate(3,13,'Duraci'n de la simulaci'n ( D'ias )');
Locate(3,14,' IdSim = ');
READ(TDSIM) ;
Locate(3,15,'Res'tmenes peri'dicos de Informaci'n ?') ;
Read(Kbd,Resp);
IF Ucase(Resp) = 'S'
THEN
BEGIN
Locate(3,15,' ');
Locate(3,15,'Cada cuanto tiempo (D'ias) ?') ;
READ( TRESEST ) ;
TRE := TRESEST ;
END
ELSE
BEGIN
TRE := TDSIM ;
TRESEST := MaxInt;
END ;
Locate(3,16,'Opciones para ver el proceso :') ;
Locate(3,17,' 1) Todo el proceso') ;
Locate(3,18,' 2) Res'tmenes Parciales ') ;
Locate(3,19,' 3) Resumen Final ') ;
Locate(3,24,' ');
Locate(3,24,'Cu l es su opci'n ? : ');
GotoXY(WhereX,WhereY);Read(PROC) ;
IF PROC = 1
THEN
BEGIN
Borra_Cuadro(3,39,16,19);
Locate(3,16,'Paginado de Reportes ? : ');
READ( DETPAN ) ;
END ;
END
Else
Begin
Borra_Cuadro(3,39,16,19);
Locate(3,16,'Duraci'n de la simulaci'n para ');
Locate(3,17,' minimizar ? (D'ias), TDSIM : ');
READ( TDSIM ) ;
TRE := TDSIM ;
TRESEST := MaxInt;
Proc := 3 ;
End;
Borra_Cuadro(3,39,16,19);
Locate(3,18,'Deme la Semilla para empezar : ');
Read( Semilla ) ;
END ; { DEL PROCEDURE LECTURA }

```

OVERLAY PROCEDURE MODIFDATOS ;

Label Forzando;

VAR

NUM : ARRAY[1..13] OF INTEGER ;

TODOS : STRING[23] ;

BEGIN

Locate(3,24,'

);

Locate(3,24,'Deseo modificar datos ? : ');

Read(Kbd,Resp);

If Upcase(Resp) = 'S' (En caso de que se desee modificar datos)

THEN

BEGIN

NormVideo;

Borra_Cuadro(2,39,5,19);

Borra_Cuadro(41,79,5,20);

Borra_Cuadro(1,79,1,3);

Borra_Cuadro(1,79,23,25);

Marco(1,40,23,25);

Marco(1,40,1,20);

Marco (41,79,1,24);

TextColor(Green&Blink);

Locate(2,24,'FASE DE MODIFICACION');

NormVideo;

Locate (42,2,'1:Opc. de minimizacion');

Locate(42,3,'2 : D');

Locate(42,4,'3 : O o R');

Locate(42,5,'4 : r');

Locate(42,6,'5 : s');

Locate(42,7,'6 : P');

Locate(42,8,'7 : Co');

Locate(42,9,'8 : Ca');

Locate(42,10,'9 : Cf');

Locate(42,11,'10 : Cr');

Locate(42,12,'11 : Cp');

Locate(42,13,'12 : Duraci'n de la Simulaci'n');

Locate(42,14,'13 : Opciones para faltantes');

Locate(42,15,'14 : Dist. del tiempo entre demandas');

Locate(42,16,'15 : Dist. Del tiempo de env'io');

Locate(42,17,'16 : Dist.de la cantidad demandada');

Locate(42,18,'17 : Frec. de res#menes estad'isticos');

Locate(42,19,'18 : Frec. de revisi'n de inventario');

Locate(42,20,'19 : Opci'n para ver el proceso');

Locate(42,21,'20 : An lisis de sensibilidad');

GotoXY(42,22); TextColor(Red);Write('21: CAMBIO TOTAL');

NormVideo;

Locate(3,6,'Cuantos parametros cambio ? :');

READ(NDM);

WRITELN;

Locate(3,8,'Elija la(s) opcion(es) deseadas');

I := 1;

WHILE I <= NDM DO

BEGIN

Locate(3,8+i,'Opci'n');

GotoXY(WhereX,WhereY);Write(i,'');

Read(Num[i]);

I := I + 1;

END; (DEL WHILE)

Borra_Cuadro(2,39,24,24);

{ Locate(2,24,'<ENTER> para continuar '); }

I := 1;

Borra_Cuadro(2,39,5,19);

WHILE I <= NDM DO

BEGIN

CASE NUM[i] OF

OVERLAY PROCEDURE MODIFICATOS ;

Label Forzando;

VAR

NUM : ARRAY[1..13] OF INTEGER ;

TODOS : STRING[2] ;

BEGIN

Locate(3,24,' ');

Locate(3,24,'Desea modificar datos ? ()');

Read(Kbd,Resp);

If Ucase(Resp) = 'S' (En caso de que se desee modificar datos)

THEN

BEGIN

NormVideo;

Barra_Cuadro(2,39,5,19);

Barra_Cuadro(41,79,5,20);

Barra_Cuadro(1,79,1,3);

Barra_Cuadro(1,79,23,25);

Marco(1,40,23,25);

Marco(1,40,1,20);

Marco(41,79,1,24);

TextColor(Green+Blink);

Locate(2,24,'FASE DE MODIFICACION');

NormVideo;

Locate(42,2,'1:Opc. de minimizacion');

Locate(42,3,'2 : D');

Locate(42,4,'3 : O o R');

Locate(42,5,'4 : r');

Locate(42,6,'5 : s');

Locate(42,7,'6 : P');

Locate(42,8,'7 : Co');

Locate(42,9,'8 : Ca');

Locate(42,10,'9 : Cf');

Locate(42,11,'10 : Cr');

Locate(42,12,'11 : Cp');

Locate(42,13,'12 : Duraci"n de la Simulaci"n');

Locate(42,14,'13 : Opciones para faltantes');

Locate(42,15,'14 : Dist. del tiempo entre demandas');

Locate(42,16,'15 : Dist. Del tiempo de env'o');

Locate(42,17,'16 : Dist.de la cantidad demandada');

Locate(42,18,'17 : Frec. de res"menes estad"sticos');

Locate(42,19,'18 : Frec. de revisi"n de inventario');

Locate(42,20,'19 : Opci"n para ver el proceso');

Locate(42,21,'20 : An lisis de sensibilidad');

GotoXY(42,22); TextColor(Red);Write(21: CAMBIO TOTAL');

NormVideo;

Locate(3,6,'Cuantos parametros cambia ? ()');

READ(NDM);

WRITELN;

Locate(3,8,'Elija la(s) opcion(es) deseadas');

I := 1;

WHILE I <= NDM DO

BEGIN

Locate(3,8+i,'Opci"n');

GotoXY(WhereX,WhereY);Write(I,'');

Read(Num[i]);

I := I + 1;

END; (DEL WHILE)

Barra_Cuadro(2,39,24,24);

Locate(2,24,'<ENTER> para continuar');

I := 1;

Barra_Cuadro(2,39,5,19);

WHILE I <= NDM DO

BEGIN

CASE NUM[i] OF

```

NormVideo;
Borra_Cuadro(2,39,5,19);
Locate(3,6,'Deseo minimizar ? : ');
Locate(8,7,'');READ( MINHIP );
MinHip := UpperC( MinHip );
If ( MinHip = 'SI' ) Then TResEst := MaxInt ;
END ;
2 : ( Cambio en la demanda anual )
Begin
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Cual es la nueva demanda ? : ');
  Read( D );
End;
3 :
BEGIN
  IF NumMod in [ 1, 2, 3, 5 ]
  THEN
    BEGIN
      Borra_Cuadro(2,39,5,19);
      Locate(3,6,'Nuevo valor de Q : ');
      READ( Q );
    END
  ELSE
    BEGIN
      Borra_Cuadro(2,39,5,19);
      Locate(3,6,'Nuevo valor de R : ');
      READ( R );
    END ;
  END ;
END ;
4 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de r : ');
  READ( REORDEN );
END ;
5 :
Begin
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de s : ');
  Read( InvSeg );
End;
6 :
Begin
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de P : ');
  Read( P );
End;
7 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de Co : ');
  READ( CO );
END ;
8 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de Ca : ');
  READ( CA );
END;
9 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de Cf : ');
  READ( CF );

```

```

BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de Cr : ');
  READ( CR );
END ;
11 :
Begin
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo valor de Cp : ');
  Read( CP );
End;
12 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,6,'Nuevo duraci'n : ');
  READ( TDSIM );
END ;
13 :
BEGIN
  If NumMod in [ 1, 2 ]
  Then
    Begin
      Borra_Cuadro(2,39,5,19);
      Locate(3,6,'Se admiten faltantes en el modelo ? : ');
      Read( OpFalt );
      If ( OpFalt = 'SI' ) or ( OpFalt = 'si' )
      Then
        Backor := 1
      Else
        Backor := 2;
      End
    Else
      Begin
        Borra_Cuadro(2,39,5,19);
        Locate(3,6,' Opcion, en caso de faltantes : ');
        Locate(3,8,' 1 : Retroso de Ventas' );
        Locate(3,9,' 2 : Perdida de Ventas' );
        Locate(10,10,'Opcion : ');
        READ( BACKOR );
      End;
    END ;
14 :
BEGIN
  CLRSCR ;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Borra_Cuadro(1,40,1,20);
  Borra_Cuadro(41,79,1,24);
  Marco(1,40,4,20);
  Marco(41,79,4,16);
  Marco(41,79,17,20);
  MuestraDistribuciones;
  HoraVideo;
  Borra_Cuadro(3,39,6,19);
  Locate(2,6,'Dist. para el Tiempo entre Demandas' );
  NUMDENTD := Sel(S,14);
  DENSID( NUMDENTD, FDTD, P1TD, P2TD, P3TD );
END ;
15 :
BEGIN
  CLRSCR ;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Borra_Cuadro(1,40,1,20);
  Borra_Cuadro(41,79,1,24);
  Marco(1,40,4,20);

```

```

MuestraDistribuciones;
NormVideo;
Borra_Cuadro(3,39,6,19);
Locate(2,6,'Dist. para el Tiempo de Envío : ');
MuestraDistribuciones;
NormVideo;
NUMDENTE := Sel(S,14);
DENSID( NUMDENTE, FOTE, P1TE, P2TE, P3TE );
END ;
16 :
BEGIN
  CLPSCR ;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Borra_Cuadro(1,40,1,20);
  Borra_Cuadro(41,79,1,24);
  Marco(1,40,1,20);
  Marco(41,79,4,16);
  Marco(41,79,17,20);
  Locate(2,6,'Nueva dist. de la Demanda : ');
  MuestraDistribuciones;
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(3,39,6,19);
  MuestraDistribuciones;
  NUMDEND := Sel(S,14);
  DENSID( NUMDEND, FDD, P1D, P2D, P3D );
END ;
17 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(2,6,'Deseo resúmenes estadísticos ? ');
  READ( RESEST );
  IF ( ( RESEST = 'SI' ) Or ( ResEst = 'si' ) )..
    THEN
      BEGIN
        Locate(2,8,'Nva. frecuencia de resúmenes : ');
        READ( TRESEST );
      END
    Else
      TresEst := MaxInt ;
    END ;
END ;
18 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(2,6,'Nuevo tiempo entre revisiones: ');
  READ( TREV );
END ;
19 :
BEGIN
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(2,6,'Nva. opción para ver el proceso ');
  Locate(2,8,' 1 => Ver todo el proceso ');
  Locate(2,9,' 2 => solo Resúmenes Parciales ');
  Locate(2,10,' 3 => solo el Resumen Final ');
  Locate(2,12,' Nueva Opción : ');
  GotoXY(WhereX,WhereY); READ(Proc) ;
END ;
20 : ( CAMBIO EN LA OPCION DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD )
BEGIN
  Locate(2,6,'Continúo Sensibilidad ? ');
  Read(Kbd,Resp);
  If Uppcase(Resp) = 'S'
    THEN
      BEGIN
        Locate(2,6,' Las opciones son : ');
        Locate(2,8,' 1 => Automatico ');

```

```

        READ( OpAnSen ) ;
        IF OpAnSen = 1
        THEN
            BEGIN
                Borra_Cuadro(2,39,5,19);
                Locate(2,6,'Desea modificar los defaults ?');
                Read(Kbd,Resp);
                If Ucase(Resp) = 'S'
                THEN
                    BEGIN
                        Locate(2,9,'Rango : ' ) ;
                        READ( RANGOAS ) ;
                        Locate(2,10,'Incremento : ' ) ;
                        READ( INCAS ) ;
                    END ;
                END ;
                AnaSen := 'SI';
            END
        Else
            AnaSen := 'NO';
        END ;
    21 : Begin
        Lectura;
        End;
    END ; < DEL CASE >
    I := I + 1 ;
    If (( I > Ndm ) and ( ContSim > 1 ) ) Then Goto Forzando;
    END ; < DEL WHILE >
    CLRSCR ;
    END ; < DEL THEN Paso >
    Forzando :
    If ContSim > 1
    Then
        Begin
            ClrScr ;
            WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn;
            WriteLn(' I N I C I A E L P R O C E S O D E S I S I . . . ');
            WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn;
            WriteLn;
            Write('                Oprima RETURN para continuar ');
            ReadLn;
            ClrScr;
        End;
    END; < DEL PROCEDURE MODIFDATOS >

< ----- >

{&i RandomU,pas }
{&i AI,PAS }
{&i PasosSim,Pas }
{&i Impri_Pa }

< ----- >

Overlay Procedure SIMULA( Ind : Integer ; Var Semilla : Real ) ;

BEGIN
    < Inicializacion de los Variables >
    INICIAVAR ;

```

```
INICIAEVEN( Semilla ) ;
```

```
{ LO QUE SIGUE ES LA PARTE QUE CONDUCE LA SIMULACION }
```

```
REPEAT { PARA DIFERENTES EVENTOS DENTRO DE UNA SIMULACION }
```

```
GotoXY(3,23);  
Write(' Dia :',TMoestro:5:0 );  
TAUX := TMAESTRO ;
```

```
{ SE DETERMINA EL EVENTO SIGUIENTE }
```

```
SIGEVEN ;
```

```
{ DE ACUERDO AL RESULTADO DEL PROCEDIMIENTO ANTERIOR,  
SE REALIZA UNO DE LOS CINCO EVENTOS POSIBLES }
```

```
CASE IEA OF
```

```
1 : { SE PRESENTO UNA DEMANDA AL INVENTARIO }
```

```
ACTDEM( Semilla ) ;
```

```
2 : { SE DEBE REALIZAR UNA REVISION AL INVENTARIO }
```

```
IF NUMMOD = 4  
THEN  
BEGIN
```

```
REVINV( Semilla ) ;
```

```
NREVA := 0 ;
```

```
NREVP := 0 ;
```

```
END  
ELSE
```

```
REVINV( Semilla ) ;
```

```
3 : { LLEGO UNA ORDEN PENDIENTE, SE REABASTACE EL INVENTARIO }
```

```
ACTORDEN ;
```

```
4 : { SE ELABORA UN RESUMEN ESTADISTICO PARCIAL }
```

```
BEGIN
```

```
NumPerComp := Trunc( TDSim / TResEst ) ;
```

```
FracPeriodo := TDSim - ( NumPerComp * TResEst ) ;
```

```
TMAESTRO := EVENTO[4] ;
```

```
RESUMPAR( Ind ) ;
```

```
NREVP := 0 ;
```

```
CALMP := 0 ;
```

```
If TMoestro <> TdSim
```

```
Then
```

```
Begin
```

```
CALMA := CALMA * ( NR - 1 ) / NR ;
```

```
CFALTA := CFALTA * ( NR - 1 ) / NR ;
```

```
End;
```

```
MYFALTP := 0 ;
```

```
CFALTP := 0 ;
```

```
NPORD := 0 ;
CAP := 0 ;
CDP := 0 ;
CRP := 0 ;
CFP := 0 ;
CTP := 0 ;
EVENTO[4] := EVENTO[4] + TRESEST ;
```

```
END ;
```

```
5 : ( LA SIMULACION LLEGO A SU FIN, SE ELABORA UN RESUMEN FINAL )
```

```
RESUMFIN( IND ) ;
```

```
END ; ( DEL CASE IEA, )
```

```
UNTIL ( IEA = 5 ) ; ( PARA LOS EVENTOS DE UNA SIMULACION )
```

```
END ; ( DEL PROCEDURE SIMULA )
```

```
( ----- )
```

```
{%i Analisis.Pas }
```

```
( ----- )
```

```
PROCEDURE INTERVAL ;
```

```
VAR
```

```
C : Vector ;
SUMA, ZC, MEDIA, VARIANZA, DESVEST, CMin, CMax : REAL ;
Iint, Lint : INTEGER ;
```

```
BEGIN
```

```
Lint := 1 ;
ProcAux := Proc ;
Proc := 3 ;
REPEAT
```

```
SIMULA( 0, Scmilla ) ;
```

```
ClrScr ;
Marco(1,80,1,24) ;
GoToXY(25,11) ;
Write('SIMULACION #',Lint:6, ' CT = ', CTA:12:2) ;
Window(1,1,80,25) ;
Cl Lint := CTA ;
Lint := Lint + 1 ;
UNTIL Lint = 31 ;
```

```
Proc := ProcAux ;
```

```
SUMA := 0.0 ;
FOR Iint := 1 TO 30 DO
  SUMA := SUMA + C[Iint] ;
MEDIA := SUMA / 30 ;
```

```
SUMA := 0.0 ;
FOR Iint := 1 TO 30 DO
  SUMA := SUMA + C[Iint] * C[Iint] ;
VARIANZA := SUMA / 30 - MEDIA * MEDIA ;
DESVEST := SORT( VARIANZA ) ;
```

```

CHIN := MEDIA - ZC * DESVEST ;
CMAX := MEDIA + ZC * DESVEST ;
Lucate(2,5,'INTERVALO DE CONFIANZA OBTENIDO');
Locate(2,6,'      ( AL 95% ) ');
GotoXY(10,9);
WRITE(CHIN:11:2, ' < CT < ', CMAX:11:2 ) ;
WaitReturn(60000.00);
END ; ( DEL PROCEDURE INTERVAL )

```

```

{ -----
%i MiniCubo.Pas          no se utilizo
----- }

```

```

PROCEDURE MINIMIZA( SemillaAux : Real ) ;

```

```

VAR

```

```

  LMini, L          : INTEGER ;
  IMini, JMini, KMini, i,j,k , QM, REORDENM, RM, TREVM, CTAM, CTAMIN,
  CTAMAX, LD, UD, IO, LREORDEN, UREORDEN, IREORDEN, LR, UR, IR, LTREV,
  UTREV, ITREV, InvSegM, TOpt, NOpt, Seed      : REAL ;
  MINHIP : STRING[2] ;

```

```

BEGIN

```

```

  QM := 1 ;
  REORDENM := 1 ;
  RM := 1 ;
  TREVM := 1 ;
  InvSegM := 0 ;
  TOpt := 0 ;
  NOpt := 0 ;
  LMini := 0 ;
  Proc := 3 ;

```

```

  ClrScr ;

```

```

  For l := 1 to 7 do writeln;
  Writeln(' Se Realizara Una Minimizacion ');
  FOR L := 1 TO 7 DO Writeln;
  Writeln('          *** Oprime RETURN para iniciar ***');
  ReadLn;

```

```

  L := 0;

```

```

  CASE NUMMOD OF

```

```

    1 : ( MODELO DE LOTE ECONOMICO DETERMINISTICO )

```

```

      BEGIN

```

```

        If ( ( OpFalt = 'SI' ) Or ( OpFalt = 'si' ) )

```

```

          Then

```

```

            Begin

```

```

              QM := SQRT( 2 * Co * D * ( Co + Cf ) / ( Co * Cf ) );
              TOpt := QM / D;
              InvSegM := SQRT( 2 * Co * D * A / ( Cf * ( Co + Cf ) ) );

```

```

            End

```

```

          Else

```

```

            Begin

```

```

              QM := SQRT( 2 * Co * D / Co ) ;
              TOpt := QM / D ;
              InvSegM := 0 ;

```

```

            End;

```

```

  CTAM := Co*D / QM + Co*SDR( QM-InvSegM ) / ( 2*QM ) + Cf*SQRT(InvSegM) / ( 2*QM ) ;

```

```

  .ClrScr;

```

```

Locate(2,5,'Valores optimos para el Modelo de Lote Economico - ');
Locate(2,6,'Punto de Reorden, Deterministico : ');
GoToXY(7,10);WRITELN(' Tomano del lote economico, Q = ', QM:10:2 );
GoToXY(7,11);WRITELN(' Inventario de seguridad, s = ', InvSegM:10:2 );
GoToXY(7,12);WriteLn(' Tiempo entre pedidos, t = ', TOpt:10:2 );
GoToXY(7,13);WRITELN('Costo total del inventario, CTA = ', CTAM:10:2 );
END ; { DEL MODELO DE LOTE ECONOMICO DETERMINISTICO }
2 : { MODELO DE PRODUCCION }
BEGIN
  QM := SORT( 2 * P * Cp * D / ( Ca * ( P - D ) ) );
  NOpt := D / QM ; { # Optimo de lotes al ano }
  TOpt := 1 / NOpt ; { Tiempo / lotes de produccion }
  CTAM := Cp * D / Q + Ca * D * ( P - D ) / ( 2 * P ) ;

  ClrScr;

  Marca(1,80,1,24);
  ClrScr;
  Locate(2,5,'Valores Optimos para el Modelo de Produccion : ');
  GoToXY(7,10);WRITELN('Tomano del lote de produccion, Q = ', QM:10:2 );
  GoToXY(7,11);WriteLn(' Numero de lotes al ano, N = ', NOpt:10:2 );
  GoToXY(7,12);WriteLn(' Tiempo entre produccion, t = ', TOpt:10:2 );
  GoToXY(7,13);WRITELN(' Costo total del inventario, CTA = ', CTAM:10:2 );
END ; { DEL MODELO DE LOTE ECONOMICO DETERMINISTICO }
3 : { MODELO < Q, r > }
BEGIN
  ClrScr;
  Marca(1,80,1,24);
  REPEAT
    WRITELN ;
    WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE Q : ' ) ;
    WRITE(' LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LQ ) ;
    WRITE(' LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UQ ) ;
    WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IQ ) ;
    WRITELN ;
    WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE r : ' ) ;
    WRITE(' LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LREORDEN ) ;
    WRITE(' LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UREORDEN ) ;
    WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IREORDEN ) ;

    CTAM := 20000000000.00 ;
    Cont := 0 ;
    IMini := LQ ;
    ClrScr;
    Marco(1,80,1,24);
    Repeat
      JMini := LReorden ;
      Repeat
        Cont := Cont + 1 ;
        Semilla := SemillaAux ;
        Q := IMini ;
        ~Reorden := JMini ;

        SIMULA( Q, Semilla ) ;

        Write(' Q = ',Q:10:2, ' Reorden = ',Reorden:10:2, ' CT = ', Cta:10:2);
        IF CTA < CTAM
          THEN
            BEGIN
              QM := Q ;
              ReordenM := Reorden ;
              CTAM := CTA ;
            END ;
      END ;
    END ;
  END ;

```

```

Locale(2,5,'Valores optimos para el Modelo de Lote Economico - ');
Locale(2,6,'Punto de Reorden, Deterministico ');
GotoXY(7,10);WRITELN(' Tamano del lote economico, Q = ', QM:10:2 );
GotoXY(7,11);WRITELN(' Inventario de seguridad, s = ', InvSegM:10:2 );
GotoXY(7,12);WriteLn(' Tiempo entre pedidos, t = ', TOpt:10:2 );
GotoXY(7,13);WRITELN('Costo total del inventario, CTA = ', CTAM:10:2 );
END ; ( DEL MODELO DE LOTE ECONOMICO DETERMINISTICO )
2 : ( MODELO DE PRODUCCION )
BEGIN
    QM := SORT( 2 * P * Cp * D / ( Co * ( P - D ) ) );
    NOpt := D / QM ; ( # Optimo de lotes al ano )
    TOpt := 1 / NOpt ; ( Tiempo / lotes de produccion )
    CTAM := Cp * D / D + Co * D * ( P - D ) / ( 2 * P ) ;

    ClrScr;

    Marco(1,80,1,24);
    ClrScr;
    Locale(2,5,'Valores Optimos para el Modelo de Produccion ');
    GotoXY(7,10);WRITELN('Tamano del lote de produccion, D = ', QM:10:2 );
    GotoXY(7,11);WriteLn(' Numero de lotes al ano, N = ', NOpt:10:2 );
    GotoXY(7,12);WriteLn(' Tiempo entre produccion, t = ', TOpt:10:2 );
    GotoXY(7,13);WRITELN(' Costo total del inventario, CTA = ', CTAM:10:2 );
END ; ( DEL MODELO DE LOTE ECONOMICO DETERMINISTICO )
3 : ( MODELO < Q, r > )
BEGIN
    ClrScr;
    Marco(1,80,1,24);
    REPEAT
        WRITELN ;
        WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE Q : ' );
        WRITE(' LIMITE INFERIOR : ' ); READLN( LQ );
        WRITE(' LIMITE SUPERIOR : ' ); READLN( UQ );
        WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ); READLN( IQ );
        WRITELN ;
        WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE r : ' );
        WRITE(' LIMITE INFERIOR : ' ); READLN( LREORDEN );
        WRITE(' LIMITE SUPERIOR : ' ); READLN( UREORDEN );
        WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ); READLN( IREORDEN );

        CTAM := 20000000000.00 ;
        Cont := 0 ;
        Jmini := LQ ;
        ClrScr;
        Marco(1,80,1,24);
        Repeat
            Jmini := LReorden ;
            Repeat
                Cont := Cont + 1 ;
                Semilla := SemillaAux ;
                Q := Jmini ;
            JReorden := Jmini ;

            SIMULA( Q, Semilla ) ;

            Write(' Q = ',Q:10:2,' Reorden = ',Reorden:10:2,' CT = ', Cta:10:2);
            IF CTA < CTAM
                THEN
                    BEGIN
                        QM := Q ;
                        ReordenM := Reorden ;
                        CTAM := CTA ;
                    END ;

```

```

      IMini := IMini + 10 ;
Until IMini > UO ;
WRITELN ;
WRITELN( ' EL SISTEMA DETECTO EL SIGUIENTE MINIMO PARA EL MODELO < Q, r > : ' ) ;
      WRITELN ;
WRITELN( '      Q = ', QM:10:2 ) ;
WRITELN( '      r = ', REORDENM:10:2 ) ;
WRITELN( '      CTA = ', CtaM :10:2 ) ;
WRITELN ;
WRITE( ' DESEA MAYOR PRECISION EN LOS VALORES DE Q Y r, O BUSCAR EN OTROS RANGOS ? : ' ) ;
READLN( MINHIP ) ;
UNTIL ( ( MINHIP = 'NO' ) Or ( MinHip = 'no' ) ) ;
WriteLn ;
Window(1,1,80,25);
END ; { DEL MODELO < Q, r > }
4 ; { MODELO < R, T > }
BEGIN
  ClrScr;
  Marco(1,80,1,24);
  REPEAT
    WRITELN ;
    WRITELN( ' RANGO PARA LOS VALORES DE R : ' ) ;
    WRITE( '      LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LR ) ;
    WRITE( '      LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UR ) ;
    WRITE( ' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IR ) ;
    WRITELN ;
    WRITELN( ' RANGO PARA LOS VALORES DE T : ' ) ;
    WRITE( '      LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LTREV ) ;
    WRITE( '      LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UTREV ) ;
    WRITE( ' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( ITREV ) ;
    IMini := LR ;
    JMini := LTREV ;
    CTAM := 20000000000.00 ;
    WHILE IMini <= UR DO
      BEGIN
        WHILE JMini <= UTREV DO
          BEGIN
            R := IMini ;
            TREV := JMini ;
            Semilla := SemillaAux ;

            SIMULA( 0, Semilla ) ;

            IF CTA < CTAM
              THEN
                BEGIN
                  RM := IMini ;
                  TREVH := JMini ;
                  CTAM := CTA ;
                END ;
            JMini := JMini + ITREV ;
          END ; { DEL WHILE JMini }
          IMini := IMini + IR ;
        END ;
      WRITELN ;
      WRITELN( ' EL SISTEMA DETECTO EL SIGUIENTE MINIMO PARA EL MODELO < R, T > : ' ) ;
      WRITELN ;
      WRITELN( '      R = ', RM:10:2 ) ;
      WRITELN( '      T = ', TREVH:10:2 ) ;
      WRITELN( '      CT = ', CTAM:10:2 ) ;
      WRITELN ;
      WRITE( ' DESEA MAYOR PRECISION EN LOS VALORES DE R Y T, O BUSCAR EN OTROS RANGOS ? : ' ) ;
      READLN( MINHIP ) ;

```

```

END ; { DEL MODELO < R, T > }
5 : { MODELO < n0, r, T > }
BEGIN
  ClrScr;
  Marco(1,80,1,24);
  REPEAT
    WRITELN ;
    WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE D : ' ) ;
    WRITE('          LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LD ) ;
    WRITE('          LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UD ) ;
    WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( ID ) ;
    WRITELN ;
    WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE r : ' ) ;
    WRITE('          LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LREORDEN ) ;
    WRITE('          LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UREORDEN ) ;
    WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IREORDEN ) ;
    WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE T : ' ) ;
    WRITE('          LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LTREV ) ;
    WRITE('          LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UTREV ) ;
    WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( ITREV ) ;
    IMini := LD ;
    JMini := LReorden ;
    KMini := LTREV ;
    CTAM := 20000000.00 ;
    WHILE IMini <= UD DO
      BEGIN
        WHILE JMini <= UReorden DO
          BEGIN
            While KMini <= UTREV Do
              Begin

                D := IMini ;
                Reorden := JMini ;
                TREV := KMini ;
                Semilla := SemillaAux ;

                SIMULA( D, Semilla ) ;
                IF CTA < CTAM
                  THEN
                    BEGIN
                      QM := IMini ;
                      ReordenM := JMini ;
                      TRevM := KMini ;
                      CTAM := CTA ;
                    END ;
                KMini := KMini + ITREV ;
                End ; { Del While KMini }
                JMini := JMini + IReorden ;
                END ; { DEL WHILE JMini }
                IMini := IMini + ID ;
            END ;
          WRITELN ;
          WRITELN(' EL SISTEMA DETECTO EL SIGUIENTE MINIMO PARA EL MODELO < n0, r, T > : ' ) ;
          WRITELN ;
          WRITELN('          Q = ', QM:10:2 ) ;
          WRITELN('          r = ', REORDENM:10:2 ) ;
          WRITELN('          T = ', TRevM:10:2 ) ;
          WRITELN('          CTA = ', CTAM:10:2 ) ;
          WRITELN ;
          WRITE(' DESEA MAYOR PRECISION EN LOS VALORES DE D, r Y T O BUSCAR EN OTROS RANGOS ? : ' ) ;
          READLN( MINHIP ) ;
          UNTIL ( ( MINHIP = 'NO' ) OR ( MINHIP = 'no' ) ) ;
          Window(1,1,80,25) ;
        END. ; { DEL MODELO < n0, r, T > }

```

```

ClrScr;
Marco(1,80,1,24);
REPEAT
WRITELN ;
WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE R : ' ) ;
WRITE('      LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LR ) ;
WRITE('      LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UR ) ;
WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IR ) ;
WRITELN ;
WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE r : ' ) ;
WRITE('      LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LREORDEN ) ;
WRITE('      LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UREORDEN ) ;
WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( IREORDEN ) ;
WRITELN ;
WRITELN(' RANGO PARA LOS VALORES DE T : ' ) ;
WRITE('      LIMITE INFERIOR : ' ) ; READLN( LTREV ) ;
WRITE('      LIMITE SUPERIOR : ' ) ; READLN( UTREV ) ;
WRITE(' VALOR DE LOS INCREMENTOS : ' ) ; READLN( ITREV ) ;
IMini := LR ;
JMini := LReorden ;
KMini := LTRev ;
CTAM := 2000000000.00 ;
WHILE IMini <= UR DO
  BEGIN
    WHILE JMini <= UReorden DO
      BEGIN
        WHILE KMini <= UTRev Do
          Begin

            Reorden := JMini ;
            R := IMini ;
            TREV := KMini ;
            Semilla := SemillaAux ;

            SIMULA( 0, Semilla ) ;

            IF CTA < CTAM
              THEN --
                BEGIN
                  RM := IMini ;
                  REORDENM := JMini ;
                  TREVM := KMini ;
                  CTAM := CTA ;
                END ;
            KMini := KMini + ITREV ;
            END ; { DEL WHILE KMini }
            JMini := JMini + IReorden ;
            END ; { DEL WHILE JMini }
            IMini := IMini + IQ ;
          END ;
        WRITELN ;
        WRITELN(' EL SISTEMA DETECTO EL SIGUIENTE MINIMO PARA EL MODELO < R, r, T > : ' ) ;
        WRITELN ;
        WRITELN('      R = ', RM:10:2 ) ;
        WRITELN('      r = ', ReordenM:10:2 ) ;
        WRITELN('      T = ', TREVM:10:2 ) ;
        WRITELN('      CTA = ', CTAM:10:2 ) ;
        WRITELN ;
        WRITE(' DESEAS MAYOR PRECISION EN LOS VALORES DE R, r Y T, O BUSCAR EN OTROS RANGOS ? : ' ) ;
        READLN( MINHIP ) ;
        UNTIL ( ( MINHIP = 'NO' ) OR ( MINHIP = 'no' ) ) ;
        Window(1,80,25);
      END ; { DEL MODELO < R, r, T > }
    END ; { DEL CASE NUMMOD }
  
```

If NumMod in [3..6]

Then

Begin

```
ClrScr;
Marco(1,80,1,24);
Locate(2,5,'Enseguida se calculara un intervalo');
Locate(2,6,'del 95 % de confianza para el Costo');
Locate(2,7,'Total del Inventario ( CT ) .....');
WaitReturn(6000.00);
Q := QM ;
Reorden := ReordenM ;
R := RM ;
TRev := TRevM ;
InvSeg := InvSegM ;
```

INTERVAL ;

End ;

ClrScr;

```
Marco(1,80,1,24);
Locate(2,5,'Deseo que se realice la simulacion');
Locate(2,6,'con los valores optimos de las ');
Locate(2,7,'variables del modelo ? : ');
Read( OTRASIM );
IF ( ( OtraSim = 'SI' ) Or ( OtraSim = 'si' ) )
```

THEN

BEGIN

```
Locate(2,9,'Deseo resúmenes periodicos de');
Locate(2,10,'informacion estadística ? : ');
Read(Kbd,ResEst );
IF Upcase(ResEst) = 'SI'
```

THEN

BEGIN

```
Locate(2,11,'Cada cuanto tiempo ? : ');
READ( TResEst );
TRE := TResEst ;
```

END

ELSE

Begin

```
TResEst := MaxInt ;
TRE := TDSim ;
```

End ;

ClrScr;

```
Marco(1,80,1,24);
Locate(2,5,'Opciones para ver el proceso : ');
Locate(2,7,'1) Todo el proceso ');
Locate(2,8,'2) Resúmenes parciales de resultados');
Locate(2,9,'3) Solo el resumen final de resultados');
Locate(2,11,' Opcion : ');
Read(Kbd,Proc );
If Proc = 1
```

Then

Begin

```
Borra_Cuadro(2,39,5,49);
Locate(2,5,'Paginado de Reportes ? ');
Read( DelPan );
```

End ;

Semilla := SemillaAux ;

SIMULA(1, Semilla);

END ; < DEL THEN OTRASIM >

PROGRAMA PRINCIPAL

BEGIN

```
CONTSIM := 0 ;
Truquito[1] := 0 ;
NumDemAn := 0 ;
REPEAT ( PARA DIFERENTES SIMULACIONES )
```

```
  ClrScr;
  ContSim := ContSim + 1 ;
  Truquito[1] := 0 ;
```

```
  ( INICIA LA LECTURA DE LOS DATOS )
```

```
  IF ContSim = 1
  Then
  Begin
```

```
    (Aqui debo meter una pantalla 'bonita' para presentacion de SiSI)
```

```
    Write(' Deseo informacion sobre el sistema ? : ');
    ReadLn( SioMo );
    If ( ( SioMo = 'SI' ) Or ( SioMo = 'si' ) )
    Then
      INICIO ;
```

```
  LECTURA ;
```

```
  SemillaAux := Semilla ;
```

```
  End
  Else
  Begin
    Write(' Deseo utilizar la semilla original ? : ');
    ReadLn( SioMo );
    If ( ( SioMo = 'SI' ) or ( SioMo = 'si' ) )
    Then
      Semilla := SemillaAux ;
  End ;
```

```
  Window(1,1,80,25);
  MODIFDATOS ;
```

```
  Window(1,1,80,25);
  IMPRINPAR ;
```

```
  Window(1,1,80,25);
  IF ( ( MinHip = 'SI' ) Or ( MinHip = 'si' ) )
  THEN
```

```
    *MINTMT7A( SemillaAux )
```

ELSE

```
Begin
  ClrScr ;
  WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn;
  WriteLn( ' Se Realizara Una Simulacion ');
  WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn; WriteLn;
  WriteLn( ' *** Oprima RETURN para iniciar ***');
  ReadLn;
  Semilla := SemillaAux ;
```

```
SIMULA( 1, Semilla ) ;
```

```
ClrScr;
Marco(1,80,1,24);
Locate(2,5,'. . . . . Termina la Simulacion . . . . .');
Locate(2,7,'Desea intervalo de confianza ? : ');
Read( SioNo );
If ( ( SioNo = 'SI' ) or ( SioNo = 'si' ) )
  Then
    INTERVAL ;
```

```
ClrScr ;
End;
```

```
WRITE(' Desea que se realice analisis de sensibilidad ? : ');
```

```
READLN( ANASEN ) ;
```

```
IF ( ( ANASEN = 'SI' ) Or ( ANASEN = 'si' ) )
```

```
THEN
```

```
BEGIN
```

```
WRITELN( ' Las Opciones son : ' ) ;
```

```
WriteLn ;
```

```
WriteLn( ' 1 => ANALISIS AUTOMATICO ( Significa que a la mas, usted tiene que');
```

```
WriteLn( ' dar rangos de variacion para las variables del modelo ');
```

```
WriteLn( ' 2 => ANALISIS CONTROLADO ( Significa que usted tiene que indicar todos');
```

```
WriteLn( ' los valores de interes para las variables del modelo ');
```

```
WriteLn;
```

```
WRITE(' Elija su opcion : ' ) ;
```

```
READLN( OpAnSen ) ;
```

```
If OpAnSen <> 1
```

```
Then If OpAnSen <> 2
```

```
Then
```

```
Begin
```

```
WriteLn( ' *** ERROR EN LA ELECCION ***');
```

```
Write( ' Elija la opcion correcta : '); ReadLn( OpAnSen ) ;
```

```
End;
```

```
IF OpAnSen = 1
```

```
THEN
```

```
BEGIN
```

```
WRITE('Deseo modificar los defaults del analisis de sensibilidad ( +- 10% Y 5% )? : ');
```

```
READLN( CompAS ) ;
```

```
IF ( ( CompAS = 'SI' ) Or ( CompAS = 'si' ) )
```

```
THEN
```

```
BEGIN
```

```
WRITE(' Rango Para el analisis ( +- Cierta X ) : ');
```

```
READLN( RangoAS ) ;
```

```
WRITE(' Incrementos ( X ) : ');
```

```
READLN( IncAS ) ;
```

```
END ;
```

```
END ;
```

```
( Dummy := UCase(CompAS[1]); )
```

```
ANASENS( OpAnSen, CompAS, SemillaAux ) ;
```

```
END ;
```

```
WHILE( ' Usea otra simulacion o minimizacion ? ; ');  
  READLN(OTRASIM) ;  
Until ( UpperC( OtroSim ) <> 'SI' ) ;  
Size_Cursor(0,7);  
END.
```

```

PROCEDURE INICIAEVEN ( Var Semilla : Real ) ;
BEGIN
  EVENTO(1) := DENDT( FDTD, P1TD, P2TD, P3TD, Semilla ) ; { Tiempo para la primera Demanda }
  DEM := DENDT( FDD, P1D, P2D, P3D, Semilla ) ; { Cantidad a demandar }
  EVENTO(2) := TRV ; { Tiempo para la primera revision del inventario }
  If NumMod in [ 2, 3 ] { Para el Tiempo de Envio de la primera orden }
  Then
    EVENTO(3) := DENDT( FDTE, P1TE, P2TE, P3TE, Semilla )
  Else
    EVENTO(3) := TDSim ;
  EVENTO(4) := TREST ; { Tiempo del primer resumen estadistico }
  EVENTO(5) := TDSIM ; { Tiempo en que terminara la Minimizacion o Simulacion }
  TEOPP := EVENTO(3) ;
  TEOP(1) := EVENTO(3) ;
  IF PROC = 1
  THEN
    BEGIN
      WRITELN(' TIEMPOS DE REALIZACION DE LOS EVENTOS : ' ) ;
      WRITELN ;
      WRITELN(' EVENTO 1 ( TPO. DE LA SIG. DEMANDA ) : ', EVENTO(1):7:2 ) ;
      WRITELN(' EVENTO 2 ( TPO. DE REV. INVENTARIO ) : ', EVENTO(2):7:2 ) ;
      WRITELN(' EVENTO 3 ( TPO. ENVIO DE UNA ORDEN ) : ', EVENTO(3):7:2 ) ;
      WRITELN(' EVENTO 4 ( TPO. RESUM. ESTADISTICO ) : ', EVENTO(4):7:2 ) ;
      WRITELN(' EVENTO 5 ( FIN DE LA SIMULACION ) : ', EVENTO(5):7:2 ) ;
      CONT := CONT + 7 ;
    END ;
  END ; { DEL PROCEDURE INICIAEVEN }

```

```

(-----)
OVERLAY PROCEDURE SIGEVEN ;

```

```

Var
  ISE : Integer ;

BEGIN
  IF PROC = 1
  THEN
    BEGIN
      WRITELN('SIGEVEN === Determinando el Siguiente Evento === THAESTRO : ', THAESTRO:7:2 ) ;
      DETENER ;
      END ;
      IEA := 1 ;
      TEA := EVENTO(1) ;
      ISE := 2 ;
      WHILE ISE <= 5 DO
      BEGIN
        IF EVENTO( ISE ) < TEA
        THEN
          BEGIN
            TEA := EVENTO( ISE ) ;
            IEA := ISE ;
          END ;
          ISE := ISE + 1 ;
        END ;
      IF ( IEA = 1 ) AND ( EVENTO(1) = EVENTO(3) )
      THEN
        BEGIN
          IEA := 3 ;
          TEA := EVENTO(3) ;
        END ;
      If Proc = 1 Then
      Begin
        ClrScr ;

        WriteLn(' Siguiente Evento : ', IEA, ' En El Tiempo : ', EVENTO( IFA ):10:3 ) ;

```

```

WRITELN(' InvNeto = ', InvNeto:12:3, ' PosInv = ', PosInv:12:3 ) ;
WriteLn(' CAImA = ', CAImA:12:3, ' CAImP = ', CAImP:12:3 ) ;
Cont := Cont + 3 ;
DETENER ;
End ;
ENN ; ( DEL PROCEDURE SIGEVEN )

```

```

{-----}

```

```

OVERLAY PROCEDURE REVINV( Var Semilla : Real ) ;

```

```

VAR

```

```

RE,TE : REAL ;

```

```

BEGIN

```

```

TMAESTRO := EVENTO[2] ;

```

```

IF PROC = 1

```

```

THEN

```

```

BEGIN

```

```

WRITELN('REVINV === Revisando el Inventario === TMAESTRO : ', TMAESTRO:7:2) ;

```

```

DETENER ;

```

```

END ;

```

```

If NumMod = 4

```

```

Then

```

```

Begin

```

```

NumOrdP := NumOrdP + 1 ;

```

```

If ( Backor = 1 )

```

```

Then CPend[NumOrdP] := R - InvNeto

```

```

Else CPend[NumOrdP] := R - InvFisico ;

```

```

PosInv := R ;

```

```

Pedir := 1 ;

```

```

End

```

```

Else

```

```

Begin

```

```

IF PosInv <= Reorden

```

```

THEN ..

```

```

BEGIN

```

```

NumOrdP := NumOrdP + 1 ;

```

```

IF REVCON = 1

```

```

THEN

```

```

BEGIN

```

```

-- CPEND[NumOrdP] := 0 ;

```

```

POSINV := POSINV + 0 ;

```

```

{ WriteLn(' Se elabora una orden. TMAESTRO = ',TMAESTRO:7:2);}

```

```

END

```

```

ELSE

```

```

BEGIN

```

```

If NumMod = 5

```

```

Then

```

```

Begin

```

```

Indn := 0 ;

```

```

Repeat

```

```

PosInv := PosInv + 0 ;

```

```

Indn := Indn + 1 ;

```

```

Until ( PosInv > Reorden ) ;

```

```

CPend[NumOrdP] := Indn * 0 ;

```

```

End

```

```

Else

```

```

If NumMod = 6

```

```

Then

```

```

Begin

```

```

If ( Backor = 1 )

```

```

Then CPend[NumOrdP] := R - InvNeto

```

```

Else CPend[NumOrdP] := R - InvFisico ;

```

```

PosInv := R ;

```

```

End ;

```

```

END ;

```

```

Pedir := 1 ;

```

```

If Pedir = 1
Then
Begin
  NAOrd := NAOrd + 1 ;
  NPord := NPord + 1 ;
  TE := TMaestro + DenDT( FDTE, P1TE, P2TE, P3TE, Semilla ) ;
  If Proc = 1
  Then
  Begin
    WriteLn( ' La orden llegoro en el tiempo : ', TE:10:2 ) ;
    DETENER ;
  End ;
  TEOPI NumOrdP ] := TE ;
  IF NUMORDP = 1
  THEN
  BEGIN
    CPP := CPENDNUMORDP ] ;
    EVENTOC3 ] := TE ;
    TEOPP := TE ;
  END
  ELSE
  ORDENATEORDP ;
End ;
NREVA := NREVA + 1 ;
NREVP := NREVP + 1 ;
IF REVCON = 1
THEN
  EVENTOC2 ] := EVENTOC1 ]
ELSE
  EVENTOC2 ] := EVENTOC2 ] + TREV ;
Pedir := 0 ;
END ; { DEL PROCEDURE REVINV }

```

```

-----
OVERLAY PROCEDURE ACTDEM( Var Semilla : Real ) ;
BEGIN
  CDEMA := CDEMA + CDEM ;
  CDEMP := CDEMP + CDEM ;
  NUMDEMA := NUMDEMA + 1 ;
  Truquito[1] := Truquito[1] + 1 ;
  NUMDEMP := NUMDEMP + 1 ;
  TMAESTRO := EVENTOC1 ] ;
  IF PROC = 1
  THEN
  BEGIN
    WriteLn( ' Se presento una demanda por ', CDEM:10:3, ' unidades ' ) ;
    WRITELN( 'ACTDEM === Actualizando el inventario === TMAESTRO : ', TMAESTRO:7:2 ) ;
    Cont := Cont + 1 ;
    DETENER ;
  END ;
  TDIF := TMAESTRO - TAUX ;
  IF ( ( INVNETO >= 0 ) AND ( CDEM <= INVNETO ) )
  THEN
  BEGIN
    CALMA := CALMA + INVNETO * TDIF / ( NR * TRE ) ;
    CALMP := CALMP + INVNETO * TDIF / TRE ;
    PosInv := PosInv - CDem ;
    Invfisico := Invfisico - CDem ;
  END
  ELSE
  BEGIN
    IF INVNETO >= 0
    THEN
    BEGIN

```

```

CFALTC := CFALTC + ( CDEM - INVNETO ) ; { Cantidad numerica de fal - }
CAFALT := CAFALT + ( CDEM - INVNETO ) ; { tantes durante todo el ano }
InvFisico := 0 ;
If ( Racker = 2 )
Then PosInv := PosInv - InvMelo
Else PosInv := PosInv - CDEM ;
END
ELSE
BEGIN
CFALTA := CFALTA + CFALTC * TDIF / ( NR * TRE ) ; { Cantidad promedio de }
CFALTP := CFALTP + CFALTC * TDIF / TRE ; { faltantes al ano }
CFALTC := CFALTC + CDEM ; { Cantidad numerica de fal - }
CAFALT := CAFALT + CDEM ; { tantes durante todo el ano }
END ;
NVFALTA := NVFALTA + 1 ;
NVFALTP := NVFALTP + 1 ;
END ;
{ ACTUALIZACION DE NIVELES DEL INVENTARIO }
INVNETO := INVNETO - CDEM ;
EVENTO(1) := EVENTO(1) + DEMDT( FDTD, P1TD, P2TD, P3TD, Semilla ) ;
CDEM := DEMDT( FDD, PID, P2D, P3D, Semilla ) ;
IF REVCDEM = 1
THEN
BEGIN
EVENTO(2) := TMAESTRO ;
REVINV( Semilla ) ;
END ;
END ; { DEL PROCEDURE ACTDEM }

```

-----)
OVERLAY PROCEDURE ACTORDEN ;

```

Var
IActo : Integer ;

BEGIN
TMAESTRO := EVENTO(3) ;
IF PROC = 1
THEN
BEGIN
WRITELN('Llego una orden, se actualizara el inventario. TMAESTRO : ', TMAESTRO:7:2);
DETERMEN ;
END ;
TDIF := TMAESTRO - TAU ;
IF INVNETO >= 0
THEN
BEGIN
CALMA := CALMA + INVNETO * TDIF / ( NR * TRE ) ;
CALMP := CALMP + INVNETO * TDIF / TRE ;
END
ELSE
BEGIN
CFALTA := CFALTA + CFALTC * TDIF / ( NR * TRE ) ;
CFALTP := CFALTP + CFALTC * TDIF / TRE ;
IF CPP > CFALTC
THEN CFALTC := 0
ELSE CFALTC := CFALTC - CPP ;
END ;
InvFisico := InvFisico + CPP ;
INVNETO := INVNETO + CPP ;
IF ORDPP < NUMORDP
THEN
BEGIN
IActo := ORDPP + 1 ;
WHILE IActo <= NUMORDP DO

```

```

IActo := IActo + 1 ;
END ;
END ;
TEOP[NUHORDP] := MaxInt ;
NUMORDP := NUMORDP - 1 ;
IF NUMORDP = 0
THEN
EVENTO[3] := MaxInt ;
END ; { DEL PROCEDURE ACTORDEN }

```

```

OVERLAY PROCEDURE RESUMPAR( Ind : Integer ) ;

```

```

BEGIN

```

```

ClrScr ;
Marco(1,80,1,24) ;
IF PROC = 1
THEN
BEGIN
WaitReturn(60000.00) ;

```

```

{ Se eliminaron las opciones de presentar el
proceso en la pantalla }

```

```

END ;

```

```

IF ( ( PROC = 2 ) OR ( PROC = 1 ) ) Then

```

```

If Ind = 1 Then

```

```

BEGIN

```

```

{ CLRSCR ; }

```

```

CFPP := CF * CFALTP ;
CFPA := CF * CFALTA ;
CFP := CF * CFALTC ;
CFA := CF * CAFALT ;
CAP := CA * CALMP ;
CAA := CA * CALMA ;
CRP := CR * NREVP ;
CRA := CR * NREVA ;
COP := CO * NPORD ;
COA := CO * NAORD ;
CTP := CFPP + CAP + CRP + COP ;
CTA := CFPA + CAA + CRA + COA ;

```

```

Locate(10,2,'RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : ');

```

```

GotoXY(WhereX,WhereY);Write(THAESTRO:9:2,' ');

```

```

GotoXY(WhereX,WhereY);WRITE(' ( DIAS ) ');

```

```

GotoXY(5,5);Write(' C O N C E P T O

```

```

GotoXY(5,6); Write('NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS

```

```

GotoXY(5,7); Write('CANTIDAD DEMANDADA

```

```

GotoXY(5,8); Write('NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES

```

```

GotoXY(5,9); Write('CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES

```

```

GotoXY(5,10); Write('CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES

```

```

GotoXY(5,11); Write('CANTIDAD ALMACENADA

```

```

GotoXY(5,12); Write('NUMERO DE ORDENES ( REABASTECIMIENTOS )

```

```

GotoXY(5,13); Write('NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO

```

```

GotoXY(5,15); Write('C O S T O S ');

```

```

GotoXY(5,17); Write('TOTAL DE FALTANTES

```

```

GotoXY(5,18); Write('PROMEDIO DE FALTANTES

```

```

GotoXY(5,19); Write('DE ALMACENAMIENTO

```

```

GotoXY(5,20); Write('DE REVISIONES

```

```

GotoXY(5,21); Write('DE ORDENAR

```

```

GotoXY(5,22); Write(' T O T A L

```

```

WaitReturn(60000.00);

```

```

{ CLRSCR ; }

```

```

END ;

```

```

PDR PERIODO ACUMULADO ');
', NUMDEHP:12, Truquito[13:16:0 ] ;
', CDEHP:12:3, CDEMA:16:3 ) ;
', NVFALTP:12, NVFALTA:16 ) ;
', CFALTP:12:3, CFALTA:16:3 ) ;
', CFALTC:12:3, CAFALT:16:3 ) ;
', CALMP:12:3, CALMA:16:3 ) ;
', NPORD:12, NAORD:16 ) ;
', NREVP:12, NREVA:16 ) ;
', CFP:12:2, CFA:16:2 ) ;
', CFPP:12:2, CFPA:16:2 ) ;
', CAP:12:2, CAA:16:2 ) ;
', CRP:12:2, CRA:16:2 ) ;
', COP:12:2, COA:16:2 ) ;
', CTP:12:2, CTA:16:2 ) ;

```

```

END ; { DEL PROCEDURE RESUMPAR }
-----
OVERLAY PROCEDURE RESUMFIN( IND : INTEGER ) ;
BEGIN
  ClrScr;
  Marco(1,80,1,24);
  IF PROC = 1
  THEN
    BEGIN
      WaitReturn(60000.00);

      { Se eliminaron las opciones de presentar el
        proceso en la pantalla }

    END ;

    CFPA := CF * CFALTA ;
    CFA  := CF * CAFALT ;
    CA   := CA * CALMA ;
    CRA  := CR * NREVA ;
    COA  := CO * NAORD ;

    CTA := CFPA + CAA + CRA + COA ;

    { CLRSR ; }
    IF IND = 1
    THEN
      BEGIN
        Locote(20,2,'RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION ');
        Locote(20,3,'===== == ===== ');
        GotoXY(5,5); Write('C O N C E P T O');
        GotoXY(5,6); Write('NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS', VALDR ');
        GotoXY(5,7); Write('CANTIDAD TOTAL DEMANDADA', Truquito(13,16:0) );
        GotoXY(5,8); Write('NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES', CDEMA:16:3) );
        GotoXY(5,9); Write('CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES', NVFALTA:16) );
        GotoXY(5,10); Write('CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES', CFALTA:16:3) );
        GotoXY(5,11); Write('CANTIDAD TOTAL ALMACENADA', CAFALT:16:3) );
        GotoXY(5,12); Write('NUMERO TOTAL DE ORDENES ( REABASTACIMIENTOS )', CALMA:16:3) );
        GotoXY(5,13); Write('NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO', NAORD:16) );
        GotoXY(5,15); Write(' C O S T O S ');
        GotoXY(5,17); Write('TOTAL DE FALTANTES', NREVA:16) );
        GotoXY(5,18); Write('PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES', CFA:16:2) );
        GotoXY(5,19); Write('TOTAL DE ALMACENAMIENTO', CFPA:16:2) );
        GotoXY(5,20); Write('TOTAL DE REVISIONES', CAA:16:2) );
        GotoXY(5,21); Write('TOTAL DE ORDENAR', CRA:16:2) );
        GotoXY(5,22); Write(' T O T A L', COA:16:2) );
        WaitReturn(60000.00);
      END ;
    END ; { DEL PROCEDURE RESUMFIN }
-----

```

```

PROCEDURE IMPDEN( NImpDen : INTEGER ; P1 : INTEGER ; P2, P3 : REAL ) ;
BEGIN
  CASE NImpDen OF
    1 : WRITELN(' CONSTANTE (' , P3:8:2, ' )' ) ;
    2 : WRITELN(' UNIFORME (' , P2:8:2, ' , ' , P3:8:2, ' )' ) ;
  
```

```

4 : WRITELN(' GAMMA (', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
5 : WRITELN(' NORMAL (', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
6 : WRITELN(' BI-CUADRADA (', P3:8:2, ') ' ) ;
7 : WRITELN(' t DE STUDENT (', P3:8:2, ') ' ) ;
8 : WRITELN(' F DE SNEDECOR (', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
9 : WRITELN(' BINOMIAL (', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
10 : WRITELN(' POISSON (', P3:8:2, ') ' ) ;
11 : WRITELN(' GEOMETRICA (', P3:8:2, ') ' ) ;
12 : WRITELN(' BINOMIAL NEGATIVA (', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
13 : WRITELN(' HIPERGEOMETRICA (', P1:3, ', ', P2:8:2, ', ', P3:8:2, ') ' ) ;
14 : WriteLn(' Tabular ' ) ;
15 : WriteLn(' Tabular ' ) ;
16 : WriteLn(' Tabular ' ) ;
END ; < DEL CASE NImpDen >

END ; < DEL PROCEDURE IMPDEN >

```

{ ----- }

```

FUNCTION DENDT ( DENSIDAD : DENSIDAD_TIPO ; P1 : INTEGER ; P2, P3 : REAL ; Var Semilla : Real ) : REAL ;

```

```

VAR

```

```

T1,K,K1,K2,SUMA,T1,RRAN,Z,CH1,CH11,CH12,P12,
PR,E,EP2,DSV,OP,C,P11,DEH,S,A,NUX,V1,V2, SumP      : REAL ;
IGam, INor, IBin, IBinNeg, IHyp, ID, ITD, ITE      : Integer ;

```

```

BEGIN

```

```

IF PROC = 1
THEN
  BEGIN
    WRITELN('DENDT      === Generando un Valor de una v. a. === THAESTRO : ', THAESTRO:7:2 ) ;
  (  DETENER ; )
    END ;

```

```

( Solo para una prueba del 8 de mayo de 1988 las 3 lineas siguientes )

```

```

ITD := 0 ;
ITTE := 0 ;
ITTD := 0 ;

```

```

CASE DENSIDAD OF

```

```

  CTE :
    DENDT := P3 ;

```

```

BEGIN
  IF P2 = P3 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' *** ERROR EN LOS PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION UNIFORME *** ');
      WRITELN(' ');
      WRITELN(' LIM. INF. = LIM. SUP. = ', P2:8:3 );
      WRITELN;
      WRITELN(' *** TECLEE RETURN PARA CONTINUAR *** ');
      WRITELN;
      READLN;
      MODIFDATOS;
    )
    END
  ELSE
    BEGIN
      RRAN := RANDOM( Semilla );
      DENDT := P2 + ( P3-P2 ) * RRAN;
    END;
  END;

EXPO :
BEGIN
  TI := 0;
  IF P3 = 0 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' *** ERROR EN EL PARAMETRO DE LA DISTRIBUCION EXPONENCIAL *** ');
      WRITELN(' BETA = ', P3:8:3 );

      WRITELN;
      WRITELN(' *** TECLEE RETURN PARA CONTINUAR *** ');
      WRITELN;
      READLN( ALGO );
      MODIFDATOS;
    )
    END
  ELSE
    BEGIN
      RRAN := RANDOM( SEMILLA );
      DENDT := TI - ( 1 / P3 ) * LN ( 1 - RRAN );
    END;
  END;

GAM :
BEGIN
  IF P3 <= 0
  THEN
    BEGIN
      Repeat
        WRITELN(' *** ERROR EN UN PARAMETRO DE LA DISTRIBUCION GAMMA *** ');
        WRITELN(' BETA = ', P3:8:3 );
        WRITELN;
        WRITE(' De el nuevo valor del parametro beta : ');
        READLN( P3 );
      Until ( P3 > 0 );
    END
  ELSE
    Begin
      IF ( P2 <= 7 ) AND ( ( P2 - TRUNC(P2) ) = 0 )
      THEN
        BEGIN
          SUMA := 0;
          IGAM := 1;
          WHILE IGAM <= TRUNC( P2 ) DO
            BEGIN
              RRAN := RANDOM( SEMILLA );
              SUMA := SUMA + LN ( 1 - RRAN );
              IGAM := IGAM + 1
            END
          END
        END
      ELSE
        BEGIN
          WRITELN(' *** ERROR EN LOS PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION GAMMA *** ');
          WRITELN(' ');
          WRITELN(' LIM. INF. = LIM. SUP. = ', P2:8:3 );
          WRITELN;
          WRITELN(' *** TECLEE RETURN PARA CONTINUAR *** ');
          WRITELN;
          READLN;
          MODIFDATOS;
        )
      END
    END
  END;
END;

```

```

END;
Else
Begin
  A := P2 - 1 ;
  Repeat
    V1 := DenDT( Expo, 0, 0, 1, Semilla ) ;
    V2 := DenDT( Expo, 0, 0, 1, Semilla ) ;
  Until ( V2 >= A * ( V1 - Ln( V1 ) - 1 ) ) ;

  DenDT := P2 * P3 * V1 ;

  End ;
End ;
END;
NDR :
BEGIN
  SUMA := 0 ;
  INor := 1 ;
  WHILE INor <= 12 DO
  BEGIN
    RRAM := RANDOM( SEMILLA ) ;
    SUMA := SUMA + RRAM ;
    INor := INor + 1
  END;
  DENDT := P2 + P3 * ( SUMA - 6 ) ;
END;
JI :
BEGIN
  IF ( (P3/2)-TRUNC(P3/2) = 0 ) THEN GRADOS := PAR
  ELSE
    IF P3 < 30 THEN GRADOS := IMPARCH
    ELSE GRADOS := IMPARG ;
  SUMA := 0 ;
  DENDT := 0 ;
  CASE GRADOS OF
    PAR :
      BEGIN
        P12 := P3 / 2 ;
        K := 1/2 ;
        DENDT := DENDT (GAM, 1, P12, K, Semilla ) ;
      END;
    IMPARCH :
      BEGIN
        K1 := ( P3 - 1 ) / 2 ;
        K2 := 1/2 ;
        T1 := DENDT(GAM,1, K1, K2, Semilla ) ;
        Z := DENDT(NOR, 1, 0, 1, Semilla ) ;
        Z := Z * Z ;
        DENDT := T1 + Z ;
      END;
    IMPARG :
      BEGIN
        Z := DENDT( NOR, 1, 0, 1, Semilla ) ;
        DENDT := ( 1 / 2 ) * SQRT( Z + SQRT( 2 * P3 - 1 ) ) ;
      END;
  END;
END;
T :
BEGIN
  IF (P3<=30) AND (P3>0) THEN
  BEGIN
    Z := DENDT (NOR, 1, 0, 1, Semilla ) ;

```

```

DENDT := DENDT UNIF P3);
END
ELSE
BEGIN
  IF P3 <= 2
  THEN
    BEGIN
      WRITELN(' *** ERROR EN EL PARAMETRO DE LA DISTRIBUCION T *** ');
      WRITELN(' G. L. = ', P3:8:3 );

      WRITELN ;
      WRITELN(' *** TECLSE RETURN PARA CONTINUAR *** ');
      WRITELN ;
      READLN( ALGO );
      MODIFDATOS ;
    )

    END
  ELSE
    BEGIN
      K := P3 / (P3 - 2);
      K := SORT( K );
      DENDT := DENDT (NOR, 1, P3, K, Semilla );
    END;
  END;
END;

F :
BEGIN
  IF ( P2 = 0 ) OR ( P3 = 0 )
  THEN
    BEGIN
      WRITELN(' *** ERROR EN LOS PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION F *** ');
      WRITELN(' G. L. NUM. = ', P2:8:3, ' G. L. DENOM. = ', P3:8:3 );

      WRITELN ;
      WRITELN(' *** TECLSE RETURN PARA CONTINUAR *** ');
      WRITELN ;
      READLN( ALGO );
      MODIFDATOS ;
    )

    END
  ELSE
    BEGIN

      CHI1 := DENDT(J1, 1, 1, P2, Semilla );
      CHI2 := DENDT(J1, 1, 1, P3, Semilla );
      DENDT := ( CHI1 / P2 ) / ( CHI2 / P3 );
    END;
  END;
END;

BIN :
BEGIN
  DEM := 0 ;
  IBin := 1 ;
  WHILE IBin <= Trunc( P2 ) DO
    BEGIN
      RRAN := RANDOM( SEMILLA );
      IF RRAN <= P3
      THEN
        BEGIN
          DEM := DEM + 1 ;
          IBin := IBin + 1;
        END;
      DENDT := DEM ;
    END ;
  END ;

```

```

BEGIN
  IF P3 <= 10
  THEN
    BEGIN
      DEM := 0 ;
      PR := 1.0 ;
      E := EXP(-P3) ;
      WHILE PR >= E DO
        BEGIN
          RRAN := RANDOM( SEMILLA ) ;
          PR := PR * ( 1 - RRAN ) ;
          DEM := DEM + 1 ;
        END ;
      DENDT := DEM ;
    END
  ELSE
    BEGIN
      DSU := SORT(P3) ;
      DENDT := DENDT(NDR,1, P3, DSU, Semilla) ;
    END ;
  END ;

```

```

BINEG :
BEGIN
  IF ( P2 - TRUNC(P2) ) = 0
  THEN
    BEGIN
      PR := 1 ;
      QP := 1 - P3 ;
      IBinNeg := 1 ;
      WHILE IBinNeg <= P2 DO
        BEGIN
          RRAN := RANDOM( SEMILLA ) ;
          PR := PR * ( 1 - RRAN ) ;
          IBinNeg := IBinNeg + 1 ;
        END ;
      C := LNC( PR ) / QP ;
      C := C + P2 ;
      DENDT := TRUNC( C ) ;
    END
  ELSE
    BEGIN
      K1 := DENDT(GM, 1, P2, 1, Semilla) ;
      P11 := K1 * P2 / ( 1 - P2 ) ;
      DENDT := DENDT( POI, 1, P2, P11, Semilla ) ;
    END ;
  END ;

```

HYP :

```

BEGIN
  DEM := 0 ;
  DendT := 0 ;
  IHyp := 1 ;
  WHILE IHyp <= P2 DO
    BEGIN
      RRAN := RANDOM( SEMILLA ) ;
      IF RRAN <= P3
      THEN
        BEGIN
          S := 1 ;
          DEM := DEM + 1 ;
          DENDT := DEM ;
        END ;
      END ;
    END ;
  END ;

```

```

      ELSE
        S := 0 ;
        P3 := ( P1 * P3 - S ) / ( P2 - 1 ) ;
        P1 := P1 - 1 ;
        IHyp := IHyp + 1 ;
      END ;
    END ;
  END ;

```

```

TABD :
  BEGIN

```

```

    RRAN := RANDDM( SEMILLA ) ;
    ID := 1 ;
    SioNo := 'no' ;
    DenDT := 0.0 ;
    Repeat
      If ( Rran <= SumProbDC ID )
      Then
        Begin
          DenDT := ValVarDC ID ;
          SioNo := 'SI' ;
        End ;
        ID := ID + 1 ;
      Until ( ( SioNo = 'SI' ) Or ( SioNo = 'si' ) )

```

```

  END ;

```

```

TABTD :
  BEGIN

```

```

    RRAN := RANDDM( SEMILLA ) ;
    ITD := 1 ;
    SioNo := 'no' ;
    DenDT := 0.0 ;
    Repeat
      If ( Rran <= SumProTDC ID )
      Then
        Begin
          DenDT := ValVarTDC ID ;
          SioNo := 'SI' ;
        End ;
        ITD := ITD + 1 ;
      Until ( ( SioNo = 'SI' ) Or ( SioNo = 'si' ) )

```

```

  End ;

```

```

TABTE :
  BEGIN

```

```

    RRAN := RANDDM( SEMILLA ) ;
    ITE := 1 ;
    SioNo := 'no' ;
    DenDT := 0.0 ;
    Repeat
      If ( Rran <= SumProTEC ID )
      Then
        Begin
          DenDT := ValVarTEC ID ;
          SioNo := 'SI' ;
        End ;
        ITE := ITE + 1 ;
      Until ( ( SioNo = 'SI' ) Or ( SioNo = 'si' ) )

```

```

  END ;

```

```

End ;
END ; ( DE LA FUNCION DEMDT )

```

```

Var
  IOrdna : Integer ;

BEGIN
  IOrdna := 2 ;
  TEOPP := TEOP[1] ;
  ORDPP := 1 ;
  WHILE IOrdna <= NUMORDP DO
    BEGIN
      IF TEOP[IOrdna] < TEOPP
      THEN
        BEGIN
          ORDPP := IOrdna ;
          TEOPP := TEOP[IOrdna] ;
          CPP := CPEND[ORDPP] ;
        END ;
        IOrdna := IOrdna + 1 ;
      END ;

    EVENTO[3] := TEOPP ;
  END ; { DEL PROCEDURE ORDENATEORDP }

```

```

PROCEDURE DENSID( ND : INTEGER ; VAR DEN : DENSIDAD_TIPO ; VAR P1 : INTEGER ; VAR P2
: REAL ) ;

```

```

Var
  SumaP : Real ;

BEGIN
  ( Window(7,15,72,21); )
  CASE ND OF

    1 : { CONSTANTE }
      BEGIN
        NormVideo;
        Barra_Cuadro(2,39,5,19);
        DEN := CTE ;
        P1 := 1 ;
        P2 := 1 ;
        Locate(3,9,'Deme el valor constante : ');
        READ( P3 ) ;
      END ;

    2 : { UNIFORME }
      BEGIN
        NormVideo;
        Barra_Cuadro(2,39,5,19);
        DEN := UNIF ;
        P1 := 1 ;
        Locate(3,9,'DEME EL INTERVALO :');
        Locate(3,10,' LIMITE INFERIOR = ');
        READ( P2 ) ;
        Locate(3,11,'LIMITE SUPERIOR = ');
        READ( P3 ) ;
      END ;

    3 : { EXPONENCIAL }
      BEGIN
        NormVideo;
        Barra_Cuadro(2,39,5,19);
        DEN := EXPO ;
        P1 := 1 ;

```

```

LOCATE(3,9,'DEME LOS PARAMETROS : ');
READ( P3 );
END ;
4 : ( GAMA )
BEGIN
  NormVideo;
  DEN := GAM ;
  P1 := 1 ;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,9,'DEME LOS PARAMETROS : ');
  Locate(3,10,' Alfa = ' ) ;
  READ( P2 );
  Locate(3,11,' Beta = ' ) ;
  READ( P3 );
END ;
5 : ( NORMAL )
BEGIN
  DEN := NOR ;
  P1 := 1 ;
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  Locate(3,9,'DEME LOS PARAMETROS : ');
  Locate(3,10,' MEDIA = ' ) ;
  READ( P2 );
  Locate(3,10,'VARIANZA = ' ) ;
  READ( P3 );
  P3 := SORT( P3 );
END ;
6 : ( JI - CUADRADA )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := JI ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME LOS GRADOS DE LIBERTAD : ' ) ;
  READLN( P3 );
END ;
7 : ( t DE STUDENT )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := T ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME LOS GRADOS DE LIBERTAD : ' ) ;
  READ( P3 );
END ;
8 : ( F DE SNEDECCOR )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := F ;
  P1 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME LOS GRADOS DE LIBERTAD : ');
  Locate(3,10,'DEL NUMERADOR = ' ) ;
  READ( P2 );
  Locate(3,11,'DEL DENOMINADOR = ' ) ;
  READLN( P3 );
END ;
9 : ( BINOMIAL )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);

```

```
10 : ( POISSON )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := POI ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME EL PARAMETRO : ' ) ;
  READ( P3 ) ;
END ;
```

```
11 : ( GEOMETRICA )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := BINEG ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME EL PARAMETRO : ' ) ;
  READ( P3 ) ;
END ;
```

```
12 : ( BINOMIAL NEGATIVA )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := BINEG ;
  P1 := 1 ;
  Locate(3,9,'DEME LOS PARAMETROS : ' ) ;
  Locate(3,10,' K = ' ) ;
  READ( P2 ) ;
  Locate(3,11,' P = ' ) ;
  READ( P3 ) ;
END ;
```

```
13 : ( HIPERGEOMETRICA )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := HYP ;
  Locate(3,9,'DEME LOS PARAMETROS : ' ) ;
  Locate(3,10,'TAMANO DE LA POBLACION = ' ) ;
  READ( P1 ) ;
  Locate(3,11,'TAMANO DE LA MUESTRA = ' ) ;
  READ( P2 ) ;
  Locate(3,12,' P = ' ) ;
  READ( P3 ) ;
END ;
```

```
14 : ( TABULAR PARA LA DEMANDA )
BEGIN
  NormVideo;
  Borra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := TABD ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  P3 := 1 ;
```

```

JDen := 1 ;
Locate(3,10,'DEME LOS VALORES DE LA VARIABLE : ');
Window(3,11,39,19);
For JDen := 1 To NumVDD Do
  Begin
    WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
    READLN(Va1VarD[JDen]);
  End;

Repeat
  JDen := 1 ;
  SumP := 0 ;
  WRITELN(' Deme las probabilidades : ');
  For JDen := 1 To NumVDD Do
    Begin
      WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
      READLN(Va1ProbD[JDen]);
      SumaP := SumaP + Va1ProbD[ JDen ];
      SumProbD[JDen] := SumP ;
    End;

    If ( SumP < 1.0 ) Then WriteLn(' La suma de las probabilidades no es 1 ');

Until ( SumP = 1.0 ) ;
Window(1,1,80,25);
END ;

```

15 : { TABULAR PARA EL TIEMPO ENTRE DEMANDAS }

```

BEGIN
  NormVideo;
  Barra_Cuadro(2,39,5,19);
  DEN := TABTD ;
  P1 := 1 ;
  P2 := 1 ;
  P3 := 1 ;
  Locate(3,9,'CUANTOS VALORES DE LA VARIABLE SON ? ');
  READ(MumVDTD);
  JDen := 1 ;
  Locate(3,10,'DEME LOS VALORES DE LA VARIABLE : ');
  Window(3,11,39,19);
  For JDen := 1 To NumVDD Do
    Begin
      WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
      READLN(Va1VarTDC[JDen]);
    End;

  Repeat
    JDen := 1 ;
    SumP := 0 ;
    WRITELN(' Deme las probabilidades : ');
    For JDen := 1 To NumVDD Do
      Begin
        WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
        READLN(Va1ProTDC[JDen]);
        SumaP := SumaP + Va1ProTDC[ JDen ];
        SumProTDC[JDen] := SumP ;
      End;

      If ( SumP < 1.0 ) Then WriteLn(' La suma de las probabilidades no es 1 ');

    Until ( SumP = 1.0 ) ;
    Window(1,1,80,25);
  END ;

```

END ;

```
10 ; ( INCLUIR PARA EL TIEMPO DE ENVÍO )
```

```
BEGIN
```

```
NoraVideo;
```

```
Borra_Cuadro(2,39,5,19);
```

```
DEN := TABTE ;
```

```
P1 := 1 ;
```

```
P2 := 1 ;
```

```
P3 := 1 ;
```

```
Locate(3,9,'CUANTOS VALORES DE LA VARIABLE SON ? ');
```

```
READ(NumVDTE);
```

```
JDen := 1;
```

```
Locate(3,10,'DEME LOS VALORES DE LA VARIABLE : ');
```

```
Window(3,11,39,19);
```

```
For JDen := 1 To NumVDTE Do
```

```
  Begin
```

```
    WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
```

```
    READLN(ValVarTECJDen);
```

```
  End;
```

```
Repeat
```

```
  JDen := 1 ;
```

```
  SumP := 0 ;
```

```
  WRITELN(' Deme las probabilidades : ');
```

```
  For JDen := 1 To NumVDTE Do
```

```
    Begin
```

```
      WRITE(' Valor Numero ', JDen:3, ' : ');
```

```
      READLN(ValProTECJDen);
```

```
      SumoP := SumoP + ValProTEC JDen ;
```

```
      SumProTECJDen := SumP ;
```

```
    End;
```

```
  If ( SumP <> 1.0 ) Then WriteLn(' La suma de las probabilidades no es 1 ');
```

```
Until ( SumP = 1.0 ) ;
```

```
Window(1,1,80,25);
```

```
END ;
```

```
END ; { DEL CASE }
```

```
END ; { DEL PROCEDURE DENSID }
```

```
Type
```

```
Matrix = Array [1..15] of Real ;  
TipoGrupo = (NoAgrupado,Agrupado);  
DENSIDAD_TIPO = ( CTE,UNIF,EXPO,GAM,NOR,  
                  JI,T,F,BIN,POI,BINEG,  
                  HYP,TABD, TABTD, TABTE );  
GRADOS_JI = ( PAR, INPARCH, INPARG );  
RANGO = ARRAY[1..10] OF REAL ;  
VECTOR = ARRAY[1..30] OF REAL ;  
CADENA = STRING[2];
```

```
Var
```

```
Fa, Fx, Fx2, Promedio,  
VecResto, XCuadrada,  
PtoMedio, Auxiliar,  
Original, Cob1,Cob2 : Matrix ;  
X,Stat,men,alt,medi : Integer ;  
flag2, Paso : boolean;  
  
Respuesta, Algo : Char ;  
ComPAS : CADENA ;
```

```

CTEMP, LOR
ValVarD, ValVarTD, ValVarTE,
ValPrabD, ValPrabTD, ValPrabTE,
SumPrabD, SumPrabTD, SumPrabTE : ARRAYD..100J OF REAL ;
FDD , FDTE , FDD : DENSIDAD_TIPO ;
GRADOS : GRADOS_JI;
OTRASIX, ANASEN, MINHIF,
MODIF , DETPAN, CAMBIAMOD, SioNo,
RESEST, OpFall, NoMas : STRINGC2J;

CT : VECTOR ;

```

```

Valor, Q, R, REORDEN, InvSeg, LQ, UD,
IQ, LREORDEN, UREORDEN, IREORDEN,
LR, UR, IR, LT, UT, IT, CO, CA,
CF, CR, CP, P2TU, P3TD, P2TE, P3TE,
P2D, P3D, P2, P3, TI, RRAN,
CAFALT, CFALTA, CFALTC, CFALTP,
Cdemo, CIEMP, CDEM, CALMA, CALMP,
THAESTRO, TAUX, TDIF, INVNETO,
INVFISICO, POSINV, CPP, TEOPP, TREV,
TRESEST, TEA, CAP, CAA, COP,
COA, CRP, CRA, CFP, CFA, CIP,
CTA, CFPP, CFPA, SUMP, SUMD, P,
POSTMAUX, RANGOAS, INCAS, MA,
LIG, LsD, LiR, LsR, LiReorden,
LsReorden, LiT, LsT, IncD , Inck ,
IncReorden, IncI, D, NumI, Semilla,
Tre, SemillaAux : REAL;

```

```

TDSIM, BACKOR, NUMDEMP,
NUMDENTD, NUMDENTE, NUMDEND,
OPANSEN, J, REVCOD,
PITE, PITD, PID, NVFALTA,
NVFALTP, NUMORDP, NAORD, NPORD,
ORDPP, NREVA, NREVP, IEA, ProcAux,
CONTSIM, NR, PRODC, NUMMOD, MismaSea,
OTROMODELO, I, N, IND, AI, IAX, Num,
Cont, Nda, Pedir, Inón, JDen, ITD, ITTD, ITTE,
NumVDD, NumVTD, NumVTE : Integer ;

```

PROCEDURE INICIO ;

BEGIN

```

ClrScr;
Size_Cursor(0,7);
MARCO(1,79,1,3); {Superior}
MARCO(1,4,4,22); {Izquierdo}
MARCO(6,73,4,22); {Grandote}
MARCO(75,79,4,22); {Derecho}
MARCO(1,79,23,25); {Inferior}
LOCATE(2,20,'Sistema Simulador de Inventarios ( S I S I ) ');
SlowPoint(6,10,' ESTE SISTEMA LE PERMITE REALIZAR SIMULACIONES CON DIVERSOS ');
SlowPoint(7,7,' MODELOS DE INVENTARIOS, TANTO DETERMINISTICOS ');
SlowPoint(9,10,' - MODELO DE LOTE ECONOMICO CON VARIANTES ');
SlowPoint(10,10,' - MODELO DE PRODUCCION ');
SlowPoint(12,7,' COMO ESTOCASTICOS : ');
SlowPoint(14,10,' - MODELO <Q,r> ');

```

```

SlowPoint(17,10,' - MODELO (R,r,T) ');
GoToXY(31,24);
ReadIn;
Borra_Cuadro(7,72,6,21);
SlowPoint(6,10,' ADMITIENDO 12 FORMAS DIFERENTES PARA CUALQUIERA DE LAS ');
SlowPoint(7,7,' DISTRIBUCIONES SIGUIENTES : ');
SlowPoint(8,10,' - TIEMPO ENTRE DOS DEMANDAS CONSECUTIVAS ');
SlowPoint(9,10,' - TIEMPO DE ENVIO DE UNA ORDEN ');
SlowPoint(10,10,' - DEMANDA ');
SlowPoint(11,7,' O BIEN, PERMITE BUSCAR EL MINIMIO EN UN HIPERCUBO, PARA LO');
SlowPoint(12,7,' CUAL ES NECESARIO DAR VALORES INFERIORES Y SUPERIORES A');
SlowPoint(13,7,' LAS VARIABLES DEL MODELO ELEGIDO. SI SE ESCOGE ESTA OPCION,');
SlowPoint(14,7,' UNA VEZ DETERMINADO EL "OPTIMO", SE PROCEDE A REALIZAR UN');
SlowPoint(15,7,' GRAN NUMERO SIMULACIONES PARA OBTENER UN INTERVALO DEL 95%');
SlowPoint(16,7,' DE CONFIANZA PARA EL COSTO TOTAL DEL INVENTARIO. ');
SlowPoint(17,7,' EN CASO DE FALTANTES, SE CONSIDERAN DOS OPCIONES : ');
SlowPoint(19,10,' - PERDIDA DE VENTAS ');
SlowPoint(20,10,' - RETRASO DE VENTAS ');
GoToXY(31,24);
ReadIn;
Borra_Cuadro(7,72,6,21);
SlowPoint(6,7,' EN CUANTO A OPCIONES DE REVISION DEL INVENTARIO, ESTA PUEDE SER:');
SlowPoint(8,10,' - REVISION CONTINUA ');
SlowPoint(9,10,' - REVISION PERIODICA ');
SlowPoint(11,7,' EL PROCESO DE LA SIMULACION PUEDE SER VISTO EN LA PANTALLA Y');
SlowPoint(12,7,' GUARDADO EN UN ARCHIVO, Y PUEDE PRESENTARSE : ');
SlowPoint(14,10,' - TODO EL PROCESO DE SIMULACION ');
SlowPoint(15,10,' - SOLO RESUMENES PARCIALES ');
SlowPoint(16,10,' - SOLO EL RESUMEN FINAL ');
SlowPoint(17,7,' UNA VEZ OBTENIDO EL COSTO TOTAL DEL INVENTARIO, SE DA LA OPCION');
SlowPoint(18,7,' PARA REALIZAR UN ANALISIS DE SENSIBILIDAD, QUE PUEDE SER AUTOMA');
SlowPoint(19,7,' TICO O CONTROLADO POR EL USUARIO DESDE LA TERMINAL. EN CASO DE ');
SlowPoint(20,7,' ELEGIR EL ANALISIS AUTOMATICO, POR DEFAULT SE REALIZAN SIMULA');
SlowPoint(21,7,' CIONES EN UN RANGO DE + 0 - EL 10% DE LOS VALORES OPTIMOS DE ');
GoToXY(31,24);
ReadIn;
Borra_Cuadro(7,72,6,21);
SlowPoint(6,7,' LAS VARIABLES, CON INCREMENTOS DEL 5%, ES DECIR, POR EJEMPLO, ');
SlowPoint(7,7,' SE REALIZAN SIMULACIONES PARA LOS SIGUIENTES VALORES DE r: ');
SlowPoint(8,7,' .90r, .95r, 1.0r, 1.05r Y 1.1r, VARIANDO DE IGUAL MANERA CADA ');
SlowPoint(9,7,' VARIABLE. SI SE DESEA SE PUEDEN CAMBIAR LOS VALORES DEL RANGO ');
SlowPoint(10,7,' Y DE LOS INCREMENTOS. ');
SlowPoint(18,15,' *** INICIA EL PROCESO *** ');
GoToXY(31,24);
ReadIn;
Borra_Cuadro(7,72,6,21);
END ; { DEL PROCEDURE INICIO }

```

ANEXO 3

REPORTE COMPLETO DE UNA SALIDA

DEL SISTEMA SIGI

S I S I
Sistema Simulador de Inventarios

Leovigildo López García
Division de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería, UNAM
Junio de 1988

<ENTER> para continuar

Sistema Simulador de Inventarios

(S I S I)

ESTE SISTEMA LE PERMITE REALIZAR SIMULACIONES CON DIVERSOS MODELOS DE INVENTARIOS, TANTO DETERMINISTICOS :

- MODELO DE LOTE ECONOMICO CON VARIANTES
- MODELO DE PRODUCCION - INVENTARIO

COMO ESTOCASTICOS :

- MODELO $\langle Q, r \rangle$
- MODELO $\langle R, T \rangle$
- MODELO $\langle nQ, r, T \rangle$
- MODELO $\langle R, r, T \rangle$

Sistema Simulador de Inventarios

(S I S I)

ADMITIENDO 14 FORMAS DIFERENTES PARA CUALQUIERA DE LAS DISTRIBUCIONES SIGUIENTES :

- TIEMPO ENTRE DOS DEMANDAS CONSECUTIVAS
- TIEMPO DE ENVIO DE UNA ORDEN
- DEMANDA

O BIEN, PERMITE BUSCAR EL MINIMIO EN UN ESPACIO, PARA LO CUAL ES NECESARIO DAR VALORES INFERIORES Y SUPERIORES A LAS VARIABLES DEL MODELO ELEGIDO. SI SE ESCOGE ESTA OPCION, UNA VEZ DETERMINADO EL "OPTIMO", SE PROCEDE A REALIZAR UN GRAN NUMERO SIMULACIONES PARA OBTENER UN INTERVALO DEL 95% DE CONFIANZA PARA EL COSTO TOTAL DEL INVENTARIO.

EN CASO DE FALTANTES, SE CONSIDERAN DOS OPCIONES :

- PERDIDA DE VENTAS
- RETRASO DE VENTAS

Sistema Simulador de Inventarios

(S I S I)

EN CUANTO A OPCION DE REVISION DEL INVENTARIO, ESTA PUEDE SER:

- REVISION CONTINUA
- REVISION PERIODICA

EL PROCESO DE LA SIMULACION PUEDE SER VISTO EN LA PANTALLA Y GUARDADO EN UN ARCHIVO, Y PUEDE PRESENTARSE ;

- TODO EL PROCESO DE SIMULACION
- SOLO RESUMENES PARCIALES
- SOLO EL RESUMEN FINAL

UNA VEZ OBTENIDO EL COSTO TOTAL DEL INVENTARIO, SE DA LA OPCION PARA REALIZAR UN ANALISIS DE SENSIBILIDAD, QUE PUEDE SER AUTOMATICO O CONTROLADO POR EL USUARIO DESDE LA TERMINAL. EN CASO DE ELEGIR EL ANALISIS AUTOMATICO, POR DEFAULT SE REALIZAN SIMULACIONES EN UN RANGO DE + 0 - EL 10% DE LOS VALORES OPTIMOS DE

Sistema Simulador de Inventarios

(S I S I)

LAS VARIABLES, CON INCREMENTOS DEL 5%, ES DECIR, SE REALIZAN SIMULACIONES PARA LOS SIGUIENTES VALORES DE r: .90r, .95r, 1.0r, 1.05r Y 1.1r, VARIANDO DE IGUAL MANERA CADA VARIABLE. SI SE DESEA SE PUEDEN CAMBIAR LOS VALORES DEL RANGO Y DE LOS INCREMENTOS.

*** INICIA EL PROCESO ***

SISTEMA SIMULADOR DE INVENTARIOS

(S I S I)

MODELO DE LOTE ECONOMICO CON VARIANTES
MODELO DE PRODUCCION

MODELO <Q,r>
MODELO <R,T>
MODELO <nQ,r,T>
MODELO <R,r,t>

SISTEMA SIMULADOR DE INVENTARIOS

(S I S I)

Se consideran dos opciones en caso
de faltantes :

Retraso de Ventas
Pérdida de Ventas

Deme los sig. parámetros:

Tamaño Lote Económico, $Q = 5$
Nivel de Reorden, $r = 14$
Tiempo entre Revisiones, $T = 8$
Costo de Ordenar, $Co = 10$
Costo de Almacenar, $Ca = 10$
Costo de Faltantes, $Cf = 10$
Costo de Revisión, $Cr = 10$

Escoja las distribuciones

Desea que se busque el minimo ? : no

(S I S I)

Para el Tiempo de Envío :
Deme el valor constante : 7

Duración de la simulación (Días)
TdSim = 40
Cada cuanto tiempo (Días) ? 8
Opciones para ver el proceso :
1) Todo el proceso
2) Resúmenes Parciales
3) Resumen Final

CONSTANTE
UNIFORME
EXPONENCIAL
GAMMA
NORMAL
JI - CUADRADA
T DE STUDENT
F DE SNEDECCOR
BINOMIAL
POISSON
GEOMETRICA
BINOMIAL NEGATIVA
HIPERGEOMETRICA
TABULAR

Escoja las distribuciones

Cuál es su opción ? : 2

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

M O D E L O : <nQ,r,T>

C A S O : RETRASO DE VENTAS

ORDENAR n VECES : 5.00
NIVEL DE REORDEN : 14.00
TIEMPO ENTRE REVISIONES : 8.00

COSTO DE ORDENAR : 10.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 10.00
COSTO DE FALTANTES : 10.00
COSTO DE REVISION : 10.00

DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (7.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (3.00)

DURACION DE LA SIMULACION : 40 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

(S I S I)

Para el Tiempo de Envío :
Deme el valor constante : 7

Duración de la simulación (Días)
TdSim = 40
Cada cuanto tiempo (Días) ? 8
Opciones para ver el proceso :
1) Todo el proceso
2) Resúmenes Parciales
3) Resumen Final

CONSTANTE
UNIFORME
EXPONENCIAL
GAMMA
NORMAL
JI - CUADRADA
T DE STUDENT
F DE SNEDECOR
BINOMIAL
POISSON
GEOMETRICA
BINOMIAL NEGATIVA
HIPERGEOMETRICA
TABULAR

Escoja las distribuciones

Cuál es su opción ? : 2

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACION :

MODELO : <nQ,r,T>
CASO : RETRASO DE VENTAS
ORDENAR n VECES : 5.00
NIVEL DE REORDEN : 14.00
TIEMPO ENTRE REVISIONES : 8.00
COSTO DE ORDENAR : 10.00
COSTO POR MANTENER EN INVENTARIO : 10.00
COSTO DE FALTANTES : 10.00
COSTO DE REVISION : 10.00
DISTRIBUCION DEL TIEMPO ENTRE DEMANDAS : CONSTANTE (2.00)
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE ENVIO : CONSTANTE (7.00)
DISTRIBUCION DE LA DEMANDA : CONSTANTE (3.00)
DURACION DE LA SIMULACION : 40 DIAS

*** Oprima RETURN para continuar ***

Se Realizara Una Simulacion

*** Oprima RETURN para iniciar ***

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 9.00 (DIAS)

CONCEPTO	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	4
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	12.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	0	0
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	0.000	0.000
CANTIDAD ALMACENADA	14.500	14.500
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	1
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	1
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	0.00	0.00
PROMEDIO DE FALTANTES	0.00	0.00
DE ALMACENAMIENTO	145.00	145.00
DE REVISIONES	10.00	10.00
DE ORDENAR	10.00	10.00
T O T A L	165.00	165.00

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 16.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	8
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	24.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	1
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.250	0.125
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	2.000	2.000
CANTIDAD ALMACENADA	4.000	9.250
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	2
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	2
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	20.00	20.00
PROMEDIO DE FALTANTES	2.50	1.25
DE ALMACENAMIENTO	40.00	92.50
DE REVISIONES	10.00	20.00
DE ORDENAR	10.00	20.00
T O T A L	62.50	133.75

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 24.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	12
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	36.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	3
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.750	0.333
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	4.000	6.000
CANTIDAD ALMACENADA	2.500	7.000
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	3
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	3
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	40.00	60.00
PROMEDIO DE FALTANTES	7.50	3.33
DE ALMACENAMIENTO	25.00	70.00
DE REVISIONES	10.00	30.00
DE ORDENAR	10.00	30.00
T O T A L	52.50	133.33

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 32.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	16
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	48.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	2	5
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	1.500	0.625
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	6.000	12.000
CANTIDAD ALMACENADA	1.875	5.719
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	4
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	4
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	60.00	120.00
PROMEDIO DE FALTANTES	15.00	6.25
DE ALMACENAMIENTO	18.75	57.19
DE REVISIONES	10.00	40.00
DE ORDENAR	10.00	40.00
T O T A L	53.75	143.44

RESUMEN PARCIAL DE INFORMACION HASTA EL TIEMPO : 40.00 (DIAS)

C O N C E P T O	POR PERIODO	ACUMULADO
NUMERO DE DEMANDAS RECIBIDAS	4	20
CANTIDAD DEMANDADA	12.000	60.000
NUMERO DE VECES QUE HUBO FALTANTES	1	6
CANTIDAD PROMEDIO DE FALTANTES	0.375	0.575
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	3.000	15.000
CANTIDAD ALMACENADA	3.125	5.200
NUMERO DE ORDENES (REABASTECIMIENTOS)	1	5
NUMERO DE REVISIONES DEL INVENTARIO	1	5
C O S T O S		
TOTAL DE FALTANTES	30.00	150.00
PROMEDIO DE FALTANTES	3.75	5.75
DE ALMACENAMIENTO	31.25	52.00
DE REVISIONES	10.00	50.00
DE ORDENAR	10.00	50.00
T O T A L	55.00	157.75

RESULTADOS FINALES DE LA SIMULACION

C O N C E P T O	V A L O R
NUMERO TOTAL DE DEMANDAS RECIBIDAS	20
CANTIDAD TOTAL DEMANDADA	60.000
NUMERO TOTAL DE VECES QUE HUBO FALTANTES	6
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	0.575
CANTIDAD TOTAL DE FALTANTES	15.000
CANTIDAD TOTAL ALMACENADA	5.200
NUMERO TOTAL DE ORDENES (REABASTACIMIENTOS)	3
NUMERO TOTAL DE REVISIONES DEL INVENTARIO	5

C O S T O S

TOTAL DE FALTANTES	150.00
PROMEDIO ANUAL DE FALTANTES	5.75
TOTAL DE ALMACENAMIENTO	52.00
TOTAL DE REVISIONES	50.00
TOTAL DE ORDENAR	50.00
T O T A L	157.75

Cuantos parametros cambia ? : 1

Elija la(s) opcion(es) deseada(s)

Opción 1 : 1

1: Opc. de minimización
2: D
3: Q o R
4: r
5: s
6: p
7: Co
8: Ca
9: Cf
10: Cr
11: Cp
12: Duración de la Simulación
13: Opciones para faltantes
14: Dist. del tiempo entre demandas
15: Dist. Del tiempo de envío
16: Dist. de la cantidad demandada
17: Frec. de resúmenes estadísticos
18: Frec. de revisión de inventario
19: Opción para ver el proceso
20: Análisis de sensibilidad
21: CAMBIO TOTAL

FASE DE MODIFICACION

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hadley and Within. ANALISIS OF INVENTORY SYSTEMS. Prentice Hall International. 1963.
- [2] Naylor, Balintfy, Burdick and Chu. COMPUTER SIMULATION TECHNIQUES. New York. Jhon Wiley. 1966
- [3] Naylor T. H. EXPERIMENTOS DE SIMULACION EN COMPUTADORAS CON MODELOS DE SISTEMAS ECONOMICOS. Limusa. 1982
- [4] Posada de López Adelita. ANALISIS E IMPLANTACION DE UN MODELO DE INVENTARIOS. Tesis de Maestria. Investigación de Operaciones. DEPEFI, UNAM. Mayo de 1988
- [5] Antonio Peralta, David Flores y Arturo López. ESTUDIO DE UN MODELO DE INVENTARIOS CON EL METODO DE TUNELIZACION. Tesis de Actuario. Universidad de las Américas Puebla. Diciembre de 1987
- [6] Levy A. V. y Gómez G. Susana. THE TUNELING METHOD APPLIED TO GLOBAL OPTIMIZACION. NUMERICAL OPTIMIZATION. 1984. Eds. P. Boggs, R. Byrd and R. Schnabel. SIAM 1985.
- [7] López García Leovigildo. UN ESTUDIO ACERCA DE LOS COSTOS REQUERIDOS EN EL CONTROL DE INVENTARIOS. ICONSA. 1980
- [8] Banco de México. INDICADORES ECONOMICOS. 1987
- [9] Taha, H. A. OPERATIONS RESEARCH. AN INTRODUCTION. Collier MacMillan Publishers. London 1976
- [10] Méndez, Ignacio. CONCEPTOS MUY ELEMENTALES DEL MUESTREO, CON ENFASIS EN LA DETERMINACION PRACTICA DEL TAMAÑO DE MUESTRA. Comunicaciones Técnicas, IIMAS, UNAM. México 1976

- [11] Hoel, Port and Stone. INTRODUCTION TO PROBABILITY THEORY. Houghton Mifflin, Boston. 1971
- [12] Carl G. Baumes. NATIONAL INDUSTRIAL CONFERENCE BOARD. INVENTORY MANAGEMENT IN INDUSTRY. Division of Business Practices, New York. 1958.
- [13] Levy A. V. y Montalvo A. ALGORITMO DE TUNELIZACION PARA LA OPTIMIZACION GLOBAL DE FUNCIONES. Comunicaciones Técnicas del IIMAS, UNAM, Serie Naranja, E 24. 1979.
- [14] Fishman, G. S. PRINCIPLES OF DISCRETE EVENT SIMULATION. Wiley Interscience. 1978.
- [15] Kreyszig. ESTADISTICA MATEMATICA. Limusa, México, 1976.
- [16] Siegel, B. ESTADISTICA NO PARAMETRICA. Trillas, México. 1976.
- [17] Gordon, Geoffrey. SYSTEM SIMULATION. Prentice Hall International. 1978.
- [18] Shannon, R. E. SYSTEM SIMULATION; THE ART AND SCIENCE. Prentice Hall International. 1975.
- [19] Johnson y Montgomery. OPERATIONS RESEARCH IN PRODUCTION PLANNING, SCHEDULING AND INVENTORY CONTROL. John Wiley and Sons. 1974.
- [20] Shamblin J. E. y Stevens G. T. INVESTIGACION DE OPERACIONES. Un Enfoque Fundamental. Trillas. 1975.
- [21] Schmidt J. W. y Taylor G. T., Jr. ANALISIS Y SIMULACION DE SISTEMAS INDUSTRIALES. Trillas. 1979