1975

centro de educación continua

división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

La Facultad de Ingeniería, por conducto del Centro de Educación Continua, otorga constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar el Segundo Día de Clases, en las oficinas del Centro, con la Señorita Barraza, de lo contrario no será posible.

El control de asistencia se efectuará a través de la persona encargada de entregar notas, en la mesa de entrega de material, mediante listas especiales. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tésis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Al finalizar el curso se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, es importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción con los datos que se les solicitan al iniciarse el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
COORDINADOR DE CURSOS.

'eds.

Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95

Nov. 11	18 a 21 h	SIMULACION EN COMPUTADORA Descripción del compilador DYNAMO y su utilización. El sistema de inventarios, objetivos, información y decisiones. Diagramas de flujo. Simulación, utilizando la computadora, de un problema.	M.en I. Jesús Acosta
Nov. 13	18 a 21 h	MODELOS ESTOCASTICOS Modelos con un solo periodo y costos variables Modelos con un solo periodo y costos fijos. Modelos de periodos múltiples con y sin costos fijos. Modelos sin costo fijo para productos múltiples, solución de un caso.	Act.Arcadio Gamboa Medina
Nov. 18 y 25	18 a 21 h	ANALISIS DE DECISIONES Se describirá la teoría de decisiones estadística, necesaria para resolver problemas de control de inventarios. Solución de un caso.	M.en I. Jesús Acosta
Nov. 27	18 a 21 h	EJEMPLO DE APLICACIONES	Act. Carlos González
	21 a 22 h	MESA REDONDA	PROFESORES DEL CURSO
	22 h	CLAUSURA	

centro de educación continua
facultad de ingeniería, unam

LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS

INTRODUCCION

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

Tacuba 5, primer piso. México 1, D.F.
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95

" ANALISIS Y CONTROL DE SISTEMAS DE INVENTARIOS "

POR EL

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

OCTUBRE, 1975

tiene un proceso repetitivo en la función de construcción, generalmente las empresas cuentan con almacén de materiales, sobre todo si la adquisición implica concurso entre proveedores y tiempos amplios de suministro.

3. INVENTARIOS DE PRODUCTOS SEMITERMINADOS O TERMINADOS.
En la función de distribución de la producción a los clientes, se almacenan productos con diferente grado de acabado. Al mantener este inventario se disminuye la demora en el suministro a los clientes. Por lo general, entre menos terminados se encuentren los productos más tardará la entrega, pero el costo de mantener las existencias será menor.

4. INVENTARIOS DE REFACCIONES Y ARTICULOS PARA CONSERVACION
Este tipo de almacenaje sirve de apoyo para expeditar las funciones de conservación y mantenimiento. Por ejemplo, en empresas de servicio de transporte ferroviario se mantienen almacenes de artículos necesarios para la conservación y mantenimiento de vías, estructuras, terminales y telecomunicaciones, así como inventarios para reparación, conservación y mantenimiento del equipo tractivo y de arrastre. Otro tanto sucede con las empresas de transporte aéreo para el mantenimiento del equipo de vuelo.

5. INVENTARIOS DE ARTICULOS DE CONSUMO
Este tipo de almacenaje de artículos de consumo lo practican casi en su totalidad todas las empresas e instituciones en el desempeño de sus funciones administrativas, al mantener inventarios de papelería y artículos de oficina. Principalmente las empresas del sector servicios, como son las entidades del Gobierno Federal y los Gobiernos Estatales, inciden en grandes inventarios de este tipo.

En México, las empresas del sector paraestatal, según sus funciones y atribuciones específicas utilizan sistemas de inventarios que incluyen uno, varios o todos los tipos de inventarios anteriores.

Por otra parte, atendiendo a las bodegas de almacenaje, estas pueden ser una o varias, localizadas en una misma zon o en diversas zonas del país.

Las bodegas podrán ser propias, logrando la empresa el control total de todos los aspectos del almacenaje, sobre todo los concernientes a pérdida o daño de los artículos por mal manejo o robo. Las bodegas públicas pueden ser del tipo que manejan carga general, graneles o productos que requieren refrigeración. Se utilizan generalmente en la distribución de productos para el manejo de los volúmenes excedentes en períodos críticos.

Adicionalmente a los tipos enumerados anteriormente, existe una amplia variedad de problemas de inventarios. Las empresas del sector de servicios financieros tienen problemas serios de control del inventario de efectivo, el cual hay necesidad de mantenerlo debido a la demanda de los cuentahabientes y a las disposiciones del sistema de depósito legal que establece como norma el Banco de México. Por tanto ese dinero ocioso deberá administrarse convenientemente, pudiendo utilizar conceptos y modelos derivados de la teoría de inventarios.

Los aspectos de administración de niveles de personal son también en su mayoría problemas de inventarios. Así por ejemplo las empresas de aviación comercial deben mantener un cierto nivel de inventario de sobrecargos. Si se capacita un alto número, habrá que cubrir los sueldos del personal no asignado, y si se tiene un déficit, habrá que cancelar vuelos o tomar medidas de emergencia, que de cualquier manera implican costos adicionales a la empresa.

Aún cuando el contexto de los sistemas de inventarios es muy amplio, el presente documento se restringirá a los cinco tipos de inventarios enumerados, que se refieren a la producción, distribución y mantenimiento de artículos.

CARACTERISTICAS DE LA DEMANDA

Al analizar la demanda representada por las requisiciones al almacén, se distinguen las siguientes características de la misma:

a. *Tamaño de la demanda.*

Se expresa por x, en toneladas, unidades, etc. La demanda esperada en períodos futuros puede ser conocida de antemano, en cuyo caso el sistema de inventarios se dice determinístico*.

Si la demanda no se conoce con certeza, el sistema de inventarios se dice probabilístico. En este caso posiblemente se conozca la función de distribución de probabilidades $f(x)$ o por lo menos una medida de su tendencia central y de su dispersión, ya sea en forma estadística, o en forma subjetiva dada por la experiencia.

b. *Tasa de la demanda.*

Es el tamaño de la demanda por unidad de tiempo y se designa por r. Si se presenta una demanda x en un período de tiempo t, la tasa de demanda está dada por $r = x/t$.

Para sistemas probabilísticos se utiliza la tasa de demanda promedio. Si $\bar{x}(t)$ es la demanda promedio durante el período t, la tasa de demanda promedio será: $r = \bar{x}(t)/t$.

* En este documento se considera siempre que la reposición al almacén está bajo control del que toma decisiones. Para los sistemas de inventarios en los cuales la reposición es probabilística existe toda una teoría para su análisis y control, como es el caso de presas de almacenamiento, en el cual la demanda de agua para riego puede considerarse conocida, pero la reposición de agua de lluvia a la presa es resultado de un proceso estocástico.

B I B L I O G R A F I A

[1] Nador, E., *Inventory Systems*, John Wiley & Sons, Inc. 1966.

[2] Ackoff, R.L. y Sasieni; M.W., *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, Editorial Limusa-Wiley, S.A., 1971.

[3] Hadley, G. y Within, T.M., *Analysis of Inventory Systems*, Prentice Hall, Inc., 1963.

[4] Jenkins, C.H., *Modern Warehouse Management*, Mc Graw Hill, 1968.

[5] Wagner, H., *Statistical Management of Inventory Systems*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1962.

[6] Hanssmann, F., *Operations Research in Production and Inventory Control*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1962.

[7] *The EDP Master Plan*, An action for the Implementation of the Electronic Data Processing Policy in the Federal Government, Gobierno de Canada, Treasury Board Secretariat, Diciembre 1972.

[8] Within, T.M., *Theory of Inventory Management*, Princeton University Press, 1963.

[9] Márquez, J., "Business Planning and Analysis: an Inventory Model Considering Random Demand with a Different Distribution Function per Unit Time", presentado en la Reunión del A.I.C.H.E.-I.M.I.Q., Denver, Colorado, 1970.

[10] Brown, R., *Statistical Forecasting for Inventory Control*, Mc Gray Hill Book Co., Nueva York, 1959.

expresa como q_i. Si el tamaño del pedido es el mismo en cada pedido se escribe q y se dice que es el "tamaño del lote".

IV. FUNCION DE COSTOS

En los sistemas de inventarios solo los siguientes costos se consideran significativos y sujetos a control:

a. Costo de Mantenimiento del Inventario
b. Costo por Déficit en Almacén
c. Costo de Adquisición para reposición de Inventarios.

a. *Costo de Mantenimiento del Inventario*
Este costo se representa por lo general como:

$$C_1 = I_1 c_1 \qquad (1)$$

donde C_1 es el costo de mantenimiento del inventario por unidad de tiempo, I_1 es la cantidad de inventario promedio por unidad de tiempo y c_1 es el costo unitario de mantenimiento del inventario por unidad de tiempo y por unidad del inventario.

El costo unitario c_1 es a su vez función de una serie de componentes de costo, a saber:

1. Costo de operación del almacén, que incluye los costos de renta o depreciación de instalaciones y equipo, consumos, sueldos y salarios de operadores, personal de estiba y administrativo, reparación de instalaciones y equipo, gastos de oficina, comunicaciones, impuestos y varios.

corresponde a los costos de equipo ocioso o de programas de producción interrumpidos.

Si el almacén es de materiales para programas de construcción en que se afecta la ruta crítica, el costo puede ser el de las sanciones asociadas con los retrasos respectivos del programa de construcción.

En los casos anteriores no hay pérdida de la requisición y se supone que los costos son proporcionales tanto al déficit como a la duración del mismo.

En el caso de sistemas de inventario de artículos de consumo es posible que se pierda la venta, lo cual implica un costo fijo cada vez que se incurre en el déficit, que incluye la utilidad no realizada de dicha requisición y las consecuencias subjetivas que puede ocasionar el no satisfacer la demanda.

c. *Costo de las Adquisiciones*

$$C_3 = I_3 \, c_3 \qquad (3)$$

donde C_3 es el costo de los pedidos para reposición de inventarios por unidad de tiempo, I_3 es el número promedio de reposiciones por unidad de tiempo y c_3 es el costo de cada pedido.

El costo del pedido de q unidades puede hacerse con un proveedor externo a la empresa, en cuyo caso se incluyen adicionalmente al costo de las unidades, los costos de elaboración del pedido (fijos y variables), de transporte del proveedor a la bodega y seguro, de descarga e inspección y otros.

Si el pedido se refiere a la producción de q unidades dentro de la propia

Optimizacion ha contribuido muy sustancialmente a resolver el problema de inventarios.

De la ecuación (4) se puede observar que para minimizar C, es necesario conocer las características del problema, los parámetros c_1, c_2 y c_3, así como las expresiones de I_1, I_2 e I_3 en términos de las variables decisionales: cuándo hacer los pedidos para abastecer el inventario y cuál debe ser el tamaño del pedido.

La teoría de inventarios aplica el análisis de sistemas en la solución de problemas de inventarios de acuerdo con los siguientes pasos: a. determinación de las propiedas y características del sistema, b. formulación del problema de inventarios, c. desarrollo de un modelo matemático de optimización que represente al sistema, d. selección de método o algoritmo de solución del modelo y e. derivación de la solución óptima del sistema de inventarios

La teoría de inventarios, iniciada en 1915 por F.W. Harris, que se considera publicó la clásica fórmula del tamaño del lote óptimo (pedido óptimo), y que a partir de la terminación de la segunda guerra mundial ha tenido un gran auqe*, se ha preocupado por la optimización del costo total C, considerando siempre conocidos c_1, c_2 y c_3.

Sin embargo, a continuación se postula la necesidad y conveniencia de analizar los problemas de inventarios eliminando la hipótesis anterior.

En efecto, se discute la posibilidad de realizar el control de inventarios y la minimización de costos, tanto reduciendo los costos unitarios, como aplicando modelos de optimización a la expresión (4).

Como tésis se apunta la necesidad de jerarquizar el control de inventarios, iniciando una revisión de los costos c_1 y c_2 principalmente, buscando su

* Al final de este documento se presenta una lista bibliográfica de publicaciones sobre el tema de inventarios.

siderúrgica integrada del sector paraestatal, que responderá dentro de poco por el 50 % de la producción de acero en el país, mantiene inventarios para las adquisiciones de empresas del sector no-integrado y de las empresas generadoras y distribuidoras de energéticos, que responden por el 100 % de la producción nacional, así como de empresas prestadoras de servicios de transporte y telecomunicaciones. Estas a su vez proporcionan bienes y servicios fundamentales a la operación de la industria siderúrgica básica.

2. Existe una gran experiencia de varios años en el control computarizado de inventarios por parte de la empresa productora de energéticos más importante de México.

3. El sector paraestatal cuenta con el 27 % de la capacidad de computación instalada en el país.

4. Por tanto esta coyuntura permite concluir sobre la ventaja de establecer primeramente un "sistema de codificación" de inventarios común a todas las empresas que lo ameriten.

5. En segundo lugar, la creación de un Centro de Aplicaciones de Computación al área de inventarios. Este servicio tan especializado se ofrecería a todas las empresas del sector paraestatal que lo requirierán, para las aplicaciones de inventarios, de acuerdo con las características y necesidades del propio país.

6. Este tipo de aplicación de los sistemas de cómputo, desarrollado en México, haría mínimo el problema de utilización de equipo de cómputo extranjero, dado que, como apuntan acertadamente los canadienses, el equipo de cómputo

---

* Cabe hacer notar que el Gobierno de Canadá, dentro de su plan de acción para la reorganización del servicio de procesamiento de datos en el gobierno federal ha recomendado la implantación de un centro con características semejantes [7].

b. Estandarización de la Utilización del Espacio

Esto debe incluir distribución óptima del espacio disponible que concilie la mejor utilización del mismo con la eficiencia en el manejo de la carga. Se deberá determinar el método de estiba para cada artículo y la cubicación del mismo. Finalmente se obtendrá, para cada tipo de carga, el número de metros cuadrados que deberán usar cada 1000 cajas, por ejemplo de cada artículo.

c. Reportes de control de las Operaciones

Los estándares de tiempos y utilización de espacios deberán estar apoyados por un sistema de información, cuyos reportes permitan medir el grado de eficiencia con que la operación diaria se acerca a las metas fijadas por dichos estándares.

d. Planeación de las Operaciones

El proceso de planeación de las operaciones tiene por objeto preveer los requerimientos de espacio futuros y prepararse de antemano para satisfacerlos.

e. Implantación de Métodos de Reducción de Costos

Aún cuando la operación eficiente de almacenes se logra por medio de controles efectivos y motivación del personal, se requieren desde luego otros elementos. Estos incluyen los equipos y procedimientos adecuados, instalaciones adecuadas y sistemas de seguridad. Adicionalmente, cuando esto es posible, deberán utilizarse métodos de estiba a base de paletización, lo cual reduce substancialmente los tiempos de manejo de carga.

Finalmente deben mencionarse los métodos para la localización eficiente de los artículos almacenados dentro de las bodegas, dado que muchas veces los tiempos de búsqueda son muy importantes.

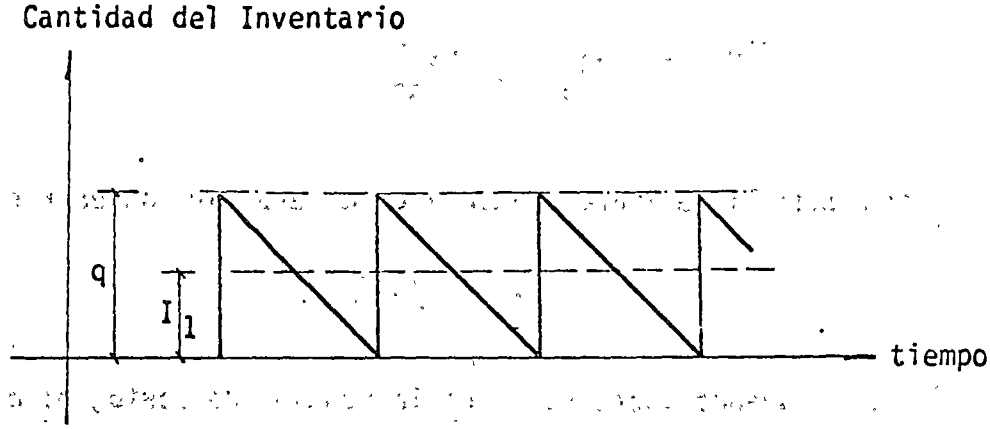


FIG. 2 EL SISTEMA DE LOTE

Las características del sistema son las siguientes:

a. La demanda es determinística con una tasa constante r.

b. Los pedidos se fincan cuando el inventario alcanza el nivel cero para que no ocurran déficits.

c. El tamaño del pedido es constante, el tamaño del pedido es q.

d. El tiempo de abastecimiento es cero.

e. El costo unitario de mantenimiento del inventario es c_1 constante.

f. El costo del abastecimiento es constante e igual a c_3.

De acuerdo con las propiedades anteriores se deriva que el tiempo de reorden es $t = q/r$.

El inventario promedio $I_1 = q/2$ y el promedio de abastecimientos por unidad de tiempo es $I_3 = 1/t = r/q$. Por tanto la expresión del costo total del sistema es:

centro de educación continua
facultad de ingeniería, unam

LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS

INTRODUCCION A LAS COMPUTADORAS Y A LENGUAJES DE SIMULACION

ACT. CARLOS AYALA E IZAGUIRRE

4 Nov. de 1975

Tacuba 5, primer piso. México 1, D.F.
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95

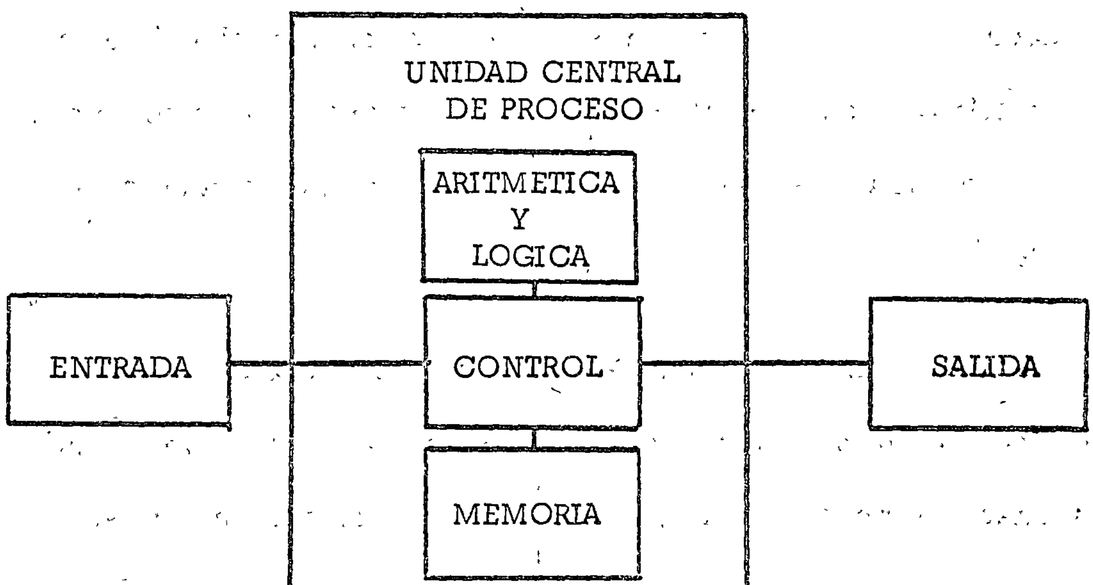
INTRODUCCION A LAS COMPUTADORAS

COMPONENTES BASICOS DE UNA COMPUTADORA

Un equipo de Cómputo Electrónico se puede considerar como un Sistema.

Este Sistema, a su vez, está constituido de cinco subsistemas que son:

1) Memoria
2) Control
3) Aritmética y Lógica
4) Entrada
5) Salida



Si se compara la estructura de un sistema de Cómputo electrónico con la organización empleada por el hombre para procesar los problemas, se encuentra que existe, entre el sistema y la organización, una similitud sumamente marcada.

comparación y de transformación , para la solución de cualquier problema .

Las operaciones que puede ejecutar son: suma, resta, multiplicación, división, comparar los valores de dos operandos y transformar de punto fijo a flotante y viceversa.

Usualmente los Subsistemas de memoria, aritmético y lógico y de control están colocadas en un sólo mueble y forman lo que se conoce como unidad Central de Proceso.

4) ENTRADA

La entrada es el subsistema que permite a la computadora aceptar información del exterior. La información que se debe suministrar a la computadora puede efectuarse por diversos medios, los más comunes son:

Lector de tarjetas perforadas

Lector de cinta perforada

Lector de cinta magnética

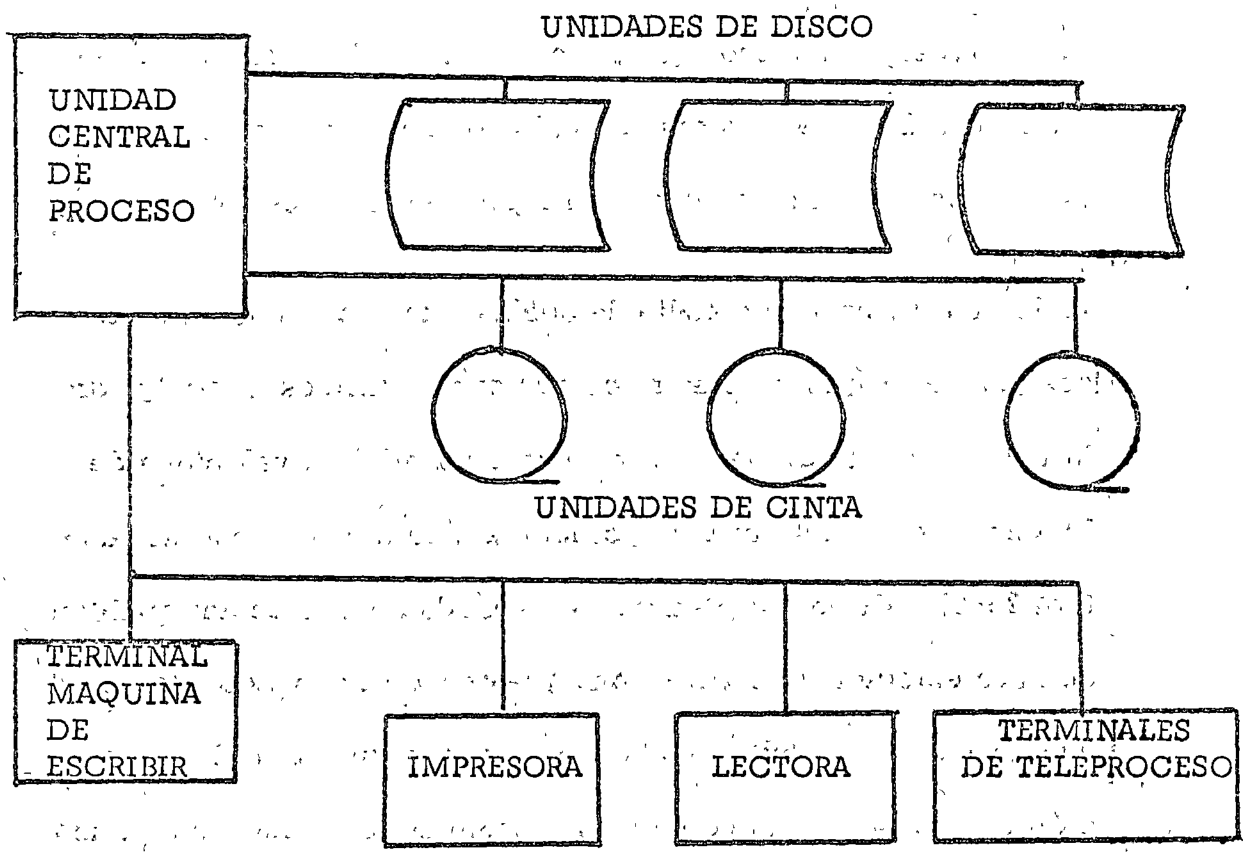
Lector de discos magnéticos

Lector de caracteres ópticos

Terminales de Teleproceso

Además de los elementos ya mencionados, es necesario agregar las terminales interconectadas a base de taclado de máquina de escribir;

por medio de estas terminales el operador se puede comunicar directamente con la computadora.



5) SALIDA

El subsistema de salida es el medio por el cual la computadora proporciona información al exterior.

Normalmente los elementos de salida con esencialmente los mismos que los de entrada, sin embargo, es necesario agregar a los ya descritos la impresora, que es la que imprime todos los resultados que deben quedar por escrito de los diferentes procesos.

mación se graba por pulgada de longitud, en una pulgada se tienen 1600 caracteres, y la velocidad de movimiento de la cinta es de 75 pulgadas por segundo. Estas cintas cuentan con una cabeza lectora-grabadora y con los circuitos de comprobación necesarios que aseguran que tanto la información grabada como la leída es correcta.

En cintas magnéticas en donde se almacenan todos los datos de - aquellos archivos que pueden ser secuenciales, por no se necesario hacer consultas de datos aislados.

c) DISCOS MAGNETICOS

El tiempo de acceso de esta unidad es de 30 milisegundos (3330), el tiempo de acceso es lo que tarda la máquina en tener disponible, para la unidad central de proceso, la información que se le está solicitando. La velocidad de transmisión, una vez que se logró el acceso a ella, es de 806,000 caracteres por segundo, esta es la unidad más rápida del sistema, sin embargo si se le compara con la velocidad de operación de la unidad central de proceso (2 nanosegundos por caracter) se observa que es sumamente lenta.

Los paquetes de discos están formados por 10 discos superpuestos, estos discos a diferencia de los discos fonográficos no tienen zurco sino que su superficie es completamente lisa. Para -

ción es la que se está solicitando , la computadora busca la información en los archivos de discos y envía la respuesta a la terminal en donde es desplegada en el tubo de rayos catódicos, toda esta operación toma como promedio dos segundos (unidades - 3770).

La interconexión de estas terminales con la computadora es mediante cable telefónico.

El advenimiento de las computadoras y su creciente desarrollo han ocasionado un cambio radical en el enfoque dado al análisis de sistemas; conjuntamente se observa el desarrollo paralelo de los lenguajes de programación que ha permitido la elaboración de sistemas orientados a la resolución de problemas específicos.

Los primeros métodos que se programaron fueron los mismos que se usaban manualmente, con la ayuda de la regla de cálculo y de la sumadora. Los nuevos enfoques hacen uso de las características de las computadoras, que tienen capacidad para almacenar grandes cantidades de información, operar a alta velocidad, efectuar una serie de operaciones específicas y realizar decisiones lógicas. La aplicación de las computadoras ha desarrollado también nuevos tópicos como los métodos numéricos para computadoras, en donde el análisis numérico y las matemáticas proporcionan métodos susceptibles para programarse en la máquina.

El lenguaje más elemental es el de máquina y su uso eficiente

GPSS (GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM)

El GPSS es un Sistema orientado al análisis de sistemas mediante la simulación. La simulación es una técnica que proporciona un medio efectivo para probar , evaluar y manipular un sistema propuesto sin la acción directa de los componentes del sistema real.

El primer paso en el análisis de cualquier sistema consiste en aislar los elementos que lo conforman y formular las reglas lógicas que gobiernan sus interacciones . La descripción resultante es conocida como modelo del Sistema.

El GPSS proporciona una herramienta para manipular modelos interesados en la ocurrencia de eventos discretos los cuales pueden ser considerados como unidades de tráfico. Por medio de la observación del flujo de dichas unidades através del diagrama de bloques que constituye el modelo, se obtienen atributos numéricos los cuales sirven como indicadores para el análisis del funcionamiento del Sistema.

La estructura del sistema que se va a simular se describe en forma de diagramas de bloques. Cada tipo de bloque representa una acción específica la ucal es característica de alguna o-

DYNAMO (DYNAMIC MODELS)

Es un lenguaje de simulación creado con el propósito de simular ciertos tipos de sistemas dinámicos de información con retroalimentación, los cuales es posible describir en terminos de un conjunto de ecuaciones de diferencias.

El campo de aplicación de este sistema se encuentra en el análisis de problemas en las áreas de administración de empresas y la economía.

DYNAMO es un programa de computadora que compila y ejecuta modelos de simulación contínua. El uso de modelos continuos es útil cuando el comportamiento del sistema depende más bien en flujos agregados que en la ocurrencia de eventos discretos.

Estos modelos se plantean agregando las actividades en flujos continuos y poniendo este flujo en el contexto de variables y ecuaciones que afectan al Sistema y a su vez son afectadas por éste; formando así un sistema cerrado de retroalimentación por lo que el comportamiento de las componentes de estos sistemas no pueden estudiarse aisladamente.

La herramienta básica de la simulación contínua es la integra

En este capítulo se describen las reglas que se deben observar para transcribir un modelo matemático que representa aun sistema dinámico con retroalimentación al formato del lenguaje orientado DYNAMO. Estas son: el formato de las tarjetas, la formulación de las ecuaciones, el uso de funciones en - las ecuaciones y, por último, las instrucciones de dirección o de control del lenguaje y el orden permisible para estas.

2.1 Formato de las Tarjetas

La codificación en cada una de las tarjetas que conforman el modelo debe iniciarse en la primera columna con la especificación del tipo de ecuación (L, A, R, S, N, C, CP, T ó TOP) o - del tipo de instrucción de dirección (SPEC, PRINT, PLOT, RUN, *, NOTE, NOISE, MACRO o MEND), definiéndose de esta manera el tipo de tarjeta.

La ecuación ocualquier otra información se separa del tipo - de tarjeta por uno o más espacios en blanco.

No se permite dejar espacios en blanco entre los miembros de una ecuación o entre la información de una instrucción de dirección. El primer espacio en blanco indica la terminación jetas de continuación es codificando un apóstrofe inmediatamente después del último caracter de la ecuación en la primera tarjeta y continuar en la siguiente tarjeta a partir de la primera columna. El apóstrofe en la primera tarjeta puede ser codificado antes de la columna 72 si es más conveniente interrumpir la expresión antes, proporcionando así más legibilidad.

Las columnas de la 73 a la 80 son frecuentemente utilizadas para numerar la secuencia de las tarjetas aunque por supuesto, se pueden utilizar para codificar cualquier otra información adicional de interés para el analista.

Definición de las Variables o Cantidades

Las variables se definen con uno a siete caracteres alfabéticos o numéricos de los cuales el primero debe ser alfabético.

Los nombres de variables definidas dentro de una función de usuario (macro instrucción) se inician con el símbolo $.
Este símbolo puede usarse en la definición de otras variables pero se debe observar su significado especial en dichas funciones.

Ecuaciones de nivel (L).- Relacionan una cantidad en el instante de cálculo actual con el valor que tenía en el instante de cálculo inmediato anterior y con sus tasas de cambio generadas durante el intervalo formado entre dichos instantes de cálculo, esto es, los niveles son las acumulaciones dentro del sistema, ya que, definen el valor presente de aquellas cantidades resultantes de la acumulación de la diferencia entre las tasas de entrada y las de salida.

Ecuaciones auxiliares (A).- Son funciones algebráicas compuestas de niveles y de otras variables auxiliares. Las ecuaciones auxiliares no deben depender de otras ecuaciones auxiliares que a su vez dependen de las primeras, esto es, la definición de ecuaciones simultáneas no es permitido entre ecuaciones auxiliares.

Estas ecuaciones son auxiliares en el sentido de que las expresiones que definen pueden ser substituídas en las ecuaciones de las tasas, sin embargo, su razón de ser reside en que generalmente las ecuaciones de las tasas resultan muy complejas y es conveniente definirlas en términos de uno o más conceptos con significado independiente guardando así una correspondencia cerrada con el sistema real al -

res de interés que reflejan el comportamiento del sistema. Estas ecuaciones son evaluadas solamente en los instantes en los que se requiere la impresión de resultados.

Si hay un número considerable de intervalos de solución o de cálculo entre los períodos de impresión, se obtiene un ahorro en el tiempo de ejecución que requiere el desarrollo del modelo; considerando en ecuaciones suplementarias aquellas variables que solamente serán impresas.

Ecuaciones de valores iniciales (N).- Son expresiones algebraicas utilizadas para definir, como su nombre lo indica, los valores iniciales de los niveles (y de algunas tasas) que deben proporcionarse antes de que el primer ciclo de cálculo en las ecuaciones de principio, es decir reflejan el estado inicial del sistema a partir del cual se efectuará el análisis.

Una constante puede ser calculada a partir de una ecuación de valor inicial, la cual se expresa en función de otras cantidades.

Ecuaciones de constantes (C).- Es una expresión donde el valor numérico de una cantidad se declara explícitamente

El formato básico de las ecuaciones es:

cantidad = expresión algebráica.

Los operadores aritméticos usados por el DYNAMO son: +, -, * y / para suma, resta, multiplicación y división, respectivamente. La jerarquía de los operadores es primero multiplicación y división y después suma y resta. Cuando se encuentren operadores de igual jerarquía se ejecutan las operaciones de izquierda a derecha. Estas reglas son alteradas mediante el uso de paréntesis, es decir, colocando entre paréntesis las operaciones que se ejecutarán en primera instancia.

Definición de los Subíndices.

Los nombres de las variables o cantidades se definen en términos de subínices que los ubica en el tiempo para efectos de cálculo. Niveles, auxiliares y suplementarios tienen una sola letra como subíndice. En cambio, las tasas siempre tienen dos letras como subíndice, ya que estas se definen en un intervalo de tiempo y no en un instante como ocurre con las anteriormente mencionadas. Por último, las constantes no tienen subíndice independientemente de que se

Las suplementarias se expresan en función de constantes (sin subíndice) de niveles, auxiliares y suplementarias del instante o tiempo actual (K), y de tasas calculadas en el intervalo inmediato anterior (JK). Note que una variable suplementaria solamente aparece del lado derecho de una expresión que define a otra ecuación suplementaria.

Constantes y valores iniciales se expresan en función de valores numéricos o de otros valores iniciales, razón por la cual no se permiten los subíndices para estos dos tipos de ecuaciones.

A continuación se presenta un resumen tabular que las convenciones que se deben tomar en cuenta en la transcripción del modelo al formato del DYNAMO:

Tipo de cantidad en la Izq. de la ecuación.	Subíndice de la izquierda	Subíndice de las cantidades de la derecha si la cantidad es:					
		L	A	R	S	C	N
L Nivel	K	J	J	JK	np	-	-
A Auxiliar	K	K	K	JK	np	-	-
R Tasa	KL	K	K	JK	np	-	-
S Suplementario	K	K	K	JK	K	-	-

la instrucción de dirección MACRO.

La utilización de estas funciones evitan que el usuario requiera codificar un número de ecuaciones en forma repetitiva para efectuar un cálculo específico, para salvar esta dificultad este lenguaje incluye aquellas funciones que se consideran de mayor aplicación en los modelos representativos de un sistema dinámico con retroalimentación.

El número de argumentos (datos fuente para que la función - efectue los cálculos correspondientes) se proporcionan en el orden estipulado y separados por comas. Estos argumentos - pueden ser, si el usuario lo requiere, funciones algebráicas o simplemente nombres de cantidades o variables.

Función Limitadora (Clip ó FIFGE)

Esta función está constituída por cuatro operandos no necesariamente distintos; los valores posibles de la cantidad que está igualada a la función están definidos por el primero y segundo operandos, la elección de uno de ellos dependen de la relación que existe entre el tercer y cuarto operandos, es decir, si se define a la función como:

V=CLIP (p,q,r,s) ó V= FIFGE (p,q,r,s)

los factores que pueden controlar el flujo de salida de éste, en contraste, un rezago es una clase especial de nivel donde la tasa de salida solamente está determinada por el nivel interno almacenado en el rezago y por una constante.

Hay dos clases de rezagos: de materiales y de información. La diferencia entre ellos es importante cuando la cantidad que define el tiempo medio requerido para que transcurra el rezago es variable.

Cuando el flujo de entrada y el de salida y el nivel entre ellos es constante se dice que el rezago está en "estado uniforme". En condiciones de estado uniforme la tasa de flujo multiplicada por el tiempo medio que define el rezago da como resultado la cantidad en tránsito en dicho rezago, si el tiempo medio del rezago es reducido a la mitad del valor anterior, la cantidad es almacenada en el nivel es reducida si el flujo es constante, esto requiere que el flujo de salida se incremente por algún período de tiempo hasta que retome el rezago a las condiciones de estado uniforme, en cambio, para los rezagos de información en condiciones de estado uniforme las tasas de entrada y de salida permanecen invariables ante cambios en el tiempo medio del rezago.

y V la tasa de salida.

Un rezago exponencial de tercer orden para materiales consiste de tres rezagos de primer orden procesados secuencialmente; su formato es:

V= DELAY 3 (IN, DEL)

donde V, IN y DEL tienen la misma interpretación que en el caso anterior.

Por último, el formato de un rezago de tercer orden para información es:

V= DLINF3 (IN, DEL)

donde IN es la tasa de entrada al rezago.

DEL el tiempo medio del rezago

y V un nivel o auxiliar.

Función de Máximos y Mínimos (MAX, MIN)

El valor asociado a la función es el mayor o el menor de los argumentos codificados, según se especifique MAX ó MIN - respectivamente si la función se define como:

La primera genera variables con una distribución de probabilidades uniforme con valores entre $-\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{2}$, y se define de la siguiente forma:

V= NOISE ( )

note que esta función no tiene argumentos pero sin embargo - tiene paréntesis.

La segunda genera variables con una función de distribución de probabilidades normal (GAUSS) con media "MEAN" y desviación estandar "STDV" y está definida como:

V= NORMRN (MEAN, STDV)

Los valores obtenidos a partir de esta función no producen una función de distribución normal "perfecta" ya que las variables no exceden una desviación estandar de 2.4.

Respecto a los valores de la secuencia de númros aleatorios para procesos repetitivos de un modelo en particular, habrá ocasiones que el usuario requiera la misma secuencia y ocasiones en las que requiera otra secuencia. Para lograr esto, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: Para cada intervalo de cálculo de longitud DT, con el uso de NOISE ó NORMRN se obtiene el siguiente número en secuenvalor de una cantidad; durante un intervalo de longitud DT.

PULSE (HGHT, FRST, INTVL)

donde

HGHT	altura del pulso (incremento en la cantidad)
FRST	Tiempo en el cual el primer pulso se presentará
INTVL	Intervalo entre pulsos

El primer pulso ocurre al tiempo FRST, y las subsecuentes - ocurren en FRST+INTVL, FRST+2 (INTVL), FRST + 3 (INTVL) .

La cantidad que define la altura del pulso puede ser variable produciendo así incrementos de diferentes valores.

Si las cantidades que definen el tiempo del primer pulso y el intervalo entre estos son variables la metodología de cálculo es la siguiente: DYNAMO guarda un registro del tiempo en el cual se efectuó la ultima acción para cada ecuación, como un ejemplo considere el siguiente: En cada instante de cálculo el valor actual de la cantidad INTVL es comparado - con el tiempo total de proceso para analizar si se presentará un evento; la respuesta es afirmativa si el tiempo de proceso es mayor o igual que el valor actual de INTVL sea INTVL1 es registrado como el tiempo en el cual se presentó el último

donde TIEMPO es el producto del número de ins tantes de cálculo transcurridos desde el inicio del proceso multiplicado por DT. Si SLP y STRT son constantes, se define una función - Rampa con pendiente SLP y con origen en el tiempo STRT .
Si STRT es variable el proceso de cálculo es análogo al descrito en la función de pulsos, por último si SLP es variable esta función está definida por el producto de DT y la suma de todos los valores de SLP a par tir de STRT.

Función de Muestras (SAMPLE)

Los valores de la función dependen de una variable, de un - intervalo y de un valor inicial si la función se define como:

SAMPLE (X, INTVL, ISAM)

donde

X variable a ser muestreada

INTVL Intervalo entre muestreos

ISAM Valor inicial

Entonces el valor de la función es igual a X cada vez que transcurre un intervalo de tiempo igual a INTVL (punto muestral) e igual a ISAM entre puntos muestrales.

esencialmente actua como un filtro de perturbaciones aleatorias y como consecuencia produce un rezago en los canales de información y en las decisiones, razón por la cual se presenta un dilema entre más suavizado para reducir perturbaciones aleatorias no significativas y menos suavizado para reducir el tiempo en obtener la información de interés. Los suavizados se caracterizan entonces por: la atenuación de rápidas fluctuaciones y la creación de rezagos de tiempo.

Función Escalonada (STEP)

Esta función produce un incremento en el valor de la cantidad definida mediante esta función.

STEP (HGHT, STTM)

Los valores son

STEP= 0 si TIEMPO   STTM

STEP=HGHT si TIEMPO   STTM

Las cantidades HGHT y STTM pueden ser variables, si STTM lo es la metodología de cálculo es análoga a la descrita en la función de pulsos.

mera define los valores de la variable independiente y la segunda los de la variable dependiente.

La definición de la función tabular es la siguiente:

V=TABLE(TAB,X,XLOW,SHIGH,XINCR)

donde	TAB	nombre de la tabla
	X	variable independiente
	XLOW	valor mínimo de la variable independiente.
	XHIGH	Valor máximo de la variable independiente.
	XINCR	Incremento de la variable independiente.

Los valores de la variable dependiente se anotan en una tarjeta que define a una tabla (una T en la primera columna), el nombre de la tabla (mismo que en la definición anteriormente mencionada) igualada a los valores de la variable ordenados en orden creciente y divididos por una diagonal, es decir;

T TAB= alblcldle

en donde a,b,c,d y e son los valores posibles de la variable dependiente.

El proceso seguido por el DYNAMO para asignar un valor a la

BIBLIOGRAFIA

FORRESTER, JAY W.

INDUSTRIAL DYNAMICS

1961 MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

PUGH, ALEXANDER L.

DYNAMO USER'S MANUAL

1968 MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

IBM

GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM USER'S MANUAL

1968

IBM

GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM INTRODUCTORY USER'S MANUAL

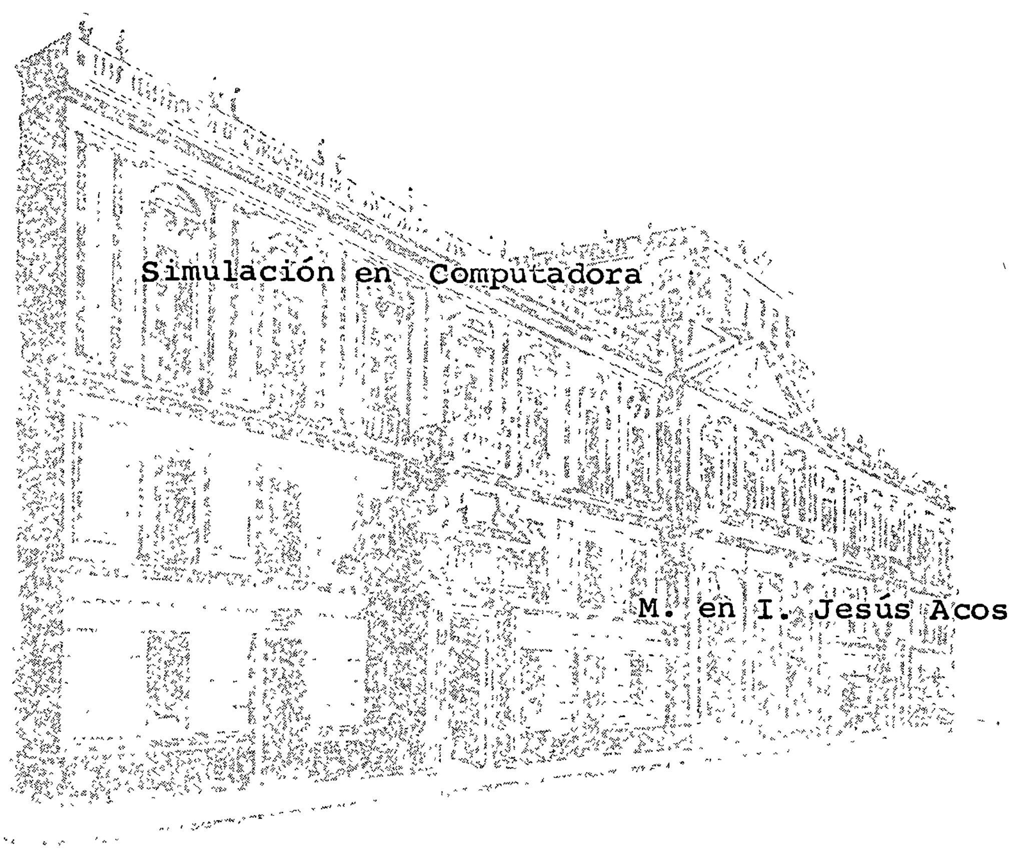
NAYLOR

TECNICAS DE SIMULACION EN COMPUTADORAS

1971 LIMUSA WILEY

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONTROL DE INVENTARIOS



Simulación en Computadora

M. en I. Jesús Acosta

Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Teléfonos: 521-30-95 521-73-35

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA.

M. en I. Jesús Acosta Flores.

SEMANA	INVENTARIO	ORDENES POR SURTIR	ORDENES EFECTUADAS
1	[illegible]	0	[illegible]
2	4	0	[illegible]
3	[illegible]	0	[illegible]
4	[illegible]	0	[illegible]
5	[illegible]	0	
6	[illegible]	0	[illegible]
7	[illegible]	0	[illegible]
8	[illegible]	0	[illegible]
9	[illegible]	0	[illegible]
10	16	0	[illegible]
11	[illegible]	0	[illegible]
12	[illegible]	0	[illegible]
13	[illegible]	0	[illegible]
14	[illegible]	0	[illegible]
15	1	0	14
16	[illegible]	4	[illegible]
17	0	21	20
18	0	25	20
19	0	[illegible]	[illegible]
20	0	66	[illegible]
21	0	[illegible]	[illegible]
22	0	[illegible]	[illegible]
23	0	[illegible]	[illegible]
24	0	[illegible]	[illegible]
25	[illegible]	[illegible]	[illegible]
26	[illegible]	[illegible]	[illegible]
27	[illegible]	0	[illegible]
28	[illegible]	0	
29	[illegible]	0	
30	[illegible]	[illegible]	
31	[illegible]	0	[illegible]
32	[illegible]	0	[illegible]
33	[illegible]	0	[illegible]
34	[illegible]		[illegible]
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
[illegible]			
[illegible]			
48			
49			
50			

SEMANA	INVENTARIO	ORDENES POR SURTIR	ORDENES EFECTUADAS
1	8	0	0
2	7	0	0
3	8	0	0
4	12	0	4
5	4	0	4
6	0	0	8
7	0	4	4
8	0	4	4
9	0	4	4
10	0	4	8
11	0	8	4
12	0	12	8
13	0	20	12
14	0	20	8
15	0	22	12
16	0	28	12
17	0	28	12
18	0	24	8
19	0	28	8
20	0	32	8
21	0	37	8
22	0	39	4
23	0	42	6
24	0	42	4
25	0	46	4
26	0	50	18
27	0	40	4
28	0	30	6
29	0	14	4
30	0	18	4
31	0	4	6
32	0	6	8
33	0	9	6
34	0	10	8
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
47			
48			
49			

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS (DEL 21 DE OCTUBRE AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1975)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. LIC. GUILLERMO ACERO JAIMES Paseo de los Manantiales No. 40 Hacienda Ojo de Agua México, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL Paseo de la Reforma No. 476 Col. Juárez México 6, D. F. Tel: 5-25-43-98
2. ING. MA. DOLORES AGUILLO GARCIA Oxtopulco No. 16 México, D. F.	DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA,UNAM México 20, D. F.
3. C.P. SERGIO ALVAREZ GARCIA Turin 128 Fracc. Valle Dorado Edo. de México	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL Paseo de la Reforma No. 476 Col. Juárez México 6, D. F. Tel: 5-11-42-74
4. LIC. ADOLFO ANDRADE LUGO Patricio Sanz No. 2014 Col. Florida México 20, D. F. Tel: 5-24-60-86	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL Paseo de la Reforma No. 476-4o. Piso México, D. F. Tel: 5-25-14-68
5. SR. JOSE BARAJAS VALENCIA Tierra Arenosa No. 398 Tierra Nueva Atzcapotzalco México 16, D. F. Tel: 5-61-99-85	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO,S.A. Melchor Ocampo No. 171 México, D. F. Tel: 5-35-33-41
6. ING. EMILIO BUSTOS ARELLANO Cerro de la Estrella No. 47 Campestre Churubusco México 21, D. F. Tel: 5-49-74-69	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO,S.A. Melchor Ocampo No. 171 México 17, D. F. Tel: 5-66-46-70
7. ING. VIRGINIA CALLEJA G. Pilares 404-1 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-59-29-83	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Ciudad Universitaria México 20, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS (DEL 21 DE OCTUBRE AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1975)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
15. ING. ARTURO FUENTES ZENON Isla Clarión No. 10 Col. Prado Vallejo México 14, D. F. Tel: 5-67-75-17	FACULTAD DE INGENIERIA,UNAM Ciudad Universitaria México 20, D. F.
16. SR. HERNANDEZ GARCIA Calle 14 No. 216 Guadalupe Proletaria México 14, D. F. Tel: 3-92-19-15	MAQUINARIA PANAMERICANA,S.A. DE C.V. Blv. M. Avila Camacho No. 245 Naucalpan de J. Edo. de Mexico Tel: 5-76-45-00
17. ING. SERGIO GARCIA MORALES Edificio Colima Depto. 25 México 12, D. F. Tel: 5-97-25-55	
18. SR. ADOLFO GUAJARDO TAMEZ Plan de Ayala No. 428 Amatitlan Cuernavaca, Morelos Tel: 4-18-09	SYNTEX, S. A. Km. 1 Carret. Federal Cuernavaca, Morelos Tel: 2-75-00
19. ING. MARIO HERNANDEZ CABRERA Dr. Lucio No. 251-8 Col. Doctores México 7, D. F.	MECANICA FALK, S. A. Poniente 150 No. 842 Col. Industrial Vallejo México 16, D. F. Tel: 5-87-18-11
20. SR. RICARDO HERRERIAS GALINDO Ret. 9 No. 29 Jardín Balbuena México 9, D. F. Tel: 5-71-48-46	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO,S.A. Melchor Ocampo No. 171 México 17, D. F. Tel: 5-66-83-48
21. ING. GUSTAVO HOYO México, D. F.	SEPANAL Insurgentes Sur No. 552-9o. Piso México, D. F. Tel: 5-64-80-00 Ext. 29

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS (DEL 21 DE OCTUBRE AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1975)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
30. ING. FRANCISCO D. LUCE NAJAR Pilares 918-202 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-75-39-93	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. Melchor Ocampo No. 171 Col. Anáhuac México, D. F. Tel: 5-19-42-18
31. LIC. ELISEO LLERENAS RUIZ Los Angeles No. 70 Fracc. Cd. Satélite México, D. F. Tel: 3-97-92-76	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. Melchor Ocampo No. 171 Col. Anáhuac México 17, D. F. Tel: 5-46-79-58
32. SR. ENRIQUE MIRELES SANCHEZ Nardo 11 Jardines del Molinito Naucalpan, México Tel: 5-76-99-63	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. Melchor Ocampo No. 171 Col. Anáhuac México 17, D. F. Tel: 5-35-11-44
33. ING. JOSE LUIS MONTAÑO ANGELES Paris No. 74-2 El Carmen, Coyoacán México 21, D. F. Tel: 5-54-38-99	INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM Ciudad Universitaria México 20, D. F. Tel: 5-48-97-93
34. LIC. JOAQUIN MORALES SANCHEZ E. Durán Castro No. 60 Col. Nueva Ixtacala México, D. F. Tel: 3-92-00-84	CONDUMEX, S. A. Poniente 140 No. 720 Col. Industrial Vallejo México 16, D. F. Tel: 5-67-88-33
35. C.P. HECTOR PEREZ ALVAREZ Boulevard Adolfo López Mateos No. 2799 Depto. 11-"A" San Jerónimo México 20, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL Paseo de la Reforma No. 476-3er.Piso Col. Juárez México 7, D. F. Tel: 5-25-90-20 Ext. 16 0
36. SR. CARLOS A. PORTER Priv. de la Pradera No. 5 Tlaltenango Tel: 3-40-70	BUFETE INDUSTRIAL, DISEÑOS Y PROYECTOS, S. A. Tolstoi No. 22 México 5, D. F. Tel: 5-33-47-48

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS

CONTROL DE UN INVENTARIO BAJO CERTEZA

M. en I. JESUS ACOSTA

PALACIO DE MINERIA
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
TELEFONOS: 513-27-95
512-31-23 521-73-35

CONTROL DE INVENTARIO BAJO CERTEZA.

Hipótesis básicas y notación.

1. El artículo se demanda una unidad por unidad de tiempo con una tasa conocida constante de D unidades por año y esta tasa se espera que continúe indefinidamente.

2. Sin importar cuándo se coloque la orden o cuántas unidades se ordenen, los artículos llegarán exactamente L años después que se coloca la orden.

3. La empresa tiene registros de tal manera que el almacenista conoce en cada momento cuántas unidades del artículo se tienen en el almacén y cuánto se ha ordenado a la fábrica. La suma de esas cantidades se llamará el "status" del inventario.

4. Se tendrá un costo de espacio anual igual a $\$w$ veces el número máximo de unidades que se tenga en inventario.

5. El costo de adquisición de un lote que contiene Q unidades del artículo es igual a un elemento fijo $\$F$ más un elemento variable $\$v$ por unidad, haciendo un total de $\$(vQ+F)$ que tendrá que pagarse en el momento en que el lote llega de la fábrica.

6. La empresa paga impuestos sobre ingresos con una tasa r.

7. Existe una tasa de interés anual i tal que el empresario es indiferente entre un flujo de dinero de cualquier cantidad A en cualquier fecha y un flujo de dinero inmediato igual al valor presente de A con el interés i.

Naturaleza General de la estrategia óptima.

Simplemente se predetermina un punto de reorden R y una cantidad ordenada Q y se instruye al almacenista para que coloque una nueva orden por Q unidades a la fábrica siempre que el status decline a R. Debido a que la tasa de demanda, la fecha de entrega, y todos los costos son constantes en el tiempo no habrá razón para cambiar R ó Q de una orden en la fábrica a la siguiente y el problema de seleccionar una estrategia óptima se reduce a determinar los valores óptimos fijos de R y Q.

COSTO DEL ESPACIO EN EL ALMACEN

Espacio para 1000 unidades cuesta \$20.00/año.

$w = \$20.00/1000 = \$.02$

Q es la cantidad máxima que se almacenará.

Estrategia A $1273 + .02 \times 400 = 1281$

B $1265 + .02 \times 800 = 1281$

C $1267 + .02 \times 600 = 1279$

IMPUESTOS

Suponga que $r = .52$

Ahorro en impuestos:

espacio en el almacén: A $.52 \times .02 \times 400 = 4$

B $.52 \times .02 \times 800 = 8$

C $.52 \times .02 \times 600 = 6$

adquisición $rD(F + vQ)/Q = rD(F/Q + v)$

A $.52 \times 1000\,(21/400 + 1.2) = 651$

B $.52 \times 1000\,(21/800 + 1.2) = 638$

C $.52 \times 1000\,(21/600 + 1.2) = 642$

Estrategia A $1281 - 4 - 651 = 626$ /año.

B $1281 - 8 - 638 = 635$ /año.

C $1279 - 6 - 642 = 631$ / año.

EVALUACION DE ESTRATEGIAS EN EL CASO GENERAL.

1. Costo del lote.

Un nuevo lote se adquiere cada $n_Q = Q/D$ años.

y se tiene un costo anual de $\left(\frac{1}{n_Q} + \frac{i}{2}\right)(vQ + F) = \left(\frac{D}{Q} + \frac{i}{2}\right)(vQ + F)$

2. Costo de espacio del almacén

wQ

3. Ahorro en impuestos.

$$rwQ + rD(v + F/Q)$$

COSTO TOTAL

$$C(R_0, Q) = (D/Q + i/2)(vQ + F) + wQ - rwQ - rD(v + F/Q)$$

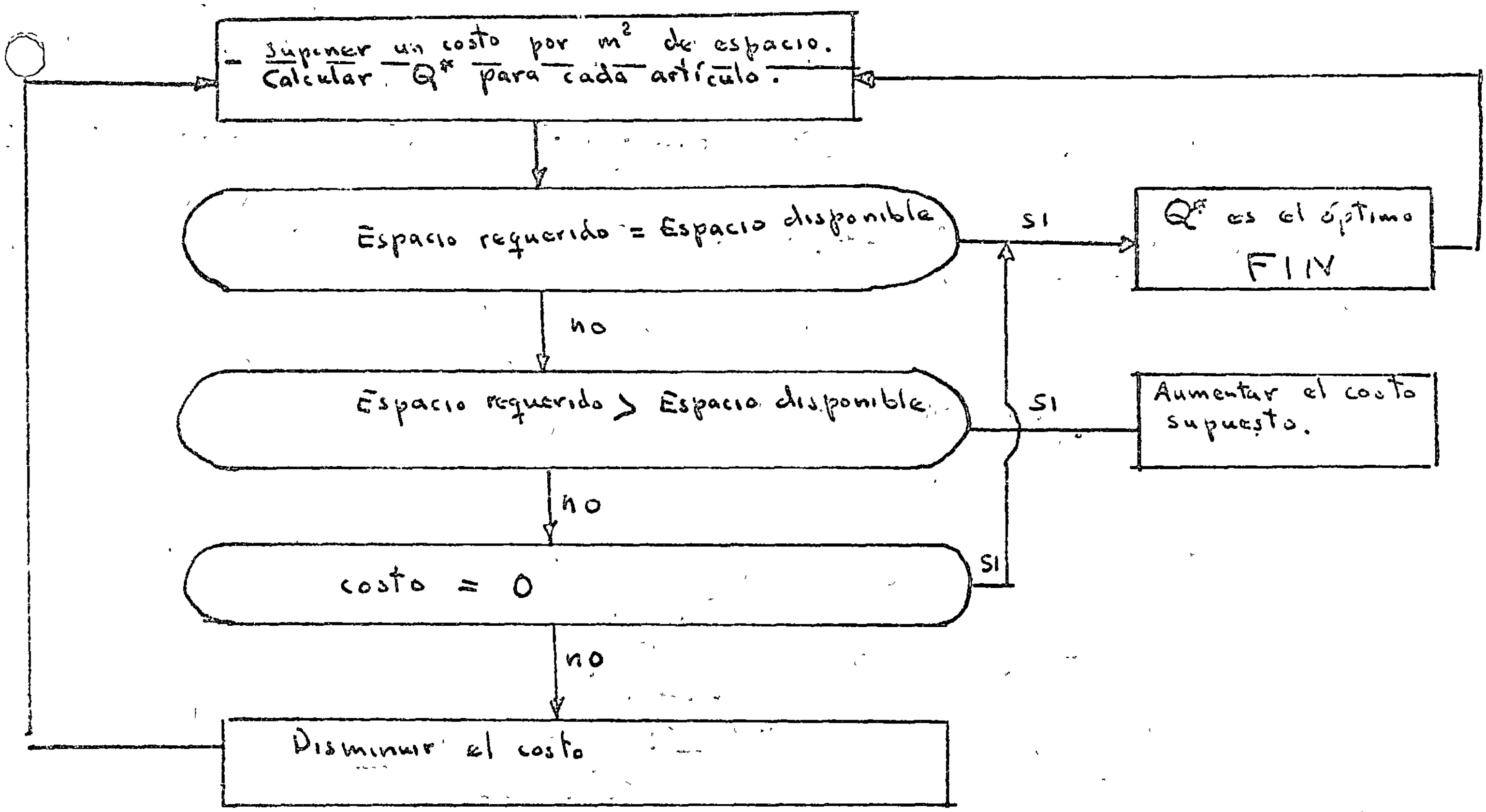
$$= D(1-r)v + D(1-r)F/Q + (1-r)wQ + 1/2\, i(vQ + F)$$

ORDEN OPTIMA.

Derivando e igualando a cero se obtiene

$$Q^* = \sqrt{\frac{(1-r)F}{(1-r)w + \frac{1}{2}iv} D}$$ (Fórmula de Wilson)

(Para el ejemplo $Q^* = 418$)



BIENES OBSOLETOS.

Existe frecuentemente un riesgo apreciable que un artículo en inventario llegue a ser obsoleto.

$D = 200$ $\quad\quad$ $Q = 200$ $\quad\quad$ $Q = 100$

se usará en lugar de i $\quad$ $k = i + (1 - r)\, j$

j. probabilidad que el artículo será obsoleto en el período de un año.

Puede notarse que :

1º la cantidad máxima en inventario será ahora $(Q + R - R_0)$

2º El primer lote ordenado bajo una estrategia seleccionado ahora, llegará $(R-R_0)/D$ años antes del año o tiempo cero.

3º No importa que R y Q se seleccionen, los lotes llegan cada Q/D años.

a) Costo de adquisición

Un lote que cuesta $vQ + F$ cada Q/D años.

$$\left(\frac{1}{n} + \frac{i}{2}\right)\text{costo} = \left(\frac{D}{Q} + \frac{i}{2}\right)(vQ+F) = Dv + DF/Q + \tfrac{1}{2}\, i\,(vQ+F)$$

el flujo empieza $(R-R_0)/D$ años antes del Tiempo 0.

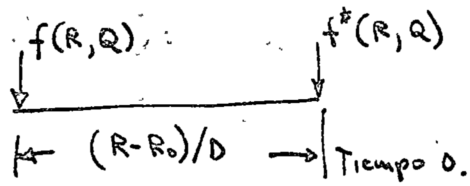
b) Costo de espacio en el almacén.

$\omega(Q+R-R_0)$ empieza en $0 - (R-R_0)/D$

c) Ahorro en impuesto

$r\omega\,(Q+R-R_0)$ empieza en $0 - (R-R_0)/D$

$rD\,(v + F/Q)$ empieza en 0.



$$f^*(R,Q) = \left(1 + i\,(R-R_0)/D\right) f(R,Q)$$

entonces

$$f^*(R,Q) = \left(1 + i\,\frac{R-R_0}{D}\right)\left[Dv + DF/Q + \tfrac{1}{2}\, i\,(vQ+F) + (1-r)\,\omega\,(Q+R-R_0)\right]$$

si $\dfrac{R-R_0}{D}$ es pequeño respecto a 1 y $Dv \gg \dfrac{DF}{Q} + \tfrac{1}{2}\, i\,(vQ+F) + (1-r)\,\omega\,(Q+R-R_0)$

podemos aproximar

$$f^*(R,Q) \doteq Dv + DF/Q + \tfrac{1}{2}\, i\,(vQ+F) + (1-r)\,\omega\,(Q+R-R_0) + i\,v\,(R-R_0)$$

y

$$C(Q,R) = D(1-r)\,v + D(1-r)\,F/Q + (1-r)\,\omega\,(Q+R-R_0) + \tfrac{1}{2}\, i\,(vQ+F) + i\,v\,(R-R_0)$$

$$Q_R^* = \sqrt{\frac{(1-r)\,F_R}{(1-r)\,w + \frac{1}{2}\,i\,v_R}\,\bar{D}}$$

PUNTO OPTIMO DE REORDEN

Se encontrará mediante un ejemplo.

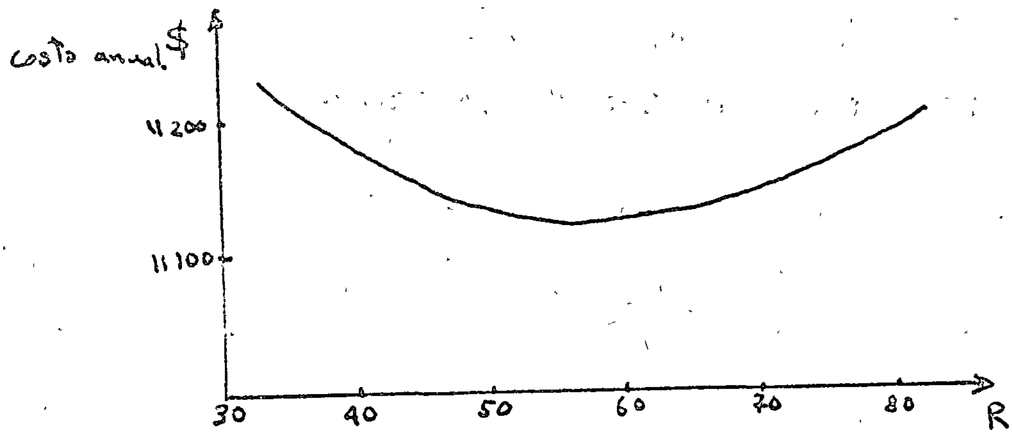
suponga: $\bar{D} = 362$ $\quad \bar{L} = .108$ $\quad \bar{R}_0 \approx \bar{L}\bar{D} = 39$

$F = \$84.00$ $\quad v = \$60.32$ $\quad w = 0$

$i = .124$ $\quad r = .52$

Se ha utilizado el método de simulación de Monte Carlo para estimar los coeficientes A_R y B_R.

R	A_R	B_R	$F_R = F + A_R$	$v_R = v + B_R$	Q_R^*	$C(R, Q_R^*)$
35	15.09	1.61	103.09	61.93	68.3	11 215
40	14.83	1.25	98.83	61.57	67.1	11 171
50	10.14	.75	94.14	61.07	65.7	11 132
60	6.08	.43	90.08	60.75	64.5	11 127
70	3.68	.28	87.68	60.60	63.7	11 153
80	2.16	.12	86.16	60.44	63.2	11 182



DEMANDA:

$$S^* = Q^* + R - \bar{U}$$

$$\bar{U} \doteq \frac{1}{2}\bar{d} + \frac{1}{2}\,\frac{var_{\tilde{d}}}{\bar{d}}$$

donde $\tilde{d}$ es la demanda del cliente entre dos revisiones sucesivas del ~~cliente~~ status.

Hooker Grinding wheel company

En enero de 1963, el comité ejecutivo de la Hooker grinding wheel company, se reunió para examinar sus requerimientos de capital para ese año. Uno de los propósitos del grupo era reducir los niveles de inventario en productos terminados y obtener fondos para adquirir equipo de manufac-tura adicional.

Historia del inventario de productos terminados

En 1962, Hooker era el 4to fabricante de productos abrasivos en los U.S.A., con ventas anuales de 20 millones de dólares, pero era la compañía más pequeña, ya que no poseía una línea completa de maquinaria para pulir, piedras para afilar, etc; y la competen-cia con los líderes de la industria era muy intensa.

Sus directivos atribuían el crecimiento sostenido de las ventas a la alta calidad de los productos, y a su bien entrenada fuerza de venta, y creían que la capacidad para satisfacer rápidamente la demanda constituía un elemento impor-tante de su programa de mercadeo.

En 1955 se estableció un inventario de productos terminados después de varios años de debates intermitentes dentro del comité ejecutivo. Existieron 3 razones fundamentales para tomar esta decisión: 1) reducir el número de órdenes en la fábrica y porconsiguiente los costos de preparación; 2) reducir los problemas en la programación de la producción que resultaban del número excesivo de órdenes peque-ñas, y 3) abastecer a los clientes en forma más rápida

De los 50000 tipos diferentes de whells vendidos en 1954, el comité ejecutivo autorizó almacenar los 100 tipos de demanda más frecuente, en

Esto puede ser contestó el Sr. Griffin " Pero ~~nosotros~~ no podemos permitirnos tener altas pérdidas por obsolesencia en nuestro inventario de productos terminados. El último año el valor de lo que se desperdició fué del 5% del valor medio del inventario de productos terminados. Esto es, — $ 500,000 a precio de venta y en una compañía del tamaño de la nuestra no podemos permitirlo. Hace 2 años era el sulfuro de nuestros wheels de acero inoxidable lo que las compañías acereras encontraban, que contaminaba sus lingotes. El último año introdujimos la nueva linea yankee de wheels de albañilería. Anteriormente habíamos vendido muchos de nuestros wheels corrientes de albañilería y como los wheels yankee son mucho mejores no podemos aún, dar salida a los wheels antiguos.

El Sr. George Young, contralor, quien era responsable del control del inventario de productos terminados, fué el siguiente en expresar su opinión acerca de los efectos y las causas reales del inventario excesivo, y lo atribuía a las fallas de la fábrica para cumplir sus promesas de programación de entregas. Sabes tan bien — como yo, les dijo volteando hacia el gerente de producción Sr. Hester O.Neel que las ordenes de producción para artículos en stock siempre van al final, no importa cuan grande sean estas. Ellas — son las últimas que se fabricarán, y usualmente nos tardamos 6 6 7 semanas para entregarlas desde la fábrica, aún cuando su personal siempre promete 4. Por lo tanto tenemos que conservar 50% o 100% más de stock a la mano que lo que mantendríamos — si consiguieramos entregarlas en 4 semanas.

Se hace lo mejor que se puede con las ordenes en stock Replicó el Sr. O'Neill, " Pero tu sabes que usaríamos mas tiempo extra si sacamos las ordenes en stock en 4 semanas. Hemos acordado usar las ordenes en stock como colchón de seguridad previendo que no podamos cumplir a tiempo.

Al final, casi todas las órdenes expeditas se tienen que producir con el 50% de tiempo extra. Esta política de rápida entrega puede ser buena para los clientes, pero nos convierte en una organización no rentable.

El presidente de la compañía, Sr. Richard Hooker, sugirió que sería buena idea investigar algunos aspectos antes de continuar con la discusión, y solicitó al Sr. Young que seleccionara una pequeña muestra de artículos y analizara qué sucedería si las cantidades llevadas en inventario se redujeran.

Control del inventario de productos terminados

El sistema que el Sr. Young estableció para controlar el inventario, se basó en el cálculo diario del status de cada artículo almacenado, dicho status se define como: el número de unidades a la mano + el número en órdenes de la fábrica − el número pedido por los clientes.

Para cada artículo se especificó un punto de reorden R y un status máximo S; y cada vez que el status del artículo era menor o igual que R se ordenaban las unidades necesarias para alcanzar el status S. El punto de reorden y el status máximo de cada artículo, se revisaban una vez al año, o más a menudo si habían sido devueltas un gran número de órdenes.

Las órdenes de los clientes se archivan en la secuencia en que se recibían, y se abastecían en este mismo orden, excepto si el stock a la mano era insuficiente para satisfacer una orden particular. Estas órdenes se conservaban en el archivo y se utilizaba el stock para ~~[illegible]~~ satisfacer la siguiente orden u órdenes que pudieran abastecerse en forma completa.

Aunque la tasa de rechazo varía considerablemente de artículo a artículo, los Ingenieros han sido incapaces de encontrar cualquier otro factor que tenga efectos notables so- -bre los artículos defectuosos; y en particular, han concluido que la fracción de rechazo no varía de alguna manera siste- -mática con la cantidad de unidades producidas. Cada vez, Acordando que una orden de fábrica se calculará dividiendo la cantidad ordenada por uno menos la tasa de rechazo y redondeando al entero más cercano.

Respecto al costo asociado con los rechazos, los Ingenie- -ros concluyeron que en el promedio, las fallas ocurrieron igualmente a través de todo el proceso de producción. Dado que la mano de obra directa, se empleó a una tasa rela- -tivamente constante durante todo el proceso de manufac- -tura, los costos de mano de obra directa de un pro- -ducto defectuoso son en promedio la mitad del de una pieza buena.

Como los materiales directos, entran todos al inicio del proceso de producción, el costo de materiales directos de una pieza defectuosa es igual al de una pieza buena.

Efectos de la expeditación sobre la mano de obra directa

Un subproducto del estudio ya descrito, es la información de que las fallas estaban más o menos igualmente dis- -tribuidas a través de todas las operaciones del proceso de producción, y basándose en esto y otros hechos ano- -tados por el estudio, el jefe de contabilidad de costos Sr. Arthur Wilson, desarrolló fórmulas relativas a la can- -tidad de trabajo que sería utilizado por una expeditación en el período de su procesamiento normal en cual a un lote fuera expedido.

La tabla 2 es un resúmen del movimiento de stock del artículo 53026 derivada del registro estadístico de la tabla 1.
Cuando el Sr. Young examinó la distribución de frecuencia de las cantidades ordenadas por los clientes, se sorprendió por el hecho de que la distribución estaba muy lejos de ser uniforme, con cantidades tales como 9, 11, 13 etc. fuera totalmente de ella; pero despues de consultar al gerente de ventas concluyó que las peculiaridades de la distribución probablemente eran un reflejo aproximado de las particularidades en los hábitos de ordenar de los clientes y por consiguiente no había razon para pensar que ~~las~~ la distribución de las cantidades de ordenes futuras diferirían de la distribución de la tabla 2.

La tabla 3 reproduce los datos y cálculos sobre los costos estándar para el artículo 53026, basada en una cantidad nominal ordenada de 57 y una tasa de rechazo del 5%

El costo estándar de manufactura del artículo fué de $63.95 mas 19.76 para costo general, administrativo, y gastos de venta, lo que nos lleva a un costo total estandar de $83.71; y una ganancia de $15.06 sobre el precio de venta promedio de $98.77. El precio de venta varía dependiendo de la clase de cliente que realiza la compra (Distribuidor, mayorista, etc.) y de la cantidad que compra.

La tabla 4 muestra la tasa de gastos generales de la fábrica del 200% que fué usada en Enero de 1963. Aunque Hooker planeó operar solamente al 90% de la capacidad, presupuestaba una cierta cantidad de tiempo extra, para manejar fluctuaciones aleatorias en las ordenes para no hacer entregas tardías a los clientes. Historicamente, Hooker ha encontrado la necesidad de algun tiempo extra, aun cuando la utilización de la capacidad de la fabrica en un año fuera del 75%, para prevenir que el tiempo extra fuera demasiado; había una política en la compañía, que era la de adquirir tanto equipo nuevo de manufactura como fuese necesario para mantener la capacidad utilizada abajo del 90%.

Exhibit 1

Order and Inventory History of Stock Item No. 5[illegible]

from December 8, 19[illegible] to December 24, 19[illegible]

Date	Day	Transactions: Cus Ord	Transactions: Fac Ord	Transactions: Fac Rec	Balances: On Hand	Balances: Due Out	Balances: Due In	Balances: Status
12/ 8	1				7	0	60*	67
		5			2			62
		5(B)				5		57
		1			1			56
			61				121	117
9	2	20(B)				25		97
11	4			60*	60		61	96
					55	20		
					35	0		
16	9	1			34			95
19	12	1			33			94
		1			32			93
26	19	5			27			88
1/ 2	26	4			23			84
		8			15			76
6	30	8			7			68
9	33	2			5			66
		4			1			62
17	41			58	59		0	59
			58				58	117
2/ 1	56	2			57			115
3	58	10			47			105
9	64	4			43			101
12	67	2			41			99
19	74	5			33			91
23	78			58	91		0	91
24	79	4			87			87
3/ 1	84	5			82			82
3	86	4			78			78
4/ 2	116	4			74			74
12	126	2			72			72
23	137	4			68			68
		1			67			67
27	141	2			65			65
5/ 7	151	1			64			64
15	159	10			54			54
		4			50			50
			67				67	117
16	160	6			44			111
23	167	1			43			110
24	168	8			35			102
29	173	4			31			98
6/ 7	182	4			27			94
		1			26			93
11	186	20			6			73

Date	Day	Transactions: Cus Ord	Transactions: Fac Ord	Transactions: Fac Rec	Balances: On Hand	Balances: Due Out	Balances: Due In	Balances: Status
15	190	2			4			71
23	193	5(B)			4	5		66
		5(B)			4	10		61
25	200			66	70		0	60
					65	5		
					60	0		
			57				57	117
7/ 2	207	4			56			113
		10			46			103
11	216	4			42			99
12	217	4			38			95
16	221	15			23			80
23	228	1			22			79
31	236	1			21			78
8/ 6	242			59	80		0	80
		4			76			76
20	256	1			75			75
27	263	2			73			73
9/10	277	8			65			65
		1			64			64
13	280	24			40			40
		2			38			38
			79				79	117
18	285	4			34			113
21	288	10			24			103
10/ 6	303	10			14			93
8	305	8			6			85
15	312			79	85		0	85
		4			81			81
23	320	2			79			79
30	327	4			75			75
11/17	345	8			67			67
		10			57			57
			60				60	117
12/ 4	362	1			56			116
5	363	4			52			112
		1			51			111
7	365	8			43			103
8	366	4			39			99
15	373	4			35			95
20	378	12			23			83
22	380			63	86		0	86
					78			78
					74			74
24	382				70			70

*Ordered on 10/27 (41 days before day 1).

Exhibit 3

Standard Costs, Item No. 53026

Standard Order Quantity: 57
Average Rejection Rate: 5%
Rejection Allowance: 3
Average Selling Price: $98.77

	Per Order	Per Good Piece	Per Defective
Direct Material		$30.00	$30.00
Direct Labor*			
Setup Labor: 12 hrs. at $2.50	$ 30.00		
Piece Labor: 4 hrs. at $2.50		10.00	5.00
Factory Overhead: 200% of Direct Labor**	60.00	20.00	10.00
	$ 90.00	$60.00	$45.00
Total Good-Piece Cost: 57 x 60.00	3420.00		
Total Defective Cost: 3 x 45.00	135.00		
	$3645.00		
Per Good Piece: ÷ 57		63.95	
G and A: 10% of Selling Price		9.88	
Selling Expense: 10% of Selling Price		9.88	
		$83.71	

* Includes no charge for overtime.

** See Exhibit 4.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS.

" MODELOS ESTOCASTICOS DE INVENTARISO ".

ACT. ARCADIO GAMBOA MEDINA.

PALACIO DE MINERIA
Tacuba 5, primer piso. México 1, D F.
TELEFONOS: 513-27-95
512-31-23 521-73-35

MODELOS ESTOCASTICOS DE INVENTARIOS

por el

Act. Arcadio Gamboa Medina

NOVIEMBRE, 1975

de una minimización. En el marco estocástico los costos resultan ser variables aleatorias, dado que la demanda es una variable aleatoria. Por lo tanto, la función objetivo se debe determinar en términos de valor esperado, para lo cual resulta conveniente combinar los costos esperados de mantenimiento y déficit en una fase cualquiera a través de una función que se llama de pérdida y que se denota por L.

Sean

y = existencia en almacén al principio de la fase

r = demanda en la fase

F = función de distribución de r

f = función de densidad de r

μ = valor esperado de r

Caso 1 : Demanda de tipo continuo

En este caso la función de pérdida está dada por la siguiente relación:

$$L(y) = \begin{cases} c_1\int_0^y (y-r)f(r)dr + c_2\int_y^\infty (r-y)f(r)dr, & \text{si } y > 0 \quad (1) \\ c_2\int_0^\infty (r-y)f(r)dr, & \text{si } y \leqslant 0 \quad (2) \end{cases}$$

La segunda integral en (1) se puede desarrollar como sigue:

$$\int_y^\infty (r-y)f(r)dr = \int_0^\infty (r-y)f(r)dr - \int_0^y (r-y)f(r)dr$$

$$= \mu - y + \int_0^y (y-r)f(r)dr \qquad (3)$$

en donde, por hipótesis, tanto la demanda como la existencia son números enteros.

Análogamente el caso continuo se desarrolla la segunda sumatoria en (8) para llegar a:

$$L(y) = \begin{cases} c_2(\mu-y) + (c_1+c_2)\sum_{r=0}^{y}(y-r)f(r) \ , & \text{si } y > 0 \quad (10) \\ c_2(\mu-y) \ , & \text{si } y \leqslant 0 \quad (11) \end{cases}$$

La sumatoria en (10) se puede simplificar agrupando términos de la siguiente forma:

$$\sum_{r=0}^{y}(y-r)f(r) = yf(0) + (y-1)f(1) + (y-2)f(2) + \ldots + 2f(y-2) + f(y-1)$$

$$\begin{aligned} &= f(0) + f(1) + f(2) + \ldots + f(y-2) + f(y-1) \\ &\quad + f(0) + f(1) + f(2) + \ldots + f(y-2) \\ &\quad + \ldots \\ &\quad \vdots \\ &\quad + f(0) + f(1) \\ &\quad + f(0) \end{aligned}$$

$$= F(0) + F(1) + \ldots + F(y-2) + F(y-1)$$

$$= \sum_{r=0}^{y-1} F(r) = Q(y) \qquad (12)$$

Por lo tanto, de (12), (10) y (11) se deduce que:

$$L(y) = c_2(\mu-y) + (c_1+c_2)\ Q(y) \quad ,$$

definiendo $Q(y) = 0$, si $y \leqslant 0$ (13)

Caso 2: Demanda de tipo discreto

En este caso y_1^* es el mínimo valor de y tal que $\Delta_y C_1(x,y) \geqslant 0$

$$\begin{aligned}\Delta_y C_1(x,y) &= c(y+1-x) + L(y+1) - c(y-x) - L(y)\\ &= c + c_2(\mu-y-1) + (c_1+c_2)Q(y+1) - c_2(\mu-y) - (c_1+c_2)Q(y)\\ &= c - c_2 + (c_1+c_2)\left[\sum_{r=0}^{y} F(r) - \sum_{r=0}^{y-1} F(r)\right]\\ &= c - c_2 + (c_1+c_2)F(y)\end{aligned}$$

Por lo tanto, C_1 alcanza su mínimo en y_1^*, en donde y_1^* es el mínimo valor de y tal que

$$F(y) \geqslant \frac{c_2-c}{c_1+c_2}$$

La política óptima en cualquiera de los dos casos consiste en pedir y_1^*-x unidades, si $x < y_1^*$, y en no hacer el pedido, si $x \geqslant y_1^*$. El costo esperado total óptimo es

$$C_1^*(x) = \begin{cases} c(y_1^*-x) + L(y_1^*) & , \text{ si } x < y_1^* \\ L(x) & , \text{ si } x \geqslant y_1^* \end{cases}$$

IV MODELO UNIFASICO CON COSTO DE ABASTECIMIENTO POR PEDIDO

Considérese ahora que en el proceso de la sección anterior sí hay costo de abastecimiento por pedido. En este caso se debe tomar en cuenta que si se hace el pedido, el costo total esperado analizado anteriormente se ve aumentado en c_3

Es decir, que se debe hacer un pedido de dos unidades y el costo esperado óptimo es

$$C_1^*(2) = 5(4-2) + L(4)$$
$$= 10 + 90(2.81-4) + (10+90)Q(4)$$
$$= -97.1 + 100(1.32)$$
$$= 34.9$$

Si el valor de c se cambia a 20, haciendo el pedido el costo subiría a 50.9. Por otro lado,

$$L(2) = 90(.81) + 100\ (.27)$$
$$= 99.9 > 50.9$$

Por lo tanto, también se debería hacer el mismo pedido.

VI PROGRAMACION DINAMICA

Algunos de los modelos estocásticos de inventarios son susceptibles de ser resueltos mediante el método de programación matemática llamado programación dinámica. En esta sección se presentan las ideas generales de la programación dinámica referidas al siguiente modelo de programación no lineal:

$$\left.\begin{aligned} &\text{Max } Z = \sum_{j=1}^{n} f_j(x_j) \\ &\text{sujeto a:} \quad \sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leqslant b \\ &\qquad x_j \geqslant 0 \quad j = 1,\ldots,n \\ &\qquad x_j \text{ entero} \quad j = 1,\ldots,n \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

en donde la maximización se debe realizar sobre enteros no negativos $x_1, \ldots, x_{n-1}$ que satisfagan la desigualdad (18)

Por otro lado, despejando a x_n de (17) se obtiene :

$$x_n \leqslant \frac{b}{a_n} - \frac{1}{a_n} \sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leqslant \frac{b}{a_n} \tag{20}$$

O sea que $\frac{b}{a_n}$ debe ser una cota superior de x_n, para que ésta sea admisible, además de tener que ser entero. Consecuentemente, $[\frac{b}{a_n}]$ también es una cota superior de x_n. Esto implica, junto con (15), (16) y (19), que :

$$Z^* = \max_{\substack{0 \leqslant x_n \leqslant [\frac{b}{a_n}] \\ x_n \text{ entero}}} \{f_n(x_n) + \Lambda_{n-1}(b - a_n x_n)\} \tag{21}$$

Por lo tanto, si se conociera la función Λ_{n-1}, el problema (14) se podría reducir a un problema de maximización de una sola variable. Para obtener Λ_{n-1} simplemente se debe reconocer la analogía entre (19) y (15); es decir,

$$\Lambda_{n-1}(r) = \max_{x_1, \ldots, x_{n-1}} \{\sum_{i=1}^{n-1} f_j(x_j)\}$$

en donde $x_1, \ldots, x_{n-1}$ deben ser enteros no negativos tales, que:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leqslant r$$

Procediendo de la misma forma que con Z* se obtiene:

$$\Lambda_{n-1}(r) = \max_{\substack{0 \leqslant x_{n-1} \leqslant [\frac{r}{a_{n-1}}] \\ x_{n-1} \text{ entero}}} \{f_{n-1}(x_{n-1}) + \Lambda_{n-2}(r - a_{n-1} x_{n-1})\} \tag{22}$$

Para resolver el problema a mano, resulta conveniente utilizar el siguiente formato de tablas:

Tabla 1

		x_1	0	1	$x_1^*(r)$	$\Lambda_1(r)$	
		$f_1(x_1)$	0	5			
r	$[\frac{r}{a_1}]$						
0	0		0		0	0	*
1	0		0		0	0	
2	0		0		0	0	
3	0		0		0	0	
4	1		0	5	1	5	
5	1		0	5	1	5	

Los valores del cuarto rectángulo de izquierda a derecha de la tabla corresponden a $f_1(x_1)$ $(0 \leqslant x_1 \leqslant [\frac{r}{a_1}]$ y x_1 entero), y los del quinto al valor de x_1 que maximiza a $f_1(x_1)$ y al valor correspondiente de $f_1(x_1)$. Para tablas subsecuentes, sin embargo, en lugar de $f_1(x_1)$ se deberá considerar a $f_k(x_k) + \Lambda_{k-1}(r-a_k x_k)$.

Tabla 4

		x_4	0	1			
		$f(x_4)$	0	1	$x_4^*(r)$	Z	
r	$[\frac{r}{a_4}]$						
0	0		0		0	0	
1	0		2		0	2	
2	0		4		0	4	
3	1		6	1	0	6	
4	1		8	3	0	8	
5	1		10	5	0	10	*

El valor óptimo de la función objetivo está dado por el valor máximo de Z, que es 10. El valor correspondiente de x_4 es cero, y por lo tanto, las 5 unidades de la restricción quedan intactas. Se busca entonces en la Tabla 3 para r = 5 y se encuentra que $x_3 = 0$. Consecuentemente, en la Tabla 2 se busca para r = 5, encontrándose que $x_2 = 5$. Esto quiere decir que se utilizan las 5 unidades de la restricción, y así $x_1 = 0$.

VIII MODELO UNIFASICO CON RESTRICCION DE ESPACIO PARA VARIOS ARTICULOS

Considérese un proceso de inventarios de una fase y n tipos de artículos, bajo las siguientes hipótesis:

i) Se requiere tener en almacén suficiente número de cada uno de los n tipos de artículos.

La solución se puede obtener aplicando el método de programación dinámica expuesto anteriormente.

IX EJEMPLO

$$\text{Min } Z = \lambda_1(y_1) + \lambda_2(y_2) + \lambda_3(y_3)$$

sujeto a: $$2y_1 + 3y_2 + 4y_3 \leq 5$$

$$y_1, y_2, y_3 \text{ enteros no negativos}$$

$$c_{21} = 10, \qquad c_{22} = 20 \qquad y \qquad c_{23} = 30$$

r	$f_1(r)$	$F_1(r)$	$Q_1(r)$	$f_2(r)$	$F_2(r)$	$Q_2(r)$	$f_3(r)$	$F_3(r)$	$Q_3(r)$
0	.1	.1	0	.4	.4	.0	.1	.1	0
1	.1	.2	.1	.3	.7	.4	.1	.2	.1
2	.3	.5	.3	.2	.9	1.1	.2		.3
3	.2	.7	.8	.1		2.0	.2		
4	.2	.9	1.5				.3		
5	.1		2.4				.1		

$\mu_3 = 2.6$
$\mu_2 = 1$
$\mu_3 = 2.8$

$$\lambda_1(y_1) = 26 - 10y_1 + 10 \sum_{r=0}^{y_1 - 1} F_1(r)$$

$$\lambda_2(y_2) = 20 - 20y_2 + 20 \sum_{r=0}^{y_2 - 1} F_2(r)$$

$$\lambda_3(y_3) = 84 - 30y_3 + 30 \sum_{r=0}^{y_3 - 1} F_3(r)$$

Tabla 3

		y_3	0	1	$y_3^*(t)$	$\Lambda_3(t)$	
		$f_3(y_3)$	84	57			
t	$[\frac{t}{a_3}]$						
0	0		130		0	130	
1	0		130		0	130	
2	0		121		0	121	
3	0		118		0	118	
4	1		113	103	1	103	*
5	1		109	103	1	103	

Por lo tanto, los niveles óptimos son $y_1 = 0$, $y_2 = 0$ y $y_3 = 1$. El costo esperado mínimo es 103.

X MODELOS MULTIFASICOS

Extendiendo el modelo unifásico de la sección III a n fases, se crea un modelo multifásico que se puede resolver combinando el criterio de dicha sección con el principio recursivo de programación dinámica. En este caso el modelo no corresponde exactamente al presentado en la sección VI, pero la idea es exactamente la misma. Se empieza resolviendo el problema de la última fase y se sigue el análisis considerando una a una las fases inmediatas anteriores, hasta cubrir todo el horizonte en cuestión (Para un tratado detallado, véase OPERATIONS RESEARCH, AN INTRODUCTION, 1971, de H.A. Taha).

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS

DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS
S. O. P.
XOLA 1755
MEXICO, D.F.

DR. FELIPE OCHOA ROSSO
DIRECTOR
FELIPE OCHOA ROSSO Y ASOCIADOS, S.C.
AV. REVOLUCION 1909-7°
MEXICO, D.F.

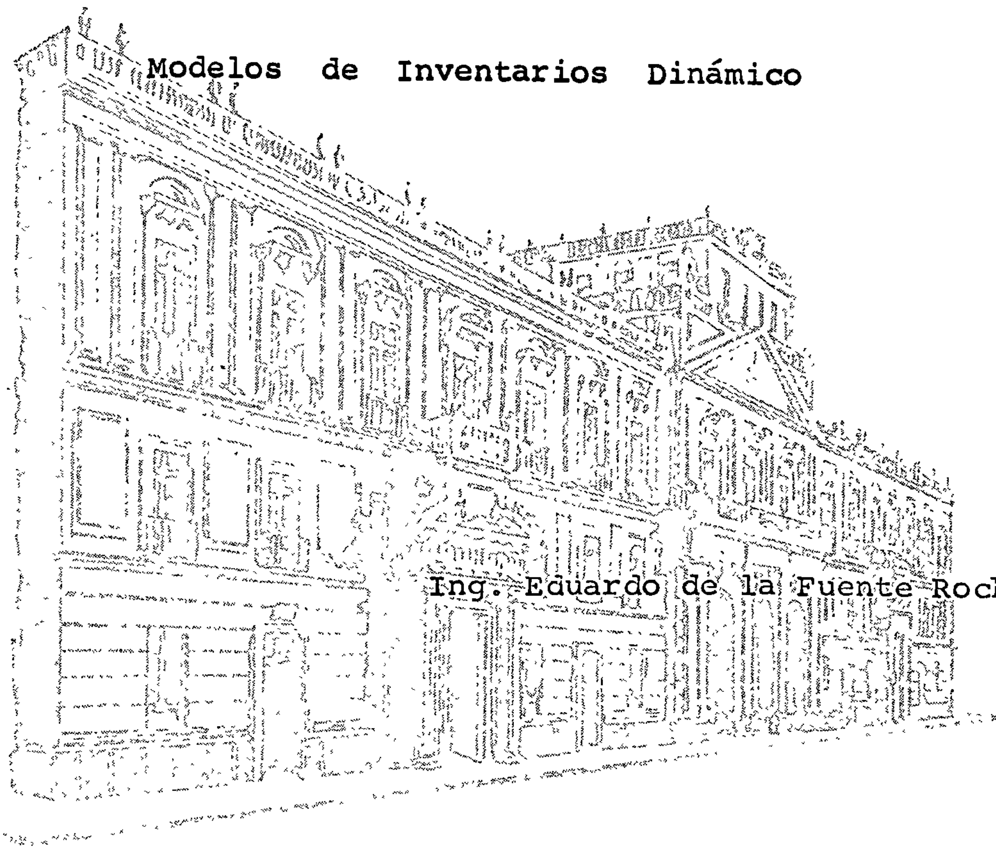
ACT. CARLOS GONZALEZ JAMESON
SUB DIRECTOR DE DESARROLLO DE FUNCIONARIOS
DIRECCION GENERAL DE OPERACION Y DESARROLLO
DE ORGANISMOS Y EMPRESAS DEL SECTOR PARAESTATAL
SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL
INSURGENTES SUR 552-9°PISO
MEXICO, D.F.

ACT. CARLOS AYALA IZAGUIRRE
JEFE DE LA OFICINA DE PROGRAMACION ESPECIALES
S. O. P.
XOLA 1755 P.B.
MEXICO, D.F.

ACT. ARCADIO GAMBOA MEDINA
CONSULTOR
FELIPE OCHOA Y ASOCIADOS, S.C.
AV. REVOLUCION 1909-7°
MEXICO, D.F.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTROL DE INVENTARIOS



Modelos de Inventarios Dinámico

Ing. Eduardo de la Fuente Rocha

Noviembre de 1975

Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Teléfonos: 521-30-95 521-73-35

CALCULO DIFERENCIAL A LA TEORIA DE INVENTARIOS:

Derivación de fórmulas de costo mínimo; Para desarrollar fórmulas para computación sencillas que sean aplicables a cualquier resolución de datos, empezaremos con la expresión general para el costo total de incremento.

$$TIC = \frac{ChQ}{2} + \frac{CpR}{Q} \quad (E C I)$$

Esta es una ecuación para la curva del costo total de incrementos, y queremos determinar una expresión general para Q. El tamaño del lote asociado con ésta, el mínimo de la curva del costo total de incrementos. Matemáticamente esto se puede hacer encontrando el valor de Q por el cual la inclinación de la curva total del costo de incremento es cero. usando los elementos de un cálculo diferencial simple, la primera derivación de la ecuación 1 con respecto a Q es :

$$\frac{d\,(TIC)}{dQ} = \frac{Ch}{2} - \frac{CpR}{Q^2} \qquad (2)$$

El Valor de la ecuación (2) es la inclinación de la línea tangente a la curva total del costo de incrementos. Deseamos saber el valor de Q cuando esta inclinación es (0) cero, ∴ podemos poner la ecuación (2) igualada a cero y resolvemos por Q;

$$\frac{Ch}{2} - \frac{CpR}{Q_o^2} = 0 \qquad Q_o = \sqrt{2CpR/Ch} \qquad (3)$$

El costo de una solución óptima computada por la ecuación (3) puede ser derivada substituyendo el valor de Q en la ecuación (1).

$$TIC. = \sqrt{2CpChR} \qquad (4)$$

El número de órdenes óptimo por año No y el tiempo entre las órdenes To para una solución óptima es el siguiente.

El modelo clásico de inventario toma un precio constante ... así que para desarrollar un sistema para decisiones que tome en cuenta los descuentos, debemos modificar el modelo clásico de inventario ... que incluya el precio o valor del artículo como una variable.

$$TIC = Cp \frac{R}{Q} = \frac{KQ}{2} Fh \qquad (7)$$

de donde;

K = Costo por unidad o precio del artículo.

Fh = Costo de inventario como una fracción de dicho inventario.

Siguiendo el procedimiento anterior, la ecuación (7) es diferenciada con respecto a Q y el resultado es igual a cero.

Las siguientes fórmulas para computación son;

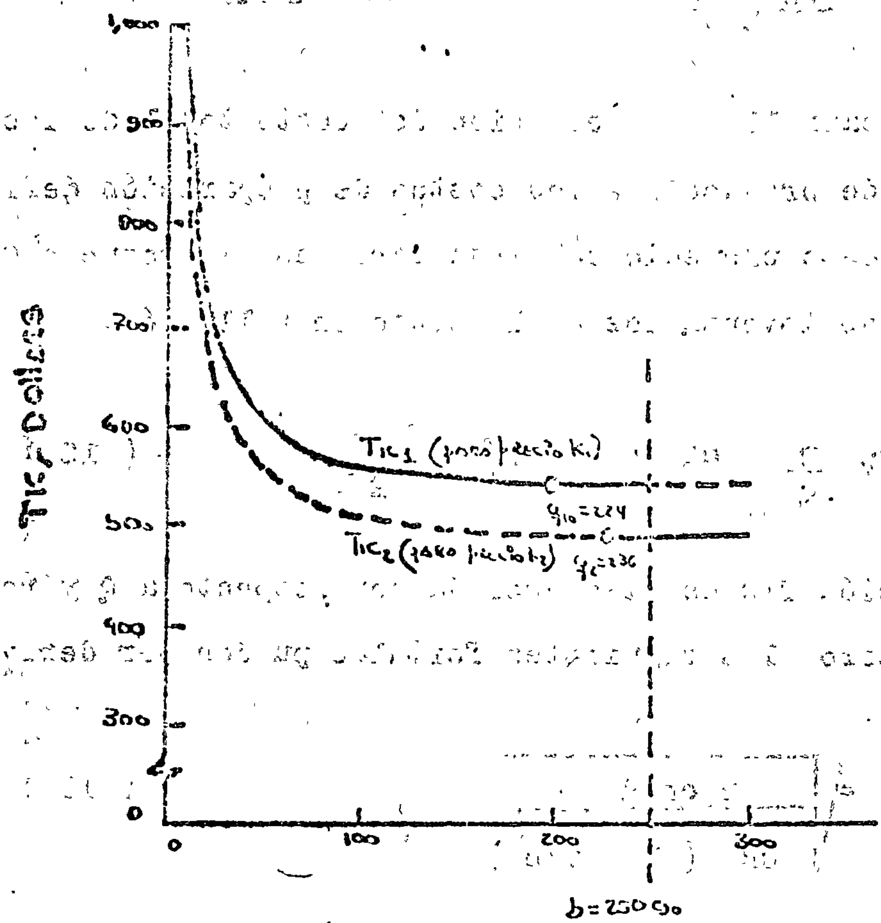
$$Qo = \sqrt{2CpR / KFH} \qquad (8)$$

$$TIC = \sqrt{2CpKFHR} + KR \qquad (9)$$

Las ecuaciones (8) y (9) entonces son usadas en un sistema de decisiones para determinar la cantidad más económica a producir cuando implican descuentos.

(VER GRAFICAS)

CURVA DEL COSTO TOTAL DE INCREMENTOS



Tamaño del lote

INV. MOD. con precio lote cuando b = 250 U.
R = 900 U. x año, cp = $10.- fh = 20%
K_1 = $1.00, K_2 = $.90, $q_0 = b = 250$ U.

$$Qo \text{ es } No = R / Qo \qquad (15)$$

y el tiempo óptimo entre corridos es:

$$to = Qo / R = 1 / No \qquad (16)$$

PRIMERA DERIVADA Y SEGUNDA DERIVADA:

La pendiente de una curva en un punto se encuentra evaluando la derivada en ese punto. Nos interesa encontrar puntos donde la inclinación sea cero. ó punto donde la tangente a una curva sea horizontal. El análisis de la pendiente cero no solo ayuda al trozo de las curvas sino que también es de gran ayuda para la determinación de los valores MAXIMOS y MINIMOS de una función, ó sea la ganancia máxima y el costo mínimo.

El procedimiento para encontrar puntos con una pendiente cero -- consiste en hacer que la primera derivada sea igual a cero, y luego resolver la ecuación resultante. El punto de pendiente cero puede determinarse con la prueba de la primera derivada . si se ha llegado al punto máximo, la pendiente a la izquierda es positiva, . En realidad la pendiente cambia de positiva a negativa a medida que cruzamos un mínimo. No obstante, la pendiente no cambia de signo cuando cruzamos un mínimo. No obstante, la pendiente no cambia de signo cuando pasamos un punto de inflexión. Al aplicar la prueba de la primera derivada, evaluamos la primera derivada un poco a la derecha y a la izquierda del punto de inclinación cero.

La segunda derivada y las subsiguientes se encuentran repitiendo el proceso empleado para determinar la derivada procedente . La anotación de la función de la derivada más alta es;

con ayuda de computadoras continuará en la forma que hemos descrito.

nara, puesto que a mayor riesgo correspondía mayor costo. Sea c_{ij} el costo de la póliza por viajar del Estado i al Estado j. Los valores de c_{ij} aparecen en la figura 1. Juan Sop no confió en la ruta recomendada por el agente de seguros ya que este utilizó para definirla la técnica secrecional pinólica (el que tiene más saliva traga más pinole) con la consecuente ventaja para la Compañía de Seguros. Juan se marcó como objetivo el buscar una ruta que hiciese mínimo el costo total de su póliza.

Juan analizó el problema como sigue. Primero le pareció muy significativo el siguiente principio

Principio de optimalidad (Bellman): Una "política" óptima debe tener la propiedad de que, independientemente de la ruta tomada para llegar a un estado particular, las decisiones restantes deben constituir una política óptima para salir de ese estado.

Luego se dió cuenta de que una ruta óptima para salir del estado 6, por decir algo, no dependía de la ruta particular que le condujo al estado 6. Presionando aún más su creatividad, Juan razonó que si el conocía de alguna manera las rutas óptimas para salir de los estados 5, 6 y 7, entonces el podría fácilmente determinar una ruta óptima para salir del estado 3 en el caso de que el hubiese de día calcular $f_2(6)$, la mínima política de costo cuando él estaba en el estado 6 con dos etapas más para llegar a su destino final. El observó que solo tenía dos maneras para dejar el estado 6 una vez que decidió llegar a él. Una es ir al estado 8, la política de costo asociada es $c_{6,8}$ más $f_1(8)$ (que ya había calculado). La otra manera es ir al estadio 9, la correspondiente política de costo es $c_{6,9}$ más $f_1(9)$ (que también ya había calculado). Y, ¡Oh maravilla! el valor de $f_2(6)$ debe ser la menor de estas dos sumas.

Juan supuso que dentro de su locura debería de haber un método y, por supuesto, tenía razón. El método puede establecerse sucintamente a través de la relación siguiente:

$$(2) \qquad f_n(s) = \min_{(s,j)\ \text{Red}} \quad c_{sj} + f_{n-1}\ (1) \qquad \text{para} \quad n = 1,\ 2,\ 3,\ 4$$

que establece que el valor de una política óptima con n etapas restantes $(f_n(s))$ depende de la consecuencia de la acción inmediata (c_{sj}) y del valor correspondiente de una política óptima con (n-1) etapas restantes. Este es un punto clave en todas las aplicaciones de la programación dinámica.

En términos simbólicos (2) establece que se pueden encontrar los valores de $f_1(s)$ cuando se conocen los valores de $f_0(s)$. Enseguida

$n = 1$

$c_{ij} + f_o(j)$

Estado entrante	s \ j	10	$j_1(s)$	$f_1(s)$
	8	1+0	10	1
	9	4+0	10	4

Figura 2

$n = 2$

$c_{ij} + f_1(j)$

s \ j	[illegible]	[illegible]	$j_2(s)$	$f_2(s)$
5	7+1	5+4	8	8
6	3+1	4+4	8	4
7	7+1	1+4	9	5

Figura 3

$n = 3$

$c_{ij} + f_2(j)$

Estado entrante	s \ j	5	6	7	$j_3(s)$	$f_3(s)$
	2	10+8	12+4		6	16
	3	5+8	10+4	7+5	7	12
	4		15+4	13+5	7	18

Figura 4

$n = 4$

$c_{ij} + f_3(j)$

Estado entrante	s \ j	2	3	4	$j_4(s)$	$f_4(s)$
	1	2+16	5+12	1+18	3	17

Figura 5

la tabla para $n = 4$ (figura 5), se encuentra que una decisión óptima es ir del estado 1 al estado 3. Pasando a la tabla para $n = 3$ (figura 8.4), se observa que cuando Juan entra al estado 3 (tercer renglón), una decisión óptima es ir al estado 7. Continuando con la tabla para $n = 2$ (figura 3), se encuentra que cuando él entra al estado 7, una decisión óptima es ir al estado 9. Y del estado 9 él termina en el estado 10. En resumen, una política óptima es la ruta del estado 1 al 3, al 7 al 9 al 10, la cual, como $f_4(1)$ indica, tiene un costo de $5+7+1+4=17$.

Debe observarse que la programación dinámica es más eficiente que enumerar y evaluar cada política posible. En este problema particular, se tienen 14 rutas distintas del Centro a Ensenada. Para evaluar el costo de cada ruta es necesario sumar las 4 c_{ij} apropiadas (una para cada etapa). Luego una enumeración completa habría requerido $(14)(3) = 42$ sumas, comparado con el total de 16 involucradas en la figura 3 a 5. La ventaja relativa del método recursivo queda fuera de duda en las aplicaciones típicas, donde una enumeración completa generalmente es prácticamente imposible.

Juan juzgó que su experiencia contiene algunos conceptos y enfoques que aparecen en subsecuentes aplicaciones. Para aprovechar estas ideas cuando se estudie cada nuevo modelo debe preguntarse:

culo era lo suficientemente pequeño, él podía suponer que la producción en el período t podía usarse para satisfacer, entera o parcialmente, a la demanda existente en ese período,

iv) puesto que la demanda variaba de un período a otro y existían ciertas economías en la producción por lote, podía ser económico producir más de lo que se necesitaba en un período y almacenar el exceso hasta que se requiriera posteriormente. Sin embargo se tenía un costo por almacenar el inventario resultante. Dependiendo de las circunstancias, este costo era atribuible a factores tales como: intereses sobre el capital que tenía que pedir prestado para financiar el inventario, rentas de los almacenes, seguros y mantenimiento. Dicho "costo de inventario" debía tomarse en cuenta al determinar el programa de producción.

v) El objetivo de la "Dinámica, S.A." debía ser el determinar un programa que minimice el costo total de producción más el de inventario sujeto a la restricción de que se satisfaga la demanda en cualquier período.

Juan pensó que podría aprovechar la experiencia que obtuvo en su viaje y que, aunque la situación estaba muy idealizada, contemplaba muchas consideraciones importantes en lo relativo a la selección de una política de inventarios. Se fijó entonces como propósito fundamental -

inventario i_t . Luego la función objetivo podía escribirse como:

$$\min \sum_{t=1}^{N} c_t (x_t, i_t) \qquad (1)$$

Juan observó que debían imponerse ciertas restricciones a las variables x_t , i_t . Primeramente, como ya lo había pensado, el que la producción debe tomar valores enteros:

$$x_t = 0,1,2,\ldots \quad \text{para cada período } t \qquad (2)$$

además Juan fijó el deseo de "Dinámica, S.A." de encontrar una política en la cual el nivel de inventario fuese cero al final del período N.

$$i_N = 0 \quad \text{(inventario final nulo)} \qquad (3)$$

Finalmente estipuló que la demanda de cada período debía ser entera y oportunamente satisfecha. Para lograr esta condición dedujo dos restricciones. La primera podría llamarse una "identidad contable" ya que establece que:

Inventario al final del período t	=	inventario entrante en el período t más producción en el período t menos demanda en el período t

Con la perspicacia de costumbre Juan observó que todas las restricciones son lineales, de manera tal que si cada función de costo $C_t(x_t, i)$ era lineal, entonces todo el problema sería lineal con la única variante de de que las variantes deberían ser enteras. Sin embargo Juan pensó que en muchas aplicaciones a modelos de producción, las funciones de costo eran no lineales. Por ejemplo, en muchos casos el costo de producir el primer lote de artículos frecuentemente es mayor que el costo "incremental" de producir unidades subsecuentes. Y cuando la producción excede a la capacidad normal durante un período, el costo incremental también puede crecer debido al uso de tiempo extra.

Amparándose en razonamientos de este tipo, Juan decidió seguir explorando la aplicación de la Programación Dinámica y dejar el descubrimiento de la Programación Lineal Entera para más adelante.

Recordó que en el "problema folklórico" la idea computacional era empezar los cálculos "por el final" (ninguna etapa restante) y trabajar "hacía atrás" hasta llegar al inicio del proceso. Aquí el final del proceso es cuando solo queda un periodo en el horizonte de planeación, y el inicio es cuando restan N periodos.

Juan encontró conveniente usar un sistema de índices en donde el subíndice 1 representa el final del horizonte y el subíndice N el principio. Específicamente definió :

$x_n(i)$ = un nivel de producción que conduce a $f_n(i)$

Puesto que el inventario al final del horizonte es nulo, de acuerdo con (3), entonces resulta:

(6) $$f_o(0) = 0 \qquad (n = 0)$$

Ahora veamos $n = 1$. El inventario entrante i, puede ser cualquier entero entre 0 y d_1, pero, independientemente del nivel específico, la cantidad producida debe ser $d_1 - i$ de manera que se satisfaga toda la demanda al final del periodo. Se sigue que:

$$f_1(i) = C_1(d_1 - i, 0) \quad \text{para} \quad i = 0, 1, \ldots, d_1$$

Siguiendo con $n=2$, se observa que si el inventario entrante se designa por i, y el nivel de producción con x, entonces el costo asociado es:

$$C_2(x, i + x - d_2) + f_1(i + x - d_2)$$

suponiendo que se actuá optimámente para $n=1$. Obsérvese que la cantidad $i + x - d_2$ es simplemente el inventario al final del periodo. El valor para i puede ser cualquier entero entre o y d_1+d_2. Dado i, el valor entero de x debe ser al menos tan grande como $d_2 - i$ con objeto de cubrir la demanda del periodo, pero no mayor que $d_1 + d_2 - i$ porque el inventario final debe ser nulo. Una x

$f_2(1), \ldots, f_2(d_1 + d_2)$, luego obtener $f_3(0)$, $f_3(1), \ldots, f_3(d_1+d_2+d_3)$, continuando después para valores sucesivos de n hasta llegar a $f_{N-1}(0)$, $f_{N-1}(1), \ldots, f_{N-1}(d_1+d_2+\ldots+d_{N-1})$ y finalmente a $f_N(i_o)$.

Para encontrar el programa óptimo, se checa que nivel de producción $x_N(i_o)$ condujo al valor para $f_N(i_o)$, esta es una decisión óptima en el inicio del horizonte. En la siguiente etapa el inventario entrante será $i_o + x_N(i_o) - d_N$. Se encuentra el nivel de producción que conduce al valor $f_{N-1}(i_o + x_N(i_o) - d_N)$ y así enseguida. Este proceso se aclarará en la aplicación siguiente a "Dinámica, S.A."

En este momento Juan hizo una pausa para aclarar lo que había hecho para caracterizar el problema en términos de programación dinámica.- El problema lo visualizó por etapas, en donde n designa al número de etapas (aquí periodos) hasta el término del periodo final. Para ilustrar supóngase de nuevo que $N = 4$ y los periodos son enero, febrero, marzo y abril, de esta manera $n = 1$ se refiere a abril y $n = 4$ a enero. Los requerimientos de enero son representados con d_4 en la fórmula de recurrencia (8). Una notación similar se usó para las funciones de costo.

Lo que es novedoso es el considerar que el nivel de inventario entrante describe al estado en que se tienen n periodos restante. Continuando con la ilustración de "4 meses"; obsérvese que dada la cantien una política óptima el alargar el horizonte N. Este último análisis se le ocurrió al pensar que una política óptima puede ser influenciada drásticamente por la imposición de una restricción.

Para que el análisis sea simple, se supone estacionalidad en el tiempo para las funciones de demanda y de costo. Específicamente sea :

(1) $D_t = 3$ para todos los periodos (demanda estacionaria)

Supóngase que la función de costo es simplemente la suma de un término debido a la producción y un costo de inventario lineal, esto es :

(2) $C_t(x_t, i_t) = C(x_t) + h\, i_t$ para todos los periodos con :

(3) $C_o(0) = 0$, $C(1) = 15$, $C(2) = 17$, $C(3) = 19$, $C(4) = 21$,

$C(5) = 23$

(4) $h = 1.$

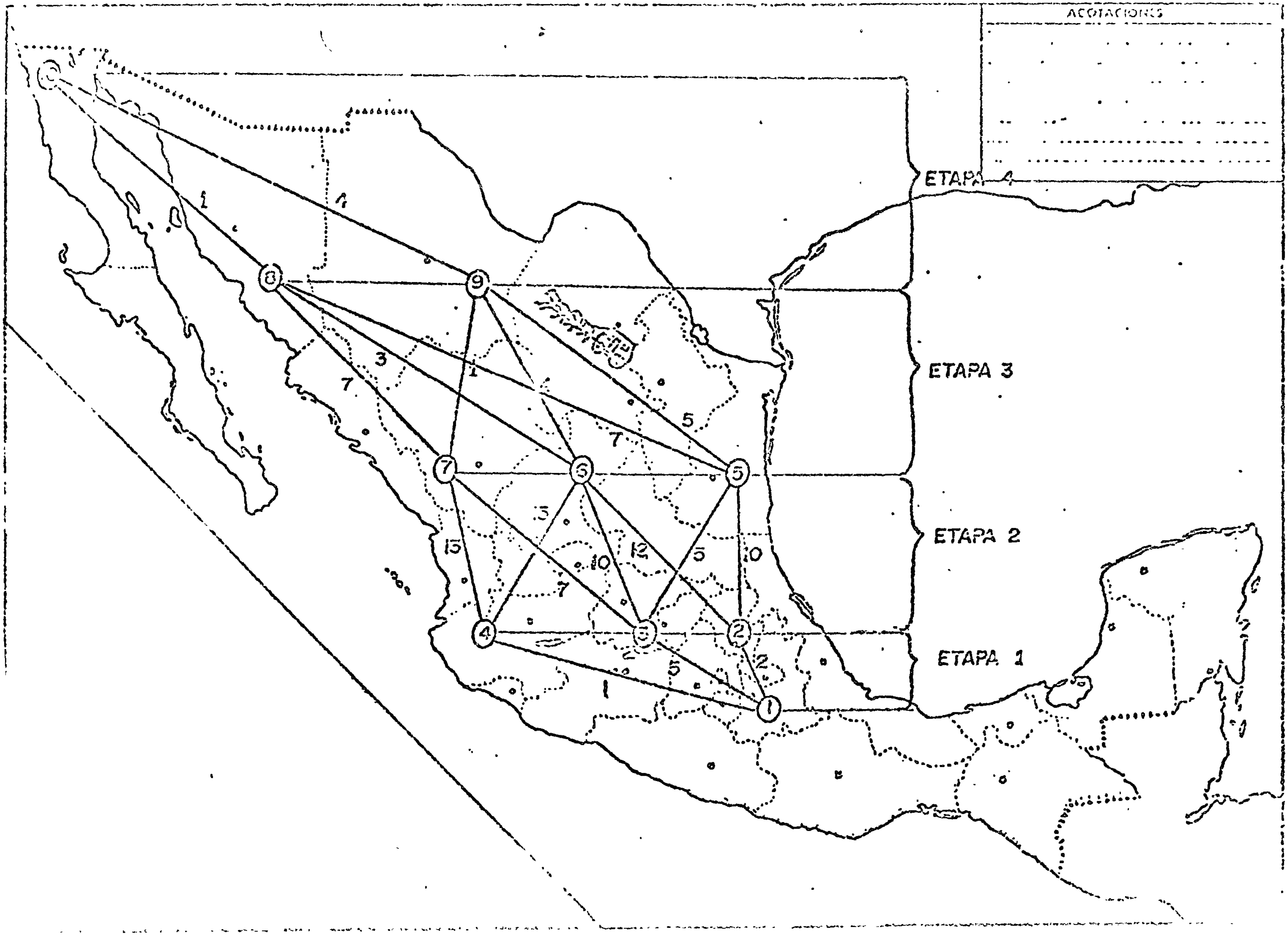
Luego el costo de producción puede verse como constituído por un costo de arranque 13 más un costo variable unitario de 2 por artículo producido. El costo de inventario es justamente una vez el nivel final del mismo.

Una complicación adicional es que Dinámica, S.A., tiene una capafin del periodo la restricción de inventario en (5) evita que x exceda a $7-i$. (Obsérvese que $x \quad \min(5, 6-i)$ para $n = 2$).

Con objeto de realizar el análisis, es necesario tener disponibles los valores $f_n(i)$, luego esta labor se presenta enseguida. El formato de las tablas numéricas es muy similar al usado en el ejemplo folklórico. Un renglón de la tabla corresponde a un valor del inventario entrante i, y una columna al nivel de producción x. Puesto que la demanda debe satisfacerse en cada periodo y el inventario al final de un periodo no puede ser mayor que 4, ciertas entradas de la tabla no se consideran por ser combinaciones no factibles. Las entradas que aparecen en el cuerpo de una tabla son la suma de los costos para el periodo inmediato y el costo de una política óptima en los periodos subsecuentes. Para cada renglón, el mínimo de estas sumas se muestra a la derecha, en la columna titulada $f_n(i)$ junto con el correspondiente nivel de producción óptimo $x_n(i)$.

La expresión (6) para $f_1(i)$ está tabulada en la figura 9. La función $f_2(i)$ se calcula en la figura 10. Obsérvese la construcción detallada de la tabla. Se tienen 5 renglones, uno para cada valor factible de i. Algunas posibilidades están canceladas. Por ejemplo si $i = 1$ entonces $x \geq 2$ con objeto de satisfacer la demanda. Si $i = 4$ entonces $x \leq 2$ con objeto de que el inventario al final del horizonte sea cero. La primera entrada :

Los cálculos que conducen a $f_3(i)$ se muestran en la figura 11. Aquí $C(x) + 1(i + x - 3)$ es el primer término y $f_2(i + x - 3)$ de la figura 10 es el segundo. Los valores restantes de $f_n(i)$, para $n = 4,5,6$ se resumen en la figura 12.


ACOTACIONES
ETAPA 4
ETAPA 3
ETAPA 2
ETAPA 1

$$C(x) + 1(i + x - 3) + f_1(i + x - 3)$$

Producción

	0	1	2	3	4	5	$x_2(i)$	$f_2(i)$
				19 + 0 + 19	21 + 1 + 17	23 + 2 + 15	3	38
			17 + 0 + 19	19 + 1 + 17	21 + 2 + 15	23 + 3 + 0	5	26
		15 + 0 + 19	17 + 1 + 17	19 + 2 + 15	21 + 3 + 0		4	24
	0 + 0 + 19	15 + 1 + 17	17 + 2 + 15	19 + 3 + 0			0	19
	0 + 1 + 17	15 + 2 + 15	17 + 3 + 0				0	18

Figura 8.10. (n = 2)

$$\left[C(x) + 1(i + x - 3)\right] + f_2(i + x - 3)$$

Producción

0	1	2	3	4	5	$x_3(i)$	$f_3(i)$
			19 + 38	22 + 26	25 + 24	4	48
		17 + 38	20 + 26	23 + 24	26 + 19	5	45
	15 + 38	18 + 26	21 + 24	24 + 19	27 + 18	4	43
0 + 38	16 + 26	19 + 24	22 + 19	25 + 18		0	38
1 + 26	17 + 24	20 + 19	23 + 18			0	27

Figura 8.11. (n = 3)

Producción

n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5		n = 6	
$x_1(i)$	$f_1(i)$	$x_2(i)$	$f_2(i)$	$x_3(i)$	$f_3(i)$	$x_4(i)$	$f_4(i)$	$x_5(i)$	$f_5(i)$	$x_6(i)$	$f_6(i)$
3	19	3	38	4	48	3, 4	67	5	79	4	96
2	17	5	26	5	45	5	64	5	74	5	93
1	15	4	24	4	43	5	54	4	72	4	91
0	0	0	19	0	38	0	48	0	67	0	79
		0	18	0	27	0	46	0	65	0	75

Figura 8.12.

RELACION DE DIVERSOS REPORTES SOBRE ADMINISTRACION DE INVENTARIOS.

STATISTICAL PROBLEMS IN INVENTORY CONTROL
Yale University New Haven Conn School of Organization and Management Office of Naval Research, Arlington, Va. Army Research Office, Arlington, Va. (408906).
Author: Maccormick, Alastair
Dec. 74 279P.
Rept. No: TR-2

INVENTORY PROBLEM WITH UNKNOWN MEAN DEMAND AND LEARNING
Amc Inventory Research Office Philadelphia Pa. (403572).
Technical Rept.
Author: Kaplan, Alan J.
Mar 75 17P.
Rept. No. IRO-TR-75-1.

DISCRETE SERVO ANALYSIS TECHNIQUES AS APPLIED TO THE DYNAMIC MODELING OF INDUSTRIAL INVENTORY SYSTEMS.
Army Material Command Texarkana Tex Intern Training Center Texas a and M. Univ. Graduate Center, College Station (408058).
Author: Gudger, R. Gregory
May 74 64
Rept.No: USAMC-ITC-02-08-73-019

INVENTORY CONTROL IN A CLINICAL LABORATORY
Army Materiel Command Texarkana Tex Intern Training Center * Texas A And M Univ., College Station. (408058).
Author: Kolisek, Miroslav J.
Mar 73 46P.
Rept No: USAMC-ITC-2-73-13

AN OPTIMAL INVENTORY MODEL FOR THE INTERMEDIATE ECHELON WHEN RESUPPLY IS POSSIBLE BUT INCERTAIN
George Washington Univ Washington, D.C. Inst for Management Science and Engineering (406743).
Author: Haber, Sheldon E., Sitgreaves, Rosedith
6 May 74 20P

TWO CONSTRAINED INVENTORY MODELS
Army Material Command Texarkana Tex Intern Training Center (408058)
Author: Erickson, Merlin L.
Jul 71 55 P
Rept No: USAMC - ITC-2-71-02

A DESCRIPTION OF A LIFE CYCLE COST MODEL FOR INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS
Aerospace Guidance and Metrology Center Newark Air Force Station Ohio (407985).
Author: Meitzler, Thomas D., Genet, Russell M.
13 Jun 74 50P
Rept No: AGMC-74-01411

EVALUATION OF SEVERAL VSL/EOO MODELS
Amc Inventory Research Office Philadelphia Pa (403572)
Author: Deemer, Robert L., Kruse, W. Karl
May 74 47P

AN OPTIMAL INVENTORY MODEL FOR THE INTERMEDIATE ECHELON WHEN RESUPPLY IS POSSIBLE BUT UNCERTAIN
George Washington Univ Washington D C Inst for Management Science and Engineering (406743)
Author: Haber, Sheldon E., Sitgreaves, Rosedith
6 May 74 20P
Rept No: Serial - T- 300

A COMPUTER SIMULATION CASE FOR THE AUDITING CLASSROOM
Naval Postgraduate School Monterey Calif (251450)
Author: Burns, David C.
Nov 73 135P
Rept No: NPS - 55BU73111A

ARPANET MANAGEMENT STUDY
Cabledata Associates Inc Palo Alto Calif (408608)
Author: Baran, Paul, Caulkins, David C., Cerf, Vinton G., Crane, Ronald C., Goldstein, Paul
20 Jan 74 308P
Rept No: R-123

INVENTORY CONTROL IN A CLINICAL LABORATORY
Arma Materiel Command Texarkana Tex Intern Training Center*Texas a And M Univ., College Station. (408058)
Author: Kolisek, Miroslav J.
Mar 73 46P

NAVAL RESEARCH LOGISTICS QUARTERLY. VOLUME 21, NUMBER 2.
Office of Naval Research Arlington Va (265250)
Jun 74 373P
Availability: Paper Copy Available From Gpo.

SUBMARINE TENDER INVENTORY MANAGEMENT SIMULATION
Navy Fleet Material Support Office Mechanicsburg Pa Operations
Author: Thompson, David W.

26 Jul 74 40P
Rept No: 112

SHIPS SUPPLY SUPPORT STUDY (S4)
Office of the Chief of Naval Operations Washington D C (264850)
Author: Kaiser, Robert D., Boisseau, H. James
Nov 73 99P
Rept No: LMI-73-8

SHIPS SUPPLY SUPPORT STUDY (S4)
Office of the Chief of Naval Operations Washington D C (264850)
Author: Prichard, James W.
31 May 73 227P

AN INVESTIGATION OF OPTIMAL DECISION RULES FOR SEVERAL SINGLE-PERIOD STOCHASTIC INVENTORY PROBLEMS
Naval Postgraduate School Monterey Calif (251450)
Author: Swasdikiat, Sirichoke
Sep 73 40P

ANALYSIS OF THE UNITED STATES NAVY UNIFORM INVENTORY CONTROL PROGRAM AND A PROPOSED REPAIR/PROCUREMENT INTERFACE MODEL
Naval Postgraduate School Monterey Calif (251450)
Author: Meyer, Fred Lewis
Sep 73 50P

RELIABILITY IN COMPLEX INVENTORY ACCOUNTING SYSTEMS: A SENSITIVITY ANALYSIS
Naval Postgraduate School Monterey Calif (251450)
Author: Kinley, Frederic Henry Michael, Carter, James O'Neill
Sep 73 205P

AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF SUPPLY DISCIPLINE ON THE ADVANCED LOGISTICS SYSTEM
Air Force Inst of Tech Wright-Patterson Afb Ohio School of Systems and Logistics (012250)
Author: Kissler, William D., Hoover, Larry E., Attaway, Allen H.
Aug 73 114P
Rept No: SLSR-36-73B

EFFECT OF CONSTRAINTS ON MANAGEMENT OF AN ECONOMIC ORDER QUANTITY TYPE STOCK FUND
Air Force Inst of Tech Wright-Patterson AFB Ohio School of Systems and Logistics (012250)
Author: Strebeck, George E., Scrivano, Peter J.
Aug 73 151P
Rept No: SLSR-22-73-B

B I B L I O G R A F I A

Budgeting: Profit Planning and Control
Glenn A. Welsch — Prentice-Hall Inc. — 1971

Managerial Finance for the Seventies
Thomas C. Committe — McGraw-Hill Book Co. — 1972

Budgetary Control
Walter Rautenstrauch y Raymond Villers — Funk y Wagnalls — 1950

Financial and Managerial Accounting
Harold Bierman, Jr. — The Macmillan Co. — 1971

Materials Management
Dean S. Ammer — Richard D. Irving Inc. — 1974

Industrial Engineering Hana Book
H. B. Maynard — McGraw-Hill Book Co. — 1963

Production Managment
Raymond R. Mayer — McGraw Hill Book Co. — 1962

Purchasing and Materials Management
Lamar Lee Jr. & Donald N. Dobler — McGraw Hill Book Co. — 1965

SECRETARIA DE OBRAS P[illegible]ICAS

DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE COMPUTACION

DATOS DE TARJETAS A 80 COLUMNAS

28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

```
)
K-WØFR.JK)
MD)
K-WØFR.JK)
K,SD)
;
-RØFR.JK)
MD)
-RØFR.JK)
,SD)
.WT),TIME.K)
```

FORMULO: M. en I. [illegible]

FECHA

SECRETARIA DE OBRAS PU[illegible]CAS

DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS

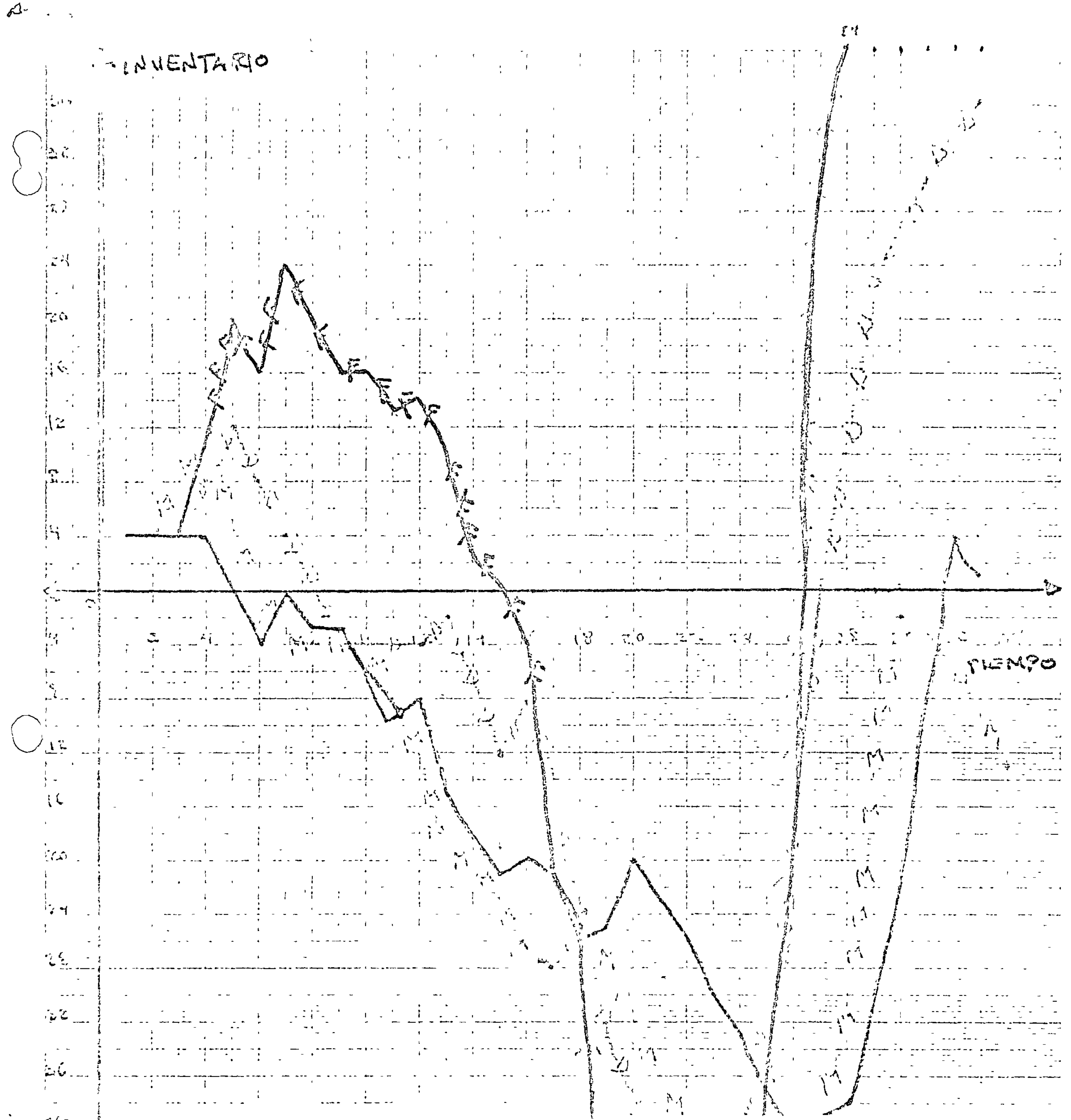
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE COMPUTACION

DATOS DE TARJETAS A 80 COLUMNAS

29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
=	$	,	D	B	=	+	,	W	B	=	%	,	R	B	=	*	
R	=	1	/	P	R	T	P	E	R	=	5	0					

FORMULO M. en I. Jesús Acosta Flores.

FECHA


INVENTARIO
TIEMPO