DIRECTORIO DE PROFESORES

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

8 al 19, Junio, 1981

1. Ing. Odón de Buen Lozano
   Jefe
   División de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
   Facultad de Ingeniería, UNAM
   Ciudad Universitaria
   México 20, D. F.

2. Ing. Juan José Di Matteo Camoirano
   Gerente
   Anuncios y Plásticos Inyectados, S. A.
   16 de septiembre 55
   Naucalpan
   Edo. de México
   576 82 50

3. Ing. Enrique Galván Arévalo
   Profesor
   Departamento de Ingeniería Industrial, e
   Investigación de Operaciones
   Facultad de Ingeniería, UNAM
   Ciudad Universitaria
   México 20, D.F.
   550 52 15 ext 3740

4. M. en C. Roberto R. Borges de Holanda
   Coordinador del Area de Producción
   División de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
   Facultad de Ingeniería, UNAM
   Ciudad Universitaria
   México 20, D.F.
   550 52 15 ext 47 40

5. M. en C. Ricardo Vidal Valles
   Director General
   Forjas y Herramientas, S. A.
   Manuel a Izaguirre 2
   Ciudad Satélite
   Edo. de México
   572 63 98

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 1981

Fecha	Tema	Horario	Profesor
Junio 8	Definición e Importancia de las Actividades de Programación y Control de la Producción	17 a 21 h	Ing. Juan José Di Matteo Camoirano
Junio 9	Pronósticos de Ventas	17 a 21 h	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
Junio 10	Pronósticos de Ventas	17 a 21 h	" " " "
Junio 11	Distribución de Equipo	17 a 21 h	Ing. Juan José Di Matteo Camoirano
Junio 12	Control de Inventarios	17 a 21 h	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
	Inventario de materias primas		
Junio 15	Inventario de productos terminados	17 a 21 h	" " " " "
Junio 16	Balanceo de Líneas	17 a 21 h	Ing. Enrique Galván Arévalo
Junio 17	Programación de la Producción	17 a 21 h	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
Junio 18	Planeación del Requerimiento de Materiales	17 a 21 h	Ing. Ricardo Vidal Valles
Junio 19	Control de Proyectos por Medio de Ruta Crítica	17 a 21 h	Ing. Odón de Buen Lozano

'edcs.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

INTRODUCCION

Ing. Juan José Di Matteo Camoirano

Junio, 1981

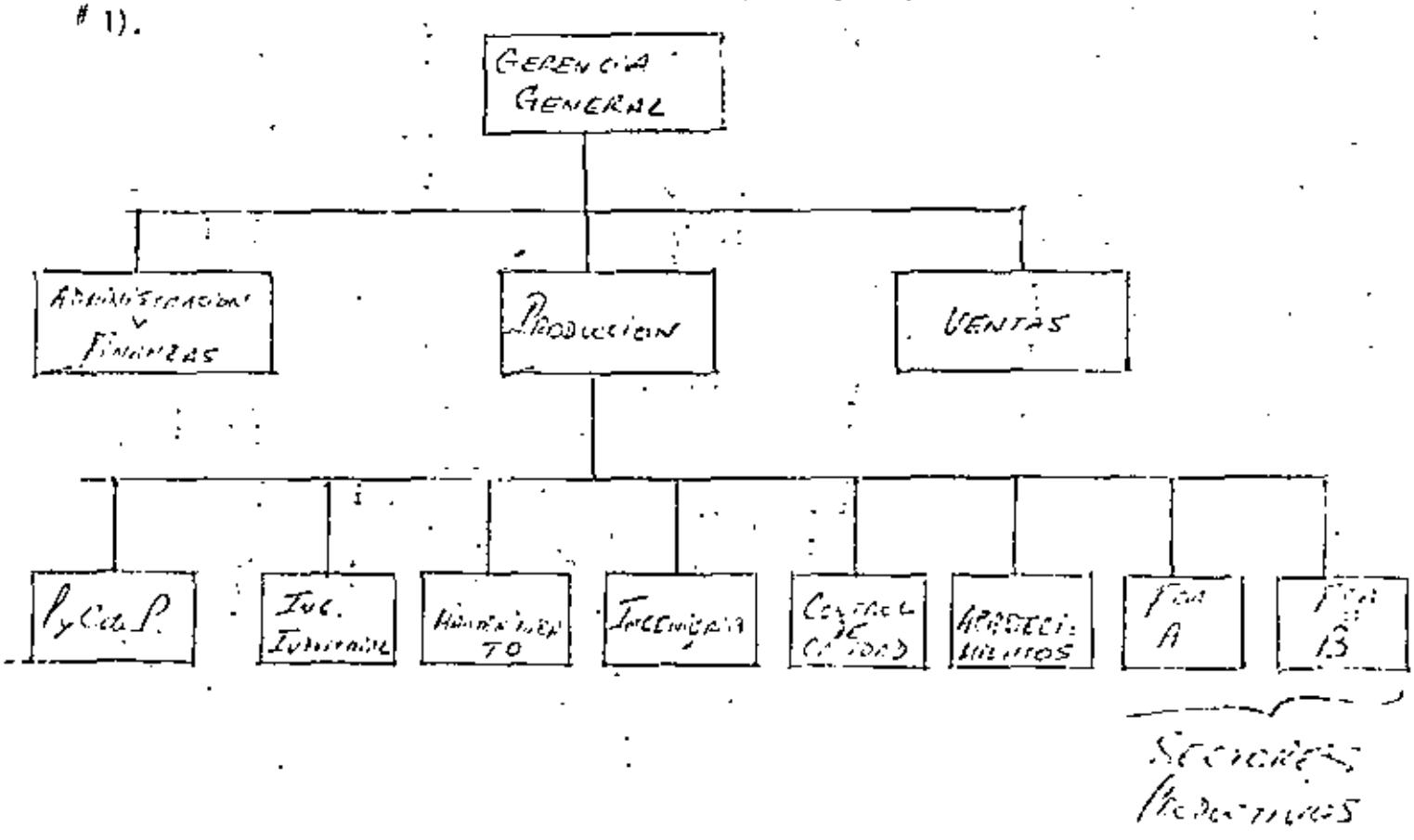
Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

CONCEPTO DE SISTEMA DE PRODUCCION.- Es la armazón o esqueleto de las actividades dentro del cual ocurre la creación del valor.

CONCEPTO DE SISTEMA.- Es un conjunto de elementos interrelacionados con un objetivo común.

Dentro de este Sistema de Producción que acabamos de definir existen subsistemas, es decir sistemas más pequeños que forman parte del todo. Por ejemplo podemos hablar de un subsistema de información, un subsistema para planear y controlar la producción, para control de calidad, para inventarios, etc.

En estas notas abordaremos el Subsistema de Planeación y Control de la Producción. Para ello tratemos de ubicarlo dentro del organigrama de la empresa (fig.- # 1).



Debe entenderse en primer lugar que la fun ción de Planeación y Control de la Producción (P. y C. de P) es de Coordinación. Es decir requiere de informa - ción y cooperación entre varias áreas de la empresa.

La relación con ventas (mercadotecnia) debe ser bidireccional. Del Departamen - to de Ventas provienen los pedidos y las fechas de entrega prometidas. Los pedi dos indican cantidades y fechas de embarque. Esta información es esencial para iniciar la planeación de la producción.

Sin embargo es común que haya problemas entre Ventas y Producción. Incluso - hay empresas que estimulan una cierta competencia entre ambos departamentos.

Recuerdo un razonamiento que escuché en un Departamento de Ventas y que - creo explica bien el conflicto que suele plantearse. "Cuando las ventas van bien, ello se debe a que las políticas y procedimientos de ventas son muy buenos. - Cuando las ventas van mal, ello se debe a que el producto es malo o no se cum ple con los compromisos de entrega"

Para evitar estos problemas (y aquí aparece la bidirección) el departamento de - P.y C. de P. debe proporcionar informes a ventas sobre los tiempos críticos en - la fabricación, para la compra de materiales y partes, las especificaciones de - los productos que son factibles de producir y la relación de órdenes de trabajo - que pueden demorar el cumplimiento de los pedidos particulares.

La relación con el Departamento de Ingeniería es obvia. Se necesitarán dibujos técnicos, especificaciones, heliográficas y otras informaciones descriptivas acerca de los productos y procesos comprendidos en la fabricación.

La P. y C. de P. necesita estos datos para hacer las hojas de ruta, lista de materiales, etc.

Nuevamente suelen presentarse fricciones entre estos departamentos. Los de ingeniería piensan que producción no quiere saber nada con cambios y los de producción resienten la alteración de programas y rutas cuando ingeniería hace tales cambios

La relación con lo que hemos llamado "Sectores Productivos" es, desde luego, la que comprende la mayor parte de la actividad de la P. y C. de P. Casi todos los despachos van al departamento de fabricación y la mayoría de las expediciones se hace con este grupo. Cuando hay ruido en las comunicaciones entre estos dos departamentos, o se presenta algún conflicto, la firma puede encontrarse con verdaderos problemas.

La relación con el departamento de personal comprende el problema de disponibilidad de empleados y la adquisición de nuevos. Personal requiere saber cuantos empleados se requerirán en el futuro y a menudo recurre a P. y C. de P. para obtener esta información.

Las relaciones con compras aparecen como obvias. Compras necesita saber, con bastante antelación, las cantidades y especificaciones de los materiales que se requerirán.

Esta información debe provenir de P. y C. de P.- De la misma manera P. y C.- de P. necesita retroalimentación para saber si los materiales están disponibles o no y si llegarán en el momento adecuado para cumplir con el programa de producción. Ultimamente apareció una nueva función del departamento de compras llamado "Análisis del Valor" que fundamentalmente estudia materias y procesos alternativos. Esta nueva función ha aumentado la necesidad de comunicación con P. y C. de P.y con ingeniería.

Con el Departamento de Ingeniería Industrial se requiere un contacto muy estrecho. En ocasiones I.I. depende de P. y C. de la P. (en algunos organigramas se da la inversa).

Ingeniería Industrial deberá proporcionar datos sobre tiempos, distancias, disposición óptima de equipos, movimiento de materiales, inventarios, capacidad de máquinas, etc.

LAS FUNCIONES DE P. y C. de la P:

Las funciones o tareas difieren mucho de acuerdo con el tamaño y tipo de industria.

No obstante, podemos enumerar las siguientes funciones para el caso más general.

1. Análisis de pedidos para determinar las materias primas y partes que se necesitarán.
2. Planeamiento de los trabajos.
3. Preparación de las órdenes de trabajo y de los modelos impresos para las mismas, de la redacción, de las tarjetas de tiempo, de los vales de almacén, etc.
4. Llevar el control de inventarios.
5. Solicitudes de compra:
   a. reponer materiales
   b. artículos comprados afuera
6. Lista de operaciones y hojas de ruta.
7. Estudios de tiempos y movimientos.
8. Carga de máquinas.
9. Reparto diario del trabajo.
10. Control del avance de trabajos.
11. Registros de Producción.
12. Control de Subcontratos.
13. Ayudar a hacer las estimaciones de costo sobre las órdenes.

TIPOS DE CONTROL DE LA PRODUCCION

En realidad no podemos hablar de un tipo determinado de Control de Producción - pues un Sistema puedefuncionar en una empresa y fracasar en otra similar.

Los factores básicos que hacen que un Sistema de Control sea más conveniente -

que otro, incluyen el tamaño de la compañía, la cantidad de detalles requeridos para el control, la naturaleza de los procesos, la naturaleza de los artículos y los tipos de mercados en los cuales está la empresa.

Dado que hay tantas variables, se han desarrollado varios tipos generales de sistemas para el control de la producción.

Los más comunes son:

1. Control por órdenes. Es el más común. Se usa para los sistemas intermitentes y de trabajo por lote. Los pedidos llegan a la fábrica en gran variedad de artículos y cantidades. Debido a esto, la P. y C. de P. debe basarse en órdenes individuales. Volveremos sobre el.

2. Control del flujo. Se utiliza para sistemas continuos (industria química, la petrolera y cualquier producto fabricado en cantidades masivas). En este caso se traza una ruta para el proceso y se hace la planeación cuando se hace la disposición de equipos. O sea que se establece una línea de producción balanceada. El Departamento de P. y C. de P. controla el flujo del trabajo dentro del sistema.

   Como es muy común, lo analizaremos más en detalle.

3. Control de bloques. Lo encontramos en la industria textil, la industria editorial de libros, etc. La razón básica es que debemos mantener las cosas separadas. Por ejemplos en la industria de la confección de ropa, debemos mantener las partes componentes separados por talle y estilo.

   Por lo tanto, el Sistema de Control típico implica trabajar en un bloque de -

varias unidades de mangas, frentes, espaldas, cuellos, etc. O sea que es posible cortar quizás un lote de 50 espaldas, puños, cuellos, etc., todo de una vez. Entonces ese bloque se traslada a una operación de ensamble en donde son cosidas, y así continua el proceso, manteniendo constantes el color, la tela, el modelo, en el mismo bloque.

En el campo de los libros y revistas, es esencial el control por bloques para evitar mezclar las páginas o colocarlas en una secuencia equivocada.

4. Control de Proyectos Especiales. Si tenemos trabajos que son especialmente costosos o laboriosos para terminarlos, tales como la construcción de un puente, un reactor, un horno grande, obras de ingeniería civil, etc. se instituye este tipo de control

En vez de tener conjuntos de formas elaborados para la ruta y la programación; un hombre o un grupo se mantienen en estrecho contacto con el trabajo. Por ser especialmente importante y común, lo hemos incluído como un tema aparte en este curso.

Antes de pasar a analizar en detalle cuales son las etapas de un sistema de control por órdenes o por flujo, es conveniente aclarar un poco más el concepto de producción intermitente y producción continua.

Producción Intermitente: Principales características.

1. Maquinaria de propósito general

2. Equipo de movimiento de materiales de trayectoria variable ó general.

3. Producción de lotes pequeños con gran variedad de productos.

4. Producción basada en órdenes de venta.

5. Menores costos para lotes pequeños.

6. Menores inversiones en activos fijos.

7. Mayor flexibilidad en la producción.

Ejemplos: Talleres mecánicos en general, fábricas de anuncios publicitarios, contratistas de edificios, etc.

Producción Continua: Principales características.

1. Menores costos para lotes grandes.

2. Menor movimiento de materiales. Equipo automático y mecanizado.

3. Costos de inventarios menores por unidad de producción.

4. Mayor rendimiento del espacio por unidad producida.

5. C. y P. de P. Simplificado.- Menor necesidad de órdenes y controles. Secuencia lógica.

Ejemplos: Fabricación de automóviles, artículos alimenticios enlatados, artículos electrodomésticos, fábricas de papel, cemento, etc.

PLANEACION Y CONTROL DE LA P. EN SISTEMAS INTERMITENTES: (Control por órdenes).

Las actividades de la P. y C. de la P. están basados en las órdenes y están coordinadas por el uso de números de órdenes. Cada pedido tiene un número durante

todo el proceso.

Cuando se recibe el pedido, el departamento de P. y C. de P. deberá determinar:

1. Las materias primas y las partes necesarias para cumplir el pedido.
2. Las operaciones que se requerirán.

El primer punto puede ser resultado de un análisis de ingeniería o pueden tomarse de una lista maestra de materiales, si se lo ha hecho antes.

Se elabora entonces la lista de materiales que deberá incluir:

1. Nombre y número del producto.
2. Materias primas requeridas y sus cantidades.
3. Especificaciones (dibujos, heliográficas, etc.).
4. Número de orden y número de piezas a fabricarse.

El segundo elemento que se recibe de ingeniería es la hoja de ruta. Esta contiene el orden de los pasos u operaciones que se requieren para completar la orden. Además indica el tipo de máquina, las herramientas necesarias, y el tiempo de cada operación.

Un ejemplo de Hoja de Ruta es el siguiente:

HOJA DE RUTA

Orden No. _____ Fecha Inicio _____ Fecha Iniciación _____
Pieza # _____ # . de Piezas _____ % Defectuosos _____
Material _____ Entrega en _____ Materias Primas _____

Of.	Operación	Máquina	TIEMPOS Prep.	Maq.	Lote	Total	FECHA I	T	Inspec.	Observac.
1	Cortar Láminas	Cizalla								
2	Cortar Círculos	Cortadora								
3	Agujerear	Prensa								
4	Rebabear	A mano								
5	Etc.									

Una vez que se tiene lo anterior comienza la Programación Cronológica. Esto implica determinar los requisitos de tiempo para realizar cada trabajo.

Es recomendable trabajar en forma retrogresiva, es decir, a partir de la fecha en que debe entregarse el producto y avanzar hacia el principio. Para formular el programa es necesario contestar a otras preguntas. ¿Cuál es la capacidad de Producción? , ¿Cuál es la carga de máquinas actual? , ¿Qué tiempo se requiere para mover materiales entre los diferentes centros productivos? , ¿Qué tiempo se deberá asignar para inspección?, ¿Qué materias primas hay en el almacén y cuánto tardan en conseguirse las que faltan?, ¿Cuáles son las prioridades de fabricación?.

Una vez que hemos contestado a estas preguntas es posible comenzar a establecer fechas. El procedimiento más común para esto son los gráficos de GANTT que pueden fabricarse en forma manual o con tableros comprados.

Veamos la forma que toma un gráfico Gantt para la construcción de un galerón.

Días / Actividades	1 a 7	8 a 15	16 a 23	24 a 31
Movimiento de tierra				
Excavación				
Fundación				
Estructura				
Recubrimiento				
Pintura				
Electricidad				

El paso siguiente es la Expedición. Esto es la emisión de las órdenes de trabajo que pasarán al taller. Los datos que contiene una órden de trabajo son bastantes parecidos a los de las hojas de ruta. En algunos casos la órden de fabricación tiene datos escuetos: cantidad a producirse y fecha de entrega. El encargado de producción decide en este caso en que máquinas se hace el trabajo, con que gente y demás detalles de implementación. Es decir que el encargado de producción hace la programación final.

Esto a dado origen a lo que se llama Expedición Descentralizada (que es este último caso) a la Expedición Centralizada (que es cuando P y C de P indi a todos los detalles).

Junto con las órdenes de producción, deberán emitirse otras como requisiciones de compra, movimientos de materiales, herramientas, etc.

Todas las actividades mencionadas hasta aquí son en realidad de planeación. Una vez emitidas las órdenes comienza la fabricación y se presenta la necesidad del Control.

Estas actividades de control se conocen con el nombre de continuidad de la producción. Consisten esencialmente en comprobar que las cosas se están haciendo de acuerdo a lo planeado y aplicar medidas correctivas en caso de desviaciones.

Lo fundamental en esta etapa es el establecimiento de un Sistema de Comunicaciones adecuado. Estas comunicaciones incluyen reportes sobre las órdenes terminadas, interrupciones, ausentismo, desperdicios, inspección, inventarios actualizados, etc.

Se adjunta un formato que ejemplifica un reporte de tiempo perdido.

Resumiendo: La p. y C de P. de los sistemas intermitentes requiere:

1) Análisis de las órdenes para determinar lista de materiales y la hoja de ruta.
2) Reunir la información necesaria para poder elaborar los programas cronológicos.

3) Despacho de órdenes y comienzo de la producción.

4) Actividades de continuidad para ver si los planes se llevan a cabo. En caso contrario se deberán aplicar las medidas correctivas del caso.

P y C. de P. en Sistemas de Producción Continua: (Control del Flujo)

En este caso las actividades de planeación y control son mucho más sencillas. No hay que preocuparse por la ruta, ya que la misma ha sido predeterminada al diseñar la planta.

El arreglo del equipo está basado en productos estandarizados, y las máquinas se colocan en secuencia. Las máquinas están conectadas con dispositivos de trayectoria fija para el movimiento de los materiales. Incluso el despacho de órdenes a los trabajadores se reduce mucho pues los mismos no ejecutan una pluralidad de trabajos, sino que hacen tareas especializadas día tras día.

Básicamente, la función de la planeación de la producción comprende la determinación de cuantas unidades producir de los artículos estandarizados para almacenamiento o para pedidos futuros. Una vez hecho el pronóstico, enfrentaremos el problema de mantener suficiente materia prima y suministros para mantener funcionando el sistema.

La función que antes llamamos Despacho se convierte aquí en emisión de volantes de producción que indican el número de unidades que deben fabricarse en un pe-

ríodo dado. Estos volantes van al responsable de la producción en vez de ir a los supervisores y / o trabajadores.

La función del control de la producción está dirigida hacia el mantenimiento del ritmo del flujo de la producción, de manera de producir el número requerido de artículos.

Estos sistemas se caracterizan por un gran volúmen de producción y, por lo tanto, el control de inventarios adquiere mucha importancia y puede ser responsabilidad del departamento de P y C de P.

Si este es el caso, la gente del departamento dedica una gran cantidad de tiempo en mantener los inventarios y este punto lo veremos en otra parte del curso. La función primordial en este campo es lograr una buena rentabilidad del capital puesto en inventarios.

Resumiendo podemos afirmar que la P y C de P. en los sistemas de producción continua es más sencillo que en los sistemas intermitentes. Comprende fundamentalmente dos actividades.

1. Disponer de materias primas y suministros para mantener abastecido el sistema, y asegurarse de que los productos terminados sean sacados del sistema de producción.
2. Mantener el ritmo del flujo de producción de manera que el sistema pueda funcionar hasta casi cerca de su capacidad máxima.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

BALANCEO DE LINEAS

(Método de Helgeson y Birnie)

M. en C. Roberto R. Borges de Holanda

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

BALANCEO DE LINEAS: METODO DE HELGENSON Y BIRNIE

El problema consiste en balancear la línea en seis estaciones.

Primeramente se obtiene una secuencia de operaciones, de tal forma que la primera sea responsable del mayor número de tiempo, la segunda la que le siga en esta circunstancia y así sucesivamente.

Es decir:

$PW_j = \sum t_i$ que dependan de la operación (incluyendo j)

De esta forma se tabula y se procede de la siguiente forma:

Procedimiento:

1. Asignar la operación PW_1 a la estación 1
2. Calcular el tiempo restante del ciclo
3. Asignar la operación PW_2 a la estación 1, siempre y cuando se satisfagan las siguientes condiciones:

   a) La operación que precede inmediatamente a la que se quiere asignar haya sido previamente asignada.

   b) Que cumpla con:

   $$T_i \leq T \text{ ciclo} - \sum t \text{ asignadas a esta estación}$$

Si no se cumple con cualquiera de las condiciones señaladas, tome el siguiente PW y pruebe si las satisface.

* Nota: En el caso de que se quiera asignar ajustadamente, hay que probar con todas las combinaciones posibles que cumplan con esto, y se toma la que nos da el menor tiempo restante (tiempo restante = T ciclo - $-\sum t$ asignadas).

4. Cuando ninguna de la P_W no asignadas satisface las condiciones mencionadas, abra la estación 2 y repita los pasos 2, 3 y 4.

En la siguiente hoja se da la tabla de secuencias.

SECUENCIA	OPERACION	TIEMPO INDICADO	PESO (P_w)	PRECEDENCIA INMEDIATA	PESO #
1	12	11	399	—	32
2	11	10	388	—	30
3	13	6	378	11 12	29
4	15	11	281	[illegible]	17
5	1	9	272	—	25
6	2	9	272	—	25
7	7	13	236	1	22
8	8	13	236	2	22
9	16	19	211	15	15
10	14	22	203	7, 8, 13	2[illegible]
11	19	3	195	15	15
12	20	7	192	16, 19	14
13	18	4	151	20	10
14	21	55	147	18	9
15	17	12	135	14	14
16	24	29	117	15	11
17	27	5	117	17	12
18	23	27	115	15	11
19	22	14	92	21	8
20	3	10	90	1	7
21	4	10	90	2	7
22	33	15	88	20, 23, 24, 27	10
23	5	17	80	3	6
24	6	17	80	4	6
25	28	24	78	22; 27	7
26	25	26	69	14	8
27	9	20	63	5, 7	5
28	10	20	63	6, 8	5
29	36	9	63	33	7
30	26	6	60	17, 25	7
31	38	3	57	33	7
32	34	7	54	26, 28, 36, 38	6
33	35	7	54	33	6
34	31	7	50	14	5
35	30	5	48	14	5
36	39	5	48	—	5
37	29	4	47	14	5
38	32	4	47	14	5
39	40	4	47	34, 35	5
40	41	21	43	9, 10, 29, 30, 31, 32, 39, 40	4
41	42	12	22	41	3
42	37	4	10	12	2
43	43	6	6	37	1
44	44	5	5	42	1
45	45	5	5	42	1

METODO DE HELGESON AND BIRNIE

DE ESTA FORMA

ESTACION 1

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
12	11	81
11	10	71
13	6	65
15	11	54
1	9	45
2	9	36
7	13	23
8	13	10
3	10	—

ESTACION 2

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
16	19	73
14	22	51
19	3	48
20	7	41
17	12	29
24	29	—

ESTACION 3

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
18	4	88
21	55	33
25	26	7
31	7	—

ESTACION 4

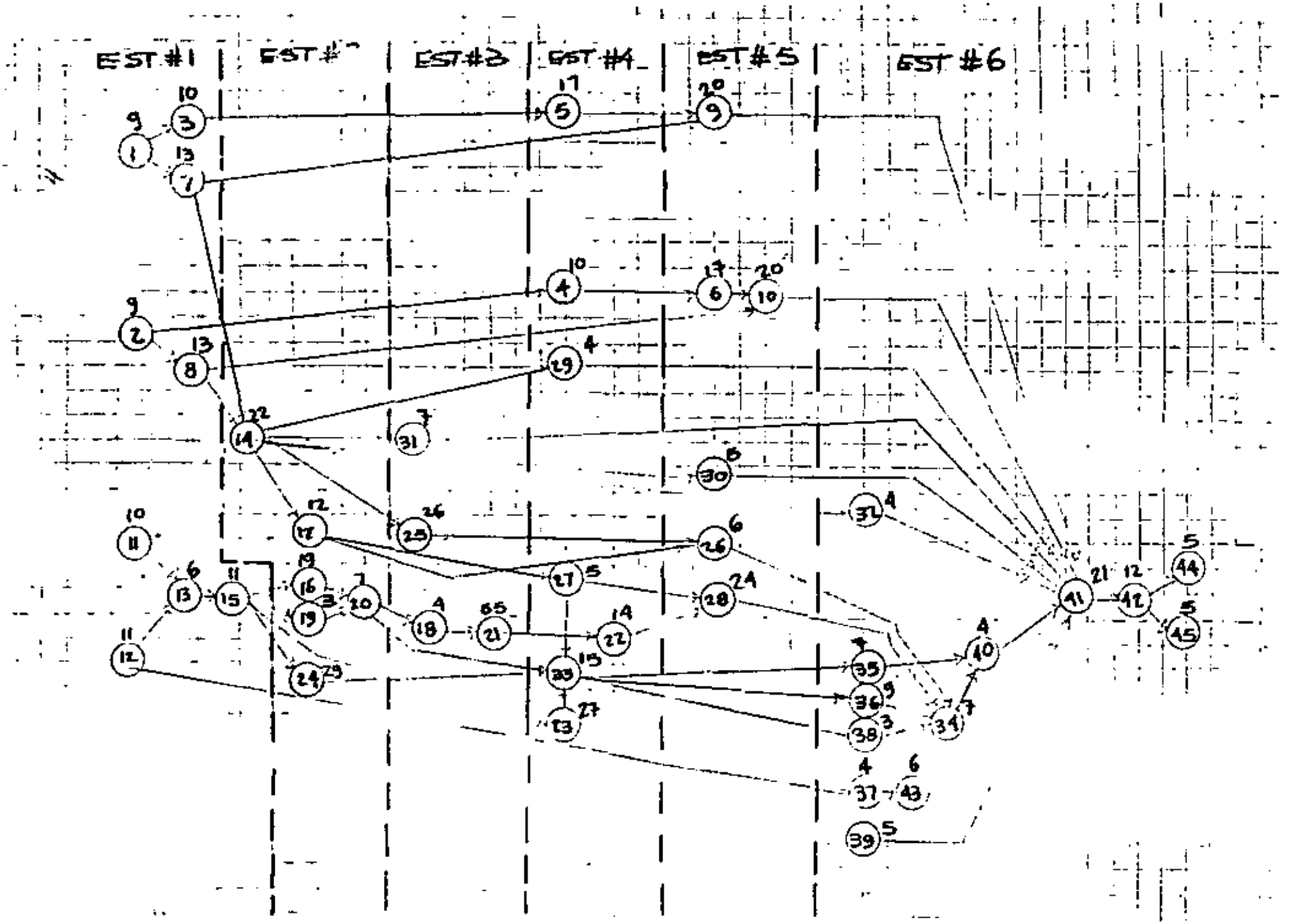
OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
27	5	87
23	27	60
22	14	46
4	10	36
33	15	21
5	17	4
29	4	—

ESTACION 5

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
6	17	75
28	24	51
9	20	31
10	20	11
26	6	5
30	5	—

ESTACION 6

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
36	9	83
38	3	80
34	7	73
35	7	66
39	5	61
32	4	57
40	4	53
41	21	32
42	12	20
37	4	16
43	6	10
44	5	5
45	5	—


EST #1
EST #2
EST #3
EST #4
EST #5
EST #6

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

DISTRIBUCION DE EQUIPO

ING. JUAN JOSE DI MATTEO C.

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

DISPOSICION DE EQUIPOS

Una buena disposición de equipos es un factor importantísimo en la gestión económica de una empresa. No debe subestimarse la importancia de una adecuada planeación de esta función pues el recorrido de los materiales puede considerarse como la espina dorsal de los procesos productivos y, por lo tanto, debe ponerse atención para evitar que, debido a la dinámica industrial, los equipos se conviertan en un conjunto desordenado de hombres y máquinas que no se asegure la eficiencia esperada de un sistema industrial racionalmente organizado.

Existen 2 tipos de problemas según se trate de planear la disposición de una fábrica nueva o de mejorar la disposición existente. El segundo, tradicionalmente se presenta debido a que las disposiciones no van cambiando de acuerdo a un plan sino que se van agregando máquinas en donde se encuentra espacio.

Al cabo de un tiempo de esta "sin política", se llega a una disposición, por supuesto no óptima, que agrega mucho tiempo al contenido original del trabajo.

De acuerdo con la información estadística proporcionada por varias empresas, se demuestra que, frecuentemente, el costo de los movimientos es del orden del 50% del costo total de fábrica y llega en algunos casos a ser del 80%.

... "

Antes de seguir con el tema conviene aclarar que esta verdadera función dentro de la Ingeniería Industrial recibe varias denominaciones en el uso diario, generalmente sinónimos entre sí. Entre ellas podemos mencionar :

1.- Disposición de equipos.

2.- Plant Lay Out

3.- Lay Out

4.- Distribución de la Planta.

5.- Planeación de talleres, Etc.

Como en toda actividad humana, deben definirse de entrada los objetivos de la función :

1.- Facilitar el proceso de manufactura

2.- Minimizar los movimientos de materiales.

3.- Mantener una flexibilidad adecuada.

Al hablar de flexibilidad queremos indicar que nuestra disposición debe ser tal, que no nos ahogue ante cualquier variación que tengamos en nuestro plan de producción. Por lo tanto, existen dos tipos de flexibilidad a saber.

A. En la cantidad (Por expansiones o aumentos de volumen)

B. Calidad (Por cambios de diseño a productos fabricados)

4.- Asegurar una alta rotación de materiales en proceso.

Ello traerá como consecuencia una disminución de los inventarios, lo que significa menores activos y, por lo tanto, mayor rentabilidad de la inversión.

... "

5.- Minimizar la Inversión en equipos

6.- Utilización más racional posible del espacio disponible

Al mencionar esto hay que tener presente que hablamos del espacio en tres dimensiones.

7.- Utilización más eficiente de la mano de obra.

No olvidemos que los elementos de la producción son tres : Mano de obra, equipos y materiales. Tendremos una idea de la importancia del tema que estamos tratando si vemos que los tres intervienen dentro de los objetivos.

8.- Asegurar la eficiencia, seguridad y comodidad de los ambientes de Trabajo.

Este punto ha dado origen a una nueva ciencia denominada ERGONOMIA (vocablo derivado de dos palabras griegas que significan "Las costumbres y leyes del trabajo"). En la bibliografía se mencionan varios textos para las personas interesadas en profundizar este tema.

Si bien a través de los objetivos puede visualizarse el campo que abarca el tema, conviene especificarlo un poco más. Es evidente que es tarea conjunta de varios departamentos de Ingeniería y de la Dirección. Llega a la Dirección pues determinada la capacidad económica de la planta para cumplir con el plan de ventas.

En cuanto al área de producción, el Lay Out orienta el flujo de los materiales y gobierna los gastos de mano de obra, combustible, equipos de movimiento de

...//

materiales, depreciaciones, Etc. En el caso de organizaciones grandes puede decirse que el planeamiento de las disposiciones coordina las funciones de Ventas, Finanzas, Producción, Ingeniería y Dirección para lograr la rentabilidad deseada.

TAREAS EN EL PLANEAMIENTO DE DISPOSICIONES.

Evidentemente, el tamaño y las actividades del departamento de Lay-Out, varía mucho con el tipo y tamaño de organización. Si se trata de una empresa pequeña que no tiene un Ingeniero Industrial, la responsabilidad debe asignarse al departamento de Ingeniería o al Encargado de Producción.

No obstante lo dicho al principio, como referencia, pueden indicarse las siguientes tareas que se producen aproximadamente en el orden citado.

1.- Obtención de datos básicos : (Análisis de Productos y Volúmenes de producción, frecuencia de cambios de diseño, subcontratos, montaje final, estándares de producción, Etc.)

2.- Planear el recorrido de los materiales y la forma en que se les moverá.

3.- Planear Centros de Trabajo (Ayudándose con las técnicas del Estudio de Métodos y la Medida del Trabajo). Definimos como Centro de Trabajo al espacio total para realizar una tarea y para su cálculo debe considerarse la superficie para llevar a cabo la tarea más el espacio para el desenvolvimiento del operario más espacios para

...//

acceso y salida de materiales más espacio para mantenimiento y varios.

4.- Requisitos de inventarios (volúmenes de almacenaje y áreas requeridas).

5.- Proveer Servicios Auxiliares (Aire comprimido, calderas, energía, agua, Etc.)

6.- En base a los datos anteriores, elaborar un plan maestro de Ley-Out.

7.- Someter el plan del punto anterior a la consideración y aprobación de la Gerencia y de los interesados (producción, almacén, Ingeniería, Etc.)

8.- Colaborar activamente en la instalación de las disposiciones propuestas.

9.- Proveer los controles necesarios para verificar que una vez que se puso en marcha la disposición, los trabajos se realicen de acuerdo con los planes.

NECESIDAD DE UNA NUEVA DISPOSICION.

En el problema de ineficiencia de las disposiciones existentes, hay ciertos indicadores de la situación que no se detectan directamente en la contabilidad de la empresa, pero que deben ser fácilmente detectados por el Departamento de Ingeniería Industrial. Entre los más comunes podemos mencionar :

... "

1.- Departamento de Recepción

A. Congestión de materiales.

B. Problemas administrativos en el departamento.

C. Demoras en los camiones proveedores.

D. Excesivos movimientos con la mano o de remanipuleo.

E. Necesidad de horas extras.

2.- ALMACENES.

A. Demoras en los despachos.

B. Daños a materiales almacenados.

C. Areas Congestionadas.

D. Pérdidas de materiales.

E. Control de inventarios insuficientes.

F. Elevada cantidad de personal (No olvidar que es indirecto).

G. Piezas obsoletas en inventarios.

H. Falta de materiales o piezas solicitadas por producción y / o mantenimiento.

3.- DEPARTAMENTO DE PRODUCCION.

A. Frecuentes reacomodos parciales de los equipos.

B. Operarios calificados que mueven materiales.

C. Materiales en el piso.

D. Quejas de capataces por falta de espacio.

... "

E. Congestión en pasillos.

F. Disposición inadecuada del Centro de Trabajo.

G. Llevar el material a mano al área de trabajo.

H. Tiempos de movimiento de materiales grandes con respecto al --- tiempo de procesamiento.

I. Máquinas paradas en espera del material a procesar.

J. Frecuentes interrupciones en la producción por fallas de algunas máquinas.

4.- EXPEDICION.

A. Mala comunicación con el departamento de producción. (Defecto bastante común).

B. Demoras en los despachos.

C. Roturas o Pérdidas de materiales, Etc.

5.- AMBIENTE.

A. Condiciones inadecuadas de iluminación, ventilación, ruido, limpieza, Etc.

B. Muchos accidentes.

C. Alta rotación del personal.

6.- GENERALES.

A. Programa de producción desorganizado.

B. Poco interés del personal.

C. Muchos gastos indirectos.

PRINCIPALES TIPOS DE DISPOSICIONES.

Principalmente existen tres formas para disponer las máquinas :

1.- Por posición fija.

2.- Por proceso.

3.- Por producto o disposición en línea.

En el Lay-Out por Posición fija el componente principal permanece fijo y los elementos de la producción, esto es mano de obra, materiales y equipo - concurren a él. Como ejemplos de este tipo de disposición podemos mencionar la fabricación de barcos, grandes turbogeneradores, locomotoras, Etc.

En el Lay-Out por proceso todas las operaciones del mismo proceso se - agrupan en un área. Por ejemplo todas las operaciones de torneado o de soldadura, se hacen en un departamento donde únicamente se hace ese tipo de operación (torneados o soldaduras).

El Lay-Out por producto o en línea, es aquel en el cual un producto se produce en un área. Si el producto es normalizado y fabricado en grandes cantidades es, evidentemente, el más conveniente. Es el utilizado para la fabricación de automóviles, artículos y empresas manufactureras similares, que se - caracterizan por la producción en masa.

La mayoría de las fábricas, han adoptado un sistema híbrido.

A continuación enumeraremos las principales ventajas de ambos métodos.

1.- Ventajas por Proceso.

A. Menores inversiones en máquinas debido a la menor duplicación de las mismas.

B. Mayor flexibilidad. Se asignan los trabajos de acuerdo a las disponibilidades.

C. Los supervisores y capataces se hacen especialistas en su área, lo cual redunda en una mejor calidad. Los operarios son mecánicos más que obreros.

D. Los costos de producción, dentro de series pequeñas, se mantienen bajos.

E. La falla de algún equipo no para todas las actividades siguientes pues el trabajo puede pasar a otra máquina sin alterarse mayormente la programación.

2.- Ventajas por Producto.

A. El recorrido del trabajo se hace mediante rutas mecánicamente directas que disminuyen el tiempo y las demoras en la producción.

B. Menor movimiento de materiales en virtud de las menores distancias entre puestos de trabajo.

C. Mejor coordinación de la producción debido a la secuencia lógica y ordenada.

D. Menores cantidades de materiales en proceso.

... "

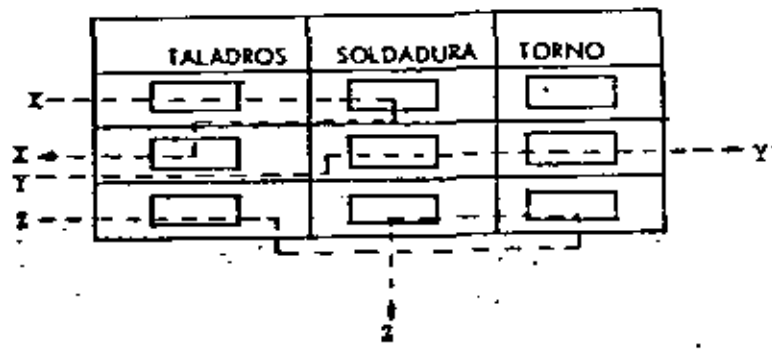
E. Menor espacio ocupado por unidad de producción debido a la concentración de la fabricación.

F. Control de producción simplificado. Menores registros e inspecciones. Pocas órdenes de trabajo. Costos administrativos más bajos.

Veamos un ejemplo gráfico para ilustrar claramente la diferencia entre los dos sistemas :

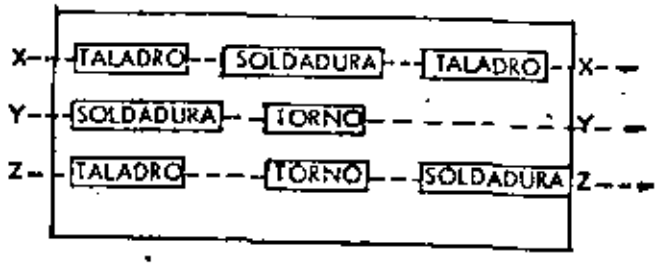
PIEZA	Operación 1	Operación 2	Operación 3
X	Taladro	Soldadura	Taladro
Y	Soldadura	Torno	
Z	Taladro	Torneado	Soldadura

DISPOSICION POR PROCESO.

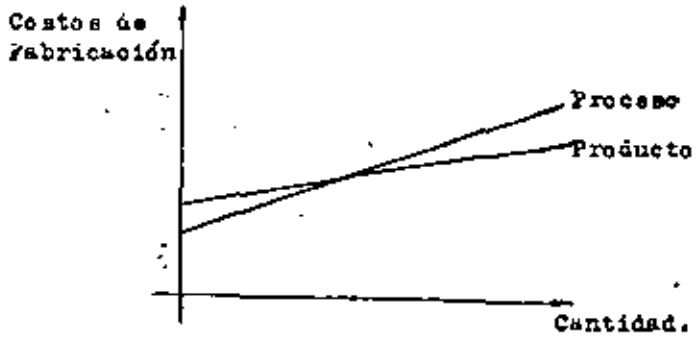


... "

DISPOSICION POR PRODUCTO



En cuanto a los costos de fabricación, la representación gráfica es la siguiente :



Como norma general se tenderá a utilizar, siempre que sea posible, una disposición por producto o en línea. Existen tres requisitos que deben cumplirse para que sea ventajosa :

1.- CANTIDAD ECONOMICAMENTE JUSTIFICABLE.

Las series de producción deben ser grandes para compensar los mayores gastos iniciales.

2.- POSIBLIDAD DE BALANCEAR LA LINEA.

Si la operación 1 lleva el doble de tiempo que la operación # 2, el equipo, el operario y demás factores asociados a la operación

... "

2, estarán desocupados la mitad del tiempo, lo cual resultará muy costoso. Sin querer entrar en la resolución de este tipo de problema, diremos que se resuelve a través de técnicas de Investigación de Operaciones y en casos complejos, mediante el uso de computadoras. Para atacar el problema se necesita como mínima información sobre :

A. VOLUMENES DE PRODUCCION

B. LISTA DE OPERACIONES, SU SECUENCIA Y PORCENTAJE ESTANDAR DE DEFECTUOSOS.

C. TIEMPOS REQUERIDOS POR CADA OPERACION

Se suele hablar de dos modelos diferentes según se trate del balanceo de una línea de ensamble o del balanceo de una línea de fabricación, si bien en la práctica muchas veces es dificultoso distinguir entre uno y otro.

En el trabajo diario muchos encargados de producción resuelven el problema comenzando por el final de la línea y de acuerdo con los datos mencionados en A, B y C, van progresando en su balanceo hacia el principio de la línea.

Consideremos un ejemplo. Se trata de balancear una línea de producción para obtener 10,000 Kgs. diarios de hilo de algodón. El proceso es :

... "

Limpieza del algodón — Cardado — Estirado — Torcido — Hilado

Sabiendo que al final deben salir 10,000 Kgs/día y con la producción de cada hiladora (supongamos 100 Kgs/día), determinamos que necesitamos 100 máquinas. Conociendo a través del Departamento de Ingeniería Industrial que un operario puede atender, por ejemplo 13 máquinas, determinamos que necesitamos 7.6 operarios. Logicamente tomamos 8 y al que está con menor carga de trabajo se le asignan algunas tareas extras como son limpiezas, lubricaciones, movimientos de materiales, Etc.

Pasamos entonces a torcido dónde con el porcentaje estándar de defectuosos de hiladoras (5%), determinamos que deben salir 10,500 Kgs/día. Repitiendo el razonamiento, se determinan máquinas y operarios necesarios.

De esta manera se avanza hacia el principio de la linea hasta completar el balanceo.

Es de hacer notar que el ejemplo se sacó de la realidad industrial, buscando un caso que es un híbrido de disposición de equipos; pues estos se encuentran en una disposición por proceso alineado.

3. CONTINUIDAD DE LA PRODUCCION.

La fluidez de la producción en linea supone que cada operación continua funcionando individualmente, ya que si el movimiento de materiales se detiene en cualquier operación, en la linea no se produciría nada a partir de ese punto. Esto es importante de considerar ya que dificultades menores que pudieran causar una parada de la producción, provocarían dificultades mayores al final.-

ANALISIS PRODUCTOS-VOLUMEN DE PRODUCCION.

Cuando vimos actividades en el Planeamiento dijimos que todo Lay-Out comienza con el análisis de los productos y los volúmenes de producción.

En casi todas las industrias hay una relación desproporcionada entre la variedad de productos fabricados y sus ventas. Es decir que por ejemplo el 20% de la variedad de los productos fabricados representan el 80% de las ventas.

Esta desproporción es bien conocida por analistas de mercado y tiene en el caso de control de producción una gran importancia en especial en Control de Inventarios y por ello se han desarrollado técnicas como la Regla 20/80, el Método ABC, Etc., que tienen en cuenta las relaciones volumen-variedad. Para el encargado del Lay-Out este análisis tiene también un significado específico ya que constituye la base para decidir el tipo de Lay-Out que se instalará, es decir, si se basará en una línea, en una distribución por proceso o en un sistema mixto.

Generalmente este análisis consiste en :

1. Dividir o agrupar los diferentes productos, partes o materiales.
2. Clasificarlos en orden de volumen decreciente no acumulativo.

A fin de visualizar estos datos se usa una gráfica denominada P - C.

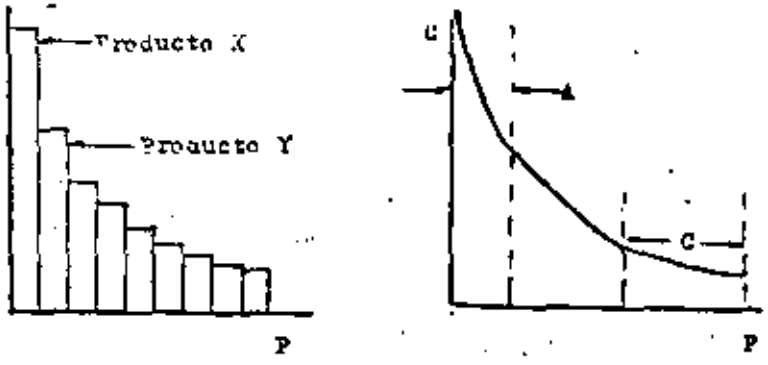


Gráfico P - C Típico.

El gráfico P-C típico se aproxima a una hipérbola asintótica hacia los ejes. En general las cantidades no se expresan en dinero sino en volumen, piezas, peso, Etc.

El gráfico P-C muestra una relación fundamental en el Lay-Out a planear se. En el extremo izquierdo grandes cantidades de pocos artículos. Ello nos está recomendando métodos de producción en masa como son las disposiciones por producto. En el otro extremo, grandes cantidades de artículos que se fabrican en volúmenes pequeños.

Ello nos indica como más adecuado, métodos de disposiciones por proceso. Además, la parte izquierda nos recomienda usar equipos de movimiento de materiales automáticos y especializados, mientras que para los productos de la derecha tendrían que ser más flexibles y universales.

Como consecuencia de esto, tenemos que la producción puede dividirse en dos tipos principales y resulta más conveniente realizar dos disposiciones de equipo, que un Lay-Out general.

115

En cuanto a los productos comprendidos en la zona media se deberá hacer un híbrido como ser una línea de producción modificada.

En consecuencia, el análisis Producto-Cantidad lleva a la separación de los departamentos de producción en 2 tipos.

1.- Productos de alta producción y poca variedad.

2.- Productos de baja producción y gran variedad.

En el análisis y trazado de la curva P-C se sobreentiende que estamos hablando de productos o procesos que no son enteramente desiguales. Es decir, que no haremos un estudio de este tipo mezclando televisores y zapatos por ejemplo.

Algunas industrias, entre las que podemos citar la automotriz, han logrado gran diversidad de productos no obstantener métodos de producción normatizados. Los cambios consisten en color, accesorios, vestiduras, ornamentos, marcas, Etc. No debemos olvidar que el automóvil según los psicólogos, es una continuación de nuestra personalidad. Recordamos sin mayor esfuerzo que decimos "Los frenos me andan mal", "Se me rompió el espejo". Siendo así, es evidente que todos deseamos un coche que no sea exactamente igual al resto. En consecuencia lo que hacen las empresas de automóviles es cambiar algo, que si bien no afecta el valor económico de la cosa, sí cambia el valor de estima y no afectan la disposición de la planta.

En el gráfico P-C ésto significa mover artículos desde la zona C a la zo-

no A, con lo que los incrementos resultantes en cantidades, justifican no sólo una producción en línea sino también una extensa automatización.

Al planear las disposiciones sobre la base de la curva P-C deben considerarse dos factores:

1.- Cambios que afectan la cantidad.

2.- Cambios en los productos que afectan el diseño.

Los cambios en la cantidad pueden prevaerse fácilmente mediante una extrapolación de las curvas de venta o producción.

Los cambios de diseño si bien no pueden prevaerse a muy largo plazo, debe suponerse que no afectarán mayormente al Lay-Out en un tiempo prudencial.

De todas maneras y por ambas causas, siempre es preferible dejar un margen suficiente para futuras ampliaciones o cambios de diseño que constituye en el fondo una razonable flexibilidad.

Veremos a continuación dos procedimientos para facilitar la ubicación de las máquinas o de los departamentos. Cada caso en particular, indicará cuando puede usarse uno u otro. No debemos olvidar que el Lay-Out es tanto un arte como una ciencia y que la aplicación del sentido común debe estar siempre presente en el analista. Tampoco debemos olvidar los millones de Hrs. hombre que se pierden anualmente por disposiciones inadecuadas.

1. DIAGRAMA DE BLOQUES.- Es un procedimiento que se utiliza para las disposiciones por proceso. Por ejemplo consideremos la fabricación de 3 productos:

Producto / Operación	A	B	C
1	Torno	Fresadora	Torno
2	Fresadora	Pulido	Fresadora
3	Pulido	Torno	Torno
4	Taladro	Pulido	Taladro
5	Fresadora	Fresadora	Fresadora
6	Inspección	Inspección	Inspección

Los tres productos salen del almacén de Materia Prima y luego de la inspección van al almacén de Productos Terminados.

A continuación se asigna un número a cada departamento. En nuestro caso (1) Almacén de Materia Prima, (2) Torno, (3) Fresado (4) Pulido (5) Taladro (6) Inspección (7) Almacén de Producto Terminado.

Se hace a continuación un cuadro que se llama de Secuencia.

Producto	Secuencia								Volumen en Unidades equivalentes.
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	2	3	4	5	3	6	7	1
B	1	3	4	2	4	3	6	7	3
C	1	2	3	2	5	3	6	7	2

Luego se construye un cuadro Sumario. Es del tipo

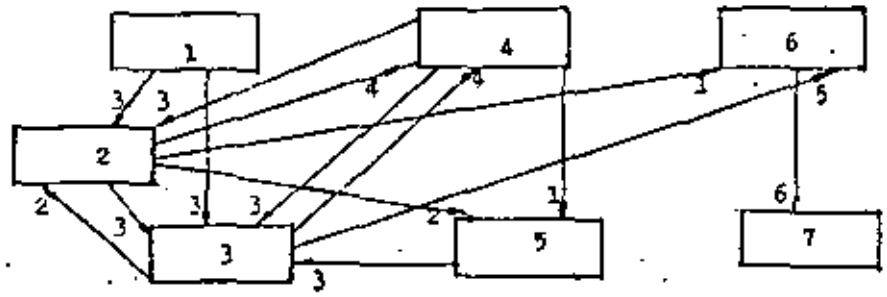
De / A	Sector 1	2	3	4
1				
2				
3				
4		300		

Esto indica que del sector 2 al sector 4, deben transportarse 300.

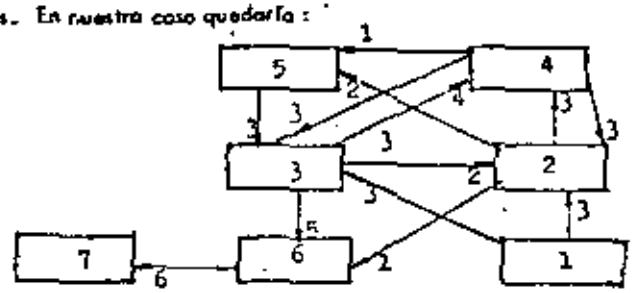
En nuestro caso el cuadro queda :

DE / A	1	2	3	4	5	6	7
1	XX	-	-	-	-	-	-
2	3	XX	2	3	-	-	-
3	3	3	XX	3	3	-	-
4	-	3	4	XX	-	-	-
5	-	2	-	1	XX	-	-
6	-	1	5	-	-	XX	-
7	-	-	-	-	-	6	XX

Se pinta un bloque por cada sección que interviene, se los numera al azar y se indica el tráfico entre secciones.



Se busca entonces, ubicar los bloques tratando de minimizar los movimientos. En nuestro caso quedaría :



El último paso es el verificamiento físico de las cosas. Recordar que el Departamento 1 y 7 deberán tener fácil comunicación con el exterior.

II DIAGRAMA PROGRESIVO. Ejemplo de una planta con un solo acceso y con los siguientes departamentos.

1). Almacén de Materia Prima.

2). Almacén de Producto Terminado.

3). Sector A. Gaseoso que afecta la materia prima pero no al producto terminado.

4). Sector B. Mantenimiento crítico.

5). Sector C. Tiene que estar en continuo contacto con laboratorio.

6). Sector D. Administración.

7). Sector E. Laboratorio.

8). Sector F. Mantenimiento planeado.

El proceso es 1 - 3 - 5 - 2

DEFINIMOS RELACIONES :

*A = Absolutamente necesario que estén cerca.

*E = Especialmente importante que estén cerca.

I = Importante que estén cerca.

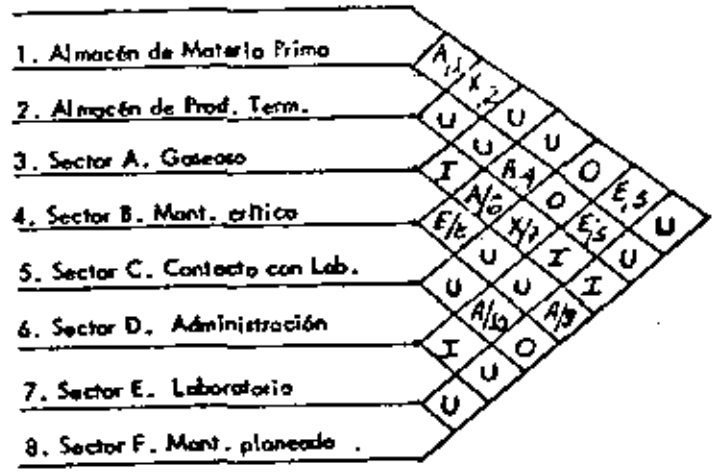
O = Importancia ordinaria.

V = Sin importancia.

*X = Necesario que estén lejos.

* Son relaciones críticas. Se deberá explicar el motivo por el cual se las consideró así.

A continuación llenamos un cuadro de Relaciones interdepartamentales.

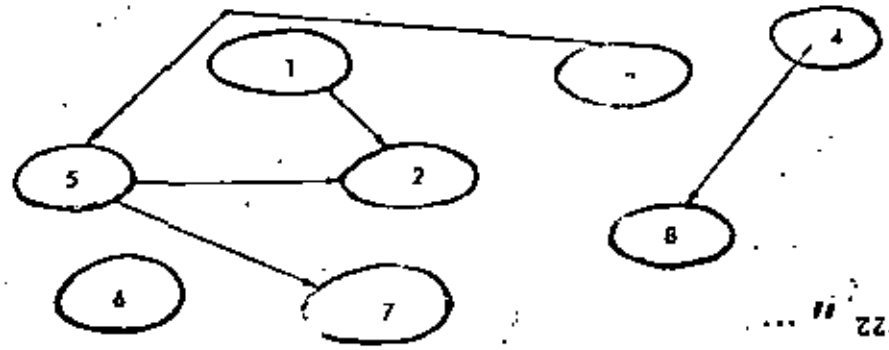


Los números debajo de las relaciones críticas, por ejemplo A/1, se usan para explicar por qué se la considera así.

En nuestro ejemplo :

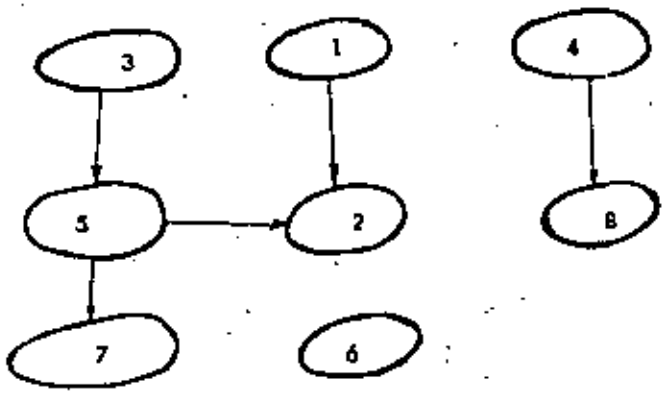
1. Es así debido a que la planta tiene un solo acceso y por lo tanto será conveniente que los almacenes estén cerca entre sí y cerca del único acceso.

Luego ubicamos círculos al azar (uno representando cada sección) e introducimos las relaciones Tipo A.



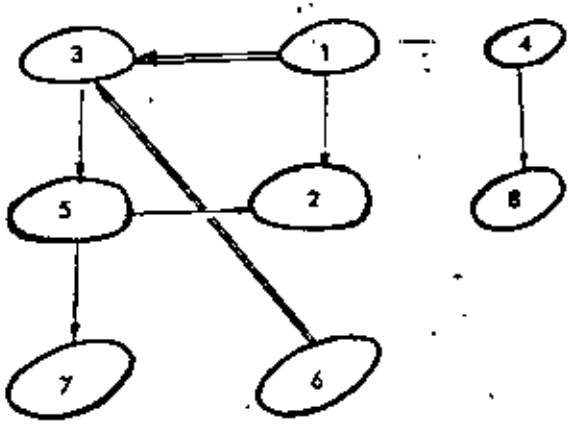
El segundo paso consiste en reordenar según A. (En nuestro caso acercamos el 3 y 7 al 5 y el 8 lo mantengo cerca del 4).

Nos queda :

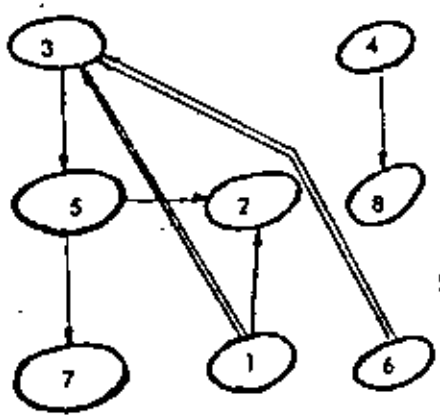


El tercer paso consiste en introducir en la figura anterior las relaciones tipo X (línea doble) y el cuarto paso es reordenar seg X. Nos queda :

Introducción Relac. Tipo X

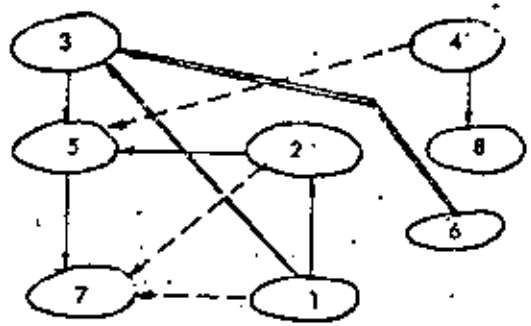


Reordenar Según X.

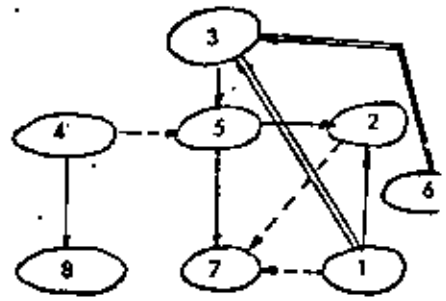


Luego introducimos las relaciones Tipo E y reordeno según ellas manteniendo por supuesto las restricciones de las relaciones A y X).

Introducción Relac. Tipo E.



Reordenar Según E.



Luego seguimos con las relaciones tipo I y O, que en general no se hacen, pues no permiten mejorar debido a las restricciones ya impuestas.

Posteriormente se ubican geográficamente los sectores, con sus dimensiones reales y de acuerdo con el último diagrama obtenido. Se deberá realizar el recorrido de materia prima para constatar que no haya incongruencias.

Como todo ésto es bastante subjetivo, se hace un análisis de las alternativas posibles.

Los factores que se analizan son : Control, Supervisión, Seguridad, Etc. A cada uno de estos factores se les da una calificación de 1 a 4 en función de su importancia. Por ejemplo si el aspecto control es muy importante, le damos un peso de 4. Si la seguridad no es problema, le damos un peso de 1. A su vez, -

calificamos, para las diferentes alternativas, que tanto cumplen, por ejemplo, con la facilidad de control. Si es una disposición óptima en ese sentido, le -- asignamos 4 puntos, 3 puntos si es bueno y así decreciendo.

Veamos una tabla de ejemplo :

FACTOR	PESO	DISPOSICION A	DISPOSICION B
Control	4	4 / 16	3 / 12
Supervisión	3	2 / 6	2 / 6
Seguridad	3	2 / 6	2 / 6
SUMA		28	24

De acuerdo con esta tabla, será más conveniente la disposición A.

El proceso para su realización, consiste en multiplicar el peso del factor por la calificación que le asignamos.

AGREGAR METODO CRAFT.

MODELOS DE DISTRIBUCION BI Y TRIDIMENSIONALES.

Son de gran utilidad práctica pero debe entenderse que dichos modelos - deben estar basados en cálculos técnicos perfectamente desarrollados y que, por lo tanto, no son más que una visualización de ellos. Podemos realizar plantillas de máquinas, equipo de movimiento de materiales, personal o materiales.

Las ventajas más importantes son :

1.- La gran flexibilidad que presentan y de ahí su ventaja sobre el - dibujo común.

2.- Facilidad de visualización sobre todo para personas no técnicas - que muchas veces son las que deciden.

Hay estándares sobre su realización hechos por A.S.M.E. (American -- Society of Mechanical Engineers), en donde se describen colores, escalas más - apropiadas, tipos de líneas, Etc. Dichos normas pueden consultarse en el libro de Moore, citado en la bibliografía.

En compañías importantes donde hay un Departamento que se dedica a - estudiar continuamente las disposiciones, se hacen plantillas de todos los departamentos, máquinas e instalaciones.

Los tableros que contienen las plantillas suelen hacerse modulares o sectos de poder sacar cualquier sección que interese en su momento dado.

Los modelos tridimensionales si bien permiten una mayor visualización, - tienen el inconveniente del costo y la laboriosidad.

BIBLIOGRAFIA SOBRE EL TEMA :

Richar Muther : "Practical Plant Lay Out", Mc. Graw Hill, 1965.

Alford y Bangs : "Manual de la Producción" U.T.E.H.A. México, 1965.

Moore James M. : "Plant Design and Lay Out", The Mac Millan Company, 1962.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PRONOSTICOS DE DEMANDA

M en C Roberto Borges de Holanda

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

II - PRONOSTICOS DE DEMANDA

2.1 INTRODUCCION

Definición: Pronóstico es una previsión para cualquier actividad futura. Se pueden hacer pronósticos sobre la aceptación de un nuevo producto, sobre la demanda futura o sobre otras condiciones que puedan afectar la planeación de la producción. A continuación damos algunos ejemplos de áreas de actividad de la Empresa que dependen directamente de los pronósticos de ventas:

- Volumen de producción
- Nivel de los inventarios
- Presupuestos
- Política de Precios
- Desarrollo del producto
- Ampliación de la planta
- Etc.

Por lo tanto, para una planeación adecuada de las diversas áreas de actividad de cualquier Empresa, es indispensable la realización de pronósticos de ventas.

Hay algunas personas que dicen que "los pronósticos son como el clima de Inglaterra: solamente son verdaderos para las próximas 6 horas". Esta frase, aun siendo un poco exagerada, nos sugiere dos cosas realmente importantes:

a) Los pronósticos serán más y más inciertos a la medida que nos propondremos a pronosticar las ventas de períodos cada vez más lejanos.
b) Los pronósticos siempre presentarán un determinado grado de incertidumbre; nuestro objetivo no debe ser pronosticar exactamente el volumen de ventas, sino realizar un pronóstico con un error mínimo y evaluar dicho error.

Actualmente, los pronósticos de demanda son casi siempre hechos por personas que han recibido entrenamiento en la aplicación de técnicas especiales. La utilización de estas técnicas no elimina los errores, pero puede reducir su magnitud. Las técnicas son sólo herramientas y es por lo tanto indispensable que en la elaboración de los pronósticos se tomen en consideración las condiciones internas y externas a la Empresa.
Por ejemplo:

a) Si las ventas de las calculadores mecánicas en los últimos años han aumentado en un 10% anual y si en los próximos años seguramente serán introducidas en el mercado las calculadoras electrónicas, sería un error grave no considerar este hecho y pronosticar que esta tasa de crecimiento se mantendría en el futuro.

b) Sería igualmente errado no considerar el cambio de presidente en México para pronosticar las ventas de maquinarias para la industria, puesto que durante el año anterior al cambio, las inversiones del sector industrial disminuyen mucho.

c) Análogamente, las ventas de algodón a las fábricas de colchones

fueron radicalmente afectadas por la introducción del hule espuma.

d) Finalmente, sería también un error no considerar la introducción del Renault 5 para predecir las ventas de la VW en el año de 1976 y en los siguientes años.

Otros tipos de información como tendencia de los gustos de los consumidores, desarrollo económico del país, nivel de los salarios, devaluación de la moneda, etc. también deben ser tomados en consideración. En algunos casos, información sobre otras industrias similares puede estar disponible. Obviamente, también se deberá tener en cuenta la introducción o la promoción de los productos de la propia Empresa.

En muchos casos, para reducir el grado de incertidumbre de los pronósticos, también pueden llevarse a cabo investigaciones de mercado, sin embargo aun así se debe tener en cuenta que:

a) La opinión de los consumidores puede cambiar de un día al otro.

b) Lo que el consumidor piensa puede ser diferente de lo que él realmente hace.

c) La opinión de los consumidores puede ser cambiada a través de promociones, propaganda, etc.

Los minoristas o mayoristas también pueden ser entrevistados durante la elaboración del pronóstico y éstos son generalmente más objetivos que los vendedores de la propia Empresa. Sin embargo, ellos no disponen ni de motivación, ni de tiempo, ni de las técnicas para hacerlo y por lo tanto sus estimaciones deben ser utilizadas solamente para pronósticos a corto plazo. Por otro lado, también es importante señalar que en la elaboración del pronóstico se deberá tomar en consideración el mayor número posible de opiniones, para compensar el pesimismo y el optimismo individuales de las personas que participan en dicha elaboración.

La complejidad de los pronósticos para productos existentes, productos que reemplazan productos existentes y para productos nuevos, es bastante diferente. En el caso de productos existentes, la información de años o meses anteriores podrá ser usada para predecir la demanda futura. Aun en el caso de productos que reemplazan otros, la información correspondiente a los productos reemplazados podrá ser también utilizada, si éstos son similares a los nuevos productos introducidos en el mercado. Finalmente, en el caso de productos realmente nuevos y totalmente diferentes de los productos existentes, el volumen de información disponible es extremadamente limitado y consecuentemente es difícil la elaboración de un pronóstico realista. Por esto, muchas veces se lleva a cabo una introducción preliminar de los productos para evaluar su aceptación y esta introducción podrá confirmar o rechazar la introducción definitiva del producto. También es importante resaltar que para la introducción de productos nuevos y diferentes, las investigaciones de mercado son particularmente útiles. Estas pueden analizar entre otros factores:

- Localización del consumidor potencial.

- Profesión y salario del consumidor potencial.
- Precios aceptables
- Calidad requerida
- Condiciones generales del mercado.
- Etc.

7 METODOS PARA LA ELABORACION DE LOS PRONOSTICOS

Antes de describir los principales métodos para la elaboración de pronósticos, es indispensable analizar los diversos tipos de variación que presentan las ventas de las Empresas. Estas variaciones pueden ser:

a) Variaciones debido a la tendencia. El simple hecho de que las ventas de una Empresa dada estén aumentando o disminuyendo consistentemente conduce a que cada semana, cada mes y cada año el volumen de ventas sea diferente. En estos casos las ventas varían porque hay una tendencia y esta podra seguir una línea recta, una curva exponencial o cualquier otro tipo de curva. Este tipo de variación no es difícil de predecir.

b) Variaciones cíclicas. Son aquellas que se repiten periodicamente cada determinado número de días, semanas, meses o años. Como ejemplo podemos citar las variaciones que se observan cada 6 años debido al cambio de presidente en México o el aumento de las ventas de las tiendas de autoservicio durante los fines de semana.

c) Variaciones estacionales. Es un tipo especial de variación cíclica para la cual el ciclo es aproximadamente igual a un año. Por lo tanto las variaciones estacionales se observan siempre en los mismos meses o en las mismas estaciones del año. Es más fácil predecir las variaciones estacionales que las demás variaciones cíclicas.

d) Variaciones aleatorias. Estas son todas las demás variaciones que pueden ser provocadas, por ejemplo, por decisiones de los competidores, condiciones generales de la economía, eventos importantes que puedan afectar las ventas de la Empresa (organización de olimpiadas, construcción de ejes viales, etc), descubrimiento de nuevos productos o tecnologías, devaluación de la moneda, políticas generales del gobierno (impuestos, incentivos, etc), nivel de salarios, tendencia de los gustos de los consumidores, moda, etc.

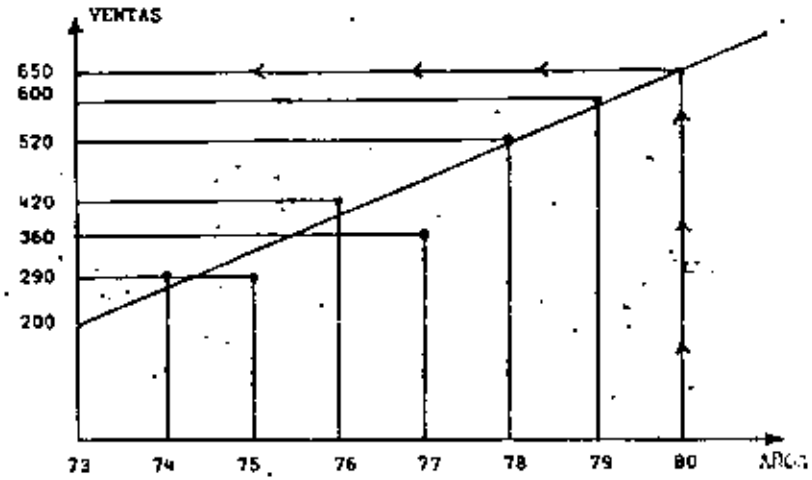
7.1 METODO GRAFICO

El método gráfico es el más sencillo y rápido y la dificultad de su realización dependerá del número de factores tomados en consideración. Por ejemplo, podemos tomar en cuenta todos los tipos de variación o solamente las variaciones estacionales. A continuación damos un ejemplo en el cual todos los tipos de variación son tomados en cuenta.

Supongamos que las ventas de una Empresa "X" fueron las que se muestran en la Figura 1. La primera etapa del método gráfico consta del ajuste de una línea (recta o no) a los puntos de la gráfica. Este ajuste deberá ser manual y su adecuación dependerá obviamente de la habilidad de la persona que lo ejecuta. Una vez que se tenga determinado esta lí-

nea, que representará la tendencia de las ventas anuales de la Empresa, el pronóstico de ventas para el año siguiente puede ser fácilmente calculado. En nuestro caso, la gráfica nos indica que las ventas del próximo año serán de aproximadamente $ 650,000.00.

Si no hay ninguna razón especial para que el patron de crecimiento anual de las ventas no sea constante, podemos suponer que las variaciones de las ventas se deben a las variaciones cíclicas y aleatorias. Por lo tanto, podemos estimar estas variaciones si determinamos la diferencia media entre las ventas reales de la Empresa y las ventas indicadas por la línea . Por ejemplo, para el año 1975 las ventas de la Empresa fueron de $ 420,000 y las ventas indicadas por la línea recta son de $ 380,000. Por lo tanto existe una diferencia de $40,000 que corresponde al 10% de las ventas indicadas por la línea recta. Si calculamos todas estas diferencias, podremos observar que la diferencia media es de un 9.5% y que las diferencias pueden ser positivas o negativas. Si suponemos que



las condiciones generales del mercado y del país serán bastante favorables en el año de 1980, podemos entonces deducir que las ventas para este año serán de $ 650,000 x 1.095 = $ 711,750.

Finalmente, vamos a suponer también que necesitamos las ventas para el primer trimestre de 1980. En este caso, tendríamos que analizar el comportamiento de las ventas mensuales de los años anteriores y determinar el porcentaje medio que corresponde a los primeros trimestres de cada año. Vamos a suponer que las ventas del primer semestre son generalmente un 20% de las ventas anuales. Por lo tanto, las ventas para el primer trimestre de 1980 serán: $ 711,750 x 0.20= $ 142,350.

Una importante etapa en la elaboración de un pronóstico es la elección del método a utilizar. Es importante determinar pre-

viamente la precisión, el costo y el tiempo requeridos para la elaboración del mismo. Por ejemplo, si no se requiere de una gran precisión, el método gráfico sería probablemente el más adecuado. La segunda etapa es la elección de la información en la cual se va a basar el pronóstico. Es importante, en esta etapa, checar si la información disponible no está distorsionada por eventos que no volverán a ocurrir. Por ejemplo, la Empresa podrá deducir que las ventas de algunos de los años anteriores fueron seriamente afectadas por un pésimo sistema de publicidad y que este error seguramente no volverá a ser cometido. Y por lo tanto, en la elaboración del pronóstico para los próximos años, la Empresa tendrá que tener en cuenta este hecho.

2.2.2 METODO DE MINIMOS CUADRADOS (RECTA)

Siempre que los datos sugieren una recta para su representación, el método de los mínimos cuadrados podrá ser utilizado para la elaboración de un pronóstico. Este método consta de la determinación de la línea recta que mejor se ajusta a los puntos, es decir, la línea para la cual la suma de los cuadrados de las distancias a los puntos de la gráfica, es mínima. Como sabemos, la ecuación de cualquier línea recta es como la que sigue:

$$Y = a + bX$$

Las ecuaciones que proporcionan los valores de "a" y "b" para la recta de mínimos cuadrados, son las siguientes:

$$a = \frac{\Sigma x^2 \cdot \Sigma y - \Sigma X \cdot \Sigma XY}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

donde "X" y "Y" son las dos variables del problema, y "N" el nº de puntos.

A continuación damos un ejemplo de como utilizar el método de los mínimos cuadrados:

Supongamos que las ventas de una dada empresa fueron las que se muestran en el cuadro siguiente:

Año	1975	1976	1977	1978	1979
Ventas ($)	$108,000	119,000	110,000	122,000	130,000

En este caso la variable "X" será el año y la variable "Y" será el volumen de ventas de la empresa (en pesos). Inicialmente, tenemos que escoger un origen para la variable "X". Esta podrá ser el año cero o cualquier otro año. Si escogemos el origen 1975, la variable "X" tendrá entonces los siguientes valores: 0, 1, 2, 3 y 4, es decir, (1975-1975), (1976-1975), (1977-1975), (1978-1975), (1979-1975).

Si observamos las ecuaciones mencionadas anteriormente, deducimos que necesitamos calcular ΣY, ΣX, ΣXY y ΣX^2. Es conveniente realizar estos cálculos como se muestra en el cuadro a continuación:

AÑO	Y	X	X^2	XY	
1975	108	0	0	0	
1976	119	1	1	119	
1977	110	2	4	220	ORIGEN:1977
1978	122	3	9	366	
1979	130	4	16	520	
TOTAL	589	10	30	1225	

Sustituyendo los valores en las ecuaciones, tenemos:

$$a = \frac{30 \times 589 - 10 \times 1225}{5 \times 30 - (10)^2}$$

$$b = \frac{5 \times 1225 - 10 \times 589}{5 \times 30 - (10)^2}$$

Y "a" y "b" pueden entonces ser fácilmente calculados:

$$a = 108.4$$

$$b = 4.7$$

Por lo tanto, la línea recta de mínimos cuadrados es la siguiente:

$$Y = 108.4 + 4.7X$$

Utilizando esta ecuación podemos entonces determinar las ventas para cualquiera de los próximos años, es decir, 1975, 1976, etc. Para el año 1980, la variable "X" tendrá el valor (1980-1975), es decir, X=5. Por lo tanto, las ventas para este año serán:

$$Y = 108.4 + 4.7 \times 5 = 131.9$$

Es decir, las ventas en el año de 1980 serán de $ 131,900.00

Los resultados serán exactamente los mismos si escogemos cualquier otro origen. Por ejemplo, escojamos el origen 1977:

AÑO	Y	X	X^2	XY
1975	108	-2	4	-216
1976	119	-1	1	-119
1977	110	0	0	0
1978	122	1	1	122
1979	130	2	4	260
TOTAL	589	0	10	47

Sustituyendo los valores en las ecuaciones, tenemos:

$$a = \frac{589}{5}$$

$$b = \frac{47}{10}$$

Los nuevos valores de "a" y "b" son:

$$a = 117.8$$

$$b = 4.7$$

Y por lo tanto, las ventas para el año de 1980 serán:

$$Y = 117.8 + 4.7 \times 3 = 131.9.$$

Como se puede observar, el resultado es idéntico.

El método de mínimos cuadrados sirve únicamente para determinar la ecuación de la línea recta. La Empresa tendrá que decidir, por lo tanto, si solamente utilizará dicha ecuación para pronosticar el futuro o si también valdrá la pena tomar en consideración las variaciones cíclicas y aleatorias.

2.2.3 COEFICIENTE DE CORRELACION

Si es posible representar la variación de una variable Y en función de una variable X a través de una línea recta, decimos que existe entre las dos variables una correlación lineal. Esta correlación puede ser más o menos precisa, dependiendo del error que se comete al representar dicha variación a través de la línea recta. La precisión de la correlación lineal puede ser evaluada determinándose el coeficiente de correlación:

$$C.C = \frac{N\sum XY - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{\sqrt{N\sum X^2 - (\sum X)^2}\ \sqrt{N\sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

El coeficiente de correlación estará siempre entre -1 y 1. Si la representación de la variación a través de la línea recta es exacta (Figuras 2 y 3) el coeficiente será igual a -1 ó +1, dependiendo de la inclinación de la recta, es decir, si la función es creciente o decreciente. Si el coeficiente resulta muy bajo (0.2 ó 03, por ejemplo), esto quiere decir que la variación estudiada no deberá ser representada a través de una línea recta (Figura 4). Si el coeficiente resulta muy elevado (pero todavía menor que 1 en valor absoluto), esto significa que no existe una correlación lineal perfecta, sin embargo la variación puede ser precisamente representada a través de la línea recta. (Figura 5).

Supongamos que hemos deducido que existe una correlación lineal entre 2 variables (C.C. igual a 0.8, por ejemplo). ¿Como podemos estar seguros de que esta correlación no existe por pura casualidad? Para resolver este problema utilizamos tablas como la que se muestra a continuación:

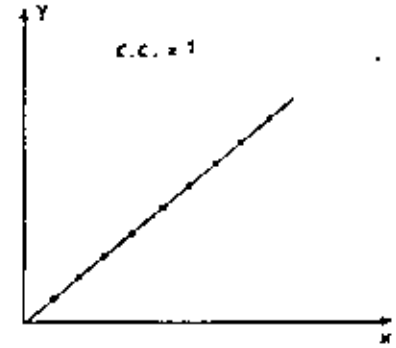


FIGURA 2

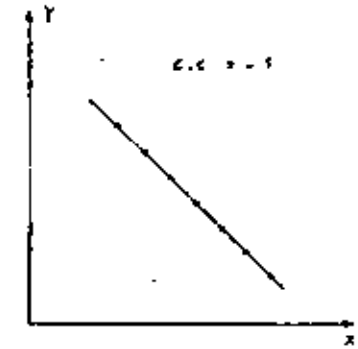


FIGURA 3

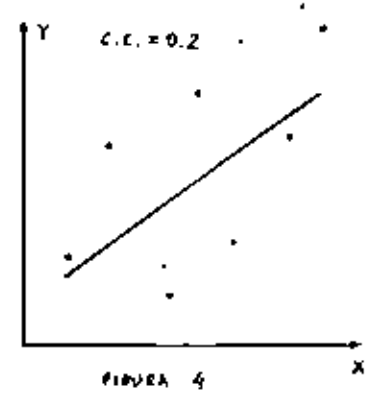
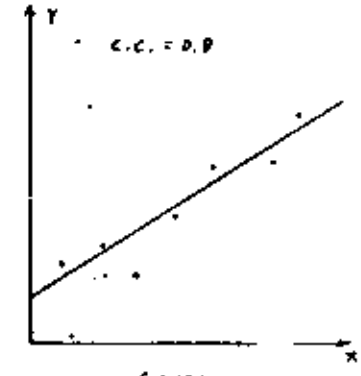


FIGURA 4



FIGURA

Nº de Puntos	Probabilidad 95%	Probabilidad 99%
10	0.632	0.765
12	0.576	0.708
14	0.532	0.661
⋮		
200	0.139	0.182
400	0.098	0.128
1000	0.062	0.081

Esta tabla nos proporciona la siguiente información: por ejemplo, si hay 200 puntos en la gráfica, el coeficiente de correlación tiene que ser mayor de 0.139 para que haya una probabilidad de 95% de que la correlación no existe por pura casualidad. Al mismo tiempo, si el C.C. es mayor de 0.182, hay una probabilidad de 99% de que la correlación no existe por casualidad.

2.2.4 METODO DE MINIMOS CUADRADOS (CURVA EXPONENCIAL)

Este método consta del ajuste de una curva exponencial a los puntos. La forma de la ecuación de la curva es como sigue:

$$Y = ab^X$$

Como se indica en las Figuras 6 y 7, el ajustar una curva exponencial a los puntos es equivalente al ajustar una línea recta a estos mismos datos, pero marcándose en el eje vertical el "log Y" en vez de "Y". Esto se debe a que si tomamos el logaritmo de "Y" en la ecuación de la curva exponencial, resulta lo siguiente:

$$\text{Log } Y = \text{Log } (ab^X) = \text{Log } a + \text{Log } b.X$$

Si ponemos log a = A y log b = B, tenemos:

$$\log Y = A + BX$$

que es obviamente la ecuación de una recta.

FIGURA 6

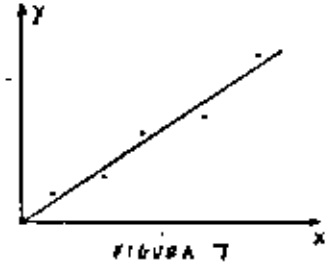


FIGURA 7

Y ahora, por lo tanto, podemos marcar "X" en el eje horizontal y "log Y" en el eje vertical, y ajustar una recta a los puntos utilizando el método de mínimos cuadrados. Si observamos la ecuación log Y = A + BX, podemos deducir que las ecuaciones para calcular "A" y "B" son las siguientes:

$$A = \frac{\Sigma X^2 \Sigma \log Y - \Sigma X \Sigma X \log Y}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$B = \frac{N \Sigma X \log Y - \Sigma X . \Sigma \log Y}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

Para calcular "A" y "B" necesitamos calcular $\Sigma \log Y$, ΣX, $\Sigma X \log Y$ y ΣX^2. Estos cálculos se presentan en el cuadro a continuación:

AÑO	Y	X	X^2	Log Y	X.log Y	
1975	108	-2	4	2.0334	-4.0668	
1976	119	-1	1	2.0755	-2.0755	
1977	110	0	0	2.0414	0	ORIGEN= 1977
1978	122	1	1	2.0864	2.0864	
1979	130	2	4	2.1139	4.2278	
TOTAL	-	0	10	10.3506	0.1719	

Sustituyendo los valores obtenidos en las ecuaciones, tenemos:

$$A = \frac{10.3506}{5}$$

$$B = \frac{0.1719}{10}$$

Y por lo tanto, los valores de "A" y "B" son:

A= 2.0701

B= 0.0172

Como sabemos que A = log a y B = log b, entonces "a" y "b" ya pueden ser calculados:

log a = 2.0701 a= 117.5

log b = 0.0172 b= 1.0405

Y por lo tanto la ecuación final de la curva exponencial será la siguiente:

$$Y = 117.5 \times 1.0405^X$$

El valor b = 1.0405 significa que existe una tasa anual de crecimiento igual a 4.05%.

Finalmente, si queremos pronosticar las ventas para el año de 1980, el valor de la variable "X" será 3 (=1980-1977) y el valor de las ventas será:

$$Y = 117.5 \times 1.0405^{(3)} = 132.3$$

Esto quiere decir que las ventas para el año de 1980 serán de ..... $ 132,300.00.

2.2.5. MINIMOS CUADRADOS: CURVA DE POTENCIA

La curva de potencia tiene la siguiente ecuación:

$$Y = a.X^b$$

y tiene las formas que se presentan en las figuras 8 y 9 según el valor de la constante "b".

Si tomamos el logaritmo de "Y" en esta ecuación, tenemos:

$$\log Y = \log a + b.\log X$$

que también es la ecuación de una línea recta. Por lo tanto podemos utilizar el método de mínimos cuadrados para ajustar una línea recta a las variables log Y y log X. Pongamos el origen en el año 1974:

AÑO	X	log X	$(\log X)^2$	VENTAS	log Y	log X . log Y
1975	1	0	0	108	2.0334	0
1976	2	.3010	.0906	119	2.0755	.6247
1977	3	.4771	.2276	110	2.0414	.9739
1978	4	.6021	.3625	122	2.0864	1.2562
1979	5	.6990	.4886	130	2.1139	1.4776
TOTAL	-	2.0792	1.1693	-	10.3506	4.3324

$$a = \text{antilog}\left[\frac{\Sigma(\log X)^2.\Sigma\log Y - \Sigma\log X.\Sigma(\log X.\log Y)}{n\,\Sigma(\log X)^2 - (\Sigma\log X)^2}\right]$$

$$= \text{antilog}\ (2.0316) = 107.6$$

$$b = \frac{n\,\Sigma(\log X.\log Y) - \Sigma\log X.\Sigma\log Y}{n\,\Sigma(\log X)^2 - (\Sigma\log X)^2} = 0.0926$$

por lo tanto, el pronóstico para 1980 sería:

$$Y_6 = 107.6 \times 6^{0.0926} = 127.02$$

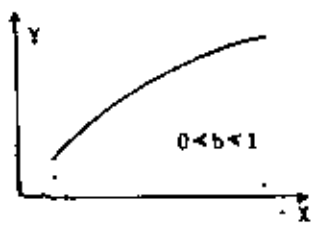


FIGURA 8

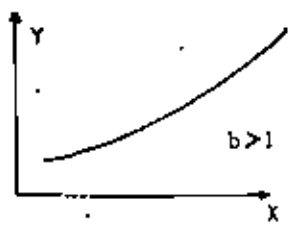


FIGURA 9

2.2.6. METODO DEL PROMEDIO MOVIL SIMPLE

En varias ocasiones es lógico pensar que las ventas de un período dado puede tener un valor más parecido a los más recientes que a los que han tenido mucho tiempo atrás, aún cuando no exista una tendencia marcada en los datos. En estos casos es conveniente utilizar métodos de pronósticos que den una mayor importancia a los datos más recientes o que únicamente tomen en cuenta los "k" últimos datos, donde k = 1, 2, ... n. El más sencillo de estos métodos es el promedio móvil simple.

El promedio móvil simple para el período "n" es simplemente la media aritmética de los "k" últimos datos, es decir:

$$\bar{Y}_{n,k} = \frac{D_n + D_{n-1} + \dots + D_{n-(k-1)}}{k}$$

donde; k = número de datos o términos del promedio móvil

$\bar{Y}_{n,k}$ = promedio móvil de "k" términos para el período "n"

$D_n, \dots, D_{n-(k-1)}$ = demandas de los últimos "k" períodos

Si ahora queremos un pronóstico para el período (n + 1), éste será igual al promedio móvil del período anterior, es decir:

$$P_{(n+1),\,k} = \bar{Y}_{n,k}$$

o simplemente:

$$P_{n+1} = \bar{Y}_n$$

Apliquemos este método a los datos del ejemplo anterior. Tenemos que las ventas de los últimos cinco años son:

AÑO	1975	1976	1977	1978	1979
VENTAS	108	119	110	122	130

Utilizando un promedio móvil simple de 2 términos, los pronósticos para los años de 1977, 1978, 1979 y 1980 serán (obviamente no podemos calcular pronósticos para los años 1975 y 1976):

AÑO	VENTAS	$\bar{Y}_n$	P_{n+1}
1975	108	-	
1976	119	113.5	-
1977	110	114.5	113.5
1978	122	116.0	114.5
1979	130	126.0	116.0
1980	-	-	126.0

Ejemplo de cálculo:
$Y_{1977} = (119 + 110)/2$
$= 114.5$

Se puede observar claramente en el cuadro anterior que el método del promedio móvil simple generalmente conduce a pronósticos que van atrasados en relación a las ventas reales. Por ejemplo, para los años de 1978 y 1979 las ventas son 122 y 130, y los pronósticos son 114.5 y 116.0, respectivamente. Cuanto más pronunciada sea la tendencia de los datos y mayor sea el número de términos del promedio, más atrasados serán los pronósticos. Por lo tanto, el método del promedio móvil simple (principalmente cuando el número de términos es grande) es adecuado únicamente cuando la tendencia de los datos es horizontal y las ventas oscilan alrededor de un determinado valor de una manera totalmente aleatoria. Cuando la variación de las ventas no es aleatoria, sino que presenta cierta estacionalidad (variaciones estacionales), entonces es mejor determinar la tendencia de los datos y aplicar el método que se describe en el inciso 2.2.9..

2.2.7. METODO DEL PROMEDIO MOVIL CON AJUSTE DE TENDENCIA

Como se ha dicho en el inciso 2.2.5., el método del promedio móvil simple sólo es adecuado cuando la tendencia es horizontal, ya que de lo contrario los pronósticos generalmente estarían atrasados en relación a las ventas reales.

Existe una forma de "ajustar" el promedio de tal manera que éste siga más de cerca las ventas reales, y para esto sólo se ne-

cesita determinar los promedios móviles dobles. Para el cálculo de un promedio doble simplemente se aplica dos veces seguidas el método del promedio móvil simple, como se muestra en las 4 primeras columnas del cuadro que se muestra a continuación (consideremos un promedio de 2 términos):

AÑO	VENTAS	PROMEDIO SIMPLE $\bar{Y}_n$	PROMEDIO DOBLE $\bar{\bar{Y}}_n$	PROMEDIO CON AJUSTE	PRONOSTICO P_{n+1}
1975	108	-	-	-	-
1976	119	113.5	-	-	-
1977	110	114.5	114.0	116.0	-
1978	122	116.0	115.2	118.4	116.0
1979	130	126.0	121.0	141.0	118.4
1980	-	-	-	-	141.0

Obsérvese que el promedio móvil doble va más atrasado que el promedio móvil simple y por lo tanto nunca se utiliza dicho método para la elaboración de pronósticos. Sin embargo, se utiliza el promedio doble para corregir el retraso del promedio móvil simple. Esto se hace de la siguiente manera (véanse las dos últimas columnas del cuadro anterior):

a) Se calcula la diferencia $\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n$

b) Se calcula el promedio móvil ajustado utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{Y}_{a,n} = \bar{Y}_n + (\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n) + \frac{2}{k-1}(\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n)$$

donde: $\bar{Y}_{a,n}$ = promedio móvil ajustado del período "n"

k = número de términos considerado

Como ejemplo, veamos como se calcula el promedio móvil ajustado de 1979:

$$\bar{Y}_{a,1979} = 126 + (126-121) + \frac{2}{2-1}(126-121) = 141$$

Cuando las ventas no presentan cambios muy bruscos y el número de términos es grande, se puede estimar la tendencia lineal más reciente a través del valor de la expresión:

$$T_n = \frac{2}{k-1}(\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n)$$

y usar este valor para pronosticar las ventas de los años 1981, 1982, 1983, etc. En nuestro ejemplo, el último valor de "T" es:

$$T_{1979} = \frac{2}{2-1}(126 - 121) = 10$$

Por lo tanto, los pronósticos de los años siguientes serán:

AÑO	1980	1981	1982	1983 ...
VENTAS	141	151	161	171 ...

2.2.8. METODO DEL PROMEDIO MOVIL PONDERADO

Otra forma de corregir el retraso del promedio móvil simple, es la utilización de mayores pesos o ponderaciones para los valores más recientes. Por ejemplo, si el promedio móvil es de 2 términos se podrán adoptar ponderaciones de 0.7 para el último dato y 0.3 para el dato anterior. Utilizando este criterio, los pronósticos para el ejemplo que estamos analizando, serían:

AÑO	VENTAS	PROMEDIO MOVIL PONDERADO	PRONOSTICO
1975	108	-	-
1976	119	108x0.3+119x0.7 = 115.7	-
1977	110	119x0.3+110x0.7 = 112.7	115.7
1978	122	110x0.3+122x0.7 = 118.4	112.7
1979	130	122x0.3+130x0.7 = 127.6	118.4
1980	-	-	127.6

Como se puede observar en los dos cuadros anteriores, cuando hay una tendencia marcada, el promedio móvil ponderado va más atrasado que el promedio móvil con ajuste de tendencia.

2.9. METODO DEL PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE

En el método del promedio ponderado exponencialmente se utiliza la fórmula siguiente:

$$\bar{Y}_n = \bar{Y}_{n-1} + \alpha(D_n - \bar{Y}_{n-1})$$

donde: $\bar{Y}_n$ = promedio ponderado exponencialmente del período "n"

$\bar{Y}_{n-1}$ " " " " " (n-1)

α = constante de atenuación

D_n = demanda del período "n"

Como hemos mencionado para el caso del promedio móvil simple y ajustado, el pronóstico para el período (n+1) cuando se utilizo el método del promedio ponderado exponencialmente es igual al promedio del período anterior, es decir:

$$P_{n+1} = Y_n$$

De esta manera podemos escribir la fórmula del promedio ponderado exponencialmente de la siguiente forma:

$$P_{n+1} = P_n + \alpha(D_n - P_n)$$

es decir, el pronóstico del período (n+1) es igual al pronóstico del período "n" más una fracción "α" de la diferencia entre éste y la demanda del mismo período. En otras palabras, el pronóstico del período (n+1) es igual al pronóstico del período "n" más una fracción "α" del error que se ha cometido en el período "n" (error = $D_n - P_n$).

Las dos primeras etapas que deben llevarse a cabo en la aplicación del método del promedio ponderado exponencialmente, son la elección de la constante de atenuación " α " y del número de períodos pasados a considerar. La constante " α " está generalmente entre 0.05 y 0.4. Como podremos observar más adelante, si queremos dar una mayor importancia a las ventas de los últimos períodos, " α " deberá ser grande, y si queremos dar una importancia más uniforme a todos los datos de ventas, " α " deberá ser pequeña.

Para el cálculo del promedio $\bar{Y}_n$ necesitamos el valor de $\bar{Y}_{n-1}$; para el cálculo de $\bar{Y}_{n-1}$, necesitamos conocer $\bar{Y}_{n-2}$; etc. Por lo tanto, no sería posible calcular $\bar{Y}_0$ puesto que no existe $\bar{Y}_{-1}$. Consecuentemente, la tercera etapa en la aplicación de este método es la elección de un promedio inicial $\bar{Y}_0$, generalmente se considera éste igual a la demanda D_0 del primer período.

Veamos como podemos aplicar el método del promedio ponderado exponencialmente al ejemplo que hemos estado analizando en este capítulo:

AÑO	1975	1976	1977	1978	1979
VENTAS	108	119	110	122	130
	$D_0 = \bar{Y}_0$	D_1	D_2	D_3	D_4

Utilicemos un $\alpha = 0.2$ y tomemos como promedio inicial $\bar{Y}_0$ a la demanda $D_0 = 108$. De esta forma podemos calcular $\bar{Y}_1$:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_0 + \alpha (D_1 - \bar{Y}_0) = 108 + 0.2(119-108)$$

$$\bar{Y}_1 = 108 + 2.2 = 110.2$$

Los demás promedios $\bar{Y}_2$, $\bar{Y}_3$ y $\bar{Y}_4$ son calculados de la misma manera y los resultados son los siguientes:

PERIODO	AÑO	VENTAS	PROMEDIO	PRONOSTICO
0	1975	108	108.00	-
1	1976	119	110.20	108.00
2	1977	110	110.16	110.20
3	1978	122	112.53	110.16
4	1979	130	116.02	112.53
5	1980	-	-	116.02

Si comparamos los pronósticos con las ventas reales nos damos cuenta de inmediato que aquellos también están atrasados. Lo que se dijo acerca del método de promedio móvil simple también es válido aquí: el promedio ponderado exponencialmente solamente es adecuado cuando la tendencia de las ventas es más o menos horizontal y las variaciones son aleatorias.

Debido a que para el cálculo de cualquier promedio $\bar{Y}_n$ se necesita el promedio correspondiente al período anterior (n-1), es decir, $\bar{Y}_{n-1}$, no se puede aplicar directamente la fórmula

$$\bar{Y}_n = \bar{Y}_{n-1} + \alpha (D_n - \bar{Y}_{n-1})$$

para el cálculo de $\bar{Y}_n$. Deduzcamos por lo tanto otra fórmula que nos permita calcular directamente $\bar{Y}_n$ a partir únicamente de las demandas reales D_i de los "n" períodos. Supondremos que $\bar{Y}_0 = D_0$ y escribamos la fórmula del promedio ponderado exponencialmente de una forma más conveniente:

$$\bar{Y}_n = \alpha D_n + (1 - \alpha) \bar{Y}_{n-1}$$

Tenemos entonces:

$$\bar{Y}_o = D_o$$

$$\bar{Y}_1 = \alpha D_1 + \alpha(1-\alpha)\bar{Y}_o$$

$$\bar{Y}_2 = \alpha D_2 + (1-\alpha)\bar{Y}_1 = \alpha D_2 + (1-\alpha)\left[\alpha D_1 + (1-\alpha)\bar{Y}_o\right]$$

$$= \alpha D_2 + \alpha(1-\alpha)D_1 + (1-\alpha)^2.\bar{Y}_o$$

$$\bar{Y}_3 = \alpha D_3 + (1-\alpha)\bar{Y}_2 = \alpha D_3 + (1-\alpha)\quad \alpha D_2 + \alpha(1-\alpha)D_1 +$$

$$+ (1-\alpha)^2.\bar{Y}_o$$

$$= \alpha D_3 + \alpha(1-\alpha)D_2 + \alpha(1-\alpha)^2.D_1 + (1-\alpha)^3.\bar{Y}_o$$

.

.

..

.

$$\bar{Y}_n = \alpha D_n + \alpha(1-\alpha)D_{n-1} + \alpha(1-\alpha)^2 D_{n-2} + \ldots\ldots + \ldots$$

$$+ \alpha(1-\alpha)^{n-1}.D_1 + (1-\alpha)^n.\bar{Y}_o$$

Como $\bar{Y}_o = D_o$, podemos escribir:

$$\bar{Y}_n = \alpha D_n + \alpha(1-\alpha)D_{n-1} + \alpha(1-\alpha)^2.D_{n-2} + \ldots\ldots +$$

$$+ \alpha(1-\alpha)^{n-1}.D_1 + (1-\alpha)^n.D_o.$$

Esta fórmula incluye ahora solamente las demandas de los "n" periodos. Dado que el factor $(1-\alpha)^n$ se hace muy pequeño y se aproxima a cero cuando "n" crece, se puede ignorar el último término. Al mismo tiempo, la suma de los otros coeficientes, es decir $\sum_{i=0}^{n-1} \alpha(1-\alpha)^i$ se aproxima a 1, y así tenemos las condiciones de un auténtico promedio ponderado exponencialmente. Es precisamente por esta razón que este método tiene el nombre de promedio ponderado exponencialmente.

También es fácil observar que la ponderación conferida a cada una de las "D_i" depende del valor de "α" y que a las demandas más recientes se les asigna una ponderación mayor. En el cuadro que se muestra a continuación proporcionamos algunos coeficientes para los valores $\alpha = 0.1$ y $\alpha = 0.3$:

PERIODO	COEFICIENTE	VALOR DE α 0.1	0.3
n	α	0.10	0.30
n-1	$\alpha(1-\alpha)$	0.09	0.21
n-2	$\alpha(1-\alpha)^2$	0.081	0.15
n-3	$\alpha(1-\alpha)^3$	0.073	0.10
n-4	$\alpha(1-\alpha)^4$	0.066	0.07

Este cuadro muestra dos cosas importantes: primero, que los coeficientes de las demandas más recientes son mayores y por lo tanto se les da una mayor importancia; y segundo, a la medida que "α" aumenta, se les da a las demandas más recientes una importancia todavía mayor.

Veamos ahora la aplicación de la nueva fórmula a los mismos datos con los cuales hemos estado trabajando:

AÑO	1975	1976	1977	1978	1979
VENTAS	108	119	110	122	130
	D_o	D_1	D_2	D_3	D_4

Aplicando la fórmula y adoptando un $\alpha = 0.2$, tenemos:

$$\bar{Y}_4 = 0.2 \times 130 + (0.2)(0.8) \times 122 + (0.2)(0.8)^2 \times 110 + (0.2)(0.8)^3 \times$$

$$\times 119 + (0.8)^4 \times 108 = \$\ 116.02.$$

Tomemos entonces este promedio como nuestro pronóstico para el periodo 5, es decir, para el año de 1980:

$$P_5 = P_{1980} = \$\ 116.02$$

Debe observarse que este valor es exactamente igual al que fue obtenido anteriormente cuando aplicamos sucesivamente la fórmula $\bar{Y}_n = \bar{Y}_{n-1} + \alpha(D_n - \bar{Y}_{n-1})$.

2.2.10. METODO DEL PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON AJUSTE DE TENDENCIA

La aplicación del método del promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia es análoga a la del método del promedio móvil con ajuste de tendencia. Todo lo que tenemos que hacer es lo siguiente:

a) Calcular el promedio ponderado exponencialmente simple ($\bar{Y}_n$)

b) Calcular el promedio ponderado exponencialmente doble ($\bar{\bar{Y}}_n$)

c) Calcular el promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia mediante la fórmula:

$$\bar{Y}_n = \bar{Y}_n + (\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n) + \frac{\alpha}{1-\alpha}\ (\bar{Y}_n - \bar{\bar{Y}}_n)$$

Aplicando esta metodología a nuestro ejemplo tenemos:

PERIODO	AÑO	VENTAS	PROMEDIO SIMPLE	PROMEDIO DOBLE	PROMEDIO AJUSTADO	PRONOST.
0	1975	108	108.00	108.00	108.00	-
1	1976	119	110.20	108.44	112.40	108.00
2	1977	110	110.16	108.78	111.89	112.40
3	1978	122	112.53	109.53	116.28	111.89
4	1979	130	116.02	110.83	122.51	116.28
5	1980	-	-	-	-	122.51

Obsérvese que el pronóstico todavía va un poco atrasado, por lo que sería conveniente en este caso la utilización de un valor mayor para " α ".

2.2.11. PRONOSTICOS POR MES, TRIMESTRE O SEMESTRE

En el inciso 2.2.1. hemos visto un método muy sencillo para determinar las ventas del primer trimestre del año de 1980. Ahora volvemos a analizar este método con más detalle.

Utilizaremos los mismos datos de los ejemplos anteriores y supondremos que las ventas trimestrales de los años 1975, 1976, 1977, 1978 y 1979 fueron las que se muestran en el cuadro a continuación:

AÑO	T_1	T_2	T_3	T_4	ANUAL
1975	19	37	30	22	108
1976	28	42	31	18	119
1977	27	36	28	19	110
1978	30	43	29	20	122
1979	32	44	32	22	130
TOTAL	136	202	150	101	589
%	23.1	34.3	25.5	17.1	100

Podemos observar que el cuadro también proporciona el porcentaje correspondiente a cada trimestre, respecto el volumen de ventas total de los 5 años.

Determinemos ahora las ventas de cada trimestre de 1980 y para esto podemos utilizar cualquier pronóstico para dicho año, utilicemos por ejemplo el que fue determinado mediante el ajuste de la recta de mínimos cuadrados, es decir, 131.9:

P_1	23.1% x 131.9	30.47
P_2	34.3% x 131.9	45.24
P_3	25.5% x 131.9	33.63
P_4	17.1% x 131.9	22.55
	TOTAL	131.90

Los porcentajes 23.1%, 34.3%, 25.5% y 17.1% son llamados índices estacionales y obviamente solamente tiene sentido calcularlos cuando existe alguna estacionalidad en los datos. Este método puede ser aplicado siempre que tengamos un pronóstico anual, no importando el método que fue utilizado para obtenerlo, y ob-

vimente puede utilizarse para la elaboración de pronósticos semanales, mensuales, trimestrales, semestrales, etc.

3. EVALUACION DE LOS METODOS DE PRONOSTICOS

Generalmente es muy difícil establecer previamente cual es el método más adecuado para pronosticar las ventas de una Empresa dada. Sólo en casos muy especiales la elección del mejor método de pronósticos es una tarea fácil. Por ejemplo, si las ventas aumentan con un incremento constante, el mejor método sería el ajuste de una línea recta; si las ventas presentan una tasa de crecimiento constante, debería ajustarse una curva exponencial; etc.

Como metodología aplicable a todos los casos sugerimos en estos apuntes la simulación. Esta consiste en aplicar distintos métodos a los datos del pasado y, previa elección de un criterio de evaluación, determinar el método que mejor funciona. Los criterios de evaluación más utilizados son el error medio ($\bar{E}$), el error medio absoluto ($|\bar{E}|$), el error absoluto percentual ($|\bar{E}\%|$) y la desviación estándar del error (S_E).

A continuación presentamos un resumen de la aplicación de todos los métodos de pronósticos del inciso 2.2. y como ejemplo, hemos utilizado el error medio absoluto como criterio de evaluación. Puede observarse que desde el punto de vista de este criterio, el mejor método de pronóstico para este ejemplo específico es el de la curva exponencial, ya que conduce al menor error medio absoluto ($|\bar{E}| = 3.44$).

Vale la pena resaltar que éste es un ejemplo no muy preciso de la aplicación de la técnica de simulación, ya que el número de datos es muy reducido (solamente 5 años). A continuación presentamos un ejemplo más completo, donde se manejan los 36 datos correspondientes a las ventas de los últimos 3 años de una Empresa mexicana del Estado de Durango.

RESUMEN DE LA APLICACION DE LOS 7 METODOS DE PRONOSTICOS

AÑO	VENTAS	RECTA	ERROR	CURVA	ERROR	PROMED. MOVIL SIMPLE (3 TERMINOS)	ERROR	PROMED. MOVIL PONDER. (3 TERMINOS)	ERROR	PROMED CON AJUSTE (3 TERMINOS)	ERROR	PROMED. EXPON. SIMPLE ($\alpha = .2$)	ERROR	PROMED. EXPON. CON AJUSTE ($\alpha = .2$)	ERROR
1975	100	108.4	+3.4	108.5	+8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	119	113.1	-5.9	112.9	-6.1	-	-	-	-	-	-	108.00	-11.0	108.00	-11.0
1977	110	117.8	+7.8	117.5	+7.5	113.5	+3.5	115.7	+5.7	-	-	110.20	+0.2	112.40	+2.4
1978	122	122.5	+0.5	122.3	+0.3	114.6	-7.5	112.7	-9.3	116.0	-6.0	110.16	-11.8	111.89	-10.1
1979	135	127.2	-2.8	127.2	-2.8	116.0	-14.0	118.4	-11.6	118.4	-12.0	112.53	-17.6	116.28	-13.7
1980	-	131.8	-	132.3	-	126.0	-	127.6	-	141.0	-	116.02	-	122.51	-
$\lvert\bar{E}\rvert$	-	-	3.44	-	3.44	-	8.33	-	8.67	-	9.00	-	10.13	-	8.30

2.4. EJEMPLO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE DIFERENTES METODOS DE PRONOSTICOS (*)

2.4.1. Estacionalidad

En la gráfica # 1 y en el cuadro # 1 presentamos las ventas mensuales de la Empresa en los años de 1976, 1977 y 1978 y puede observarse que éstas presentan cambios relativamente bruscos de un mes al siguiente.

En el cuadro # 2 se muestran los índices estacionales de los doce meses y puede observarse que en promedio se ha vendido un porcentaje mayor en determinados meses. Por ejemplo, durante los 3 años considerados se ha vendido más en Mayo y Octubre (10.15% y 10.51%, respectivamente) que en Febrero y Abril (6.11% y 7.13%, respectivamente)

Por otro lado, si calculamos los índices estacionales (porcentajes) para cada año, podemos observar que no existe una estacionalidad muy marcada, ya que dichos porcentajes presentan una gran variación. Por ejemplo, para el mes de Mayo obtenemos los siguientes porcentajes:

AÑO	TOTAL ANUAL	MAYO	%
76	9,600	590	6
77	16,840	2,250	13
78	19,690	1,840	9

Debido a esta variación no es posible establecer en definitiva si existe estacionalidad o no y como consecuencia, como veremos más adelante, utilizaremos la técnica de simulación para analizar el comportamiento de los pronósticos con y sin estacionalidad para entonces poder llegar a una conclusión final (véase el inciso 2.4.3. y el cuadro # 15A).

(*) Agradezco la colaboración de Hugo Borrás García en la elaboración de este ejemplo.

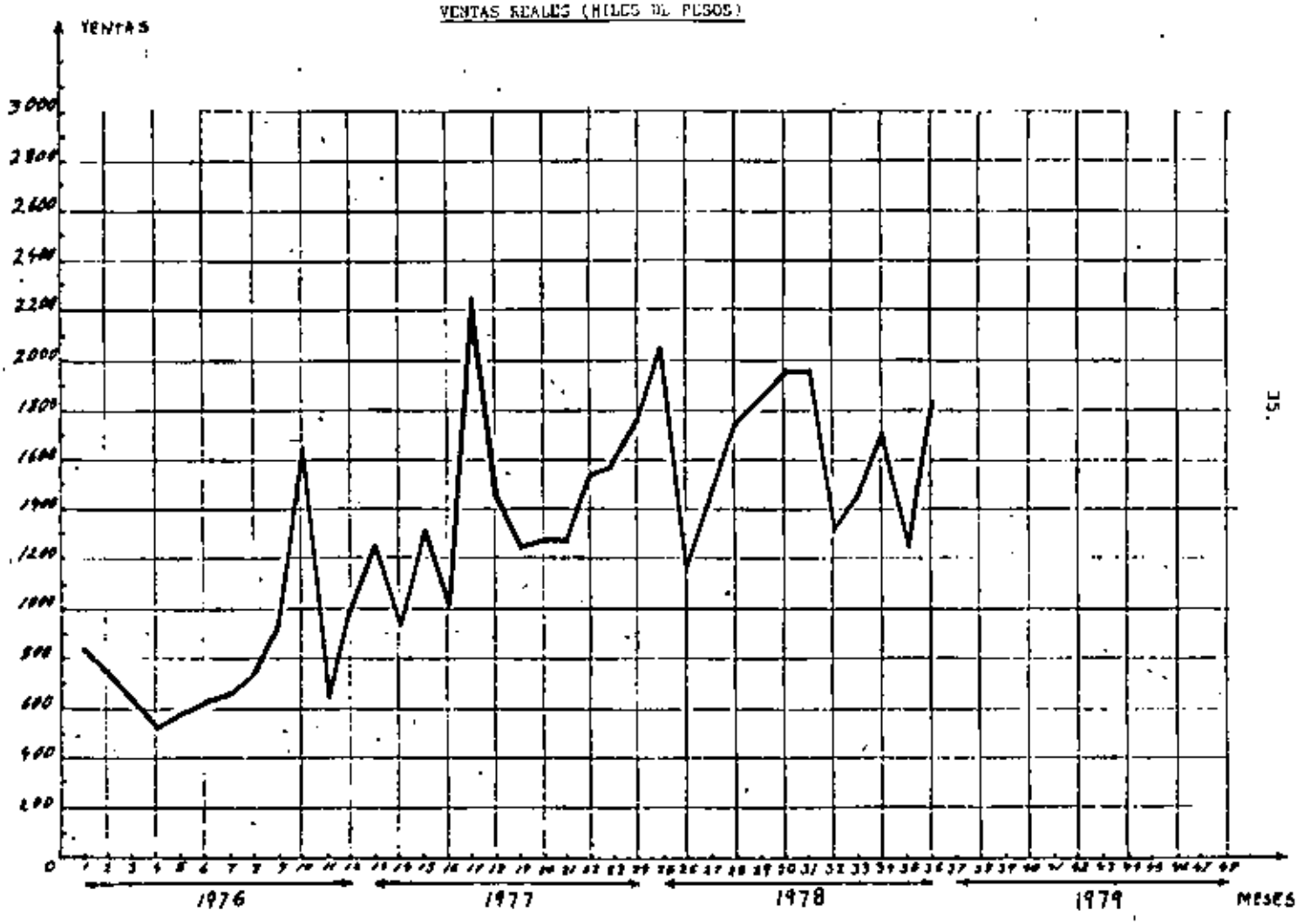
CUADRO # 1

VENTAS REALES (MILES DE PESOS)

MESES \ AÑOS	1976	1977	1978
Enero	840	1250	2050
Febrero	730	920	1150
Marzo	650	1300	1450
Abril	520	1020	1750
Mayo	590	2250	1840
Junio	620	1450	1940
Julio	670	1250	1950
Agosto	760	1280	1310
Septiembre	930	1270	1470
Octubre	1630	1520	1700
Noviembre	630	1570	1250
Diciembre	1000	1760	1830
T O T A L	9600	16840	19690

GRAFICA # 1

VENTAS REALES (MILES DE PESOS)



CUADRO # 2

INDICES ESTACIONALES

AÑO \ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1976	950	750	650	520	590	620	670	760	930	1630	830	1000	9600
1977	250	920	1300	1020	2250	1450	1250	1280	1270	1520	1570	1760	16840
1978	1050	1250	1450	1750	1840	1940	1950	1310	1470	1700	1250	1830	19590
TOTAL	4150	3320	3400	3290	4680	4010	3870	3150	3670	4850	3450	4590	45130
INDICE	9.00%	6.11%	7.37%	7.13%	10.15%	8.69%	8.39%	7.26%	7.96%	10.51%	7.48%	9.95%	

2.4.2. Pronósticos mensuales (rastreo)

La primera simulación que se llevó a cabo fue para evaluar que método resultaría mejor para los pronósticos mensuales, es decir, tomando en cuenta los (i-1) datos se pronosticaron las ventas del mes "i" utilizando distintos métodos de pronósticos y se compararon los resultados obtenidos con las ventas reales. Por ejemplo, utilizando los datos de Enero a Octubre de 1976 se pronosticaron las ventas de noviembre de 1976 (*); a partir de los datos de los 12 meses de 1976 y de los datos de Enero a Junio de 1977, se pronosticaron las ventas de Julio de 1977 y así sucesivamente. Si así lo hacemos, vamos rastreando la demanda a través de los años y por esto también llamaremos este método de rastreo.

En el cuadro # 3 presentamos inicialmente los resultados del ajuste de una línea recta. Vale la pena observar que para la elaboración de pronósticos mensuales es incorrecto ajustar una recta a todos los datos, en seguida pronosticar las ventas de meses cuyas ventas ya fueron utilizadas para el ajuste de dicha recta y finalmente calcular los errores cometidos y compararlos con los resultados de otros métodos que pronostican las ventas de cada uno de los meses sin tener en cuenta para nada las ventas de los mismos. Si queremos comparar el método de la recta con los demás métodos debemos pronosticar las ventas de cada mes siguiendo el procedimiento descrito en el parrafo anterior, es decir, utilizando únicamente los datos de meses anteriores (como hemos dicho, para el mes "i" hay (i-1) meses anteriores). Este método lo hemos llamado recta progresiva y sus resultados también se presentan en el cuadro # 3.

(*) Algunos métodos sólo utilizan los "k" datos anteriores.

En la 5a. columna del cuadro # 3 se muestran los resultados del ajuste de una curva exponencial. También en este caso es más correcto utilizar el método de la curva exponencial progresiva, cuyos resultados se muestran en el cuadro # 8.

Hemos dejado los resultados de la recta y de la curva exponencial en el cuadro # 3 porque éstos nos dan una idea bastante precisa acerca del ajuste de estas líneas a los 36 datos de ventas.

En el cuadro # 4 se presentan los resultados de los siguientes métodos: promedio móvil simple de un término (P.M.S., 1T), promedio móvil simple de dos términos (P.M.S., 2T) y promedio móvil ajustado con 2 términos (P.M.A., 2T).

En el cuadro # 5 se presentan los métodos de promedio móvil simple de 3 términos (P.M.S., 3T), promedio móvil ajustado de 3 términos (P.M.A., 3T) y promedio móvil simple de 4 términos (P.M.S., 4T).

El cuadro # 6 muestra los resultados de los siguientes métodos: promedio móvil ajustado de 4 términos (P.M.A., 4T), promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.1$ (P.P.E., $\alpha = 0.1$) y promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.1$ (P.P.E.A., $\alpha = 0.1$).

En el cuadro # 7 se presentan los siguientes métodos: promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.2$ (P.P.E., $\alpha = 0.2$), promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.2$ (P.P.E.A., $\alpha = 0.2$) y promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.3$ (P.P.E., $\alpha = 0.3$).

En el cuadro # 8, además de la curva progresiva, se presenta el método del promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.3$ (P.P.E.A., $\alpha = 0.3$)

En el cuadro # 9 se presentan los siguientes métodos: promedio móvil simple de 5 términos (P.M.S., 5T), promedio móvil simple de 6 términos (P.M.S., 6T) y promedio móvil ajustado de 5 términos (P.M.A., 5T).

En el cuadro # 10 se presentan los siguientes métodos: promedio móvil ajustado de 6 términos (P.M.A., 6T), promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.4$ (P.P.E., $\alpha = 0.4$) y promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.4$ (P.P.E., $\alpha = 0.4$).

También decidimos ajustar a los 36 datos de ventas una curva que nos proporcionara incrementos decrecientes (lo contrario de la curva exponencial) y por esto en el cuadro # 11 se presentan los resultados del ajuste de una curva de potencia ($Y = a.X^b$) y de la curva de potencia progresiva.

Finalmente, en el cuadro # 12 se comparan los resultados de los 25 métodos mediante la utilización de dos criterios diferentes: el error medio ($\bar{E}$) y el error absoluto porcentual medio ($|\bar{E}\%|$).

Obsérvese que el error medio $\bar{E}$ sirve únicamente para indicar si en promedio el método produjo pronósticos atrasados o adelantados, es decir, menores o mayores que las ventas reales, respectivamente. Si definimos (como lo estamos haciendo en este ejemplo) el error como:

$$E = \text{pronóstico} - \text{ventas}$$

esto conduce a que si $\bar{E}$ es negativo los pronósticos en promedio estuvieron atrasados y si $\bar{E}$ es positivo, esto indica que los pronósticos en promedio estuvieron adelantados. Debe resultarse también que el error medio $\bar{E}$ de la recta será siempre cero y que en la mayoría absoluta de los casos los métodos de rastreo producen errores medios negativos si la tendencia es ascendiente y errores medios positivos si la demanda es descendiente.

El cuadro # 12 muestra que para el criterio $|\bar{E}\%|$ el mejor método es el del promedio móvil simple de 6 términos, sin embargo muestra también que los siguientes métodos son bastante buenos:

a) Curva de potencia progresiva
b) Promedio móvil simple de 5 términos
c) Promedio móvil ajustado de 6 términos
d) Promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.2$
e) Promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.3$
f) Promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.1$

Los tres peores métodos fueron los siguientes:

g) Promedio móvil ajustado de 2 términos
h) Promedio móvil ajustado de 3 términos
i) Promedio móvil ajustado de 4 términos

Por otro lado, la columna del error medio $\bar{E}$ nos muestra que el P.M.S., 6T va bastante atrasado en relación a las ventas reales ($\bar{E} = -109$). Lo mismo ocurre con los demás métodos que producen buenos resultados (a, b, ..., f), a excepción del P.M.A., 6T que va adelantado ($\bar{E} = +45$), sin embargo el P.P.E.A., $\alpha = 0.1$ corresponde un retraso medio mucho menor ($\bar{E} = -51$). Como la diferencia entre los errores porcentuales de los métodos P.M.S., 6T (18.83%), P.P.E.A., $\alpha = 0.1$ (19.47%) y P.M.A., 6T (19.96%) no es muy grande, quizás sea más conveniente considerar estos dos últimos como los mejores métodos para la elaboración de los pronósticos mensuales, ya que cuanto más cerca de cero esté el error medio $\bar{E}$, mejor es el método de pronóstico.

A continuación presentamos las gráficas 2, 3, ..., 26 en las cuales se muestran las ventas reales, los pronósticos mensuales obtenidos para los 36 meses de 1976, 1977 y 1978 mediante la aplicación de los 25 métodos y los pronósticos para los 12 meses de 1979, con y sin estacionalidad. Obsérvese que los métodos del promedio móvil simple y del promedio ponderado exponencialmente sin ajuste de tendencia no permiten pronosticar más allá de Enero de 1979 y por lo tanto las gráficas correspondientes terminan en este mes.

Para todos los pronósticos con estacionalidad se utilizaron los in-

dices estacionales del cuadro # 2. En la gráfica # 2 se presentan dos métodos para la elaboración de los pronósticos con estacionalidad. En el primero se utilizaron los índices estacionales del cuadro # 2 y en el segundo el procedimiento fue el siguiente:

a) Para cada mes en cada uno de los años se dividió el valor real de las ventas entre el pronóstico (valor de la recta) y así se obtuvieron tres "índices" para cada mes.

b) Se sacaron 12 índices promedio, uno para cada mes.

c) Se multiplicaron los pronósticos de cada mes de 1979 (valor de la recta) por los índices correspondientes obtenidos en b).

Se puede observar en la gráfica # 2 que estos dos métodos conducen prácticamente a los mismos resultados y que por lo tanto es suficiente la utilización de sólo uno de ellos. Por esta razón, en estos apuntes sólo hemos utilizado el método de los porcentajes, los cuales, para este ejemplo específico, se muestran en el cuadro # 2.

CUADRO # 3

MÉTODOS: RECTA, RECTA PROGRESIVA Y CURVA EXPONENCIAL

	MES	VENTAS	RECTA	ERROR	RECTA 2	ERROR	CURVA	ERROR
	ENERO	850	694.47	- 155.53	—	—	701.65	- 148.35
	FEBRERO	750	728.01	- 21.99	650	100	723.12	- 26.88
	MARZO	650	761.55	111.55	650	0	745.24	104.24
	ABRIL	520	795.09	275.09	550	30	768.04	248.04
1	MAYO	590	828.63	238.63	420	- 170	791.53	201.53
9	JUNIO	620	862.16	242.16	447	- 173	815.75	195.75
7	JULIO	670	895.70	225.70	487.33	- 182.67	840.70	170.70
8	AGOSTO	760	929.24	169.24	541.42	- 218.58	866.42	106.42
	SEPTIEMBRE	930	962.78	32.78	620.00	- 310	892.93	- 37.08
	OCTUBRE	1630	996.32	- 633.68	745.27	- 884.73	920.24	- 709.76
	NOVIEMBRE	630	1029.85	399.85	1107.33	477.33	948.39	318.39
	DICIEMBRE	1000	1063.39	63.39	990.18	- 9.82	977.41	- 22.59
	ENERO	1250	1096.93	- 153.07	1028.18	- 221.82	1007.31	- 242.69
	FEBRERO	920	1130.47	210.47	1131.53	211.53	1038.12	118.12
	MARZO	1300	1164.01	- 135.99	1113.51	- 186.49	1069.83	- 230.17
	ABRIL	1020	1197.54	177.54	1199.61	179.61	1102.61	82.61
1	MAYO	2250	1231.08	-1018.92	1195.75	-1054.25	1136.34	-1113.66
9	JUNIO	1450	1264.62	- 185.38	1480.88	30.88	1171.10	- 278.90
7	JULIO	1250	1298.16	48.16	1531.76	281.76	1206.93	- 43.07
7	AGOSTO	1280	1331.70	51.70	1529.64	249.64	1243.85	- 36.15
	SEPTIEMBRE	1270	1365.23	95.23	1532.47	262.47	1281.90	11.90
	OCTUBRE	1520	1398.77	- 121.23	1531.66	11.66	1321.11	- 198.89
	NOVIEMBRE	1570	1432.31	- 137.69	1575.32	5.32	1361.53	- 208.47
	DICIEMBRE	1760	1465.85	- 294.15	1620.03	- 139.97	1403.18	- 356.82
	ENERO	2050	1499.39	- 550.61	2688.94	- 361.06	1446.10	- 603.90
	FEBRERO	1150	1532.92	382.92	1793.70	643.70	1490.34	340.34
	MARZO	1450	1566.46	116.46	1744.98	294.98	1535.93	85.93
	ABRIL	1750	1600.00	- 150.00	1746.09	- 3.91	1582.92	- 167.09
1	MAYO	1840	1633.54	- 206.46	1789.12	- 50.88	1631.34	+ 208.66
9	JUNIO	1940	1667.08	- 272.92	1838.64	- 101.36	1681.25	- 258.75
7	JULIO	1950	1700.61	- 249.39	1895.01	- 54.99	1732.68	- 217.32
8	AGOSTO	1310	1734.15	424.15	1945.61	635.61	1785.69	475.69
	SEPTIEMBRE	1470	1767.69	297.69	1910.00	440	1840.31	370.31
	OCTUBRE	1700	1801.23	101.23	1896.89	196.89	1896.61	196.61
	NOVIEMBRE	1250	1834.77	584.77	1911.60	661.60	1954.63	704.63
	DICIEMBRE	1830	1868.30	38.30	1872.87	42.87	2014.43	184.43
	ENERO	—	1901.84	—	1901.84	—	2076.06	—
	FEBRERO	—	1935.38	—	1935.38	—	2139.56	—
	MARZO	—	1968.92	—	1968.92	—	2205.02	—
	ABRIL	—	2002.46	—	2002.46	—	2272.47	—
1	MAYO	—	2035.99	—	2035.99	—	2341.09	—
9	JUNIO	—	2069.53	—	2069.53	—	2413.63	—
7	JULIO	—	2103.07	—	2103.07	—	2487.47	—
9	AGOSTO	—	2136.61	—	2136.61	—	2563.57	—
	SEPTIEMBRE	—	2170.15	—	2170.15	—	2641.99	—
	OCTUBRE	—	2203.68	—	2203.68	—	2722.81	—
	NOVIEMBRE	—	2237.22	—	2237.22	—	2805.10	—
	DICIEMBRE	—	2270.76	—	2270.76	—	2891.95	—

CUADRO # 4

METODOS: Promedio móvil simple un término (PMS 1 T), promedio móvil simple dos - términos (PMS 2T) y promedio móvil ajustado de dos términos (PMA 2T).

MES	VENTAS	P.M.S.1 T	ERROR	P.M.S.2 T	ERROR	P.M.A.2 T	ERROR
ENERO	850	—	—	—	—	—	—
FEBRERO	750	850	100	—	—	—	—
MARZO	650	750	100	800	150	—	—
ABRIL	520	650	130	700	180	550.0	30.0
MAYO	590	520	- 70	585	- 5	412.5	- 177.5
JUNIO	620	590	- 30	550	- 70	510.0	- 110.0
JULIO	670	620	- 50	605	- 65	680.0	10.0
AGOSTO	760	670	- 90	645	- 115	705.0	- 55.0
SEPTIEMBRE	930	760	- 170	715	- 215	820.0	- 110.0
OCTUBRE	1630	930	- 700	845	- 785	1040.0	- 590.0
NOVIEMBRE	630	1630	1000	1280	650	1932.5	1302.5
DICIEMBRE	1000	630	- 370	1130	130	905.0	- 95.0
ENERO	1250	1000	- 250	815	- 435	342.5	- 907.5
FEBRERO	920	1250	330	1125	205	1590.0	670.0
MARZO	1300	920	- 380	1085	- 215	1025.0	- 275.0
ABRIL	1020	1300	280	1110	90	1147.5	127.5
MAYO	2250	1020	-1230	1160	-1090	1235.0	-1015.0
JUNIO	1450	2250	800	1635	185	2347.5	897.
JULIO	1250	1450	200	1850	600	2172.5	922.5
AGOSTO	1280	1250	- 30	1350	70	600.0	- 680.0
SEPTIEMBRE	1270	1280	10	1265	- 5	1137.5	- 132.5
OCTUBRE	1520	1270	- 250	1276	- 244	1290.0	- 230.0
NOVIEMBRE	1570	1520	- 50	1395	- 175	1575.0	5.0
DICIEMBRE	1760	1570	- 190	1545	- 215	1770.0	10.0
ENERO	2050	1760	- 290	1665	385	1845.0	- 205.0
FEBRERO	1150	2050	900	1905	755	2265.0	1115.0
MARZO	1450	1150	- 300	1600	150	1142.5	- 307.5
ABRIL	1750	1450	- 300	1300	- 450	850.0	- 900.0
MAYO	1840	1750	- 90	1600	- 240	1150.0	- 696.0
JUNIO	1940	1840	- 100	1795	- 145	2087.5	147.5
JULIO	1950	1940	- 10	1890	- 60	2032.5	82.5
AGOSTO	1310	1950	640	1945	635	2027.5	717.5
SEPTIEMBRE	1470	1310	160	1630	160	1157.5	- 312.5
OCTUBRE	1700	1470	230	1390	- 310	1030.0	- 670.0
NOVIEMBRE	1250	1700	- 450	1585	335	1877.5	627.5
DICIEMBRE	1830	1250	- 580	1475	- 355	1310.0	- 520.0
ENERO	—	1830	—	1540	—	1037.5	—
FEBRERO	—	—	—	—	—	1702.5	—
MARZO	—	—	—	—	—	1767.5	—
ABRIL	—	—	—	—	—	1832.5	—
MAYO	—	—	—	—	—	1897.5	—
JUNIO	—	—	—	—	—	1962.5	—
JULIO	—	—	—	—	—	2027.5	—
AGOSTO	—	—	—	—	—	2092.5	—
SEPTIEMBRE	—	—	—	—	—	2157.5	—
OCTUBRE	—	—	—	—	—	2222.5	—
NOVIEMBRE	—	—	—	—	—	2287.5	—
DICIEMBRE	—	—	—	—	—	2352.5	—

CUADRO # 5

METODOS: Promedio móvil simple tres términos (PMS 3 T), promedio móvil ajustado - tres términos (PMA 3 T) y promedio móvil simple cuatro términos (PMS4 T)

	MES	VENTAS	P.M.S.3 T	ERROR	P.M.A.3 T	ERROR	P.M.S.4 T	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	
	FEBRERO	750	—	—	—	—	—	
	MARZO	650	—	—	—	—	—	
	ABRIL	520	750.00	230.00	—	—	—	
1	MAYO	590	640.00	50.00	—	—	692.5	102.5
9	JUNIO	620	586.67	- 33.33	442.23	- 177.77	627.5	7.5
7	JULIO	670	576.67	- 93.33	527.79	- 142.21	595.0	- 75.
6	AGOSTO	760	626.67	- 133.33	686.67	- 73.33	600.0	- 160.
	SEPTIEMBRE	930	683.33	- 246.67	792.21	- 137.79	660.0	- 270
	OCTUBRE	1630	786.67	- 843.33	962.23	- 667.77	745.0	- 885
	NOVIEMBRE	630	1108.67	476.67	1602.23	972.23	997.5	367.5
	DICIEMBRE	1000	1063.33	63.33	1218.87	218.87	987.5	- 12.5
	ENERO	1250	1086.67	- 163.33	1088.89	- 161.11	1047.5	- 202.5
	FEBRERO	920	960.00	40.00	806.66	- 113.34	1127.5	207.5
	MARZO	1300	1056.67	- 243.33	1101.11	- 198.89	950.0	- 350.0
	ABRIL	1020	1156.67	136.67	1354.45	334.45	1117.5	97.5
1	MAYO	2250	1080.00	-1170.00	1044.44	-1205.56	1122.5	-1127.5
9	JUNIO	1450	1523.33	73.33	2063.33	613.33	1372.5	- 77.5
7	JULIO	1250	1573.33	323.33	1935.55	685.55	1505.0	255
7	AGOSTO	1280	1650.00	370.00	1785.56	505.56	1492.5	212.5
	SEPTIEMBRE	1270	1326.67	56.67	946.67	- 323.33	1557.5	287.5
	OCTUBRE	1520	1266.67	- 253.33	971.11	- 548.89	1312.5	- 207.5
	NOVIEMBRE	1570	1356.67	- 213.33	1436.67	- 133.33	1330.0	- 240
	DICIEMBRE	1760	1453.33	- 306.67	1642.21	- 117.79	1410.0	- 350
	ENERO	2050	1616.67	- 433.33	1898.89	- 151.11	1530.0	- 520
	FEBRERO	1150	1793.33	643.33	2137.77	987.77	1725.0	575
	MARZO	1450	1653.33	203.33	1584.43	134.43	1532.5	182.5
	ABRIL	1750	1550.00	- 200.00	1318.90	- 431.10	1602.5	- 147.5
1	MAYO	1840	1450.00	- 390.00	1247.78	- 592.22	1600.0	- 240
9	JUNIO	1940	1680.00	- 260.00	1920.00	- 20.00	1547.5	- 392.5
7	JULIO	1950	1843.33	- 106.67	2234.43	284.43	1745.0	- 205
8	AGOSTO	1310	1910.00	600.00	2107.78	797.78	1870.0	560
	SEPTIEMBRE	1470	1733.33	263.33	1542.21	72.21	1760.0	290
	OCTUBRE	1700	1576.67	- 123.33	1250.00	- 450	1667.5	- 32.5
	NOVIEMBRE	1250	1493.33	243.33	1277.77	27.77	1607.5	357.5
	DICIEMBRE	1830	1473.33	- 356.67	1391.11	- 438.89	1432.5	- 397.5
	ENERO	—	1593.33		1739.99	—	1567.5	—
	FEBRERO	—	—		1813.32	—	—	—
	MARZO	—	—		1886.65	—	—	—
	ABRIL	—	—		1959.98	—	—	—
1	MAYO	—	—		2033.31	—	—	—
9	JUNIO	—	—		2106.64	—	—	—
7	JULIO	—	—		2179.97	—	—	—
9	AGOSTO	—	—		2253.30	—	—	—
	SEPTIEMBRE	—	—		2326.63	—	—	—
	OCTUBRE	—	—		2399.96	—	—	—
	NOVIEMBRE	—	—		2473.29	—	—	—
	DICIEMBRE	—	—		2546.62	—	—	—

CUADRO #6

METODOS: Promedio móvil ajustado cuatro términos (PMA = T), promedio ponderado exponencialmente α=0.1 (PPEα=0.1) y promedio ponderado exponencialmente ajustado α=0.1 (PPEAα=0.1).

	MES	VENTAS	P.M.A= T	ERROR	P.P.E=0.1	ERROR	PPEA=0.1	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	—	—	850.00	100	850.00	100
	MARZO	650	—	—	840.00	190	830.00	180
	ABRIL	520	—	—	821.00	301	793.00	273
1	MAYO	590	—	—	790.90	200.9	735.60	145.6
9	JUNIO	620	—	—	770.81	150.81	700.94	80.94
7	JULIO	670	—	—	755.73	85.73	677.77	7.77
6	AGOSTO	760	552.08	- 207.92	747.16	- 12.84	688.43	- 71.57
	SEPTIEMBRE	930	725.67	- 204.38	748.44	- 181.56	678.86	- 251.14
	OCTUBRE	1630	903.33	- 726.67	766.60	- 863.40	722.26	- 907.74
	NOVIEMBRE	630	1408.96	778.96	852.94	222.94	899.37	269.37
	DICIEMBRE	1000	1220.83	220.83	830.54	- 169.36	850.13	- 149.87
	ENERO	1250	1219.37	- 30.63	847.58	- 402.42	882.06	- 367.94
	FEBRERO	920	1273.33	353.33	887.82	- 32.18	959.09	39.09
	MARZO	1300	819.79	- 480.21	891.04	- 408.96	958.81	- 341.19
	ABRIL	1020	1212.29	192.29	931.93	- 88.07	1033.81	13.81
1	MAYO	2250	1194.37	-1055.63	940.74	-1309.26	1041.24	-1208.76
9	JUNIO	1450	1758.96	308.96	1071.67	- 378.33	1293.05	- 156.95
7	JULIO	1250	1881.04	631.04	1109.50	- 140.50	1346.57	96.57
7	AGOSTO	1280	1691.46	411.46	1123.55	- 156.45	1350.96	70.96
	SEPTIEMBRE	1270	1683.54	413.54	1139.20	- 130.80	1359.52	89.52
	OCTUBRE	1520	1055.21	- 464.79	1152.28	- 367.72	1363.65	- 156.35
	NOVIEMBRE	1570	1174.79	- 395.21	1189.05	- 380.95	1416.05	- 153.35
	DICIEMBRE	1760	1422.50	- 337.5	1227.14	- 532.86	1469.53	- 290.47
	ENERO	2050	1753.96	- 296.04	1280.43	- 769.57	1551.87	- 498.13
	FEBRERO	1150	2102.08	952.08	1357.39	207.39	1678.65	528.65
	MARZO	1450	1729.37	279.37	1336.65	- 113.35	1605.04	155.04
	ABRIL	1750	1569.17	- 180.83	1347.98	- 402.02	1600.86	- 149.14
1	MAYO	1840	1533.33	- 306.67	1388.18	- 451.82	1655.97	- 184.03
9	JUNIO	1940	1467.29	- 472.71	1433.37	- 506.63	1719.47	- 220.53
7	JULIO	1950	1947.08	- 2.92	1484.03	- 465.97	1792.19	- 157.81
8	AGOSTO	1310	2168.96	858.96	1530.63	220.63	1854.57	544.57
	SEPTIEMBRE	1470	1808.96	338.96	1508.56	38.56	1778.05	308.05
	OCTUBRE	1700	1512.29	- 187.71	1504.71	- 195.29	1743.39	43.39
	NOVIEMBRE	1250	1409.58	159.58	1524.24	274.24	1758.58	508.58
	DICIEMBRE	1830	1125.21	- 704.79	1496.81	- 333.19	1680.30	- 149.70
	ENERO	—	1554.17	—	1530.00	—	1728.58	
	FEBRERO	—	1550.83	—	—	—	1748.43	
	MARZO	—	1547.50	—	—	—	1768.28	
	ABRIL	—	1544.17	—	—	—	1788.12	
1	MAYO	—	1540.83	—	—	—	1807.97	
9	JUNIO	—	1537.50	—	—	—	1827.81	
7	JULIO	—	1534.17	—	—	—	1847.66	
9	AGOSTO	—	1530.83	—	—	—	1867.50	
	SEPTIEMBRE	—	1527.50	—	—	—	1887.35	
	OCTUBRE	—	1524.17	—	—	—	1907.19	
	NOVIEMBRE	—	1520.83	—	—	—	1927.04	
	DICIEMBRE	—	1517.5	—	—	—	1946.88	

CUADRO # 7

METODOS: Promedio ponderado exponencialmente con α=.2 (PPEα=.2), promedio ponderado exponencialmente ajustado con α=.2(PPEAα=.2) y promedio ponderado exponencialmente α=.3 (PPEα=.3).

	MES	VENTAS	P.P.E α=.2	ERROR	P.P.EA α=.2	ERROR	P.P.E α=.3	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	850	100	850	100	850	100
	MARZO	650	830	180	810	160	820	170
	ABRIL	520	794	274	742	222	760	240
1	MAYO	590	739.2	149.2	642.8	52.8	694.3	104.3
9	JUNIO	620	709.36	89.36	602.4	- 17.6	663.01	43.01
7	JULIO	670	691.49	21.49	588.05	- 81.95	650.11	- 19.89
6	AGOSTO	760	687.19	- 72.81	600.14	- 159.86	656.07	- 103.93
	SEPTIEMBRE	930	701.75	- 228.25	646.68	- 283.32	687.25	- 242.75
	OCTUBRE	1630	747.40	- 882.60	748.99	- 881.01	760.08	- 869.92
	NOVIEMBRE	630	923.92	293.92	1101.71	471.71	1021.05	391.05
	DICIEMBRE	1000	865.14	- 134.86	948.59	- 51.41	903.74	- 96.26
	ENERO	1250	892.11	- 357.89	985.54	- 265.46	932.62	- 317.38
	FEBRERO	920	963.69	43.69	1110.25	190.25	1027.83	107.83
	MARZO	1300	954.95	- 345.05	1063.46	- 236.54	995.48	- 304.52
	ABRIL	1020	1023.96	3.96	1179.79	159.79	1086.84	66.84
1	MAYO	2250	1023.17	-1226.83	1149.05	-1100.95	1066.79	-1183.21
9	JUNIO	1450	1268.53	- 181.47	1612.98	162.98	1421,75	- 28.25
7	JULIO	1250	1304.83	54.83	1616.69	366.69	1430.23	180.23
7	AGOSTO	1280	1293.86	13.86	1532.39	252.39	1376.16	96.16
	SEPTIEMBRE	1270	1291.09	21.09	1479.14	209.14	1347.31	77.31
	OCTUBRE	1520	1286.87	- 233.13	1433.08	- 86.92	1324.12	- 195.88
	NOVIEMBRE	1570	1333.50	- 236.50	1497.10	- 72.90	1382.88	- 187.12
	DICIEMBRE	1760	1380.80	- 379.20	1558.99	- 201.01	1439.02	- 320.98
	ENERO	2050	1456.64	- 593.36	1657.03	- 392.97	1535.31	- 514.69
	FEBRERO	1150	1575.31	425.31	1868.69	718.69	1689.72	539.72
	MARZO	1450	1490.25	40.25	1639.89	189.89	1527.80	77.80
	ABRIL	1750	1482.2	- 267.8	1593.86	- 156.14	1504.46	- 245.54
1	MAYO	1840	1535.76	- 304.24	1678.65	- 161.35	1578.12	- 261.88
9	JUNIO	1940	1596.61	- 343.39	1771.77	- 168.23	1656.69	- 283.31
7	JULIO	1950	1665.29	- 284.71	1874.10	- 75.90	1741.68	- 208.32
8	AGOSTO	1310	1722.23	417.23	1946.22	636.22	1804.18	494.18
	SEPTIEMBRE	1470	1639.78	169.78	1736.52	266.52	1655.92	185.92
	OCTUBRE	1700	1605.83	- 94.17	1649.27	- 50.73	1600.15	- 99.85
	NOVIEMBRE	1250	1624.66	374.66	1678.25	428.25	1630.10	380.10
	DICIEMBRE	1830	1549.73	280.27	1517.67	- 312.33	1516.07	- 313.93
	ENERO	—	1605.78		1636.18		1610.25	
	FEBRERO	—			1647.26			
	MARZO	—			1648.34			
	ABRIL	—			1654.42			
1	MAYO	—			1660.50			
9	JUNIO	—			1666.58			
7	JULIO	—			1672.66			
9	AGOSTO	—			1678.74			
	SEPTIEMBRE	—			1684.82			
	OCTUBRE	—			1690.96			
	NOVIEMBRE	—			1696.98			
	DICIEMBRE	—			1703.06			

CUADRO # 8

METODO: Promedio ponderado exponencialmente con Ajuste de Tendencia α=.3 y curva Progresiva.

	MES	VENTAS	PPEA α=.3	ERROR	CURVA P.	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—
	FEBRERO	750	850	100	850	100
	MARZO	650	790	140	661.75	11.75
	ABRIL	520	697	177	570.09	50.09
1	MAYO	590	569.2	- 20.8	454.68	- 135.32
9	JUNIO	620	544.15	- 75.85	476.47	- 143.58
7	JULIO	670	554.01	- 115.99	508.87	- 161.13
6	AGOSTO	760	594.76	- 165.24	554.07	- 105.93
	SEPTIEMBRE	930	675.51	- 254.49	621.85	- 308.15
	OCTUBRE	1630	824.69	- 805.31	731.64	- 898.36
	NOVIEMBRE	630	1327.25	697.25	1018.71	388.71
	DICIEMBRE	1000	1000.77	0.77	903.06	- 96.94
	ENERO	1250	1027.42	- 227.58	965.06	- 284.94
	FEBRERO	920	1190.80	270.80	1083.66	163.66
	MARZO	1300	1077.21	- 222.79	1081.49	- 218.51
	ABRIL	1020	1235.41	215.41	1182.39	162.39
1	MAYO	2250	1150.73	-1099.27	1191.77	-1058.23
9	JUNIO	1450	1835.48	385.48	1442.59	- 7.41
7	JULIO	1250	1728.32	478.32	1524.31	274.31
7	AGOSTO	1280	1530.75	250.75	1543.17	263.17
	SEPTIEMBRE	1270	1426.67	156.67	1564.15	294.15
	OCTUBRE	1520	1356.49	- 163.51	1577.03	57.03
	NOVIEMBRE	1570	1464.29	- 105.71	1639.42	69.42
	DICIEMBRE	1760	1552.15	- 207.85	1702.23	- 57.77
	ENERO	2050	1710.80	- 339.2	1789.69	- 260.31
	FEBRERO	1150	1966.96	816.96	1912.94	762.94
	MARZO	1450	1559.96	109.96	1852.51	402.51
	ABRIL	1750	1503.63	- 246.37	1862.91	112.91
1	MAYO	1840	1651.19	- 188.81	1921.38	81.38
9	JUNIO	1940	1786.42	- 153.58	1986.83	46.83
7	JULIO	1950	1917.48	- 32.52	2059.46	209.46
8	AGOSTO	1310	1989.74	679.74	2126.43	816.43
	SEPTIEMBRE	1470	1637.55	167.55	2080.36	610.36
	OCTUBRE	1700	1531.52	- 168.48	1067.50	367.50
	NOVIEMBRE	1250	1612.01	362.01	1090.37	840.37
	DICIEMBRE	1830	1389.37	- 440.63	2037.33	207.33
	ENERO		1615.75		2014.04	
	FEBRERO		1617.40		2139.56	
	MARZO		1619.05		2205.01	
	ABRIL		1620.70		2272.47	
1	MAYO		1622.35		2341.98	
9	JUNIO		1624.00		2413.63	
7	JULIO		1625.65		2487.47	
9	AGOSTO		1627.30		2563.56	
	SEPTIEMBRE		1628.95		2641.98	
	OCTUBRE		1630.60		2722.81	
	NOVIEMBRE		1632.25		1806.10	
	DICIEMBRE		1633.90		2891.94	

CUADRO #9

METODOS: Promedio móvil simple de 5 términos (PMS, 5 T), promedio móvil simple de 6 términos (PMS, 6T) promedio móvil ajustado de 5 términos (PMA, 5T).

	MES	VENTAS	PMS, 5 T	ERROR	PMA, 5T	ERROR	PMS, 6T	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	—	—	—	—	—	—
	MARZO	650	—	—	—	—	—	—
	ABRIL	520	—	—	—	—	—	—
1	MAYO	590	—	—	—	—	—	—
9	JUNIO	620	672	52	—	—	—	—
7	JULIO	670	626	- 44	—	—	663	- 7
6	AGOSTO	760	610	- 150	—	—	663	- 127
	SEPTIEMBRE	930	632	- 290	—	—	635	- 295
	OCTUBRE	1630	714	- 916	809	- 821	682	- 948
	NOVIEMBRE	630	922	292	1254	624	867	237
	DICIEMBRE	1000	924	- 76	1169	169	873	- 127
	ENERO	1250	990	- 260	1220	- 30	937	- 313
	FEBRERO	920	1088	168	1329	409	1033	113
	MARZO	1300	1086	- 214	1212	- 88	1060	- 240
	ABRIL	1020	1020	0	1018	- 2	1122	102
1	MAYO	2250	1098	-1152	1160	-1090	1020	-1230
9	JUNIO	1450	1148	- 102	1678	228	1290	- 160
7	JULIO	1250	1388	138	1688	938	1365	115
7	AGOSTO	1280	1454	174	1743	463	1365	85
	SEPTIEMBRE	1270	1450	180	1604	334	1425	155
	OCTUBRE	1520	1500	- 20	1608	88	1420	- 100
	NOVIEMBRE	1570	1354	- 216	1241	- 329	1503	- 67
	DICIEMBRE	1760	1378	- 382	1304	- 456	1390	- 370
	ENERO	2050	1480	- 570	1551	- 499	1442	- 608
	FEBRERO	1150	1634	484	1881	731	1575	425
	MARZO	1450	1610	160	1788	338	1553	103
	ABRIL	1750	1596	- 154	1680	- 70	1583	- 167
1	MAYO	1840	1632	- 208	1694	- 146	1672	- 168
9	JUNIO	1940	1648	- 292	1684	- 256	1667	- 273
7	JULIO	1950	1626	- 324	1631	- 319	1697	- 253
8	AGOSTO	1310	1786	476	1979	669	1680	370
	SEPTIEMBRE	1470	1758	288	1860	390	1707	237
	OCTUBRE	1700	1702	2	1699	- 1	1710	10
	NOVIEMBRE	1250	1674	424	1621	371	1702	452
	DICIEMBRE	1830	1536	- 294	1303	- 527	1603	- 227
	ENERO	—	1512	—	1325	—	1585	—
	FEBRERO	—	—	—	1263	—	—	—
	MARZO	—	—	—	1201	—	—	—
	ABRIL	—	—	—	1139	—	—	—
1	MAYO	—	—	—	1077	—	—	—
9	JUNIO	—	—	—	1014	—	—	—
7	JULIO	—	—	—	952	—	—	—
9	AGOSTO	—	—	—	890	—	—	—
	SEPTIEMBRE	—	—	—	829	—	—	—
	OCTUBRE	—	—	—	766	—	—	—
	NOVIEMBRE	—	—	—	703	—	—	—
	DICIEMBRE	—	—	—	541	—	—	—

CUADRO #10

METODOS: Promedio móvil ajustado de 6 términos (P.M.A., 6 T), promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.4$ (P.P.E., $\alpha = 0.4$) y promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.4$ (P.P.E.A., $\alpha = 0.4$)

	MES	VENTAS	PMA, 6 T	ERROR	PPE, α =0.4	ERROR	PPEA, α =0.4	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	—	—	850	100	850	100
	MARZO	650	—	—	810	160	770	120
	ABRIL	520	—	—	746	226	658	138
1	MAYO	590	—	—	656	66	512	- 78
9	JUNIO	620	—	—	629	9	517	- 103
7	JULIO	670	—	—	626	- 41	555	- 115
6	AGOSTO	760	—	—	643	- 117	619	- 141
	SEPTIEMBRE	930	—	—	690	- 240	722	- 208
	OCTUBRE	1630	—	—	786	- 844	901	- 729
	NOVIEMBRE	630	—	—	1124	494	1530	900
	DICIEMBRE	1000	1080	80	926	- 74	973	- 27
	ENERO	1250	1168	- 82	956	- 294	1013	- 237
	FEBRERO	920	1307	387	1073	153	1226	306
	MARZO	1300	1272	- 28	1012	- 288	1042	- 258
	ABRIL	1020	1317	297	1127	107	1260	240
1	MAYO	2250	1038	-1212	1084	-1166	1121	-1129
9	JUNIO	1450	1588	138	1551	101	2039	589
7	JULIO	1250	1668	418	1510	260	1763	513
7	AGOSTO	1280	1591	311	1406	126	1454	174
	SEPTIEMBRE	1270	1650	380	1356	86	1334	64
	OCTUBRE	1520	1568	48	1321	- 199	1274	- 246
	NOVIEMBRE	1570	1655	85	1401	- 169	1452	- 118
	DICIEMBRE	1760	1360	- 400	1469	-291	1567	- 193
	ENERO	2050	1466	- 584	1585	- 465	1761	- 289
	FEBRERO	1150	1737	587	1771	621	2062	912
	MARZO	1450	1655	205	1522	72	1449	- 1
	ABRIL	1750	1689	- 61	1493	- 257	1420	- 330
1	MAYO	1840	1754	- 86	1596	- 244	1655	- 185
9	JUNIO	1940	1797	- 143	1694	- 246	1826	- 114
7	JULIO	1950	1809	- 141	1792	- 158	1970	20
8	AGOSTO	1310	1745	435	1855	645	2025	715
	SEPTIEMBRE	1470	1773	303	1637	167	1521	51
	OCTUBRE	1700	1751	51	1570	- 130	1434	- 256
	NOVIEMBRE	1250	1713	463	1622	372	1592	342
	DICIEMBRE	1830	1492	- 338	1473	- 357	1306	- 524
	ENERO	—	1473	—	1616	—	1659	—
	FEBRERO	—	1442	—	—	—	1675	—
	MARZO	—	1410	—	—	—	1692	—
	ABRIL	—	1378	—	—	—	1709	—
1	MAYO	—	1346	—	—	—	1727	—
9	JUNIO	—	1315	—	—	—	1744	—
7	JULIO	—	1283	—	—	—	1761	—
9	AGOSTO	—	1251	—	—	—	1778	—
	SEPTIEMBRE	—	1220	—	—	—	1795	—
	OCTUBRE	—	1188	—	—	—	1812	—
	NOVIEMBRE	—	1156	—	—	—	1829	—
	DICIEMBRE	—	1124	—	—	—	1846	—

CUADRO #11

METODOS: Curva de potencia y Curva de potencia progresiva.

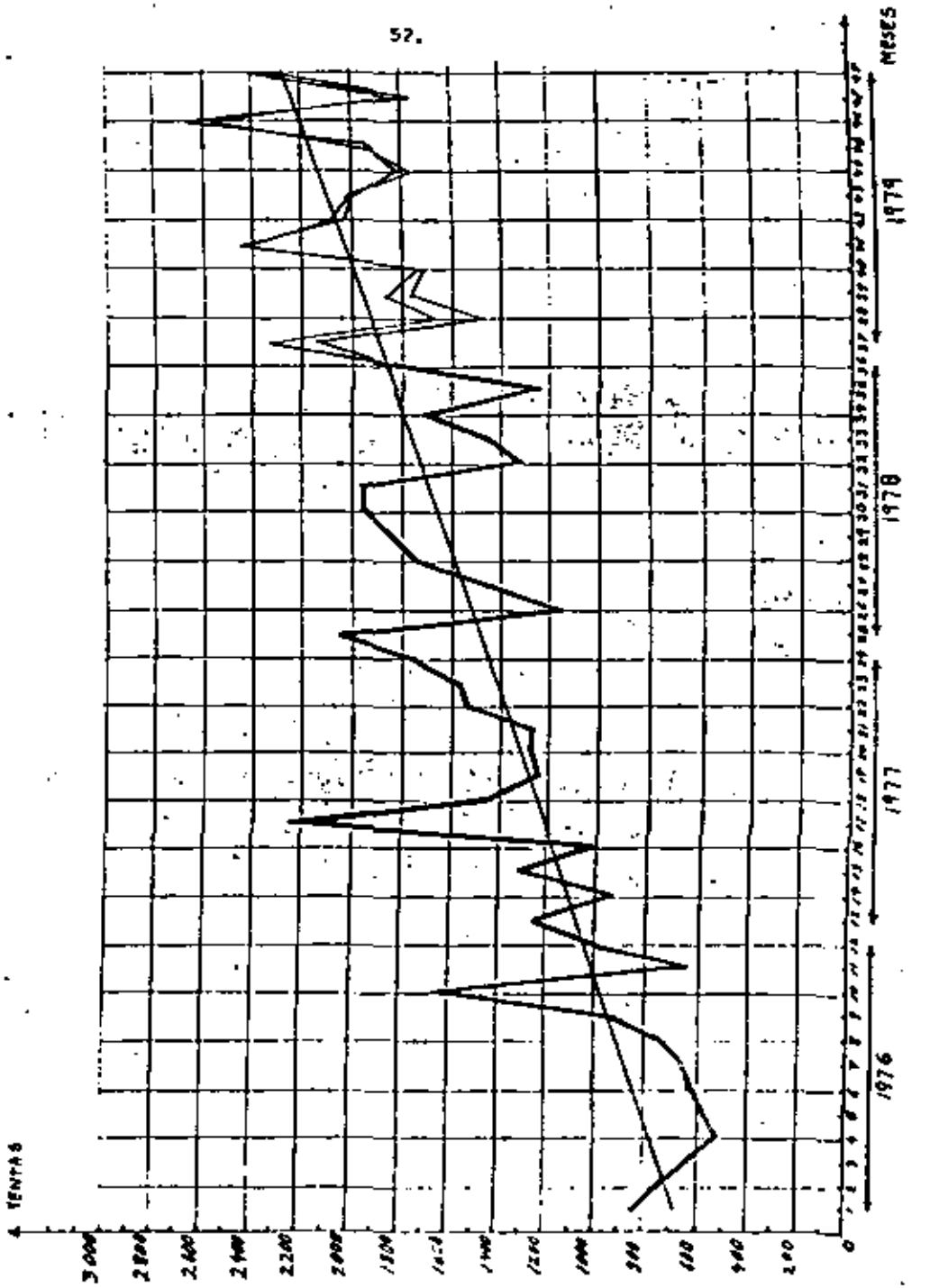
	MES	VENTAS	CURVA POT.	ERROR	CURVA POT. P	ERROR
	ENERO	850	461	- 389	—	—
	FEBRERO	750	590	- 160	850	100
	MARZO	650	682	32	697	47
	ABRIL	520	755	235	618	98
1	MAYO	590	810	220	520	- 70
9	JUNIO	620	873	253	524	- 96
7	JULIO	670	922	252	540	- 130
6	AGOSTO	760	967	207	563	- 193
	SEPTIEMBRE	930	1008	78	609	- 321
	OCTUBRE	1630	1047	- 583	677	- 953
	NOVIEMBRE	630	1083	453	837	207
	DICIEMBRE	1000	1117	117	794	- 206
	ENERO	1250	1150	- 100	837	- 413
	FEBRERO	920	1181	261	908	- 12
	MARZO	1300	1210	- 90	920	- 380
	ABRIL	1020	1238	218	981	- 39
1	MAYO	2250	1265	- 985	997	-1253
9	JUNIO	1450	1291	- 159	1127	- 323
7	JULIO	1250	1316	66	1181	- 69
7	AGOSTO	1280	1341	61	1206	- 74
	SEPTIEMBRE	1270	1364	94	1232	- 38
	OCTUBRE	1520	1387	- 133	1252	- 268
	NOVIEMBRE	1570	1409	- 161	1294	- 276
	DICIEMBRE	1760	1431	- 325	1337	- 423
	ENERO	2050	1452	- 598	1389	- 661
	FEBRERO	1150	1472	322	1958	308
	MARZO	1450	1492	42	1447	- 3
	ABRIL	1750	1512	- 238	1465	- 285
1	MAYO	1840	1531	- 300	1504	- 336
9	JUNIO	1940	1549	- 391	1546	- 394
7	JULIO	1950	1567	- 383	1591	- 359
8	AGOSTO	1310	1585	275	1633	323
	SEPTIEMBRE	1470	1603	133	1627	157
	OCTUBRE	1700	1620	- 80	1633	- 67
	NOVIEMBRE	1250	1637	387	1654	405
	DICIEMBRE	1830	1653	- 177	1643	- 187
	ENERO	—	1670	—	1670	—
	FEBRERO	—	1685	—	1685	—
	MARZO	—	1701	—	1701	—
	ABRIL	—	1717	—	1717	—
1	MAYO	—	1732	—	1732	—
9	JUNIO	—	1747	—	1747	—
7	JULIO	—	1761	—	1761	—
9	AGOSTO	—	1776	—	1776	—
	SEPTIEMBRE	—	1790	—	1790	—
	OCTUBRE	—	1804	—	1804	—
	NOVIEMBRE	—	1818	—	1818	—
	DICIEMBRE	—	1832	—	1832	—

CUADRO # 12

EVALUACION DE LOS 25 METODOS DE PRONOSTICOS

METODOS	$\overline{\lvert E\% \rvert}$	$\overline{E}$
Ajuste de una línea recta (*)	20.31	0
Recta progresiva (*)	21.13	18
Ajuste de una curva exponencial (*)	19.98	-33
Curva exponencial progresiva (*)	23.08	67
Ajuste de una curva de potencia (*)	21.37	-43
Curva de potencia progresiva (*)	19.75 (6)	-174
Promedio móvil simple, 1 término	25.73	-28
Promedio móvil simple, 2 términos	23.12	-38
Promedio móvil simple, 3 términos	21.69	-54
Promedio móvil simple, 4 términos	21.49	-75
Promedio móvil simple, 5 términos	19.51 (4)	-91
Promedio móvil simple, 6 términos	18.83 (1)	-109
Promedio móvil ajustado, 2 términos (*)	35.24	-40
Promedio móvil ajustado, 3 términos (*)	29.81	-15
Promedio móvil ajustado, 4 términos (*)	31.50	-5
Promedio móvil ajustado, 5 términos (*)	26.78	23
Promedio móvil ajustado, 6 términos (*)	19.96 (7)	45
Prom. pond. exp., α = 0.1	22.30	-187
Prom. pond. exp., α = 0.2	19.39 (2)	-105
Prom. pond. exp., α = 0.3	19.65 (5)	-70
Prom. pond. exp., α = 0.4	25.04	-55
Prom. pond. exp. ajustado, α = 0.1 (*)	19.47 (3)	-51
Prom. pond. exp. ajustado, α = 0.2 (*)	21.10	-5
Prom. pond. exp. ajustado, α = 0.3 (*)	23.04	-0.5
Prom. pond. exp. ajustado, α = 0.4 (*)	25.04	-5

(*) Métodos que permiten pronosticar las ventas de los 12 meses de 1979.

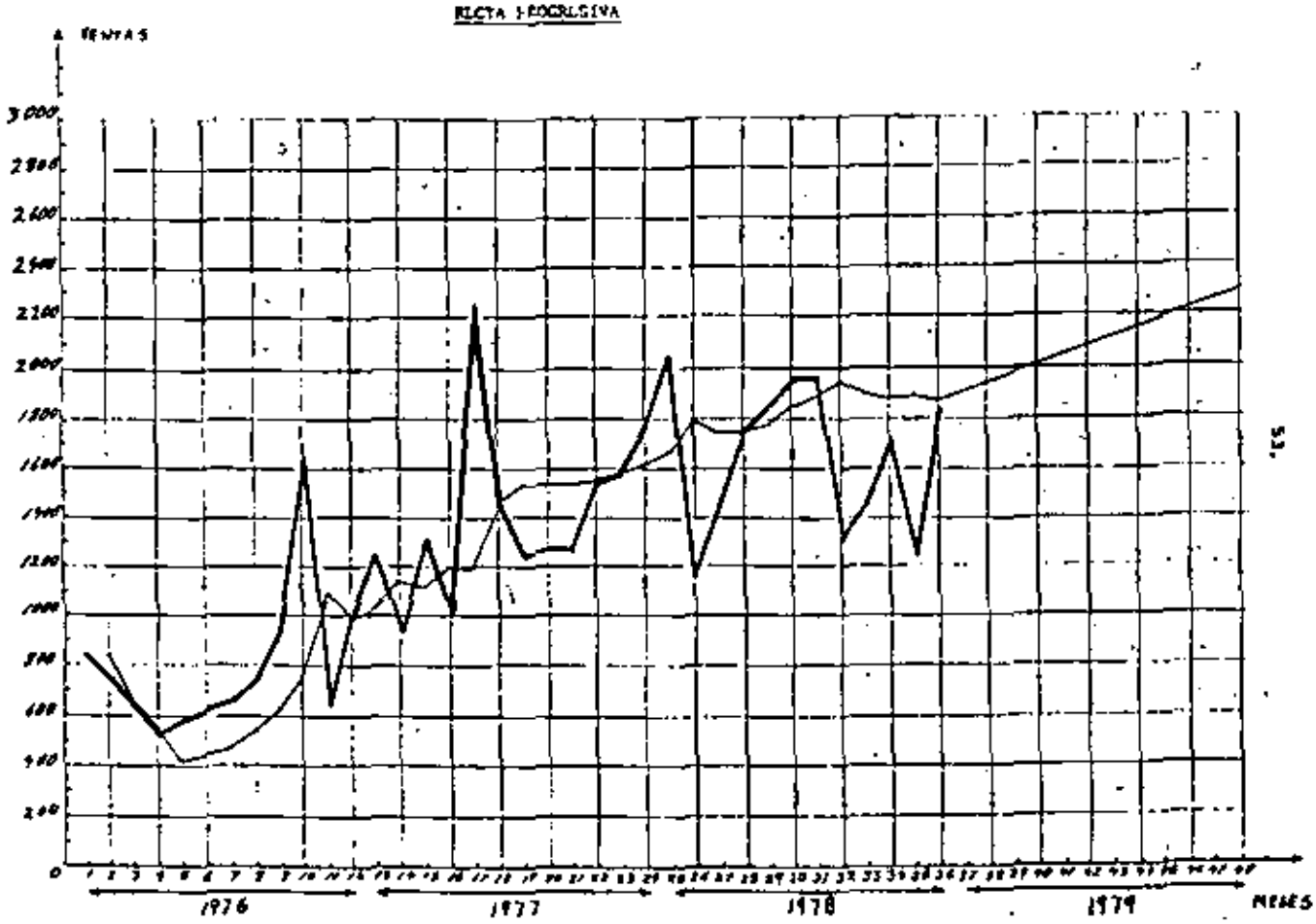


GRAFICA # 2

RECTA DE MINIMOS CUADRADOS

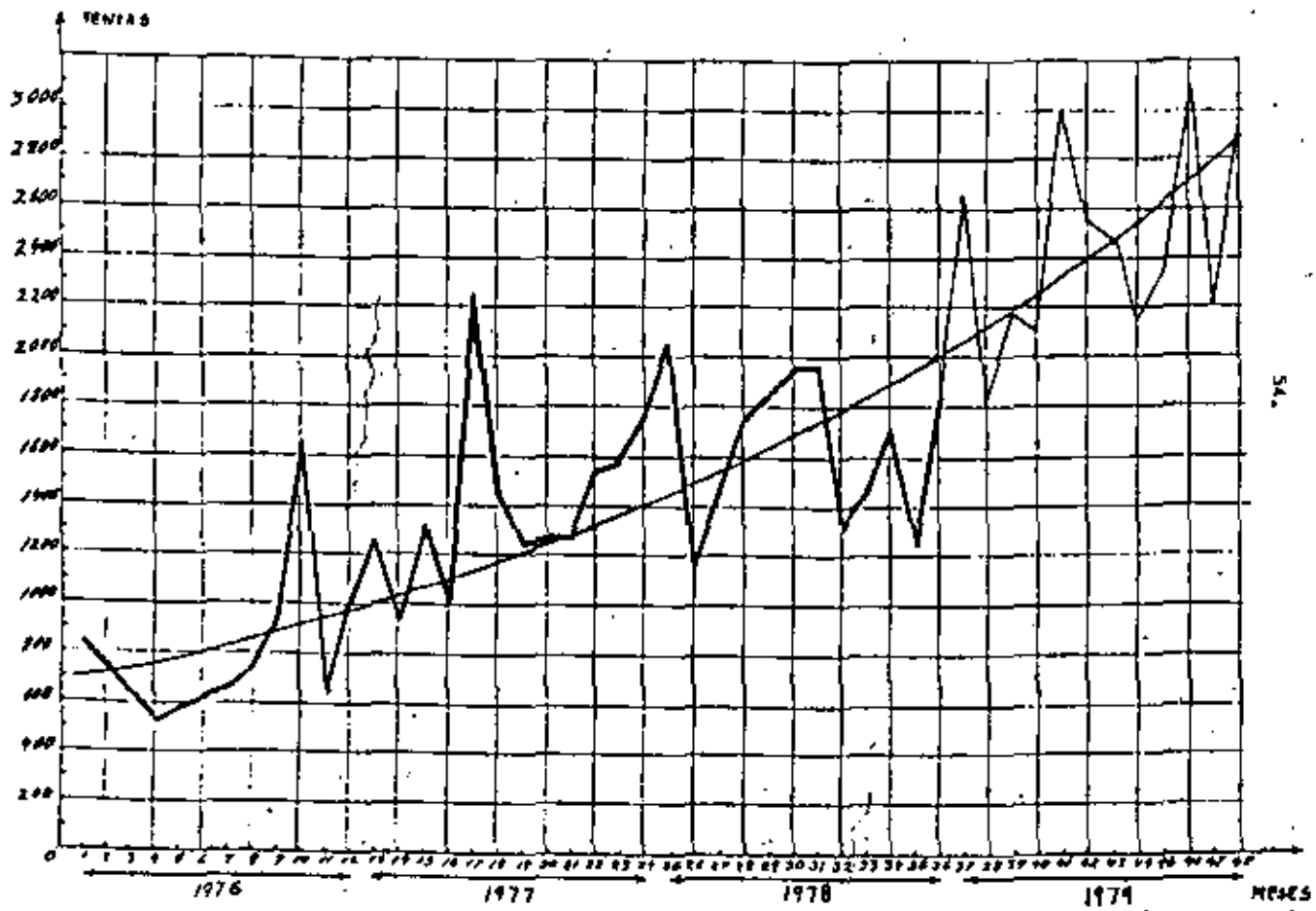
GRAFICA # 3

RECTA REGRESIVA



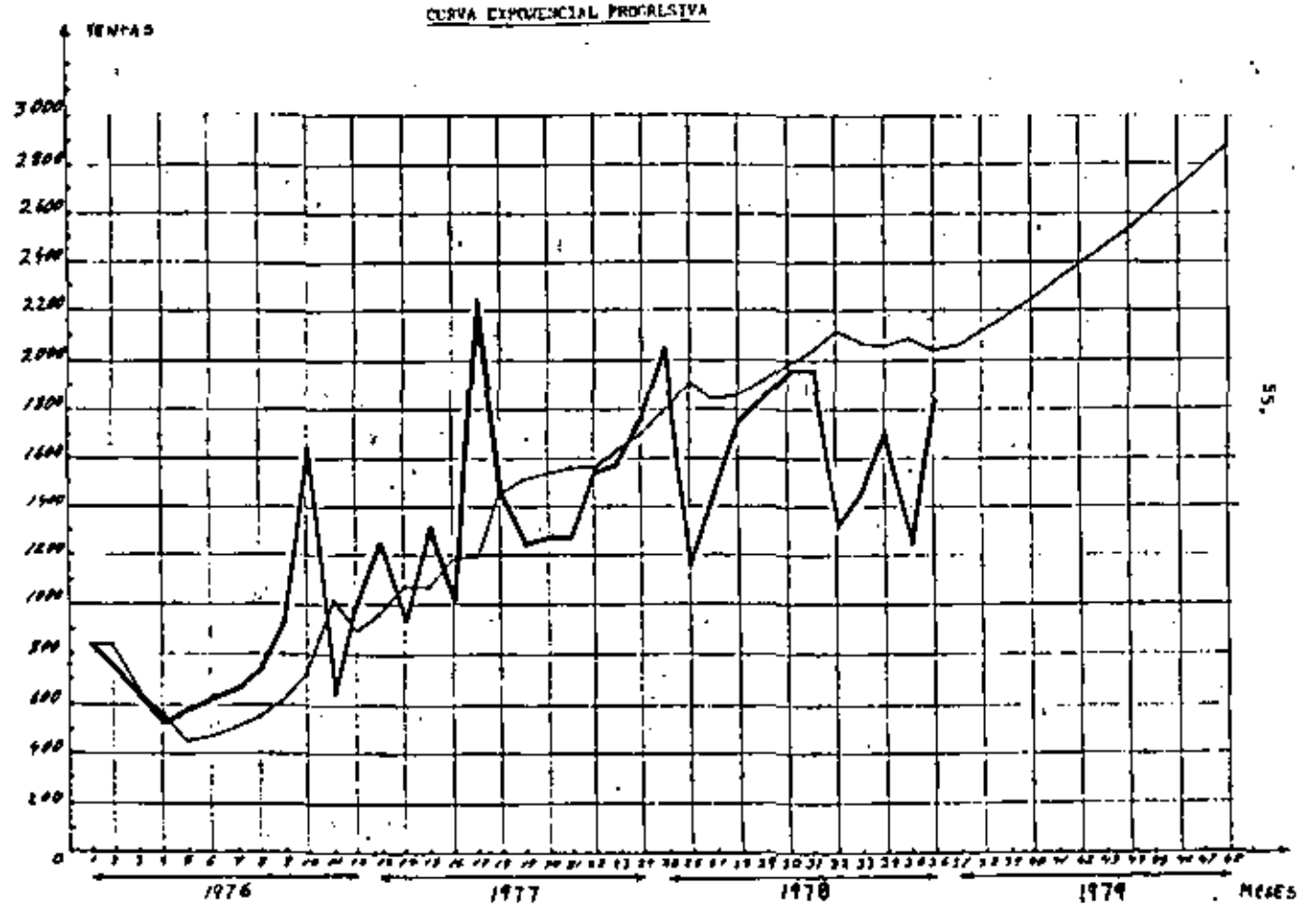
GRAFICA # 4

CURVA EXPONENCIAL



GRAFICA # 5

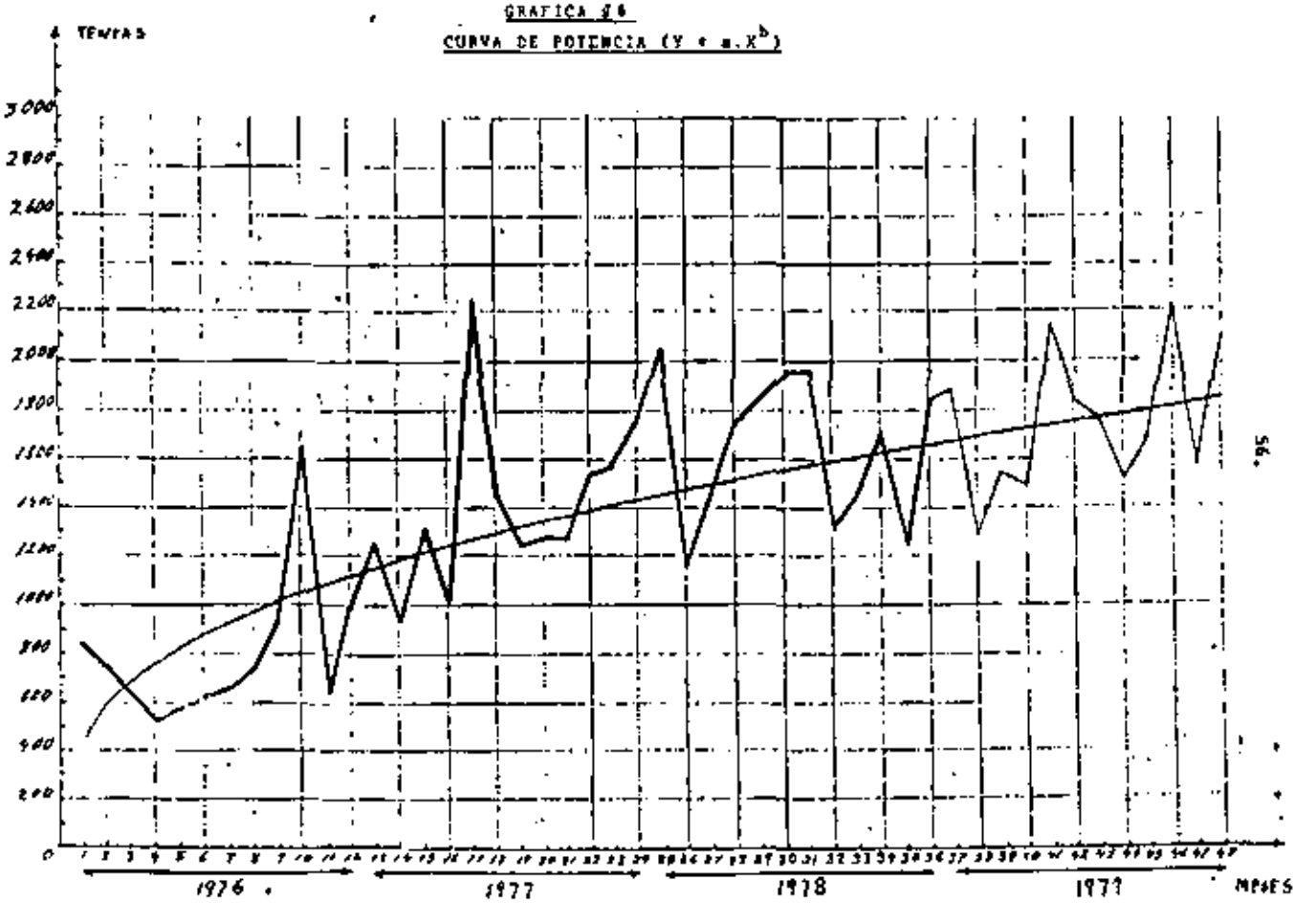
CURVA EXPONENCIAL PROGRESIVA



55.

GRAFICA # 6

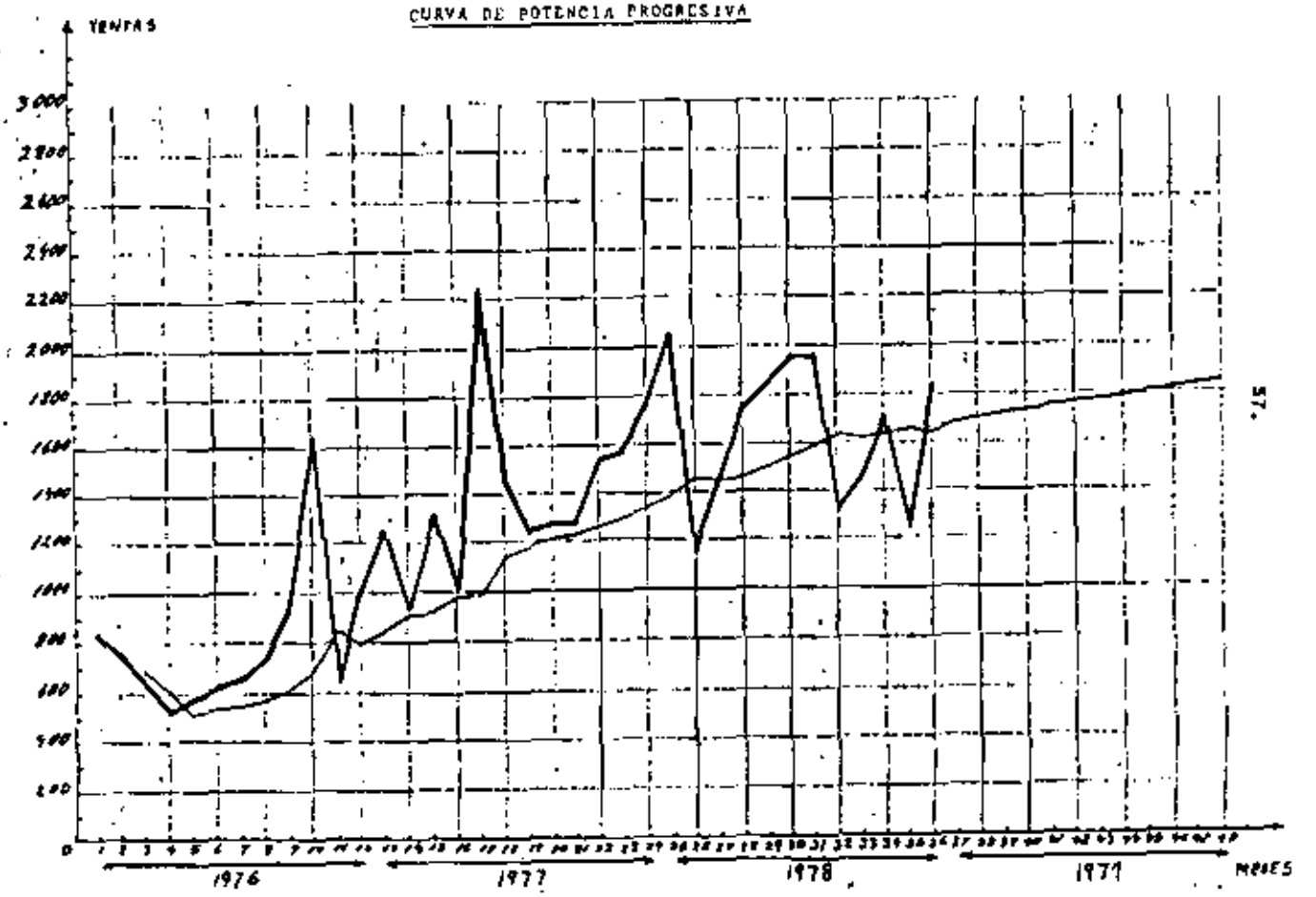
CURVA DE POTENCIA ($Y = a.X^b$)



56.

GRAFICA # 7

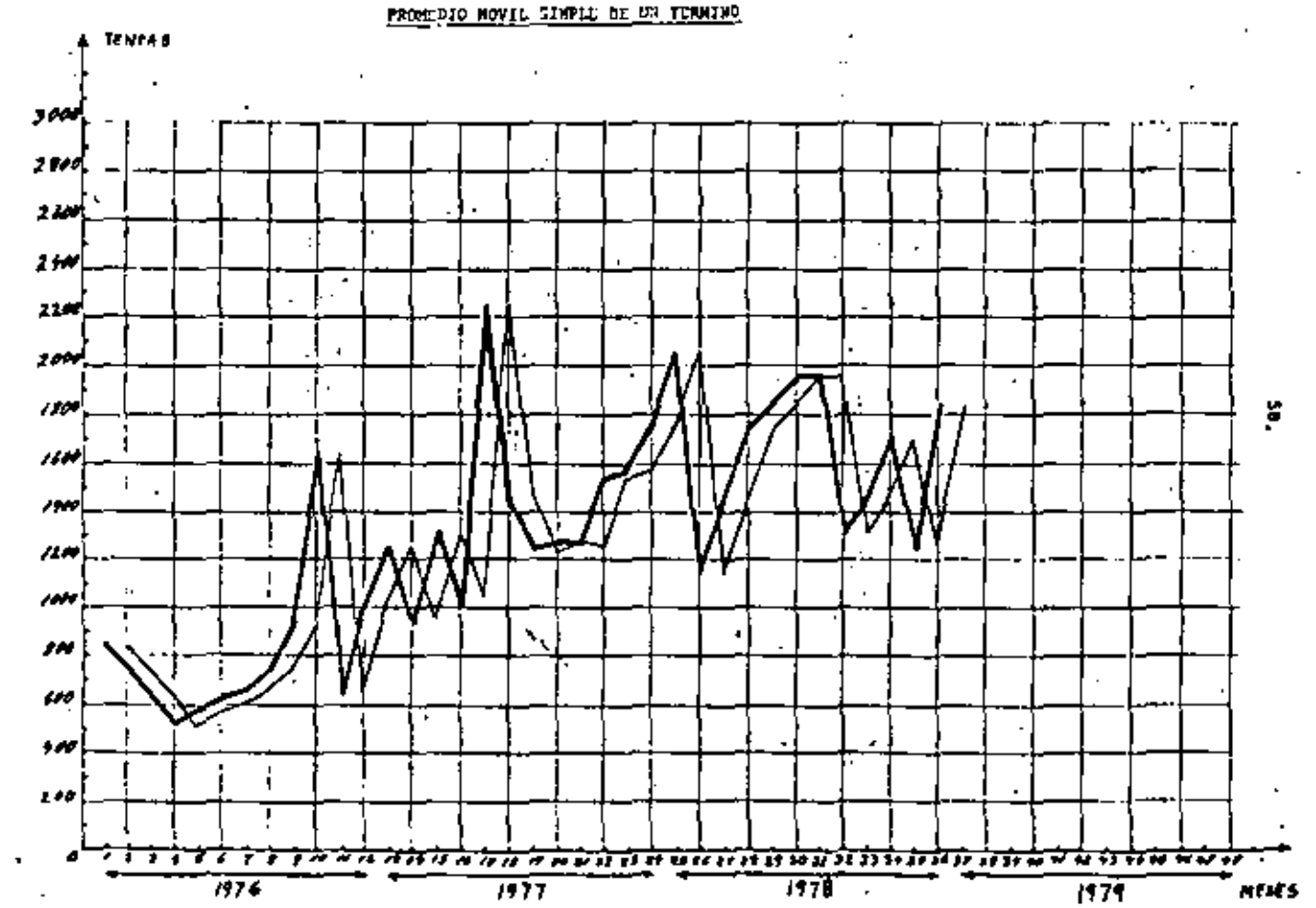
CURVA DE POTENCIA PROGRESIVA



57.

GRAFICA # 8

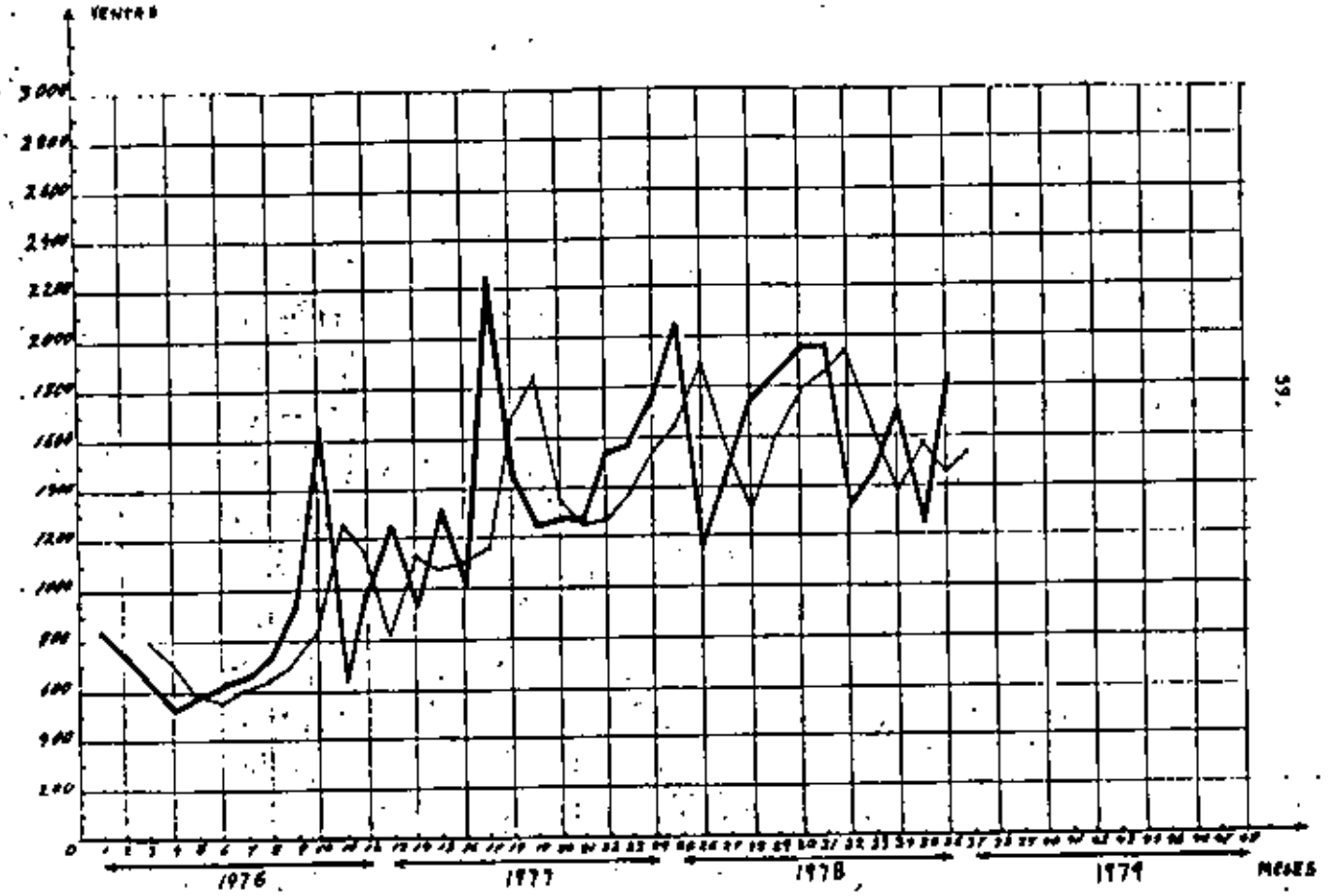
PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE UN TERMINO



58.

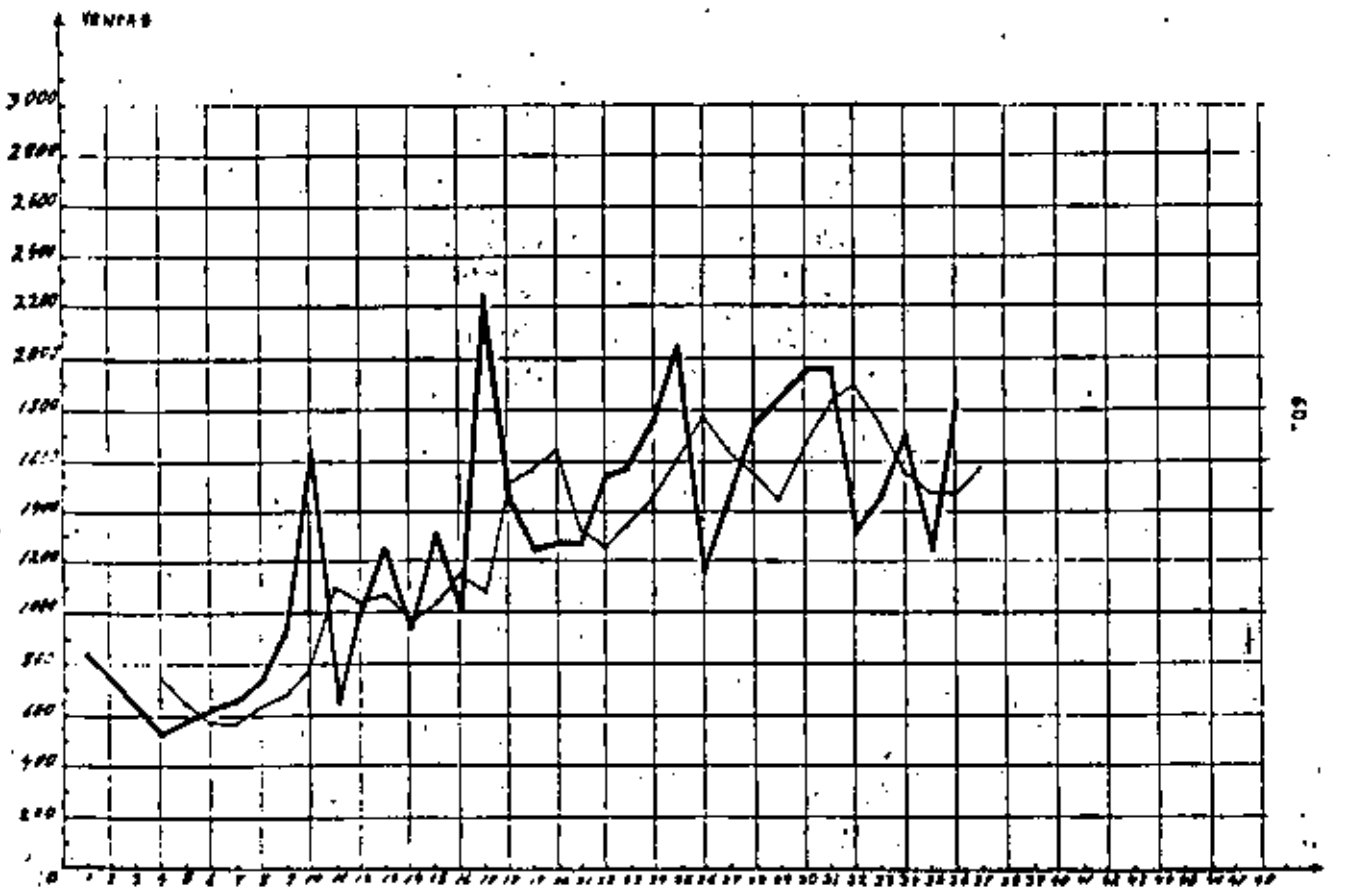
GRAFICA # 9

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE DOS TERMINOS



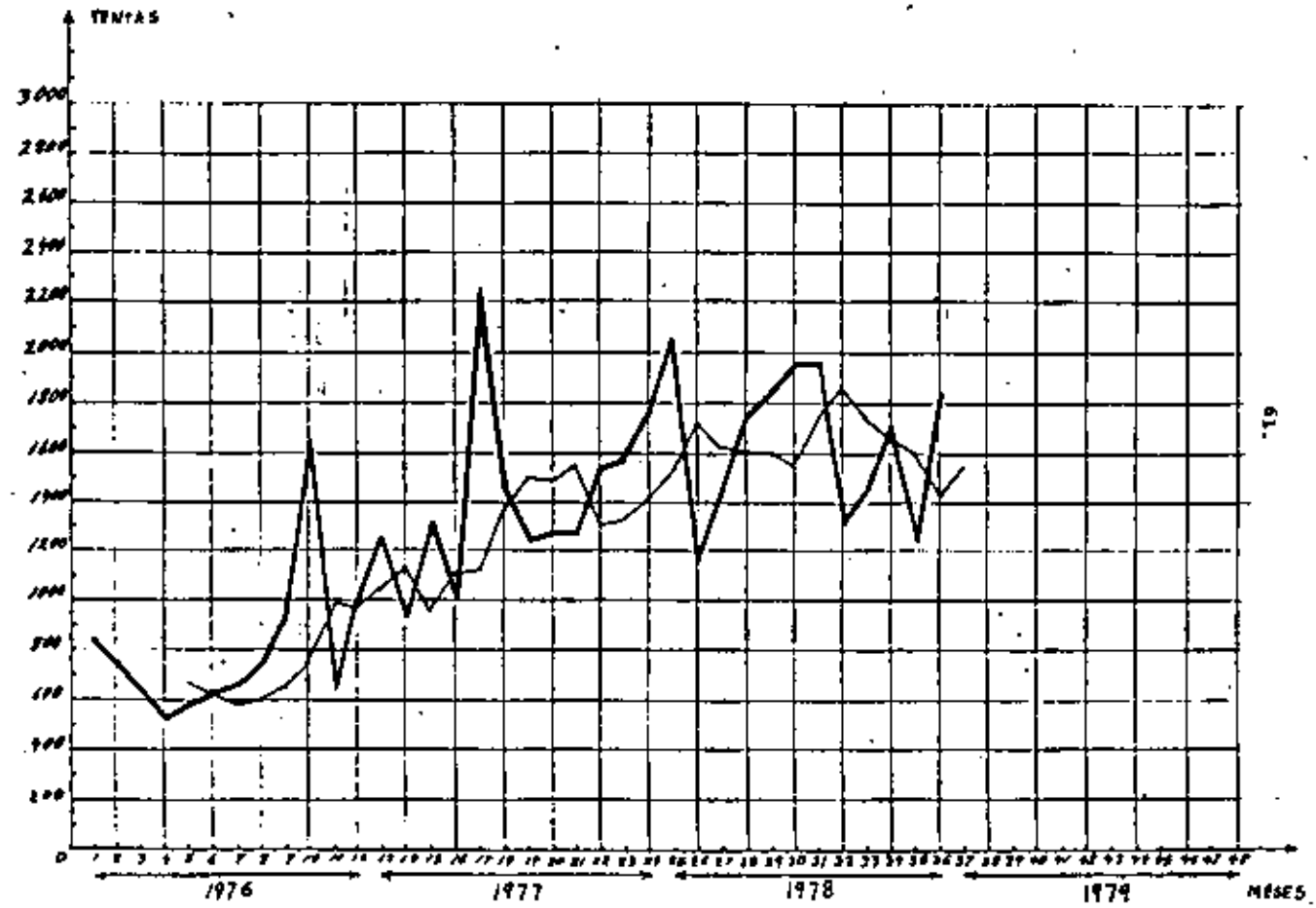
GRAFICA # 10

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE TRES TERMINOS



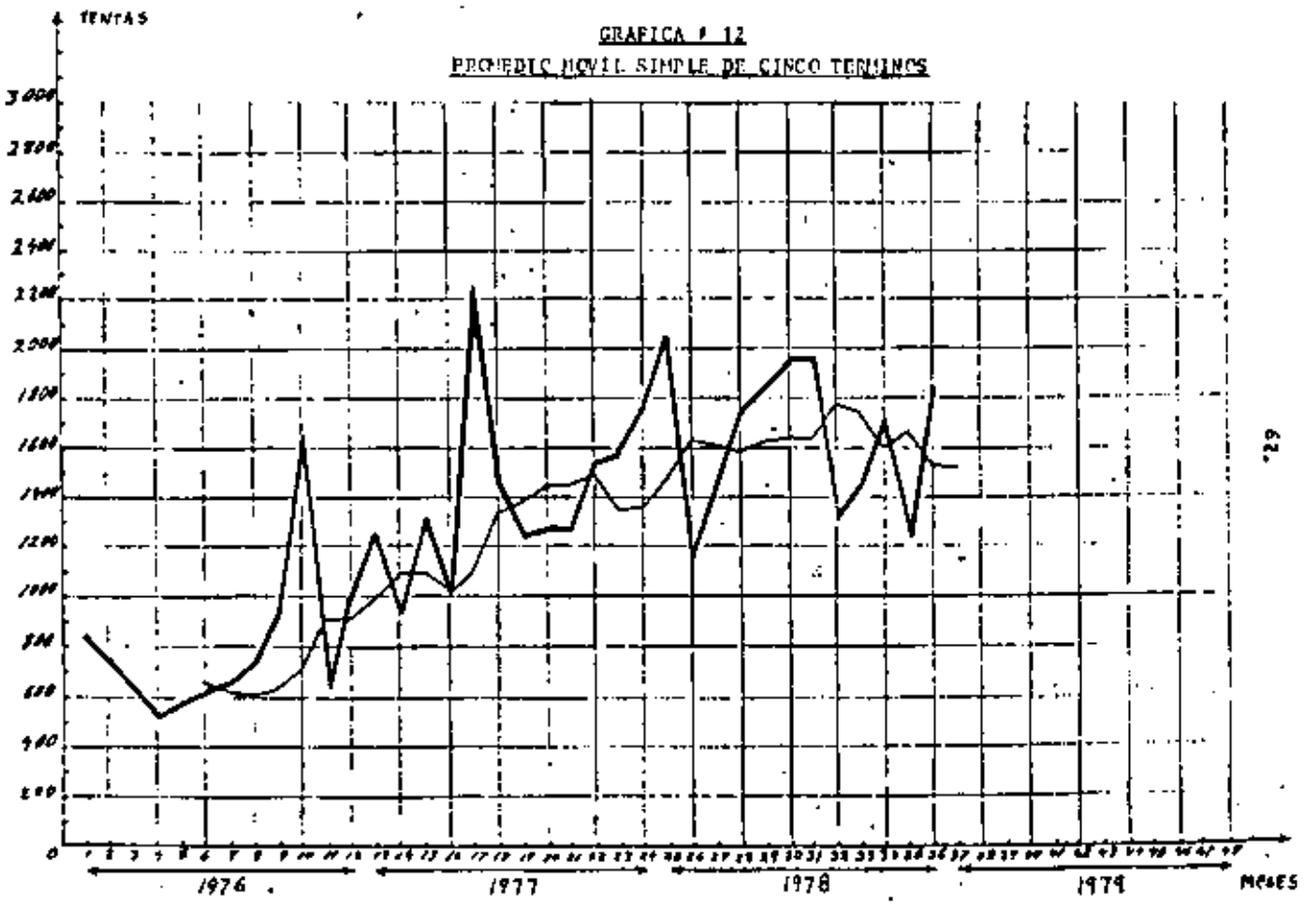
GRAFICA # 11

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE CUATRO TERMINOS



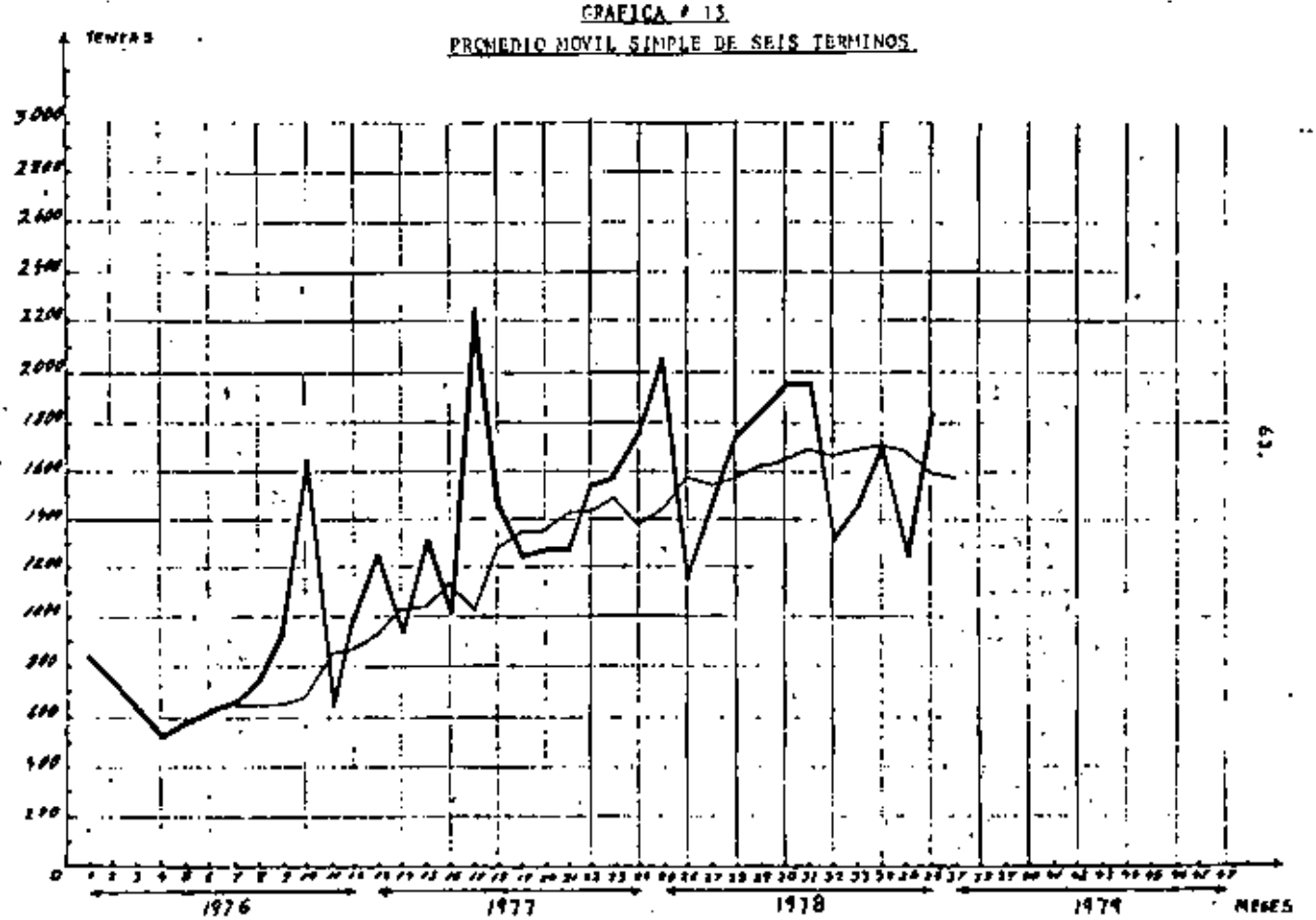
GRAFICA # 12

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE CINCO TERMINOS



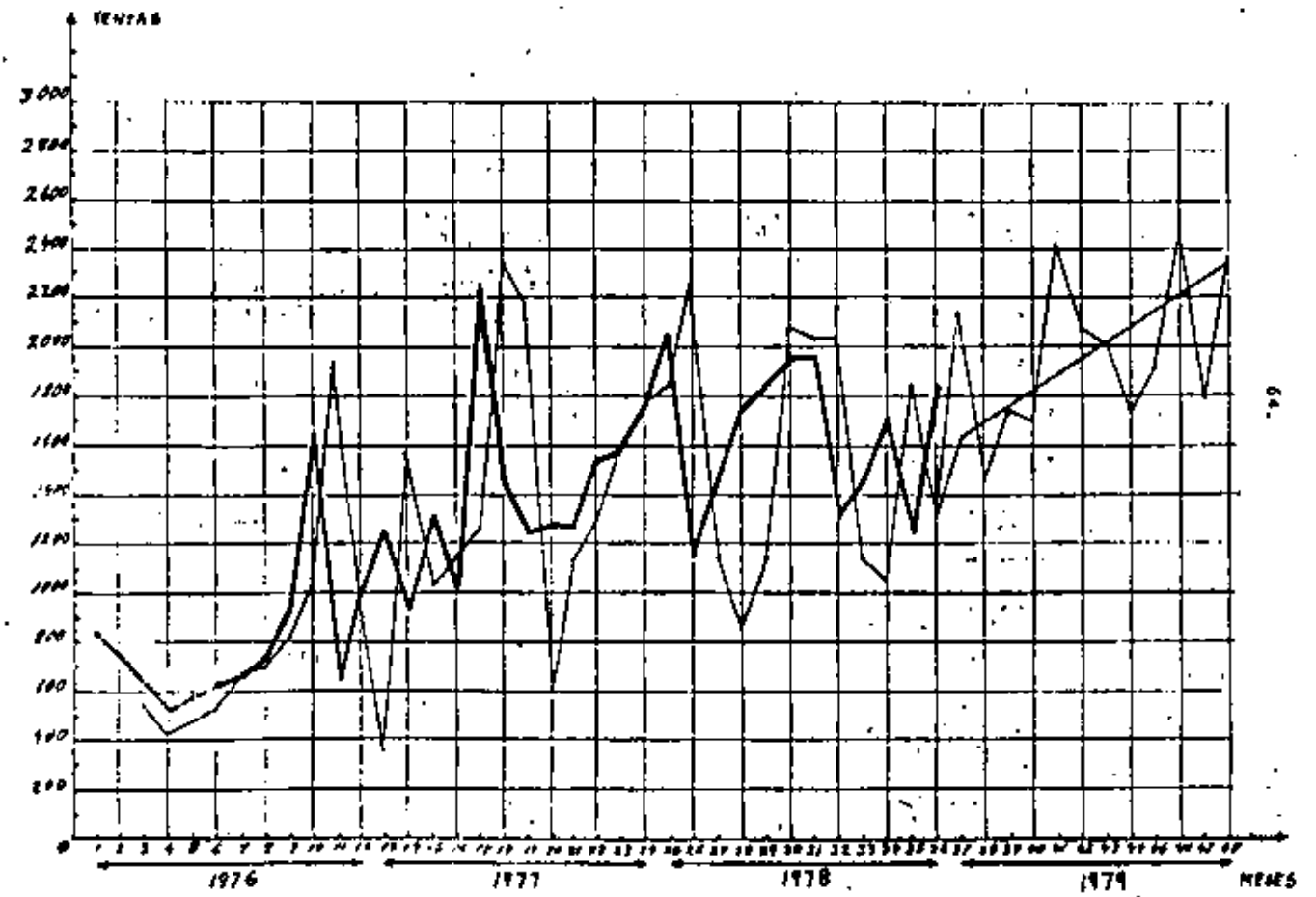
GRAFICA # 13

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE SEIS TERMINOS



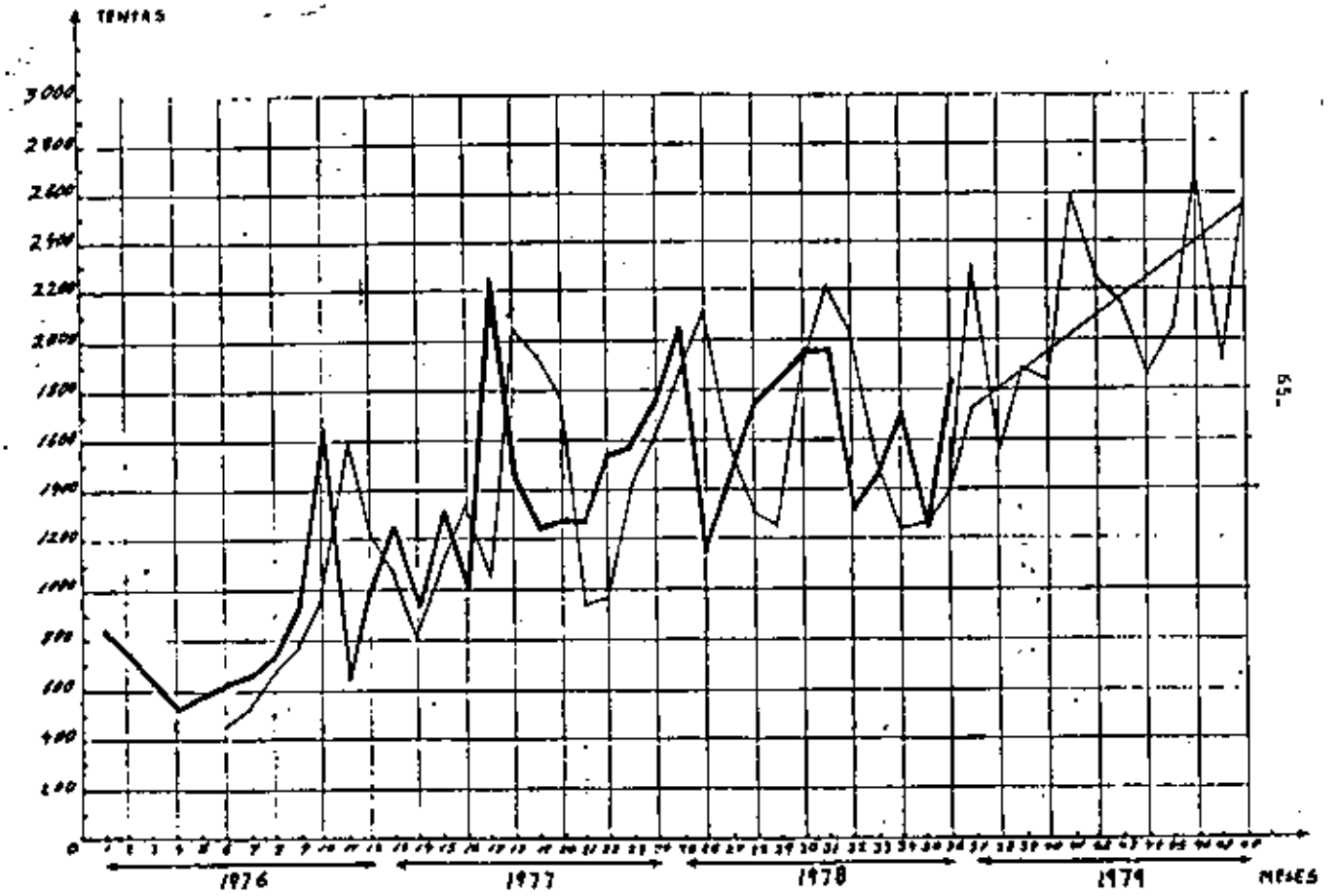
GRAFICA # 14

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE DOS TERMINOS



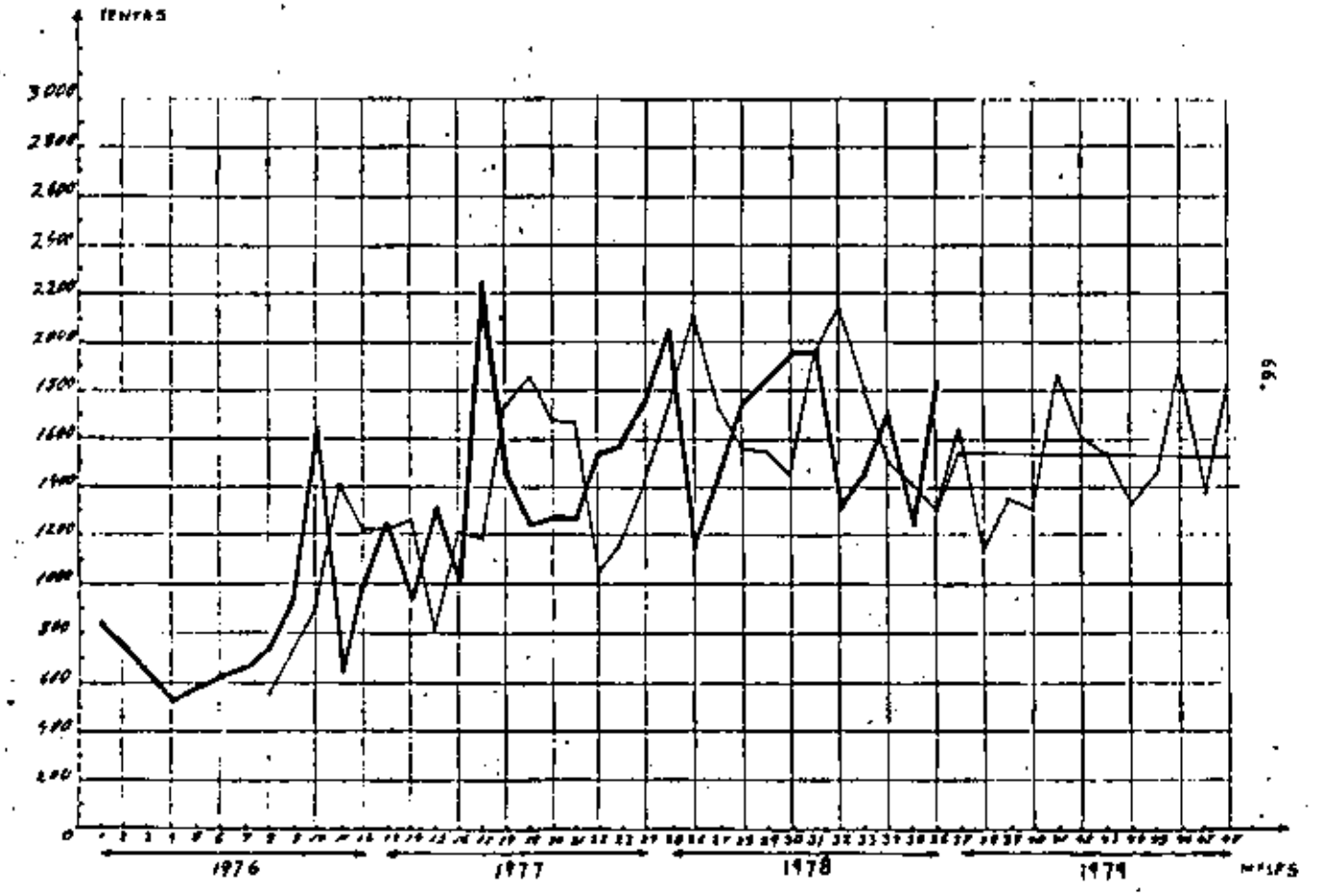
GRAFICA # 15

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE TRES TERMINOS



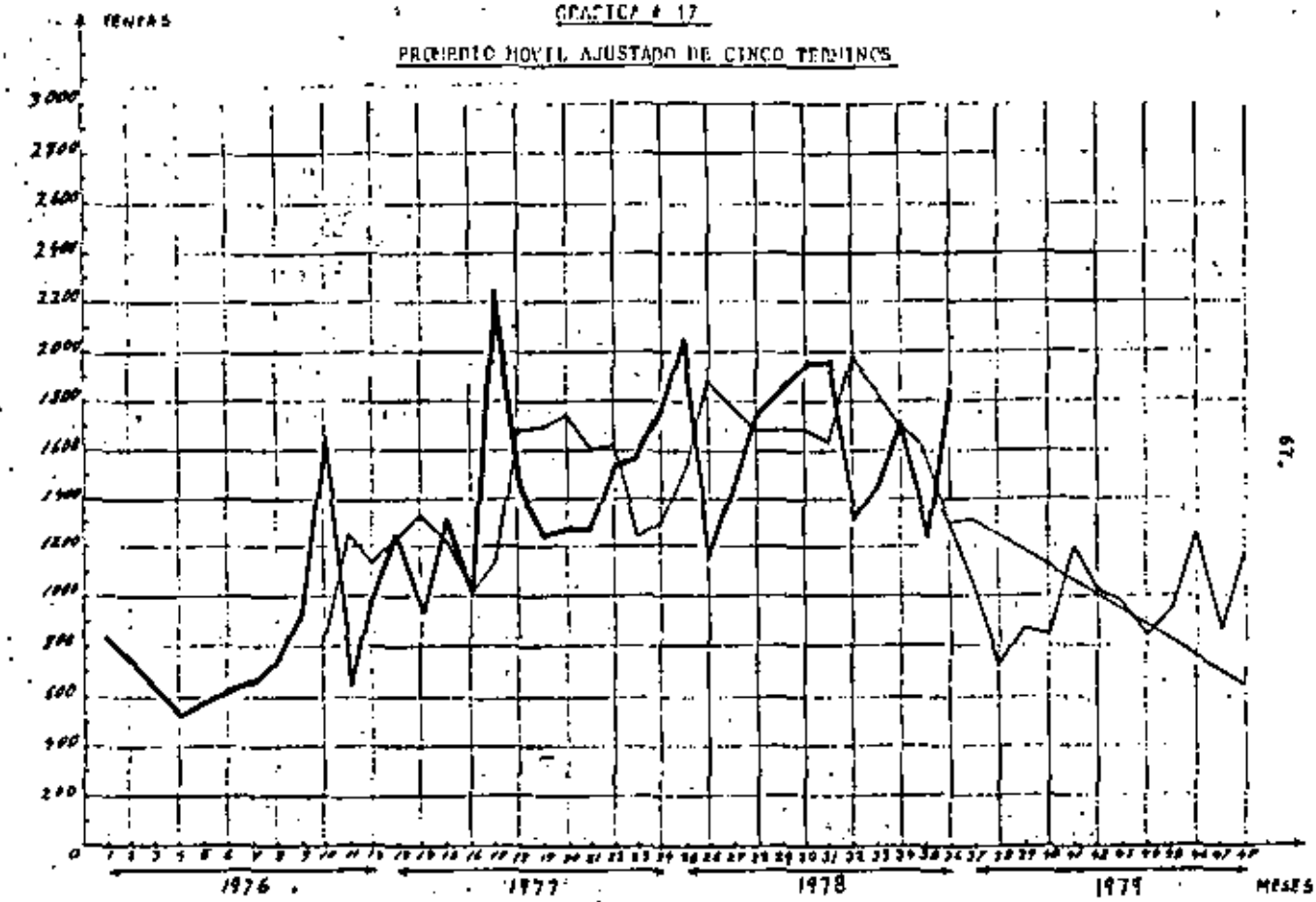
GRAFICA # 16

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CUATRO TERMINOS



GRAFICA # 17

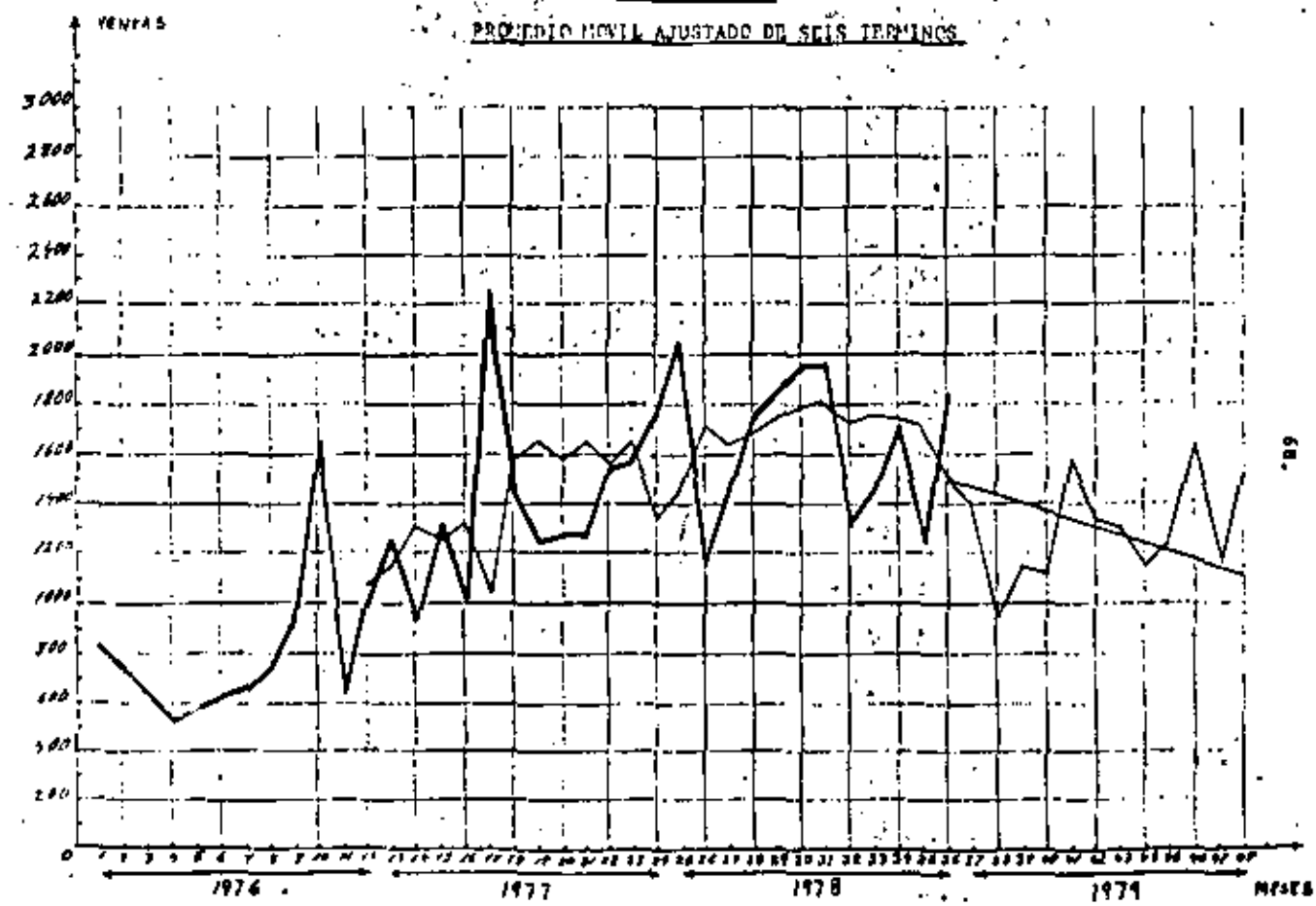
PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CINCO TERMINOS



67.

GRAFICA # 18

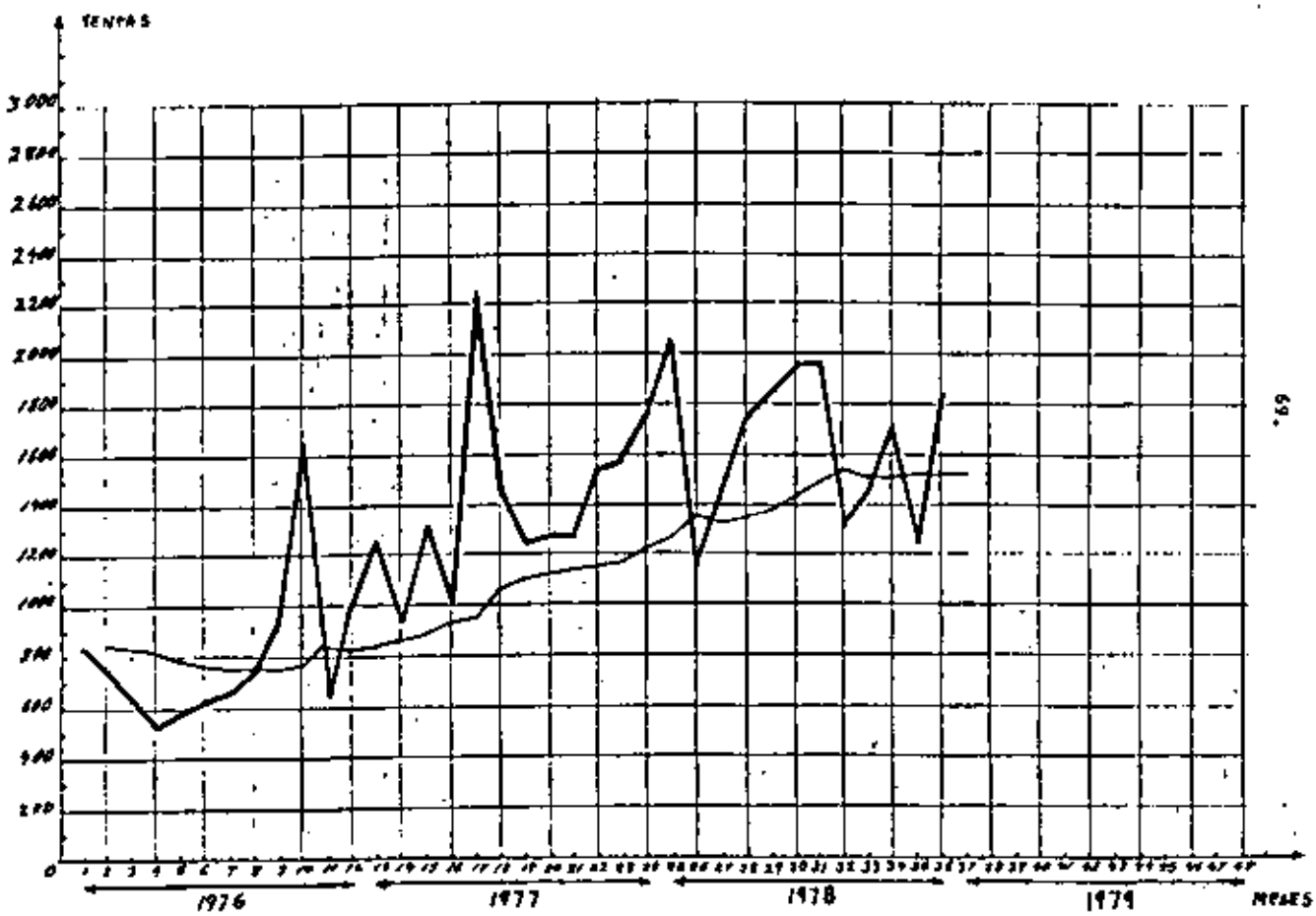
PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE SEIS TERMINOS



68.

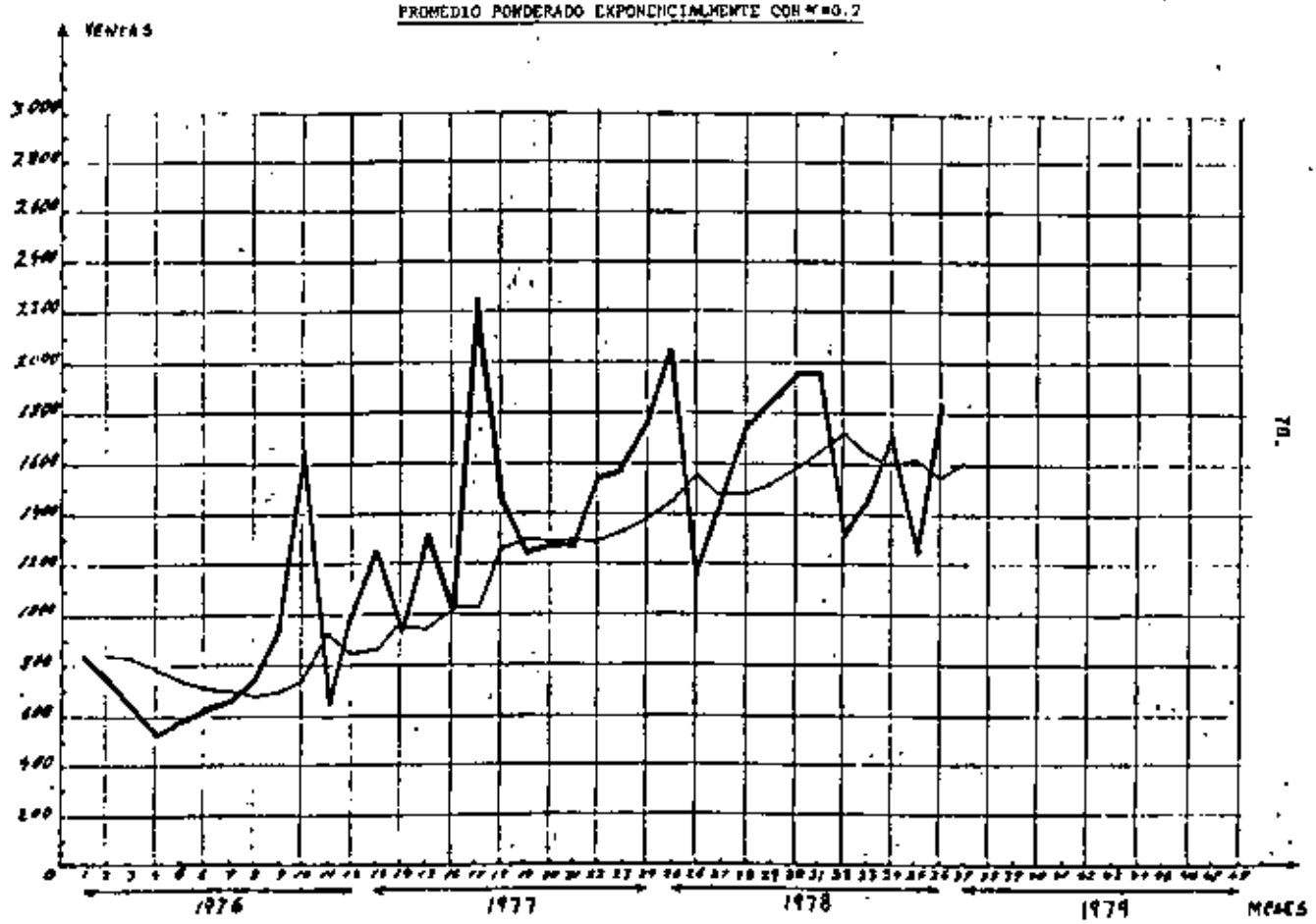
GRAFICA # 19

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.1



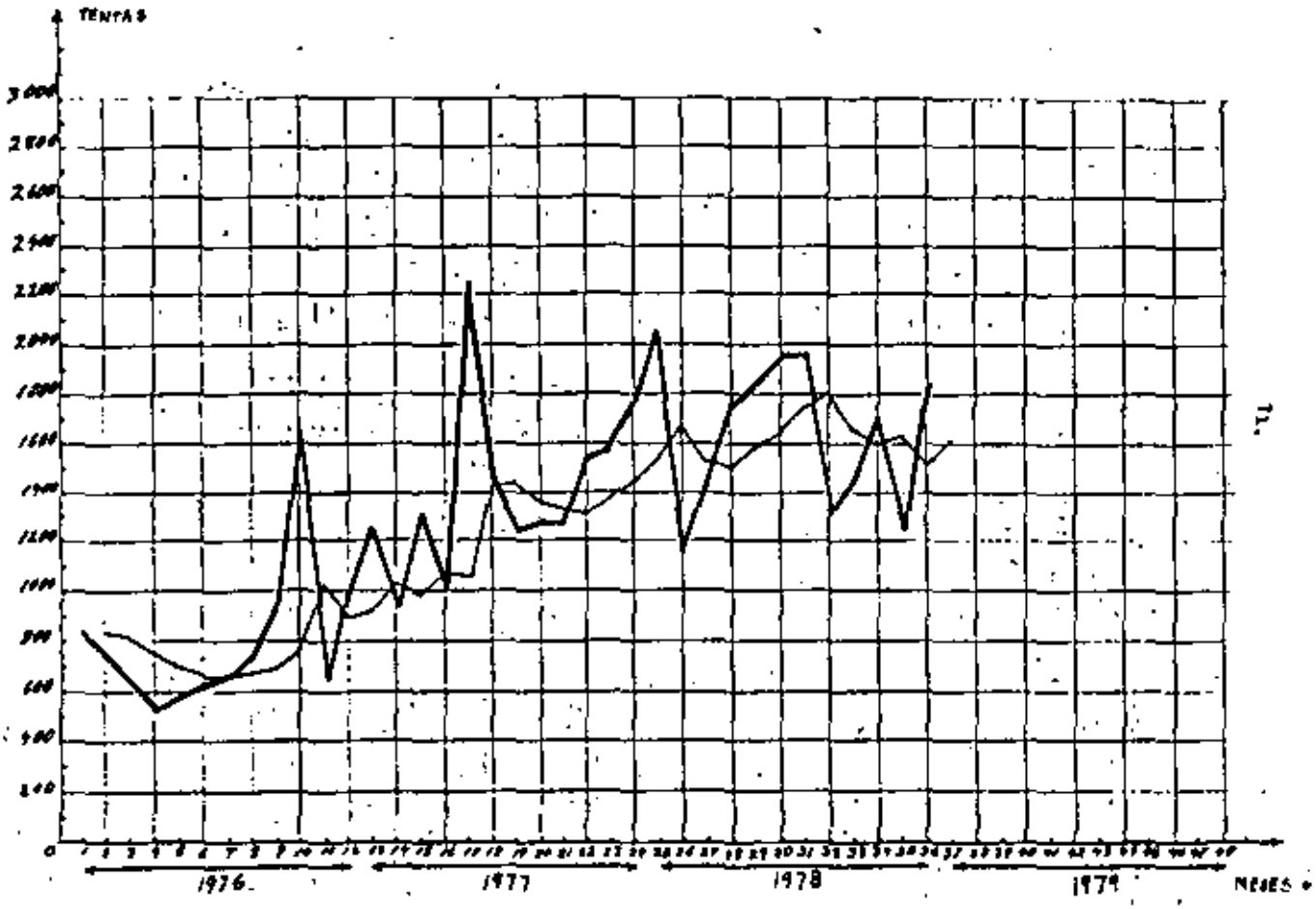
GRAFICA # 20

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.2



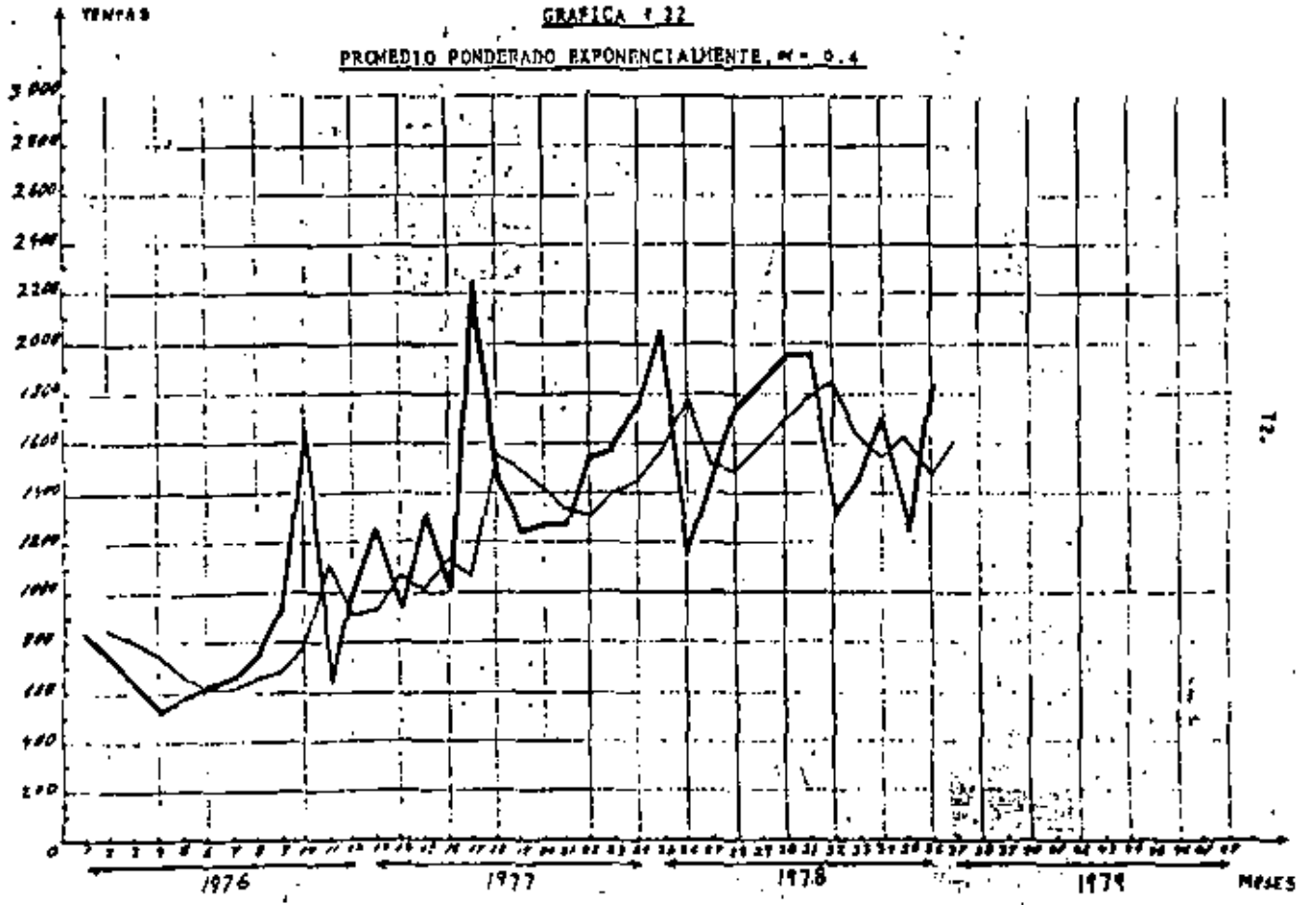
GRAFICA # 21

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON W=0.3



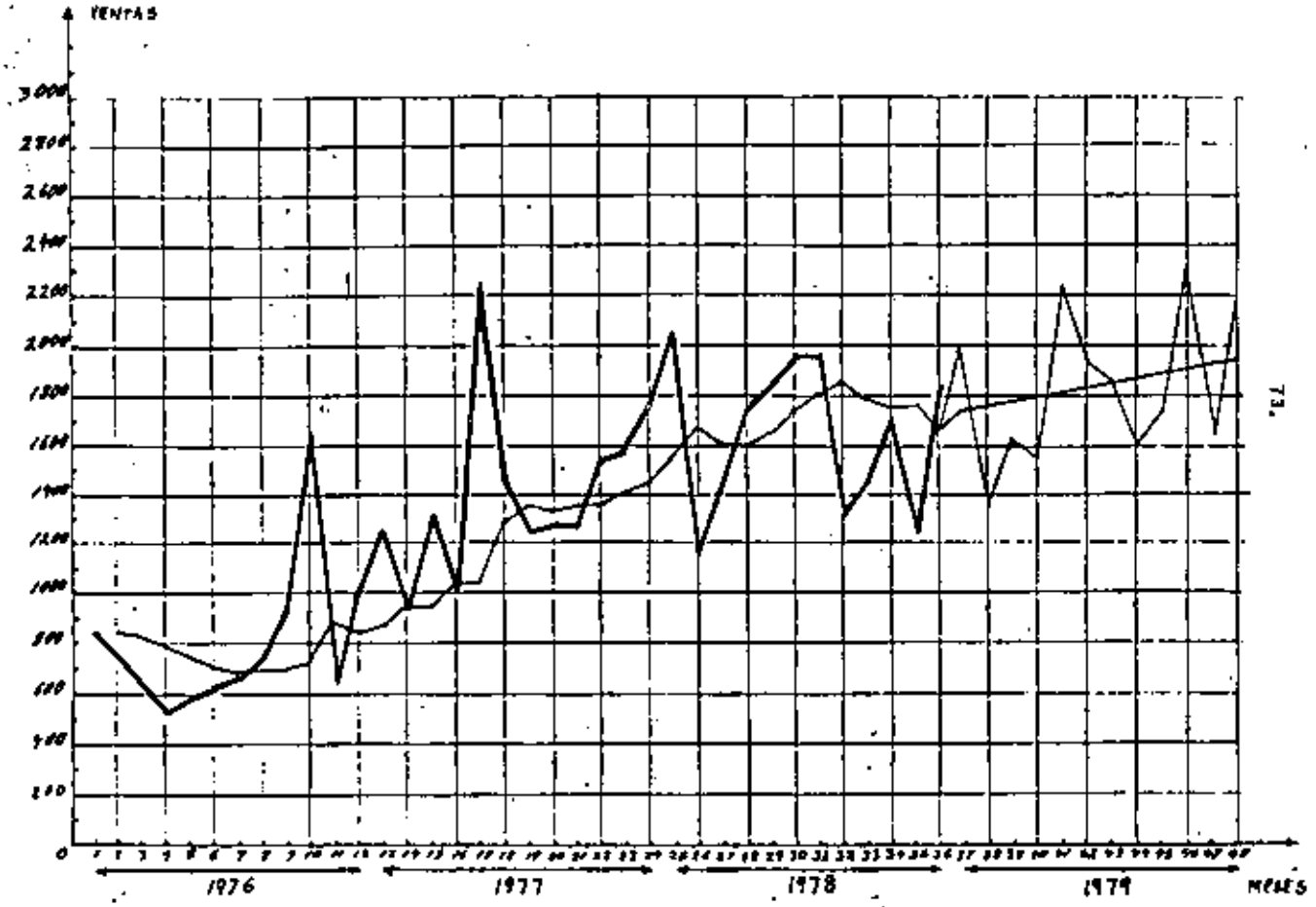
GRAFICA # 22

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE, W = 0.4



GRAFICA # 23

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON α=0.1



GRAFICA # 24

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON α=0.2

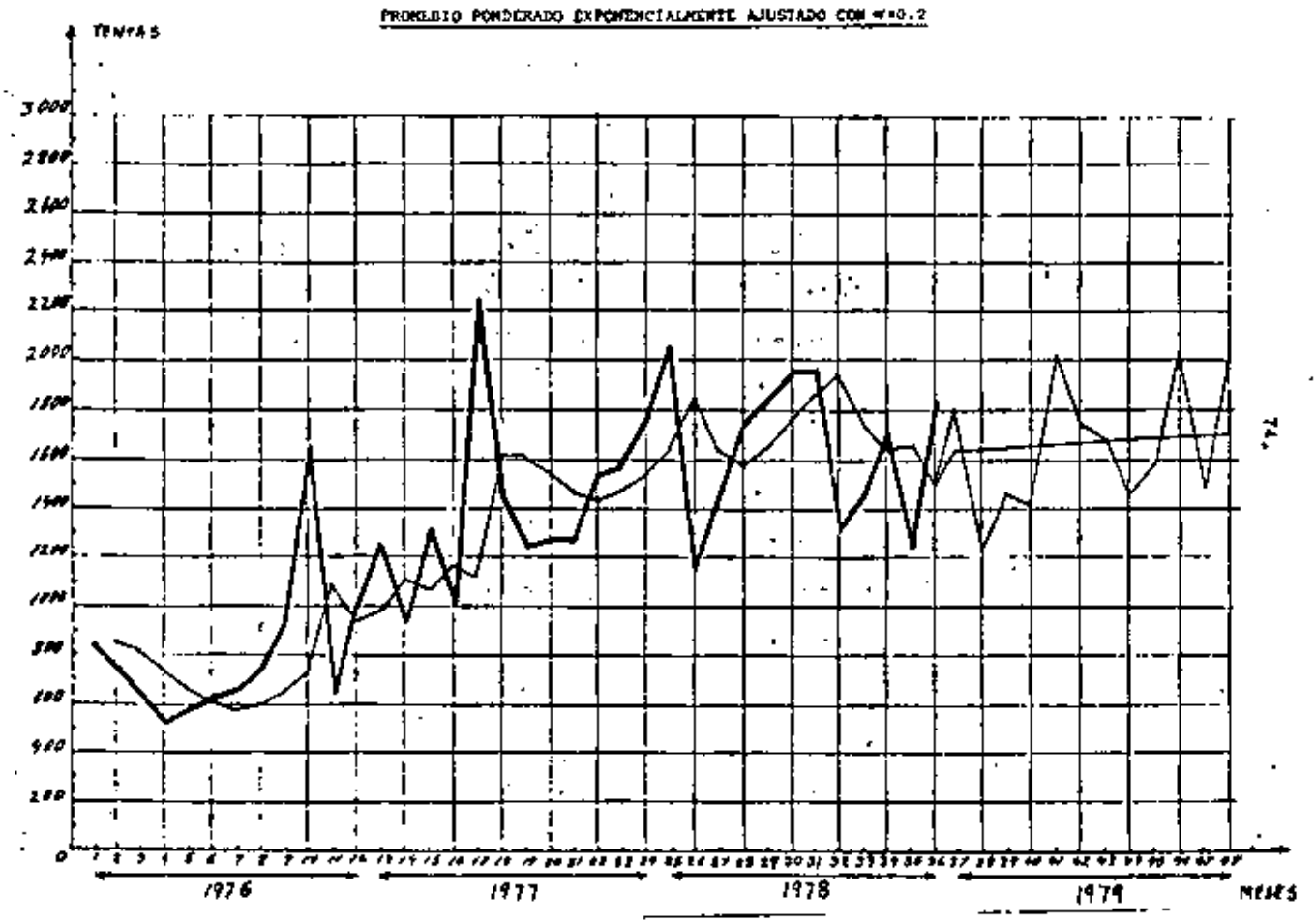
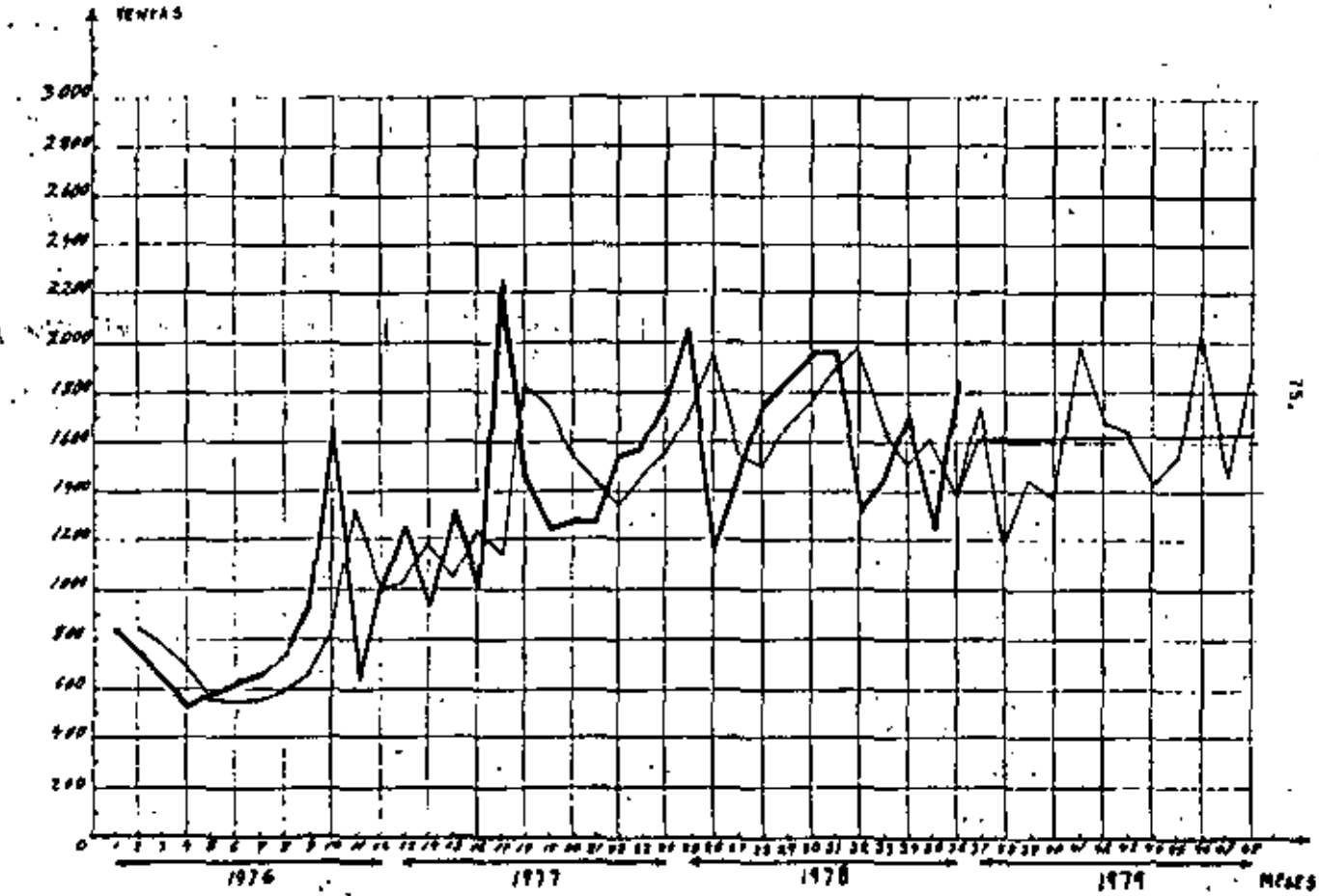


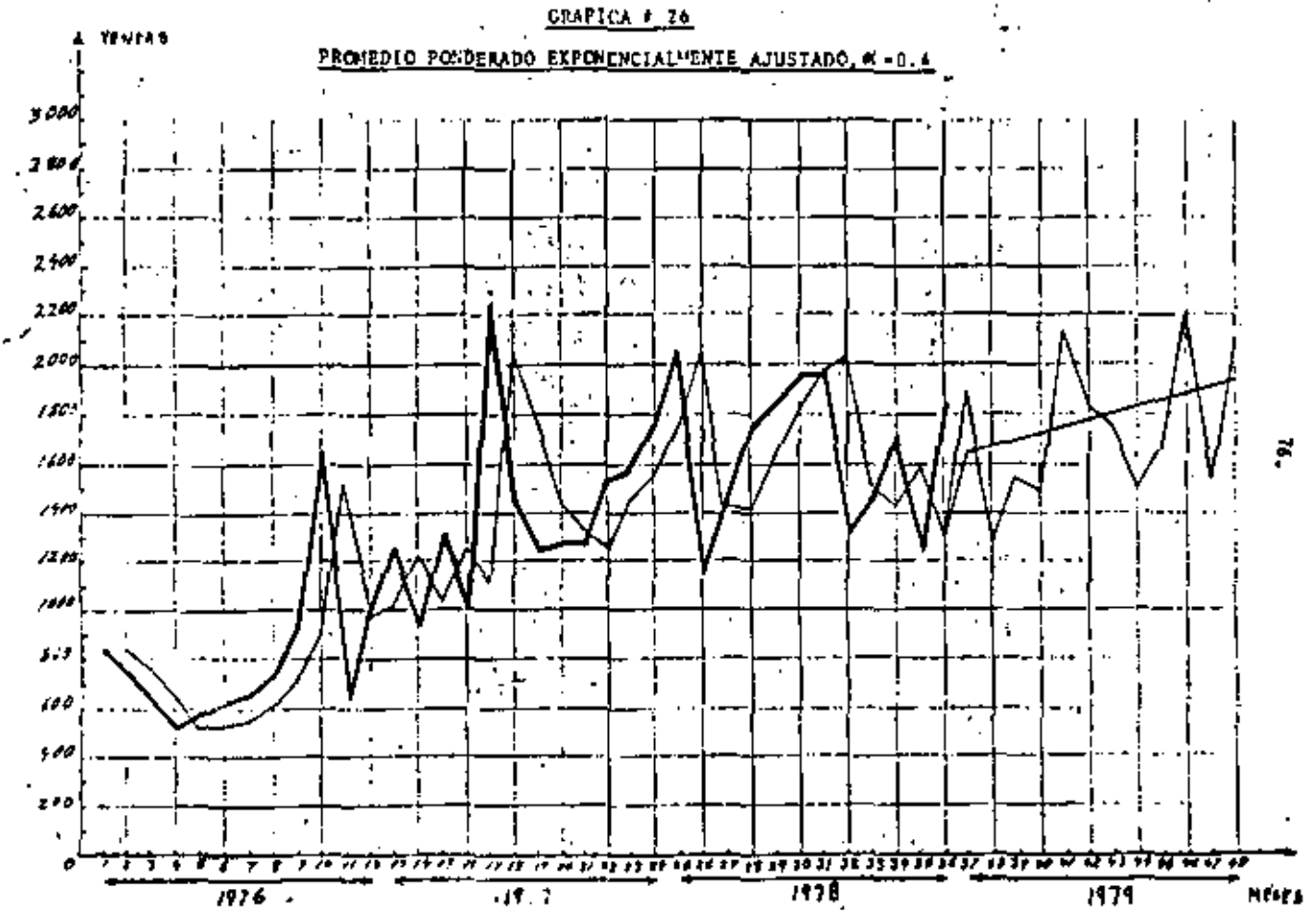
GRAFICO # 25

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON $\alpha = 0.3$



GRAFICA # 26

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, $\alpha = 0.6$



2.4.3. Pronósticos anuales (extrapolación anual)

En este inciso haremos otro tipo de simulación. Inicialmente utilizaremos los 12 datos correspondientes a los meses de 1976 y pronosticaremos con y sin estacionalidad los 12 meses siguientes (1977), mediante la utilización de los distintos métodos de pronósticos; en seguida compararemos todos los resultados obtenidos con las ventas reales de los 12 meses de 1977. Después, teniendo en cuenta los 24 datos de 1976 y 1977, pronosticaremos las ventas de los 12 meses de 1978 y también compararemos los resultados con las ventas reales de este año. Los resultados de esta simulación se presentan en los cuadros 13, 14 y 15A.

El cuadro # 13 muestra los pronósticos obtenidos para los 24 meses de 1977 y 1978 utilizando el procedimiento descrito anteriormente, pero sin tener en cuenta la estacionalidad. El último renglón del cuadro nos muestra el error medio porcentual absoluto correspondiente a cada método.

El cuadro # 14 muestra los 24 pronósticos de 1977 y 1978, pero desta vez teniendo en cuenta la estacionalidad. Los errores absolutos porcentuales medios también se muestran en el último renglón del cuadro.

Finalmente, el cuadro #15A muestra un resumen de los resultados de los cuadros 13 y 14. Este cuadro también muestra el error medio que se hubiera cometido si en cada mes a partir de Diciembre de 1976 hubiéramos pronosticado las ventas del mes siguiente (pronósticos mensuales). Estos errores no coinciden con los del cuadro # 12 porque fueron calculados únicamente para los últimos 24 meses, mientras que los del cuadro # 12 fueron calculados para los 36 meses.

Los resultados del cuadro # 15A son muy interesantes: inicialmente podemos observar que el error medio de los pronósticos mensuales es, en la mayoría de los casos, menor que el error medio de los pronósticos anuales, lo que demuestra que los pronósticos a corto plazo (mensuales) son más confiables que los pronósticos a largo plazo (anuales). Esto solamente no sucederá cuando los datos presenten una estacionalidad muy marcada y muy uniforme.

Desde el punto de vista del criterio [EM] , el mejor método para la elaboración de pronósticos mensuales es el del promedio móvil ajustado de 6 términos (cuadro # 15A) y por lo tanto éste debería ser el método utilizado para pronosticar los 12 meses de 1979. Por otro lado, en el cuadro # 15A también podemos observar que los pronósticos sin estacionalidad son en promedio mejores que los pronósticos con estacionalidad (2 últimas columnas del cuadro). Esto sugiere que en la elaboración de los pronósticos de los 12 meses de 1979 no deberíamos tener en cuenta la estacionalidad.

Por lo tanto, nuestra decisión final debería ser considerar como nuestros mejores pronósticos los siguientes (véase el cuadro # 10):

MES	PRONOSTICOS POR EL METODO P.M.A. 6T
Enero	1,473
Febrero	1,442
Marzo	1,410
Abril	1,378
Mayo	1,346
Junio	1,315
Julio	1,283
Agosto	1,251
Septiembre	1,220
Octubre	1,188
Noviembre	1,156
Diciembre	1,124
TOTAL	15,586

Podemos observar que estos pronósticos son decrecientes, esto se debe a que el método del P.M.A., GT extrapola la tendencia de los últimos 11 datos y ésta ha sido en promedio decreciente para los últimos 11 meses de 1978.

Para confirmar que no es conveniente considerar la estacionalidad, también se construyó el cuadro # 156, donde fueron calculados los errores de los pronósticos anuales con y sin estacionalidad para los últimos 12 meses, es decir, sólo para el año de 1978. Podemos observar que también en este caso los errores con estacionalidad son mayores que los errores sin estacionalidad , sin embargo los pronósticos con estacionalidad son relativamente mejores, ya que los índices estacionales utilizados para los últimos 12 meses son el promedio de los índices de los 2 años anteriores y son por lo tanto mucho más precisos.

En las próximas páginas también presentamos las gráficas 27, 28,... 29, ..., 39, que muestran los resultados de la elaboración de pronósticos anuales mediante la aplicación de los 12 diferentes métodos.

CUADRO # 13

PRONOSTICOS ANUALES SIN ESTACIONALIDAD

Mes	Ventas	Recta Pro	Recta |E%|	Curva exp. Pro	Curva exp. |E%|	PROMEDIO MOVIL 2 T Pro	2 T |E%|	3 T Pro	3 T |E%|	4 T Pro	4 T |E%|	6 T Pro	6 T |E%|	PROMEDIO PONDERADO EXP. α=0.1 Pro	α=0.1 |E%|	α=0.3 Pro	α=0.3 |E%|	α=0.6 Pro	α=0.6 |E%|
Ene	1250	1028	.1778	955	.2360	362	-	1038	.1296	1219	.0248	1210	.0640	1187	.0640	946	.2361	1029	.1768
Feb	830	1063	.1554	1001	.0810	21	-	1090	.1818	1278	.4070	1292	.4098	1235	.3424	825	.3383	1504	.1524
Mar	2300	1098	.1954	1038	.2014	(-1)	-	1091	.1828	1187	.0438	1374	.0569	1301	.0009	883	.3162	1023	.2131
Abr	1020	1133	.1108	1076	.0549	(-1)	-	1092	.0706	1426	.3980	1431	.4225	1367	.3402	859	.1255	1047	.0216
May	1750	1169	.3324	1116	.5600	(-1)	-	1093	.5112	1484	.3160	1520	.3103	1433	.3631	896	.6018	1081	.3784
Jun	1450	1204	.1692	1158	.1914	(-1)	-	1094	.2412	1542	.2771	1604	.1583	1499	.0336	895	.3800	1206	.2552
Jul	1350	1239	.0824	1200	.0406	(-1)	-	1095	.1232	1599	.1848	1681	.3448	1565	.2520	901	.2776	1303	.1216
Ago	1180	1274	.0797	1245	.0211	(-1)	-	1097	.1410	1701	.3280	1708	.3234	1631	.2742	906	.2922	1117	.1473
Sep	1275	1309	.0267	1291	.0165	(-1)	-	1098	.1354	1748	.3829	1818	.4449	1697	.3392	909	.2843	1136	.1055
Oct	1375	1344	.2158	1339	.1121	(-1)	-	1099	.2210	1836	.2092	1912	.2378	1763	.1599	915	.3993	1155	.2401
Nov	850	1379	.1217	1388	.1158	(-1)	-	1100	.2954	1707	.2166	1988	.2662	1829	.1650	918	.4165	1173	.3429
Dic	1[illegible]	1414	.0968	1440	.1418	(-1)	-	1101	.3244	1726	.1227	2065	.1733	1895	.0767	925	.4773	1192	.2271
Ene	2090	1688	.1761	1730	.1268	1045	-	1089	.0212	1734	.1444	1551	.2434	1667	.2844	1552	.2429	1675	.1020
Feb	1150	1735	.5096	1873	.6287	1365	-	2090	.1219	1844	.6035	1575	.3696	1474	.2817	1579	.3730	1219	.1948
Mar	1450	1781	.2283	1959	.3510	2095	-	2181	.5041	1933	.3331	1399	.1020	1582	.0221	1608	.1067	1242	.2342
Abr	1150	1830	.0922	2049	.1782	1205	-	2327	.3249	2022	.1560	1623	.0726	1489	.1491	1633	.0669	1256	.2375
May	1840	1877	.0201	2143	.1647	1325	-	2461	.3346	2121	.1478	1697	.1019	1496	.1069	1660	.0978	1857	.7654
Jun	1840	1924	.0457	2232	.1352	2445	-	2464	.3423	2182	.1151	1670	.1392	1671	.2253	1607	.1304	1893	.0270
Jul	1850	1971	.0655	2325	.2016	2545	-	2346	.4082	2281	.1246	1624	.1313	1510	.2256	1716	.1210	1937	.6067
Ago	2310	2018	.1265	2421	.4735	2685	-	2882	.4821	2381	.0176	1716	.1315	1518	.1588	1742	.3294	1543	.7172
Sep	1470	2065	.4049	2521	.7156	2825	-	3223	.6599	2471	.6010	1742	.1850	1525	.0374	1769	.2034	2724	.1964
Oct	1250	2112	.2424	2624	.5708	2925	-	3169	.8841	2550	.5053	1756	.0388	1532	.0988	1786	.0565	2068	.2165
Nov	1850	2159	.1672	2727	.4318	3045	-	3310	.6430	2600	.1200	1765	.4312	1539	.2312	1823	.4584	2112	.6855
Dic	1850	2206	.1928	2836	.4035	3165	-	3451	.8058	2739	.4962	1813	.0693	1548	.1552	1850	.0159	2155	.1776
Total	-	-	.2020	-	.3127	-	-	-	.5327	-	.3494	-	.2225	-	.1861	-	.3369	-	.2071

CUADRO # 14

PRONOSTICOS ANUALES CON ESTACIONALIDAD

		Recta		Curva Exp.		Promedio Móvil										Promedio Ponderado							
						2 T		3T		4 T		5 T		6 T		α = 0.1		α = 0.2		α = 0.3		α = 0.4	
Mes	Ventas	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|	P	|Ei|
Ene	1250	1296	3.68	1261	0.88	-	-	1167	7.04	1676	35.68	1744	39.52	1627	30.16	956	23.52	1154	7.52	1262	0.96	1210	3.20
Feb	920	1144	24.34	1113	20.97	-	-	1026	11.52	1497	62.75	1539	67.28	1436	56.09	844	8.26	1020	10.86	1114	21.08	1067	15.97
Mar	1300	992	23.69	965	25.70	-	-	889	31.61	1297	0.23	1334	2.61	1245	4.23	731	43.76	884	32.00	966	25.69	925	28.84
Abr	1070	792	22.35	771	24.41	-	-	710	30.39	1037	1.66	1066	0.51	995	2.45	584	42.74	706	30.78	772	24.31	739	27.54
May	2250	899	60.04	875	61.11	-	-	806	64.17	1177	47.68	1213	46.22	1129	49.82	663	70.53	802	64.35	876	61.06	839	62.71
Jun	1450	945	34.82	919	36.62	-	-	847	41.58	1236	14.75	1271	12.34	1186	18.21	697	51.93	842	41.93	920	36.55	881	39.24
Jul	1250	1021	18.32	993	20.56	-	-	915	26.80	1338	6.88	1374	9.94	1285	2.48	753	39.76	910	27.20	980	21.60	953	23.76
Ago	1280	1159	9.45	1127	11.95	-	-	1038	18.82	1516	18.43	1559	21.74	1465	14.45	855	33.20	1033	19.29	1129	11.87	1081	15.54
Sep	1270	1410	11.03	1380	8.66	-	-	1271	0.08	1855	46.06	1908	50.73	1780	40.16	1046	17.63	1264	0.47	1381	8.74	1323	4.17
Oct	1520	2486	63.55	2419	59.14	-	-	2229	46.64	3253	114.01	3343	120.06	3120	105.26	1834	20.65	2217	45.85	2421	59.27	2320	52.63
Nov	1570	961	38.78	935	40.44	-	-	861	45.15	1257	19.93	1293	17.64	1206	23.18	708	54.84	857	45.81	936	40.38	897	42.88
Dic	1760	1525	13.35	1484	15.68	-	-	1367	22.32	1995	13.35	2052	16.59	1914	8.75	1125	36.07	1360	22.72	1485	15.62	1423	19.14
Ene	2050	1855	9.51	2711	7.85	2386	16.39	2540	24.29	2140	4.39	1602	21.85	1438	29.95	1620	20.97	1824	11.02	1965	1.93	2045	0.24
Feb	1150	1474	28.17	1757	52.78	1896	64.86	2025	76.08	1704	48.17	1273	10.69	1141	0.78	1287	11.91	1450	26.08	1514	31.65	1625	41.30
Mar	1450	1222	18.75	2052	41.51	2215	52.75	2365	63.10	1986	36.96	1437	2.55	1333	8.07	1504	3.72	1693	16.75	1769	22.00	1899	30.89
Abr	1750	1360	22.28	1620	7.42	1749	0.05	1863	6.34	1569	10.34	1124	32.91	1052	38.89	1187	32.17	1337	23.60	1397	20.17	1499	14.34
May	1840	2509	36.35	2990	62.50	3220	75.43	3447	87.33	2894	57.28	2168	17.92	1966	6.54	2192	19.13	2468	34.13	2518	40.10	2766	50.32
Jun	1940	1827	5.82	2177	12.21	2350	21.13	2510	29.38	2108	8.65	1578	18.65	1414	27.11	1596	17.73	1797	7.37	1827	3.24	2014	3.81
Jul	1950	1696	13.03	2091	3.84	2182	11.89	2310	18.46	1957	0.35	1465	24.87	1313	32.67	1481	24.05	1668	14.46	1742	10.66	1870	4.10
Ago	1310	1801	37.48	2147	63.89	2317	76.87	2474	88.85	2078	58.62	1556	18.77	1394	6.41	1573	20.07	1771	35.19	1852	41.32	1986	51.60
Sep	1470	1944	32.24	2316	57.55	2500	70.06	2670	81.63	2243	52.58	1679	14.21	1504	2.31	1698	15.51	1912	30.06	1997	35.85	2143	45.78
Oct	1700	2783	63.70	3316	95.05	3580	110.50	3823	124.88	3210	88.82	2404	41.41	2153	26.65	2431	42.94	2737	61.00	2859	68.11	3068	80.47
Nov	1250	1944	55.52	2316	85.28	2500	100.00	2670	113.60	2243	79.44	1679	34.32	1504	20.32	1698	35.84	1912	52.96	1997	59.76	2193	75.44
Dic	1830	2437	33.16	2904	58.68	3135	71.30	3348	82.21	2811	53.60	2105	15.02	1886	3.06	2128	16.28	2397	30.98	2503	36.77	2680	46.37
|Ei|	-	-	28.33	-	36.43	-	>>>	-	47.65		38.18		27.57	-	23.25	-	29.29	-	28.83	-	29.32	-	32.35

CUADRO # 15A

COMPARACION ENTRE LOS METODOS DE RASTREO (PRONOSTICOS MENSUALES) Y DE PRONOSTICOS ANUALES CON Y SIN ESTACIONALIDAD

METODOS	RASTREO (MENSUAL)	ANUAL SIN ESTAC.	ANUAL CON ESTAC.
Recta	18.44 (2)	20.20 (2)	28.33 (3)
Curva exponencial	21.96	31.77	36.43
Curva de potencia			
Prom. móv. ajust., 2T	34.02	>>>	>>>
Prom. móv. ajust., 3T	26.30	46.20	47.65
Prom. móv. ajust., 4T	28.02	34.04	38.18
Prom. móv. ajust., 5T	23.14	22.25 (4)	27.57 (2)
Prom. móv. ajust., 6T	20.46 (4)	18.61 (1)	23.25 (1)
Prom. pond. exp. ajust., α = 0.1	17.27 (1)	23.69	29.29 (5)
Prom. pond. exp. ajust., α = 0.2	19.45 (3)	20.71 (3)	28.83 (4)
Prom. pond. exp. ajust., α = 0.3	21.42 (5)	22.39 (5)	29.32
Prom. pond. exp. ajust., α = 0.4	22.44	20.15	32.35

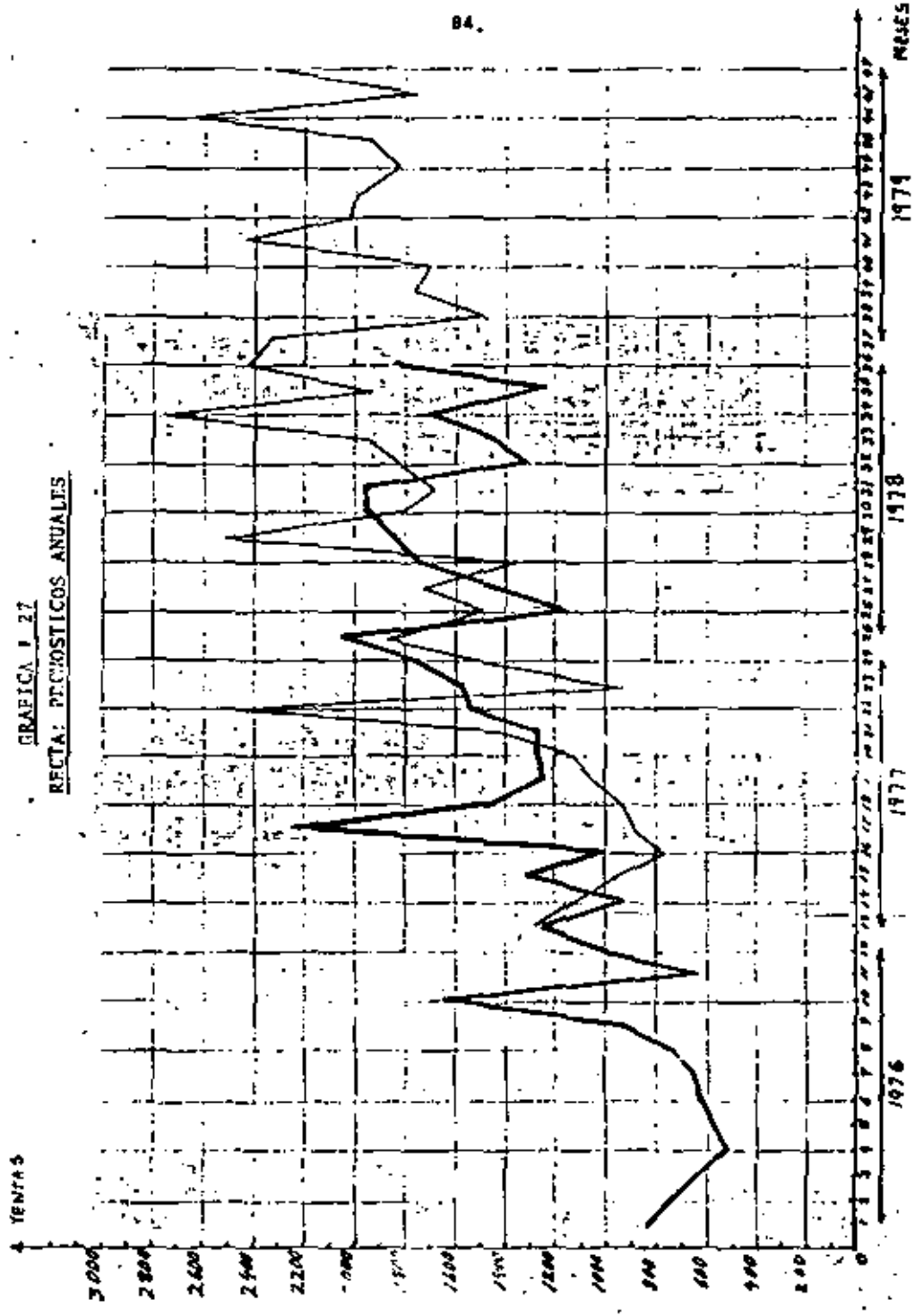
CUADRO # 15B

ERRORES DE LOS PRONOSTICOS ANUALES CON Y SIN ESTACIONALIDAD PARA LOS ULTIMOS 12 MESES

METODOS	ANUAL SIN ESTAC.	ANUAL CON ESTAC.
Recta	26.00 (5)	29.67 (5)
Curva exponencial	48.73	45.70
Curva de potencia		
Promedio móvil ajustado, 2 términos	>>>	>>>
Promedio móvil ajustado, 3 términos	70.24	66.46
Promedio móvil ajustado, 4 términos	44.30	41.60
Promedio móvil ajustado, 5 términos	17.83 (2)	21.93 (3)
Promedio móvil ajustado, 6 términos	17.13 (1)	16.90 (1)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.1$	18.32 (3)	21.69 (2)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.2$	24.45 (4)	28.63 (4)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.3$	29.03	31.38
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.4$	37.91	36.75
$\lvert\bar{E}\%\rvert$	33.39	34.07

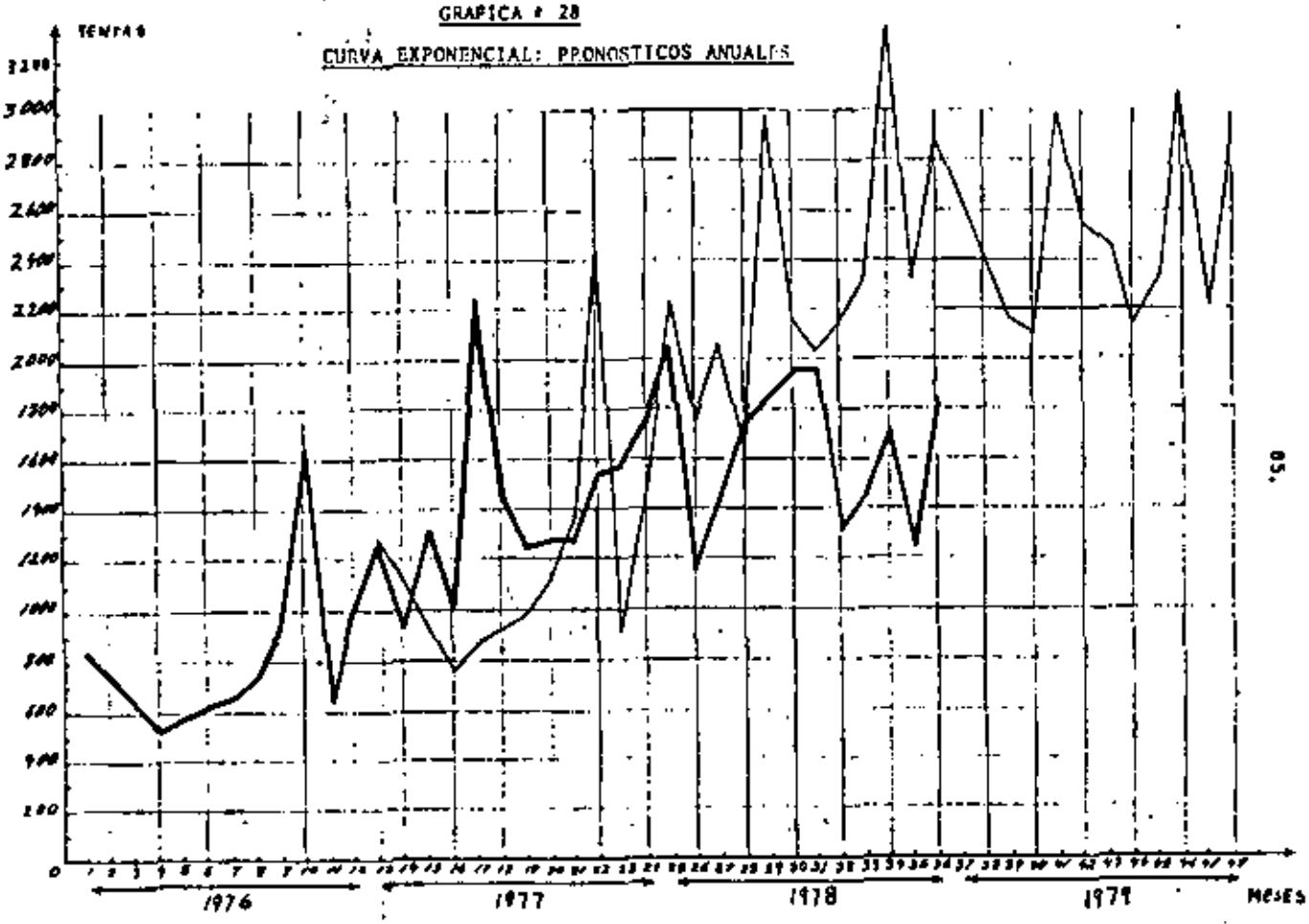
GRAFICA # 27

RECTA: PRONOSTICOS ANUALES



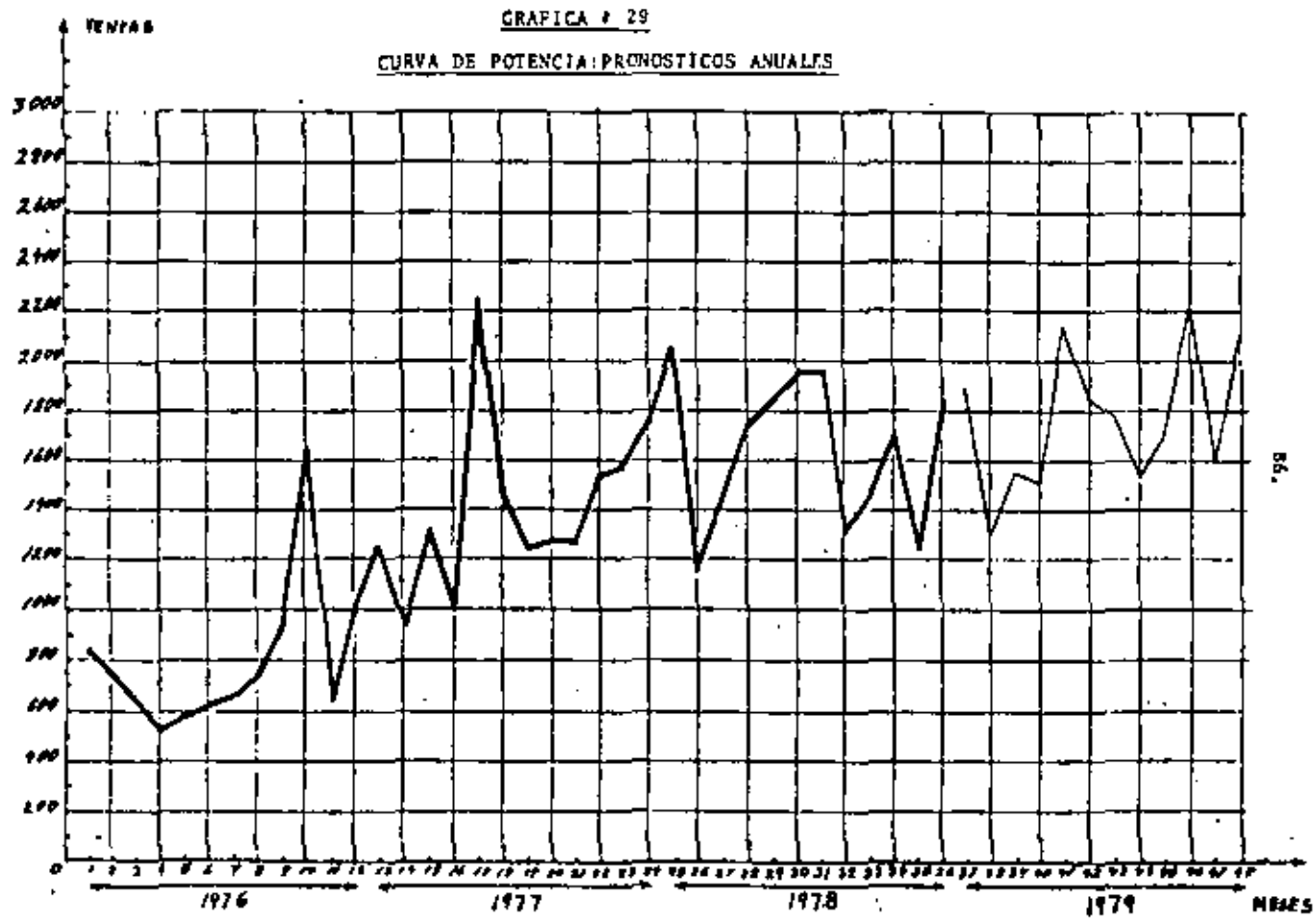
GRAFICA # 28

CURVA EXPONENCIAL: PRONOSTICOS ANUALES



GRAFICA # 29

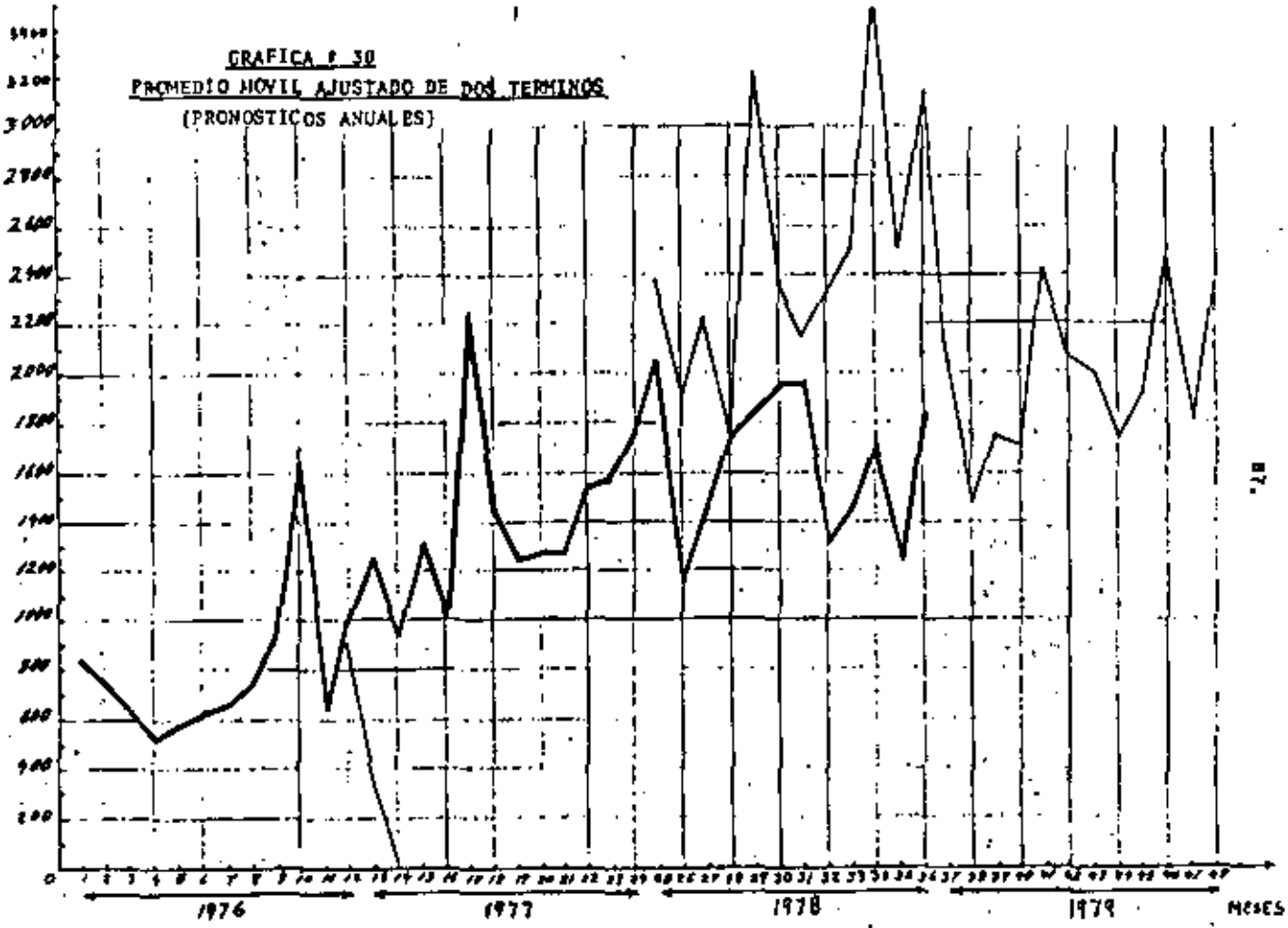
CURVA DE POTENCIA: PRONOSTICOS ANUALES



GRAFICA # 30

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE DOS TERMINOS

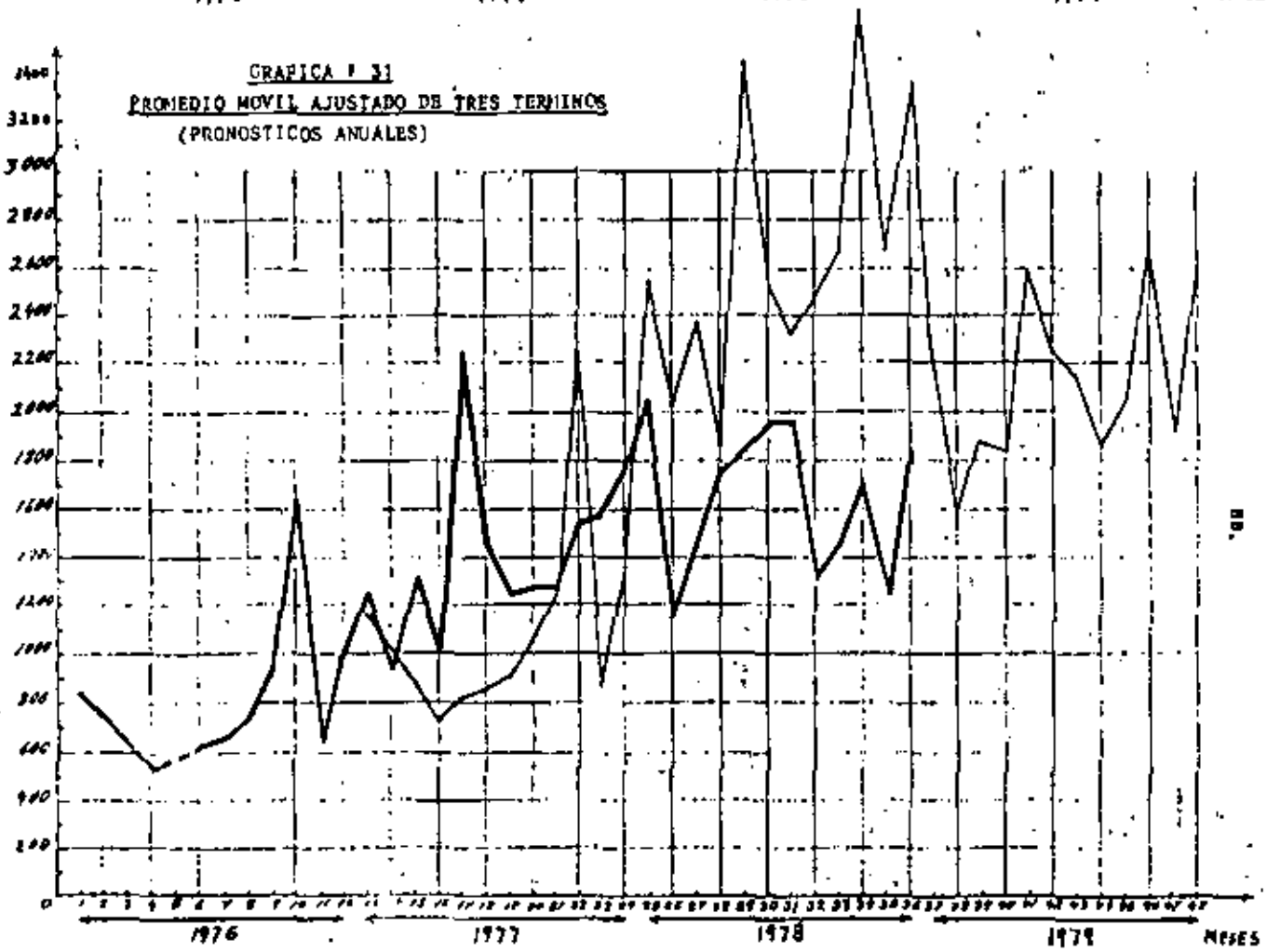
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 31

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE TRES TERMINOS

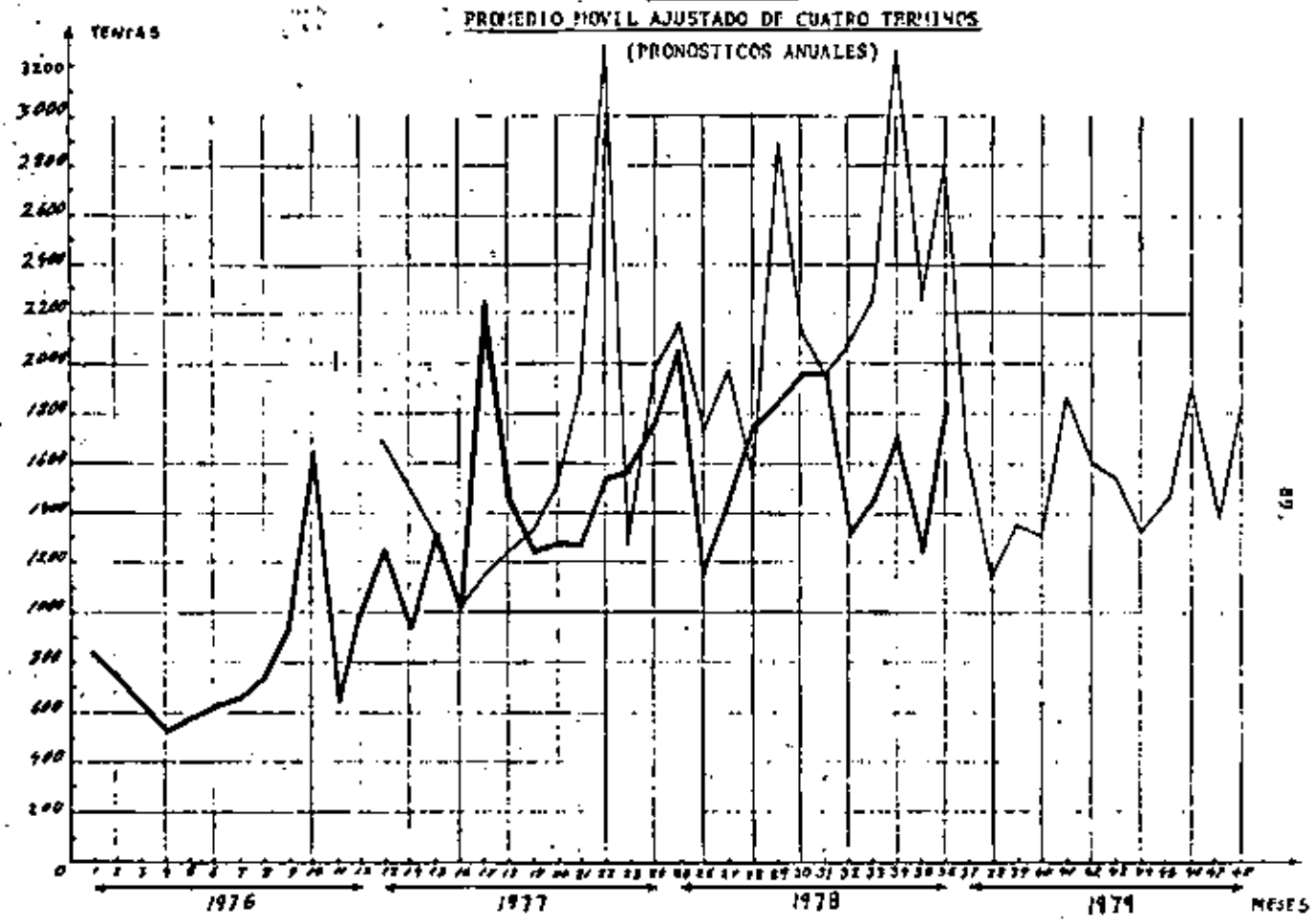
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 32

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CUATRO TERMINOS

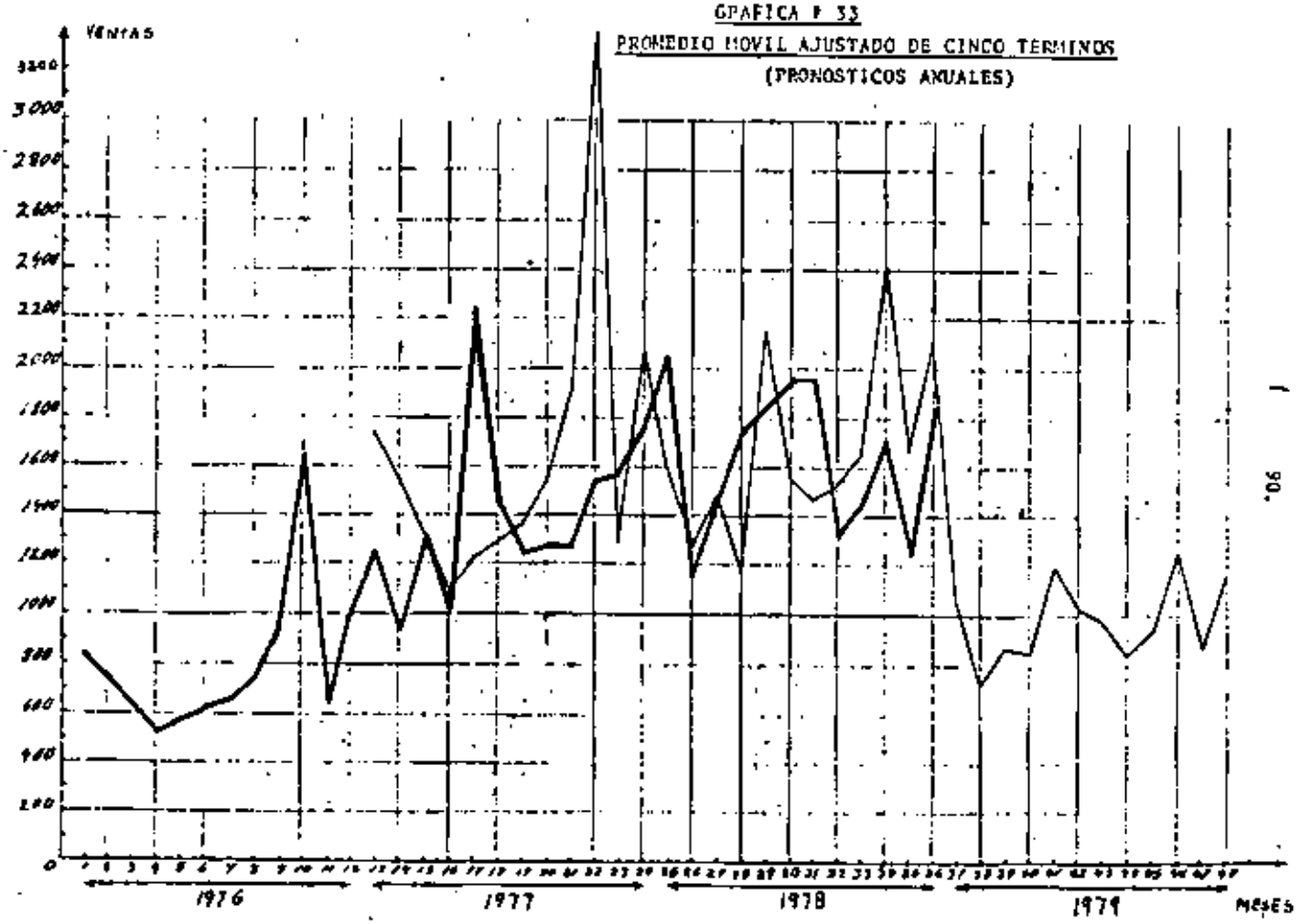
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 33

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CINCO TERMINOS

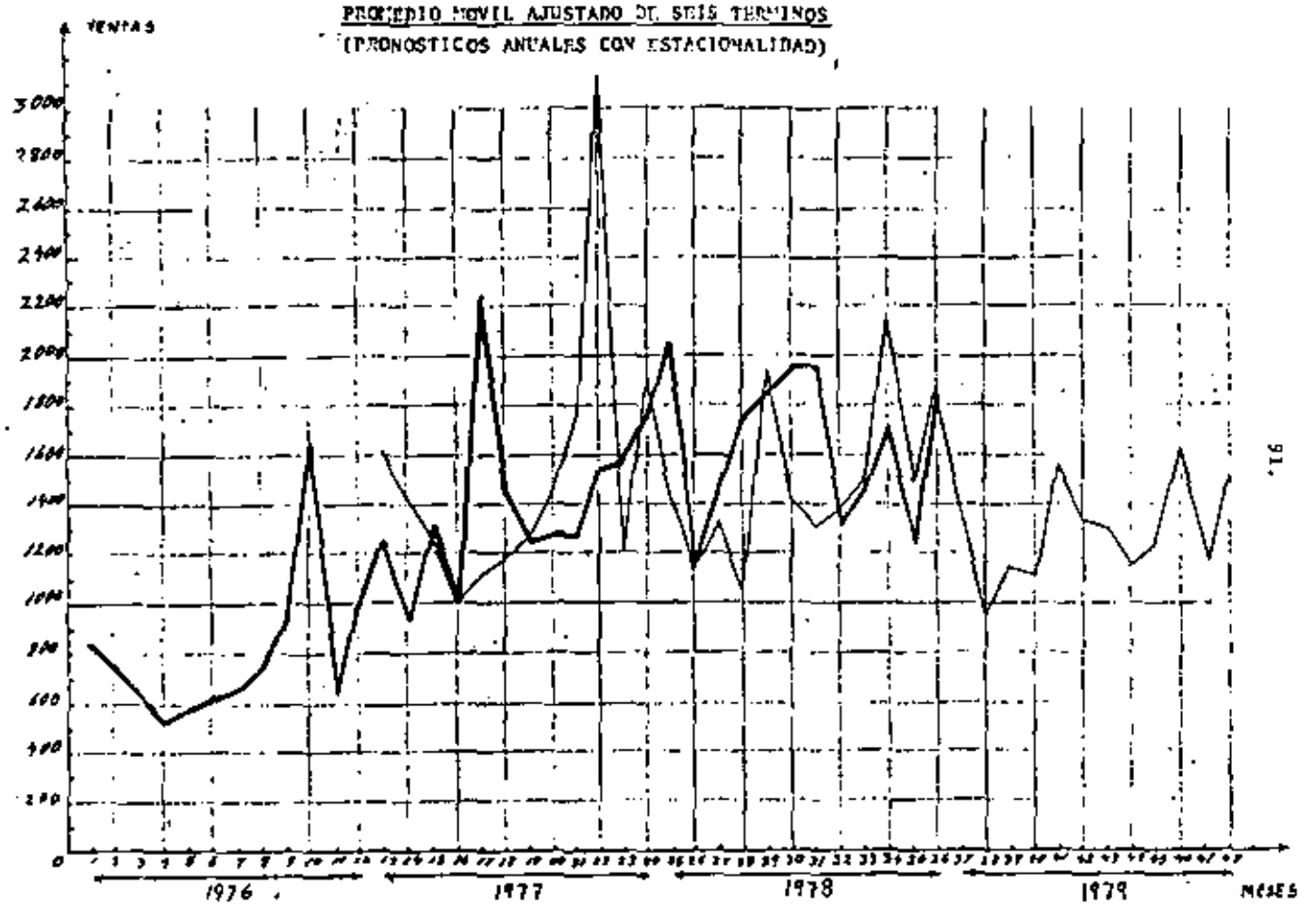
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 34

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE SEIS TERMINOS

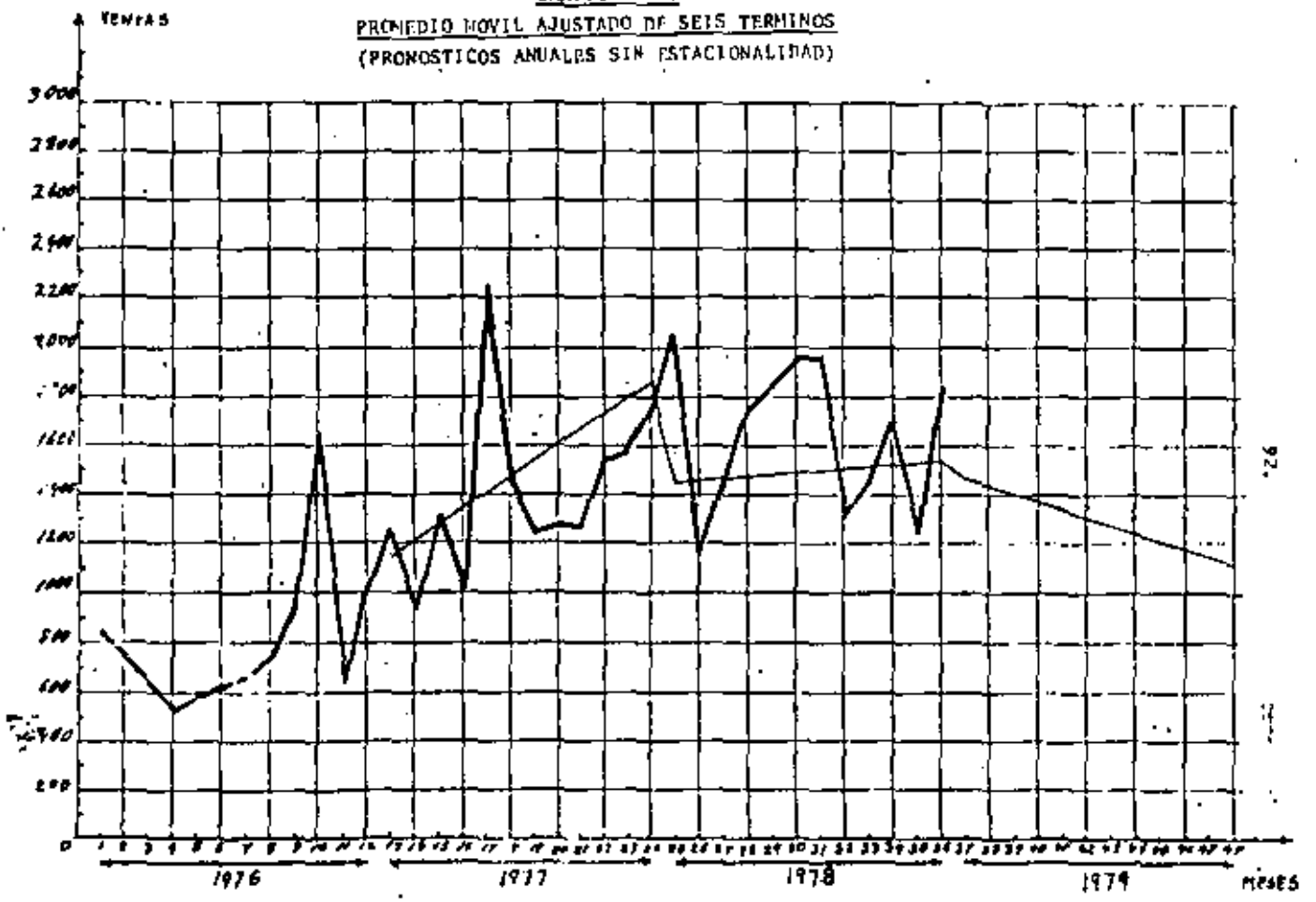
(PRONOSTICOS ANUALES CON ESTACIONALIDAD)



GRAFICA # 35

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE SEIS TERMINOS

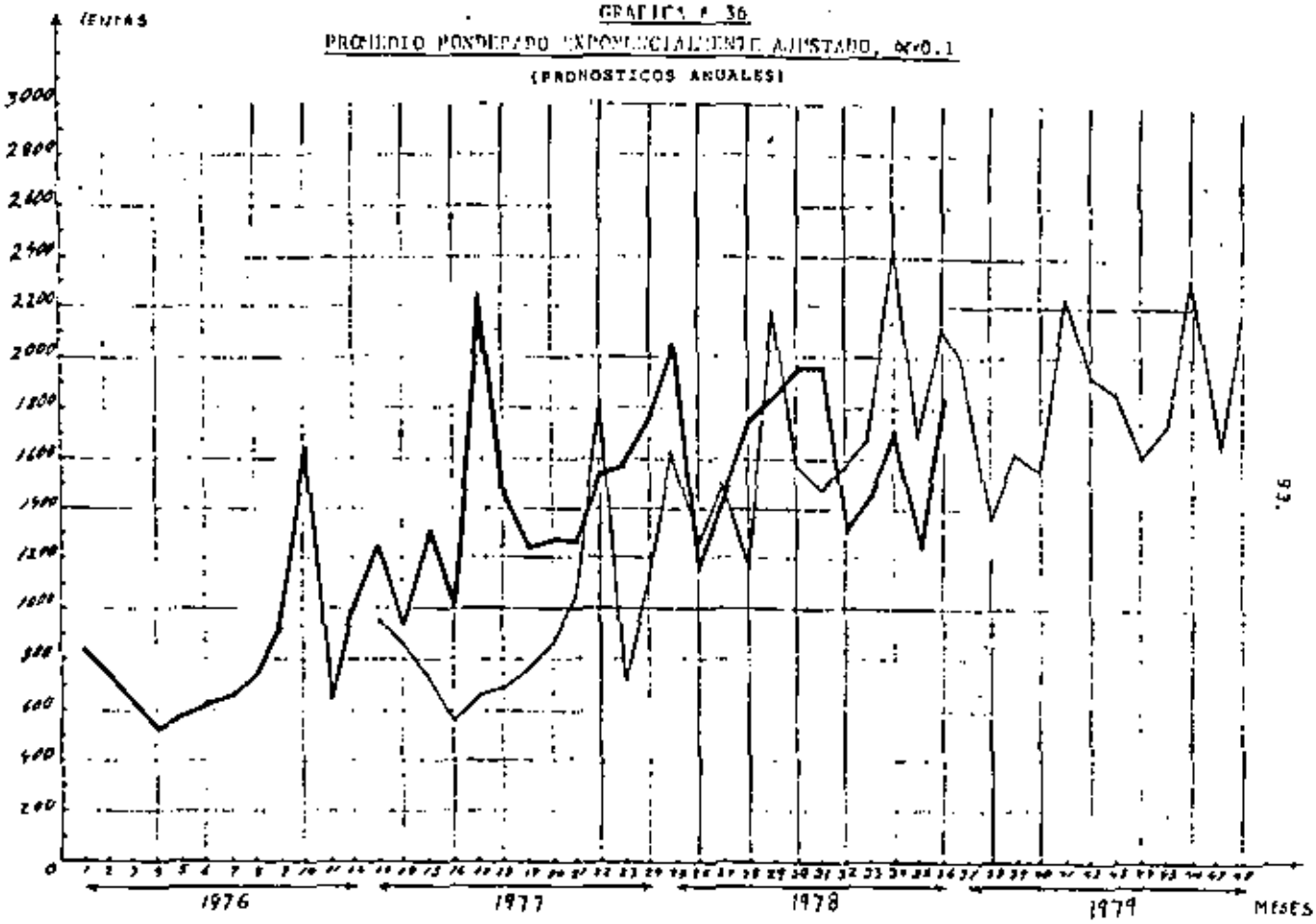
(PRONOSTICOS ANUALES SIN ESTACIONALIDAD)



GRAFICA # 36

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, $\alpha=0.1$

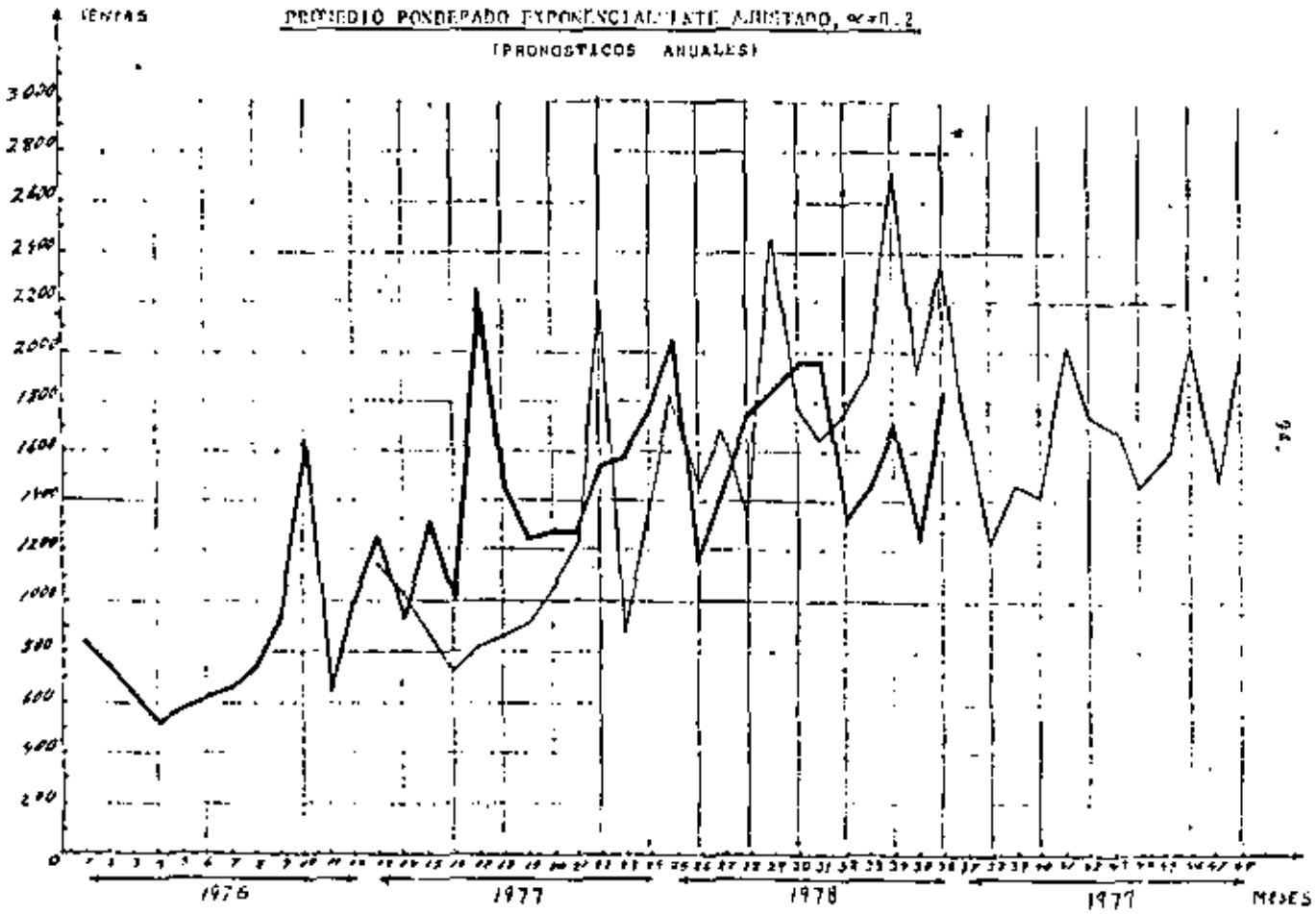
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 37

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, $\alpha=0.2$

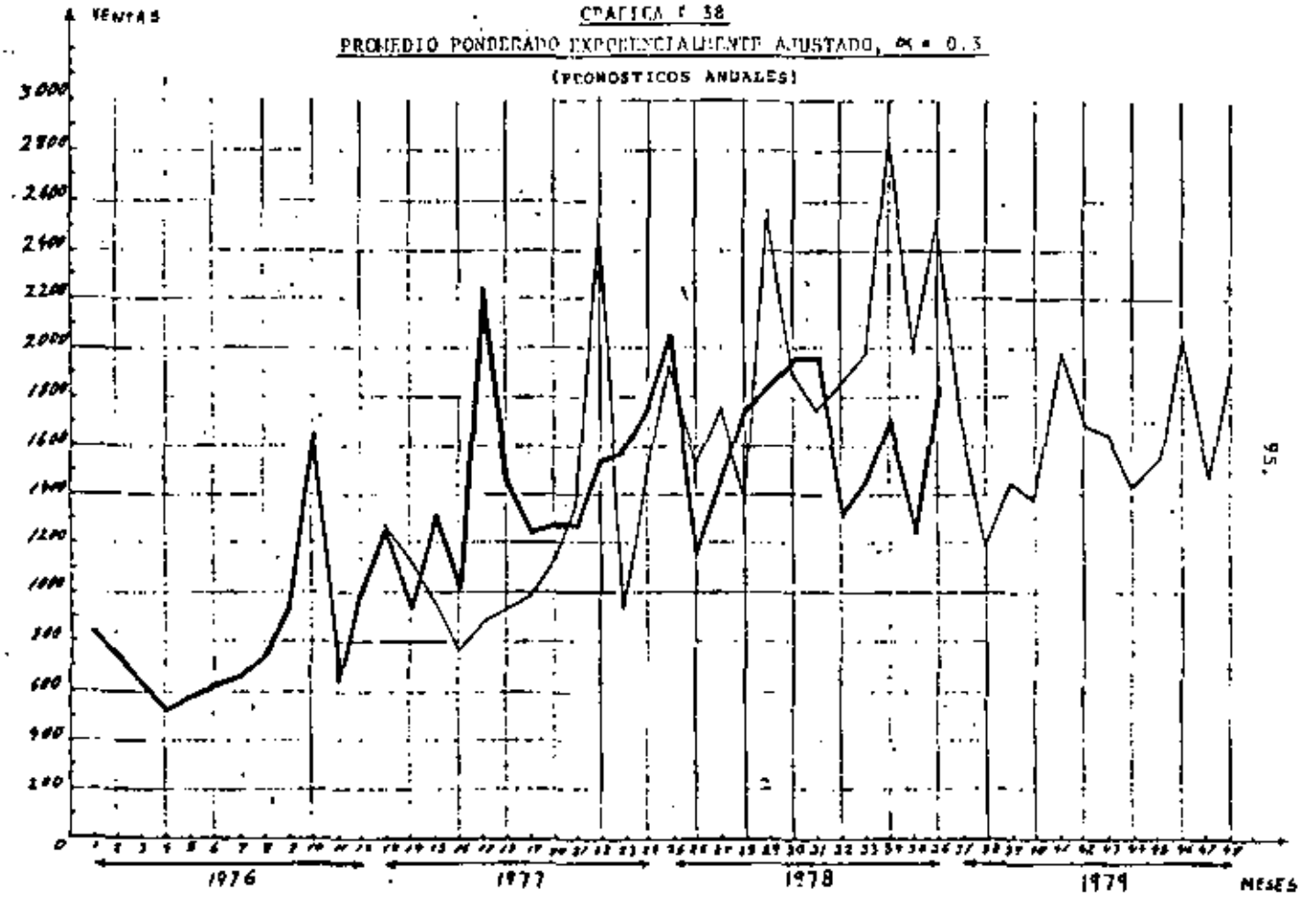
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 38

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, $\alpha = 0.3$

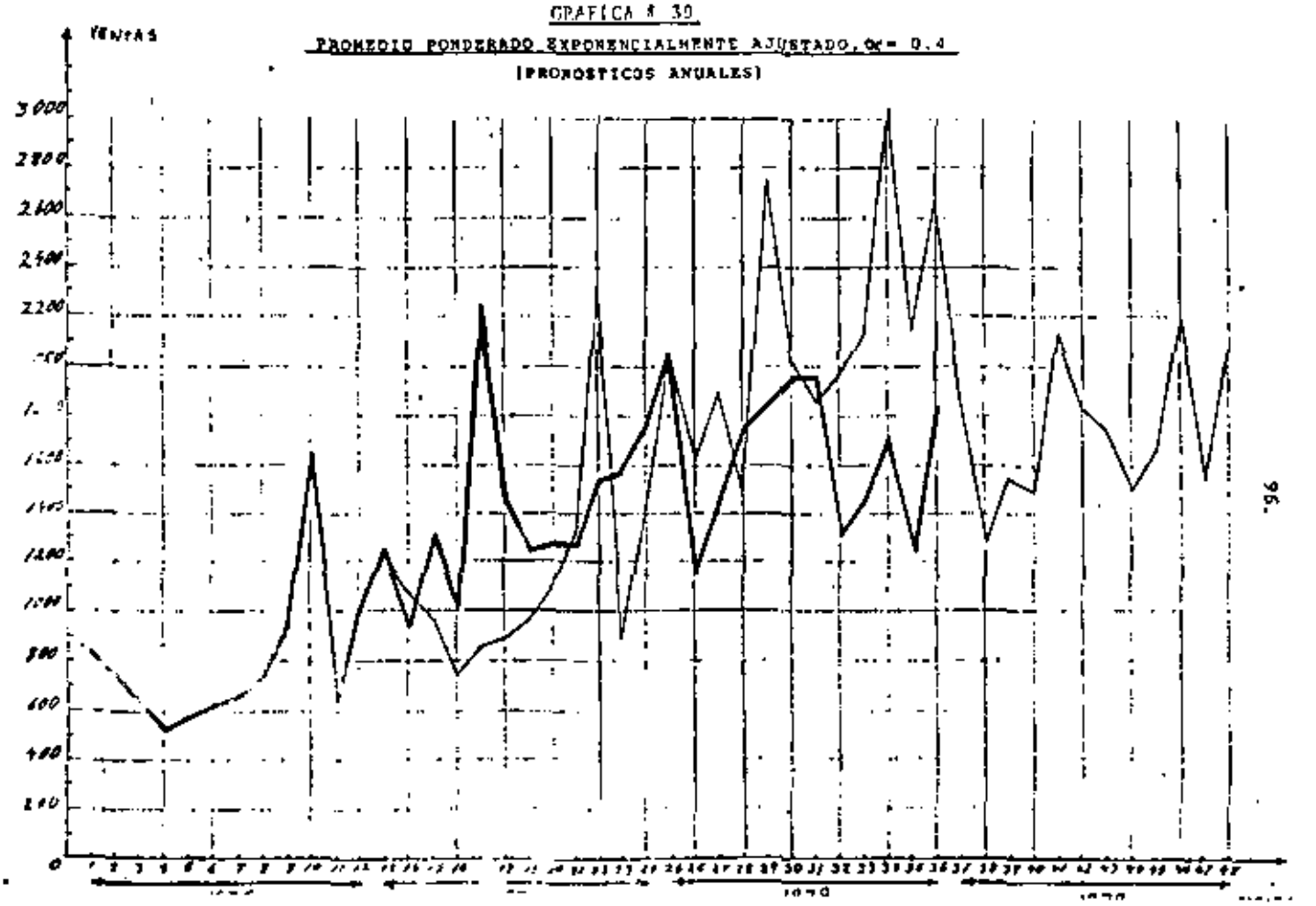
(PRONOSTICOS ANUALES)



GRAFICA # 39

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, $\alpha = 0.4$

(PRONOSTICOS ANUALES)



2.5. CONCLUSIONES

El procedimiento descrito en los incisos 2.3. y 2.4 fue aplicado a las ventas de otras 2 Empresas de la Ciudad de México. Llamemos a la Empresa del inciso 2.4 Empresa "A" y a las otras dos Empresas "B" y "C". En este inciso presentamos inicialmente los resultados que fueron obtenidos para estas 2 Empresas y después un resumen general de todo el análisis.

En los cuadros # 16 y # 17 presentamos los resultados correspondientes a los pronósticos mensuales y anuales de la Empresa B. En ambos casos el mejor método fue el del promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.1$ (véanse las gráficas # 40 y # 41).

En los cuadros # 18 y # 19 presentamos los resultados obtenidos para la Empresa C. El mejor método para los pronósticos mensuales fue el promedio móvil simple de dos términos (véase la gráfica # 42) y el mejor método para los pronósticos anuales fue la curva exponencial (véase la gráfica # 43)

En cuanto a la estacionalidad, es interesante observar que en el caso de la Empresa B los errores de los pronósticos anuales con estacionalidad fueron en promedio ligeramente menores que los errores de los pronósticos anuales sin estacionalidad (32.22% y 33.58%, cuadro # 17). Esto sugiere que para esta Empresa los pronósticos anuales deberán realizarse teniendo en cuenta la estacionalidad, aunque la diferencia no sea muy significativa. Sería conveniente en el futuro seguir pronosticando con y sin estacionalidad para establecer definitivamente cual de las dos alternativas es la mejor. En lo que se refiere a la Empresa C, está bastante claro que los pronósticos anuales sin estacionalidad son mejores (cuadro # 19).

CUADRO # 16

EMPRESA "B"

PRONOSTICOS MENSUALES (RASTREO)

M E T O D O S	E%
Ajuste de una línea recta	28.43
Recta progresiva	26.73
Ajuste de una curva exponencial	23.24
Curva exponencial progresiva	25.85 (4)
Ajuste de una curva de potencia	
Curva de potencia progresiva	
Promedio móvil simple, 1 término	33.80
Promedio móvil simple, 2 términos	32.98
Promedio móvil simple, 3 términos	29.90
Promedio móvil simple, 4 términos	26.94
Promedio móvil simple, 5 términos	26.01 (5)
Promedio móvil simple, 6 términos	27.14
Promedio móvil ajustado, 2 términos	48.00
Promedio móvil ajustado, 3 términos	44.68
Promedio móvil ajustado, 4 términos	36.24
Promedio móvil ajustado, 5 términos	30.58
Promedio móvil ajustado, 6 términos	30.58
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.1$	25.79 (3)
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.2$	24.88 (2)
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.3$	25.37
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.4$	26.76
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.1$	24.47 (1)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.2$	27.60
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.3$	30.99
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.4$	34.22

CUADRO # 17

EMPRESA "B"

PRONOSTICOS ANUALES CON Y SIN ESTACIONALIDAD

M E T O D O S	RASTREO (MENSUAL)	ANUAL SIN ESTAC.	ANUAL CON ESTAC.
Recta	27.16	31.10 (4)	29.85
Curva exponencial	26.18	34.58	28.00 (3)
Curva de potencia			
Prom. móv. ajust., 2T	46.54	>>>	>>>
Prom. móv. ajust., 3T	45.30	52.03	47.13
Prom. móv. ajust., 4T	36.34	31.19 (5)	29.58 (5)
Prom. móv. ajust., 5T	30.04	32.72	33.23
Prom. móv. ajust., 6T	30.20	34.86	34.42
Prom. pond. exp. ajust., $\alpha = 0.1$	25.54	26.91 (1)	21.52 (1)
Prom. pond. exp. ajust., $\alpha = 0.2$	28.24	27.72 (3)	28.50 (4)
Prom. pond. exp. ajust., $\alpha = 0.3$	31.58	27.64 (2)	27.88 (2)
Prom. pond. exp. ajust., $\alpha = 0.4$	34.68	37.03	36.11
$\lvert\bar{E}\%\rvert$		33.58	32.22

CUADRO # 18

EMPRESA "C"

PRONOSTICOS MENSUALES (RASTREO)

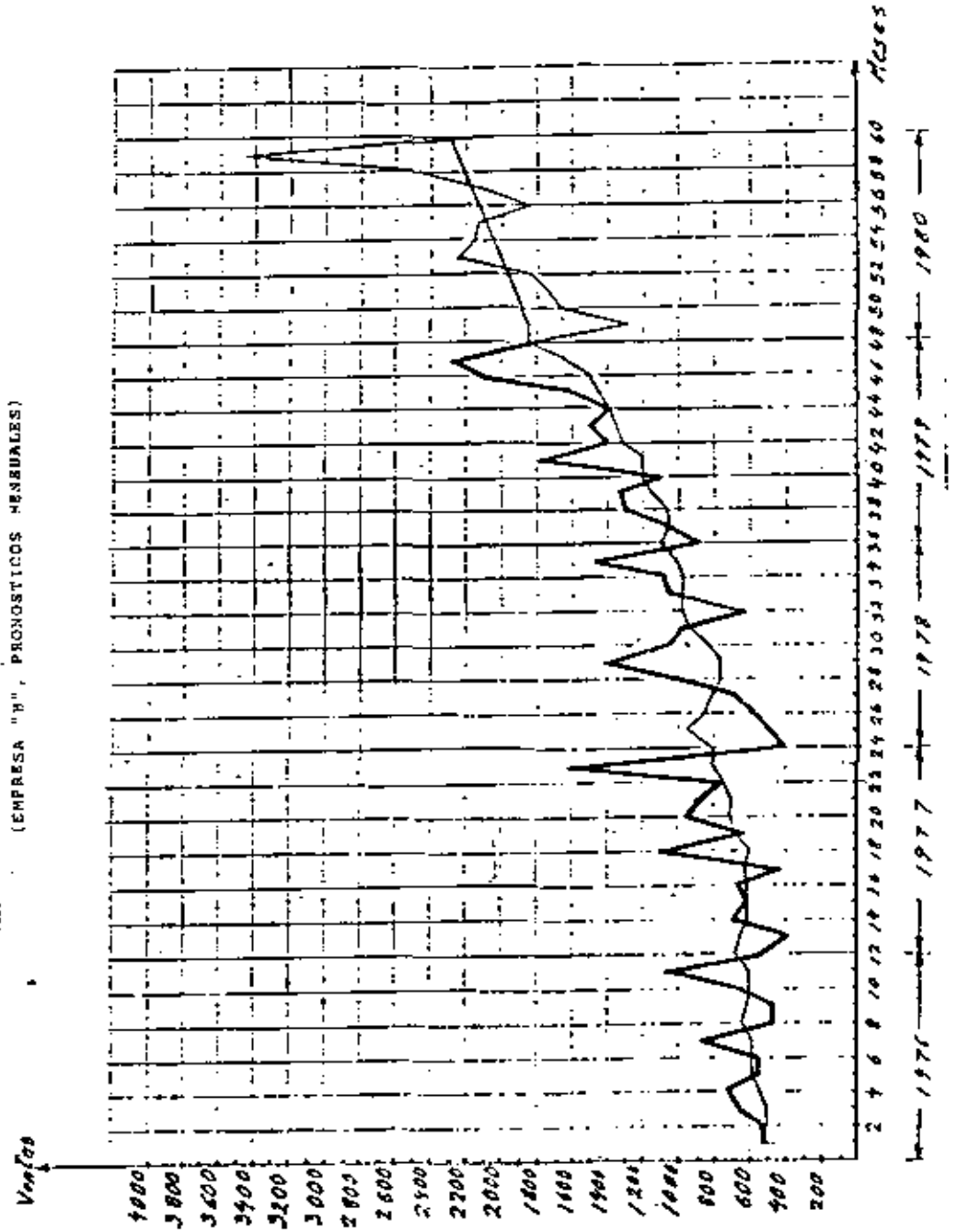
M E T O D O S	E%
Ajuste de una línea recta	16.28
Recta progresiva	19.35
Ajuste de una curva exponencial	15.14
Curva exponencial progresiva	19.99
Ajuste de una curva de potencia	
Curva de potencia progresiva	
Promedio móvil simple, 1 término	16.11
Promedio móvil simple, 2 términos	15.07 (1)
Promedio móvil simple, 3 términos	16.60
Promedio móvil simple, 4 términos	17.44
Promedio móvil simple, 5 términos	19.15
Promedio móvil simple, 6 términos	19.37
Promedio móvil ajustado, 2 términos	16.69
Promedio móvil ajustado, 3 términos	20.52
Promedio móvil ajustado, 4 términos	22.46
Promedio móvil ajustado, 5 términos	26.5[illegible]
Promedio móvil ajustado, 6 términos	27.[illegible]
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.1$	[illegible] (3)
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.2$	[illegible].23 (5)
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.3$	15.6[illegible] (3)
Prom. pond. exp., $\alpha = 0.4$	15.49 (7)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.1$	16.00 (4)
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.2$	16.82
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.3$	17.52
Prom. pond. exp. ajustado, $\alpha = 0.4$	17.49

CUADRO # 19

EMPRESA -C-

PRONOSTICOS ANUALES CON Y SIN ESTACIONALIDAD

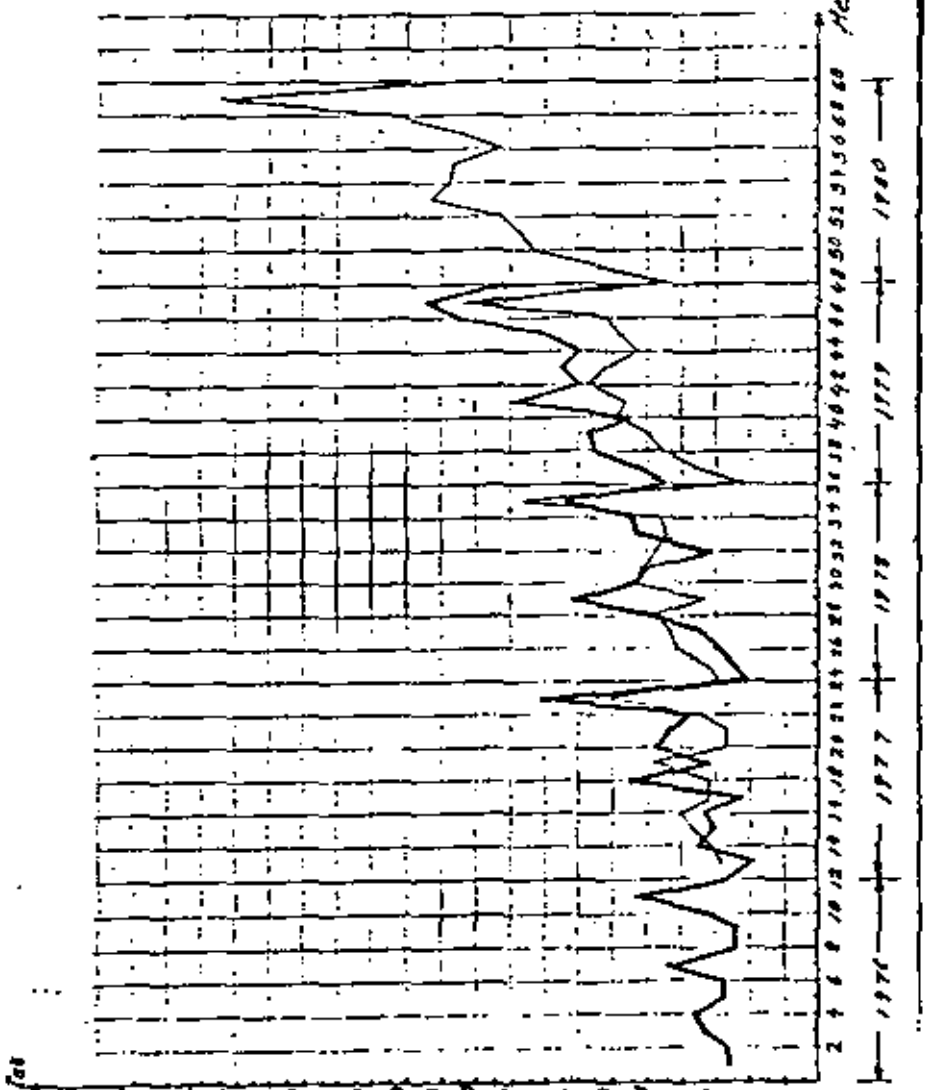
METODOS	RASTREO (MENSUAL)	ANUAL SIN ESTAC.	ANUAL CON ESTAC.
Recta	19.15	19.56 (3)	26.05 (2)
Curva exponencial	20.32	18.47 (1)	31.50 (4)
Curva de potencia			
Prom. móv. ajust., 2T	20.86	134.04	143.00
Prom. móv. ajust., 3T	21.78	92.80	98.79
Prom. móv. ajust., 4T	24.87	45.49	50.80
Prom. móv. ajust., 5T	27.62	26.06	32.60 (5)
Prom. móv. ajust., 6T	27.52	21.92 (5)	26.36 (3)
Prom. pond. exp. ajust., α=0.1	18.36	19.49 (2)	24.27 (1)
Prom. pond. exp. ajust., α=0.2	19.18	20.14 (4)	36.30
Prom. pond. exp. ajust., α=0.3	19.83	33.63	38.40
Prom. pond. exp. ajust., α=0.4	19.21	55.53	59.07



GRAFICA # 40

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO, α = 0.1

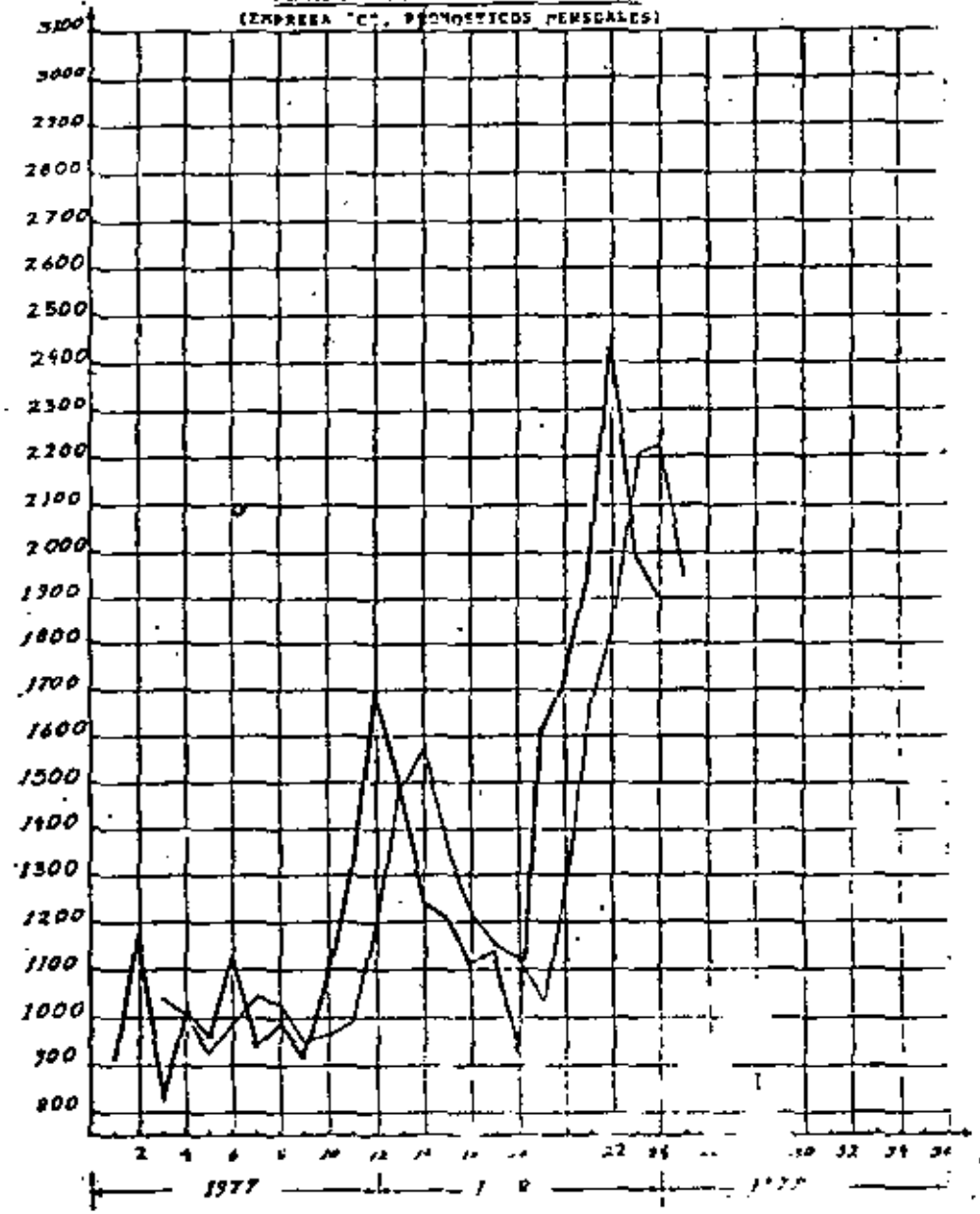
(EMPRESA "B", PRONOSTICOS MENSUALES)



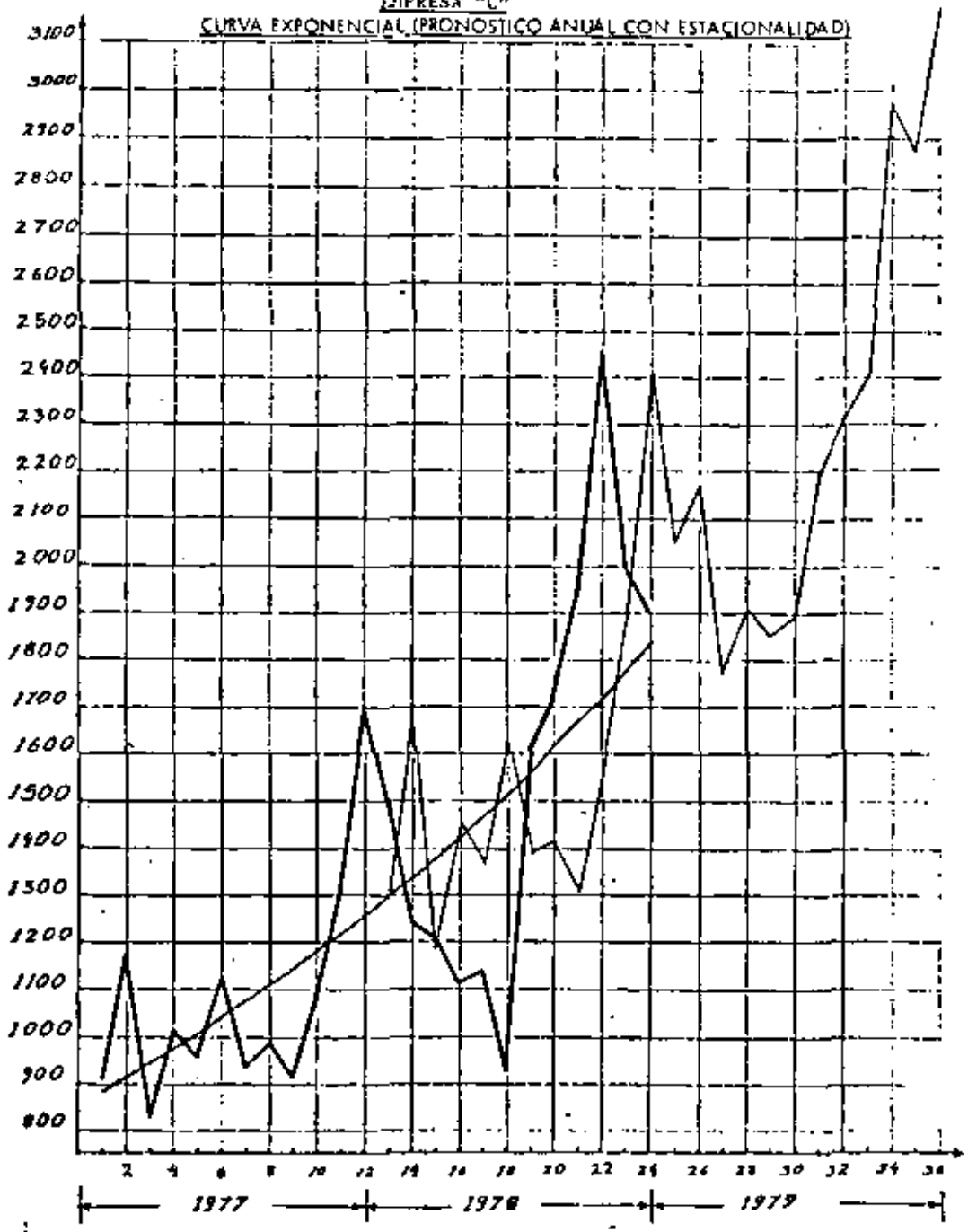
GRAFICA # 42

P.M.S., 2 T. (PRONOSTICO MENSUAL)

(EMPRESA "C", PRONOSTICOS MENSUALES)



GRAFICA # 43
EMPRESA "C"
CURVA EXPONENCIAL (PRONOSTICO ANUAL CON ESTACIONALIDAD)



A continuación presentamos finalmente los cuadros # 20 y # 21 que son los resúmenes de los resultados obtenidos para las 3 Empresas.

Del cuadro # 20, que muestra los errores de los pronósticos mensuales, podemos sacar las siguientes conclusiones:

a) El método del promedio ponderado exp. ajustado con $\alpha = 0.1$ fue el que en promedio produjo los mejores resultados. Después, en orden de importancia, estuvieron los métodos P.P.E., $\alpha = 0.2$, P.P.E., $\alpha = 0.3$, P.M.S., 5T y P.M.S., 6T. Obsérvese también que sólo los métodos P.P.E.A., $\alpha = 0.1$ y P.P.E., $\alpha = 0.3$ estuvieron entre los 5 primeros lugares en los 3 ejemplos.

b) También es interesante observar que para las 3 Empresas la tasa de crecimiento y la dispersión respecto a la línea que mejor se ajusta son las siguientes:

EMPRESA	TASA DE CRECIMIENTO MENSUAL MEDIA	DISPERSION RESPECTO A LA LINEA QUE MEJOR SE AJUSTA
A	2.2%	19.0%
B	3.3%	23.2%
C	3.3%	15.1%

y que el P.M.S. con un número pequeño de términos (1, 2 y 3 términos) funciona bien cuando la tasa de crecimiento es grande y la dispersión no es muy grande, como en el caso de la Empresa C. Por otro lado, el promedio móvil con un número grande de términos (4, 5 y 6) funciona bien cuando la tasa de crecimiento es pequeña, independientemente de la dispersión, como en el caso de la Empresa A (*). Este razonamiento explica porque ningún número de términos produjo buenos resultados para la Empresa B, ya que ésta tiene gran tasa y gran dispersión.

c) El promedio ponderado exponencialmente ajustado con un "α" mayor que 0.1 no produjo buenos resultados ya que en ninguno de

(*) Recuérdese, sin embargo, que puede ir bastante atrasado en relación a las ventas reales.

los ejemplos estuvo entre los 5 mejores métodos. Sin embargo, considerando los resultados globales de las 3 Empresas, este método con una constante $\alpha = 0.2$ fue el 6° colocado, lo que sugiere que con esta constante el método puede conducir a buenos resultados y que por lo tanto no deberá excluirse de la lista de los métodos a utilizarse.

d) El método del ajuste de líneas (recta, curva exponencial y curva de potencia) no parece ser bueno para la elaboración de pronósticos mensuales, ya que en un solo ejemplo estuvo entre los 5 mejores métodos, siendo sin embargo precisamente el 5° colocado en dicho ejemplo.

e) Los promedios móviles ajustados son demasiado sensibles a los cambios bruscos de la demanda y no produjeron buenos pronósticos mensuales. Sin embargo, el método mejora mucho a la medida que aumenta el número de términos. Por ejemplo, para el caso de la Empresa A, el error del P.M.A., 6T fue de sólo 19.96%, mientras que el error del mejor método fue de 18.83%.

Veamos ahora el cuadro # 21, que nos presenta un resumen de los errores obtenidos en la elaboración de pronósticos anuales con y sin estacionalidad para las 3 Empresas. Podemos sacar las siguientes conclusiones:

a) Para cada Empresa el mejor método fue diferente, lo que muestra la importancia de la aplicación de la técnica de simulación para cada ejemplo específico.

b) El mejor método en promedio fue el promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.2$, aunque la diferencia entre el error medio de éste y los errores medios del promedio ponderado exponencialmente ajustado con $\alpha = 0.1$ y de la recta, no fue muy significante. Obsérvese también que el ajuste de líneas (recta, curva exponencial y curva de potencia) funciona mu

cho mejor que en el caso de los pronósticos mensuales (rastreo).

c) Para la elaboración de pronósticos anuales no es conveniente usar un promedio móvil ajustado con menos de 5 términos y en promedio 6 términos resultó mejor que 5 términos. Obviamente, también se podrá usar promedios con más de 6 términos y cualquiera de ellos podrá resultar el mejor en un ejemplo específico.

d) Los valores $\alpha = 0.1$ y $\alpha = 0.2$ son mucho mejores que los valores $\alpha = 0.3$ y $\alpha = 0.4$, probablemente porque estos últimos dan demasiada importancia a las últimas demanda y extrapolan tendencias no representativas de la tendencia general de las ventas, lo mismo ocurre con el promedio móvil ajustado con un número de términos pequeño.

Podemos ahora hacer un resumen de todas las conclusiones que hemos sacado en lo que se refiere a la elaboración de pronósticos mensuales y anuales:

a) Para cada Empresa el mejor método de pronósticos es diferente, lo que demuestra la importancia de la aplicación de la técnica de simulación.

b) Los métodos P.P.E.A., $\alpha = 0.1$, P.P.E., $\alpha = 0.2$ y P.P.E., $\alpha = 0.3$ son muy buenos para los pronósticos mensuales.

c) El promedio móvil simple con un número de términos pequeño (1, 2 ó 3) produce buenos pronósticos mensuales cuando la tasa de crecimiento es grande y la dispersión es pequeña.

d) El promedio móvil simple con un número de términos [illegible] que 3 produce buenos pronósticos mensuales sólo cuando la [illegible] de crecimiento es pequeña o los incrementos mensuales son de [illegible] signos.

e) El método P.P.E.A. con un valor de "α" mayor que 0.2 no produce buenos pronósticos mensuales.

f) El promedio móvil ajustado no produce buenos pronósticos mensuales, principalmente cuando el número de términos es pequeño (1, 2 ó 3).

g) El método del ajuste de líneas (recta, curva exponencial y curva de potencia) no produce buenos pronósticos mensuales. Sin embargo funcionan mucho mejor para la elaboración de pronósticos anuales. Si utilizamos para cada caso específico la línea que mejor se ajusta a los datos, seguramente obtendremos buenos pronósticos anuales. Es importante probar el ajuste DE LOS TRES TIPOS DE LINEAS.

h) Los métodos P.P.E.A., $\alpha = 0.1$ y P.P.E.A., $\alpha = 0.2$ son los mejores métodos para la elaboración de pronósticos anuales. Por otro lado, los métodos P.P.E.A, $\alpha = 0.3$ y P.P.E.A., $\alpha = 0.4$ no producen buenos resultados. Si aumentamos el valor de "α" todavía más, seguramente los resultados serán peores.

i) Para la elaboración de pronósticos anuales, no se debe usar un promedio móvil ajustado con un número de términos menor que 5.

j) La técnica de simulación es particularmente útil para determinar la conveniencia de considerar o no la estacionalidad de los datos.

CUADRO # 20

RESUMEN DE LOS PRONOSTICOS MENSUALES
DE LAS EMPRESAS A, B y C

MÉTODOS	EMPRESA "A"	EMPRESA "B"	EMPRESA "C"	E%
Recta	20.31	28.43	16.28	21.67
Recta prog.	21.23	26.73	19.35	22.40 (9)
Curva exp.	19.98	23.24	15.14	19.45
Curva exp. prog.	23.08	25.83 (5)	19.99	22.97
Curva pot.	21.37			
Curva pot. prog.	19.75			
P.M.S., 1T	25.73	33.80	16.11 (5)	25.21
P.M.S., 2T	23.12	32.98	15.07 (1)	23.72
P.M.S., 3T	21.69	29.90	16.60	22.73
P.M.S., 4T	21.49	26.94	17.44	21.96 (7)
P.M.S., 5T	19.51 (4)	26.07	19.15	21.58 (4)
P.M.S., 6T	18.83 (1)	27.14	19.37	21.78 (5)
P.M.A., 2T	35.24	48.00	16.69	33.31
P.M.A., 3T	29.81	44.68	20.52	31.67
P.M.A., 4T	31.50	36.24	22.48	30.07
P.M.A., 5T	26.78	30.50	26.56	27.97
P.M.A., 6T	19.96	30.58	27.94	26.16
P.P.E., $\alpha = 0.1$	22.30	25.79 (4)	18.43	22.17 (8)
P.P.E., $\alpha = 0.2$	19.39 (2)	24.88 (2)	16.23	20.17 (2)
P.P.E., $\alpha = 0.3$	19.65 (5)	25.37 (3)	15.69 (2)	20.24 (3)
P.P.E., $\alpha = 0.4$	25.04	26.76	15.99 (3)	22.60(10)
P.P.E.A., $\alpha = 0.1$	19.47 (3)	24.47 (1)	16.00 (4)	19.98 (1)
P.P.E.A., $\alpha = 0.2$	21.10	27.60	16.82	21.84 (6)
P.P.E.A., $\alpha = 0.3$	23.04	30.99	17.52	23.85
P.P.E.A., $\alpha = 0.4$	25.04	34.72	17.49	25.58

CUADRO # 21

RESUMEN DE LOS PRONOSTICOS ANUALES DE LAS EMPRESAS A, B Y C

METODOS	EMPRESA "A" SIN EST.	EMPRESA "A" CON EST.	EMPRESA "B" SIN EST.	EMPRESA "B" CON EST.	EMPRESA "C" SIN EST.	EMPRESA "C" CON EST.	ES
Recta	20.20(2)	28.33(3)	31.10(4)	29.85	19.36(3)	26.05(2)	25.85(3)
Curva exp.	31.77	36.43	34.58	28.00(3)	18.47(1)	31.50(5)	30.13
Curva de pot.							
P.M.A., 2T	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>
P.M.A., 3T	46.20	47.65	52.03	47.13	92.80	98.79	64.10
P.M.A., 4T	34.04	30.18	31.19(5)	29.50(5)	45.49	50.80	38.21
P.M.A., 5T	22.25(4)	27.57(2)	32.72	33.23	26.06	32.60	29.07(5)
P.M.A., 6T	18.61(1)	23.25(1)	34.86	34.42	21.92(5)	26.36(4)	26.57(4)
P.P.E.A., α=0.1	23.69	29.29	26.91(1)	27.52(1)	19.49(2)	24.27(1)	25.70(2)
P.P.E.A., α=0.2	20.71(3)	28.83(4)	27.72(3)	28.50(4)	20.14(4)	26.30(3)	25.37(1)
P.P.E.A., α=0.3	22.39(5)	29.32(5)	27.64(2)	27.83(2)	33.63	38.40	29.88
P.P.E.A., α=0.4	28.15	32.35	37.03	36.11	55.53	59.07	41.37

III- INVENTARIOS

3.1. Introducción

La función básica de los inventarios, sean éstos de materias primas, material semi-procesado o productos terminados, es mantener relativamente independientes las siguientes actividades:

a) Compra de materias primas
b) Producción
c) Ventas

Los inventarios actúan como resortes según se muestra a continuación:

FIGURA 1

Como se puede observar, los inventarios de materias primas son necesarios para separar "Producción" de "Compras" y los inventarios de productos terminados sirven para separar "Producción" de "Ventas".

Otro tipo de inventario es el de material semi-procesado. Este podrá ser de dos tipos:

a) Es el inventario inevitable que resulta del hecho que la fabricación de cualquier producto tarda un dado número de unidades de tiempo (horas, días, meses, etc) y durante este tiempo el material estará almacenado en la planta y pasando por las diversas etapas del proceso productivo.

b) Es el inventario de piezas o material semi-procesado que muchas veces es conveniente fabricar y almacenar en pequeños almacenes (separados o no del almacén principal) o entre los puestos de trabajo (por ejemplo en las líneas de producción) para que el flujo de materiales no sufra nunca problemas de continuidad. Estos inventarios son particularmente útiles:

- Cuando no es económico fabricar ciertas piezas cada vez que se produce un dado producto.
- Cuando una misma pieza es utilizada en la fabricación de varios productos diferentes.
- Para eliminar problemas debido a la variación de la duración de las operaciones en las líneas de producción o de ensamble.

Los costos que generalmente son considerados en el estudio de los inventarios son los siguientes:

a) Costos de preparación

Estos son los costos de preparación de las máquinas para la fabricación de un dado lote de productos o los costos de "preparación" de los pedidos de compra de materiales.

El costo de preparación de las máquinas no depende de [illegible] de productos del lote de fabricación, y, analogamente, el costo [illegible] preparación de un pedido de compra de materiales no depende del [illegible] de productos a comprar o del tamaño del pedido. En otras palabras, los costos totales de preparación de las máquinas y de los pedidos (durante un dado período) son proporcionales al número de lotes producidos y el número de pedidos realizados, respectivamente.

Generalmente no es facil calcular estos costos fijos por lote de fabricación o por pedido. En lo que se refiere al costo de preparación de los

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

EJEMPLO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE DIFERENTES METODOS DE PRONOSTICO

M. en C. Roberto R. Borges de Holanda

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

EJEMPLO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE DIFERENTES METODOS DE PRONOSTICOS

En la gráfica # 1 y en el cuadro # 1 presentamos las ventas mensuales de la Empresa en los años de 1976, 1977 y 1978, y puede observarse que éstas presentan cambios relativamente bruscos de un mes al siguiente.

Aunque que sea obvio que no existe una estacionalidad muy marcada, principalmente en los meses de Mayo y Octubre cuyas ventas se comportan de una forma más o menos aleatoria, creemos que vale la pena calcular los índices estacionales, esto se muestra en el cuadro # 2.

La justificación para la utilización de los índices estacionales en este ejemplo cuando en realidad no existe una estacionalidad muy marcada, es muy sencilla: si en los años anteriores un determinado mes representó en promedio un porcentaje mayor del total anual que otro mes, ¿por qué no tener esto en cuenta y pronosticar que en el año de 1979 ocurrirá lo mismo? En otras palabras, creemos que es más conveniente utilizar los índices estacionales para que así los pronósticos mensuales de 1979 puedan reflejar de alguna manera la importancia relativa de cada mes, que se observó en los años de 1976, 1977 y 1978.

En el cuadro # 3 presentamos inicialmente los resultados del ajuste de una línea recta . Vale la pena observar que matemáticamente es incorrecto ajustar una recta a todos los datos, en seguida pronosticar las ventas de meses cuyas ventas fueron utilizadas para el ajuste de dicha recta y finalmente calcular los errores cometidos y compararlos con los resultados de otros métodos que pronostican las ventas de cada uno de los meses sin tener en cuenta las ventas reales de los mismos. Si queremos comparar el método de la recta con los demás métodos, debemos pronosticar las ventas de cada mes únicamente utilizando los datos de meses anteriores; este método lo hemos llamado método de la

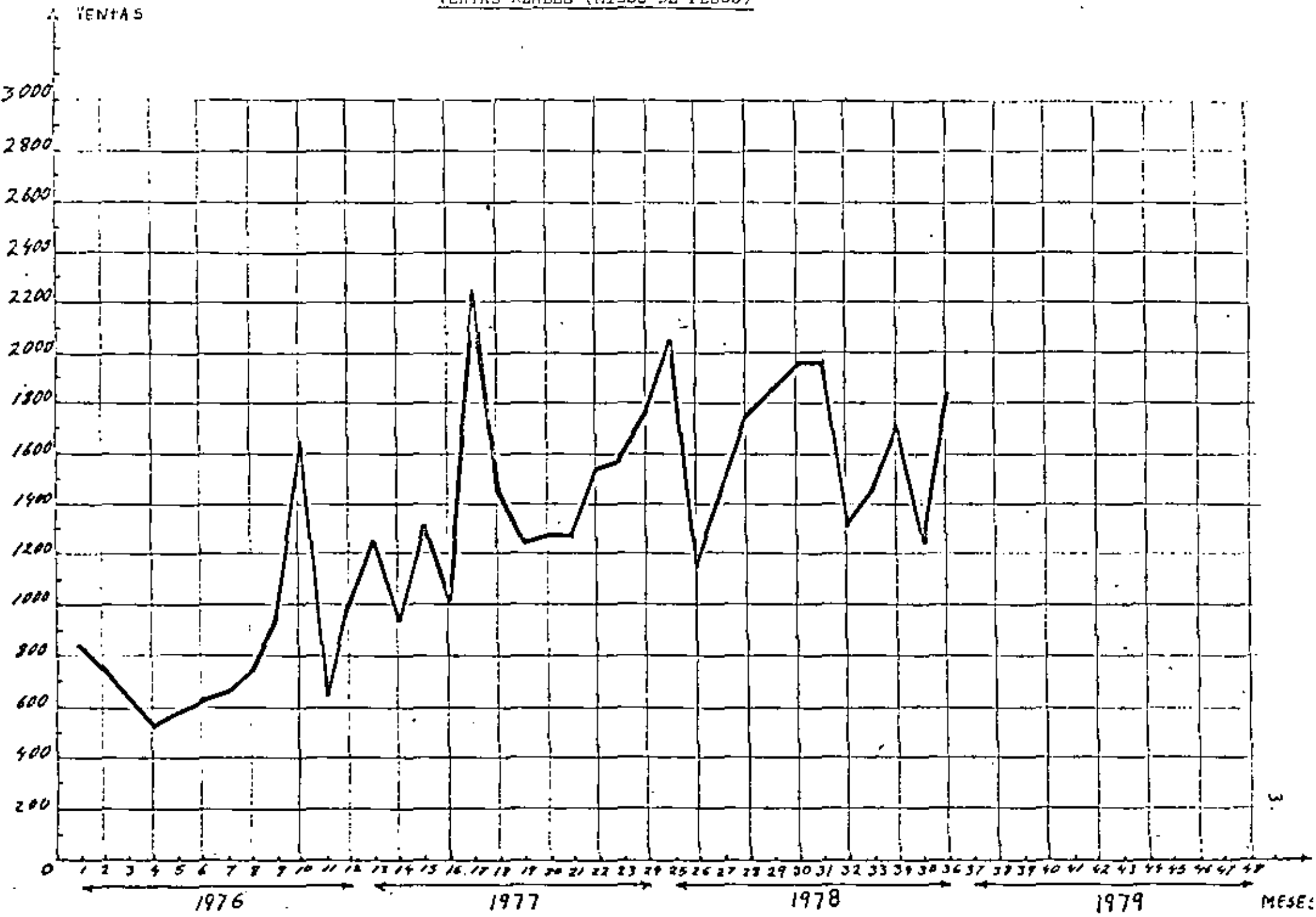
CUADRO # 1

VENTAS REALES (MILES DE PESOS)

AÑOS / MESES	1976	1977	1978
Enero	850	1250	2050
Febrero	750	920	1150
Marzo	650	1300	1450
Abril	520	1020	1750
Mayo	590	2250	1840
Junio	620	1450	1940
Julio	670	1250	1950
Agosto	760	1280	1310
Septiembre	930	1270	1470
Octubre	1630	1520	1700
Noviembre	630	1570	1250
Diciembre	1000	1760	1830
T O T A L	9600	16840	19690

GRAFICA # 1

VENTAS REALES (MILES DE PESOS)



CUADRO # 2

INDICES ESTACIONALES

MES / AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1976	850	750	650	520	590	620	670	760	930	1630	630	1000	9600
1977	1250	920	1300	1020	2250	1450	1250	1280	1270	1520	1570	1760	16840
1978	1050	1150	1450	1750	1840	1940	1950	1310	1470	1700	1250	1830	19690
TOTAL	4150	1820	3400	3290	4680	4010	3870	3350	3670	4850	3450	4590	46130
INDICE	9.00%	6.11%	7.37%	7.13%	10.15%	8.69%	8.39%	7.26%	7.96%	10.51%	7.48%	9.95%	

recta progresiva y sus resultados también se presentan en el cuadro # 3.

Finalmente, en el cuadro # 3 se muestran los resultados del ajuste de una curva exponencial. También en este caso es más correcto utilizar el método de la "curva exponencial progresiva", que se muestra en el cuadro # 8.

En el cuadro # 4 se presentan los resultados de los siguientes métodos: promedio móvil simple de un término, promedio móvil simple de dos términos y promedio móvil de dos términos con ajuste de tendencia.

En el cuadro # 5 se presentan los resultados de los siguientes métodos: promedio móvil simple de tres términos, promedio móvil de tres términos con ajuste de tendencia y promedio móvil simple de cuatro términos.

En el cuadro # 6 presentamos los siguientes métodos: promedio móvil de cuatro términos con ajuste de tendencia, promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.1$ y promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia para $\alpha = 0.1$.

En el cuadro # 7 se presentan los siguientes métodos: promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.2$, promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia para $\alpha = 0.2$ y promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.3$.

En el cuadro # 8 se presenta el último método que hemos aplicado en este ejemplo: promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia para $\alpha = 0.3$.

Finalmente, en el cuadro # 9 se comparan los 16 métodos mediante la utilización de 4 criterios diferentes: error medio ($\bar{E}$), desviación estándar del error (S_e) y error absoluto medio porcentual ($|E\%|$)

CUADRO # 3

METODOS: RECTA, RECTA PROGRESIVA Y CURVA EXPONENCIAL

	MES	VENTAS	RECTA	ERROR	RECTA P.	ERROR	CURVA	ERROR
	ENERO	850	694.47	- 155.53	—	—	701.65	- 148.35
	FEBRERO	750	728.01	- 21.99	850	100	723.12	- 26.88
	MARZO	650	761.55	111.55	650	0	745.24	104.24
	ABRIL	520	795.09	275.09	550	30	768.04	248.04
1	MAYO	590	828.63	238.63	420	- 170	791.53	201.53
9	JUNIO	620	862.16	242.16	447	- 173	815.75	195.75
7	JULIO	670	895.70	225.70	487.33	- 182.67	840.70	170.70
6	AGOSTO	760	929.24	169.24	541.42	- 218.58	866.43	106.43
	SEPTIEMBRE	930	962.78	32.78	620.00	- 310	892.93	- 37.08
	OCTUBRE	1630	996.32	- 633.68	745.27	- 884.73	920.24	- 709.76
	NOVIEMBRE	630	1029.85	399.85	1107.33	477.33	948.39	318.39
	DICIEMBRE	1000	1063.39	63.39	990.18	- 9.82	977.41	- 22.59
	ENERO	1250	1096.93	- 153.07	1028.18	- 221.82	1007.31	- 242.69
	FEBRERO	920	1130.47	210.47	1131.53	211.53	1038.12	118.12
	MARZO	1300	1164.01	- 135.99	1113.51	- 186.49	1069.83	- 230.17
	ABRIL	1020	1197.54	177.54	1199.61	179.61	1102.61	82.61
1	MAYO	2250	1231.08	-1018.92	1195.75	-1054.25	1136.34	-1113.66
9	JUNIO	1450	1264.62	- 185.38	1480.88	30.88	1171.10	- 278.90
7	JULIO	1250	1298.16	48.16	1531.76	281.76	1206.93	- 43.07
7	AGOSTO	1280	1331.70	51.70	1529.64	249.64	1243.85	- 36.15
	SEPTIEMBRE	1270	1365.23	95.23	1532.47	262.47	1281.90	11.90
	OCTUBRE	1520	1398.77	- 121.23	1531.66	11.66	1321.11	- 198.89
	NOVIEMBRE	1570	1432.31	- 137.69	1575.32	5.32	1361.53	- 208.47
	DICIEMBRE	1760	1465.85	- 294.15	1620.03	- 139.97	1403.18	- 356.82
	ENERO	2050	1499.39	- 550.61	2688.94	- 361.05	1446.10	- 603.90
	FEBRERO	1150	1532.92	382.92	1793.70	643.70	1490.34	340.34
	MARZO	1450	1566.46	116.46	1744.98	294.98	1535.93	85.93
	ABRIL	1750	1600.00	- 150.00	1746.09	- 3.91	1582.92	- 167.08
1	MAYO	1840	1633.54	- 206.46	1789.12	- 50.88	1631.34	- 208.66
9	JUNIO	1940	1667.08	- 272.92	1838.64	- 101.36	1681.25	- 258.75
7	JULIO	1950	1700.61	- 249.39	1895.01	- 54.99	1732.68	- 217.32
8	AGOSTO	1310	1734.15	424.15	1945.61	635.61	1785.69	475.69
	SEPTIEMBRE	1470	1767.69	297.69	1910.00	440	1840.31	370.31
	OCTUBRE	1700	1801.23	101.23	1896.89	196.89	1896.61	196.61
	NOVIEMBRE	1250	1834.77	584.77	1911.60	661.60	1954.63	704.63
	DICIEMBRE	1830	1868.30	38.30	1872.87	42.87	2014.43	184.43
	ENERO	—	1901.84	—	1901.84	—	2076.06	—
	FEBRERO	—	1935.38	—	1935.38	—	2139.56	—
	MARZO	—	1968.92	—	1968.92	—	2205.02	—
	ABRIL	—	2002.46	—	2002.46	—	2272.47	—
1	MAYO	—	2035.99	—	2035.99	—	2341.99	—
9	JUNIO	—	2069.53	—	2069.53	—	2413.63	—
7	JULIO	—	2103.07	—	2103.07	—	2487.47	—
9	AGOSTO	—	2136.61	—	2136.61	—	2563.57	—
	SEPTIEMBRE	—	2170.15	—	2170.15	—	2641.99	—
	OCTUBRE	—	2203.68	—	2203.68	—	2722.81	—
	NOVIEMBRE	—	2237.22	—	2237.22	—	2806.10	—
	DICIEMBRE	—	2270.76	—	2270.76	—	2891.95	—

CUADRO # 4

METODOS: Promedio móvil simple un término (PMS 1 T), promedio móvil simple dos - términos (PMS 2T) y promedio móvil ajustado de dos términos (PMA 2T).

	MES	VENTAS	P.M.S.1 T	ERROR	P.M.S.2 T	ERROR	P.M.A.2 T	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	850	100	—	—	—	—
	MARZO	650	750	100	800	150	—	—
	ABRIL	520	650	130	700	180	550.0	30.0
1	MAYO	590	520	- 70	585	- 5	412.5	- 177.5
9	JUNIO	620	590	- 30	550	- 70	510.0	- 110.0
7	JULIO	670	620	- 50	605	- 65	680.0	10.0
6	AGOSTO	700	670	- 90	645	- 115	705.0	- 55.0
	SEPTIEMBRE	930	760	- 170	715	- 215	820.0	- 110.0
	OCTUBRE	1630	930	- 700	845	- 785	1040.0	- 590.0
	NOVIEMBRE	630	1630	1000	1280	650	1932.5	1302.5
	DICIEMBRE	1000	630	- 370	1130	130	905.0	- 95.0
	ENERO	1250	1000	- 250	815	- 435	342.5	- 907.5
	FEBRERO	920	1250	330	1125	205	1590.0	670.0
	MARZO	1300	920	- 380	1085	- 215	1025.0	- 275.0
	ABRIL	1020	1300	280	1110	90	1147.5	127.5
	MAYO	2250	1020	-1230	1160	-1090	1235.0	-1015.0
9	JUNIO	1450	2250	800	1635	185	2347.5	897.
7	JULIO	1250	1450	200	1850	600	2172.5	922.5
7	AGOSTO	1280	1250	- 30	1350	70	600.0	- 680.0
	SEPTIEMBRE	1270	1280	10	1265	- 5	1137.5	- 132.5
	OCTUBRE	1520	1270	- 250	1276	- 244	1290.0	- 230.0
	NOVIEMBRE	1570	1520	- 50	1395	- 175	1575.0	5.0
	DICIEMBRE	1760	1570	- 190	1545	- 215	1770.0	10.0
	ENERO	2050	1760	- 290	1665	385	1845.0	- 205.0
	FEBRERO	1150	2050	900	1905	755	2265.0	1115.0
	MARZO	1450	1150	- 300	1600	150	1142.5	- 307.5
	ABRIL	1750	1450	- 300	1300	- 450	850.0	- 900.0
1	MAYO	1840	1750	- 90	1600	- 240	1150.0	- 696.0
9	JUNIO	1940	1840	- 100	1795	- 145	2087.5	147.5
7	JULIO	1950	1940	- 10	1890	- 60	2032.5	82.5
6	AGOSTO	1310	1950	640	1945	635	2027.5	717.5
	SEPTIEMBRE	1470	1310	160	1630	160	1157.5	- 312.5
	OCTUBRE	1700	1470	230	1390	- 310	1030.0	- 670.0
	NOVIEMBRE	1250	1700	450	1585	335	1877.5	627.5
	DICIEMBRE	1830	1250	- 580	1475	- 355	1310.0	- 520.0
	ENERO	—	1830	—	1540	—	1637.5	—
	FEBRERO	—	—	—	—	—	1702.5	—
	MARZO	—	—	—	—	—	1767.5	—
	ABRIL	—	—	—	—	—	1832.5	—
1	MAYO	—	—	—	—	—	1897.5	—
9	JUNIO	—	—	—	—	—	1962.5	—
7	JULIO	—	—	—	—	—	2027.5	—
9	AGOSTO	—	—	—	—	—	2092.5	—
	SEPTIEMBRE	—	—	—	—	—	2157.5	—
	OCTUBRE	—	—	—	—	—	2222.5	—
	NOVIEMBRE	—	—	—	—	—	2287.5	—
	DICIEMBRE	—	—	—	—	—	2352.5	—

CUADRO # 5

METODOS: Promedio móvil simple tres términos (PMS 3 T), promedio móvil ajustado - tres términos (PMA 3 T) y promedio móvil simple cuatro términos (PMS4 T)

	MES	VENTAS	P.M.S.3 T	ERROR	P.M.A.3 T	ERROR	P.M.S.4 T	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	
	FEBRERO	750	—	—	—	—	—	
	MARZO	650	—	—	—	—	—	
	ABRIL	520	750.00	230.00	—	—	—	
1	MAYO	590	640.00	50.00	—	—	692.5	102.5
9	JUNIO	620	586.67	- 33.33	442.23	- 177.77	627.5	7.5
7	JULIO	670	576.67	- 93.33	527.79	- 142.21	595.0	- 75.
6	AGOSTO	760	626.67	- 133.33	686.67	- 73.33	600.0	- 160.
	SEPTIEMBRE	930	683.33	- 246.67	792.21	- 137.79	660.0	- 270
	OCTUBRE	1630	786.67	- 843.33	962.23	- 667.77	745.0	- 885
	NOVIEMBRE	630	1106.67	476.67	1602.23	972.23	997.5	367.5
	DICIEMBRE	1000	1063.33	63.33	1218.87	218.87	987.5	- 12.3
	ENERO	1250	1086.67	- 163.33	1086.89	- 161.11	1047.5	- 202.5
	FEBRERO	920	960.00	40.00	806.66	- 113.34	1127.5	207.5
	MARZO	1300	1056.67	- 243.33	1101.11	- 198.89	950.0	- 350.0
	ABRIL	1020	1156.67	136.67	1354.45	334.45	1117.5	97.5
1	MAYO	2250	1080.00	-1170.00	1044.44	-1205.56	1122.5	-1127.5
9	JUNIO	1450	1523.33	73.33	2063.33	613.33	1372.5	- 77.5
7	JULIO	1250	1573.33	323.33	1935.55	685.55	1505.0	255
7	AGOSTO	1280	1650.00	370.00	1785.56	505.56	1492.5	212.5
	SEPTIEMBRE	1270	1326.67	56.67	946.67	- 323.33	1557.5	287.5
	OCTUBRE	1520	1266.67	- 253.33	971.11	- 548.89	1312.5	- 207.5
	NOVIEMBRE	1570	1356.67	- 213.33	1436.67	- 133.33	1330.0	- 240
	DICIEMBRE	1760	1453.33	- 306.67	1642.21	- 117.79	1410.0	- 350
	ENERO	2050	1616.67	- 433.33	1898.89	- 151.11	1530.0	- 520
	FEBRERO	1150	1793.33	643.33	2137.77	987.77	1725.0	575
	MARZO	1450	1653.33	203.33	1584.43	134.43	1632.5	182.5
	ABRIL	1750	1550.00	- 200.00	1318.90	- 431.10	1602.5	- 147.5
1	MAYO	1840	1450.00	- 390.00	1247.78	- 592.22	1600.0	- 240
9	JUNIO	1940	1680.00	- 260.00	1920.00	- 20.00	1547.5	- 392.5
7	JULIO	1950	1843.33	- 106.67	2214.43	264.43	1745.0	- 205
8	AGOSTO	1310	1910.00	600.00	2107.78	797.78	1870.0	560
	SEPTIEMBRE	1470	1733.33	263.33	1542.21	72.21	1760.0	290
	OCTUBRE	1700	1576.67	- 123.33	1250.00	- 450	1667.5	- 32.5
	NOVIEMBRE	1250	1493.33	243.33	1277.77	27.77	1607.5	357.5
	DICIEMBRE	1830	1473.33	- 356.67	1391.11	- 438.89	1432.5	- 397.5
	ENERO	—	1593.33		1739.99	—	1562.5	—
	FEBRERO	—	—		1813.32	—	—	—
	MARZO	—	—		1886.65	—	—	—
	ABRIL	—	—		1959.98	—	—	—
1	MAYO	—	—		2033.31	—	—	—
9	JUNIO	—	—		2106.64	—	—	—
7	JULIO	—	—		2179.97	—	—	—
9	AGOSTO	—	—		2253.30	—	—	—
	SEPTIEMBRE	—	—		2326.63	—	—	—
	OCTUBRE	—	—		2399.96	—	—	—
	NOVIEMBRE	—	—		2473.29	—	—	—
	DICIEMBRE	—	—		2546.62	—	—	—

CUADRO #6

METODOS: Promedio móvil ajustado cuatro términos (PMA 4 T), promedio ponderado exponencialmente α=0.1 (PPE α=0.1) y promedio ponderado exponencialmente ajustado α=0.1 (PPEA α=0.1).

	MES	VENTAS	P.M.A4 T	ERROR	P.P.Eα=0.1	ERROR	PPEAα=0.1	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—	—	—
	FEBRERO	750	—	—	850.00	100	850.00	100
	MARZO	650	—	—	840.00	190	830.00	180
	ABRIL	520	—	—	821.00	301	793.00	273
1	MAYO	590	—	—	790.90	200.9	735.60	145.6
9	JUNIO	620	—	—	770.81	150.81	700.94	80.94
7	JULIO	670	—	—	755.73	85.73	677.77	7.77
6	AGOSTO	760	552.08	- 207.92	747.16	- 12.84	688.43	- 71.57
	SEPTIEMBRE	930	725.62	- 204.38	748.44	- 181.56	678.86	- 251.14
	OCTUBRE	1630	903.33	- 726.67	766.60	- 863.40	722.26	- 907.74
	NOVIEMBRE	630	1408.96	778.96	852.94	222.94	899.37	269.37
	DICIEMBRE	1000	1220.83	220.83	830.64	- 169.36	850.13	- 149.87
	O	1250	1219.37	- 30.63	847.58	- 402.42	882.06	- 367.94
	ERO	920	1273.33	353.33	887.82	- 32.18	959.09	39.09
	O	1300	819.79	- 480.21	891.04	- 408.96	958.81	- 341.19
	IL	1020	1212.29	192.29	931.93	- 88.07	1033.81	13.81
1	MAYO	2250	1194.37	-1055.63	940.74	-1309.26	1041.24	-1208.76
9	JUNIO	1650	1758.96	308.96	1071.67	- 378.33	1293.05	- 156.95
7	JULIO	1250	1881.04	631.04	1109.50	- 140.50	1346.57	96.57
7	AGOSTO	1280	1691.46	411.46	1123.55	- 156.45	1350.96	70.96
	SEPTIEMBRE	1270	1683.54	413.54	1139.20	- 130.80	1359.52	89.52
	OCTUBRE	1570	1055.21	- 464.79	1152.28	- 367.72	1363.65	- 156.35
	NOVIEMBRE	1570	1174.79	- 395.21	1189.05	- 380.95	1416.05	- 153.35
	DICIEMBRE	1760	1422.50	- 337.5	1227.14	- 532.86	1469.53	- 290.47
	ENERO	2050	1753.96	- 296.04	1280.43	- 769.57	1551.87	- 498.13
	FEBRERO	1150	2102.08	952.08	1357.39	207.39	1678.65	528.65
	MARZO	1450	1729.37	279.37	1336.65	- 113.35	1605.04	155.04
	ABRIL	1750	1569.17	- 180.83	1347.98	- 402.02	1600.86	- 149.14
1	MAYO	1840	1533.33	- 306.67	1388.18	- 451.82	1655.97	- 184.03
9	JUNIO	1940	1467.29	- 472.71	1443.37	- 496.63	1739.57	- 200.43
7	JULIO	1950	1947.08	- 2.92	1493.03	- 456.97	1809.27	- 140.73
8	AGOSTO	1310	2168.96	858.96	1538.73	228.73	1869.05	559.05
	SEPTIEMBRE	1470	1808.96	338.96	1515.85	45.85	1790.26	320.26
	OCTUBRE	1700	1512.29	- 187.71	1511.27	- 188.73	1753.66	53.66
	NOVIEMBRE	1250	1409.58	159.58	1530.14	280.14	1767.16	517.16
	DICIEMBRE	1830	1125.21	- 704.79	1502.13	- 327.87	1687.39	- 142.61
	ENERO	—	1554.17	—	1534.91	—	1734.47	
	FEBRERO	—	1550.83	—	—	—	1754.42	
	MARZO	—	1547.50	—	—	—	1774.38	
	ABRIL	—	1544.17	—	—	—	1794.33	
1	MAYO	—	1540.83	—	—	—	1814.29	
5	JUNIO	—	1537.50	—	—	—	1834.24	
	JULIO	—	1534.17	—	—	—	1854.20	
	AGOSTO	—	1530.83	—	—	—	1874.15	
	SEPTIEMBRE	—	1527.50	—	—	—	1894.11	
	OCTUBRE	—	1524.17	—	—	—	1914.07	
	NOVIEMBRE	—	1520.83	—	—	—	1934.02	
	DICIEMBRE	—	1517.5	—	—	—	1953.98	

CUADRO # 7

METODOS: Promedio ponderado exponencialmente con α=.2 (PPEα=.2), promedio ponderado exponencialmente ajustado con α=.2(PPEAα=.2) y promedio ponderado exponencialmente α=.3 (PPEα=.3)

MES	VENTAS	P.P.Eα=.2	ERROR	P.P.EAα=.2	ERROR	P.P.Eα=.3	ERROR
ENERO	650	—	—	—	—	—	—
FEBRERO	750	850	100	850	100	850	100
MARZO	650	830	180	810	160	820	170
ABRIL	520	794	274	742	222	760	240
1 MAYO	590	739.2	149.2	642.8	52.8	694.3	104.3
9 JUNIO	620	709.36	89.36	602.4	- 17.6	663.01	43.[illegible]
7 JULIO	670	691.49	21.49	588.05	- 81.95	650.11	- 19.8[illegible]
6 AGOSTO	760	687.19	- 72.81	600.14	- 159.86	656.07	- 103.93
SEPTIEMBRE	930	701.75	- 228.25	646.68	- 283.32	687.25	- 242.75
OCTUBRE	1630	747.40	- 882.60	748.99	- 881.01	760.08	- 869.92
NOVIEMBRE	630	923.92	293.92	1101.71	471.71	1021.05	391.05
DICIEMBRE	1000	865.14	- 134.86	948.59	- 51.41	903.74	- 96.26
ENERO	1250	892.11	- 357.89	985.54	- 265.46	932.62	- 317.38
FEBRERO	920	963.69	43.69	1110.25	190.25	1027.83	107.83
MARZO	1300	954.95	- 345.05	1063.46	- 236.54	995.48	- 304.52
ABRIL	1020	1023.96	3.96	1179.79	159.79	1086.84	66.84
1 MAYO	2250	1023.17	-1226.83	1149.05	-1100.95	1066.79	-1183.21
9 JUNIO	1450	1268.53	- 181.47	1612.98	162.98	1421,75	- 28.25
7 JULIO	1250	1304.83	54.83	1616.69	366.69	1430.23	180.23
7 AGOSTO	1280	1293.86	13.86	1532.39	252.39	1376.16	96.16
SEPTIEMBRE	1270	1291.09	21.09	1479.14	209.14	1347.31	77.31
OCTUBRE	1520	1286.87	- 233.13	1433.08	- 86.92	1324.12	- 195.88
NOVIEMBRE	1570	1333.50	- 236.50	1497.10	- 72.90	1382.88	- 187.12
DICIEMBRE	1760	1380.80	- 379.20	1558.99	- 201.01	1439.02	- 320.98
ENERO	2050	1456.64	- 593.36	1657.03	- 392.97	1535.31	- 514.69
FEBRERO	1150	1575.31	425.31	1868.69	718.69	1689.72	539.72
MARZO	1450	1490.25	40.25	1639.89	189.89	1527.80	77.80
ABRIL	1750	1482.2	- 267.8	1593.86	- 156.14	1504.46	- 245.54
1 MAYO	1240	1535.76	- 304.24	1678.65	- 161.35	1578.12	- 261.88
9 JUNIO	1940	1596.61	- 343.39	1771.77	- 168.23	1656.69	- 283.31
7 JULIO	1950	1665.29	- 284.71	1874.10	- 75.90	1741.68	- 208.32
8 AGOSTO	1310	1722.23	412.23	1946.22	636.22	1804.18	494.18
SEPTIEMBRE	1470	1639.78	169.78	1736.52	266.52	1655.92	185.92
OCTUBRE	1700	1605.83	- 94.17	1649.27	- 50.73	1600.15	- 99.85
NOVIEMBRE	1250	1624.66	374.66	1678.25	428.25	1630.10	380.10
DICIEMBRE	1830	1549.73	280.27	1517.67	- 312.33	1516.07	- 313.93
ENERO	—	1605.78		1636.18		1610.25	
FEBRERO	—			1642.26			
MARZO	—			1648.34			
ABRIL	—			1654.42			
1 MAYO	—			1660.50			
9 JUNIO	—			1666.58			
7 JULIO	—			1672.66			
9 AGOSTO	—			1678.74			
SEPTIEMBRE	—			1684.82			
OCTUBRE	—			1690.96			
NOVIEMBRE	—			1696.98			
DICIEMBRE	—			1703.06			

CUADRO # 8

METODO: Promedio ponderado exponencialmente con Ajuste de Tendencia α=.3 y curva Progresiva.

	MES	VENTAS	PPEAα=.3	ERROR	CURVA P.	ERROR
	ENERO	850	—	—	—	—
	FEBRERO	750	850	100	850	100
	MARZO	650	790	140	661.75	11.75
	ABRIL	520	697	177	570.09	50.09
1	MAYO	590	569.2	- 20.8	454.68	- 135.32
9	JUNIO	620	544.15	- 75.85	476.42	- 143.58
7	JULIO	670	554.01	- 115.99	508.87	- 161.13
6	AGOSTO	760	594.76	- 165.24	554.07	- 105.93
	SEPTIEMBRE	930	675.51	- 254.49	621.85	- 308.15
	OCTUBRE	1630	824.69	- 805.31	731.64	- 898.36
	NOVIEMBRE	630	1327.25	697.25	1018.71	388.71
	DICIEMBRE	1000	1000.77	0.77	903.06	- 96.94
	ENERO	1250	1027.42	- 222.58	965.06	- 284.94
	FEBRERO	920	1190.80	270.80	1083.66	163.66
	MARZO	1300	1077.21	- 222.79	1081.49	- 218.51
	ABRIL	1020	1235.41	215.41	1182.39	162.39
1	MAYO	2250	1150.73	-1099.27	1191.77	-1058.23
9	JUNIO	1450	1835.48	385.48	1442.59	- 7.41
7	JULIO	1250	1728.32	478.32	1524.31	274.31
7	AGOSTO	1280	1530.75	250.75	153.17	263.17
	SEPTIEMBRE	1270	1426.67	156.67	1564.15	294.15
	OCTUBRE	1520	1356.49	- 163.51	1577.03	57.03
	NOVIEMBRE	1570	1464.29	- 105.71	1639.42	69.42
	DICIEMBRE	1760	1552.15	- 207.85	1702.23	- 57.77
	ENERO	2050	1710.80	- 339.2	1789.69	- 260.31
	FEBRERO	1150	1966.96	816.96	1912.94	762.94
	MARZO	1450	1559.96	109.96	1852.51	402.51
	ABRIL	1750	1503.63	- 246.37	1862.91	112.91
1	MAYO	1840	1651.19	- 188.81	1921.39	81.38
9	JUNIO	1940	1786.42	- 153.58	1986.83	46.83
7	JULIO	1950	1917.48	- 32.52	2059.46	209.46
8	AGOSTO	1310	1989.74	679.74	2126.43	816.43
	SEPTIEMBRE	1470	1637.55	167.55	2080.36	610.36
	OCTUBRE	1700	1531.52	- 168.48	1067.50	367.50
	NOVIEMBRE	1250	1612.01	362.01	1090.37	840.37
	DICIEMBRE	1830	1389.37	- 440.63	2037.33	207.33
	ENERO		1615.75		2014.04	
	FEBRERO		1617.40		2139.56	
	MARZO		1619.05		2205.01	
	ABRIL		1620.70		2272.47	
1	MAYO		1622.35		2341.98	
9	JUNIO		1624.00		2413.63	
7	JULIO		1625.65		2487.47	
9	AGOSTO		1627.30		2563.56	
	SEPTIEMBRE		1628.95		2641.98	
	OCTUBRE		1630.60		2722.81	
	NOVIEMBRE		1632.25		1806.10	
	DICIEMBRE		1633.90		2891.94	

CUADRO # 9

EVALUACION DE LOS 16 METODOS DE PRONOSTICOS

METODO	$\lvert E\% \rvert$	$\bar{E}$	S_E
Ajuste de Recta (*)	20.31	0	315.61
Ajuste de Curva (*)	19.98	- 33.409	340.19
Ajuste de Recta progresiva (*)	21.13	18.06	362.73
Ajuste de curva progresiva (*)	23.08	67.31.	395.19
Prom. móvil simple término	25.73	- 28	436.90
Prom. móvil simple 2 términos	23.12	- 37.64	386.46
P.M. ajustado 2 términos (*)	36.03	- 39.93	586.03
P.M. simple 3 términos	21.69	- 54.44	373.42
P.M. ajustado 3 términos (*)	29.81	- 15.15	495.04
P.M. simple 4 términos	21.49	- 74.68	374.95
P.M. ajustado 4 términos (*)	31.50	- 5.3534	497.42
Promedio ponderado exponencialmente con α=.1	22.30	-187.47	353.15
P.P.E. ajustado con α=0.1 (*)	→19.47	- 50.78	→350.17
P.P.E. con α=0.2	→19.39	-104.96	→340.65
P.P.E. ajustado con α=0.2 (*)	21.1	- 4.799	357.67
P.P.E. con α=0.3	→19.65	- 70.39	→342.48
P.P.E. ajustado con α=0.3 (*)	23.04	- .508	379.43

(*) Métodos que permiten pronosticar los 12 meses de 1979.

Obsérvese que el error medio $\bar{E}$ sirve únicamente para indicar si en promedio el método produjo pronósticos atrasados o adelantados. Si definimos (como lo estamos haciendo en este ejemplo) el error como:

$$\bar{E} = \text{pronóstico} - \text{ventas}$$

esto conduce a que si $\bar{E}$ es negativo los pronósticos en promedio estuvieron atrasados y si $\bar{E}$ es positivo, esto indica que los pronósticos en promedio estuvieron adelantados. Debe resaltarse también que el error medio $\bar{E}$ de la recta será siempre cero.

El cuadro # 9 muestra que para el criterio $|\bar{E}\%|$ el mejor método es el promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.2$, sin embargo muestra también que el método del promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.3$ es bastante bueno. (*). El criterio S_e confirma que estos dos métodos son los mejores, sin embargo ninguno de los dos nos permite pronosticar las ventas de los 12 meses de 1979. Desde el punto de vista de los dos criterios que estamos utilizando, el método del P.P.E. ajustado con $\alpha = 0.1$ quedó en tercer lugar y por lo tanto podremos utilizarlo para pronosticar los 12 meses de 1979. Pero no debemos olvidar que si simplemente queremos pronosticar las ventas del mes siguiente, el mejor método será el promedio ponderado exponencialmente con $\alpha = 0.2$.

En las 18 gráficas que presentamos se muestran las ventas reales, los "pronósticos" obtenidos para los 36 meses de 1976, 1977 y 1978 y los pronósticos para los 12 meses de 1979, con y sin estacionalidad. Obsérvese que los métodos del promedio móvil simple y del promedio ponderado exponencialmente sin ajuste de tendencia no permiten pronosticar más allá de Enero de 1979 y por lo tanto las gráficas correspondientes terminan en este mes.

(*) No estamos considerando la recta y la curva, sino la recta progresiva y la curva progresiva.

Para todos los pronósticos con estacionalidad se utilizaron los índices estacionales del cuadro # 2. En la gráfica # 2 se presentan dos métodos para la determinación de los pronósticos con estacionalidad. En el primero se utilizaron los índices estacionales del cuadro # 2 y en el segundo el procedimiento fue el siguiente:

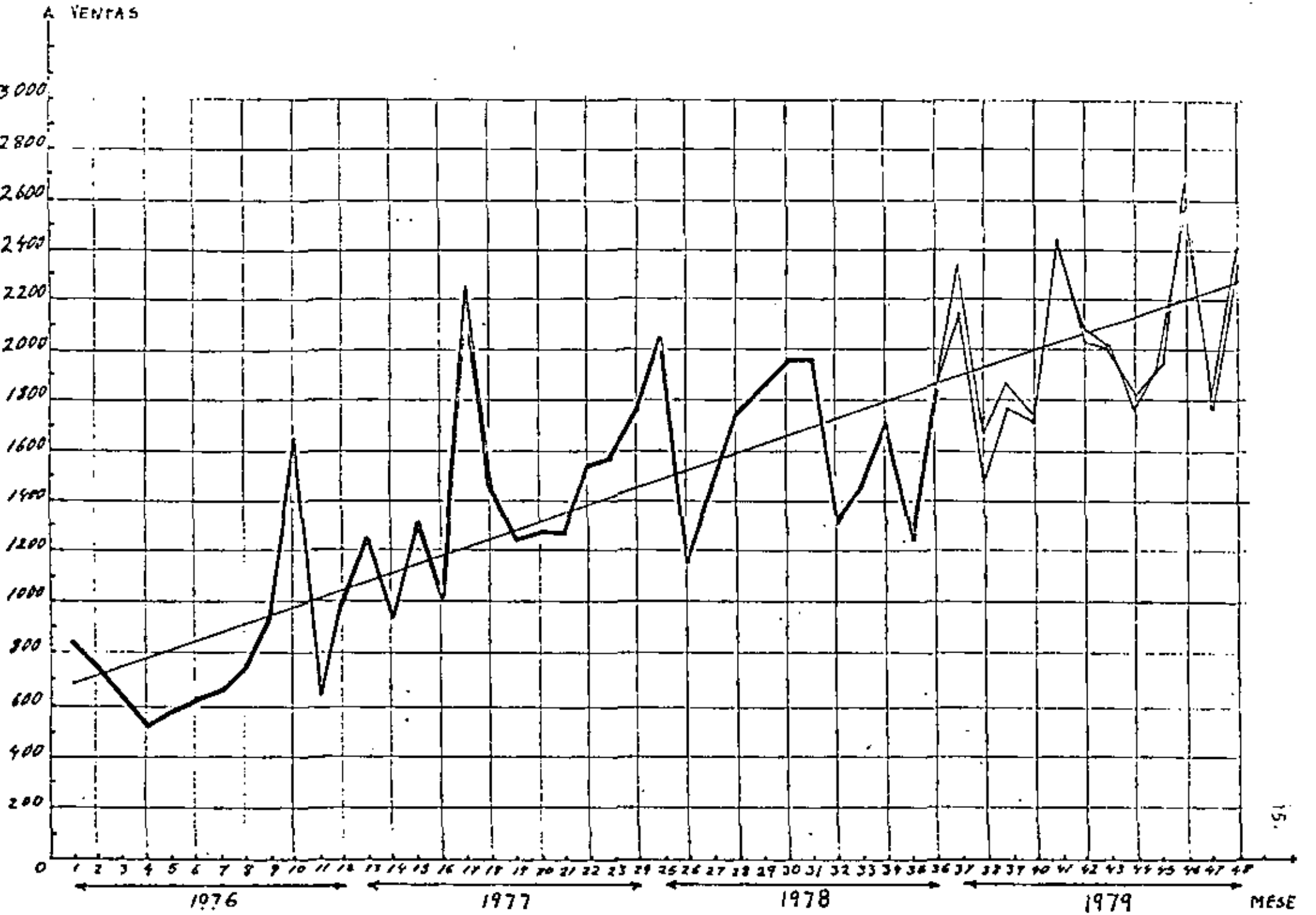
a) Para cada mes de cada uno de los años se dividió el pronóstico entre el volumen de ventas correspondiente y así se obtuvieron tres "índices" para cada mes.

b) Se sacaron 12 índices promedio (por ejemplo, 1.32, 0.73, etc)

c) Se multiplicaron los pronósticos de cada mes por el índice correspondiente obtenido en b).

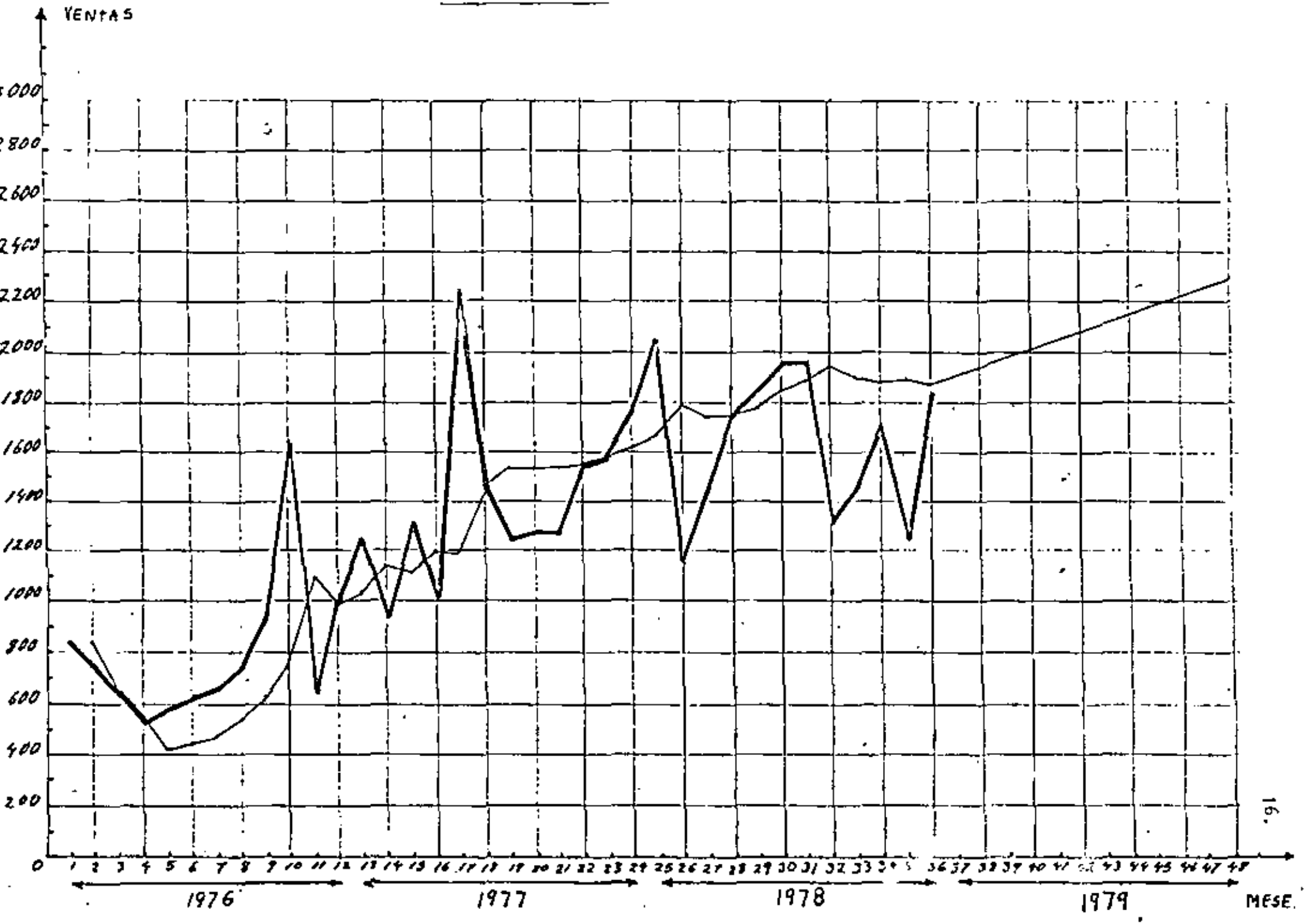
GRAFICA Nº 2

RECTA DE MINIMOS CUADRADOS



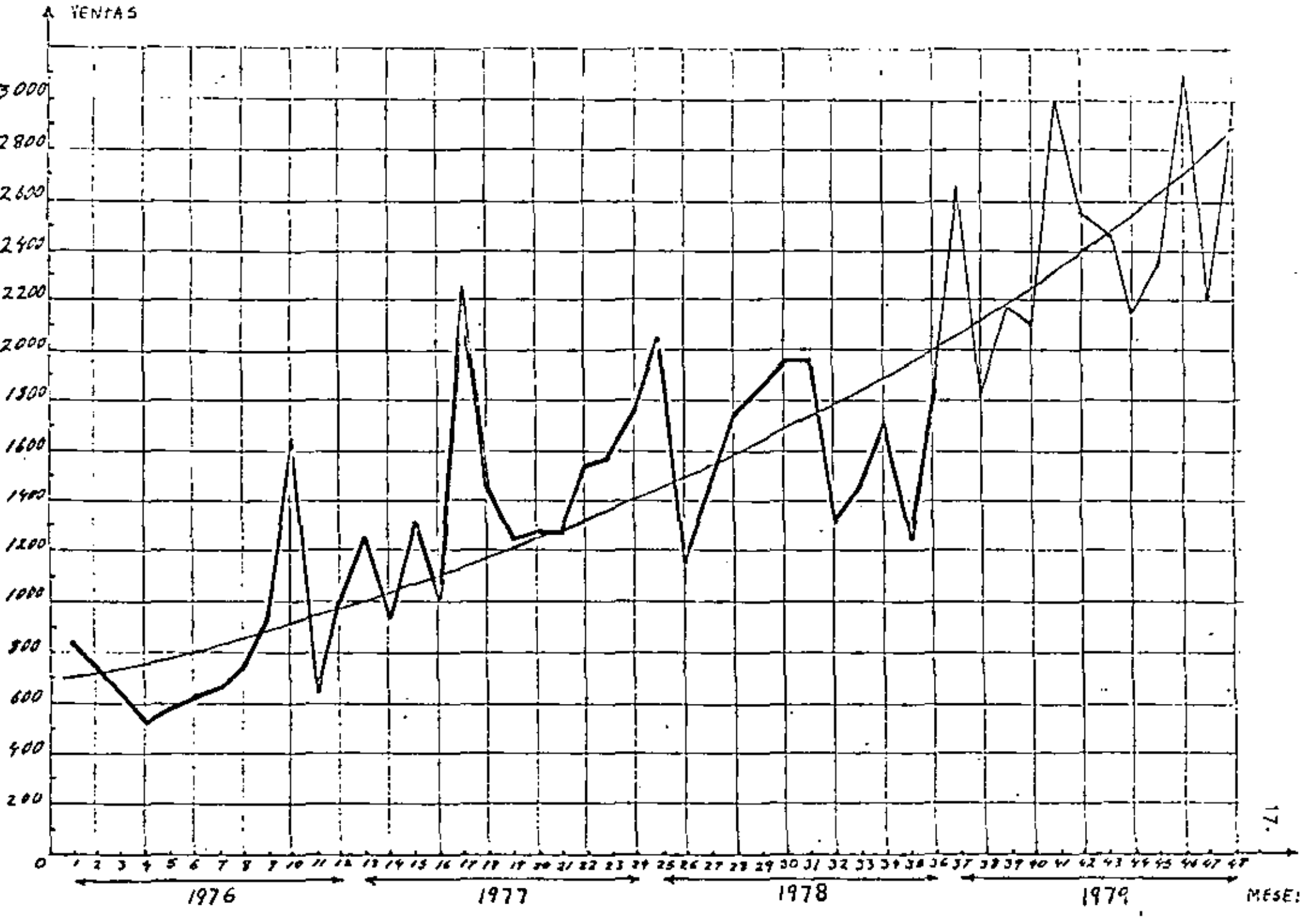
GRAFICA # 3

RECTA PROGRESIVA



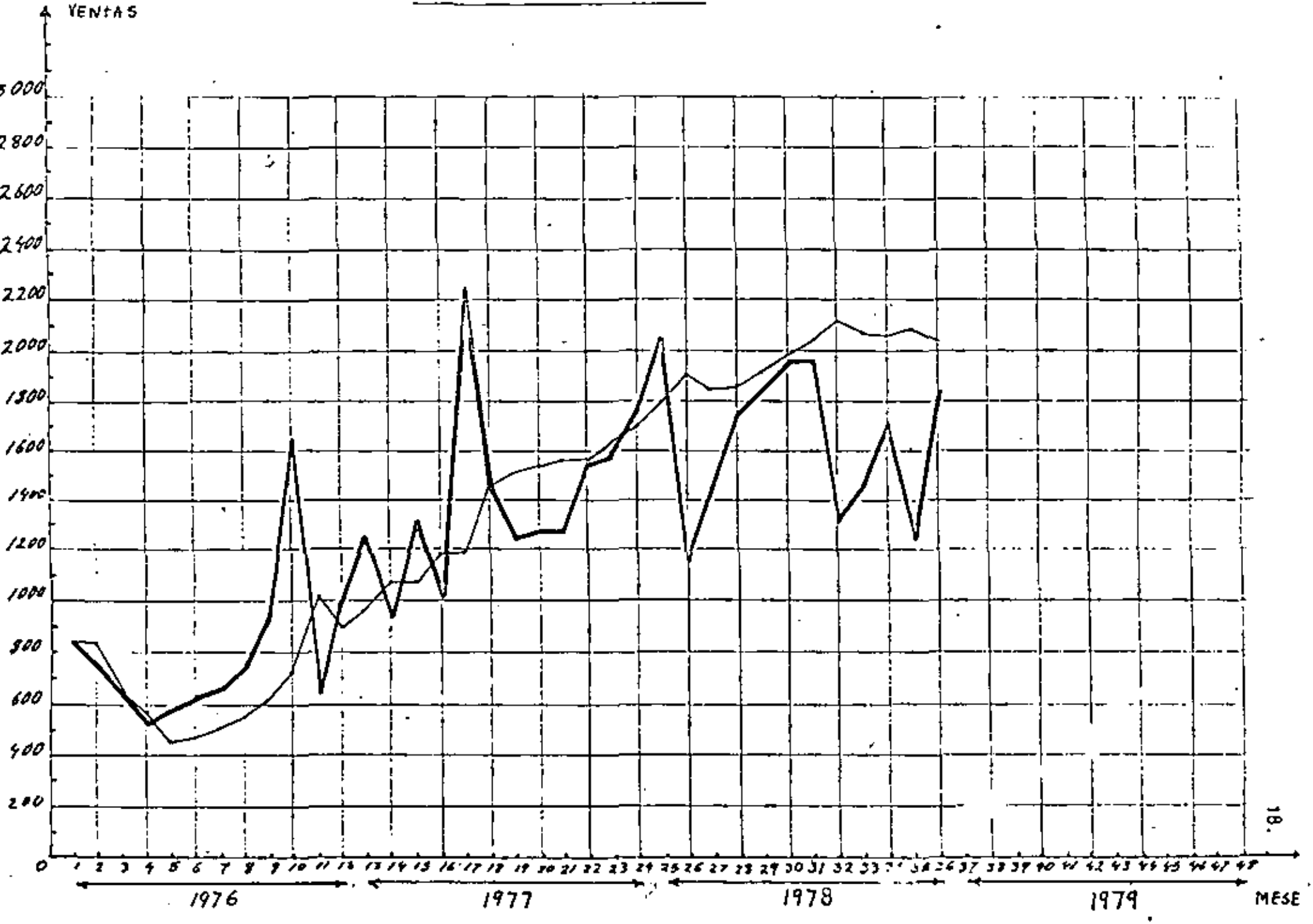
GRAFICA # 4

CURVA EXPONENCIAL



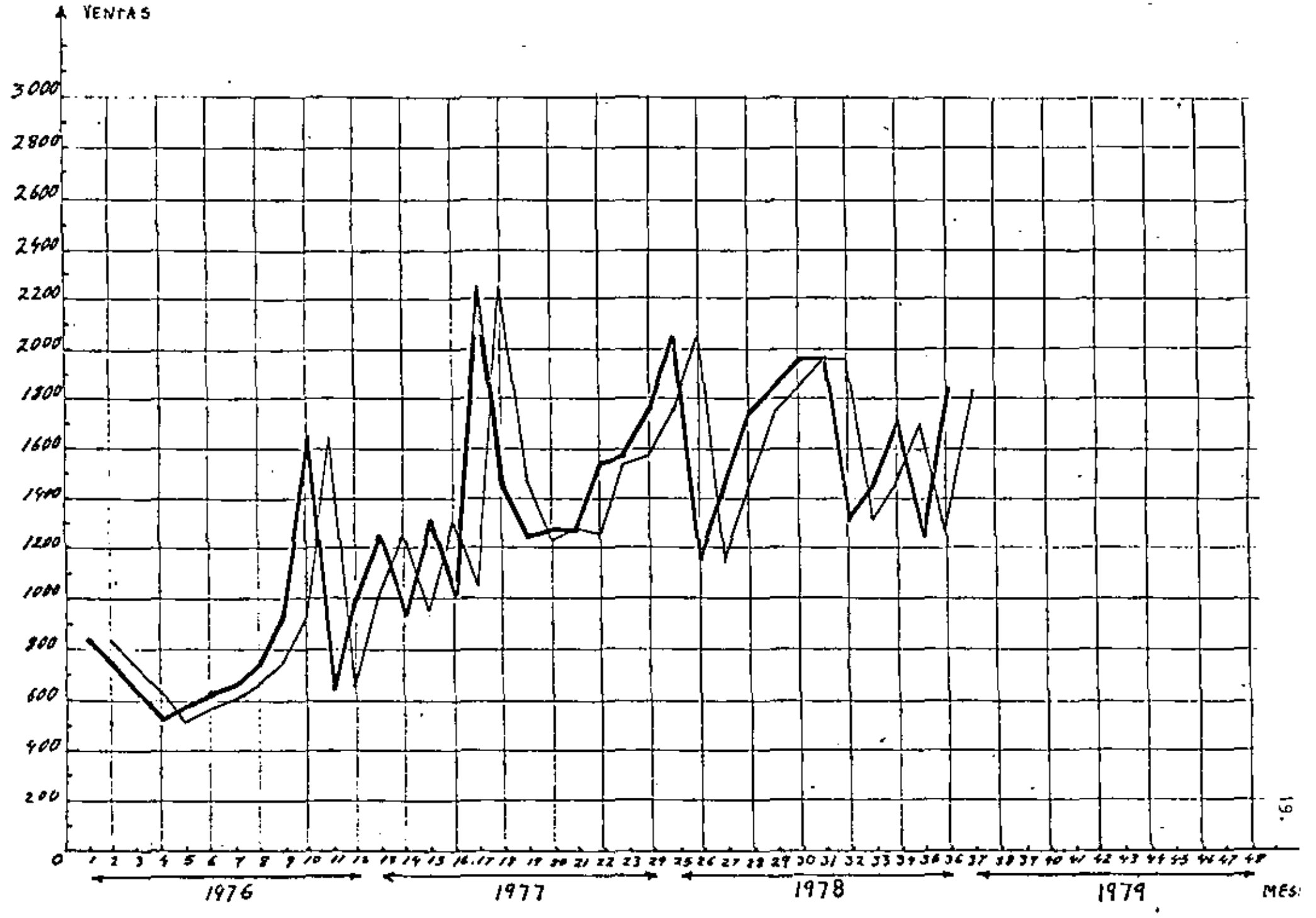
GRAFICA # 5

CURVA EXPONENCIAL PROGRESIVA



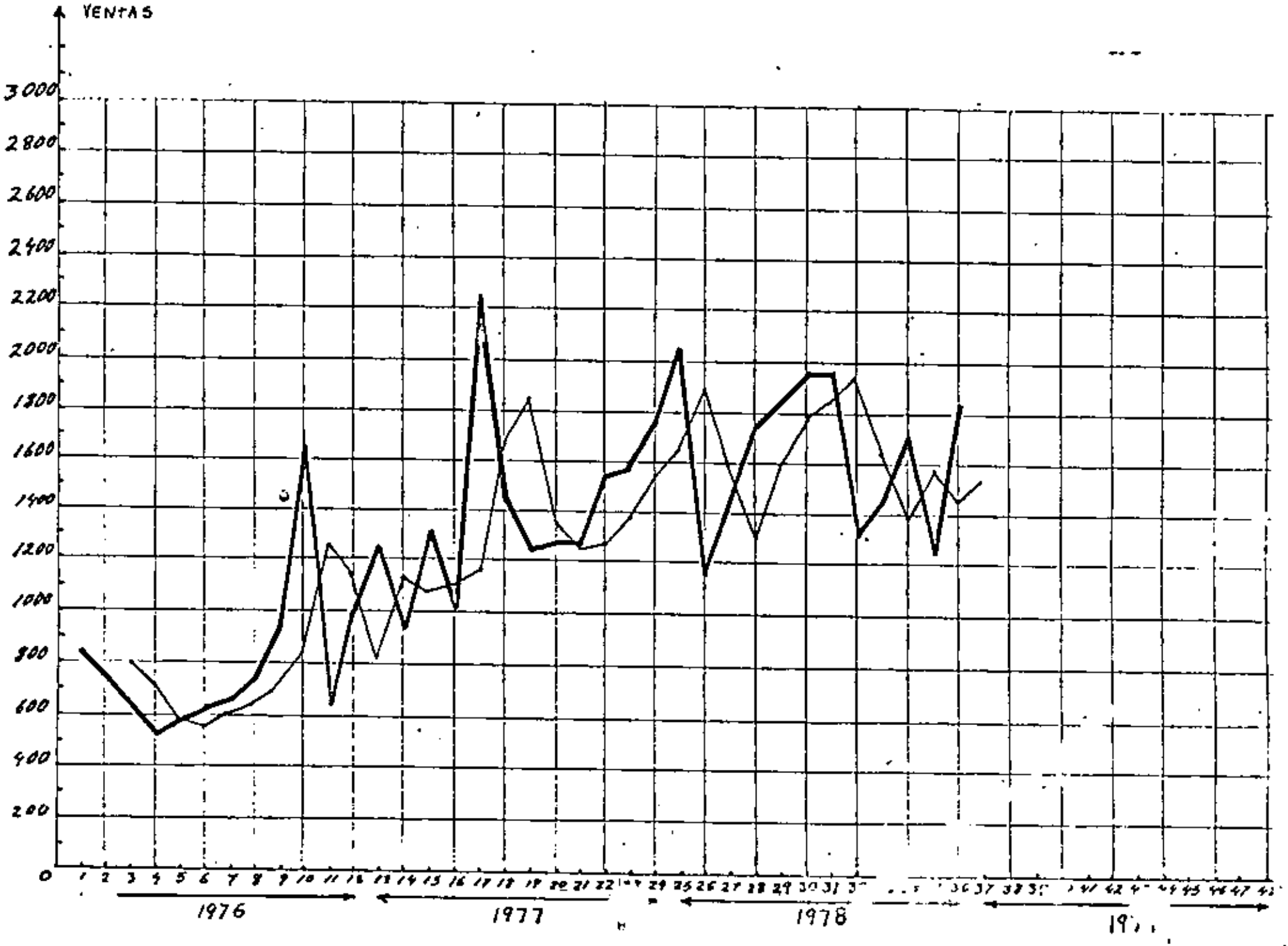
GRAFICA # 6

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE UN TERMINO



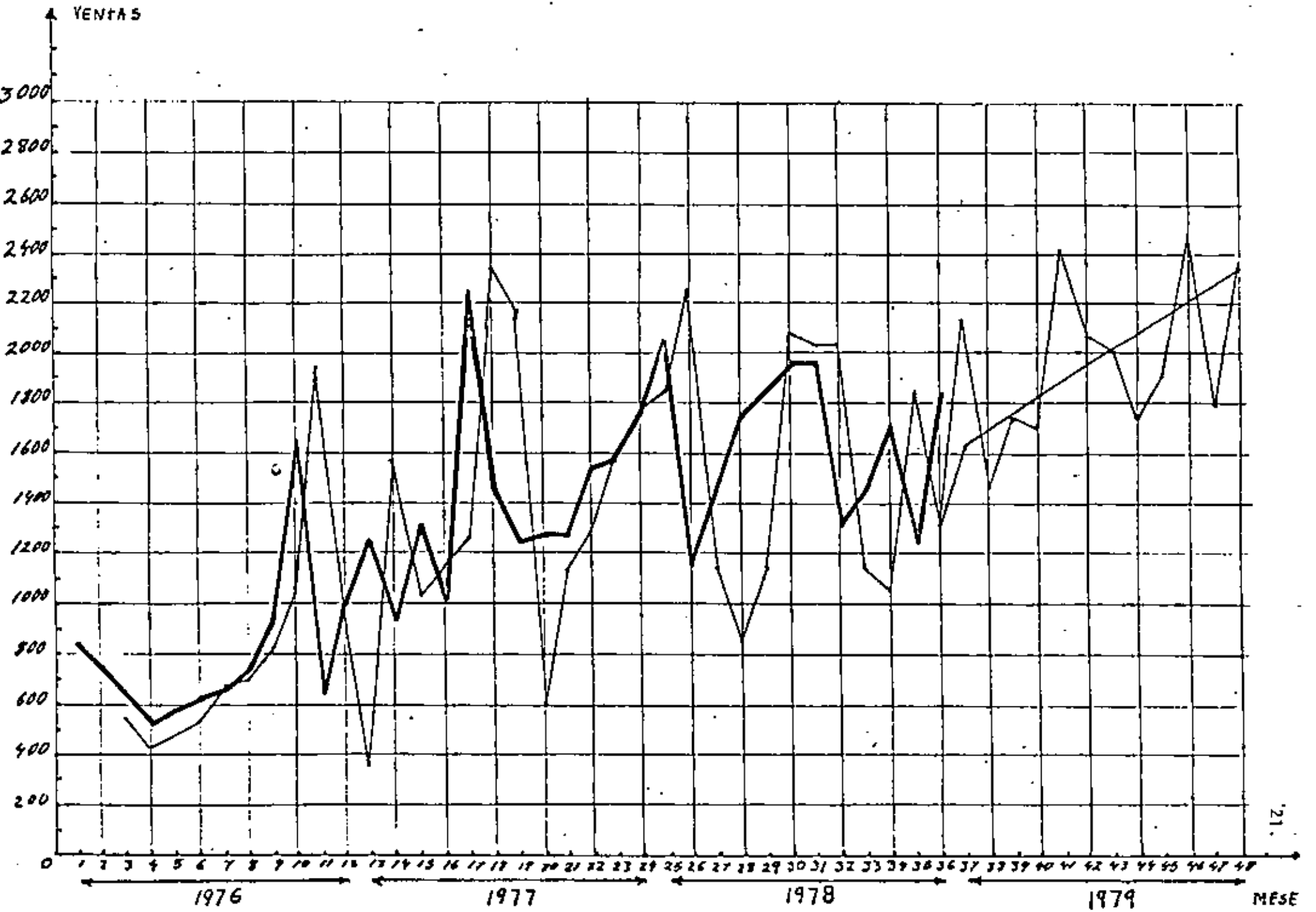
GRAFICA #7

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE DOS TERMINOS



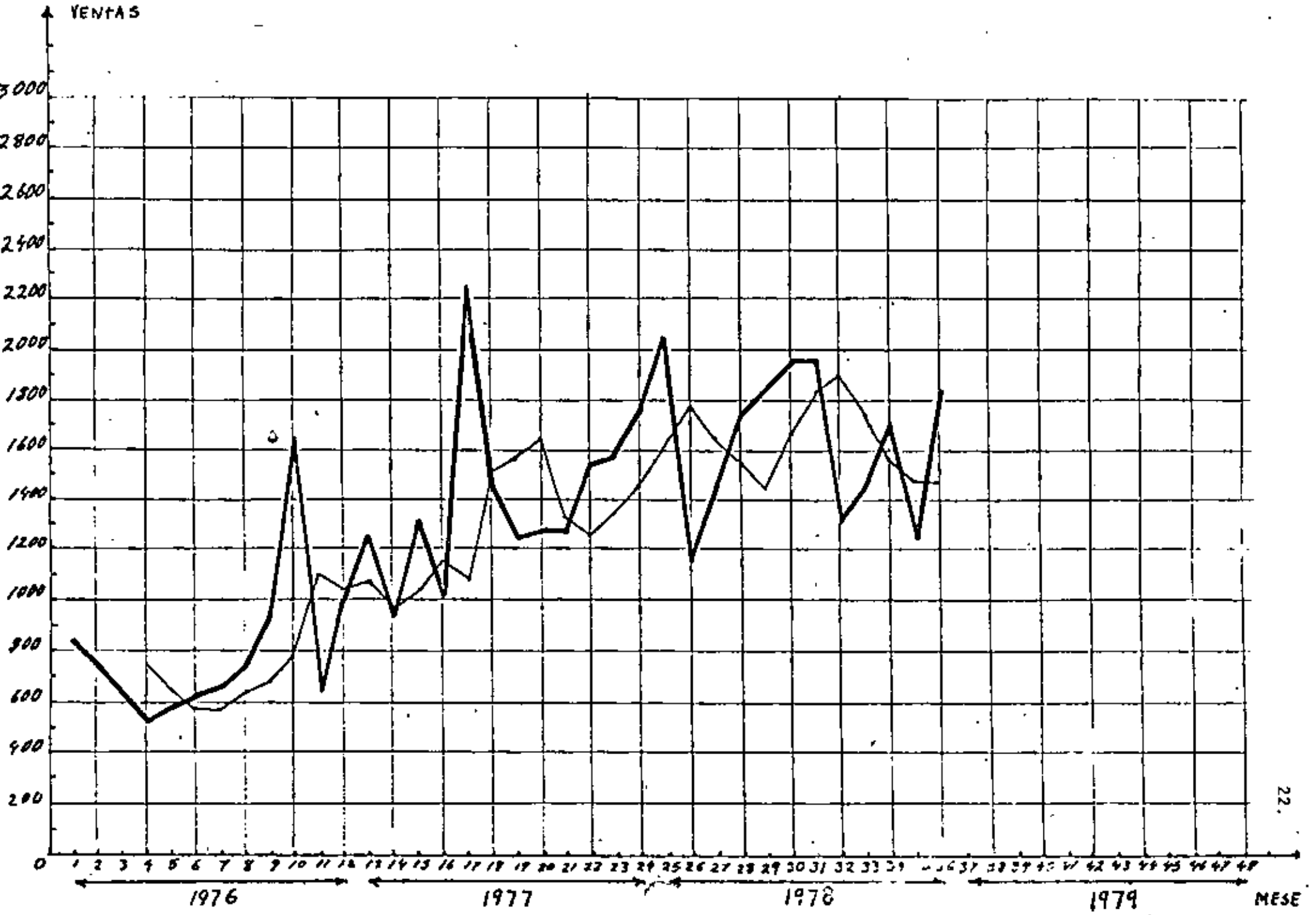
GRAFICA # 7

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO - DE DOS TERMINOS



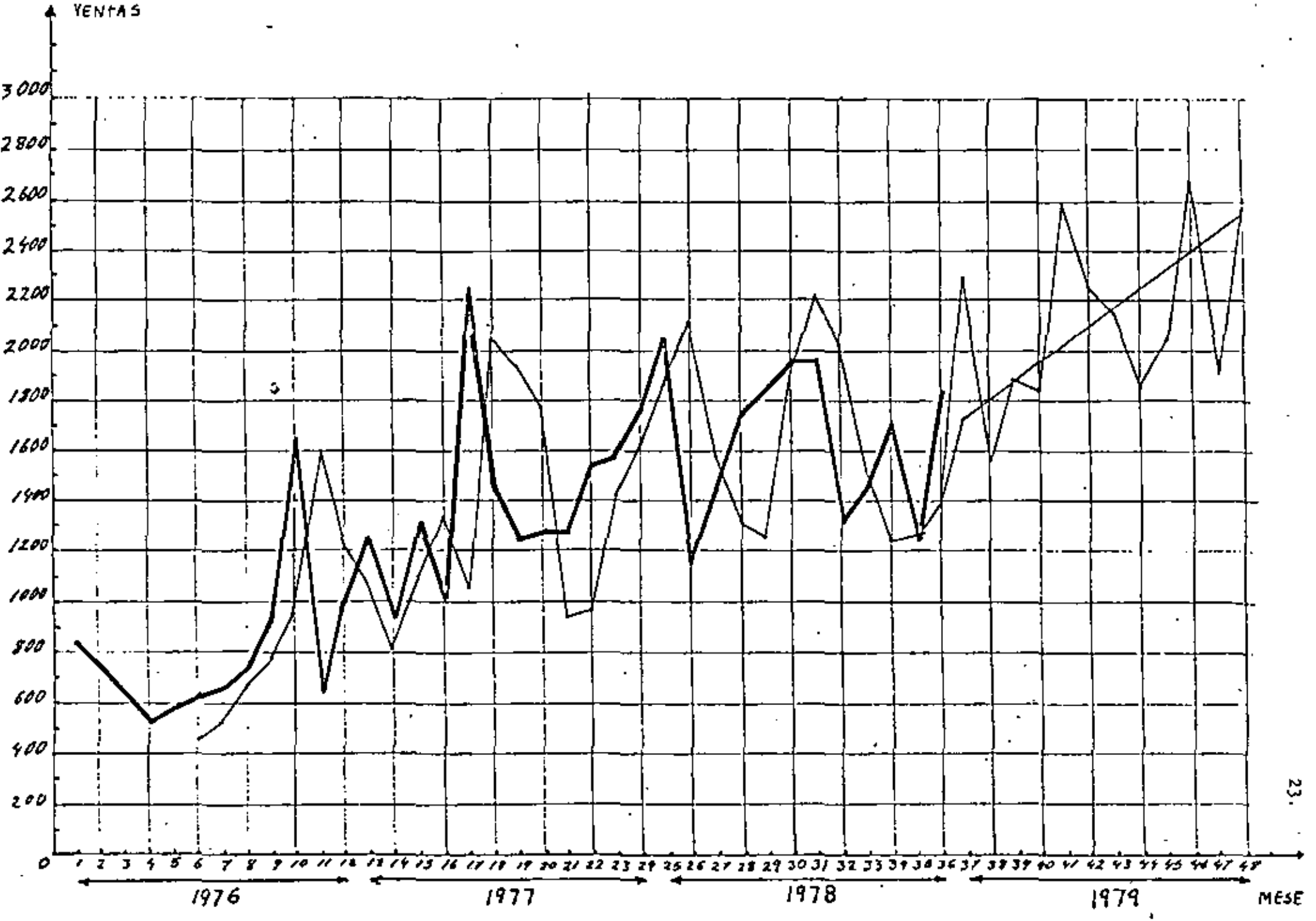
GRAFICA # 5

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE TRES TERMINOS



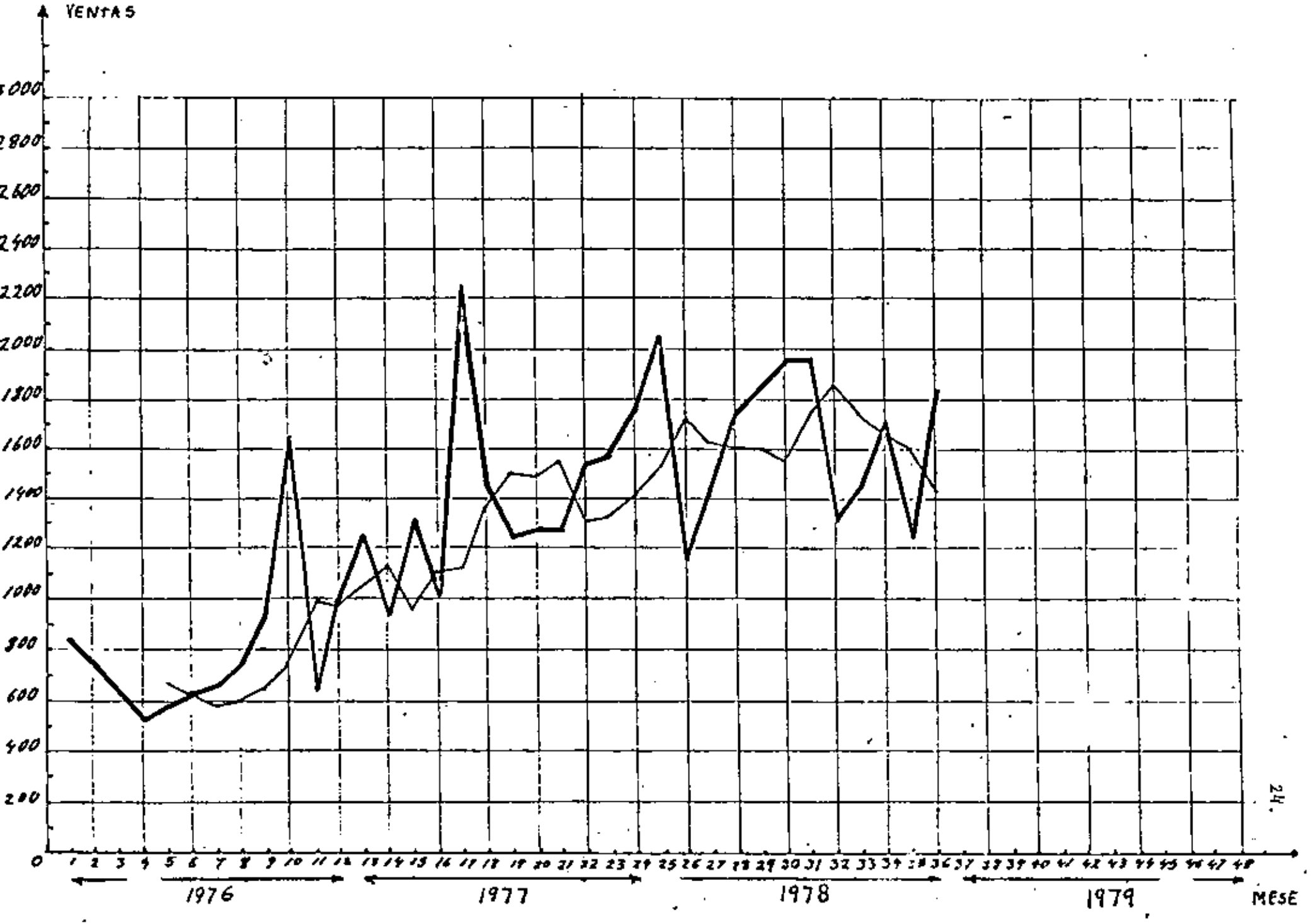
G .CA N 10

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE TRES TERMINOS



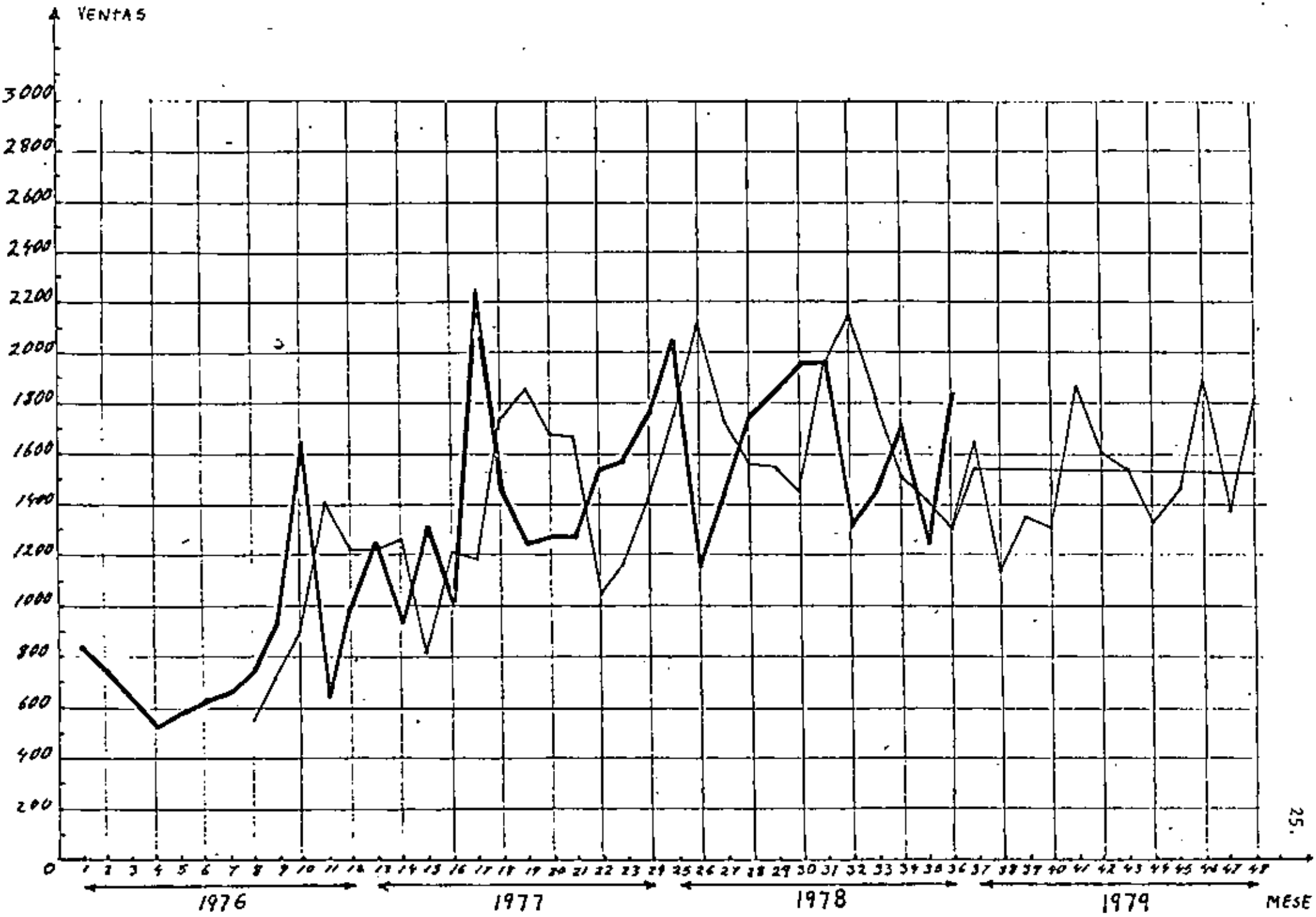
GRAFICA # 11

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE CUATRO TERMINOS



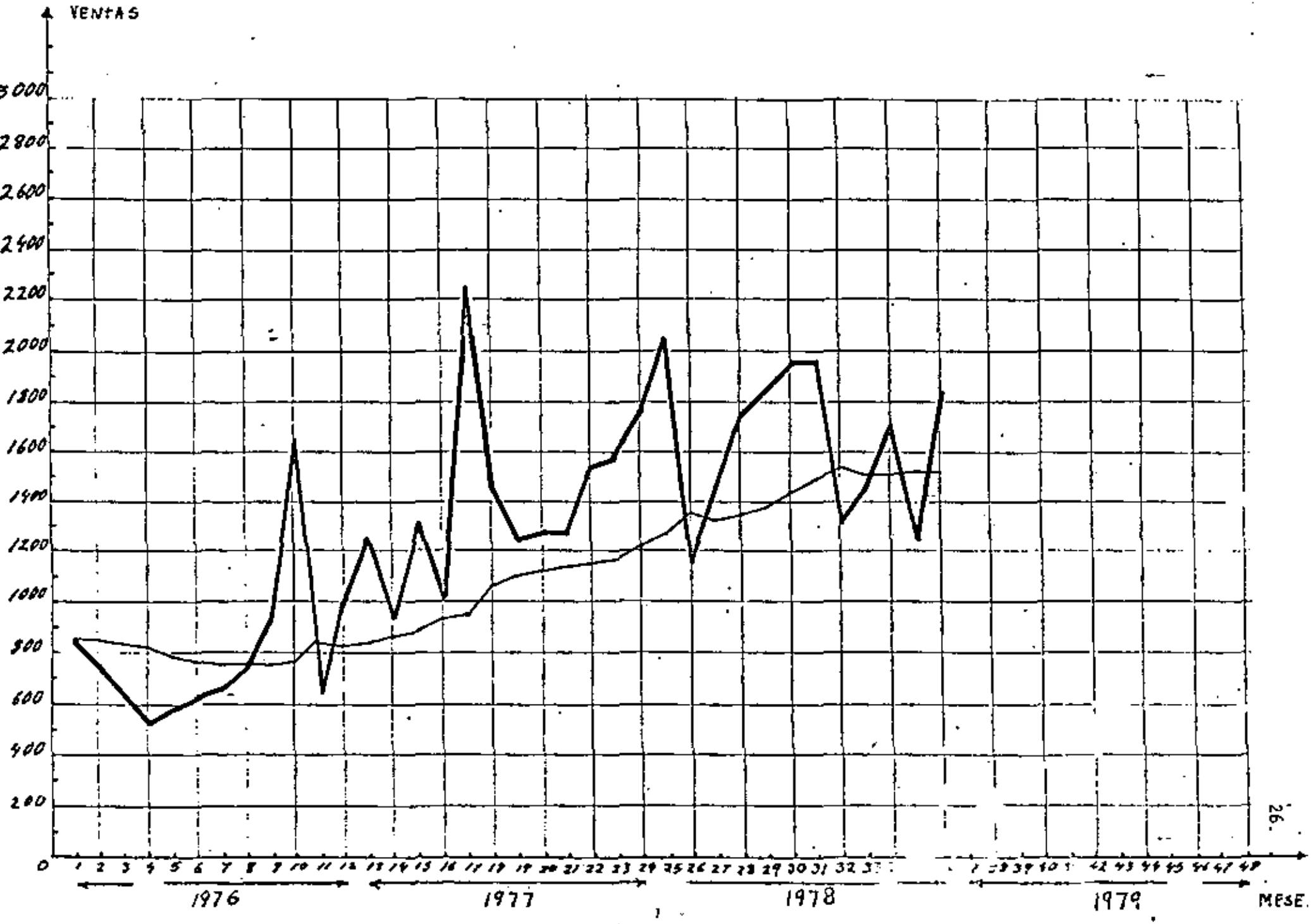
GRAFICA # 12

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CUATRO TERMINOS



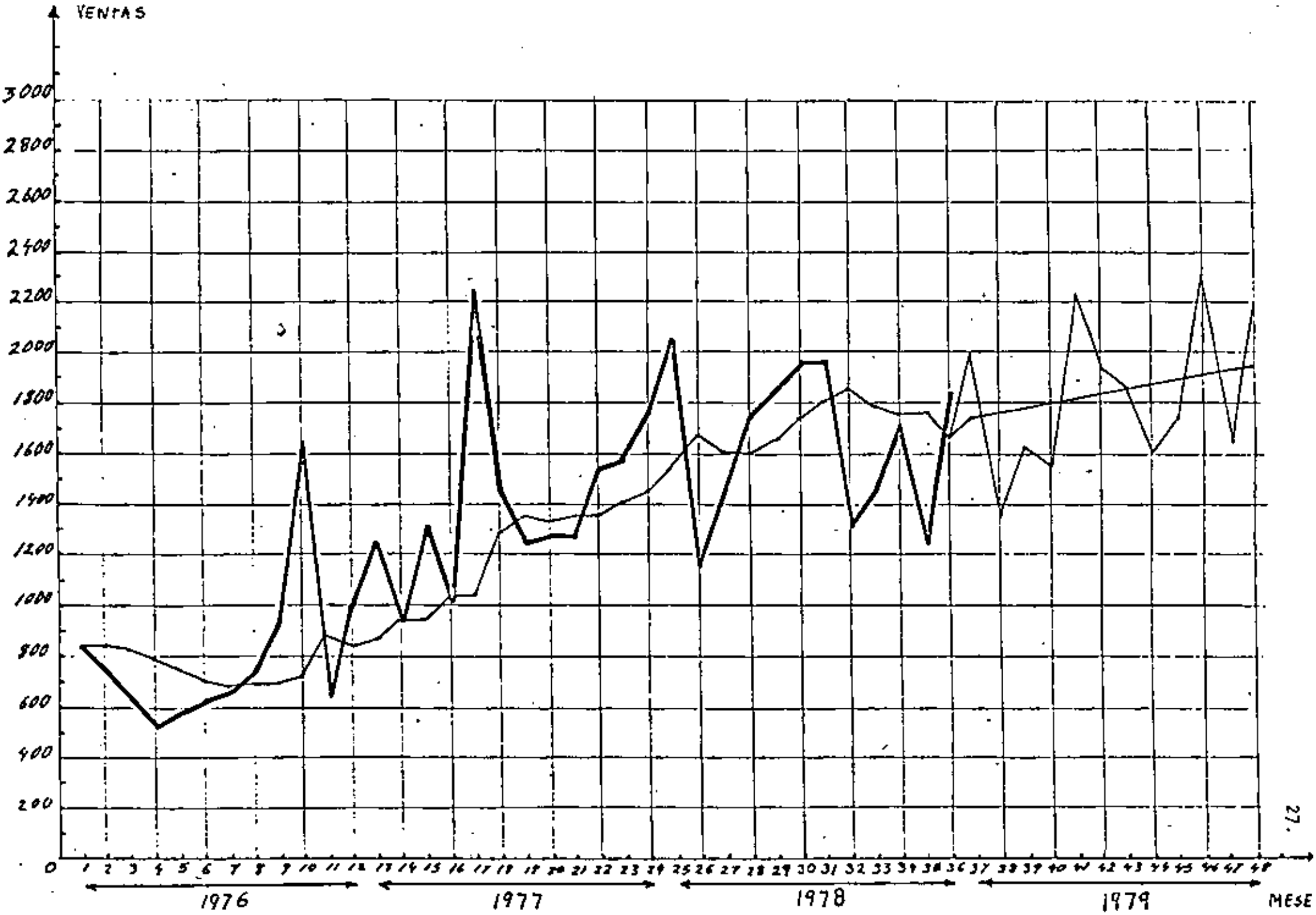
GRAFICA # 13

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON $\alpha = 0.1$



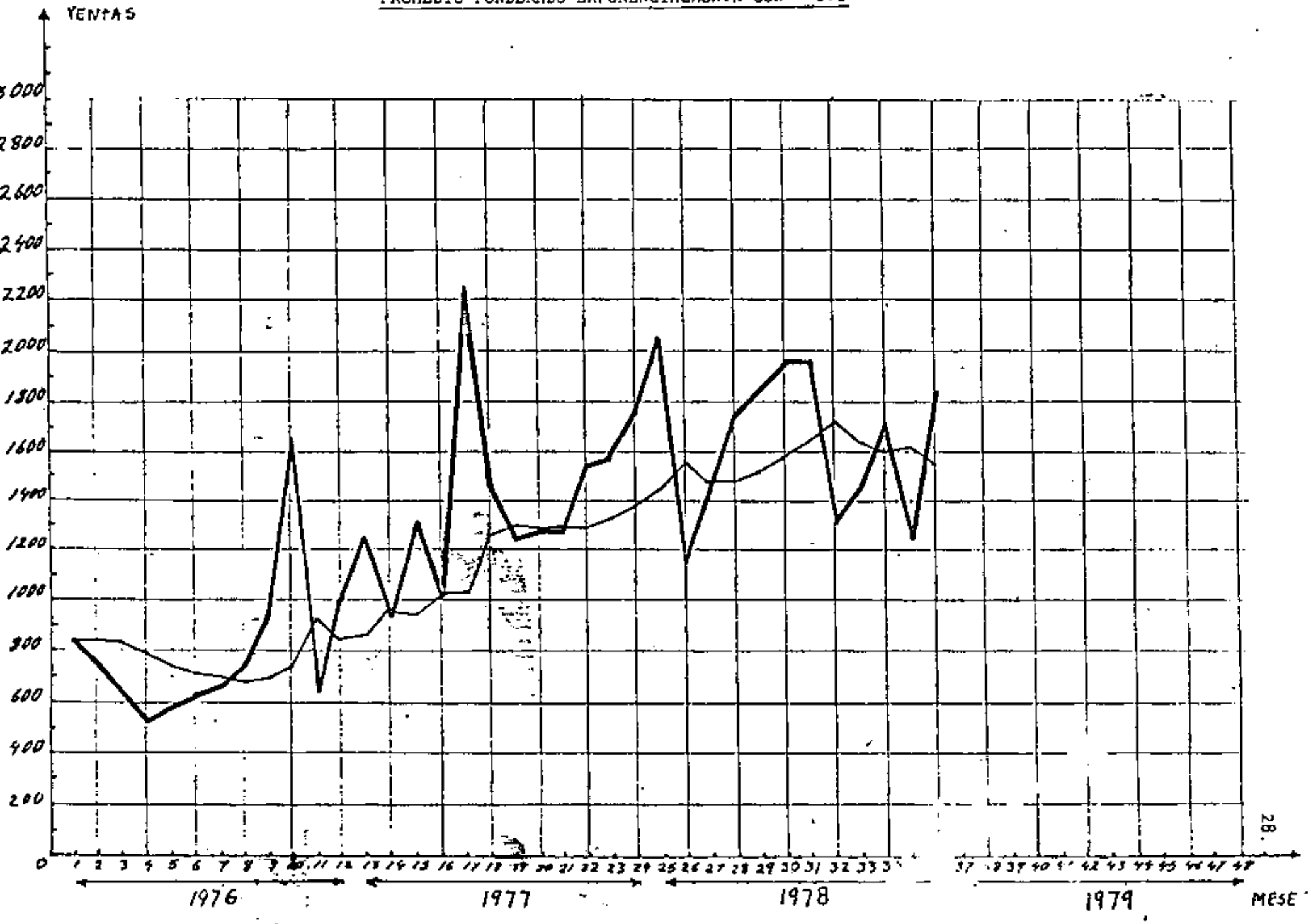
GRAFICA # 1a

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON $\alpha = 0.1$



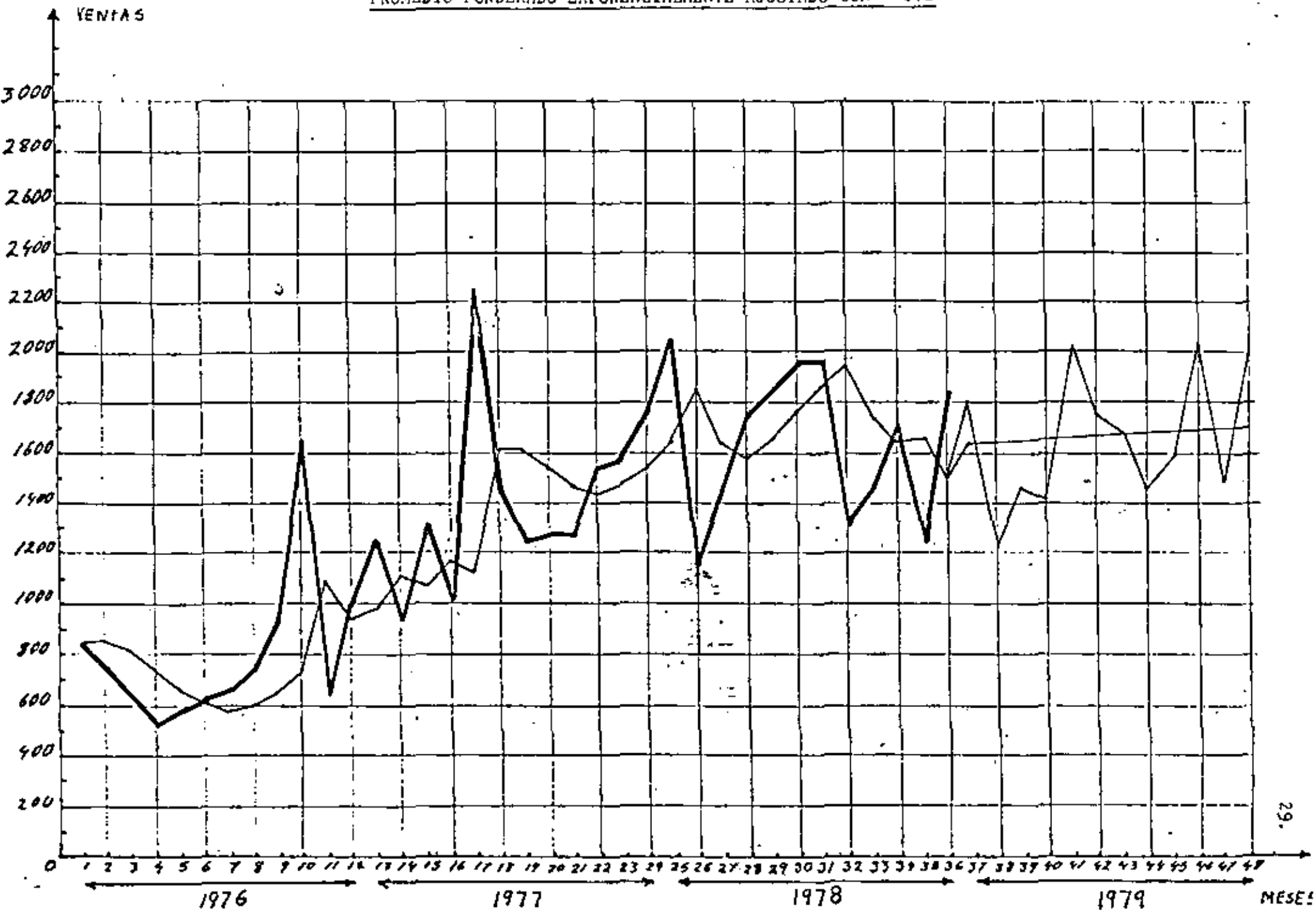
GRAFICA # 15

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.2

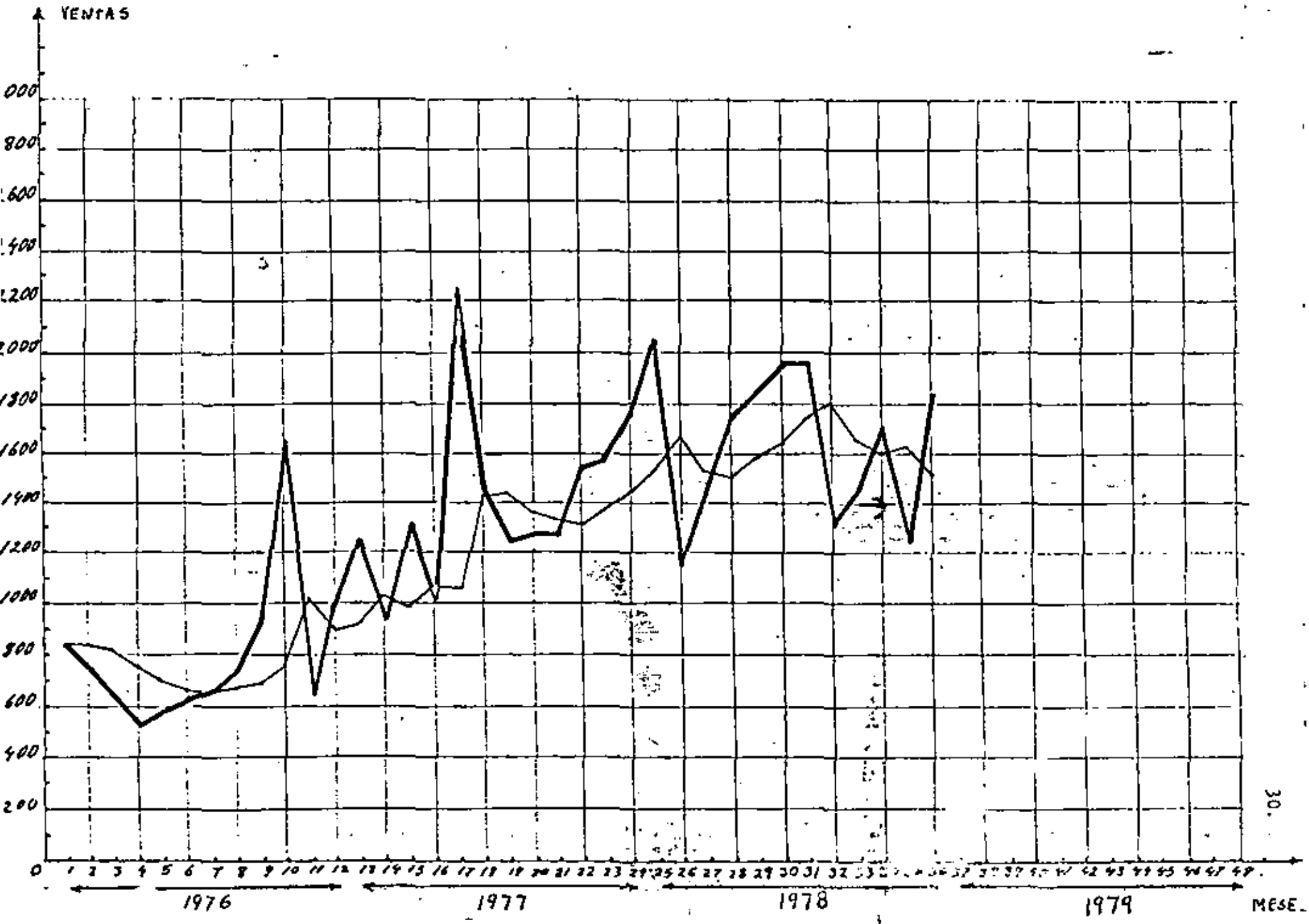


GRAFICA #

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON α=0.2

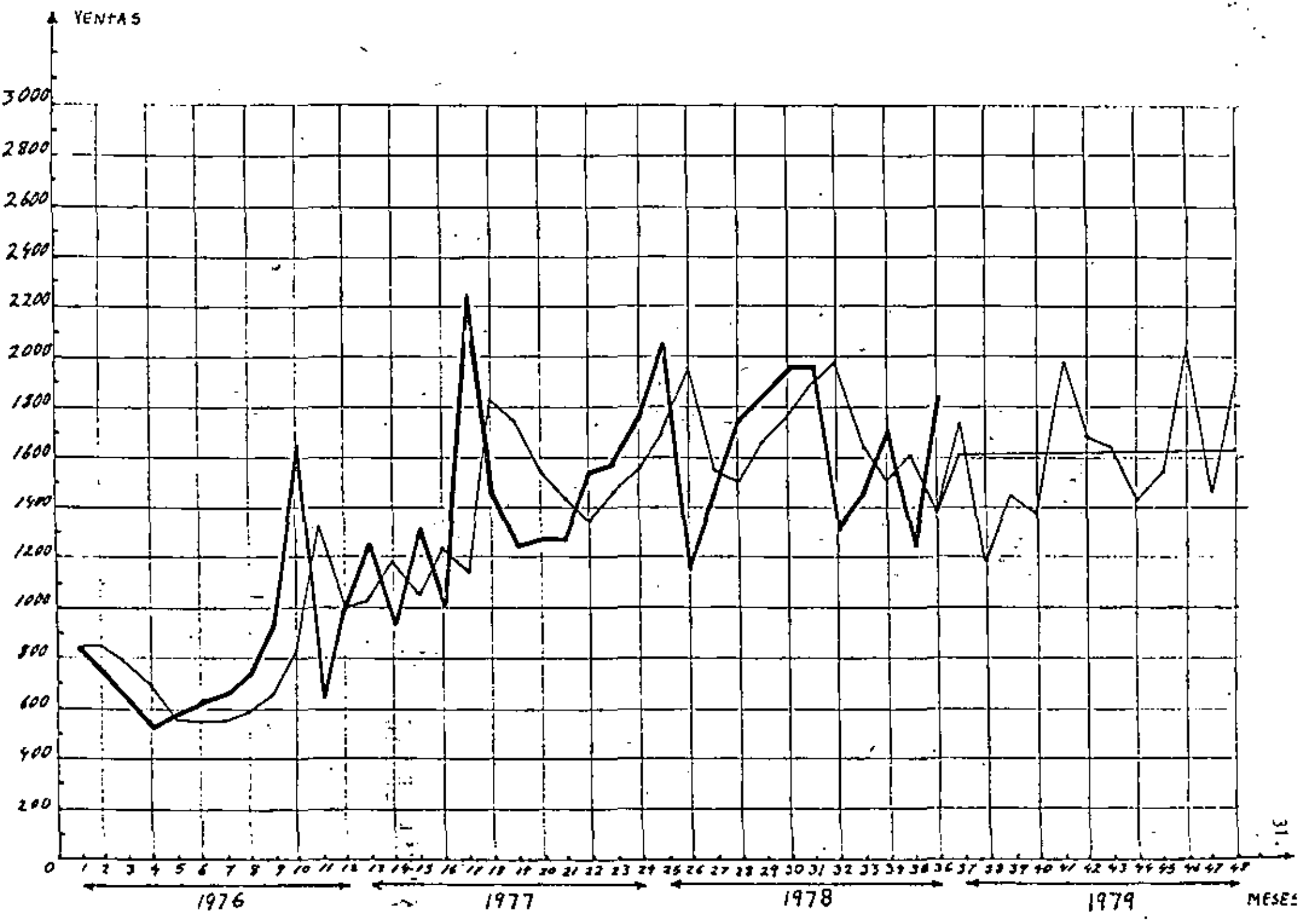


PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.3



GRAFICA 8

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON $\alpha = 0.3$



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PLANEACION AGRAEGADA Y BALANCEO DE LINEAS

Ing. Enrique Galván Arévalo

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

PLANEACION AGREGADA

1. Hay básicamente 3 tipos de planeación en cuanto al plazo:

   a) Planeación a corto plazo. Este tipo de planeación puede ser diaria, semanal o mensual. La planeación a corto plazo de la fabricación propiamente dicha se generalmente llamada de programación y ésta consta principalmente de la determinación de las secuencias de fabricación y de la determinación de las máquinas y/o obreros para cada operación o producto. En otras palabras, este tipo de planeación es la respuesta a las siguientes preguntas:

   -¿Cuándo?
   -¿En qué máquinas
   -¿En qué secuencia?
   -¿Quien?

   En todas las otras áreas de actividad de las empresas, también existe la planeación a corto plazo. En el área de mantenimiento, por ejemplo, la planeación a corto plazo consta de la elaboración de los planes de mantenimiento preventivo para la próxima semana o mes.

   b) Planeación a mediano plazo. Este tipo de planeación es generalmente realizado para los próximos 1-3 años, y consta por ejemplo, de la determinación de la mezcla óptima de productos, la selección del mercado y de los clientes, la determinación del nivel de producción y de los inventarios, etc.

   Llamemos planeación agregada a la planeación a mediano plazo que se concentra en el análisis de los siguientes aspectos:

   - Nivel de producción
   - Nivel de los inventarios
   - Tiempo extra
   - Sub-contratación
   - Contratación y despidos de obreros.

   c) Planeación a largo plazo. Este tipo de planeación consta del análisis y determinación de soluciones técnicamente adecuadas, para los próximos 4-10 años, en cuanto a los siguientes aspectos:

   - Localización de la planta
   - Innovaciones de productos y/o maquinaria
   - Aumento de la capacidad productiva
   - Etc.

   Si la empresa está en proceso de expansión, este tipo de planeación siempre conduce a nuevas inversiones (activos, investigaciones, etc).

2. Los sistemas productivos deben ser considerados como un conjunto de sub-sistemas, los cuales tienen interferencias unos sobre los otros. Consecuentemente, los sistemas de planeación, y en particular los sistemas de planeación agregada, deben tomar en consideración esta interdependencia de los varios sub-sistemas. Como ejemplos de sub-sistemas tenemos los siguientes:

   a) Producción propiamente dicha (secuencias, lotes de fabricación, etc)
   b) Inventarios (qué productos y qué niveles)
   c) Personal (cantidad de obreros, contratación, despidos, etc)
   d) Ventas (qué plazos, qué inventarios de productos terminados, etc)
   e) Compras (qué proveedores, qué plazos, tamaño de los pedidos, etc)
   f) Finanzas (qué capital debe ser invertido en inventarios, capital de trabajo, contratación o despidos de obreros, etc).
   g) Clientes (qué plazos y qué calidad exigen, cómo se portan, etc)

3. Ejemplos de interdependencia:

   a) Ventas desea niveles elevados de inventarios para poder satisfacer, con rapidez, a cualquier pedido de sus clientes o a un aumento de la demanda. Sin embargo, esta política podrá causar un aumento exagerado del capital invertido en inventarios y esto obviamente afectará la planeación de la distribución de recursos realizada por el Depto de Finanzas.

   b) Para satisfacer a los clientes, Ventas podrá exigir de Producción plazos de fabricación demasiado cortos, lo que conducirá a un sistema de planeación de la producción ineficiente.

   c) Los clientes podrán solicitar cambios frecuentes de diseño, lo que hará imposible la existencia de inventarios.

   d) Para reducir los costos de fabricación, Producción podrá requerir de máquinas más modernas, las cuales conducirán a inversiones adicionales de capital que no podrán ser realizadas por Finanzas.

   e) Para reducir los costos de preparación de las máquinas, Producción podrá decidir fabricar siempre grandes lotes, lo que conducirá a un aumento del nivel de los inventarios y podrá también afectar los plazos de entrega de los pedidos.

4. Como podremos observar más adelante, los modelos de Planeación Agregada consideran solo algunas de estas interdependencias y, en particular, ayudan a contestar las siguientes preguntas:

   a) ¿Hasta que punto deberán los inventarios absorber las fluctuaciones del volumen de ventas?

   b) ¿Hasta que punto deberán dichas fluctuaciones ser absorbidas a través de una variación del personal directo contratado?

   c) ¿Cuando se deben utilizar tiempo extra y/o turnos extras para absorber las fluctuaciones de las ventas?

   d) ¿Cuando se debe subcontratar la fabricación total o parcial de algunos productos para satisfacer a un aumento de la demanda?

   e) ¿En qué casos se debe mantener el nivel de producción más o menos constante, así como un bajo nivel de inventarios, y a propósito perder algunos clientes cuando la demanda sea elevada?

   f) ¿En que casos se debe dejar que aumente el número de pedidos pendientes y se deben dilatar los plazos de entrega, para absorber las fluctuaciones de la demanda?

   g) ¿En que casos se deben fabricar productos de variación estacional desfasada para compensar las fluctuaciones de la demanda de cada produ

5. De una forma general, ninguna de estas políticas es la mejor. La solucí óptima es siempre una combinación de dos o más de estas políticas. En otras palabras, cada una de estas alternativas reduce unos elementos de los costos y aumenta otros, y consecuentemente la suma de todos los ele

santos solamente podrá ser minimizado a través de la aplicación simultánea de algunas o todas estas políticas.

EJEMPLO ELEMENTAL DE PLANEACION AGREGADA

Supongamos que para una Empresa dada, los volúmenes de ventas pronosticados y los inventarios mínimos requeridos al final de cada mes, son los que se muestran en el cuadro a continuación:

MES	VOLUMENES REQUERIDOS		DIAS LABORALES		INVENT. MINIMOS
	MENSUAL	ACUMULADO	MENSUAL	ACUMULADO	
Diciembre	-	-	-	-	300
Enero	700	700	22	22	300
Febrero	900	1600	18	40	340
Marzo	1100	2700	22	62	375
Abril	900	3600	21	83	340
Mayo	650	4250	22	105	290
Junio	600	4850	21	126	275
Julio	550	5400	21	147	265
Agosto	400	5800	13	160	230
Septiembre	400	6200	20	180	230
Octubre	300	6500	23	203	195
Noviembre	300	6800	21	224	195
Diciembre	400	7200	20	244	230

Además, tenemos la siguiente información:

a) El volumen normal de producción de la planta es de 30 unidades por día y con tiempo extra puede llegar a un máximo de 36 unid./día.

b) El costo de mantener es de $ 240.00 por unidad por año.

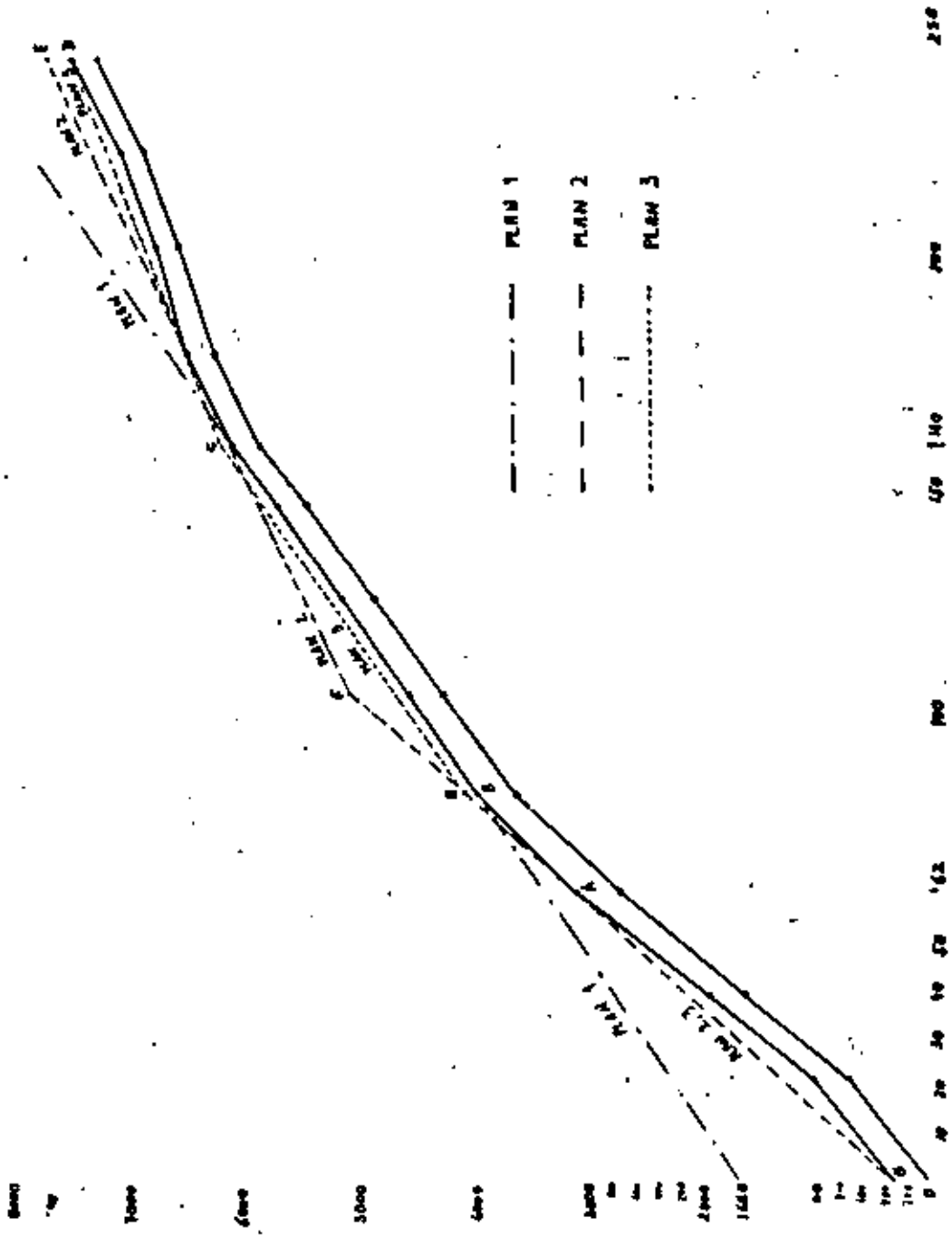
c) Un cambio del nivel de producción de 1 unidad/día conduce a un costo adicional de contratación y entrenamiento o de despidos igual a $ 2,000.00

d) Las unidades producidas con tiempo extra cuestan $ 20.00 más.

e) Las unidades producidas a través de subcontratación cuestan $ 25.00 más.

f) Al terminar el mes de diciembre del año anterior, el inventario era de 300 unidades y la planta estaba trabajando a su nivel normal de producción, o sea, 30 unidades/día.

A continuación mostramos la gráfica representativa de los volúmenes de venta acumulados y de los inventarios mínimos requeridos:



8. Antes de continuar, será conveniente que hagamos algunos ejercicios sobre el tipo de gráfica que hemos presentado en la página anterior:

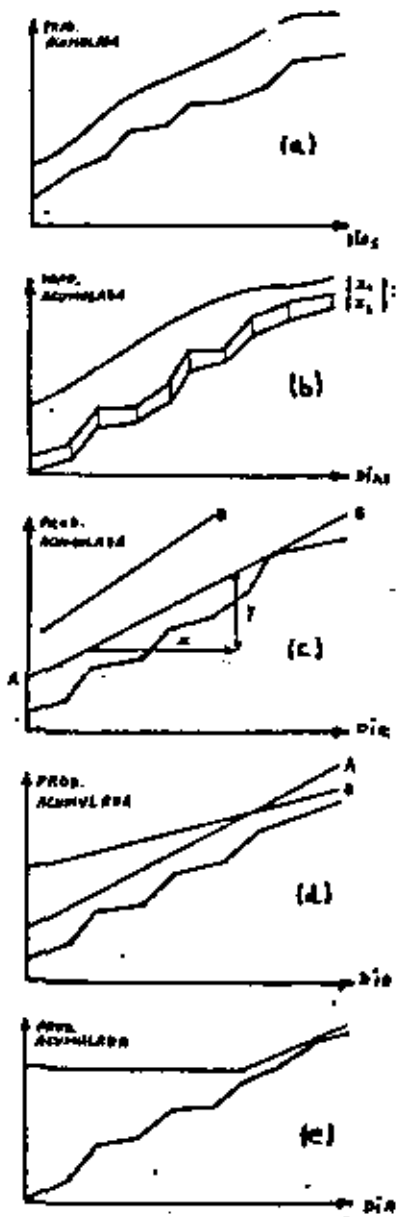
a) Cualquier línea diseñada por encima de la línea representativa de los volúmenes de ventas y de los inventarios mínimos requeridos, representará una solución para el problema de planeación agregada.

b) El inicio de la línea muestra el inventario inicial requerido para que la solución sea posible. Las distancias entre los puntos finales indican el inventario final total (x_3), que es la suma del inventario mínimo (x_2) y del inventario extra ingresario.(x_1).

c) Una línea recta (ejemplo, AB) representa una tasa de producción constante. La producción normal puede ser representada por una determinada inclinación "D". Cualquier línea paralela a la dirección "D" representará una solución en la cual la tasa de producción será normal. La tasa de producción representada por cualquier línea recta puede ser calculado dividiéndose "y" (número de productos producidos en un dado período) entre "x" (número de días).

d) Una línea con mayor inclinación representa una tasa de producción mayor. Por ejemplo, la tasa de "A" es mayor que la tasa de "B". Es importante señalar que el inventario inicial de "B" compensa su menor tasa de producción.

e) Una línea horizontal significa que durante el período no habrá producción y por lo tanto se necesita un inventario inicial muy grande para que la solución sea factible.



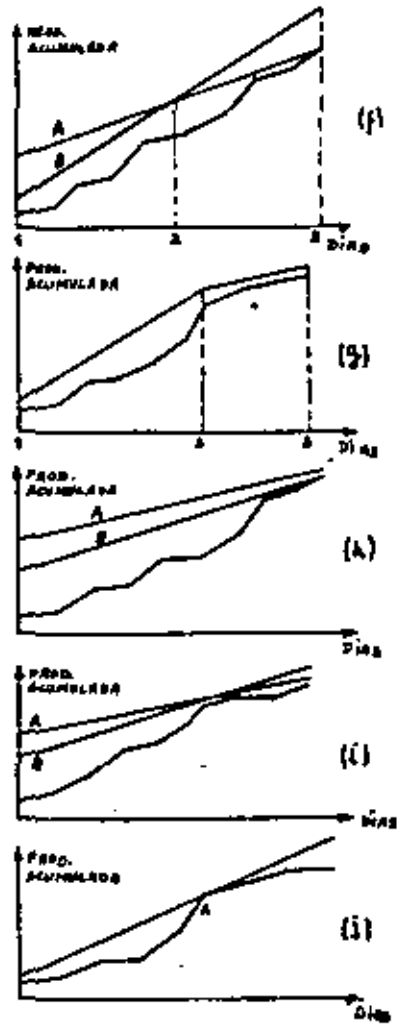
f) Cuando una línea está por encima de otra, esto significa que durante el período considerado los inventarios del plan representado por la línea de arriba son mayores que los inventarios del plan que corresponde a la línea de abajo. Entre los puntos "1" y "2", el plan "A" conduce a mayores inventarios y entre "2" y "3" el plan "B" conduce a mayores inventarios.

g) Un cambio en el grado de la línea representa un cambio de la tasa de producción. La tasa entre "1" y "2" es mayor que entre "2" y "3".

h) Una línea que está siempre arriba de otra conduce a un inventario anual promedio mayor.

i) Cuando dos líneas se cruzan no se puede decir cual plan conduce a un inventario promedio anual mayor. Para saberlo, tendríamos que calcular los inventarios correspondientes a los dos planes.

j) Si la línea representativa de una solución pasa por un punto de la línea representativa de los volúmenes requeridos y inventarios mínimos, esto significa que en este punto el inventario resultante del plan propuesto es igual al inventario mínimo. Por ejemplo, el inventario resultante en "A" es igual al inventario mínimo requerido.



9. Volviendo al problema de la Empresa "X", analizaremos 3 soluciones alternativas: PLAN 1, PLAN 2 y PLAN 3.

PLAN 1

La línea representativa del PLAN 1 pasa por los puntos "B" y "C" de la gráfica y representa una tasa de producción diaria fija durante todo el año. Para que esta solución sea factible, es necesario un inventario inicial de 1650 unidades (este valor se sacado de la gráfica).

Puesto que la línea pasa por el punto "B", su grado (tasa de producción) puede ser calculado como sigue:

$$\text{T.P.} = \frac{\text{diferencia vertical}}{\text{diferencia horizontal}} = \frac{3.940 - 1650}{83 - 0} = 27.6$$

Puesto que necesitamos un valor exacto para la tasa de producción diaria, ésta deberá ser mayor de 27.6 y nunca menor, porque si no los inventarios resultantes serían menores que los inventarios mínimos requeridos. Por lo tanto:

T.P. = 28 unidades/día

A continuación presentamos un cuadro que proporciona el programa anual de producción si se adopta el PLAN 1:

Mes	Producción requerida	Inventario resultante	Días	Producción diaria	Producción mensual	Inv. min.
Diciembre	-	1650	--	--	--	--
Enero	700	1566	22	28	616	300
Febrero	900	1170	18	28	504	340
Marzo	1100	686	22	28	616	375
Abril	900	374	21	28	588	340
Mayo	650	340	22	28	616	290
Junio	600	328	21	28	588	275
Julio	550	366	21	28	588	265
Agosto	400	330	13	28	364	230
Septiembre	400	490	20	28	560	230
Octubre	300	834	23	28	644	195
Noviembre	300	1122	21	28	588	195
Diciembre	400	1282	20	28	560	230
TOTAL	7200	---	244	--	6832	--

Por lo tanto, los costos de esta solución (PLAN 1) serán los siguientes:

a) Costo debido a cambios del nivel de producción:

Producción inicial: 30 unid./día
Producción del plan: 28 unid./día

Diferencia: 2 unidades

Costo: 2 unid. x $ 2,000/unid.

Costo = $ 4,000.00

b) Costo del inventario:

El costo de mantener el inventario será igual el inventario medio anual multiplicado por el costo de mantener, que en este caso es $ 240.00 por unidad por año.

El inventario medio anual puede ser estimado calculándose el promedio aritmético de la columna correspondiente al inventario resultante (véase el cuadro de la página anterior). Otra manera más precisa sería la siguiente:

El inventario medio de cada mes es la semi-suma de los inventarios final e inicial. Por ejemplo, para el mes de enero tenemos:

Inv. Inicial: 1650
Inv. Final: 1566

Inv. medio (1650 + 1566)/2 = 1608

Para los doce meses tenemos:

MES	I.I.	I.F.	I.M.	DIAS	I.M. x DIAS
Enero	1650	1566	1608	22	35,376
Febrero	1566	1170	1368	18	24,624
Marzo	1170	686	928	22	20,416
Abril	686	374	530	21	11,130
Mayo	374	340	357	22	7,854
Junio	340	328	334	21	7,014
Julio	328	366	347	21	7,287
Agosto	366	330	348	13	4,524
Septiembre	330	490	410	20	8,200
Octubre	490	834	662	23	15,226
Noviembre	834	1122	978	21	20,538
Diciembre	1122	1282	1202	20	24,040
TOTAL	--	--	--	244	186,229

I.I. = Inv. Inicial
I.F. = Inv. Final
I.M. = Inv. Medio

Finalmente, el inventario medio anual será la media ponderada de los inventarios medios mensuales y los pesos serán los días laborables de cada mes. Por lo tanto tenemos:

Inv. medio anual = 186,229 ÷ 244 = 763

Y el costo de mantener dicho inventario será:

Costo anual = 763 unid. x $ 240 = $ 183,120.00

Costo anual = $ 183,120.00

c) Costo del tiempo extra:

(No se trabajará tiempo extra)

d) Costo de la subcontratación:

(No habrá subcontratación)

9. Segunda solución alternativa (PLAN 2)

Como se puede observar en la gráfica, esta solución presenta dos tasas de producción diferentes: una entre los puntos "G" y "A" y otra entre los puntos "F" y "E". Sugerimos este cambio en la tasa de producción, para nos podamos seguir más de cerca las fluctuaciones de las ventas, reduciendo así el inventario medio anual.

La tasa de producción entre los puntos "G" y "A" es la siguiente:

$$T.P. = \frac{\text{Diferencia vertical}}{\text{Diferencia horizontal}} = \frac{3075 - 300}{62 - 0} = 44.7$$

Por lo tanto:

$\boxed{T.P. = 45 \text{ unid./día.}}$

Analogamente, la tasa de producción entre "F" y "E" puede ser calculada como sigue:

$$T.P. = \frac{\text{Diferencia vertical}}{\text{Diferencia horizontal}} = \frac{2600}{139} = 18.7$$

Y por lo tanto adoptaremos la siguiente tasa:

$\boxed{T.P. = 19 \text{ unid./día.}}$

Finalmente, el programa de producción resultante si se adopta el PLAN 2 será el siguiente:

Mes	Prod. req.	Inv. res.	Días	Prod. normal Tasa	Prod. normal Total	Prod. extra Tasa	Prod. extra Total	Prod. sub. Tasa	Prod. sub. Total	Total
Diciembre	---	300	--	--	---	-	---	-	---	---
Enero	700	590	22	30	660	6	132	9	198	990
Febrero	900	500	18	30	540	6	108	9	162	810
Marzo	1100	390	22	30	660	6	132	9	198	990
Abril	900	435	21	30	630	6	126	9	189	945
Mayo	650	775	22	30	660	6	132	9	198	990
Junio	600	574	21	19	399	-	---	-	---	399
Julio	550	423	21	19	399	-	---	-	---	399
Agosto	400	270	13	19	247	-	---	-	---	247
Septiembre	400	250	20	19	380	-	---	-	---	380
Octubre	300	387	23	19	437	-	---	-	---	437
Noviembre	300	486	21	19	399	-	---	-	---	399
Diciembre	400	466	20	19	380	-	---	-	---	380
TOTAL	7200	-	244	--	5791	-	630	-	945	7366

Consecuentemente, los costos de esta solución alternativa son los siguientes:

a) Costo debido a cambios de la tasa de producción:

Producción entre "G" y "F" (normal) = 30 unid./día

Producción entre "F" y "E" = 19 unid./día

Diferencia = 11 unidades

Costo = 11 x $ 2,000

$\boxed{\text{Costo} = \$\ 22,000.00}$

b) Costo del inventario:

Inventario medio = 458 unid.

Costo anual = 458 unid. x $ 240/unid.

$\boxed{\text{Costo anual} = \$\ 109,920.00}$

c) Costo del tiempo extra:

Unid. producidas con tiempo extra = 630

Costo = 630 unid. x $ 20/unid.

$\boxed{\text{Costo} = \$\ 12,600.00}$

d) Costo de la subcontratación:

Unid. producidas a través de subcontratación = 945

Costo = 945 unid. x $ 25/unid.

$\boxed{\text{Costo} = \$\ 23,625.00}$

10. Tercera solución alternativa (PLAN 3)

Esta solución presenta 3 tasas de producción diferentes durante el período de planeación. La primera tasa ya fue calculada para el PLAN 2 y es igual a 45 unid./día.

La segunda tasa es la siguiente (entre el 83° día y el 160° día):

$$T.P. = \frac{6160 - 4040}{160 - 83} = \frac{2120}{77}$$

$\boxed{T.P. = 28 \text{ unid./día}}$

Finalmente, la tercera tasa será (entre el 160° día y el 244° día):

$$T.P. = \frac{7430 - 6160}{244 - 160} = \frac{1270}{84} = 15.1$$

Por lo tanto:

$\boxed{T.P. = 16 \text{ unid./día}}$

Observación: En este caso será conveniente utilizar también el valor T.P. = 15 unid./día, puesto que las otras dos tasas son mayores que los valores calculados y consecuentemente, aunque utilizamos el valor T.P. = 15 para la última tasa, los inventarios resultantes serán todavía mayores que los inventarios mínimos.

El programa de producción que resultaría con la aplicación del PLAN 3, es el siguiente:

	Prod. req.	Inv. res.	Días	Prod. normal Tasa	Prod. normal Total	Prod. extra Tasa	Prod. extra Total	Prod. sub. Tasa	Prod. sub. Total	Total
Diciembre	---	300	--	--	---	-	---	-	---	---
Enero	700	590	22	30	660	6	132	9	198	990
Febrero	900	500	18	30	540	6	108	9	162	810
Marzo	1100	390	22	30	660	6	132	9	198	990
Abril	900	435	21	30	630	6	126	9	189	945
Mayo	650	401	22	28	616	-	---	-	---	616
Junio	600	389	21	28	588	-	---	-	---	588
Julio	550	427	21	28	588	-	---	-	---	588
Agosto	400	391	13	28	364	-	---	-	---	364
Septiembre	400	311	20	16	320	-	---	-	---	320
Octubre	300	379	23	16	368	-	---	-	---	368
Noviembre	300	415	21	16	336	-	---	-	---	336
Diciembre	400	335	20	16	320	-	---	-	---	320
TOTAL	7200	--	244	--	5990	-	498	-	747	7235

Y los costos resultantes serán:

a) Costo debido a cambios en la tasa de producción:

Primer cambio:

Producción entre "G" y "H" (normal) = 30 unid./día

Producción entre "H" y "C" = 28 unid./día

Diferencia = 2 unidades

Costo = 2 x $ 2,000

Costo = $ 4,000.00

Segundo cambio:

Producción entre "H" y "C" = 28 unid./día

Producción entre "C" y "D" = 16 unid./día

Diferencia = 12 unidades

Costo = 12 x $ 2,000

Costo = $ 24,000.00

Costo total de los cambios:

Costo total = $ 24,000 + $ 4,000

Costo total = $ 28,000.00

b) Costo del inventario:

Inventario medio = 413

Costo = 413 x $ 240

Costo = $ 99,120.00

c) Costo del tiempo extra:

Unidades producidas con tiempo extra: 498

Costo 498 x $ 20

Costo $ 9,960.00

d) Costo de la subcontratación:

Unidades producidas a través de subcontratación: 747

Costo = 747 x $ 25

Costo = $ 18,675.00

L. COMPARACION ENTRE LOS 3 PLANES

Finalmente, presentamos un resumen de los costos resultantes de cada una de las soluciones alternativas estudiadas. Para que sea posible una comparación entre los costos adicionales debido a cada PLAN, será necesario restar de los costos del inventario obtenidos, los costos correspondientes a los inventarios mínimos:

Promedio de los inventarios mínimos: 276

Costo de los inventarios mínimos: 276 x $ 240 = $ 66,240

Costos adicionales correspondientes a los 3 planes:

PLAN 1: $ 183,120 - 66,240 = $ 116,880

PLAN 2: $ 109,920 - 66,240 = $ 43,680

PLAN 3: $ 99,120 - 66,240 = $ 32,880

COSTOS	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3
Inventarios	116,880	43,680	32,880
Cambios T.P.	4,000	22,000	28,000
Tiempo extra	---	12,600	9,960
Subcontratación	---	23,000	18,675
TOTAL	120,880	101,280	89,515

Por lo tanto, la mejor solución es el PLAN 3 con un costo adicional total de $ 89,515.00.

VII - BALANCEO DE LINEAS

La situación más elemental de balanceamiento de líneas, y sin embargo la que se encuentra por todas partes, es donde varios operarios, cada uno llevando a cabo operaciones consecutivas, trabajan como una sola unidad. En tal situación, es obvio que la tasa de producción a través de la línea depende del operador más lento. Por ejemplo, tenemos una línea de cinco operadores ensamblando monteduras de caucho, antes del proceso de curación. Las asignaciones específicas de trabajo podrían ser del modo siguiente: Operador 1: 0.52 minutos; Operador 2: 0.48 minutos; Operador 3: 0.65 minutos; Operador 4: 0.41 minutos; Operador 5: 0.55 minutos. El Operador número 3 establece el ritmo como se muestra a continuación:

Operario	Minutos Estándar para ejecutar la operación (M.E.)	Tiempo de espera basado en el operario más lento	Minutos Asignados (M.A.)
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	--	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65
	2.61		3.25

La eficiencia de esta línea puede calcularse como la relación entre el total de minutos estándares y el total de minutos asignados, o sea:

$$E = \frac{\sum_{1}^{5} M.E.}{\sum_{1}^{5} M.A.} = 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

en donde:

E = Eficiencia

M.E. = Minutos estándar por operación

M.A. = Minutos asignados por operación

Es evidente que una situación parecida, en la vida real, proporcionaría ahorros muy significativos, ya que si pudiéramos ahorrar 0.10 minutos en el caso del operador 3, los ahorros netos por ciclo no serían 0.10 minutos, sino 0.10 x 5, o sea, 0.50 minutos.

También es importante señalar que sólo en circunstancias excepcionales puede una línea estar perfectamente balanceada, esto es, cuando los minutos estándar para ejecutar las operaciones fueran idénticos para todos los operadores.

El total de minutos asignados para producir una unidad será igual a la suma de los minutos estándar requeridos por el recíproco de la eficiencia, es decir:

$$\sum M.A. = \sum M.E. \times 1/E$$

Es pues evidente que el número de operarios requeridos es igual a la tasa requerida de producción, por el total de minutos asignados:

$$N = P \times \sum M.A.$$

donde:

N = número de hombres requeridos en la línea

P = Tasa de producción deseada (en unidades por minuto)

Por ejemplo, supongamos que tenemos un nuevo diseño para el que debemos establecer una línea de ensamble. Hay ocho distintas operaciones que ejecutar y la línea tiene que producir 700 unidades por día. Las ocho operaciones involucran los siguientes minutos estándares, basados en datos estándares ya existentes: Operación 1: 1.25 minutos; Operación 2: 1.39 minutos; Operación 3: 2.58 minutos; Operación 4: 3.84 minutos; Operación 5: 1.27 minutos; Operación 6: 1.29 minutos; Operación 7: 2.45 minutos; Operación 8: 1.28 minutos. El analista debe balancear esta línea de ensamble del modo más económico.

El primer paso consistirá en encontrar el número de operarios necesario para cada una de las operaciones.

Puesto que se requieren 700 unidades por día, será necesario producir cada unidad en 0.685 minutos (480/700). Podemos encontrar cuántos operarios se necesitarán para cada operación, dividiendo los minutos estándares de cada operación entre el número de minutos que se necesita para producir una unidad. Por ejemplo, el número de operarios para la Operación 1 es: 1.25 ÷ 0.685 = 1.82 = 2. Para las demás operaciones, tenemos:

Operación	Minutos Estándar	Minutos estándar entre minutos por unidad	No. de Operarios
1	1.25	1.82	2
2	1.38	2.01	2
3	2.58	3.77	4
4	3.84	5.62	6
5	1.27	1.86	2
6	1.29	1.89	2
7	2.45	3.62	4
8	1.28	1.87	2
Total	15.17		24

Para determinar cuál operación es la más lenta, dividimos los minutos estándares para cada una de las operaciones, entre el número correspondiente

pondiente de operarios:

Operación	Minutos estándar entre No. de operarios		Operación	Minutos estándar entre No. de operarios	
1	1.25/2	0.625	5	1.27/2	0.635
2	1.38/2	0.690	6	1.29/2	0.645
3	2.58/4	0.645	7	2.48/4	0.620
4	3.84/6	0.640	8	1.28/2	0.640

La Operación 2 determinará la producción de la línea que, en este caso será:

$$\frac{2 \text{ hombres} \times 60 \text{ min.}}{1.38 \text{ minutos estándar}} = 87 \text{ piezas por hora o } 696/\text{día.}$$

La eficiencia de esta línea podrá ser calculada de la siguiente manera

Hemos visto que $N = P \times \sum M.A. = P = \sum M.E./E$. Despejando la eficiencia, tenemos:

$$E = P \times \sum M.E./N$$

Sustituyendo, tenemos:

$$E = \frac{700}{480} \cdot 15.37 / 24 = 0.9339$$

$$E = 93.4\%$$

Finalmente, vale la pena resaltar que si la tasa de producción de la línea, es decir 696 piezas por día, resultara inadecuada, tendríamos que aumentar la tasa de producción de la Operación 2 , lo que puede lograrse así:

1. Haciendo que uno o los dos operarios trabajen tiempo extra para acumular piezas en la estación de trabajo.

2. Utilizando los servicios de un tercer hombre (a tiempo parcial), en la estación de trabajo de la Operación 2.

3. Asignando algo del trabajo de la Operación 2 a la Operación 1, o a la Operación 3. Será preferible asignárselo a la Operación 1.

4. Mejorando el método de la Operación 2, para disminuir el ciclo de la operación.

Balanceo de líneas: el método de Kilbridge y Wester (*)

El procedimiento del método de Kilbridge y Wester se puede describir mejor mediante un ejemplo como él que define el diagrama de precedencia de la figura 7.1., que resume los requerimientos tecnológicos de la secuencia. Los números dentro de los círculos representan las operaciones y los números pequeños que se ven fuera de los círculos, los tiempos de las operaciones en centésimas de minuto.

En la columna I del diagrama anotamos todas las operaciones de trabajo que no necesiten seguir a otras operaciones. Las operaciones que sigan inmediatamente se anotan en las columnas II, III, etc, observando las relaciones de precedencia. Advértase que todas las operaciones se encuentran situadas hacia la izquierda, tan lejos como lo permiten las restricciones de secuencia. La suma de todos los tiempos de las operaciones es 552, y teóricamente se puede obtener un balance perfecto con un tiempo de ciclo de c = 552/3 = 184, o sea 3 estaciones. Describiremos el procedimiento suponiendo que el objetivo es balancear la línea perfectamente con tres estaciones y un tiempo de ciclo de 184.

En el Cuadro 7.1. hemos resumido la Figura 7.1. en una forma tabular más útil. La información nueva más importante del Cuadro 5.1. se encuentra en la columna (C), que resume la flexibilidad de asignación de las operaciones a las columnas del diagrama de precedencia. Por ejemplo, para el caso de la operación 39, la observación II, ... XI significa que ésta podría moverse a la derecha, a cualquiera de las columnas del diagrama de precedencia hasta la columna XI, sin cambiar la precedencia básica de las relaciones. Esta flexibilidad para mover las operaciones horizontalmente será útil en el procedimiento que sigue. Advertimos que algunas tareas aparecen en la columna (B) del Cuadro 5.1. con alguna notación. Por ejemplo, la operación No. 3 aparece con la notación (w, 5, 9). Con esto se quiere decir que la operación en cuestión puede moverse horizontalmente por el diagrama de precedencia, sólo si las tareas asociadas se mueven delante de ella. Por lo tanto, la operación 3 se puede mover a la derecha solamente si las tareas 5 y 9 se mueven delante de ella.

Otros datos importantes del Cuadro 7.1. son las duraciones de las operaciones por columnas del diagrama de precedencia original que aparecen en la columna (E) y las sumas de tiempos acumulados que aparecen en la columna (F). Dada toda esta información, procedemos como sigue:

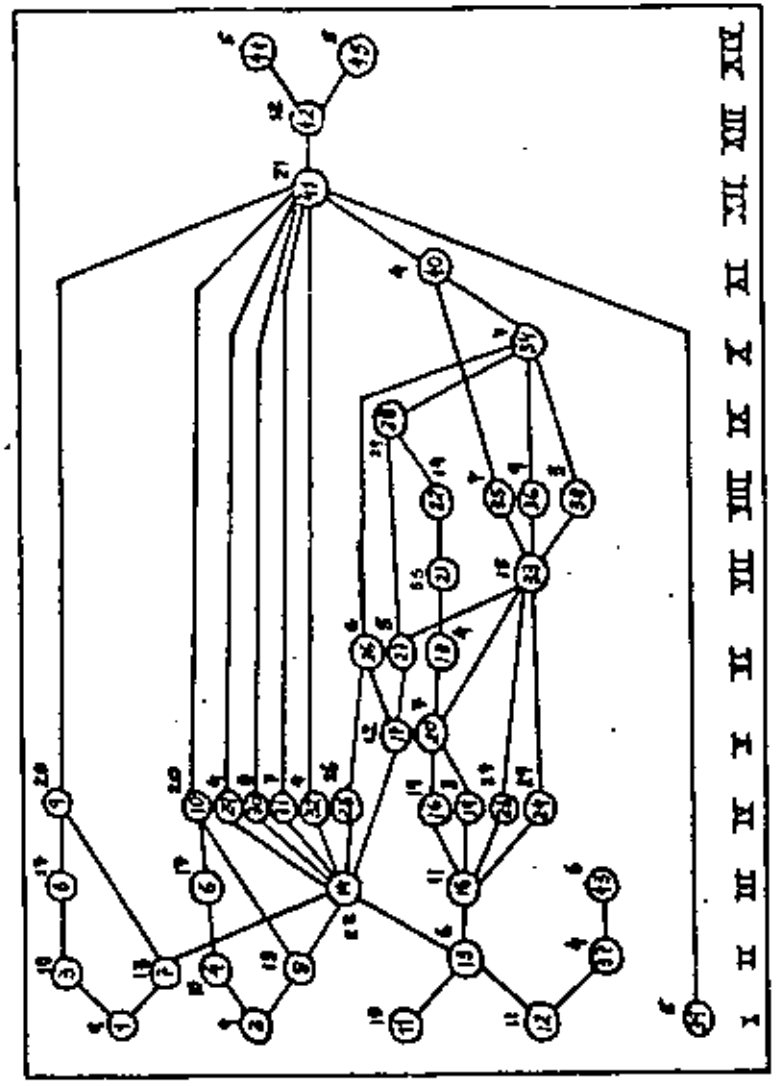
Paso 1. Dado que c = 184, examinemos la columna (F) del Cuadro 7.1. para encontrar la suma acumulada que más se aproxime a 184. La suma acumulada de la columna III, de 173, se aproxima. Los tiempos de las operaciones de las columnas I, II y III no satisfacen las necesidades de la estación 1 por sólo 184 - 173 = 11 unidades de tiempo.

Paso 2. Examinemos los tiempos de las operaciones de la columna IV . ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones que sume exactamente 11? Sí, las operaciones 31 y 32 tienen tiempos de 7 y 4, respectivamente.

Paso 3. Movemos las operaciones 31 y 32 a la parte superior de la lista de operaciones de la columna IV, asignándolas así a la estación 1.

(*) Tomado de Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, vol. 12, No. 4, 1961.

FIGURA 7.1.
Diagrama de precedencia para las operaciones. Tomado de Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, Vol. 12, No. 4, 1961.



Ahora todas las operaciones de las columnas I, II y III, más las ope-
raciones 31 y 32 de la columna IV, están asignadas a la estación 1.
El estado de la solución aparece en el Cuadro 7.2..

Paso 4. Examinamos la columna (F) del Cuadro 7.2, para encontrar la
suma acumulada que más se aproxime a 2 x 184 = 368. La suma acumula-
da de la columna VI es 371.

Paso 5. Examinamos la lista de operaciones no asignadas (columnas V
VI y parte de la columna IV) que se pueden mover horizontalmente ha-
ta la columna VI o a cualquier otra más allá de ésta. Son las operac-
nes 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 23, 24 y 26.

Paso 6. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones mencio-
das que totalice 371 - 368 = 3? No.

Paso 7. Aumentamos el número de la columna del paso 4 y repetimos el
procedimiento. La suma acumulada de la columna VII es 441.

Paso 8. Examinamos la lista de operaciones no asignadas (columnas V,
VI y VII y parte de la columna IV) que se pueden mover horizontalmen-
te hasta la columna VII o a cualquier otra más allá de ésta. Son las
operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 26 y 33 (w. 35, 36, 38).

Paso 9. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones movi-
bles que totalice 441 - 368 = 73? No.

Paso 10. Aumentamos el número de columna del paso 7 y repetimos el
procedimiento. La suma acumulada de la columna VIII es 474.

Paso 11. Examinamos la lista de las operaciones no asignadas (colum-
V, VI, VII y VIII y parte de la columna IV) que se pueden mover ho-
zontalmente hasta la columna VIII o a cualquier otra más allá de ésta
Son las operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 26, 33(w. 35, 36, 38),
35, 36 y 38.

Paso 12. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones movi-
que totalice 474 - 368 = 106; o a la inversa, dado que el t po to-
tal de las operaciones del conjunto movible suma 115, ¿ hay alguna co-
binación en el conjunto movible que totalice 115 - 106 = 9 y que pue-
de ser conservada en la estación 2? Si la hay: los tiempos de las ope-
raciones 29 y 30 son 4 + 5 = 9 y el resto de estas operaciones movi-
bles tiene un tiempo total de 106.

Paso 13. Movemos las operaciones 9, 10, 25(w. 26) y 33 (w. 35, 36, 3
más allá de la columna VIII. La estación 2 se compone ahora de las o
raciones de las columnas IV (sin incluir 31 y 32), V, VI, VII y de l
operación 22 de la columna VIII.

Paso 14. La estación 3 se compondrá de las operaciones restantes no
asignadas cuyos tiempos suman también 184. La asignación final apare
en el Cuadro 7.3 y en el diagrama de precedencia de la figura 7.2.

El procedimiento de 14 pasos que acabamos de describir no es general
sino específico de la explicación de este ejemplo. Kilbridge y Wester
ofrecen las siguientes generalizaciones y sugestiones como auxiliare
en la aplicación de su método heurístico:

1. Se utiliza la permutabilid entre columnas para facilitar la se-
lección de operaciones de la duración deseada para un agrupamiento
tipo de las estaciones de trabajo. La movilidad lateral ayuda a colo
las operaciones en las estaciones de la línea de ensamble, para que

CUADRO 7.1.
Representación tabular del diagrama de precedencia de la Figura 5.1.

(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39	II, ..., XI	5	44	44
	3(w. 5,9)	III, ..., IX	10		
	7		13		
II	4(w.6,10)	III, ..., IX	10		
	8		13		
	13		6		
	37(w. 43)	III, ..., XIII	4	56	100
	5(w. 9)	IV, ..., X	17		
	6(w. 10)	IV, ..., X	17		
III	14		22		
	15		11		
	43	IV, ..., XIV	6	73	173
	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	31	V, ..., XI	7		
	32	V, ..., XI	4		
IV	25(w. 26)	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	164	337
V	17		12		
	20		7	19	356
	26	VII, ..., IX	6		
VI	27		5		
	18		4	15	371
	21		55		
VII	33(w.35,36,38)	VIII	15	70	441
	22		14		
	35	IX, X	7		
VIII	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7	7	505
XI	40		4	4	509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

Fuente: Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, Vol. 12, No. 4, 1961.

CUADRO 7.2.
Cuadro 7.1. modificado tras de la asignación de operaciones a la estación 1, únicamente.

(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39		5		
	3		10		
	7		13		
II	4	ESTACION 1.	10		
	8		13		
	13		6		
	37		4		
	5		17		
	6		17		
III	14		22		
	15		11		
	43		6		
	31		7		
IV	32		4	184	184
	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	25(w. 26)	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	153	337
V	17		12		
	20		7	19	356
	26	VII, ..., IX	6		
VI	27		5		
	18		4	15	371
	21		55		
VII	33(w.35,36,38)	VIII	15	70	441
	22		14		
	35	IX, X	7		
VIII	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7		505
XI	40		4		509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

CUADRO 7.3.
Cuadro .2, modificado tras la asignación de las operaciones a las tres estaciones.

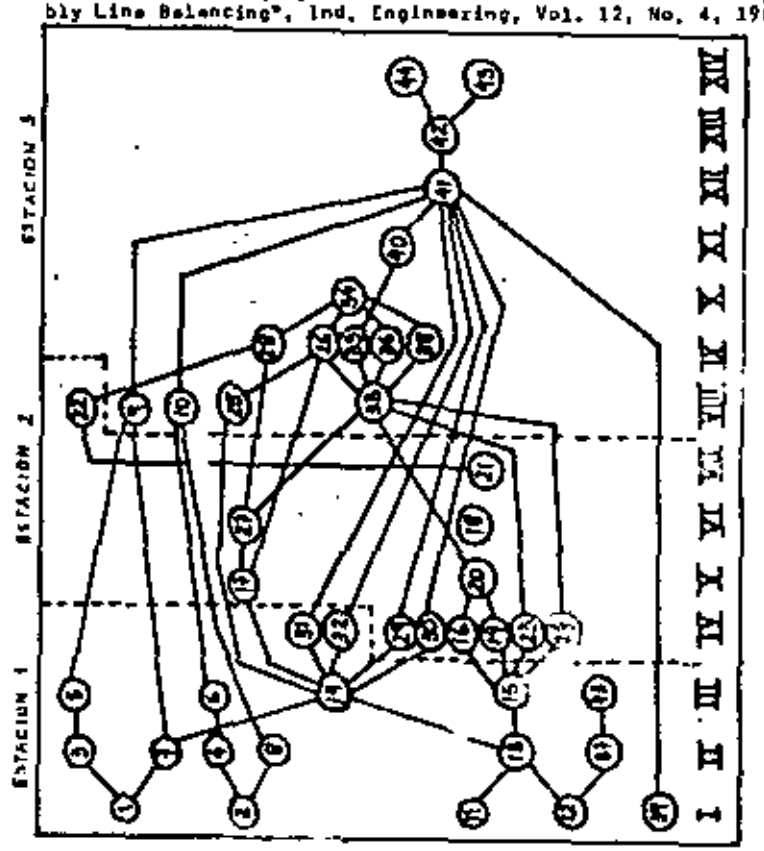
(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39		5		
	3		10		
	7		13		
II	4		10		
	8		13		
	13	ESTACION 1	6		
	37		4		
	5		17		
	6		17		
III	14		22		
	15		11		
	43		6		
IV	31		7		
	32		4	184	184
	29		4		
	30		5		
	16		19		
	19		3		
	23	ESTACION 2	27		
	24		29		
V	17		12		
	20		7		
VI	27		3		
	18		4		
VII	21		55		
VIII	22		14	184	368
	9		20		
	10		20		
	25		26		
	33		15		
	28		24		
	26		6		
IX	35		7		
	36	ESTACION 3	9		
	38		3		
X	34		7		
XI	40		4		
XII	41		21		
XIII	42		12		
XIV	44		5		
	45		5	184	552

pueden ser utilizadas donde sirven mejor a la solución del agrupamiento.

2. Generalmente las soluciones no son únicas. Las operaciones asignadas a una estación se pueden permutar generalmente dentro de la columna. Esto da al supervisor de línea cierta flexibilidad para alterar la secuencia de las operaciones, sin perturbar el balance óptimo.

3. Si es posible, hay que disponer primero de las operaciones de larga duración. Por lo tanto, si se puede escoger entre la asignación de una operación de duración 20, por ejemplo, y la asignación de dos operaciones de duración 10 cada una, asígnese primero la operación de mayor duración. Los elementos de menor duración se guardan para mayor facilidad de manipulación al final de la línea.

FIGURA 7.2.
Diagrama de precedencia equilibrado con tres estaciones.
Tomado de Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Ind. Engineering, Vol. 12, No. 4, 1961.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

INVENTARIOS

M en C Roberto R Borges de Holanda

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

INVENTARIOS

1. Introducción

La función básica de los inventarios, sean éstos de materias primas, material semi-procesado o productos terminados, es mantener relativamente independientes las siguientes actividades:

a) Compra de materias primas
b) Producción
c) Ventas

Los inventarios actúan como resortes según se muestra a continuación:

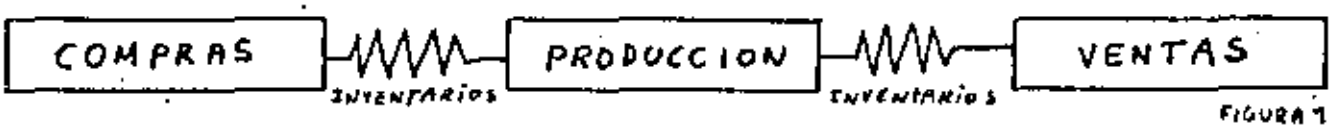


FIGURA 1

Como se puede observar, los inventarios de materias primas son necesarios para separar "Producción" de "Compras" y los inventarios de productos terminados sirven para separar "Producción" de "Ventas".

Otro tipo de inventario es el de material semi-procesado. Este podrá ser de dos tipos:

a) Es el inventario inevitable que resulta del hecho que la fabricación de cualquier producto tarda un dado número de unidades de tiempo (horas, días, meses, etc) y durante este tiempo el material estará almacenado en la planta y pasando por las diversas etapas del proceso productivo.

b) Es el inventario de piezas o material semi-procesado que muchas veces es conveniente fabricar y almacenar en pequeños almacenes (separados o no del almacén principal) o entre los puestos de trabajo (por ejemplo en las líneas de producción) para que el flujo de materiales no sufra nunca problemas de continuidad. Estos inventarios son partucularmente útiles:

- Cuando no es económico fabricar ciertas piezas cada vez que se produce un dado producto.
- Cuando una misma pieza es utilizada en la fabricación de varios productos diferentes.
- Para eliminar problemas debido a la variación de la duración de las operaciones en las líneas de producción o de ensamble.

Los costos que generalmente son considerados en el estudio de los inventarios son los siguientes:

a) Costos de preparación

Estos son los costos de preparación de las máquinas para la fabricación de un dado lote de productos o los costos de "preparación" de los pedidos de compra de materiales.

El costo de preparación de las máquinas no depende del número de productos del lote de fabricación, y , analogamente, el costo de preparación de un pedido de compra de materiales no depende del número de productos a comprar o del tamaño del pedido. En otras palabras, los costos totales de preparación de las máquinas y de los pedidos (durante un dado período) son proporcionales al número de lotes producidos y al número de pedidos realizados, respectivamente.

Generalmente no es facil calcular estos costos fijos por lote de fabricación o por pedido. En lo que se refiere al costo de preparación de los

pedidos (también llamados costos de requisición), es importante señalar que no se debe simplemente dividir el costo total de la "sección de preparación de pedidos"(correspondiente a un dado período) entre el número de pedidos preparados en este mismo período, puesto que gran parte de los costos de dicha "sección" no dependen del número de pedidos realizados, sino que son fijos por período. Por lo tanto, hemos que tener mucho cuidado para identificar aquellos costos en los cuales se incurren únicamente cuando se lleva a cabo la preparación de un nuevo pedido.

Algunos costos relativos a la realización de un pedido son los siguientes:

a) Costo de la realización del pedido propiamente dicho.
b) Costo para seguir los trámites necesarios hasta que el mismo llegue al cliente.
c) Costo relacionado con la entrega de los materiales (transporte, trámites de entrega, inspección, etc)
d) Costo relacionado con el transporte del material recibido hasta los almacenes de la empresa.
e) Etc.

Vale la pena señalar que, dependiendo del caso, algunos de estos costos pueden ser fijos o variables según el tamaño del pedido. Por ejemplo, el costo de inspección podrá ser proporcional al número de productos o unidades del pedido.

En lo que se refiere a los costos de preparación de las máquinas, más o menos los mismos tipos de problemas existen, es decir, no es facil identificar los elementos de costos que unicamente dependen del número de lotes fabricados en un dado período. Vale la pena resaltar que no solamente los costos de la preparación propiamente dicha varían según el número de lotes fabricados. Por ejemplo, si el número de lotes es grande, la planeación y el control de la producción serán generalmente mas complejos y consecuentemente parte de los costos correspondientes a esta actividad dependerá del número de lotes fabricados. Sin embargo no es facil determinar que porcentaje de éstos depende del número de lotes y que porcentaje es fijo por período.

b) Costos de producción

Estos deben incluir los costos de todas las etapas del proceso productivo, desde la recepción de materias primas hasta la introducción del producto en el almacén de productos terminados. En otras palabras, estos costos representan la inversión total de capital para la producción de una unidad (materias primas, mano de obra directa e indirecta, planeación y control de la producción, etc).

c) Costos de almacenamiento

Estos costos incluyen los costos en que se incurren en los almacenes propiamente dichos y que generalmente dependen del número de productos almacenados. Ejemplos:

- Sueldos y salarios del personal que controla los inventarios (vale la pena señalar que estos costos pueden ser fijos por período).
- Seguros, robos, obsolescencia y depreciación.
- Luz, calefación o refrigeración
- Realización de inventarios.

La mayoría de estos costos son proporcionales al nivel de los inventa

rios. Sin embargo, como hemos dicho anteriormente, los costos de sueldos y salarios pueden tener poca relación con el nivel de los inventarios y hasta pueden ser proporcionales al número de pedidos de materiales recibidos en el almacén. En estos casos estos costos podrían ser considerados como parte de los costos de preparación.

Los costos de almacenamiento que realmente son proporcionales al nivel del inventario, generalmente los expresamos como un porcentaje del valor del inventario. Por ejemplo, podemos decir que el costo de almacenamiento representa un 5% al año del valor medio mantenido en inventario.

d) Costo del capital

Este corresponde al costo del capital invertido en los inventarios. En la mayoría de los casos consideramos que el costo del capital es igual a su rentabilidad si ésta fuera invertido en otras actividades. Este costo nunca deberá ser inferior a los intereses anuales ofrecidos por bancos y financieras.

Obviamente, el costo del capital también es proporcional al nivel del inventario, ya que cuanto mayor sea el inventario, mayor será el monto que estamos dejando de ganar por no haber invertido ese dinero en otro tipo de actividad. El costo del capital también se expresa como un porcentaje al año (por ejemplo, 18,52% al año) y si sumamos este porcentaje al porcentaje correspondiente al costo de almacenamiento, obtendremos un porcentaje total "F_m" que llamamos costo de mantener el inventario. El costo de mantener también puede expresarse en pesos por unidad por año (\$/unid. año) y para obtenerlo sólo tenemos que multiplicar el porcentaje "F_m" por el precio o valor de una unidad del artículo o pieza que se está considerando. Para el costo de mantener expresado en términos de \$/unid. año utilizaremos la abreviación "C_m".

e) Costo del faltante

Es el costo relativo a la falta de materias primas o productos terminados cuando éstos son solicitados por el Depto. de Producción o por los clientes, respectivamente. En lo que se refiere a la falta de materias primas, esto podrá causar el paro de una línea de producción o ensamble, o podrá obligar al Depto. de Producción a la no utilización de las secuencias más adecuadas de fabricación.

En cuanto al costo de la falta de productos terminados, éste deberá incluir los costos correspondientes a las ventas perdidas por la Empresa debido a la no existencia en el inventario del producto solicitado por el cliente.

2. INVENTARIOS DE MATERIAS PRIMAS

2.1. Introducción

En lo que se refiere a los inventarios de materias primas, el problema básico a resolver es el siguiente:

- Cuándo comprar la materia prima
- Qué cantidad comprar.

de tal manera que la suma de los costos correspondientes a la compra de la materia prima y a los inventarios resultantes sea mínima. Si por un lado es conveniente tener grandes cantidades de materias primas para no correr el riesgo de que éstas se agoten, por otro lado esta política conduce a un aumento excesivo de los costos relativos al capital invertido en los inventarios y de los costos de almacenamiento. También se podrá pensar en un número mayor de pedidos menores para mantener siempre los almacenes con las materias primas requeridas, pero con un nivel de inventarios más reducido, ya que los pedidos serían frecuentes pero pequeños. El resultado de esta última política sería la disminución de los costos de mantener el inventario y el aumento de los costos de preparación de los pedidos.

Por lo tanto, existe un número óptimo de pedidos y consecuentemente un tamaño óptimo, que conducirá a una minimización de la suma de todos esos costos.

Podríamos representar gráficamente las dos políticas de compra analizadas como se muestra a continuación:

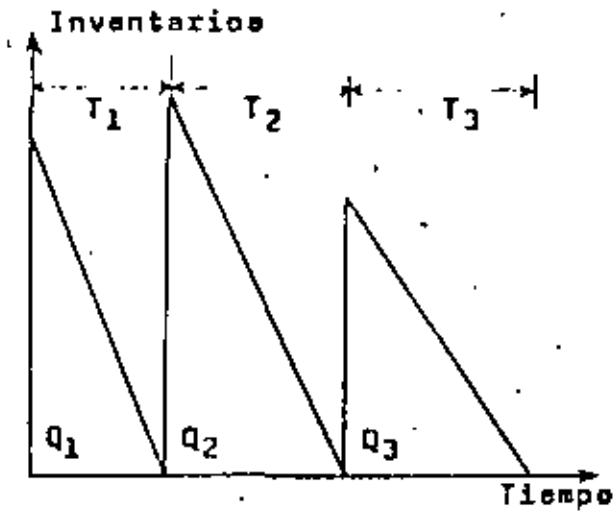


FIGURA 2

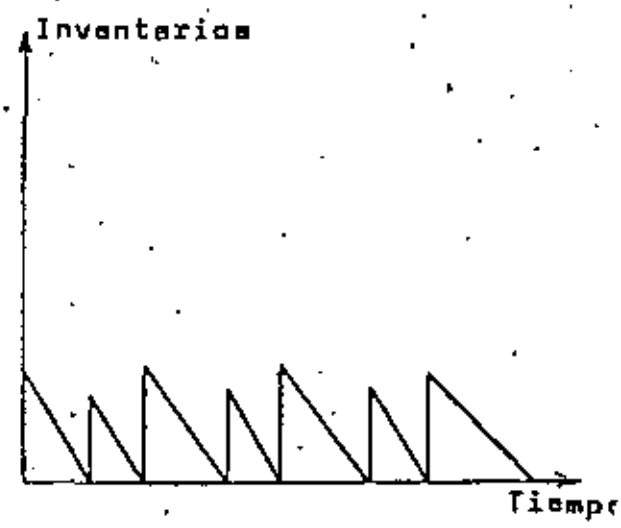


FIGURA 3

Es de señalar que las cantidades pedidas no tienen que ser iguales, es decir, $Q_1 \neq Q_2 \neq \ldots \neq Q_n$ y que los períodos de agotamiento pueden no ser iguales, es decir, $T_1 \neq T_2 \neq \ldots \neq T_n$. Además la tasa de demanda puede ser variable.

2.2. Modelo clásico

Para analizar el problema de los inventarios es conveniente empezar con algunos modelos teóricos sencillos, en los cuales podrán ser incluidos posteriormente otras variables.

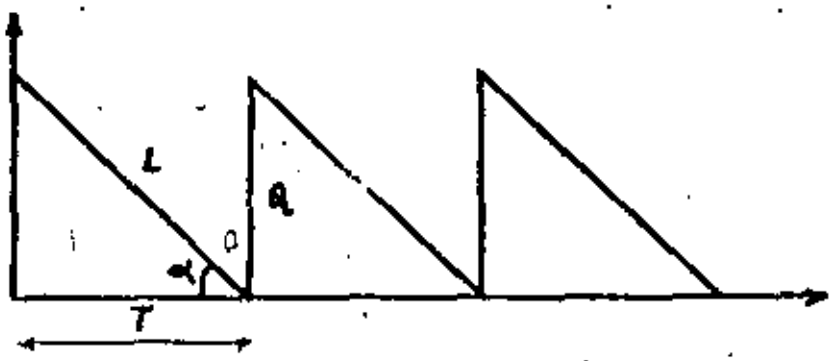
El modelo más elemental requiere las siguientes suposiciones:

a) La rapidez con que se agota la materia prima (tasa de demanda) es conocida, es decir, se conoce el grado α de la línea "L" (ver Figura 4).

b) Los pedidos serán siempre de una misma cantidad "Q". Por lo tanto, el tiempo "T" durante el cual se agota la materia prima, será siempre el mismo (ver figura 4).

c) El nuevo pedido de materias primas llegará exactamente cuando el inventario de éstas se agote (ver Figura 4). Por lo tanto, se supondrá que nunca habrá faltas de materias primas.

FIGURA 4



d) El costo de preparación de los pedidos será considerado constante. En otras palabras, el costo total de un dado período será proporcional al número de pedidos realizados.

e) Los costos de almacenamiento y el costo del capital invertido en los inventarios, serán proporcionales al nivel de éstos. La suma del costo de almacenamiento y del costo del capital será llamada costo de mantener.

Con base en estas suposiciones podemos ahora diseñar nuestro primer modelo para estudir el problema de la optimización de los inventarios:

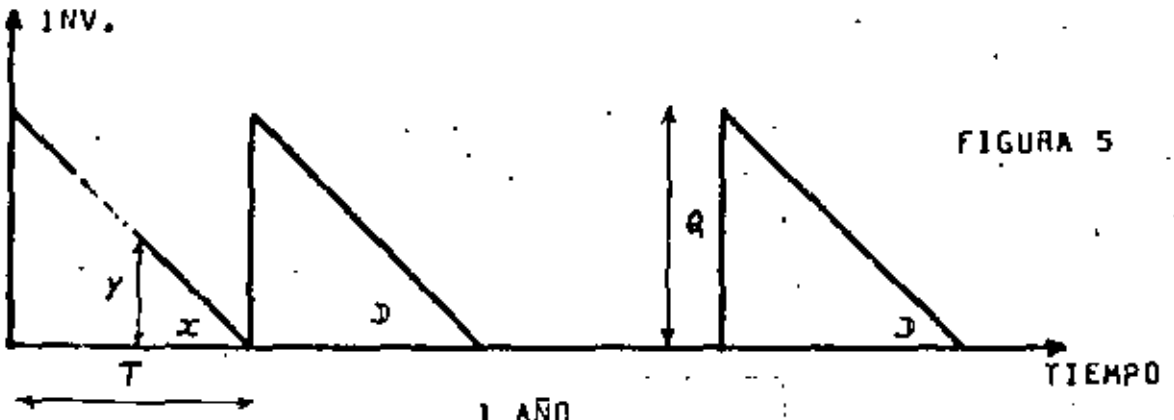


FIGURA 5

En los modelos de inventarios que estudiaremos utilizaremos siempre la siguiente notación:

CTI	Costo total incremental.
CTI_o	Costo total incremental óptimo (mínimo).
Q	Tamaño del lote o pedido.
Q_o	Cantidad óptima del pedido o del lote.
D	Demanda anual o tasa anual de demanda.
C_m	Costo del inventario por unidad por año (costo de mantener).
C_p	Costo de preparación por pedido.
Q_r	Punto de reorden.
T_e	Tiempo de entrega.
I_c	Inventario de protección o de contingencia.
I	Nivel del inventario.
d	Tasa de demanda

Considerando nuestro primer modelo, determinemos inicialmente el inventario medio durante el período "T", el cual también será el inventario medio anual:

$$y/x = Q/T \Rightarrow y = x.Q/T$$

$$\frac{\int_0^t x \cdot \frac{Q}{T} \cdot dx}{T} = \frac{\left[\frac{Q}{T} \cdot \frac{x^2}{2}\right]_0^T}{T} = \frac{\frac{Q \cdot T^2}{2T}}{T} = \frac{Q \cdot T}{2T} = \frac{Q}{2}$$

* corregir

Es importante observar que el inventario medio anual no depende de la tasa de demanda, o sea, de "D" y es siempre igual a Q/2. Por ejemplo, en los casos de las figuras 6 y 7, el inventario medio anual es el mismo. Sin embargo, los costos de preparación de un período dado serían mayores en el caso de la figura 7.

Puesto que el costo de mantener es directamente proporcional el nivel de éste, su representación gráfica será como se indica en la figura 8:

FIGURA 6

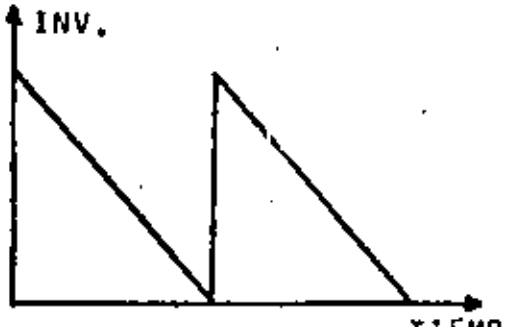


FIGURA 7

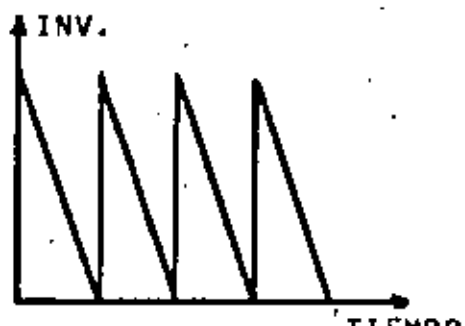
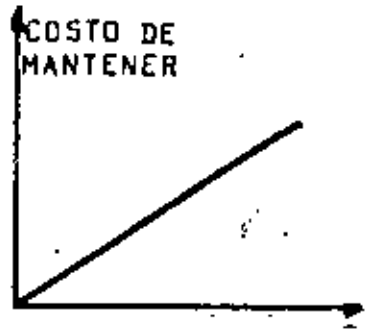


FIGURA 8



y el costo anual de mantener será:

$$C_m \cdot \frac{Q}{2}$$

El número de pedidos por año puede ser calculado como sigue:

$$N = \frac{D}{Q}$$

Y por lo tanto, si C_p es el costo de preparación de cada pedido, el costo anual de preparación será:

$$C_p \cdot \frac{D}{Q}$$

La representación gráfica del costo anual de preparación según la cantidad del pedido "Q" es la siguiente:

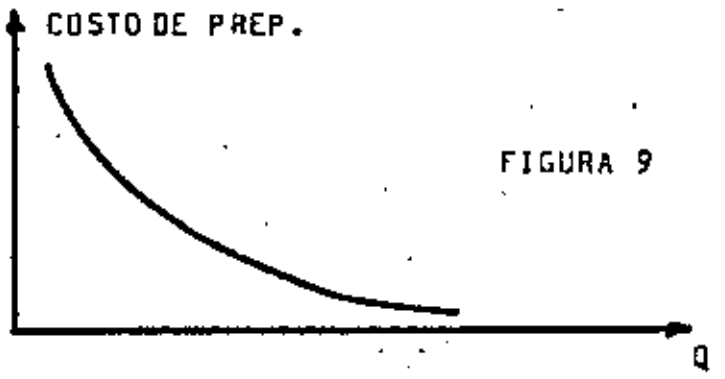


FIGURA 9

Finalmente el costo total anual incremental será:

$$CTI = \frac{C_m \cdot Q}{2} + \frac{C_p \cdot D}{Q} \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Y la representación gráfica de la variación del costo total incremental anual según el tamaño del pedido será:

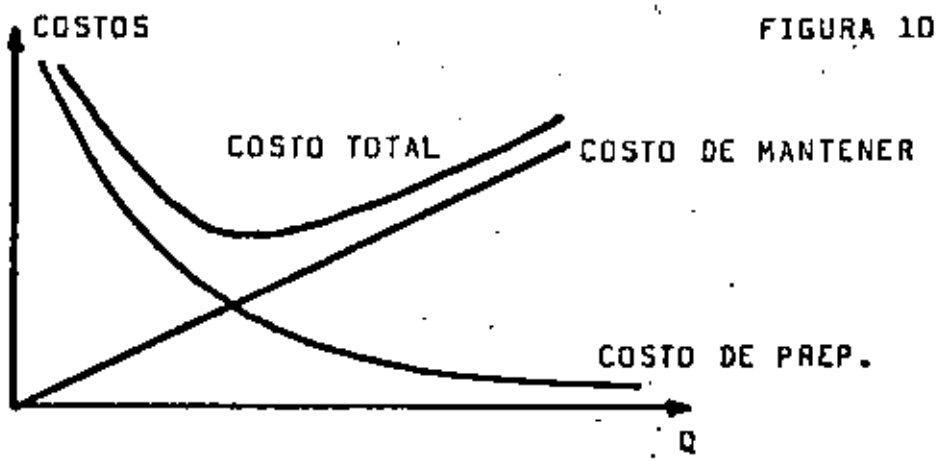


FIGURA 10

El tamaño de pedido Q_o que conduce a un costo total incremental mínimo puede entonces ser obtenido a través de una simple derivación:

$$\frac{d\,(CTI)}{dQ} = \frac{C_m}{2} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$$

Igualando a cero tenemos:

$$\frac{C_m}{2} - \frac{C_p \cdot D}{Q_o^2} = 0$$

Y por lo tanto:

$$Q_o = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m}$$

El costo incremental mínimo anual puede entonces ser calculado substituyendo el valor de Q_o en la ecuación (1):

$$CTI_o = C_m \cdot \frac{Q_o}{2} + \frac{D}{Q_o} \cdot C_p$$

$$= C_m \cdot 1/2 \cdot \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m} + D \cdot C_p \cdot \sqrt{C_m / 2 \cdot C_p \cdot D}$$

$$= \sqrt{\frac{C_m^2 \cdot 2 \cdot C_p \cdot D}{4 \cdot C_m}} + \sqrt{\frac{D^2 \cdot C_p^2 \cdot C_m}{2 \cdot C_p \cdot D}}$$

$$= \sqrt{\frac{C_m \cdot C_p \cdot D}{2}} + \sqrt{\frac{C_m \cdot C_p \cdot D}{2}} = 2\sqrt{\frac{C_m \cdot C_p \cdot D}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot C_m \cdot C_p \cdot D}{2}} = \sqrt{2 \cdot C_m \cdot C_p \cdot D}$$

Por lo tanto, el costo incremental mínimo anual (CTI_o) es:

$$CTI_o = \sqrt{2 \cdot C_m \cdot C_p \cdot D}$$

El número óptimo de pedidos será:

$$N_o = \frac{D}{Q_o}$$

Finalmente, el tiempo de agotamiento de la cantidad Q_o será:

$$T_o = \frac{Q_o}{D} = \frac{1}{N_o} \text{ años.}$$

Veamos ahora un ejemplo numérico:

$D = 250$ unidades por año. $C_p = \$\ 10$ por pedido.

$C_m = \$\ 0.5$ por unidad por año.

El tamaño óptimo del pedido será:

$$Q_o = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 250}{0.5}} = \sqrt{10{,}000} = 100 \text{ unidades.}$$

El costo mínimo anual, el número óptimo de pedidos y el tiempo de agotamiento son, respectivamente:

$$CTI_o = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0.5 \cdot 250} = \$\ 50 \quad \text{(por año)}$$

$$N_o = 250 / 100 = 2.5 \text{ pedidos por año.}$$

$$T_o = 1 / 2.5 = 0.4 \text{ años} = 146 \text{ días} \quad \text{(tiempo entre dos pedidos consecutivos)}$$

2.3. <u>Modelo con faltantes</u>

En este segundo modelo vamos a suponer que el pedido de materias primas llega a la empresa "T_2" unidades de tiempo después que el inventario se agote y que el costo del faltante es C_f por producto y por unidad de tiempo. En otras palabras, si hay un "inventario negativo" de "n" unidades durante un período de tiempo "T_2", el costo del faltante correspondiente será:

$$C_f \cdot n \cdot T_2$$

La representación gráfica del segundo modelo es la siguiente:

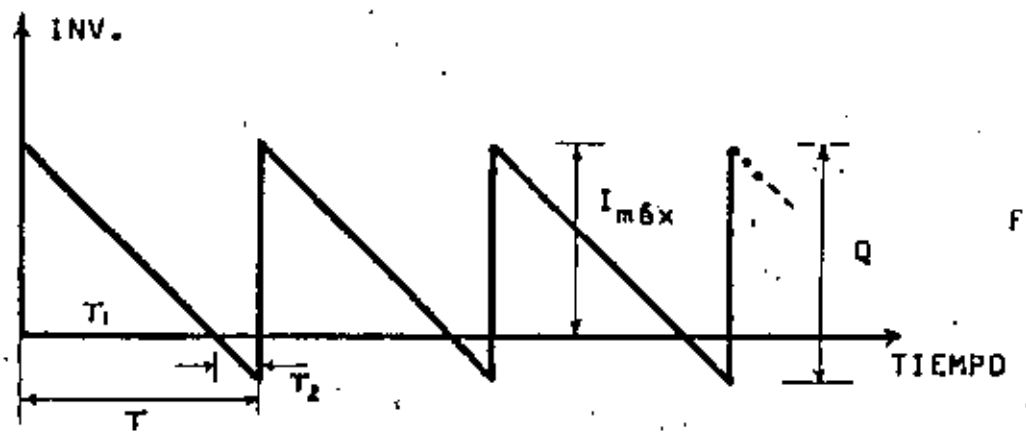


FIGURA 11

Durante el período T_1 el costo de mantener será:

$$C_m \cdot I_{máx} \cdot T_1 / 2 = C_m \cdot I^2_{máx} / 2 \cdot D$$

ya que $T_1 = I_{máx} / D$.

El inventario negativo medio será $(Q - I_{máx}) / 2$ y por lo tanto el costo del faltante durante el período T_2 será:

$$C_f \cdot T_2 \cdot (Q - I_{máx}) / 2 = C_f \cdot (Q - I_{máx})^2 / 2 \cdot D$$

puesto que $T_2 = \frac{Q - I_{máx}}{D}$

Por lo tanto, el costo correspondiente a un ciclo $T = T_2 + T_1$ será:

$$C_p + C_m \frac{I^2_{máx}}{2D} + C_f \frac{(Q - I_{máx})^2}{2D}$$

Y finalmente el costo incremental total anual será obtenido multiplicándose el costo correspondiente al período T (un ciclo) por el número de ciclos en el año (igual a D / Q):

$$CTI = C_p \frac{D}{Q} + C_m \frac{I^2_{máx}}{2Q} + C_f \frac{(Q - I_{máx})^2}{2Q}$$

Los valores de "$I_{máx}$" y "Q" que conducen a costos mínimos incrementales anuales pueden entonces ser obtenidos mediante el cálculo de las derivadas parciales en relación a estas dos variables. Esta derivación conducirá al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{\partial(CTI)}{\partial Q} = 0$$

$$\frac{\partial(CTI)}{\partial I_{máx}} = 0$$

de donde se sacan los siguientes valores óptimos:

$$Q_o = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m} \sqrt{\frac{C_f + C_m}{C_f}}$$

$$I_{máx_o} = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m} \sqrt{\frac{C_f}{C_f + C_m}}$$

$$TIC_o = \sqrt{2 \cdot C_m \cdot C_p \cdot D} \sqrt{\frac{C_f}{C_f + C_m}}$$

Vale la pena observar que si $C_f \rightarrow \infty$ el término $(C_f + C_m) / C_f$ tiende a 1 y por lo tanto la ecuación se queda idéntica a la del primer modelo. En otras palabras, no admitir la falta de materias primas es la misma cosa que considerar el costo del faltante igual a infinito.

Por otro lado, si el costo del faltante es cero, Q_o es infinito y $I_{máx} = 0$ y esto quiere decir que los pedidos de materias deberían ser <u>siempre</u> realizados <u>después</u> de requeridos por el Depto. de Producción. Sería el caso, por ejemplo, de pedidos de materias primas que serían siempre diferentes de las anteriores y por lo tanto sería imposible mantener inventarios de éstas.

A continuación presentamos un ejemplo numérico de este segundo modelo:

C_f = \$ 1.00 por unidad por año. C_p = \$ 10.00

D = 250 unidades por año. C_m = \$ 0.50 por unidad por año.

$$Q_o = 100\sqrt{\frac{0.50 + 1.00}{1.00}} = 122.5 \text{ unidades}$$

$$CTI_o = 50\sqrt{\frac{1.00}{0.50 + 1.00}} = \$\ 40.83 \text{ por año}$$

$$I_{máx_o} = 100\sqrt{\frac{1.00}{0.50 + 1.00}} = 81.65 \text{ unidades}$$

2.4. Modelo con descuentos por cantidad

Cuando el precio de la materia prima cambia según la cantidad comprada, el método para la determinación de la cantidad óptima Q_o es un poco más laborioso pero no es complejo. Veamos un ejemplo en el cual el costo de la materia prima es K_1 si la cantidad comprada es menor o igual a "B" y K_2 si la cantidad comprada es mayor que "B".

En éstos casos tenemos que utilizar otra fórmula para el cálculo del costo total anual en función de la cantidad de cada pedido. Esta fórmula incluye el costo de la materia prima y es la siguiente:

$$CTI = C_p \frac{D}{Q} + K \cdot D + K \frac{Q}{2} \cdot F_m$$

donde,

K = costo unitario o precio del artículo

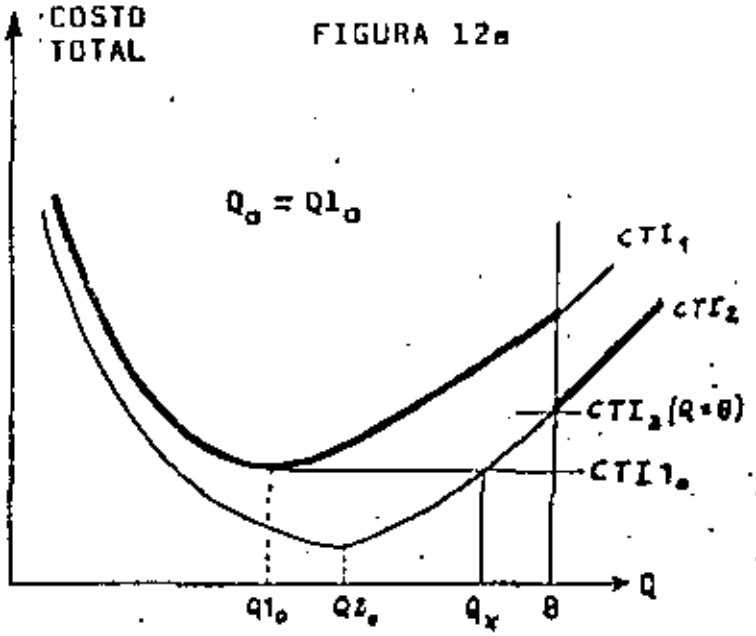
F_m = costo de mantener el inventario como una fracción del valor del mismo

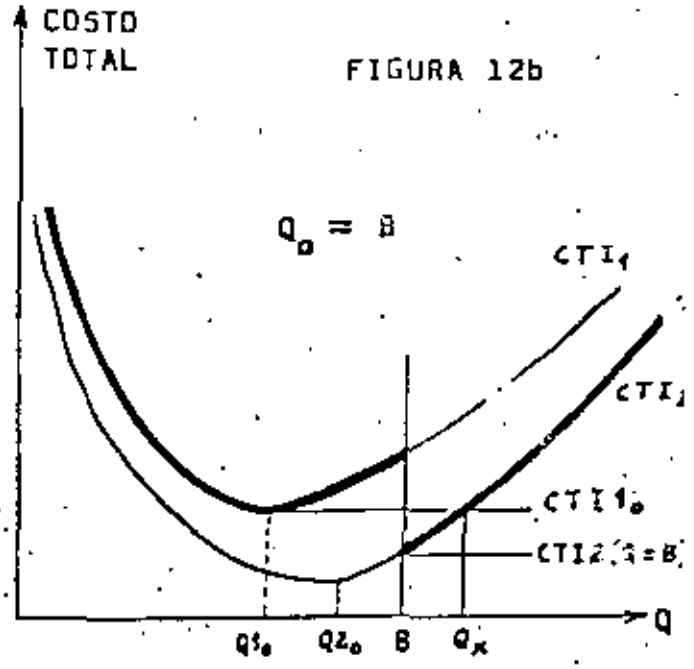
Siguiendo el procedimiento anterior, diferenciamos la ecuación del costo total respecto a "Q" y se iguala el resultado a cero. Se obtienen las siguientes fórmulas:

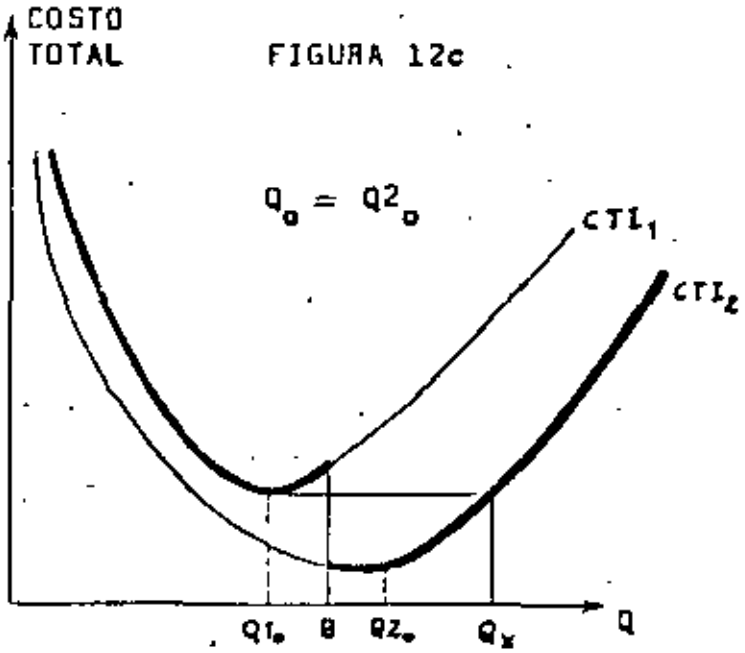
$$Q_o = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / K \cdot F_m}$$

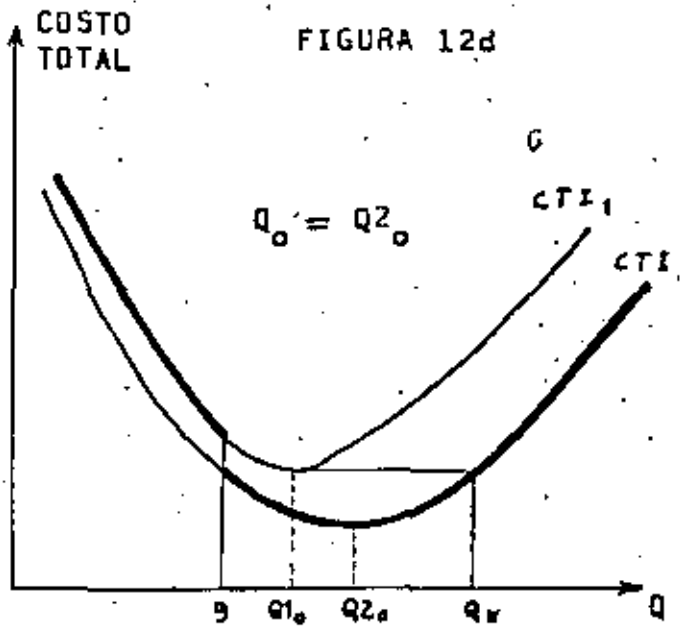
$$CTI_o = \sqrt{2 . C_p\ K \cdot F_m \cdot D} + K \cdot D$$

Para entender mejor la solución analítica de éste tipo de problema, será conveniente, inicialmente, resolverlo gráficamente (véanse las Figuras 12a, 12b, 12c y 12d.



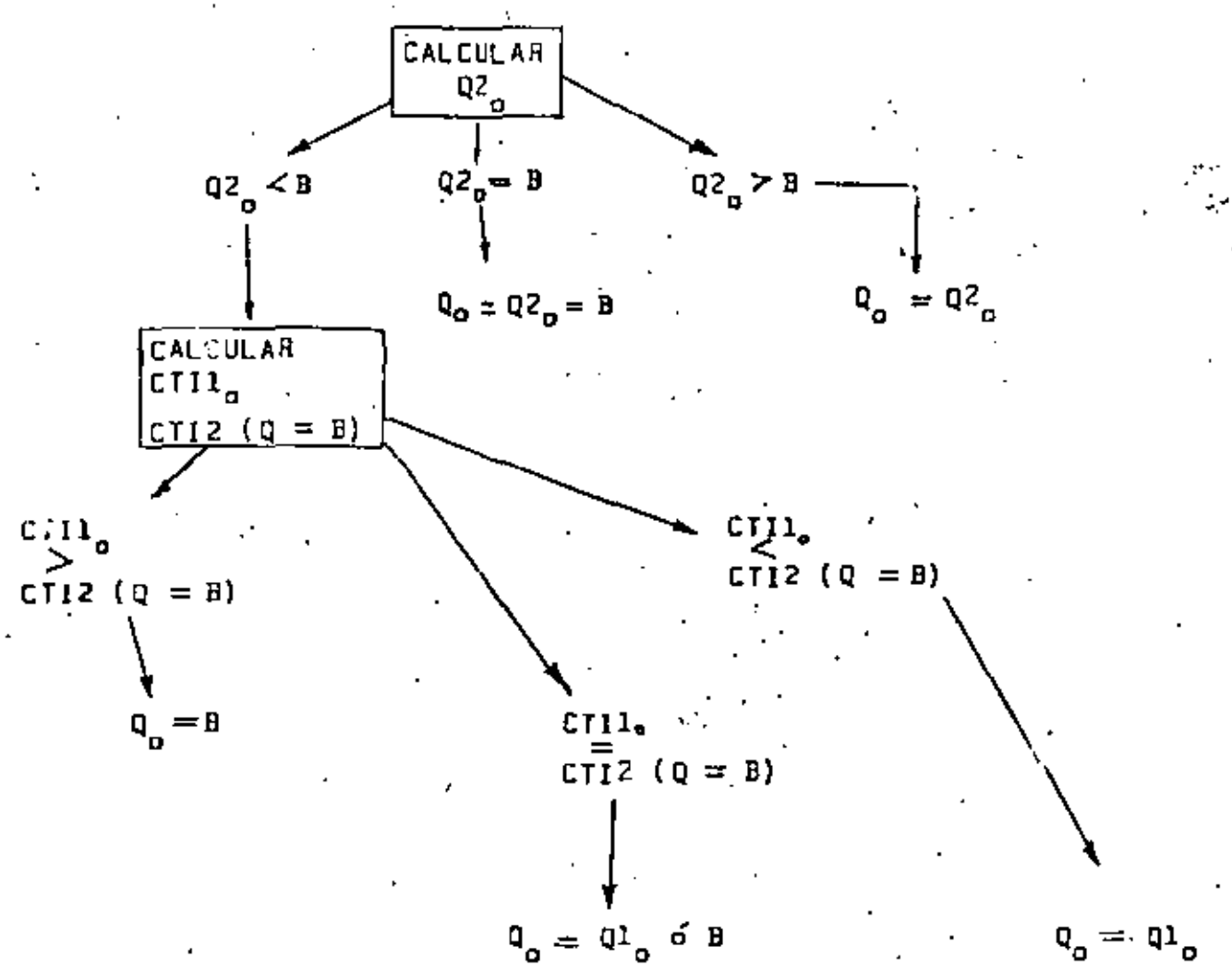






En el caso de la figura 12b, podemos observar que la cantidad que conduce a costos anuales mínimos es $Q_o = B$; Y en el caso de la figura 12a, la cantidad óptima es $Q = Q1_o$; etc.

Analíticamente, la mejor forma de resolver el problema es como sigue:



Ejemplo numérico:

$B = 250$ unidades $\quad D = 500$ unidades por año $\quad C_p = \$\ 10$

$F_m = 20\%$ $\quad K_1 = \$\ 1.00$ $\quad K_2 = \$\ 0.90$

Siguiendo el procedimiento descrito en esta página, tenemos inicialmente que calcular $Q2_o$:

$$Q2_o = 236$$

Puesto que $Q2_o = 236 < B$, tenemos que calcular $CTI1_o$ y $CTI2\ (Q = B)$:

$$CTI1_o = \sqrt{2.C_p.D.K_1.F_m} + K_1.D$$

$$CTI1_o = \sqrt{2 \times 10 \times 0.20 \times 1 \times 500} + 1.00 \times 500$$

$$CTI1_o = \sqrt{2000} + 500 = 45 + 500 = 545$$

$$CTI2\ (Q = B) = C_p \frac{D}{B} + K_2 . D + K_2 \frac{B}{2} . F_m$$

$$CTI2\ (Q = B) = 10 \times 500/250 + 0.90 \times 500 + \frac{0.90 \times 250 \times 0.20}{2}$$

$$CTI2\ (Q = B) = 20 + 450 + 22.5 = 492.50$$

Puesto que $CTI1_o > CTI2\ (Q = B)$, podemos entonces deducir que la cantidad Q_o que conducirá a costos mínimos anuales es igual a B, es decir,

$$Q_o = B = 250$$

El método que hemos empleado para resolver este problema con un solo cambio de precio puede ser fácilmente generalizado para "n" cambios. Analicemos las figuras que se muestran en la siguiente página:

Inicialmente observemos la figura 12e. Si hay "n" cambios de precio, habrá obviamente (n + 1) precios diferentes, de modo que la última curva tendrá que ser la CTI_{n+1}. Si B_n es menor que ..... $Q_{o,n+1}$ ésta será sin duda la cantidad óptima, ya que ningún otro punto de las (n+1) curvas podrá estar más abajo que el punto mínimo de la curva CTI_{n+1}.

Es importante observar que si compramos una cantidad $Q_{o,n+1}$, el proveedor nos cobrará el precio (n+1) y debido a esto diremos que la cantidad $Q_{o,n+1}$ es <u>factible</u>. Si a la cantidad $Q_{o,n+1}$ correspondiera cualquier precio que no fuera (n+1), diríamos entonces que esta cantidad no sería factible.

Observemos por ejemplo la cantidad $Q_{o,n-1}$ (figura 12e). Si compramos esta cantidad, el proveedor nos cobrará el precio "n" y por lo tanto la cantidad $Q_{o,n-1}$ no es factible. En las cuatro gráficas e, f, g y h las cantidades factibles están señaladas con un círculo y las no factibles con una "X".

Analicemos ahora la figura 12f. Si B_n fuera mayor que $Q_{o,n+1}$, como se muestra en esta figura, entonces dicha cantidad no sería factible y al mismo tiempo no podríamos decir cuál sería la cantidad óptima, ya que los costos CTI_{Bn} y $CTI_{o,n}$ están compitiendo y consecuentemente tenemos que compararlos para determinar si la cantidad óptima es B_n o $Q_{o,n}$.

Por otro lado debemos observar que $Q_{o,n}$ si es factible y por lo tanto cuando $Q_{o,n+1}$ resulta no factible y $Q_{o,n}$ resulta factible, tenemos que comparar los costos $CTI_{o,n}$ y CTI_{Bn} para poder llegar a una decisión final.

FIGURA 12e

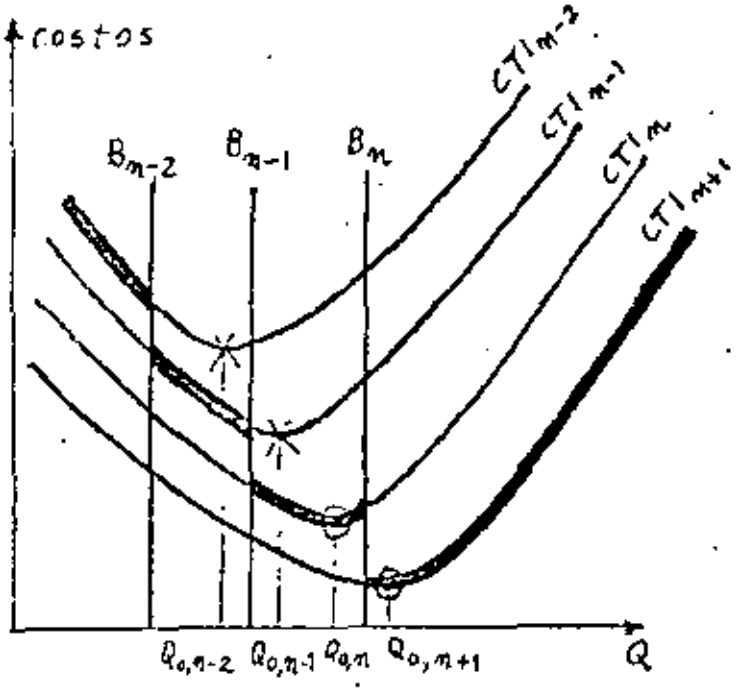
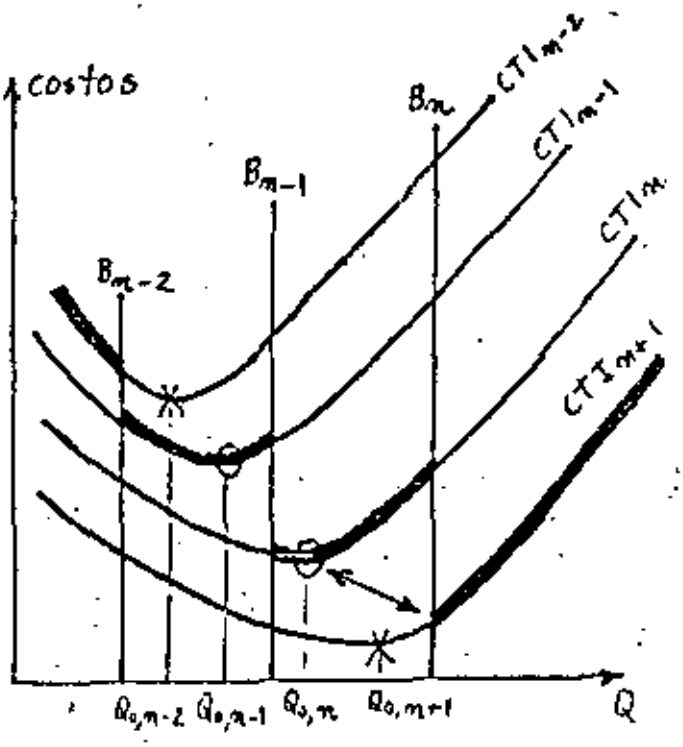


FIGURA 12f



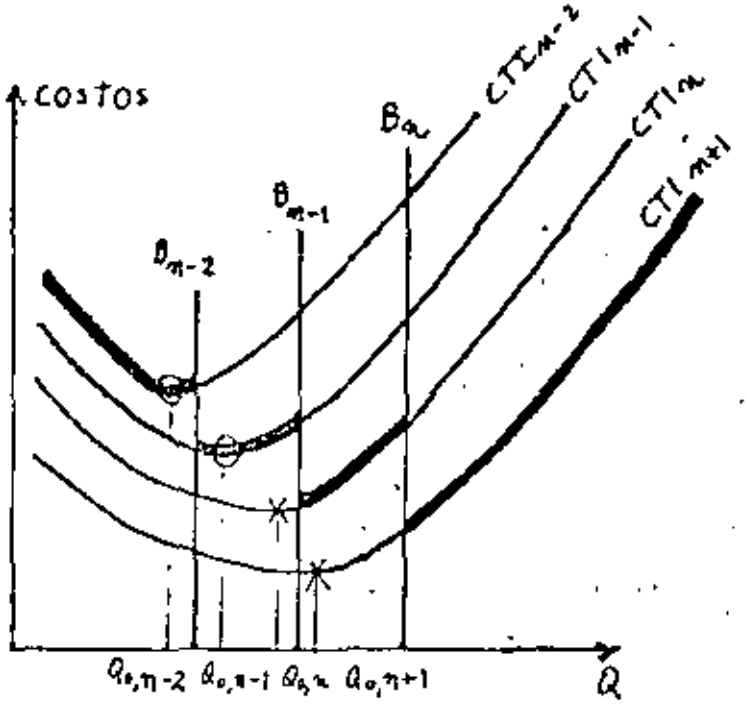


FIGURA 12g

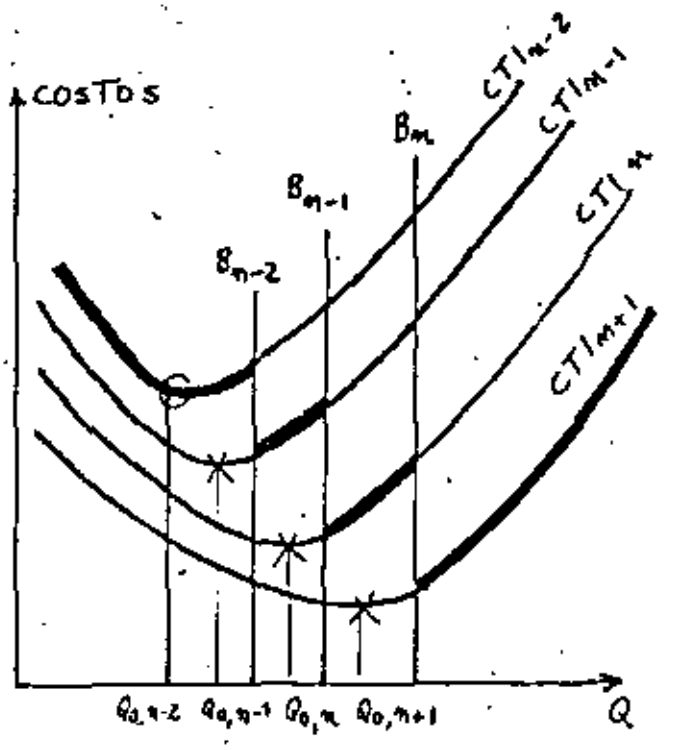


FIGURA 12h

Observemos ahora la figura 12g. $Q_{o,n+1}$ y $Q_{o,n}$ no son factibles y $Q_{o,n-1}$ si es factible. La gráfica muestra que los costos $CTI_{o,n-1}$, $CTI_{B_{n-1}}$ y CTI_{Bn} están compitiendo y que es indispensable compararlos para poder determinar la cantidad óptima.

Finalmente, observemos la figura 12h. La única cantidad factible es $Q_{o,n-2}$ y puede observarse también que para resolver el problema debemos comparar los costos $CTI_{o,n-2}$, $CTI_{B_{n-2}}$, $CTI_{B_{n-1}}$ y CTI_{Bn}.

De lo expuesto anteriormente podemos entonces afirmar que un procedimiento general para resolver problemas con "n" cambios de precio, sería el siguiente:

a) Calcular $Q_{o,n+1}$ y checar si es factible. Si es factible, ésta será la cantidad óptima. Si $Q_{o,n+1}$ no es factible, pasar al inciso b).

b) Calcular $Q_{o,n}$ y checar si es factible. Si es factible, comparar $CTI_{o,n}$ con CTI_{Bn}; el menor costo indicará cuál es la cantidad óptima. Si $Q_{o,n}$ no es factible, pasar al inciso c).

c) Calcular $Q_{o,n-1}$ y checar si es factible. Si es factible, comparar $CTI_{o,n-1}$, $CTI_{B_{n-1}}$ y CTI_{Bn} (debe observarse que se compara $CTI_{o,n-1}$ con los costos correspondientes a todos los B_i que están a la derecha y que el primer B_i tiene exactamente el mismo índice que $CTI_{o,n-1}$, es decir, el índice (n-1)). Como en el inciso b), el menor de estos tres costos indicará cuál es la cantidad óptima. Si $Q_{o,n-1}$ no es factible, pasar al inciso d).

d) Seguir calculando las demás cantidades $Q_{o,n-2}$, $Q_{o,n-3}$, etc, hasta que se encuentre una cantidad factible $Q_{o,i}$. Comparar entonces $CTI_{o,i}$ con los costos CTI_{B_i}, $CTI_{B_{i+1}}$, ... CTI_{B_n}. El menor costo indicará la cantidad óptima.

3. INVENTARIOS DE PRODUCTOS TERMINADOS

3.1. Modelo clásico

Los modelos de inventarios de productos terminados (o de piezas fabricadas en la propia Empresa) son semejantes a los modelos estudiados anteriormente. La diferencia básica es que los productos terminados son fabricados en la planta al mismo tiempo en que éstos van siendo consumidos por los clientes. Consecuentemente, existe una tasa de crecimiento del inventario que es igual a la tasa de producción menos la tasa de demanda (véanse las figuras 13 y 14).

Si analizamos la figura 14, podemos observar que el inventario crece con una tasa igual a (P - D) durante el período T_p y consecuentemente el inventario medio durante dicho período será:

$$\frac{I_{máx}}{2} = \frac{T_p\,(P - D)}{2}$$

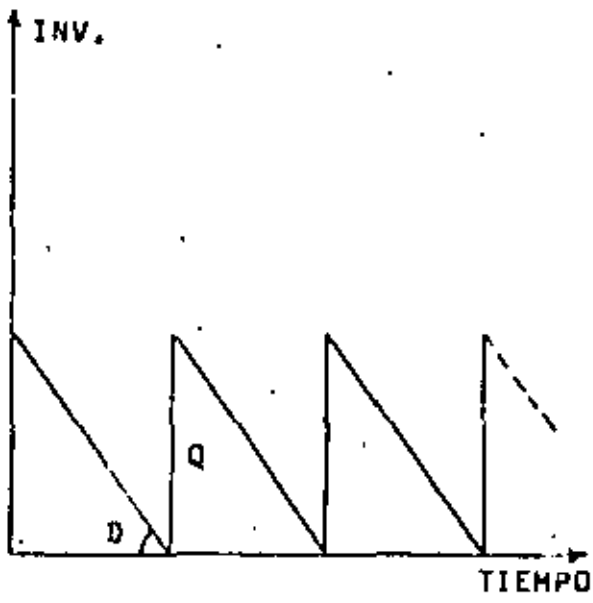


FIGURA 13: Materia prima comprada a un proveedor externo.

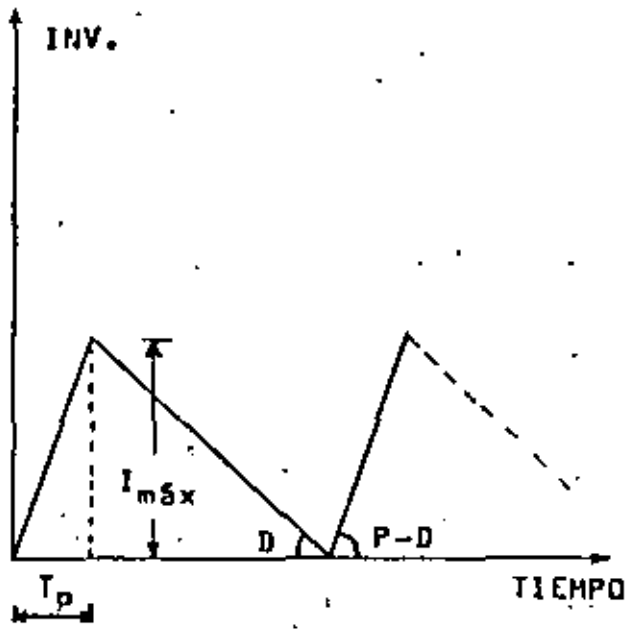


FIGURA 14: Producto terminado o piezas fabricados en la propia Empresa

"P" = Producción anual

"D" = Demanda anual

Considerando que "Q" unidades son producidas a una tasa de producción "P" durante el período "T_p", tenemos entonces:

$$Q = P \cdot T_p \Longrightarrow T_p = Q / P$$

Substituyendo en la fórmula anterior tenemos:

$$I_{med.} = \frac{(P - D)}{2} \cdot \frac{Q}{P} = (1 - D/P) \cdot \frac{Q}{2}$$

Considerando ahora que el costo de preparación es C_p, que el costo de mantener es C_m y que la demanda anual es "D", podemos entonces escribir la fórmula para el cálculo del costo total anual:

$$CTI = C_p \cdot \frac{D}{Q} + C_m (1 - D/P) \cdot \frac{Q}{2}$$

Derivando respecto a "Q" e igualando a cero tenemos:

$$\frac{d(CTI)}{dQ} = - C_p \cdot D / Q_o^2 + C_m (1 - D/P) \cdot 1/2 = 0$$

$$C_m (1 - D/P) = 2 \cdot C_p \cdot D / Q_o^2$$

$$Q_o^2 = 2 \cdot C_p \cdot D / C_m (1 - D/P)$$

$$Q_o = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m (1 - D/P)}$$

Substituyendo este valor en la ecuación del costo total anual, tenemos:

$$CTI_o = \sqrt{2 \cdot C_p . C_m \cdot D (1 - D/P)}$$

El número óptimo de lotes será:

$$N_o = D / Q_o$$

y el período de tiempo entre la fabricación de dos lotes consecutivos será:

$$T_o = Q_o / D = 1 / N_o \text{ años.}$$

Ejemplo numérico:

$P = 10{,}000$ unidades por año. $D = 5{,}000$ unidades por año.

$C_p = \$\ 10$. $C_m = 0.20$ pesos/unidad/año.

$$Q_o = \sqrt{\frac{2 \times 10 \times 5000}{0.2 \times (1-5000/10000)}} = \sqrt{1000000} = 1,000$$

$Q_o = 1,000$ unidades

El costo mínimo anual será:

$CTI_o = \sqrt{2 \times 10 \times 0.2 \times 5000\ (1 - 5000/10000)}$

$CTI_o = \sqrt{10000}$

$CTI_o = \$\ 100$ (por año).

El número de lotes por año será:

$N_o = D\ /\ Q_o = 5000\ /1000 = 5$ lotes al año.

Finalmente, el período de tiempo entre dos lotes consecutivos será:

$T_o = Q_o\ /\ D = 1\ /\ N_o = 1000\ /5000 = 1/5$ años $= 2.4$ meses.

3.2. Determinación de los lotes óptimos cuando se fabrican diferentes productos en un solo equipo.

Cuando una empresa utiliza el mismo equipo para la fabricación de los lotes de varios productos diferentes, ni siempre es posible calcular los lotes óptimos usándose la ecuación

$$Q_o = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot D / C_m(1 - D/P)}$$

Esto se debe al hecho que obtendríamos lotes óptimos Q_1, Q_2, Q_3, ... Q_n, sin embargo no sería posible su fabricación puesto que antes que terminara la fabricación de todos los lotes, es decir, antes que se completara un ciclo , los inventarios de algunos artículos ya estarían agotados. En este caso será necesario fabricar lotes diferentes de los lotes "óptimos" proporcionados por la fórmula $Q_o = \sqrt{2D.C_p/C_m(1-D/P)}$ para que entonces sea posible terminar el ciclo de fabricación de los lotes antes que se agote cualquiera de los inventarios de los diferentes artículos.

A continuación, deducimos una fórmula que proporciona el número óptimo de ciclos por año y con base en este valor los lotes óptimos de cada artículo podrán ser determinados mediante la fórmula

$$(Q_i)_o = D_i / n_o$$

Donde,

$(Q_i)_o$ = lote óptimo para el artículo "i".

D_i = demanda anual del producto "i".

n_o = número óptimo de ciclos por año.

Supongamos ahora que "n" es el número de ciclos por año y que a cada uno de los "m" productos corresponden los siguientes datos:

D_i = demanda anual

P_i = producción anual (normal)

$(C_m)_i$ = costo de mantener

$(C_p)_i$ = costo de preparación

El nivel del inventario de cada producto variará como se indica en la figura 15,

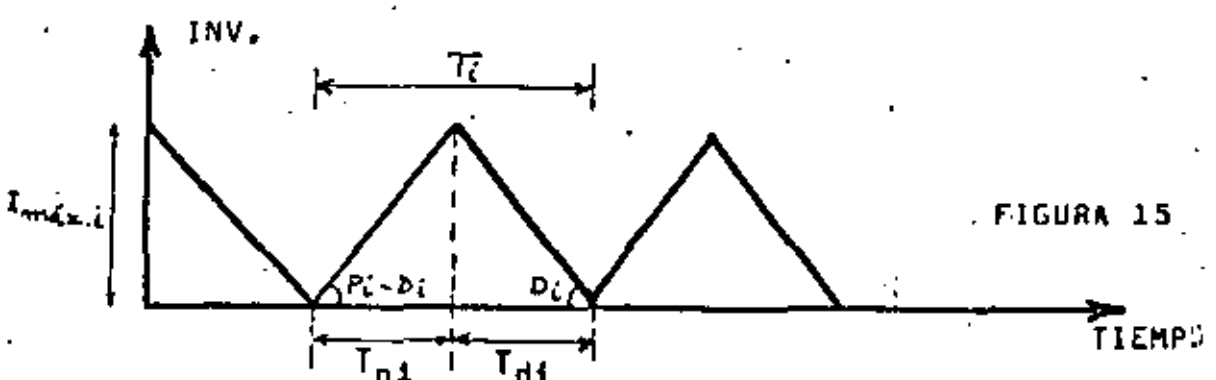


FIGURA 15

y durante el tiempo T_{di} los lotes de los otros productos serán fabricados. El inventario medio para el producto "i" puede ser calculado a través de la fórmula:

$$(I_{med})_i = (1 - D_i / P_i) \cdot Q_i/2$$

Puesto que $Q_i = D_i/n$, tenemos:

$$(I_{med})_i = (1 - D_i / P_i) \cdot D_i / 2n$$

Consecuentemente, el costo anual de mantener será:

$$(1 - D_i/P_i) \cdot D_i/2n \cdot (C_m)_i$$

Y el costo anual de mantener para todos los productos será:

$$\sum_{i=1}^{m} (1 - D_i/P_i) \cdot D_i/2n \cdot (C_m)_i$$

Como hay "n" ciclos por año (para todos los productos), el costo anual de preparación será:

$$n \cdot \sum_{i=1}^{m} (C_p)_i$$

Finalmente, el costo total anual será:

$$CTI = n \cdot \sum (C_p)_i + 1/2n \cdot \sum (C_m)_i \cdot D_i \cdot (1 - D_i/P_i)$$

Derivando respecto a "n" e igualando a cero tenemos:

$$\frac{d(CTI)}{dn} = \sum (C_p)_i - \frac{\sum (C_m)_i \cdot D_i \, (1 - D_i/P_i)}{2n_o^2} = 0$$

$$\sum (C_p)_i = \frac{\sum (C_m)_i \cdot D_i \, (1 - D_i/P_i)}{2n_o^2}$$

Y por lo tanto:

$$n_o = \sqrt{\frac{\sum (C_m)_i \cdot D_i \, (1 - D_i/P_i)}{2 \cdot \sum (C_p)_i}}$$

El costo total anual será:

$$(CTI)_o = \sqrt{2 \cdot \sum (C_p)_i \cdot \sum (C_m)_i \cdot D_i \, (1 - D_i/P_i)}$$

Como hemos podido observar, este método parte del supuesto de que si es posible realizar un número "n" de ciclos de fabricación al año y que para cada uno de los "m" productos ocurrirá lo que se muestra en la Figura 15, donde:

$I_{máxi}$ = inventario máximo.

T_{pi} = período de tiempo durante el cual hay producción y consumo del producto (se fabrica la cantidad $Q_{oi} = D_i/n$).

T_{di} = Período de tiempo durante el cual solo hay consumo (durante este tiempo se fabrican los demás productos).

T_i = Tiempo total para que se agote la cantidad Q_{oi}.

Sin embargo, como se verá, este método ni siempre es aplicable. Si suponemos que el tiempo de preparación de las máquinas para el producto "i" es T_{mi}, el <u>ciclo de fabricación</u>, es decir, el período total de tiempo entre dos corridas de producción del producto "i", será:

$$\text{CICLO DE FABRICACION} = \sum (T_{pi} + T_{mi})$$

Si ahora observamos la Figura 16, podemos facilmente deducir que para cualquier producto "i", el período de tiempo T_i tiene que ser mayor o igual a $\sum(T_{pi} + T_{mi})$, es decir:

$$\sum (T_{pi} + T_{mi}) \leq T_i$$

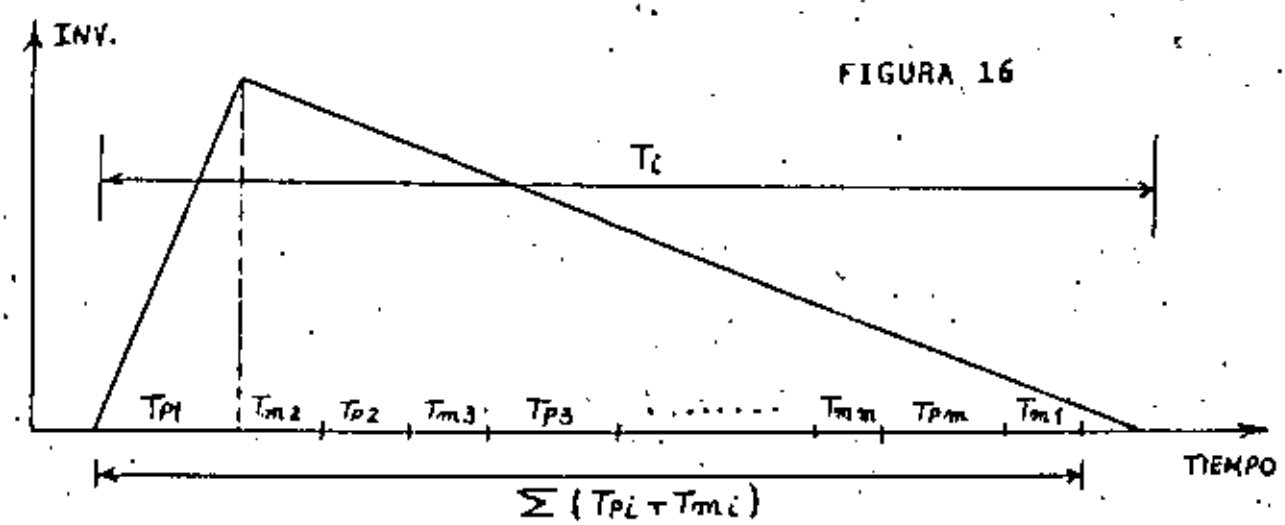


FIGURA 16

Si utilizamos la fórmula $Q_{oi} = D_i/n$ para calcular las corridas de cada producto, los períodos "T_i" de todos los productos serán idénticos e iguales a :

$$T_i = \frac{Q_{oi}}{D_i} = 1/n \text{ años.}$$

Por lo tanto, la realización de "n" ciclos al año solamente será posible cuando:

$$\sum (T_{pi} + T_{mi}) \leq 1/n$$

Si suponemos que los "T_{mi}" son muy pequeños en relación a los "T_{pi}", podemos entonces escribir:

$$\sum T_{pi} < 1/n$$

Como $T_{pi} = Q_{oi}/P_i = D_i/n \times 1/P_i$, tenemos:

$$\sum \frac{D_i}{n} \times \frac{1}{P_i} < \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{n} \sum \frac{D_i}{P_i} < \frac{1}{n}$$

$$\sum \frac{D_i}{P_i} < 1$$

Esta última ecuación muestra claramente que la posibilidad o imposibilidad de la aplicación de este método NO DEPENDE del valor de "n". En otras palabras, si $\sum D_i/P_i < 1$, la fabricación de los productos será posible para CUALQUIER VALOR de "n". Sin embargo, sólo un valor de "n" conduce a costos mínimos y éste será dado por la fórmula

$$n_o = \sqrt{\frac{\sum C_{mi} \times D_i \times (1 - D_i/P_i)}{2 \sum C_{pi}}}$$

Por otro lado, si $\sum D_i/P_i > 1$, el problema será imposible para cualquier valor de "n".

La condición de factibilidad $\sum D_i/P_i < 1$ es relativamente obvia, ya que para cada producto el cociente D_i/P_i representa el tiempo total en años para que se pueda fabricar la demanda anual D_i. Si la suma de todos estos D_i/P_i es mayor que uno, esto indica que para la fabricación de las demandas <u>anuales</u> de todos los productos se necesitaría <u>más de un año</u>. En otras palabras, si $\sum D_i/P_i > 1$, la capacidad anual de producción del equipo sería insuficiente para la fabricación de todas las D_i. Por lo tanto, cuando $\sum D_i/P_i$ es mayor que 1, la fabricación de los "m" productos será siempre imposible, no importando el método que se utilice.

De este análisis podemos deducir que cuando queremos determinar los lotes óptimos <u>factibles</u> de productos múltiples, el procedimiento más adecuado sería el siguiente:

a) Calcular $\sum D_i/P_i$. Si este valor es mayor que uno, la fabricación de los "m" productos será imposible. Si $\sum D_i/P_i$ es menor que uno, realizar el siguiente paso.

b) Calcular las cantidades Q_{oi} utilizando el método clásico.

c) Checar la factibilidad de las cantidades Q_{oi} obtenidas en b), lo que se ejemplifica en el ejemplo numérico que se presenta a continuación. Si las cantidades Q_{oi} no son factibles, realizar el siguiente paso.

d) Calcular el número óptimo de ciclos mediante la fórmula

$$n_o = \sqrt{\frac{\sum D_i \times C_{mi} \times (1 - D_i/P_i)}{2 \sum C_{pi}}}$$

e) Calcular las nuevas cantidades Q'_{oi} mediante la fórmula ..... $Q'_{oi} = D_i/n_o$. Estas cantidades serán siempre factibles si ..... $\sum D_i/P_i < 1$.

EJEMPLO NUMERICO

PRODUCTO	D_i	P_i	C_{mi}	C_{pi}
1	4,000	25,000	$ 10	$ 200
2	1,500	5,000	$ 20	$ 100
3	500	1,000	$ 15	$ 300

a) Cálculo de $\sum D_i/P_i$:

$$\sum D_i/P_i = 4,000/25,000 + 1,500/5,000 + 500/1,000 = 0.96$$

Por lo tanto, pasemos al inciso b).

b) Cálculo de las Q_{oi} utilizando el método clásico:

$$Q_{o1} = \sqrt{\frac{2 \times 4000 \times 200}{10(1-4000/25000)}} = 436$$

$$Q_{o2} = \sqrt{\frac{2 \times 1500 \times 100}{20(1-1500/5000)}} = 146$$

$$Q_{o3} = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 300}{15(1-500/1000)}} = 200$$

c) Checar la factibilidad de las Q_{oi}:

Estas cantidades Q_{oi} se agotarán en los siguientes tiempos:

$$T_{a1} = Q_{o1}/D_1 = 436/4000 = 0.109 \text{ años}$$

$$T_{a2} = Q_{o2}/D_2 = 146/1500 = 0.097 \text{ años}$$

$$T_{a3} = Q_{o3}/D_3 = 200/500 = 0.400 \text{ años}$$

Los tiempos de fabricación de las cantidades Q_{oi} serán:

$$T_{p1} = Q_{o1}/P_1 = 436/25000 = 0.017 \text{ años}$$

$$T_{p2} = Q_{o2}/P_2 = 146/5000 = 0.029 \text{ años}$$

$$T_{p3} = Q_{o3}/P_3 = 200/1000 = 0.200 \text{ años}$$

El ciclo total de fabricación será entonces:

$$C.F. = \sum T_{pi} = 0.017 + 0.029 + 0.200 = 0.246 \text{ años}$$

Se puede observar que C.F. = 0.246 es mayor que T_{a1} y T_{a2}, por lo que estas cantidades Q_{oi} no son factibles.

d) Cálculo del número óptimo de ciclos:

$$n_o = \sqrt{\frac{\sum D_i \times C_{mi} \times (1 - D_i/P_i)}{2 \sum C_{pi}}} = \sqrt{\frac{58,350}{2 \times 600}} = 6.97 \quad 7.0 \text{ ciclos}$$

e) Cálculo de las nuevas cantidades Q'_{oi}:

$$Q'_{o1} = D_1/n_o = 4000/7 = 571$$

$$Q'_{o2} = D_2/n_o = 1500/7 = 214$$

$$Q'_{o3} = D_3/n_o = 500/7 = 71$$

SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE INVENTARIOS

1. Introducción

En los modelos formulados anteriormente para la optimización de los inventarios, hemos supuesto que:

a) Los pedidos de materias primas o los lotes de productos terminados siempre llegan al almacén exactamente cuando el inventario de éstos se agotan.

b) La tasa de demanda es constante y se puede predecirla.

c) Se pide o se fabrica siempre la misma contidad "Q".

En la vida real, sin embargo, estas suposiciones casi nunca son verdaderas. Por ejemplo, los provedores no siempre cumplen los plazos de entrega de las materias primas y esto obviamente podrá causar el agotamiento del inventario de éstas antes de la llegada de los pedidos. Análogamente, si la tasa de ventas de los productos terminados es mayor que la tasa prevista, el inventario de éstos se agotará antes que los primeros productos de los lotes fabricados lleguen al almacén.

Debido a estos hechos, es siempre necesario mantener inventarios de contingencia (o de seguridad) para reducir la posibilidad de una eventual falta de materias primas o productos terminados. El nivel del inventario de contingencia dependerá básicamente del cumplimiento de los plazos de entrega por parte de los provedores (materias primas) y del Departamento de Producción (productos terminados), de la magnitud de las variaciones de la demanda y del riesgo de agotamiento que quiera correr la Empresa.

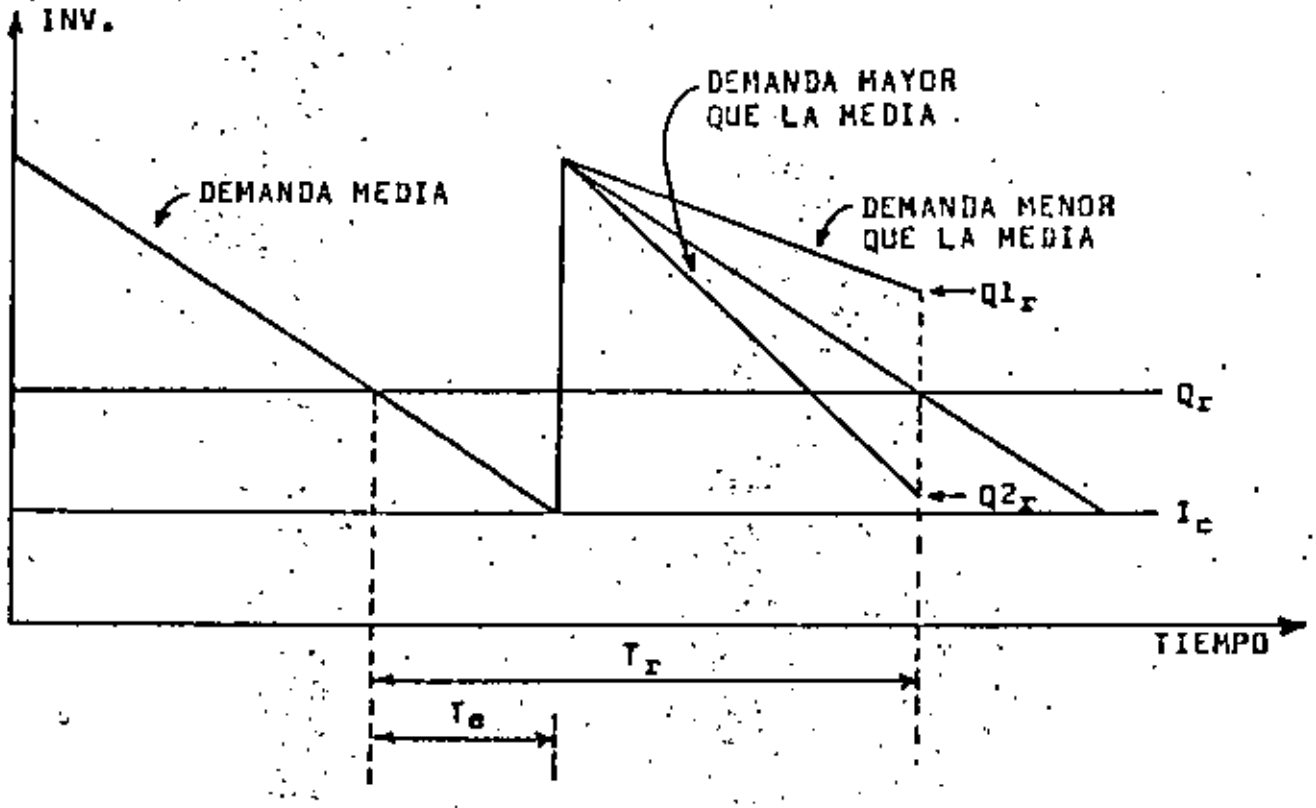
Obviamente, como mayor sea el inventario de contingencia, menor será el riesgo de agotamiento de las existencias y consecuentemente menores serán los costos relativos a la falta de dichas existencias. Al mismo tiempo, como mayor sea el inventario de contingencia, mayor será el costo de mantener anual. Por lo tanto, el problema que tenemos que resolver es la determinación del nivel óptimo de los inventarios de contingencia, de tal forma que se minimice la suma de los costos de mantener y de los costos relativos a la falta de existencias.

A continuación analizaremos 2 modelos de administración de inventarios de materias primas y cómo debe determinarse el inventario de contingencia en cada uno de ellos. No creemos que sea necesario analizar también el caso de los inventarios de productos terminados, ya que lo que será expuesto para los inventarios de materias primas, es igualmente aplicable a los inventarios de productos terminados.

Analicemos inicialmente la Figura 17 y supongamos que el tiempo de entrega T_e es constante. Si la tasa de demanda también es constante, realizamos un nuevo pedido siempre T_r unidades de tiempo después de la realización del pedido anterior, que es lo mismo que realizar el pedido T_e unidades de tiempo antes que el inventario

se agote (T_e y T_r son fijos). En este momento el nivel del inventario será siempre Q_r, el cual llamaremos <u>punto de reorden</u>.

FIGURA 17



Ahora bien, si la tasa de demanda empieza a variar, al terminarse el período T_r el nivel del inventario podrá ser mayor o menor que Q_r, es decir, podrá ser igual a $Q1_r$ ó $Q2_r$, respectivamente (véase la Figura 17). Análogamente, el nivel de los inventarios podrá llegar al valor Q_r antes o después de las T_r unidades de tiempo. Debido a esto, la Empresa podrá adoptar dos tipos de sistemas de inventarios:

a) Si se hace un pedido igual a Q_o siempre que el inventario llegue al nivel Q_r, independientemente del tiempo necesario para que esto ocurra, el sistema de inventarios es llamado SISTEMA DE PUNTO FIJO DE REORDEN

b) Si se hace un pedido Q_x (variable), cada T_r unidades de tiempo, de modo que el inventario en la mano y sobre pedido resulte igual a un determinado nivel I_o (inventario objetivo), el sistema adoptado es llamado SISTEMA DE CICLO FIJO DE REORDEN. A continuación definiremos que es "inventario en la mano y sobre pedido" y cómo podemos determinar el nivel I_o.

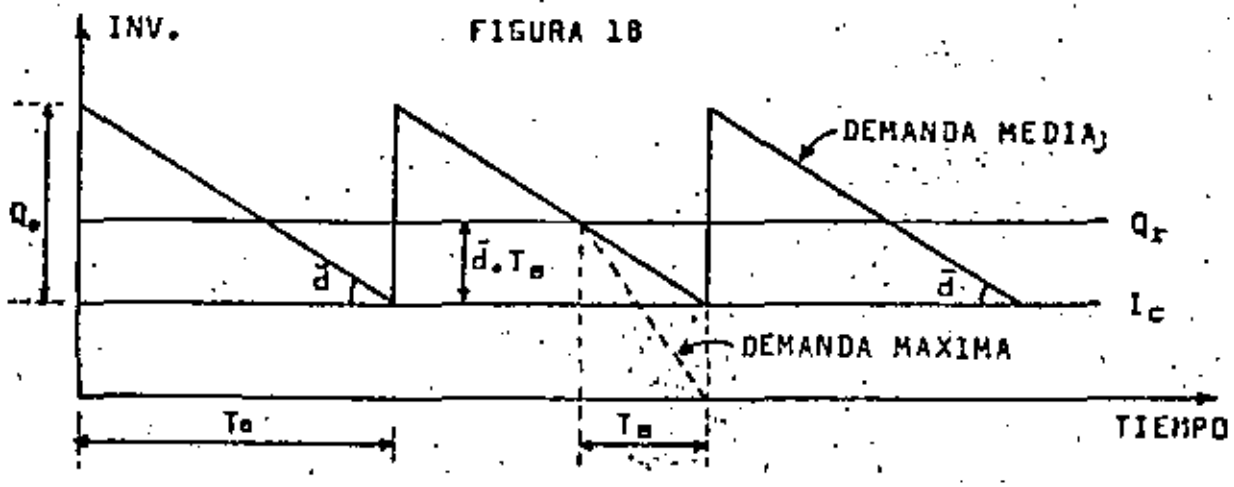
2. Sistema de Punto Fijo de Reorden

La Figura 18 muestra un modelo de punto fijo el cual incluye el inventario de contingencia. Como hemos dicho anteriormente, la persona encargada de la realización de los pedidos se fija únicamente en el nivel del inventario, y cuando éste llega a Q_r se realiza un nuevo pedido. Si el tiempo de entrega es constante, el punto de reorden puede ser calculado fácilmente mediante la fórmula:

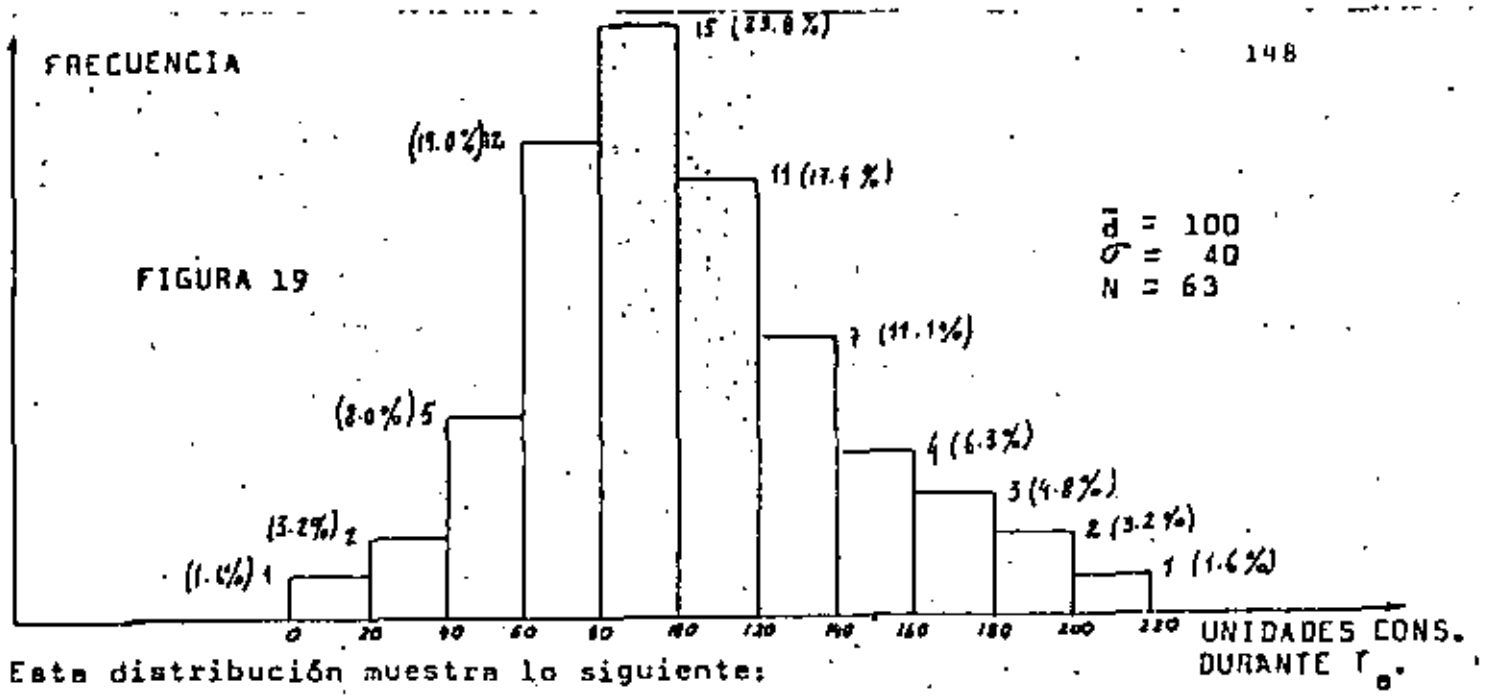
$$Q_r = \bar{d}.T_e + I_c$$

También puede observarse que el inventario de contingencia es simplemente la diferencia entre el número de unidades consumidas a un nivel máximo de demanda "$d_{máx}$" y a un nivel medio de demanda, "$\bar{d}$", durante el tiempo de entrega T_e. Si T_e es constante el inventario de contingencia se determinará así:

$I_c = (d_{máx} - \bar{d})_{T_e}$, es decir, $(d_{máx} - \bar{d})$ durante el tiempo T_e.



Como ejemplo, supongamos que la variación de la demanda presenta la distribución que se muestra en la Figura 19:



Esta distribución muestra lo siguiente:

DEMANDA	PROBABILIDAD DE QUE LA DEMANDA REAL SEA MAYOR QUE ESTE VALOR
220	0.0%
200	1.6%
180	4.8%
160	9.6%
140	15.9%

Por lo tanto, si la empresa desea correr un riesgo máximo de 9.6% de que se agoten las existencias, la demanda máxima a considerar ($d_{máx}$) será igual a 160 unidades durante T_e, y el inventario de contingencia será:

$$I_c = (d_{máx} - \bar{d})_{T_e} = 160 - 100 = 60.$$

Para los demás niveles de la demanda máxima, tenemos:

DEMANDA ($d_{máx}$)	PROBAB. DE AGOTAMIENTO	INVENT. DE CONTINGENCIA	VALOR DEL INV. DE CONTINGENCIA	COSTO DEL I.CONT. AL 20% ANUAL
220	0.0%	120	12,000	2,400
200	1.6%	100	10,000	2,000
180	4.8%	80	8,000	1,600
160	9.6%	60	6,000	1,200

NOTA: Hemos supuesto que el producto cuesta $ 100.00

Supongamos ahora que la empresa ha determinado los costos correspondientes a la falta de existencias según el nivel de los inventarios de contingencia. Los costos totales para cada inventario de contingencia será entonces:

INVENTARIO DE CONTINGENCIA	COSTO DEL INV. CONT.	COSTO DE LA FALTA DE EXISTENCIAS	COSTO TOTAL
120	2,400	--	2,400
100	2,000	300	2,300
80	1,600	1,000	2,600
60	1,200	2,000	3,200

Y la gráfica representativa de estos costos sería la siguiente:

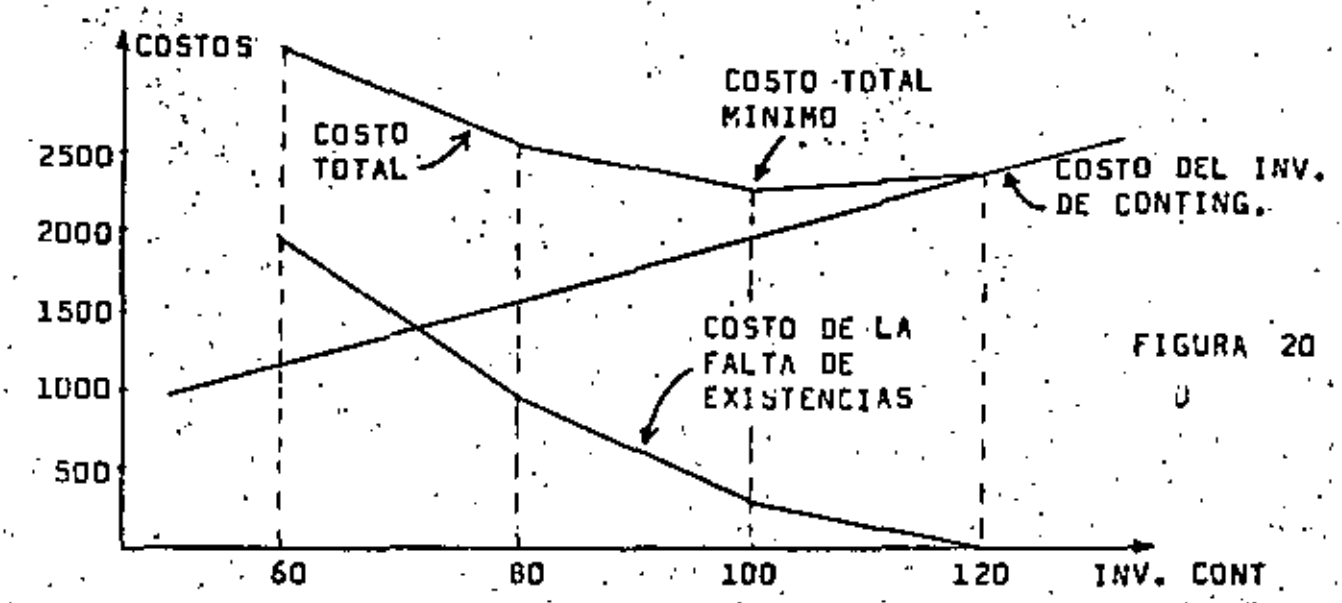


FIGURA 20

Podemos observar en el cuadro y en la gráfica, que el costo total mínimo corresponde a un inventario de contingencia igual a 100 unidades. El costo total para este inventario de contingencia es $ 2.300.00.

3. Sistema de Ciclo Fijo de Reorden

La Figura 21 muestra un sistema de ciclo fijo de reorden y cómo se determina la línea representativa del inventario en la mano y sobre pedido, el cual es simplemente la suma de las existencias de la Empresa más la cantidad ya pedida al proveedor (pedido pendiente). El valor máximo de esta línea llamaremos inventario objetivo (I_o). Obsérvese que para no complicar la gráfica de la Figura 21, hemos considerado una tasa de demanda constante, sin embargo ésta podrá obviamente ser variable.

En la Figura 21 podemos observar lo siguiente:

a) El inventario en la mano (existencias) está representado por la línea continua. El inventario en la mano y sobre pedido está representado por la línea discontinua.

b) El inventario de contingencia se determina como sigue:

$$I_c = (d_{máx} - \bar{d})T_e + T_r$$

c) El nivel máximo del inventario en la mano y sobre pedido (inventario objetivo) será:

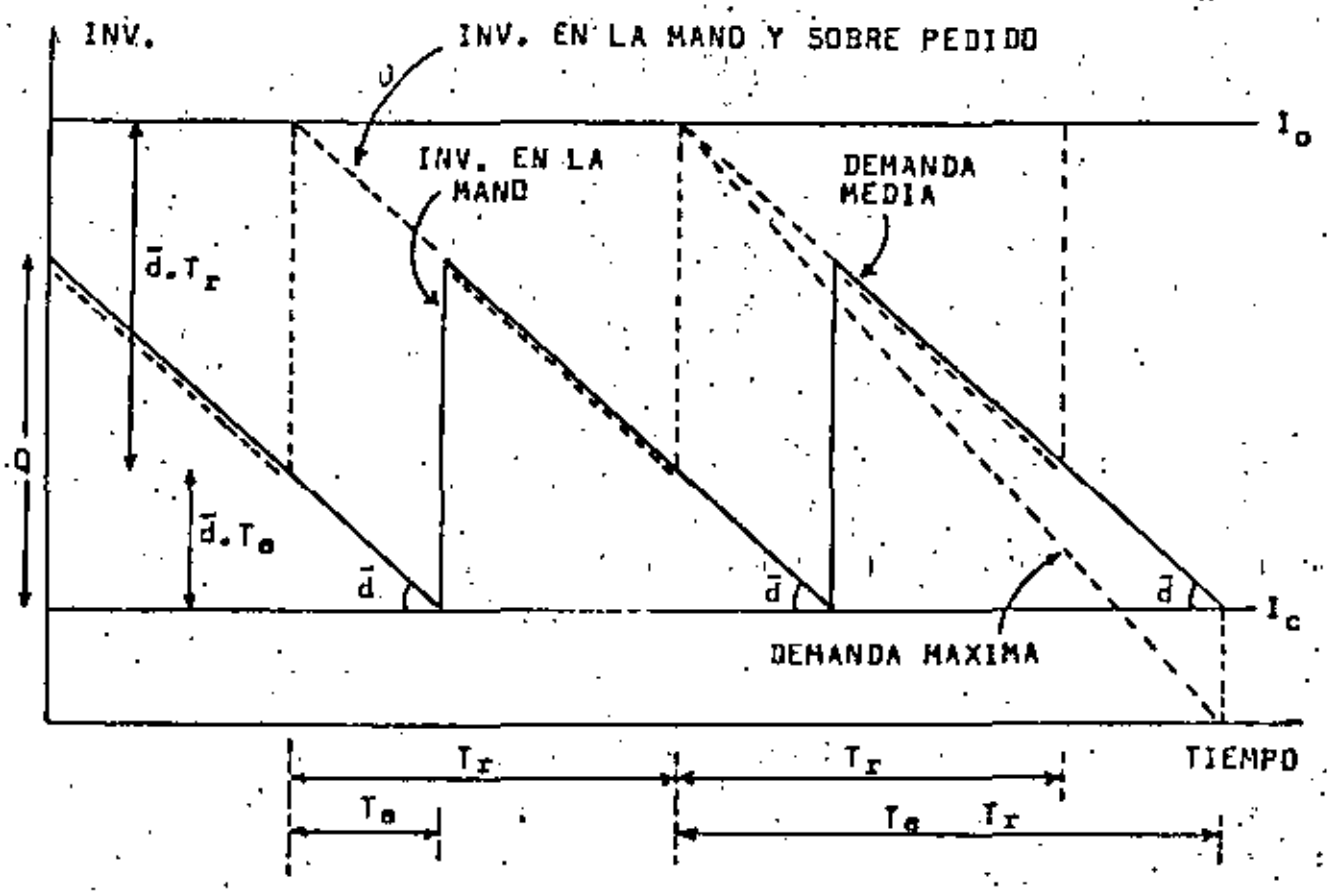
$$I_o = I_c + \bar{d}.T_e + \bar{d}.T_r = I_c + \bar{d}(T_e + T_r)$$

d) Cuando llega la cantidad pedida, la línea del inventario en la mano y la línea del inventario en la mano y sobre pedido resultan idénticas.

e) Puesto que en este ejemplo T_e es constante y menor que T_r, nunca hay más de un pedido pendiente.

f) El tiempo entre la <u>realización</u> de dos pedidos consecutivos es igual al tiempo entre la <u>llegada</u> de dos pedidos consecutivos únicamente cuando T_e es constante. El período entre la realización de dos pedidos consecutivos es llamado <u>período de revisión</u> (T_r).

FIGURA 21



Hecho este análisis podemos entonces resumir el procedimiento para la utilización de los sistemas de punto fijo y ciclo fijo:

Sistema de Punto Fijo:

a) Determinar la cantidad óptima Q_o.

b) Determinar el inventario de contingencia: $I_c = (d_{máx} - \bar{d})T_e$

c) Determinar el punto de pedido: $Q_r = \bar{d}.T_e + I_c$.

d) Pedir la cantidad Q_o siempre que el nivel del inventario llegue a Q_r.

Sistema de Ciclo Fijo:

a) Determinar el período de revisión. Si queremos que el pedido medio anual sea aproximadamente igual a Q_o, el período de revisión tendrá que ser igual a T_o.

b) Determinar el inventario de contingencia: $I_c = (d_{máx} - \bar{d})T_e + T_r$.

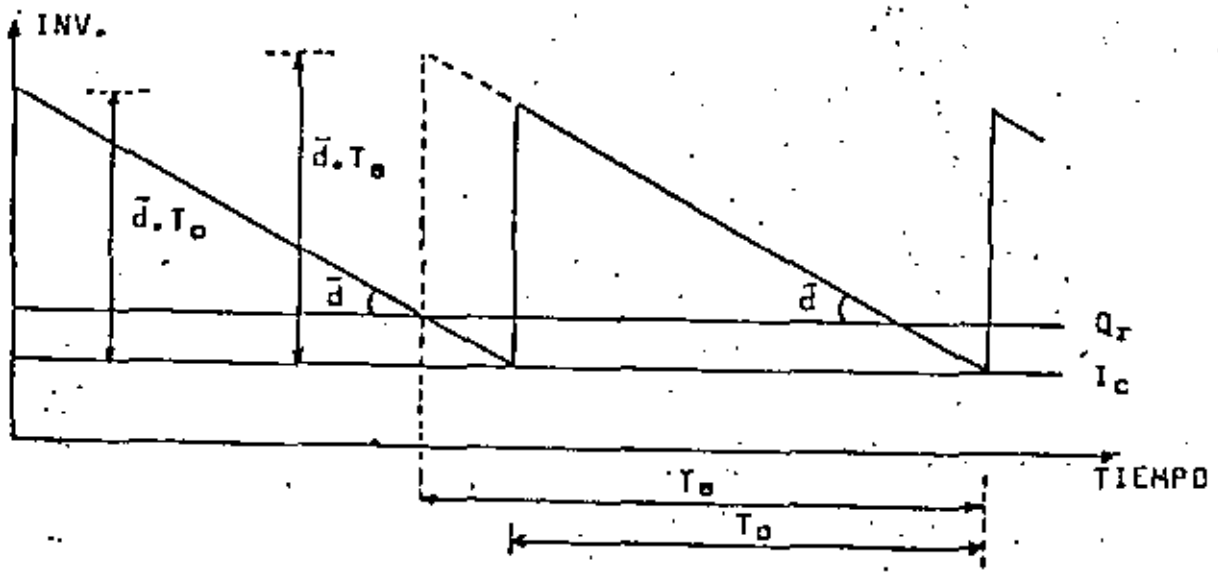
c) Determinar el inventario objetivo: $I_o = I_c + \bar{d}(T_r + T_e)$.

d) Checar las existencias cada T_r unidades de tiempo. Si suponemos que I_e son las existencias y P_p los pedidos pendientes, debemos entonces pedir una cantidad $Q = I_o - I_e - P_p$ (*).

Cuando el tiempo de entrega T_e es mayor que el período de revisión T_r, el procedimiento para ambos sistemas sería idéntico, sin embargo el valor de Q_r será (véase la Figura 22):

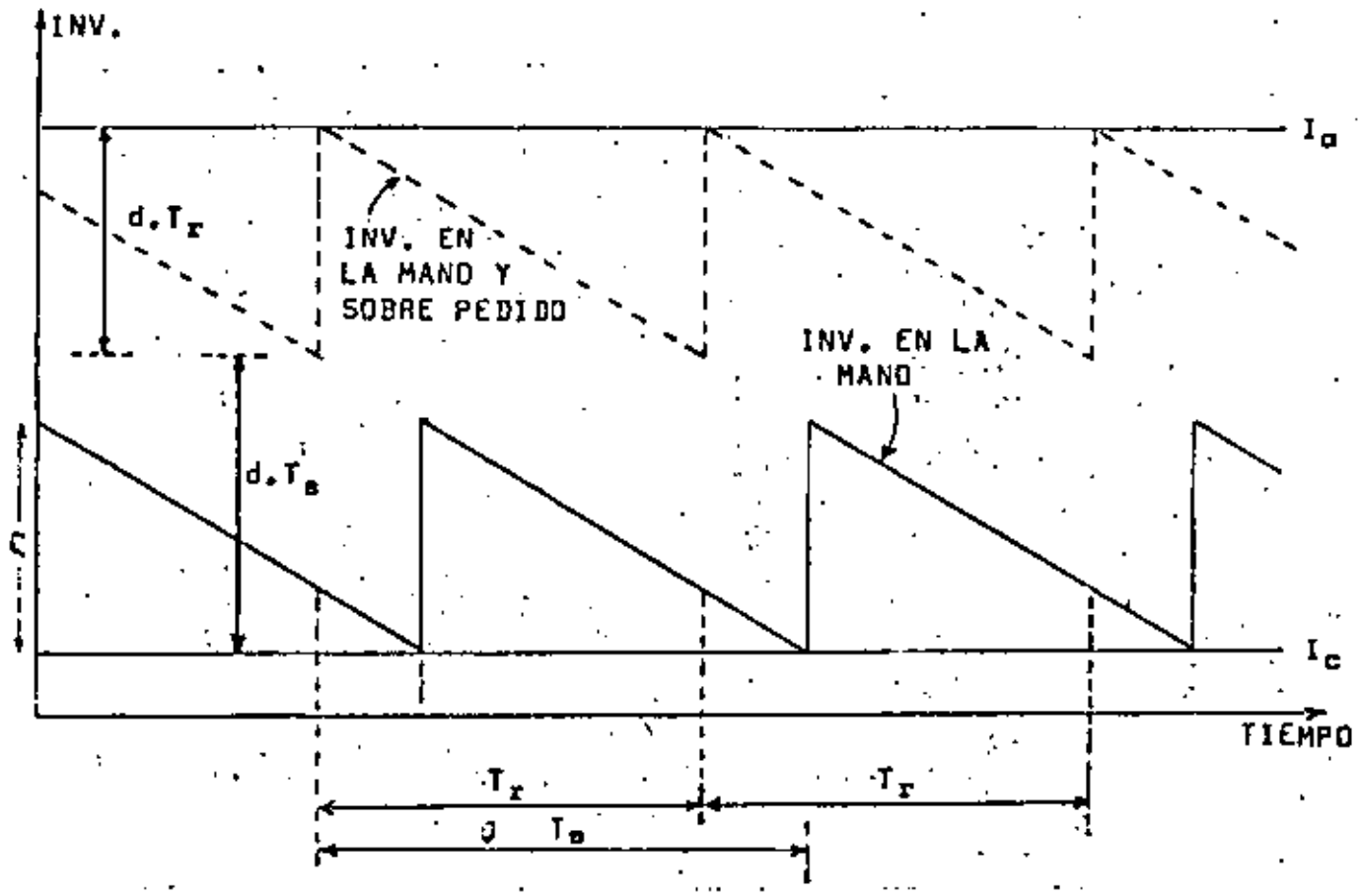
$$Q_r = I_c + \bar{d}(T_e - T_o)$$

FIGURA 22



(*) Si T_e es constante y menor que T_r, P_p será siempre cero.

Aunque el procedimiento para el sistema de ciclo fijo sea idéntico, vale la pena conocer la gráfica correspondiente (Figura 23). En ella



podemos observar que el valor del inventario objetivo es el mismo... ($I_o = I_c + \bar{d}\,(T_r + T_e)$ y que también se debe pedir siempre la cantidad $Q = I_o - I_e - P_p$, cada T_r unidades de tiempo. Es importante resaltar que en este caso P_p nunca será igual a cero si T_e se mantiene mayor que T_r.

En las próximas páginas presentamos un ejemplo numérico sobre los sistemas de punto fijo y ciclo fijo.

4. Ejemplo numérico de sistemas de punto fijo y ciclo fijo

En una empresa dada se calcularon los siguientes datos:

- Costo de mantener: 20% al año.
- Costo de preparación: $ 20,00
- Demanda semanal media: 120 unid./semana
- Precio de la materia prima: $ 50,00
- Inventario de contingencia óptimo: 100 unidades
- Plazo de entrega del proveedor: 1 semana
- No. de días laborables al año: 250 (50 semanas de 5 días).

Determinar:

a) Todo lo que sea necesario para que la empresa pueda utilizar un sistema de punto fijo que conduzca a costos mínimos.

b) El costo anual de la política del apartado a).

c) Todo lo que sea necesario para que la empresa pueda utilizar un sistema de ciclo fijo que conduzca a un pedido medio anual aproximadamente igual a Q_o.

d) El costo anual del sistema del apartado c).

e) El inventario máximo en la mano y sobre pedido para un período de revisión de 2 semanas.

f) El costo anual que corresponde a un período de revisión de 2 semanas.

SOLUCION:

Inicialmente calculamos el costo de mantener en pesos por unidad por año y la demanda anual:

$$C_m = 20\% \times 50.00 = 10.00.$$

$$D = 120 \times 50 = 6{,}000 \text{ unidades al año.}$$

a) La cantidad óptima será:

$$Q_o = \sqrt{2 \times 20 \times 6{,}000/10} = 155 \text{ unidades}$$

El valor de T_o es:

$$T_o = Q_o/D = 155/6{,}000 \text{ años} = 155 \times 250/6{,}000 \text{ días}$$

$$T_o = 6.5 \text{ días}$$

Por lo tanto, $T_o = 6.5$ días y $T_e = 5$ días, o sea $T_e < T_o = T_r$.

Finalmente, el punto de reorden será dado por:

$$Q_r = \bar{d}.T_e + I_c = 120 \times 1 + 100$$

$$Q_r = 220 \text{ unidades.}$$

Esta información es suficiente para la utilización del sistema de punto fijo: siempre que el nivel del inventario llegue a $Q_r = 220$ unidades, la empresa hará un pedido de $Q_o = 155$ unidades.

b) El costo anual será dado por:

$$CTI = \text{Inv. medio} \times C_m + \text{No. de pedidos} \times C_p$$

$$CTI = I_{med.} \times C_m + N_o \times C_p$$

El inventario medio será:

$$I_{med.} = I_c + Q_o/2 = 100 + 155/2$$

$$I_{med.} = 177.5 \text{ unidades}$$

$$N_o = D/Q_o = 6{,}000/155$$

$$N_o = 39 \text{ pedidos al año}$$

Por lo tanto:

$$CTI = 177.5 \times 10 + 39 \times 20$$

$$CTI = \$\ 2{,}555{,}00$$

c) El período de revisión que conduce a un pedido medio anual aproximadamente igual a Q_o, es T_o, o sea 6.5 días. Tomemos 7 días. Para la utilización del sistema de ciclo fijo es suficiente determinar el valor de I_o:

$$I_o = I_c + \bar{d}(T_o + T_e)$$

$$I_o = 100 + 120(7 + 5)/5$$

$$I_o = 388 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, cada 7 días la empresa checará sus existencias I_e y pedirá la diferencia $Q = 388 - I_e - P_p$

d) El inventario medio será:

$$I_{med.} = I_c + \bar{d}.T_o/2 = 100 + \frac{(120 \div 5) \times 7}{2}$$

$$I_{med.} = 184$$

El número de pedidos al año que corresponde a un período de revisión de 7 días será:

$$N = D/\bar{d}.T_o = 6{,}000/(120 \div 5).7$$

$$N = 36$$

$$CTI = 184 \times 10 + 36 \times 20$$

$$CTI = \$\ 2{,}560.00$$

Obsérvese que este costo es ligeramente mayor que el costo del apartado b), ya que hemos adoptado un período de revisión de 7 días en vez de 6.5 días, que es el óptimo.

e) Puesto que en este caso $T_a = 1$ semana y $T_r = 2$ semanas, entonces $T_a < T_r$. El inventario máximo en la mano y sobre pedido será:

$$I_o = I_c + \bar{d}\ (T_r + T_a)$$

$$I_o = 100 + 120\ (2 + 1)$$

$$I_o = 460 \text{ unidades.}$$

f) El inventario medio correspondiente será:

$$I_{med.} = I_c + \bar{d}.T_r/2 = 100 + 120 \times 2/2$$

$$I_{med.} = 220 \text{ unidades}$$

El número de pedidos al año será:

$$N = D/\bar{d}.T_r = 6{,}000/120 \times 2 = 25$$

Por lo tanto:

$$CTI = 220 \times 10 + 25 \times 20$$

$$CTI = \$\ 2{,}700.00$$

Bibliografía:

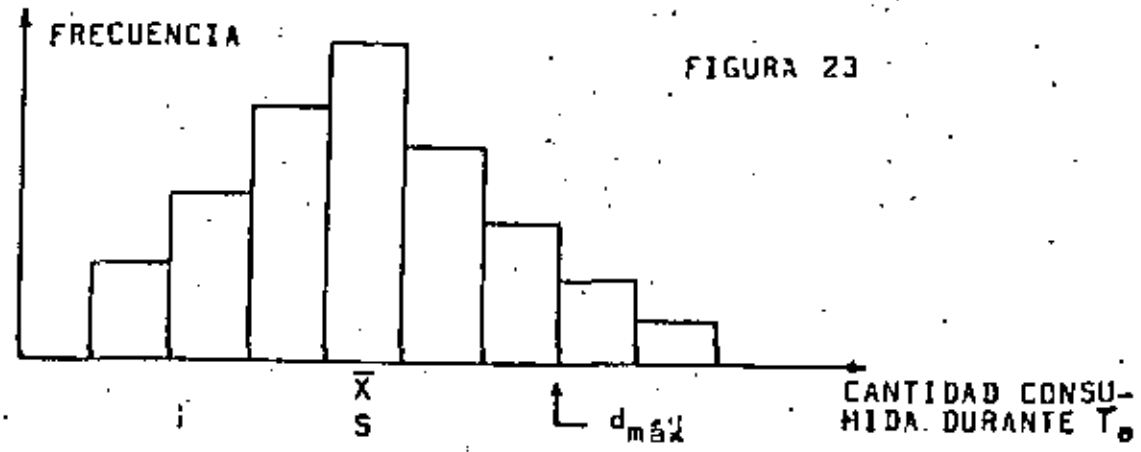
E. S. BUFFA - Sistemas de Producción-Inventario: Planeación y Control

5. Sistemas de Punto Fijo y Ciclo Fijo con Tiempo de Entrega Variable.

Cuando el tiempo de entrega del proveedor es variable, podrá utilizarse el tiempo de entrega medio ($\overline{T}_e$) en todas las fórmulas de los sistemas de punto fijo y ciclo fijo, excepto para el cálculo de los inventarios de contingencia.

La determinación de los inventarios de contingencia requiere la definición de la distribución estadística de las cantidades consumidas durante el tiempo de entrega (que es variable). Para esto podemos adoptar dos soluciones alternativas:

a) Registrar las cantidades consumidas durante los diferentes tiempos de entrega y construir un histograma como el que se muestra a continuación:



Donde: $\overline{X}$ = cantidad media consumida durante T_e

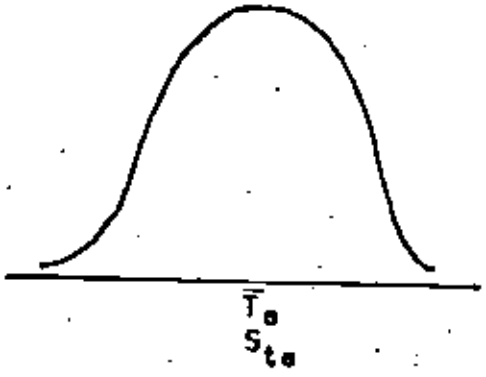
S = desviación estándar

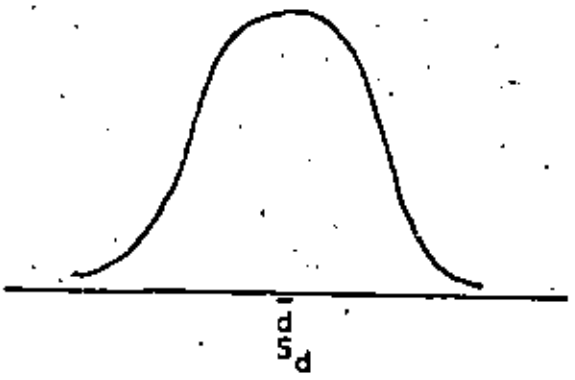
$d_{máx}$ = demanda máxima que dependerá de la probabilidad escogida de que ocurra una falta.

Cuando esta distribución sea normal, podremos entonces utilizar las tablas de la curva normal para determinar la demanda máxima correspondiente a cualquier probabilidad pre-establecida.

Una vez que $d_{máx}$ haya sido determinada, el inventario de contingencia será igual a $d_{máx} - \overline{X}$, como anteriormente.

b) Definir las distribuciones de las variables "demanda" y "tiempo de entrega" a través de sus estadísticos:





La distribución de las cantidades consumidas durante el tiempo de entrega tendrá entonces las siguientes características:

$$\text{Media} = \bar{X} = \bar{d}.\bar{T}_e$$

$$\text{Desviación} = S = \sqrt{S_{te}^2 + S_d^2}$$

donde S_{te} y S_d deben expresarse de la misma forma y S_d debe corresponder al tiempo de entrega medio $\bar{T}_e$. Por ejemplo:

$\bar{T}_e$ = 1.5 semanas

$\bar{d}$ = 200 unidades/semana

$\bar{X} = \bar{d}.\bar{T}_e$ = 200 u/s x 1.5 s = 300 unidades

S_d = 30 unidades/semana = $30x\sqrt{1.5\ s}/\sqrt{1s}$ = 37 unid./1.5 s.

S_{te} = 0.1 semanas = 200 x 0.1 = 20 unidades

$S = \sqrt{37^2 + 20^2}$ = 42 unidades

Nuevamente, se escoge una probabilidad de que ocurra una falta de existencias, se determina la $d_{máx}$ correspondiente y finalmente se determina el inventario de contingencia mediante la diferencia $I_c = d_{máx} - \bar{X}$

APUNTES DE MRP

ING. RICARDO VIDAL VALLES

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL E INVESTIGACION DE OPERACIONES

JULIO, 1980

CAPITULO I

Filosofía de la Administración de Manufactura.

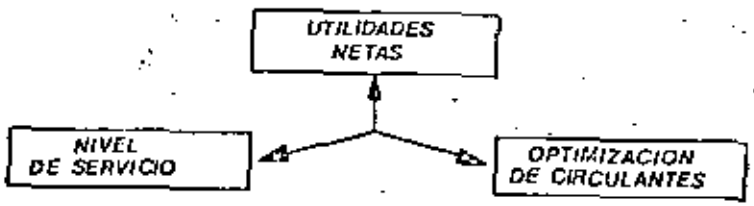
En toda empresa las metas más elementales en término de objetivos controlables, son los siguientes :

A. Utilidades Netas.

B. Nivel de Servicio a Clientes.

C. Manejo de los Activos Circulantes.

Estos tres objetivos podemos decir que deben formar un sistema de fuerzas en el espacio en equilibrio. En la Figura No. 1 se hace una representación de los mismos.



SISTEMA DE FUERZAS EN EQUILIBRIO

FIGURA No. 1

Si observamos el término enumerado en "C", nos estamos refiriendo a los inventarios en todas sus fases, es decir : inventarios de manufactura y final. Y si relacionamos esto con el término de Servicio a Clientes, vemos que se requiere de un incremento del nivel de inventarios por otro lado, dadas las condiciones de mercado en la mayoría de los productos para incrementar utilidades hay que incrementar ventas, lo anterior también significa incremento de inventarios; sin embargo surge de inmediato una gran contradicción, el incrementar utilidades significa la mayor rotación de nuestros activos circulantes, lo que significa los menores inventarios posibles. Por otro lado, rara es la empresa pública o privada que cuente con recursos ilimitados, por lo cual existe un costo financiero en el mantenimiento de los ya tan mencionados inventarios, por lo tanto, por esta razón, ya que el negocio de las empresas manufactureras es el de producir bienes y no el de financieras, es también necesario reducir inventarios.

Es normal oír en toda reunión de los consejos de administración, cuál es la situación de los inventarios y las respuestas siguen generalmente el patrón de :

A. Los inventarios suben porque las ventas están subiendo, ó

B. Los inventarios suben porque las ventas están bajando.

ENTONCES, ¿QUE ES LO QUE HACE QUE LOS INVENTARIOS BAJEN...?

Usualmente, las direcciones comerciales en general se quejan del pobre nivel de servicio que dan. Lo anterior es parte del círculo que el autor George W. Plossl llama el Círculo INSANE (Juego de palabras en inglés que significa insano y que se forma con las iniciales de INventory to SAles to Net Earnings, o sea ventas, inventarios y utilidades netas); es decir constantemente en las empresas se está en el Círculo Insano de altos inventarios, nivel de servicio y la búsqueda de las utilidades.

Históricamente, la primera intención de un sistema de control de produc

ción fue durante la revolución industrial al poner seguidores (expeditadores), posteriormente fue el hacer cargas de máquinas con Taylor, que fue perfeccionado por Gantt en sus diagramas de barras. Posteriormente se siguió con los lotes económicos (EOQ) y a partir de ahí sólo se ha dado variaciones sobre el mismo tema, hasta llegar a técnicas de investigación de operación, cayendo en errores tan comunes como los que enlisto a continuación :

A. Si un poco de seguimiento es bueno, poner más es mejor. La realidad es que el seguimiento por sí solo no es la respuesta.

B. Para terminar trabajos a tiempo lo mejor posible es iniciarlos lo más pronto posible. En esta afirmación se pierde de vista la capacidad de planta, el balanceo de la misma y la mano de obra disponible.

C. Si los tiempos planeados de producción no son suficientes, hay que incrementarlos. Esto francamente es suicida, lo importante es planear y programar y controlar; para quitar o prevenir las causas que originan demoras.

D. Lo más importante es cargar al máximo la planta. Lo anterior es otra manera de complicarse la vida ya que lo más importante es establecer un flujo contínuo y no lograr un congestionamiento.

E. Si se tienen cuellos de botella, ya sea una máquina o en un proceso, reduzcan el tamaño de los lotes.
Esto también es un error, ya que se llega a cambios excesivos

de herramentales, tiempos perdidos altos por inicio de lotes, etc. Hay una serie de opciones como: MAquilas, Procesos Alternativos de Manufactura, etc.

F. Si existe altos tiempos perdidos por herramental, aumente el tamaño de los lotes. Lo anterior también va en contra de la capacidad y balanceo de la planta, necesidades del mercado, etc.

G. Si hay paros por falta de material, incremente los lotes de seguridad: Falso. Hay una demanda dependiente y otra independiente; hay que balancear las necesidades.

H. Como no hay materiales para unas partes, hagan partes de lo que haya materiales: Falso. Hay que balancear la producción lo que se necesita es planear, programar y controlar los materiales en mezcla, cantidad y tiempo.

Podríamos seguir, sin embargo, las acciones anteriormente enunciadas dan una idea muy clara de la toma de decisiones incorrecta en la Administración de la Producción y que son típicas en la vida real.
Para resolver lo anterior, voy a voler a citar al Sr. Plossl.
Un sistema integral de control de manufactura está compuesto de :

A. El responsable del sistema debe hacer planes realísticos donde balancee los tres objetivos básicos en conflicto.

B. Hay que medir constantemente el avance real vs los planes.

C. Cualquier desviación sobre lo planeado debe ser reportada de inmediato.

Los elementos anteriormente enumerados son por demás sencillos, quizá de ahí se desprenda lo complejo que resulta el manejo de los inventarios, su operación es un sistema dinámico de alta sensibilidad, es decir, la más mínima variación de cualquiera de los elementos que en ella intervienen, interactúan de inmediato con el resto de los componentes del sistema causando las variaciones que todo mundo quiere evitar.

En la Figura No. 2 se puede apreciar de una manera gráfica cómo están relacionados todos los elementos que integran el entorno de la Administración de la Producción, ó mejor dicho, de Control de Manufactura.

Todos son igualmente importantes, ya sean :

A. Clientes.

B. Proveedores.

C. Empleados.

D. Inversionista.

E. El Taller (la fábrica).

F. Los Almacenes.

G. La Administración.

H. La Comercialización

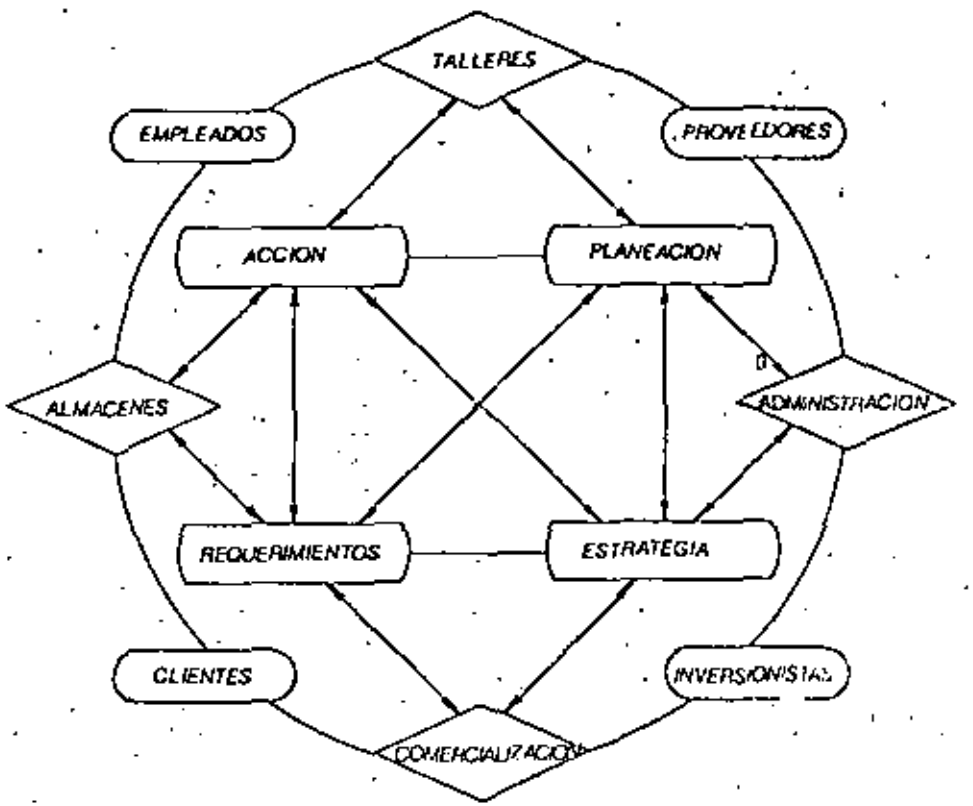
Todos necesitan de :

A. Planeación.

B. Estrategia.

C. Requerimientos.

FIGURA No. 2



EL ENTORNO TOTAL DE LA ADMINISTRACION DE LA MANUFACTURA

D. Acción.

La pregunta es pues, cómo se debe llevar a cabo la interacción de estos elementos aquí enumerados.

La respuesta está en los siguientes puntos, los cuales se verán aplicados en el caso práctico que se discutirá en los siguientes capítulos y que son :

A. Pronóstico de la Demanda del Mercado y en Particular Nuestra Participación del Mismo.

B. Planeación de los Inventarios.

1. Clasificados por orden de importancia y por tanto, grado de control.
2. Planeación de prioridades, es decir, el cuándo y el cuánto respecto a qué ordenar.
3. Pronosticando los inventarios, en todas sus variedades, es decir: materia prima, en tránsito, en proceso y producto terminado.

C. Planeando y controlando la capacidad, es decir: capacidad de planta y de mano de obra.

D. Controlando las prioridades :

1. Programando y reprogramando.
2. Cargando los talleres o líneas de producción.
3. Expeditando y despachando.

Debemos observar que los elementos que integran este sistema son aplicables a cualquier tipo de industria ya sea sector privado o del oficial y aún es más a cualquier tipo de producto, proceso, materiales o tipo de organización, es decir, es de aplicación universal.

Desde luego, hay que adecuar los elementos de la condición particular como lo podremos comprobar en la aplicación de esta teoría en los capítulos subsecuentes.

Para lograr el control que se está buscando se requiere de los siguientes elementos

A. Metas Realísticas.- Esto significa: pronósticos veraces, programas de producción factibles, niveles de inventarios alcanzables, firme conocimiento de la verdadera capacidad de planta y niveles de servicio adecuados.

B. Las metas deben de tener determinadas sus tolerancias, de tal manera que sea posible administrar por excepción los eventos que no estén bajo control.

C. Medición exacta y a tiempo de las desviaciones significantes del plan (nos referimos a las que se salen de las tolerancias preestablecidas).

D. Inmediata comunicación de las desviaciones al responsable correspondiente para la toma de acciones correctivas.

E. Respuesta efectiva y rápida.

Como se desprende de los enunciados anteriores, no hay nada que sea automático, es decir, se requiere de fijación de: parametros, políticas y responsabilidades, determinación de esferas de acción y de ser posible, de mecanización de los datos. Pero en última instancia, será el individuo el que tome las decisiones en base a su experiencia y a su criterio, por ello se requiere de administradores profesionales.

Por último, si analizamos a fondo todo lo expuesto en el presente capítulo, veremos que estamos hablando de un sistema de información, es decir, no hablamos en exclusiva de materiales, ni de máquinas, ni de números estadísticos, es de todo esto y su entorno económico, social, etc., es decir, una vez más estamos hablando de un Sistema de Información.

TULO II

Fundamentos Teóricos del Sistema MRP.

Antes de entrar al detalle en la presentación de los fundamentos teóricos del Sistema MRP, debemos dejar asentado algunos lineamientos básicos.

A. La presentación se va a hacer, refiriéndonos a una planeación a un sistema de manufactura discreto, (es decir, lo que contrasta con un proceso contínuo, ejemplo : embotellado de Coca-Cola)

B. No es necesario contar con una computadora para el establecimiento del sistema, se puede implantar y operar manualmente y una vez asimilado es recomendable mecanizarlo aunque no es indispensable.

La figura número 3 representa de una manera esquemática entre las fases de :

A. Planeación.

B. Control.

C. Ejecución.

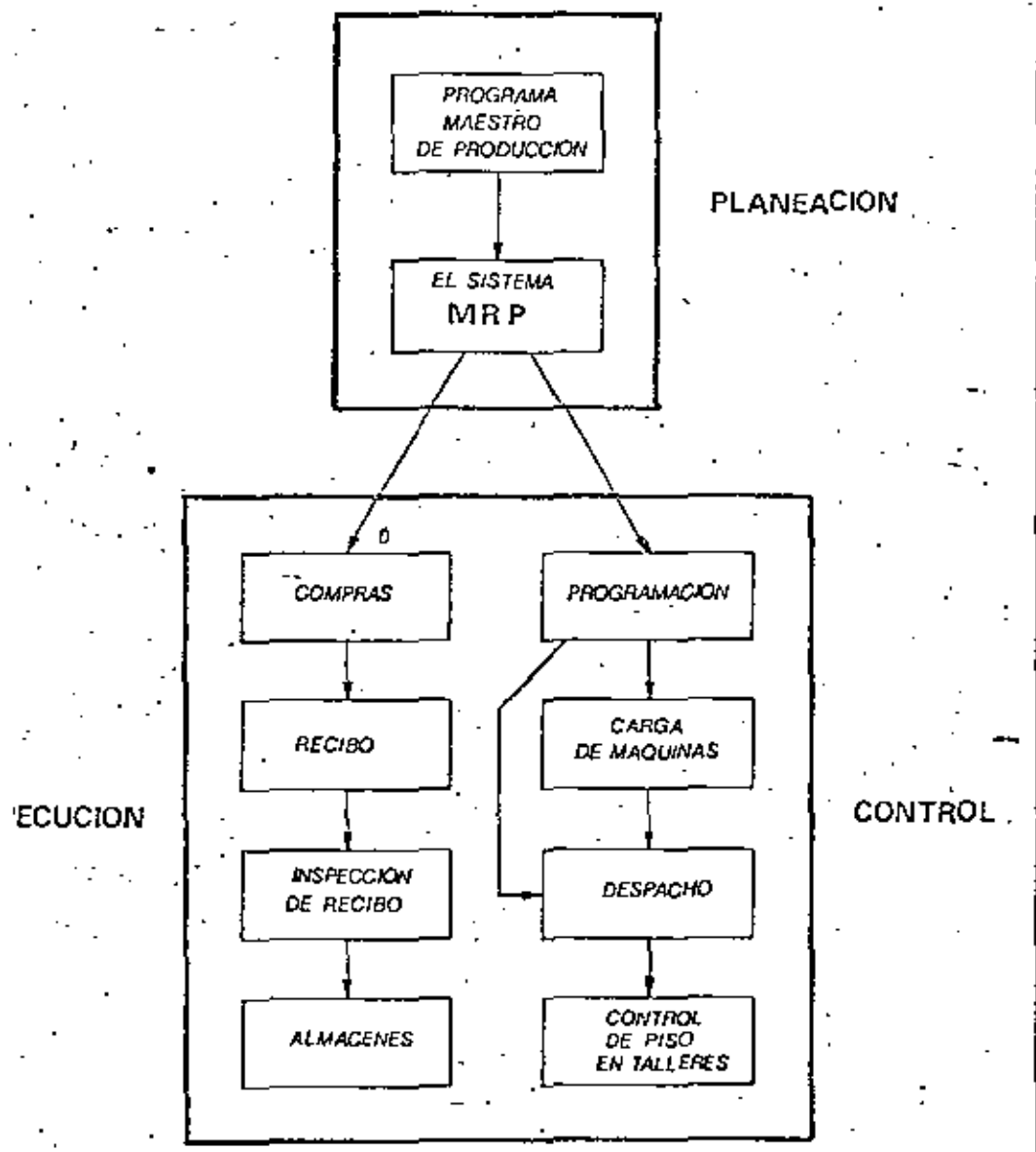
Empezaremos por describir la fase de planeación y a continuación se analizará la fase de control y de ejecución; sin embargo, requeriremos de definir antes algunos conceptos fundamentales.

Definiciones.

A. Tipos de Inventarios de Manufactura.

1. Materia prima en almacén.

FIGURA No. 3



LOS SISTEMAS DE PLANEACION Y EJECUCION

2. Componentes semiterminados.
3. Componentes terminados.
4. Subensambles.
5. Partes en proceso.
6. Subensambles en proceso.

Debemos hacer notar que los productos terminados así como refacciones listos para embarque no son parte de los inventarios de manufactura, aunque en la administración total de inventarios se les dará la importancia que requieren.

B. La administración de inventarios requiere de las siguientes funciones y subfunciones :

1. Planeación.
   a. Política de inventarios.
   b. Planeación de inventarios.
   c. Pronósticos.
2. Consecución.
   a. Orden de acción positiva (poner y/o incrementar)
   b. Orden de acción negativa (decrementar o cancelar)
3. Almacenaje.
   a. Recibo.
   b. Control físico del inventario.
   c. Contabilidad de inventarios.
4. Disposición.
   a. Disposición de absoleto y del desperdicio del proceso.

b. Enviar al Almacén de Productos Terminados los productos en proceso que se terminen.

Se debe hacer notar que la llamada "Administración de Inventarios", en este glosario de definiciones, no contradice el concepto de "Administración de Manufactura"; sólo que por fines explicativos fue separado.

C. Demanda Dependiente y Demanda Independiente.

En el análisis tradicional de los inventarios, lo usual es el de examinar los atributos individuales de cada componente del inventario o de cada grupo, tales como: costo, demora, uso histórico, etc.; pero en general no se analiza la "naturaleza" de la demanda, desgraciadamente o afortunadamente esto es fundamental para el adecuado manejo de los inventarios dentro de espectro total del M R P.

1. Demanda Independiente es aquella de los elementos del inventario son independientes del resto de los componentes del mismo, por tanto es necesario que sean pronosticados.
2. Demanda Dependiente se refiere a los elementos del inventario que son dependientes de la demanda de otros elementos del inventario.

La Demanda Dependiente puede ser de dos tipos que son, respectivamente : horizontal o vertical. La primera es la de aquellos componentes que se le agregan al producto final, como accesorios, ejemplo: radio a un auto o rines de lujo; la segunda es cuando los componentes son necesarios para la inte--

gración del producto final, un ejemplo es presentado en la Figura No. 4.

En un proceso de manufactura la materia prima y la mayoría de los componentes de compra son sujetos a la demanda dependiente, pues son necesarios para la integración vertical del producto por supuesto que el resto de los componentes de compra serán integrados al producto final horizontalmente como accesorios, y por lo tanto, también sus requerimientos serán calculados.

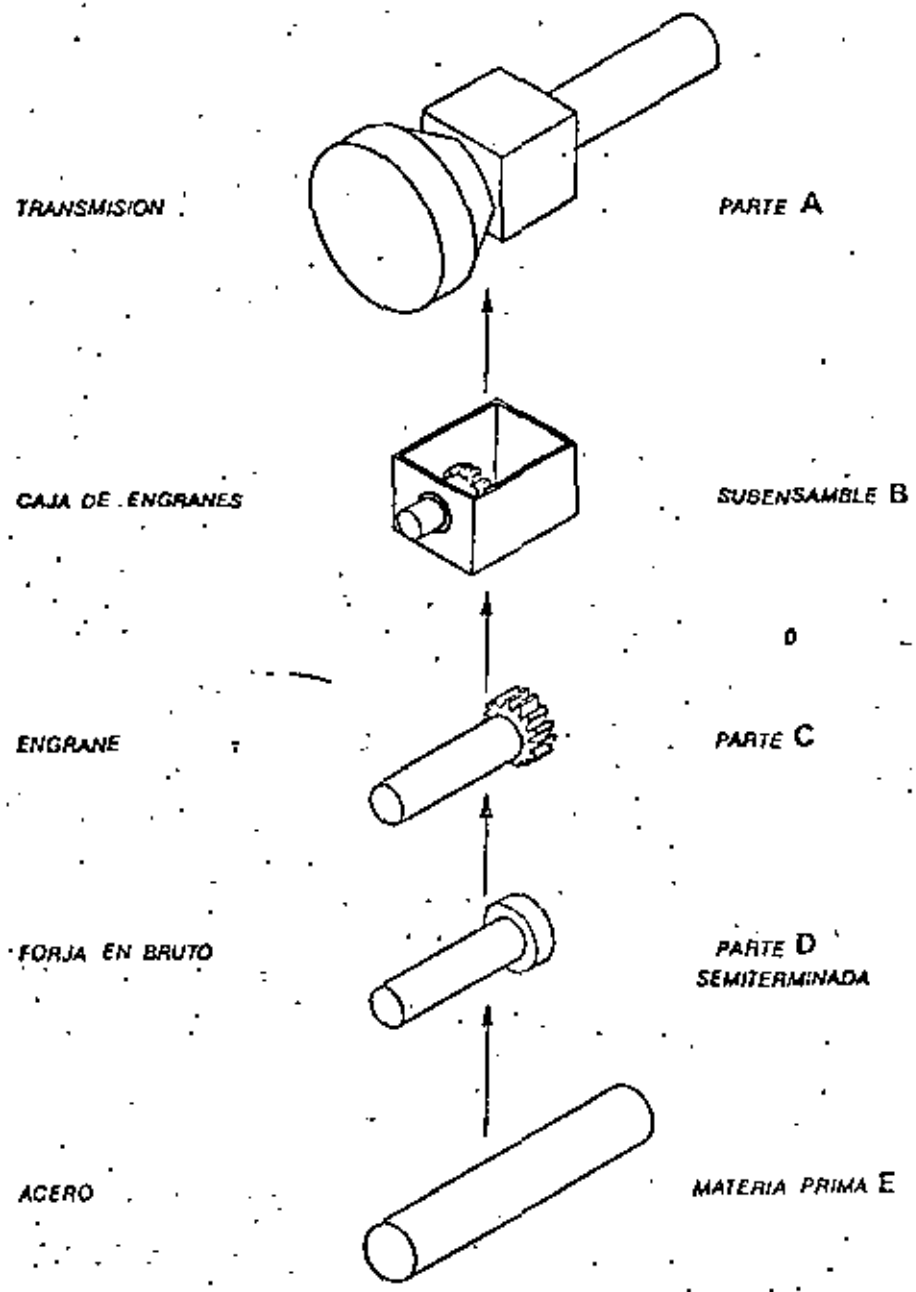
En función de estas definiciones, nos encontramos que solamente los productos finales deberán ser "Pronosticados", y que por lo tanto, los requerimientos de : materia prima y de los componentes de compra, serán calculados; lo anterior modifica radicalmente el concepto de "puntos de reorden, lotes económicos", etc.

La Figura No. 4 nos sirve para ejemplificar las relaciones que existen entre: materia prima, partes semiterminadas, partes, subensambles y ensambles que se definieron como diversos tipos de inventarios de manufactura.

D. Demanda Agregada.

Un elemento adicional a considerar en la demanda, es su relativa uniformidad o continuidad. Esta puede seguir un modelo predeterminado (relativamente fijo a través de una temporada) o una distribución totalmente aleatoria. El punto de reorden famoso, se presta a contribuir a inflar los inventarios, ya -

FIGURA No.4

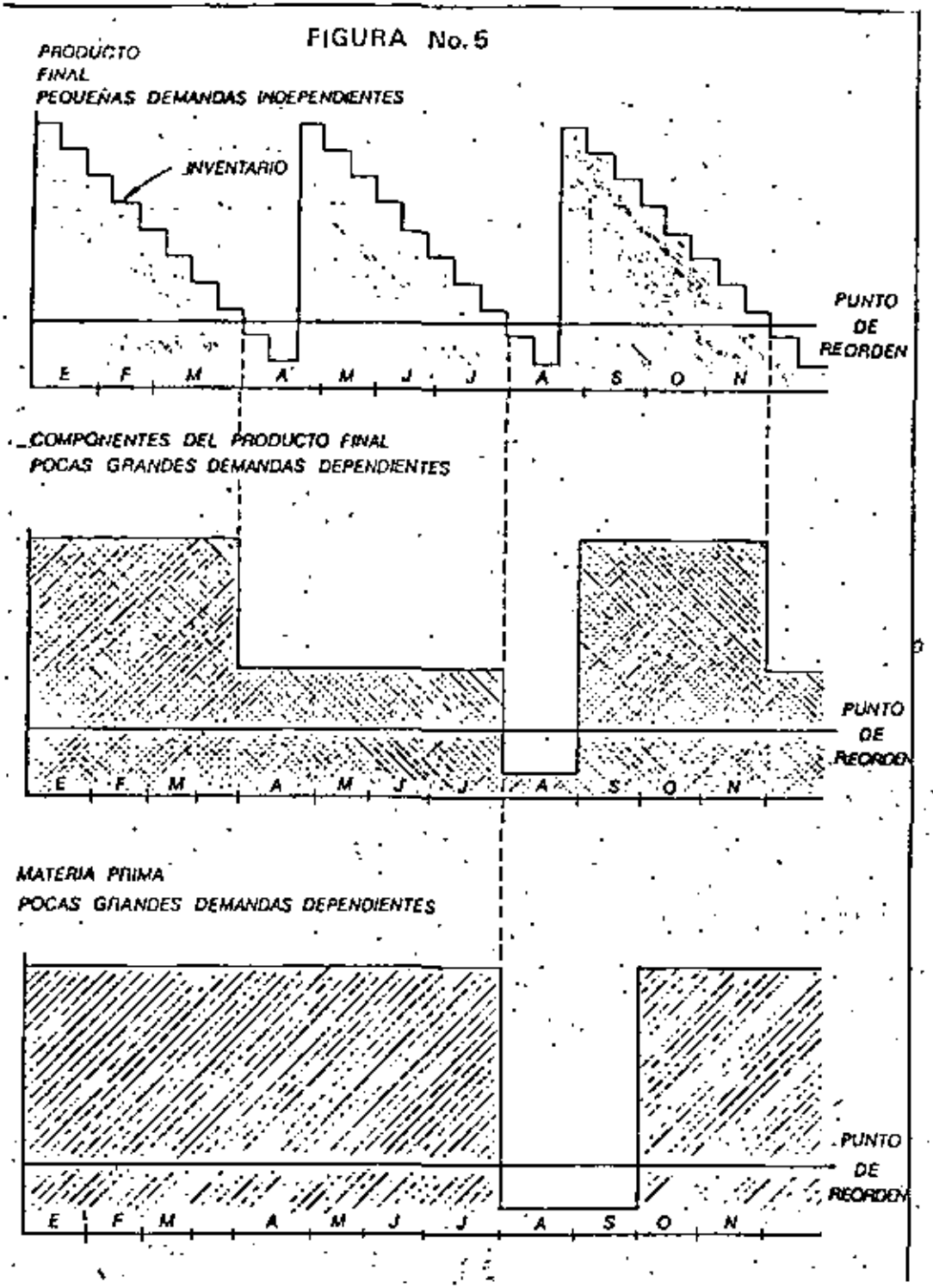


que en función del punto de reorden debido a lead times, siempre se requiere de tener "en mano" material en sus diversos pasos de manufactura, sin tomar en cuenta los volumenes de producción, la estructura del producto y su secuencia de manufactura. La Figura No. 5 ejemplifica este concepto al analizar la demanda de un producto final complejo que puede ser para este ejemplo la caja de velocidades y un engrane de la Figura No. 4, en el caso de que la caja fuera el producto final bajo las siguientes consideraciones.

a. Cuando es requerida una orden de producción por cajas, éstas son producidas en lotes.

b. Para cada lote, de golpe se requiere un número dado de componentes que son demandados en una sola ocasión. Hay veces que esto lleva a los componentes abajo de su punto de reorden; esto ocurre a fines de julio. En ejemplo, la demanda de los inventarios del producto final y el de los componentes, muestran una marcada descontinuidad, el promedio de la demanda es considerablemente alto en comparación con la convencional proyección de una mitad del reemplazo más el lote de seguridad, ya que el punto de reorden es prematuro a las futuras necesidades, llevando a inventarios en exceso.

FIGURA No. 5



El fenómeno de demandas discontínuas ilustra el problema de "el adecuado manejo del tiempo de los requerimientos". En el ejemplo se muestra gráficamente que la demanda es contínua, sólo sujeta a una variación aleatoria y que por lo tanto siempre es necesario tener "a mano" un inventario en todos los niveles, ya que en cuanto el inventario es agotado, debe ser reemplazado, independientemente de su consumo futuro.

Cuando se maneja el concepto de demanda dependiente, los diferentes pasos de integración son "calculados", lo cual significa que a cada nivel existirá el tamaño de lote adecuado en el tiempo correcto y no bajo un patrón fijo de reorden.

En la Figura Número 6, el acero 001 que se compra por toneladas o por metros, se utiliza para producir dos tipos de forjas que a su vez, se utilizan para producir cada una dos tipos de cajas de velocidades.

La letra D significa demanda, la P significa producción. Se muestran seis períodos futuros. Dado que en cada caja se necesita siempre una forja, en función de la producción de las mismas, se puede "calcular" la demanda de las forjas y a su vez, la cantidad de acero 001 debe ser calculada en función de la producción de las forjas; para facilidad de cálculo. , ha supuesto que para cada forja se requiere una unidad de acero.

La demanda de los productos finales se muestra en cantidades uniformes en volumen y sólo se muestra variación en la demanda respecto a la fecha en que son requeridas. Desde luego, que es téorico

el ejemplo, pero a manera didáctica sirve para ejemplificar lo que se quiere demostrar.

Las forjas son producidas desde luego en lotes y en este caso, la materia prima es común a las dos forjas, lo cual es bastante típico dado que la estandarización de materiales es una práctica común y prioritaria.

Del estudio de la Figura No. 6, podemos apreciar que la demanda para el acero 001 es más o menos constante, y que puede manejarse aún en lotes modulares y que su comportamiento no tiene nada que ver con la demanda de los productos finales por lo que hace a los volumenes. Si usáramos una demanda estadística para pedir el acero dependiendo directamente de los requerimientos de los productos finales, tendríamos un promedio de 17 unidades para cada período, lo cual no sería real.

E. Programación del Tiempo.

La programación del tiempo adiciona una nueva dimensión al control de los inventarios. Tradicionalmente lo único que era asociado con el cálculo de materiales era el "qué" y el "cuánto", sin tomar en cuenta que sería el futuro.

Normalmente se consideraba los siguientes elementos :

1. Cantidad en mano.
2. Cantidad ordenada.
3. Cantidad requerida.
4. Cantidad disponible (para futuros requerimientos)

Lo que daba origen a la fórmula :

$$a + b - c = d$$

y donde se presentaban casos como los siguientes :

En mano	45	6	45
Ordenados	30		15
Requeridos	70		70
Disponibles	5		- 10

En el primer caso existiría un sobrante para futuras necesidades y en el segundo, existiría falta de capacidad para cubrir requerimientos.

Sin embargo, la información de que existe un sobrante o que tenemos un faltante no son suficientes, lo realmente importante es además del "qué" y el "cuánto" es el "cuándo", es decir:

Cuándo debe ser completada una orden.

Cuándo debe llegar una orden.

Cuándo debe ser satisfecha la demanda.

Cuándo deberá la orden de reposición ser completada.

Cuándo deberá ser el embarque.

Cuándo será lanzada la orden de producción.

Adicionar el elemento tiempo al control, ocasiona un mayor costo de operación pero se transforma en una mejor operación al dar respuesta a las preguntas olvidades del "cuándo".

F. Categorías de los Sistemas de Inventarios.

El MRP ha incluído dos nuevos conceptos a la administración de los

inventarios :

1. Cálculos (vs pronósticos) de los componentes del inventario.
2. Cálculo del tiempo. Adicionar el tiempo a los datos de los inventarios.

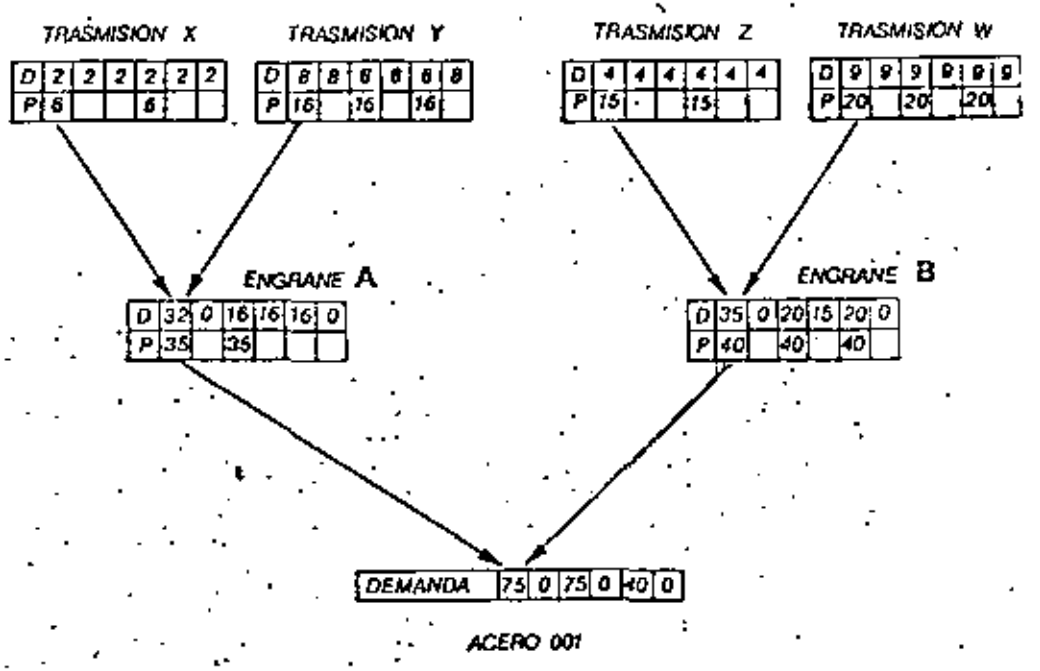
Lógicamente, el primer concepto, es derivado del principio de la demanda dependiente y de la independiente ya que la mayoría de los elementos integrantes de un inventario son elementos dependientes. El "cúando", o inclusión del elemento tiempo, es el resultado de manejar adecuadamente el concepto servicio, así como el de capacidad de planta y tiempo de desarrollo del proceso.

En la Figura No. 7 se puede comparar los diferentes sistemas de inventarios en función de los elementos que los integran.

Prerequisitos del Sistema MRP.

1. Existe un plan maestro y puede ser traducido en términos de listas de materiales.
2. Todos los elementos que integran los inventarios están claramente identificados.
3. La lista de materiales está en función de la "Planeación del Tiempo".
4. Los récords de cada uno de los elementos que integran los inventarios conteniendo la información completa del estado que guardan está disponible.
5. Todos los datos existentes son veraces.
6. Los tiempos de espera de cada integrante del inventario son conocidos.

FIGURA No. 6



CAUSAS DE LA DEMANDA

FIGURA No. 7

		COMPONENTES DE LA DEMANDA	
		PRONOSTICADOS	CALCULADOS
MANTENIMIENTO DE LOS DATOS DE CALCULOS DE INVENTARIO	SOLO CANTIDAD	PUNTOS DE ORDEN ESTADISTICOS	PLANEACION DE REQUERIMIENTOS DE LOTES
	CANTIDAD Y TIEMPO	PUNTOS DE ORDEN DEFASADOS EN EL TIEMPO	PLANEACION DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

CATEGORIAS SISTEMAS DE INVENTARIO

7. Cada elemento del inventario, entra y sale de un almacén.
8. Todos los elementos de un ensamble son necesitados al momento en que la orden de "ensamble" es emitida.
9. Existen procesos independientes de los diferentes elementos manufacturados.

I. OBJETIVOS DEL SISTEMA.

Hablando en general, podemos decir que existen una serie de variaciones sobre el concepto de MRP, pero independientemente de los enfoques diversos que se le han dado, todos tienen en común el siguiente objetivo:

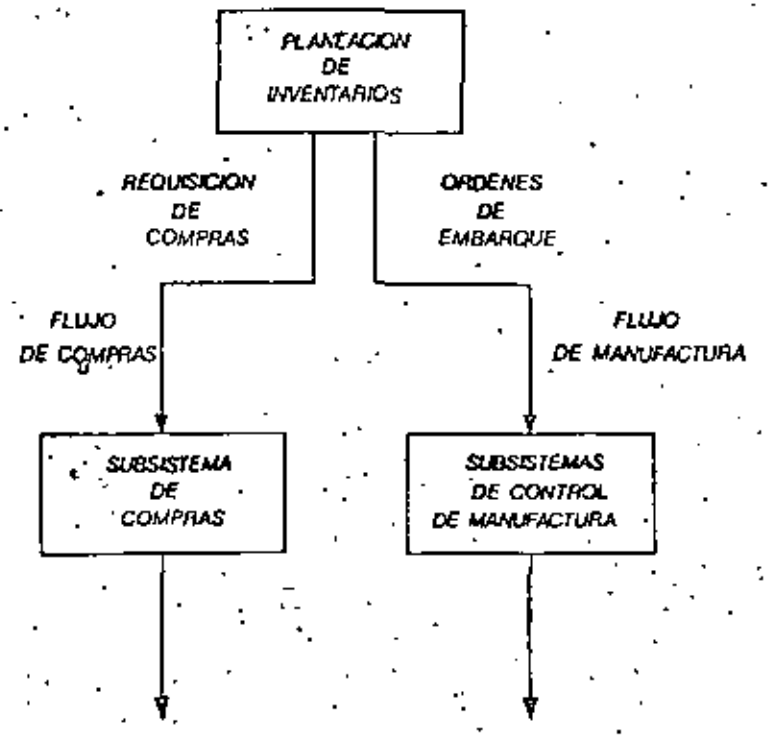
- Determinar los requerimientos para cada elemento del inventario, en un período discreto, con el propósito de generar la información necesaria para: tomar acciones de procuramiento (órdenes de compra) y de producción (órdenes de producción) lo que da origen a dos flujos derivados como lo muestra la Figura No. 8; asimismo la información generada podrá permitir reaccionar tanto positivamente, como negativamente para activar o demorar o cancelar las acciones en cuestión, en función de los avances que se tengan en las dos áreas multimencionadas.

Podemos decir que lo que se pretende es tener un sistema sensitivo, a todo cambio sobre lo planeado que pueda reaccionar tanto positivamente como negativamente.

Para ejemplificar lo anterior, en el primero de los subsistemas, o sea el de procuramiento, si contamos con los elementos esenciales o sean :

A. Identificación de cada elemento (números de parte).

FIGURA No. 8



FLUJOS DERIVADOS A SUBSISTEMAS DE COMPRAS Y MANUFACTURAS

B. Cantidad ordenada.

C. Fecha de lanzamiento de la orden.

D. Fecha en que la orden debe ser terminada.

Con los elementos anteriores, existen dos diferentes pasos; uno cuando se envía la requisición de material por control de inventarios y otro cuando compras envía la orden de compra al suministrador. Estos dos pasos, al revisar la situación del material encuestión, podrán existir las siguientes acciones :

A. Incrementar la cantidad ordenada.

B. Decrementar la cantidad ordenada.

C. Orden de Cancelación.

D. Adelanto de la fecha de terminación.

E. Deferir la fecha de terminación.

F. Orden de suspensión (demora indefinida).

Tal como se apuntó anteriormente, en el MRP, cuando se habla de cantidades siempre se habla de requerimientos netos en un período dado de tiempo en función de un "plan maestro".

Resumiendo : Dado su enfoque básico en tiempo, el Sistema MRP genera información que constituye las "entradas" (alimentaciones) de otros sistemas del área de la Administración de la Producción, tales como :

A. Sistemas de Compra.

B. Sistemas de Programación de Taller.

C. Sistemas de Despacho.

D. Sistemas de Planeación de Capacidad.

E. Sistemas de Seguimiento en Planta.

F. Base para la mecanización (en computadora) de todos los sistemas aquí enumerados.

ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA.

Para que el sistema MRP pueda operar eficientemente es necesario integrarle una serie de entradas o alimentaciones, las cuales son mostradas en la Figura No. 9 y que son las siguientes :

A. El programa maestro de producción.

B. Las ordenes de los componentes que son originados externamente a la planta y que son usados en el sistema.

C. Los pronósticos de los artículos sujetos a la demanda independiente.

D. Los récords de los inventarios.

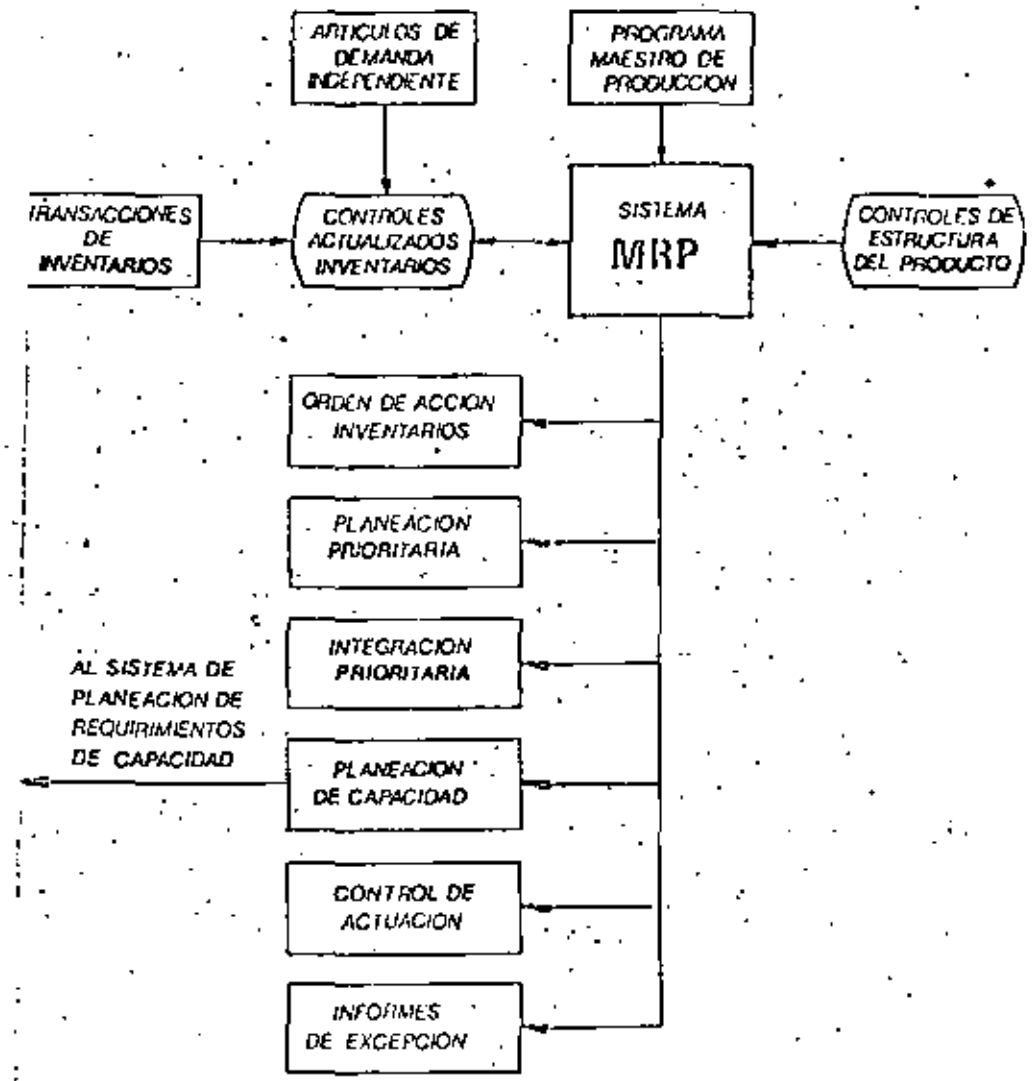
E. La estructura del producto.

A continuación explicaremos brevemente en que consisten las cinco alimentaciones del sistema.

A. El Programa Maestro de Producción.

Expresa el plan total de producción, en función de unidades terminadas (significa que pueden ser embarcadas). Para esto, señala cuántos niveles de configuración integra el producto tanto por su estructura vertical como por la horizontal en lo que hace a: accesorios, opciones, terminados, etc. Así mismo incluye el concepto de "Planeación Horizontal" que significa brevemente, cuánto tiempo espera (demora) acumulada existe por la entrega de materiales y el proceso de manufactura. La planeación horizontal, normalmente es igual o excede a la demora total acumulativa.

FIGURA No. 9



SISTEMA MRP RELACIONES DE ENTRADAS Y SALIDAS

El Programa Maestro de Producción es la principal alimentación del sistema, ya que define el programa entero de manufactura, señalando para cada producto final, qué se producirá en la planta, qué será requerido exteriormente, y cuáles son los artículos de demanda dependiente y por lo tanto calculada en función de los artículos de demanda independiente que son pronosticados. El Programa Maestro será explicado en detalle más adelante.

Ordenes Externas por Componentes.

Esta entrada al Sistema MRP está constituída por los requerimientos de componentes de fabricación interna, para ser empleados en los siguientes usos :

1. Como partes para fabricantes de equipo original, (OEM).
2. Requerimiento de componentes para pruebas de Control de Calidad.
3. Componentes para usarlos en prototipos.
4. Componentes para ser utilizados como repuesto.
5. Etcétera.

Es decir, todos aquellos componentes que no se van a integrar al producto final y que por lo tanto son perfectamente definidos y programados adicionalmente a las necesidades regulares.

Pronóstico de la Demanda Independiente.

El Sistema MRP recibe de otro sistema independiente, este último desarrollado bajo cualquiera de las técnicas de "Pronósticos" , los requerimientos de los productos finales y accesorios, que son sujetos a una demanda independiente (ver párrafo al inicio del presente capítulo.

En algunos casos hay quien incluye como un subsistema del Sistema MRP, el pronóstico de los componentes en cuestión.

D. El Registro de Inventarios.

En esta alimentación se mantene al día la situación que guarda cada componente, materia prima, etc., que integra el universo total de los inventarios. Cada alta, cada baja, cambio de especificación, etc., que afecta el estatus de cada componente individual, es registrado, con el fin de que en el momento oportuno se pueda determinar exactamente los "requerimientos netos" de los multicitados componentes.

Adicionalmente a los registros mencionados, este subsistema contiene los "FACTORES DE PLANEACION", usados principalmente para la determinación de tamaño de lotes, demoras, y/o de desperdicio, inventario de seguridad, valor de inventario, algaritmos del tamaño del lote, etc.

Normalmente cualquier cambio en los "Factores de Planeación", cambia el status del inventario.

E. Registros de la Estructura del Producto.

Este subsistema, contiene las relaciones de estructura de cada producto final, indicando los niveles del producto, tipos y cantidades de ensambles, subensambles, componentes, partes., etc. Así mismo, cuáles de los elementos anteriores son específicos y cuáles de aplicación múltiple ó cuáles de aplicación universal. Existe un cruzamiento entre el subsistema de "Registro de Inventarios", y éste ya que

se discute, afecta al otro para cualquier acción de planeación ó de actuación.

Para poder operar adecuadamente esta alimentación se requiere de los siguientes factores :

1. Requerimientos.
2. Cobertura de Requerimientos.
3. Estructura del Producto.
4. Factores de Planeación.

Qué juegos de procesos de planeación de requerimientos de materiales se utiliza, depende de la variación de MRP que se implante y se utilice. Existen dos; el primero es el llamado MRP REGENERATIVO que se utiliza cuando se opera con técnicas de procesamiento de datos en "Batch", ó manual y en el cual el proceso de planeación es llevado a cabo periódicamente, mecánicamente, es semanal o quincenal y manualmente es de mensual a trimestral. El segundo denominado MRP DE CAMBIO NETO, el cual las actualizaciones de los files es contínuo, ya que se está operando bajo la base interactiva (más adelante se discutirá en detalle los dos tipos de sistemas MRP).

Los cambios pues, de requerimientos, cobertura de requerimientos, modificación a la estructura del producto, ó a los factores de planeación, afectan el status de los inventarios y en consecuencia deben ser reflejados en la "replaneación". En el caso de Sistemas Regenerativos, estos factores son cambiados periódicamente pues se asume que por el proceso en batch, al correr el proceso, en el intervalo se actualizaron los files. Por lo contrario el Sistema de Cambio Neto. Dinámicamente se están modificando los files correspondientes.

IV. FACTORES QUE AFECTAN EL CALCULO DE REQUERIMIENTOS.

Existen 5 factores que intervienen afectando o complicando el cálculo de requerimientos :

A. La estructura del producto.

B. El tamaño del lote.

C. Los diferentes tiempos de demora por artículo del inventario.

D. El diferente manejo de tiempo para la elaboración de cada producto, en función de la obtención de materiales, tiempo de manufactura, temporalidad, etc.

E. Estandarización en el uso de ciertos componentes o partes y/o materias primas, en varios de los ensambles o subensambles de productos finales.

A. Estructura del Producto.

La aritmética empleada en el cálculo de requerimientos es de lo más sencillo, lo que en realidad lo hace más complejo dicho cálculo es lo que denomina la estructura del producto.

Tomemos como ejemplo el engrane "C" de la Figura No.4 dicho engrane aparece en 3 niveles diferentes :

1o. Como artículo independiente, C.

2o. Como componente de la caja de engranes, B.

3o. Como componente de la transmisión, A.

Por lo tanto, cuando nosotros requiramos determinar las necesidades netas del engrane en cuestión, tendremos que clarificar a qué nivel de estructura del producto estamos hablando.

Lo anterior es solo una pequeña muestra de como afecta la estructura del producto por lo que hace al cálculo de requerimientos, ya que éstos dependen de los pocos de manufactura que tenemos en proceso para poder integrar productos finales embarcables.

Desde el punto de vista ingeniería, existe un documento que se denomina indistintamente: Estructura del Producto, Listas de Ingeniería, Lista de Materiales (BOM), Cartas de Integración del Producto, etc., en el cual se nos dice como se integra el producto.

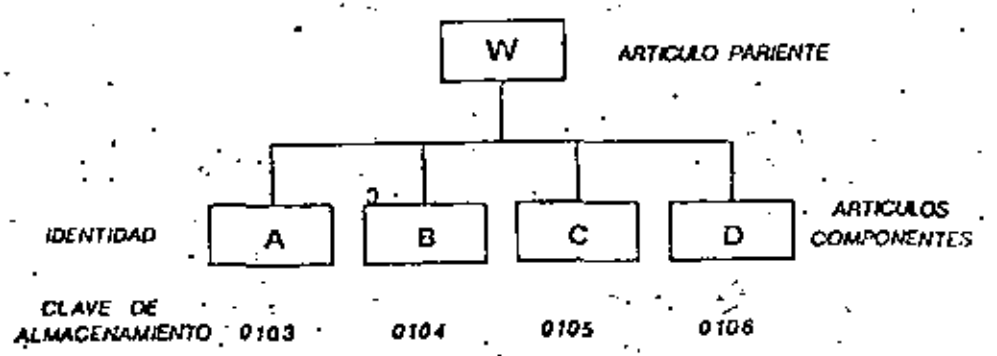
En la Figura No.10 tenemos la representación gráfica convencional de una estructura elemental. En este caso, el artículo W es denominado el artículo "Pariente" y sus artículos "Componentes" son identificados por un código o número de parte, así como la cantidad de cada uno de ellas que se necesitan respectivamente para integrar el producto final a este nivel de estructura ó artículo "Pariente".

En el caso anterior, ya se habría definido una "Lista de Ingeniería" individual para el artículo W.

Ahora bien, el siguiente paso es el de estructurar un "Producto Final" complejo y para esto "explotaremos" los artículos componentes de la Figura No.10 tal como se muestra en la Figura No.11.

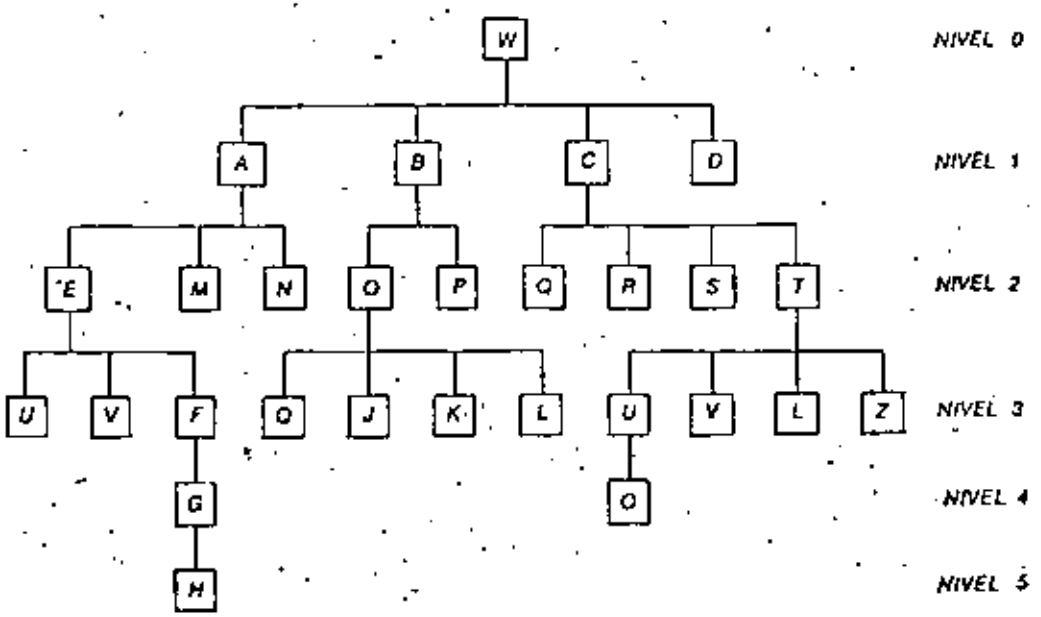
Aquí, nos encontramos con 5 niveles de integración de la estructura del producto final. El artículo W que es el Nivel 0, ó producto final,

FIGURA No.10.



ESTRUCTURA INICIAL DEL PRODUCTO

FIGURA No. 11



PRODUCTO FINAL EXPLOTADO

puede llegar por la cadena W-A-B-C-D-E a cinco niveles, ya que el artículo E, (Componente del pariente D), está en el Nivel 5 ó último nivel.

Lo que hemos hecho es denominarlo "EXPLOSION DE MATERIALES", ó sea a partir del Nivel 0, ir nivel por nivel del producto hasta desglosar en la materia prima necesaria para producir cada elemento que integra el producto.

Aquí valdrá la pena señalar que la acción inversa es decir que la materia prima ó último nivel de la estructura del producto, llegar al Nivel 0, es denominado "IMPLOSION".

La realidad es que por muy sencilla que sea la estructura de un producto, existe cuando menos tres niveles. El ejemplo sería una llave española, la cual sería : tocho de materia prima, forja burda y llave terminada.

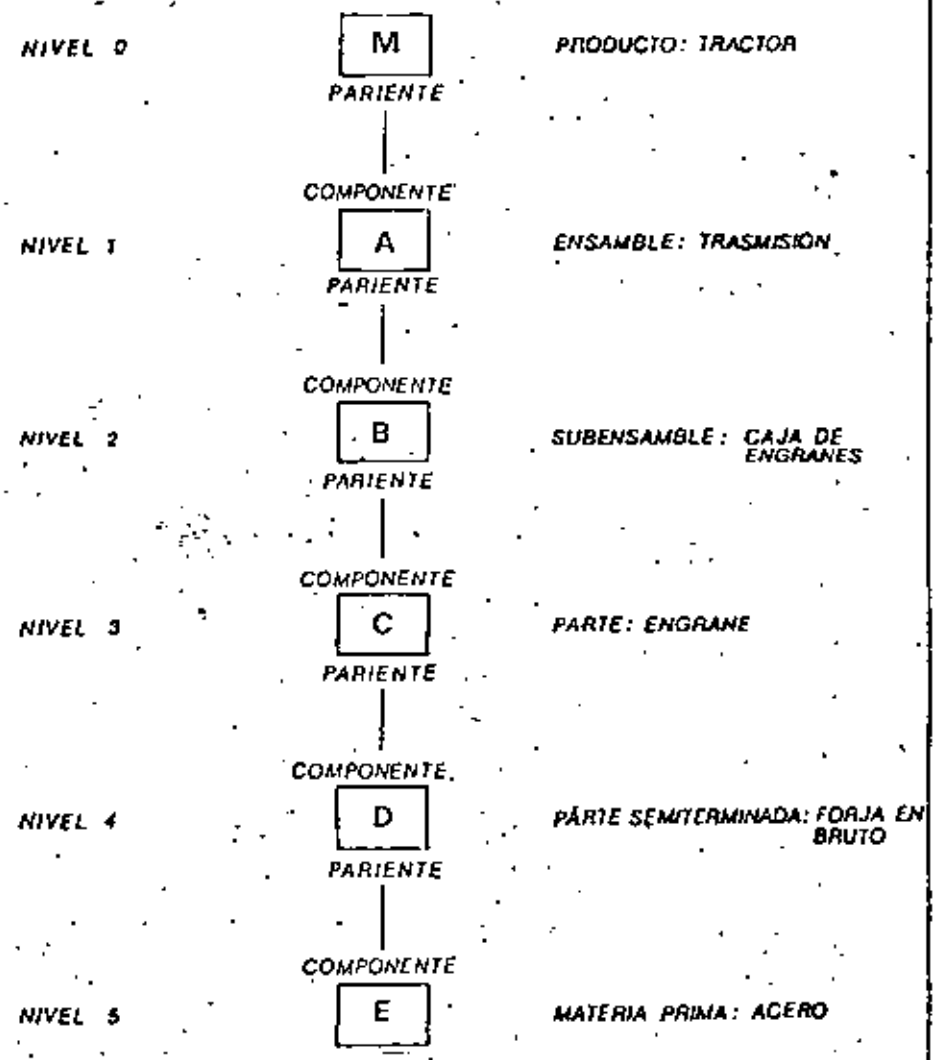
Se considera que un producto de relativa complejidad contiene de seis a once niveles.

A continuación daremos un ejemplo de como se ve afectado el cálculo de la demanda en función de la estructura del producto.

En la Figura No. 12, utilizando una sola rama de la estructura de un tractor agrícola, podemos observar los 5 niveles que integran el ramal transmisión, por lo que hace a uno solo de sus engranes, el multicitado "Engrane C".

Supongamos que nos requieren 150 tractores y que contamos con el siguiente inventario :

FIGURA No. 12



RELACIONAMIENTO PARIENTE - COMPONENTE

Transmisiones		7
Cajas de Engrane B	=	13
Engranes C	=	3
Engranes en Bruto D	=	32

El primer cálculo de la cantidad de artículos necesarios por nivel sería :

Artículo A :	150	-	7	=	143
Artículo B :	150	-	13		137
Artículo C :	150	-	3	=	147
Artículo D :	150	-	32	=	128

Lo anterior es un error típico; los pasos adecuados del cálculo serían los siguientes :

Tractores a Producir	150
Transmisiones Requeridos (grueso)	150
Transmisiones en Inventario	7
Transmisiones A Netas Requeridas	143
Cajas B Requeridas (grueso)	143
Cajas en Inventario	13
Cajas B Requeridas Netas	130
Engranes C Requeridas (grueso)	130
Engranes en Inventario	3
Engranes C Netos Requeridos	127
Forjas Brutas D Requeridas (grueso)	127
Forjas en Existencia	32
Forjas D Requeridas Netas	95

El requerimiento neto se puede verificar para las Forjas D, como sigue :

Tractores a Producirse	150		
Forjas D a utilizarse			150
Inventario de D		32	
Inventario de C que Contiene D		3	
Inventario de B que Contiene C		13	
Inventario de A que Contiene B		7	
		55	
Requerimientos Netos de D		95	
T O T A L E S :		150	150

Como podemos observar el ejemplo anterior, es necesario proceder al cálculo de los requerimientos NETOS, paso a paso (nivel a nivel), desde el Nivel 0 al Nivel N, no es posible eliminar algún paso, debemos analizar cada uno de los ensambles, subensambles, componentes, partes, etc., hasta llegar a las materias primas y reiterando el punto, de arriba a abajo.

En computación la explosión como ya la definimos, es denominada BOM, o sea (Bill Of Materiales) y generalmente es el primer paquete de cualquier paquete de cualquier conjunto de programas para la administración de la producción.

B. El Tamaño del Lote.

Otro de los elementos a considerar en el "Cálculo de Requerimientos", es el tamaño del lote. Lo que se quiere definir con este término es lo siguiente :

Cuando se efectuó el análisis de la cantidad neta de engranes C requeridos, en el cálculo nivel por nivel, vimos que requeríamos de sólo 127, pero aquí interviene la optimización del uso de la maquinaria productiva, debido al balance en términos muy generales del tiempo de preparación de máquina + vida del herramental y la relación de estos con el tiempo productivo. Lo anterior podría significar que los lotes de engranes mínimos deberán ser múltiplos de 20, lo que significa que el cálculo de requerimientos netos de las forjas brutas D se modifica como sigue :

Engrane	(Pariente)	
	Requerimiento Neto	127
	Mínima Orden de Producción	140
Forja Bruta	(Componente)	
	Requerimiento grueso	140
	Inventario	32
	Requerimiento Neto	108

En resumen, debemos decir que el cálculo de los requerimientos en cada nivel, deben tomar en cuenta el tamaño del lote de producción y en consecuencia, la cantidad de requerimientos netos por nivel se podrá ver modificada dependiendo del lote a correr.

Las Demoras Individuales.

Hasta aquí, los cálculos de requerimientos se han manejado de una

forma simplista, no ha intervenido para nada el concepto "TIEMPO".

Es un hecho, que la producción de cualquier componente requiere de un tiempo individual de elaboración (ó tiempo de manufactura). En consecuencia, si a cada uno de los tiempos individuales los multiplicamos por el tamaño del lote, obtendremos el tiempo total de manufactura del componente en cuestión y por lo tanto si integramos los tiempos de cada nivel, lograremos definir la "DEMORA" ó tiempos de entrega del producto final.

En la Figura No. 13 podemos observar en la primera gráfica de barras, el tiempo acumulado ó "DEMORA ACUMULADA" para la entrega de los 150 tractores agrícolas.

Ahora bien, dado que es prácticamente imposible programar exactamente, se deberá definir el tiempo máximo de entrega, lo cual se puede observar si comparamos la segunda gráfica de barras de la Figura No. 13, la cual tiene un desfasamiento con respecto a la primera.

Como se muestra gráficamente, existirá una fecha próxima o más templada de terminar el ensamble y una fecha tardía o más remota de acabar con la orden.

Lógicamente, en el ejemplo utilizado hasta el momento hemos sobre simplificado los cálculos, ya que sólo se ha representado una sola rama de los componentes que integran un tractor agrícola.

Todo lo anterior afecta dado que si existe un tiempo de manufactura requerido con una fecha de inicio temprana y otra lejana ó tarde, eso se refleja en las fechas en que deberán estar de acuerdo con el nivel en planta, materia prima para ser procesada, y los componentes de compra que se utilizarán en los ensambles (tornillería, tuercas, empaques, baleros, etc.), y por lo tanto ésto se verá reflejado en los inventarios por su desfasamiento.

D. La Recurrencia de los Requerimientos con la Planeación Horizontal.

Hasta este punto, no se ha considerado que adicional a la orden de 150 tractores pueda existir otra que sea por el mismo tipo de máquinas y que esté en proceso o pendiente, ó en el caso de que la transmisión pudiera ser utilizada en otro modelo de tractor, lo que vendría a ser una variación en la demanda, el tipo de ella.

Sin embargo, la realidad en las plantas manufactureras, es que normalmente los lotes son repetitivos, aunque sea por una sola temporalidad.

Por lo tanto, veamos que ocurre si adicional a los 150 tractores del ejemplo en cuestión, consideramos que existía un primer lote remanente de 18 tractores. De esta forma para los cálculos se procedería como sigue :

	Lote No. 1	Lote No. 2
	18	150
Transmisión A		
Requerimientos Gruesos	18	150
Inventario	7	150
Requerimientos Netos	11	150
Caja de Engranes B		
Requerimientos Gruesos	11	150
Inventario	13	2
	(2)	148
	C disponibles para el Lote No. 2	
Engrane C — D		
Requerimientos gruesos	0	148
Inventario	0	3
Requerimiento Neto	0	145
Forja D		
Requerimiento grueso	0	145
Inventario	0	32
Requerimiento Neto	0	113

Ahora el cálculo anterior, se tendría que modificar por el tamaño del lote, y por lo tanto se tendría que hacer una modificación en el tiempo programado ya que en el caso de ejemplo multicitado, ahora en vez de 140 engranes C, tendríamos que procesar 120.

E. Uso Común de Componentes.

Hasta aquí hemos considerado un problema aún relativamente sencillo, sin embargo, lo podremos aún complicar un poco más aparentemente, debido al fenómeno de estandarización de componentes.

Es una de las principales políticas de simplificación en el departamento de ingeniería del producto el de tratar de emplear al máximo el mismo tipo de: materia prima, ensambles, subensambles, componentes, partes, componentes de compra.

La estandarización se puede dar simultáneamente en diferentes ramas y en diferentes niveles tal como se muestra en las Figuras No. 14 y No 15.

En la Figura No. 15, se da el caso de la existencia en la figura superior de componentes comunes a diferentes niveles.

En la figura inferior, los componentes comunes existen en niveles múltiples.

En el caso práctico que se demostrará en los capítulos de aplicación, los componentes comunes se presentaban generalmente como en la Figura No. 15.

Desde luego, esto facilita enormemente los cálculos y en sí la administración de los inventarios, ya que se compra menos materia prima y menos componentes de compra, en mayores volúmenes y a mejores precios.

Lo vulnerable es que la falta de una materia prima o componente de compra común, afecta a un número posiblemente grande de productos finales.

CAPITULO III

LAS DIFERENTES FAMILIAS DEL MRP.

Tal como se había indicado en capítulo anterior, existen dos enfoques diferentes o dos sistemas diferentes de aplicar el MRP, y que se denominan respectivamente :

A. Regenerativo.

B. De Cambio Neto.

Antes de continuar, quisiera aclarar que los dos enfoques son en realidad dos "Familias., y que por lo tanto, dependiendo del usuario, se seleccionará una de las "Familias, y en lo particular se le harán alteraciones o variaciones que se requieran en cada caso, como ya se ha indicado, dependiendo de tipo de producto, cantidad y calidad de los subsistemas de alimentación, facilidades de operación y meta a logar. Además, se puede decir que cada una de las aplicaciones, por lo general toma algunos de los principios de la otra rama o "Familia", y por lo tanto, son aplicaciones híbridas, lo que significa que es muy rara aplicación "ortodoxa", o clásica, es decir que el enfoque aplicado sea 100% de cambio neto o de programación regenerativa. Abundando en lo anterior, y adelantándonos a los siguientes capítulos, el caso práctico que se presentará , es un enfoque de "Regenerativo", con variantes muy particulares ya que era llevado a mano, es decir aún no se había mecanizado, por lo tanto era muy difícil el no operarlo en "Batch" , ya que se requería de muchos cálculos y por lo tanto de tiempo , una gran incertidumbre.

Para efectos de dejar clara la teoría , a continuación se explicará con

todo detalle cada uno de los enfoques, en su concepción ortodoxa o pura.

A. Características del MRP Regenerativo.

Como se había indicado anteriormente, su principal característica es que se trata de una aplicación en "Batch", tal como lo veremos a continuación.

1. Cada requerimiento de cada artículo final existente en el Programa Maestro de Producción, deberá ser "explotado".
2. Cada lista de materiales (activa) deberá ser restaurada.
3. El estado de cada artículo (vivo) inventariado deberá ser recalculado.
4. Un alto volumen de datos es generado.

Dado que se trabaja en "Batch", el Programa Maestro de Producción es corrido una vez periódicamente, por lo cual debe ser en las subsecuentes "regenerado"; lo anterior significa que los requerimientos gruesos y netos para cada artículo deberán ser recalculados de acuerdo a la actualización del Programa Maestro. Durante el proceso, a partir del nivel 0 (Artículo Terminado), cada nivel hacia abajo es reprogramado y en consecuencia recalculado hasta llegar al nivel más bajo o de materia prima.

Ya que en realidad este enfoque del MRP, responde a la técnica de procesamiento de datos secuencial, esto significa que se deberá definir una "frecuencia" de repetición del ciclo de cálculos y que en cada ciclo se lleve a cabo una reprogramación y un recálculo del estado que guarda cada uno de los artículos del inventario

a sus diferentes niveles. Lo anterior lo podemos resumir como "una regeneración" del sistema periódicamente.

Lógicamente, en cada ciclo los factores de planeación pueden ser cambiados o actualizados. Si se cuenta con una computadora, lo usual es que el ciclo se repita cada dos semanas y un óptimo de una semana. Como es lógico, todos los datos serán obtenidos de la máquina mediante grandes listados.

Existen dos fases dentro de este enfoque :

1. Corrida de planeación de requerimientos.
2. Actualización de los archivos por los intercíclos.

El primero de ellos se explica por sí solo; es decir, se efectúa la "corrida" de los datos de requerimientos.

El segundo consiste en la actualización de los archivos de los inventarios, lo anterior es debido a que durante el tiempo en que se ha incurrido entre ciclo y ciclo, han existido transacciones en los artículos componentes de los inventarios en sus diferentes niveles, lo normal es que existieran altas y bajas dependiendo de la llegada de material o del surtimiento a la planta o el avance del proceso mediante la fabricación de componentes de subensambles, ensambles principales, o de productos finales. A esta "corrida", además hay que adicionar los futuros requerimientos. La representación de los datos incluye: material en mano, material ordenado requerimiento de materiales gruesos, requerimientos netos y lanzamiento de órdenes.

Lo anterior significa que existen dos formas de desplegar los datos y que son :

1. Estado del Inventario Limitado.
2. Estado del Inventario Completo.

En el primer caso, se presenta solamente los datos de inventario y algunas implementaciones, tales como material en mano, es mantenido por el sistema de actualizar files y esto ocurre con relativa alta frecuencia. La segunda, podemos decir que más que un mantenimiento debemos hablar de una reconstrucción a relativa baja frecuencia; por ejemplo semanalmente y se incluye todos los datos del sistema, es decir, los de requerimientos así como los datos de planeación.

Debo hacer notar que debido a la relación "pariente-componente" y a la lógica cadena entre el parentesco de niveles, el cálculo de requerimientos de uno afecta al otro, las transacciones debidas por ejemplo a rechazos en un nivel pueden afectar el estatus del otro al modificar las cantidades disponibles para cubrir un requerimiento neto, éste a su vez al no poder ser satisfecho, afectará a su vez al nivel con que esté relacionado y el otro al que sigue y así seguirá la cadena.

En el Sistema MRP Regenerativo, en la corrida cíclica, será necesario efectuar todas las reclecciones entre los diferentes niveles y productos para establecer los nuevos resultados debidos a las interacciones ocurridas en el interciclo anterior.

Podemos resumir lo dicho hasta aquí con las ideas :

1. Una transacción puede cambiar el estatus de un artículo de manera que afecte también el estatus de sus componentes.
2. Si el estatus de un artículo componente no es modificado como el resultado de la transaccion, la validez de los datos de requerimientos se irán gradualmente deteriorando.

Como es lógico, una programación del tipo regenerativo, genera un muy alto volumen de datos a manejar y de listados de computadora; todo esto toma un cierto tiempo de procesamiento, y por lo tanto hay que determinar los períodos económicos para hacer las corridas correspondientes. Todo lo anterior significa que por la integración, por períodos cortos de tiempo el sistema esté desactualizado en algún grado todo el tiempo.

Qué tan malo puede ser el inconveniente aquí señalado, dependerá del caso específico en el cual opere. Qué tan cambiante puede ser la demanda independiente, qué tan confiable son todos los procesos y los proveedores ya que alguno de estos elementos tiene un patrón de comportamiento totalmente inestable, entonces el sistema sí puede verse afectado.

Recordemos que por su característica de "Batch", el período más corto del ciclo de correr el sistema será el de una semana. Por lo tanto la naturaleza del negocio en el cual se va a instalar el Sistema MRP es básico para el diseño del sistema operativo, ya que en entornos estables se opera adecuadamente con el Regenerativo.

Desde luego si éste es seleccionado de acuerdo a su situación específica, se diseñará el período de revisiones.

Es muy importante destacar que el MRP es más que un sistema de control de inventarios, por todos los subsistemas involucrados, por lo cual la disponibilidad de datos para la toma de decisiones es básica y de ahí la importancia del período del ciclo en caso de seleccionar.

B. Características del MRP de Cambio Neto.

Tal como se ha indicado previamente, la "corrida" de planeación de requerimientos es básica por la función primaria que desempeña, por lo tanto, la explosión que se hace del plan maestro no puede ser eliminado de ninguna manera y tampoco puede ser circunscrito, pero puede ser limitado. En el sistema de "Cambio Neto" se procede a efectuar pequeñas explosiones continuas efectuadas a una muy alta frecuencia, podemos decir que diariamente. Lo anterior equivale a la analogía matemática de una integración, de tal manera que en el transcurso de un corto tiempo se efectúa la total explosión del sistema de planeación de requerimientos. Todo lo anterior sustituye al concepto anterior de una sola explosión del mencionado sistema de planeación de requerimientos bajo el sistema de ciclos en un período dado de tiempo.

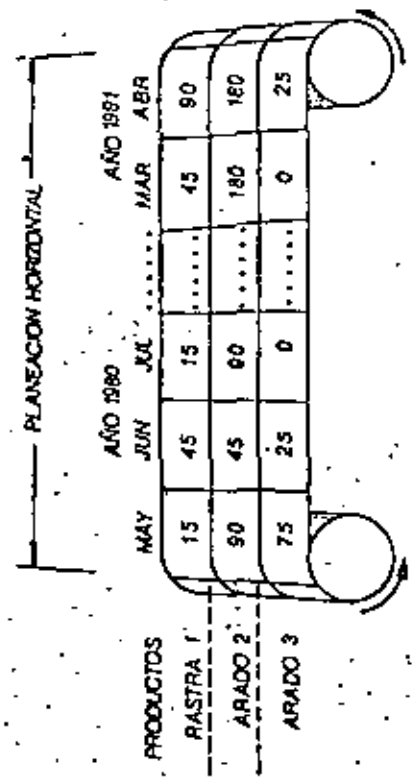
Desde luego, si se habla de explosiones parciales, podemos deducir que el volumen de información a manejar será pequeño, en realidad el esquema es el de un sistema de computación interactivo donde los datos, cálculos y resultados se actualizarán a través de pantalla, sin tener que acudir a los listados excepto cuando alguna parte de la información se requiere para algún propósito de actuación o de control.

De acuerdo al concepto de "Cambio Neto", podemos decir que existe dos niveles en las explosiones parciales y que son :

1. Sólo una parte del programa maestro de producción es explotado cada vez.
2. El efecto de las explosiones, por lo que hace a las transacciones, se efectúa en los niveles bajos, lo que significa que actúa como disparador para estimular las subsecuentes explosiones.

Otra característica del sistema en cuestión, es lo que podemos denominar CONTINUIDAD DEL PROGRAMA MAESTRO, ya que podemos ir efectuando explosiones parciales que se van encadenando hacia el infinito, dando continuamente la vuelta al todo del subsistema de planeación de requerimientos y en consecuencia a su vez, en ambos - sentidos a la actualización de los files de cada uno de los artículos de inventarios en todos sus niveles, por sus altas y bajas debidas a todo tipo de transacciones.

Lo que se hace es lo siguiente :



DINAMICA DEL PROGRAMA MAESTRO

Como se puede apreciar en la Figura No. 16, tenemos una planeación horizontal de tal manera que en cuanto un mes termina, automáticamente se agrega al final. Veámoslo más detenidamente: La planeación se inicia en el mes de mayo de 1980, en el ejemplo se muestran doce meses más, es decir hasta el mes de abril de 1981, podemos decir que es lo que se denomina período de planeación, es decir, el lapso de tiempo en el cual no deben existir cambios mayores de la producción; los compromisos en materiales, mano de obra, lotes de producción se mantienen más o menos constante con una variación estándar que dependiendo del caso pude ser de más o menos 10%. Para los meses iniciales digamos de 2 a 3 y después es posible tener mayores variaciones. Entonces, al finalizar el mes de mayo, automáticamente se agrega el mes de mayo 1981 para poder volver a tener doce meses. En la Figura No 17, podemos apreciar en tres diferentes procesos de cálculo en los meses que se van agregando.

En la práctica, los meses firmes son generalmente tres más nueve meses llamados de planeación aproximada, de tal manera que siempre se tenga un período de doce meses constantemente, que es lo suficientemente largo y a la vez corto para poder operar adecuadamente una planta. En la industria automotriz, el período firme es de dos meses, más diez planeados.

Adicional a la planeación horizontal, están los conceptos que caracterizan al MRP de Cambio Neto, por lo que hace al estatus de los inventarios.

1. Balance de los récords

FIGURA No. 17

	AÑO 1980			AÑO 1981		
PRODUCTOS	MAYO	JUNIO	JULIO	----	MARZO	ABRIL	MAYO
RASTRA 1	15	45	15	----	45	90	0
ARADO 2	90	45	90	----	150	180	0
ARADO 3	75	25	50	----	0	25	0

	AÑO 1980			AÑO 1981		
PRODUCTOS	JUNIO	JULIO	AGOSTO	----	ABRIL	MAYO
RASTRA 1	45	15	30	----	90	20
ARADO 2	45	90	50	----	180	30
ARADO 3	25	50	20	----	25	50

	AÑO 1980			AÑO 1981		
PRODUCTOS	JULIO	AGOSTO	SEPT.	----	MAYO	JUNIO
RASTRA 1	15	30	20	----	20	40
ARADO 2	90	50	50	----	30	50
ARADO 3	50	20	20	----	50	30

"EL CAMBIO NETO CONSECUTIVO EN EL PROGRAMA MAESTRO"

2. Equilibrio internivelles.

Dado que constantemente estamos actualizando los datos de nuestros inventarios en función de la diferencia con los meses pasados y los que vendrán, es posible tener en el sentido amplio, al día el estatus de los ya mencionados inventarios. Los requerimientos gruesos y netos son constantemente actualizados en función de los futuros requerimientos, dados los resultados actuales (recordar que existen en los factores de planeación, el concepto de tamaño de lote, lo que significa faltantes o excedentes, según el caso). Por las futuras variaciones, debemos pues adicionar a los ya indicados requerimientos gruesos y netos, los requerimientos en mano.

Se dice que los récords de inventario para un artículo dado está "en balance", cuando los artículos en mano corresponden a los requerimientos gruesos existentes y a las recepciones programadas y cuando las ordenes planeadas son correctamente determinadas tanto en cantidad como en tiempo. Si éste es el caso, es posible que el balance sea roto por la siguiente transacción que ocurra, ya que es fácil que un balance sea alterado. Cuando esto ocurre, el "Cambio Neto" restablece de inmediato el "balance", proyectando y recalculando los requerimientos en mano, los requerimientos gruesos y el lanzamiento de ordenes; éste recálculo puede originar cambio en cantidades, cambios en cantidades y tiempo, o sólo cambios en tiempo.

FIGURA No. 18

TIEMPO DE ESPERA 3		PERIODO							
CANTIDAD ORDENADA		45	46	47	48	49	50	51	52
REQUERIMIENTOS GRUESOS		8	5		14	25		10	23
PROGRAMA DE RECIBO				35					
EN MANO	15	7	2	37	23	-2	-2	-12	-35
PLANEACIÓN DE LANZAMIENTO DE ORDENES					35				

ESTADO ANTES DEL RECHAZO

FIGURA No. 19

		PERIODO							
		45	46	47	48	49	50	51	52
REQUERIMIENTOS GRUESOS		8	5		14	25		10	20
PROGRAMA DE RECIBO				32					
EN MANO	15	7	2	34	20	-5	-5	-15	-35
PLANEACIÓN DE LANZAMIENTO DE ORDENES			35 ←						

ESTADO DESPUES DEL RESTABLECIMIENTO DEL EQUILIBRIO PARA COMPENSAR EL RECHAZO

En la Figura No. 18, se presenta un ejemplo, donde en una orden por 35 es reducida a 32, debido a desperdicio que se espera se genere. En la Figura No. 19, el balance se ha restablecido adelantando el lanzamiento de ordenes del período 48 al período 46.

El concepto de "Equilibrio Interniveles" se refiere al lógico balance que tiene que ocurrir entre los artículos que son parientes entre sí; es decir, los requerimientos gruesos de un artículo dado, deberá corresponder en todo tiempo a las cantidades y tiempo de los lanzamientos de los artículos parientes.

Si volvemos a utilizar las Figuras No. 18 y 19, podemos observar que: el tiempo de lanzamiento de ordenes ha sido modificado, los requerimientos gruesos a su vez también se han modificado y en consecuencia, la relación pariente-componente a su vez tendrá que ser puesta al día en función de los cambios que le afecten directamente.

En la Figura No. 20, se presenta el cambio de requerimientos gruesos como resultado de las diferencias de las Figuras No 18 y 19, al modificar del período 48 al 46.

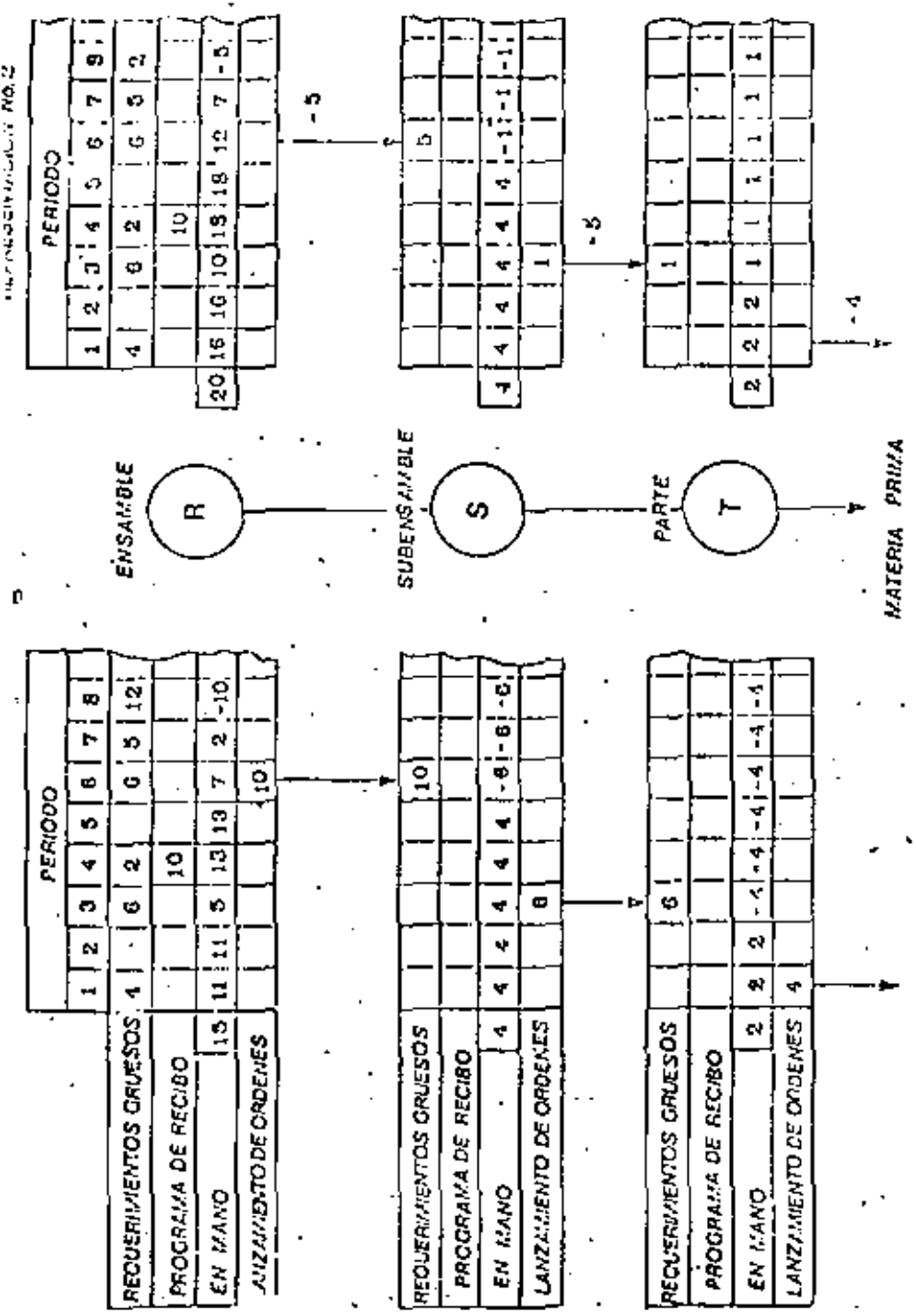
A la vez, en la Figura No. 21, representamos el efecto de la relación indicada en el párrafo anterior como respuesta al cambio de los requerimientos gruesos.

Para ampliar la explicación, damos en la representación No. 1 un equilibrio de interniveles y debido a una transacción en la cual

FIGURA No. 20

ARTICULOS COMPONENTES	PERIODO 45	46	47	48	49	50	51	52
REQUERIMIENTOS GRUESOS		-35		-35				

CAMBIO EN REQUERIMIENTOS GRUESOS

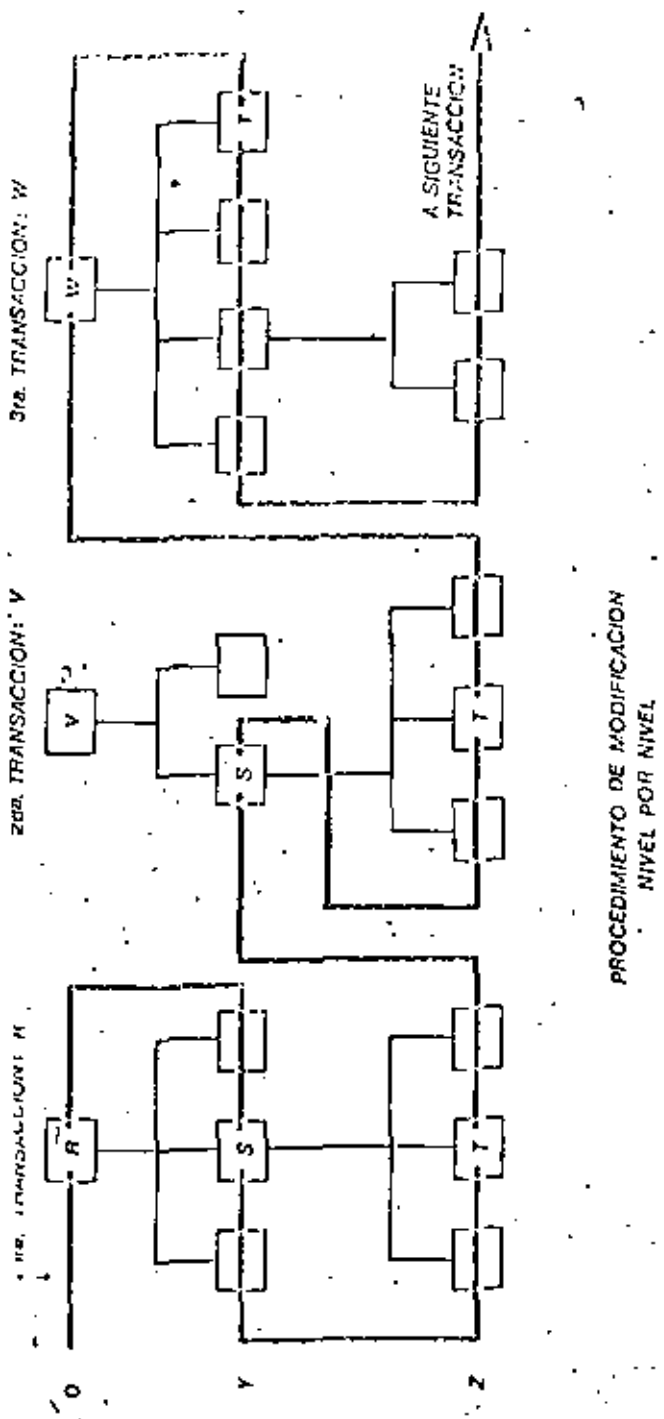


un cliente devuelve 5 unidades del producto final R, la estabilidad es rota, por lo tanto en la representación 2, tenemos que modificar la situación para el subensamble S y para la parte T Este recálculo para lograr el equilibrio interniveles automáticamente durante el proceso continuo de estabilizar los niveles es lo que caracteriza al sistema "Cambio Neto". Siempre que se efectúa es a lo largo de todos los niveles de un artículo final cuando este es "explotado", ahora bien, como exista la posibilidad que un artículo también afecte otro producto final, en la Figura No. 22 se representa como se efectúa el relacionamiento de varias transacciones de un artículo pariente-componente en 3 productos finales diferentes pudiendo resumir esta acción como sigue :

Las transacciones en el "Cambio Neto" pueden ser manejadas, afectando el estatus de los inventarios en todos los siguientes casos:

1. Entradas del Programa Maestro.
2. Alteraciones de los Requerimientos Gruesos, como resultado en los cambios de los programas de la planeación de lanzamiento de ordenes (transacciones generadas internamente.)
3. Alteraciones de los requerimientos gruesos resultados de entradas externas directas a niveles bajos en la estructura del producto.

En la práctica cuando se aplica el sistema de Cambio Neto, los cambios en la estructura del producto, cambios en los factores de planeación, cambios debidos a modificaciones de requerimientos,



PROCEDIMIENTO DE MODIFICACION NIVEL POR NIVEL

FIGURA No. 22

son tratados como transacciones y por lo tanto su efecto en el estatus de los inventarios solo aparecerá en la siguiente corrida

LOCALIZACION DE LAS ORDENES DE MANO.

Debido al equilibrio interniveles, cuando se está operando con las familias de "C[illegible]", cuando una orden de manufactura de un artículo planeado, es liberada, las cantidades requeridas de sus componentes deberán ser "localizadas" de acuerdo al siguiente orden lógico :

1. Cuando el manejo del tiempo es planeado, la liberación ocurre en el "período actual". Lo anterior significa que se está balanceando los récords de materiales involucrados.

   Para aclarar lo anterior, veamos el caso presentado en la Figura No. 18, al inicio del período 46, tal como es representado en la Figura No. 23.

Demora 3	Período							
Cantidad Ordenada 35	46	47	48	49	50	51	52	1
Requerimientos gruesos	-5		14	25	10		20	
Programa de Recibo		32						
En Mano 7	2	34	20	-5	-5	-15	-35	
Planeación de Lanzamiento de Ordenes	35							

FIGURA NO. 23

Dado que la cantidad recibida es totalmente utilizada y se presenta una situación de necesitar más, se presenta una acción de ordenar un lazamiento. Esto ocurre y posterior a dicha orden se nos mostrará en la Figura No. 24 el nuevo estatus.

Demora 3

		Período							
Cantidad Ordenada	35	46	47	48	49	50	51	52	1
Requerimientos Gruesos		5		14	25	10		20	
Programa de Recibo			32		35				
En Mano	7	2	34	20	30	30	20	0	0
Planeación de Lanzamiento de Ordenes		35							

FIGURA No. 24

0

Lo que pasa en la figura anterior, es que el casillero primero del renglón de lanzamiento de ordenes ha sido reducido en 35 unidades y por lo tanto, para mantener el equilibrio de internivelcs, el renglón de requerimientos gruesos del siguiente nivel deberá verse afectado en las mismas unidades. Sin embargo, la disminución en el nivel pariente, podrá verse distanciada si los requerimientos gruesos del nivel componente aún no han sido satisfechos, ya que es posible que las cantidades de los componentes en mano se tengan de momento debido a tiempo existente entre la liberación de la orden y la requisición del material respectivo, esto lo podemos apreciar más calmadamente en la Figura No. 25, mostrada a continuación.

FIGURA No. 25

I

STATUS ORIGINAL DE COMPONENTES DEL ARTICULO (REQ.-NET = 55)

PARIENTE		PERIODO 46	47	48	49
PLANEACION DE LANZAMIENTO DE ORDENES		35			

COMPONENTE					
REQUERIMENTOS GRUESOS		35			35
PROGRAMA DE RECIBOS					
EN MANO	50	15	15	15	20
PLANEACION DE LANZAMIENTO DE ORDENES			20		

II

STATUS DITORCIONADO DESPUES DEL LANZAMIENTO DE LA ORDEN PLANEADA (REQ.-NET = 0)

PARIENTE					
PLANEACION DE LANZAMIENTO DE ORDENES		0			

COMPONENTE		-35			
REQUERIMIENTOS GRUESOS		0			35
PROGRAMA DE RECIBOS					
EN MANO	50	50	50	50	15
PLANEACION DE LANZAMIENTO DE ORDENES			0		

DISTORCION DEL STATUS POSTERIOR AL LANZAMIENTO DE LA ORDEN

FIGURA No. 26

I

RECORD DEL COMPONENTE ACTUALIZADO PARA LA ORDEN DE LANZAMIENTO EL PARIENTE

PARIENTE	46	47	48	49
LANZAMIENTO DE ORDENES PLANEADAS	0			

COMPONENTE	+35	-35			
LOCALIZADOS	35				
REQUERIMIENTOS GRUESOS		0			35
PROGRAMA DE RECIBOS					
EN MANO		15	15	15	-20
LANZAMIENTO DE ORDENES PLANEADAS			20		

II

STATUS DESPUES DISTURBIO FISICO

COMPONENTE	-35	-35			
LOCALIZADOS	0				
REQUERIMIENTO GRUESO					35
PROGRAMA DE RECIBO					
EN MANO	15	15	15	15	-20
LANZAMIENTO DE ORDENES PLANEADAS			20		

FUNCION DE LOCALIZAR EL CAMPO

Para resolver el problema de disturbios o distorsión en el seguimiento de la orden de liberación, debemos ver la Figura No. 26. En ella, el problema es resuelto adicionando un campo de localización en el récord del artículo y por el incremento en la cantidad del requerimiento grueso en el control de tiempo de la orden de liberación del pariente.

Al artificio anterior es denominado "Requisición sin Contabilizar", y sirve para sustituir los requerimientos gruesos adicionados al primer período con fines de cálculo de las cantidades proyectadas en mano. Siguiendo físicamente la disturbación del artículo, las respectivas transacciones reduce el contenido de ambos casilleros el "En Mano" y el de "Campos de Localización" a la misma suma. Esto se muestra en la parte B de la Figura No. 26.

ALTERACIÓN DE REQUERIMIENTOS.

Una adición especial en las familias "Regenerativas" y que es a menudo confundido con el "Cambio Neto", es la acción denominada alteración de requerimientos".

Este artículo está diseñado para proceder en los cambios que se produzca en el "Programa Maestro" entre las corridas normales de planeación de requerimientos. Su objetivo es evitar una regeneración completa del programa o una "Explosión Total".

Las entradas del programa, son los nuevos valores del "Programa Maestro" en los artículos que previamente han sufrido cambios en su programación lo anterior significa que se tendrán "regeneraciones parciales" de requerimientos, limitando la explosión a los artículos específicamente considerados y a sus componentes.

Es importante señalar que solo responde este artificio a cambios en el "Programa Maestro" y no cuando hay cambios en los niveles bajos. Cuando estos últimos son afectados, no hay recálculo sino hasta el ciclo manual de procesamiento y por lo tanto el sistema en general se podrá ir "degenerando" si estos son excesivos.

Modelos de Uso.

La familia de "Cambio Neto", tiene dos variaciones básicas de aplicación, que son :

1. Alta frecuencia de replaneación (batch diario)
2. Replaneación contínua o en línea.

Cuál es la mejor? dependerá del equipo de computación y del software del usuario específico.

Lo anterior significa que a medida que el equipo utilizado sea más o menos complejo, y de su hardware, se deberá seleccionar una aplicación que optimice el uso del equipo en cuestión.

Evaluación del Cambio Neto.

La comparación se debe establecer con la primera familia o sea la "Regenerativa", y diremos las ventajas que tiene sobre ella.

1. Minimiza el trabajo de planeación de requerimientos y lanzamiento del Programa Maestro.
2. Los cambios al proceso de programación se realizan entre cada lanzamiento.
3. Está continuamente puesto al día.
4. Genera información para la toma de acciones en el momento que se requiera.

Como se puede apreciar, el uso del "Cambio Neto" da origen a un sistema altamente dinámico, por hacer una analogía podemos decir que equivale al sistema nervioso de un ser humano. Lo anterior significa una alta velocidad de repsuesta a la más mínima alteración.

Conclusión.

Desde luego el sistema de Cambio Neto es el más recomendable, sin embargo, cada usuario puede elegir el que más le convenga, ya que se dependerá de las herramientas que se disponga para utilizar uno ó el otro. Además, como ya se señaló durante este capítulo, qué tan aleatoria es la Demanda Independiente, y qué tan largo es el proceso de manufactura y por cuánto tiempo se tienen compromisos firmes, dará la pauta para seleccionar el sistema de aplicación específico en cada caso.

Podemos decir por último, que el MRP es un Sistema de Información y que es lo que se busca para optimizar la Administración de Manufactura.

TITULO V

LAS SALIDAS DEL SISTEMA MRP.

En los capítulos precedentes, hemos establecido la filosofía general del Sistema MRP, sus alimentaciones, sus requisitos, así como la manera de operarlo, todo lo anterior es una forma bastante amplia, que nos permitirá a partir del Capítulo VI, entender su implementación. Sin embargo, nos falta ver en el mismo detalle, como operan las Salidas del Sistema MRP.

El Sistema ha sido ideado para operar en 3 diferentes niveles ó subsistemas que son :

1. Planeación y Control de Inventarios.
2. La Planeación de Prioridades.
3. La Planeación de las Alimentaciones del Sistema de Planeación de Requerimientos de Capacidad de Planta.

Dependiendo del usuario, su caso particular, a los 3 diferentes niveles se les pueden agregar otras funciones principales. Recordemos que lo que representa el MRP es un "sistema de información" para la toma de decisiones y que por lo tanto es posible operarlo con el número de funciones derivadas que en lo particular dependiendo de la aplicación se requiera.

Antes de examinar en detalle los niveles aquí enumerados, regresemos a la Figura No.9 del Capítulo No. III, de la presente tesis, para analizar las salidas del MRP ahí señaladas.

A. Empleo de las Salidas del MRP.

Utilizaremos el mismo orden señalado en la figura para evitar confusiones.

Salidas

1. De orden de acción de inventarios.
2. De planeación y replaneación de ordenes prioritarias.
3. De ayuda para salvaguardar la integridad prioritaria.
4. Alimentación al sistema de planeación de capacidad de planta.
5. Control de actuación.
6. Reportes de excepción.

A continuación se verá brevemente el significado y en consecuencia su utilidad de cada una de las salidas aquí enumeradas.

1. Ordenes de Acción de Inventarios.

Se explica por sí misma, la información que en esta salida se genera de origen a: adelantos, aumentos, rechazos, cancelaciones, cambios, etc., en las ordenes de cantidades de inventario.

2. De Planeación y Replaneación de Ordenes Prioritarias.

Esta salida opera como una señal de alerta a los responsables de la planeación de inventarios, señalándoles los casos en que existen divergencias entre: las fech

de requerimientos planeados, las fechas actuales de necesidad así como la planeación y manejo de la programación de tiempo de los requerimientos.

Lo anterior significa que cambios en la reprogramación debemos hacer y en qué dirección, ya sea adelantando ó retrasando.

3. De ayuda para Salvaguardar la integridad prioritaria.
El objetivo de esta salida es el de dar fe de la honestidad de la información que se genera en todo el sistema, es decir, se verifica la confiabilidad de: datos, cálculos y resultados, logrando que todo aquel que recibe información tenga una certeza de confiabilidad en la misma del 100%.

4. Alimentación al Sistema de Planeación de Capacidad de Planta.
Está basada esta salida en las órdenes al taller ó sea ordenes de producción donde se fijan : cantidades y fechas a programaciones específicas y las ordenes abiertas contínuas de aquellos artículos que así lo requieren.
Lo anterior sirve para efectuar la "carga de máquinas de la planta".

5. Control de Actuación:
Las salidas de información de producto por producto en

todos los niveles permiten a: compradores, controladores de inventarios, costos de manufactura, vendedores, así como a la administración establecer comparaciones entre plan vs real a todos los niveles, es decir verificar el grado de confiabilidad de nuestra planeación y nuestro desempeño comparado con ella.

Asimismo, permite obtener el pronóstico de valor de inventarios, cuando el costo estandar está incorporado a los datos de inventario. Utilizando los archivos de la estructura del producto, podemos también obtener el costo real vs el planeado de cada producto final y sus componentes a cualquier nivel.

5. Reportes de Excepción.
Esta salida sirve para obtener información de todo aquello que se salga de los parámetros planeados con sus tolerancias.
Ordenes de taller que se infla, proveedores que se adelantan, rechazos sobre lo planeado, información mal proporcionada, números de parte no existentes, operaciones de planta efectuadas y no programadas, etc.
En resumen todo aquello que sea excepcional en cualquier parte del Sistema.

B. El Subsistema de Planeación y Control de Inventarios.

El MRP no permite dar respuesta a las preguntas fundamentales de inventarios y que son :

Qué ordenar,

Cuánto ordenar,

Cuándo ordenar.

Cuál es el programa de entregas.

En el Capítulo III y IV se establecieron las bases para poder dar las respuestas en cuestión. Pero además, el sistema nos indicará ó dará información sobre otros artículos que también afectan los inventarios y que son :

Los artículos de nulo o poco movimiento, los artículos que debido a cambios en la estructura del producto y después del último lote de balanceo si es que éste puede llevarse a cabo, quedan en el almacén. Recordemos que el sistema es dinámico, que siempre ve el futuro y se adjusta por sí mismo y por lo tanto esto ocurre con los inventarios. Tomando en cuenta: lotes de producción, lotes de compra, lotes de seguridad, tiempos de entrega, tiempos internos de manufactura, etc.

C. El Subsistema de Planeación de Prioridades.

La clave del control de la producción es el establecimiento de prioridades de producción y el control de las mismas. Lo anterior significa que todas las ordenes del taller hay que clasificarlas por prioridades, a su vez para poder terminar una orden prioritaria

es necesario a su vez priorizar operaciones específicas de manufactura, por lo que debemos en consecuencia dos niveles :

- Ordenes de Producción Prioritarias.
- Ordenes de Operación de Manufactura Prioritarias.

Podemos decir que a nivel de carga de máquinas, asignación de mano de obra, seguimiento en planta se opera a nivel de operaciones, de tal manera que todo converja al ensamble final para hacer posible las ordenes prioritarias de producción.

Lo anterior nos lleva a otro subsistema éste a su vez subordinado al que se está tratando y es el de :

Validación e Integración de Prioridades.

Tal como se había expuesto con anterioridad, hay ordenes de producción específicas y ordenes de producción contínuas ó abiertas. En el caso de las segundas, el MRP verifica que exista la adecuada liga entre la planeación de requerimientos y las ordenes de producción abiertas.

El MRP opera en este caso con el sistema de lanzamiento y de "seguimiento" de ordenes empujando el inicio de proceso y jalando aquellas ordenes que están retrasadas.

Para lograr lo anterior, se manejan dos tipos de fechas y que son respectivamente :

a. La fecha programada ó planeada.

b. La fecha de necesidad.

La fecha "a" es aquella que se encuentra asociada con la orden original y la fecha señalada en "b", es la que en el momento actual se necesita. Es decir, se mide el grado de avance de las ordenes vs la planeación. Como es lógico, en un momento dado al inicio del proceso, ambas fechas son coincidentes; pero a medida de que el tiempo pasa debido a las tolerancias naturales del proceso y a los imprevistos, puede existir divergencias en las fechas.

Lo anterior significa que es posible que una orden se adelante o se atrase, en ambas casos puede o debe existir una replaneación de ordenes y en consecuencia de prioridades, ya sea aumentando el seguimiento en planta o retardándolo.

El MRP valida la divergencia entre ambas fechas, buscando que sean mínimas, es decir, debemos a medida que pase el tiempo lograr dentro de tolerancias preestablecidas y aceptables, igualar las fechas de planeación con las reales.

Que el sistema sea creíble es básico para su aceptación. De lo contrario la gente tiende a regresar a seudosistemas de seguimiento en planta. (Ver Capítulo II de la Tesis.)

Existe otro elemento o subsistema derivado adicional al de validación e integridad de prioridades que se acaba de describir.

- Prioridad Dependiente.

Como se vió en el Capítulo III de la tesis, existe un concepto básico del MRP denominado Demanda Dependiente e Independiente. Cuando se habló de la Demanda Dependiente se indicó que un producto podía estar integrado de 3 formas: la 1ra. de integración o dependencia vertical (relación pariente-componente); la 2a. de una dependencia horizontal y la 3a. de una combinación de ambas.

En la Figura No. 27 volvemos a analizar nuestra caja de transmisión simplificada. Ahí podemos observar que existen 3 componentes del artículo final ensamblado denominado B. También podemos observar que la fecha programada es cuando independientemente de los tiempos de demora individuales, todos los componentes deben estar listos para el ensamble. Ahora bien, supongamos que el engrane C es rechazado por control de calidad durante el proceso, y hay que reprocesarlo desde el principio. Lo anterior significa que habrá que reestablecer un balance en los programas del resto de componentes ya que ahorro de tiempo de demora del nuevo lote de engranes depende la fecha de entrega de la caja de transmisión.

En otras palabras, la producción de los componentes restante dependerá ahorro de nueva prioridad, lo mismo que la del artículo terminado.

En casos como el anterior, los responsables de la planeación de inventarios deberán necesariamente conocer:

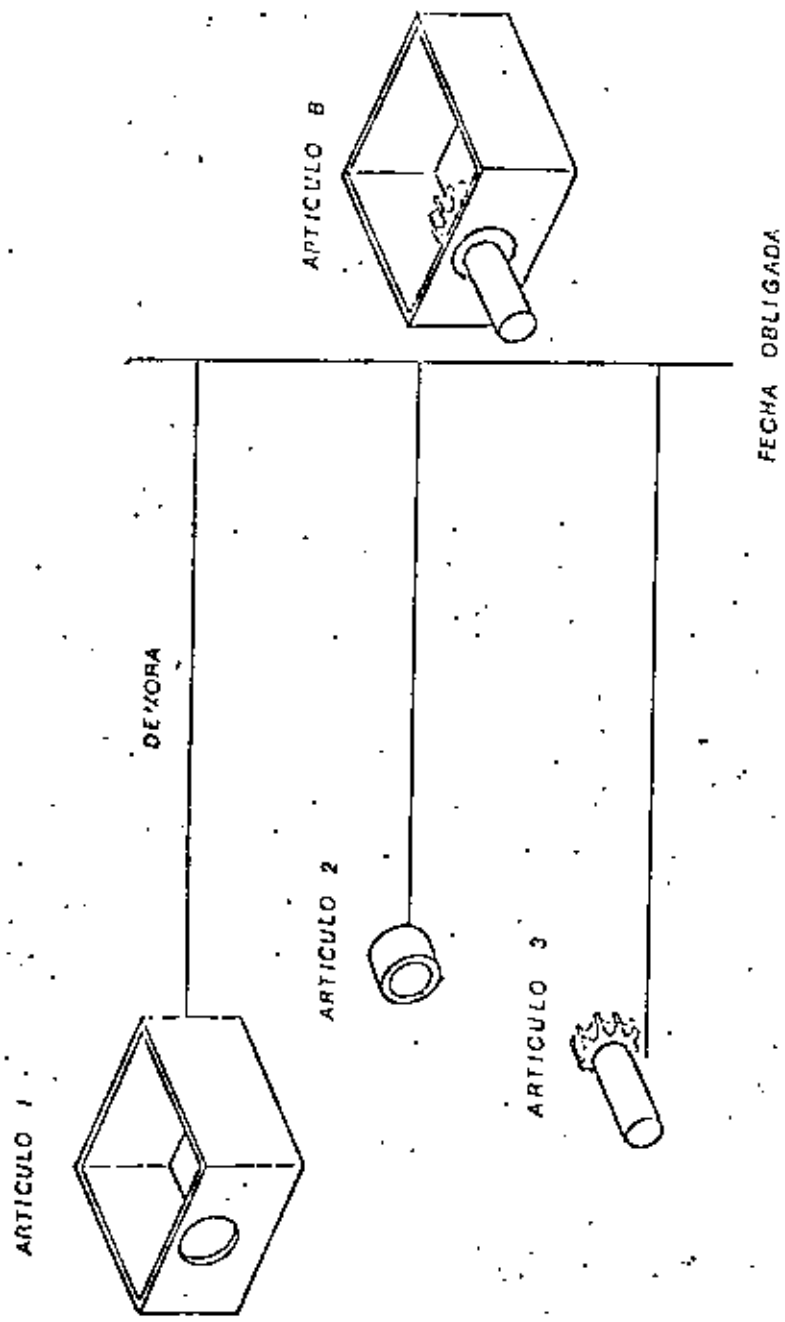


FIGURA No. 27

- Cuál es el artículo pariente.
- Cuántas ordenes de componentes son afectadas.
- La identidad de las ordenes afectadas.
- Exactamente cuáles de las ordenes en cuestión deberán ser reprogramadas.

El problema del rechazo del engrane, puede ser complicado cuando este a su vez requiera de componentes que requieran ser reprogramados.

Todo lo anterior realza la capacidad de manejo de información del Sistema MRP por la complejidad de entradas y salidas que maneja, que le permite adecuarse automáticamente a una reprogramación de requerimientos y producción. Algo que un sistema más simple en general, no prevee.

Dependiendo del tipo de fabricación, el problema de Prioridad Dependiente puede ser agravada ó no.

De acuerdo al autor, Oliver Wight, de acuerdo al tipo de integración, hay cuatro clases de fábricas y que son :

a. Compañías que producen productos de una sola pieza a la orden.

b. Compañías que producen productos de una sola pieza para almacenar.

c. Compañías que producen productos ensamblados a la orden.

d. Compañías que producen productos ensamblados para almacenar.

En el primer caso, no hay ninguna complejidad, el ejemplo tipo sería la fundición a la orden de repuestos (ejemplo: un rotor, una carcaza) La fecha de programación, una vez confirmada al cliente, es fija.

El segundo es algo más complejo, el ejemplo sería la fabricación de herramientas de mano (españolas, estrías, mixtas.). En este caso se alimenta un almacén el cual en cada artículo determinado es agotado paulatinamente por los clientes. En este caso la dependencia es vertical 100%.

El tercer tipo es mucho más complejo y se trata por ejemplo, de la fabricación de grúas viajeras a la orden; en donde para completar un producto se requiere integrar horizontalmente un gran número de componentes que no se fabrican en la planta y varían en cada caso, ejemplo : motores, controles, accesorios especiales, etc. En este caso la dependencia es horizontal.

El cuarto tipo es cuando combinamos dependencias verticales y horizontales en productos complejos en donde la fabricación propia es reducida en relación a los varios niveles de complejidad y al mismo tiempo es necesario comprar accesorios. Este caso es la fabricación de implementos agrícolas tales como : arados, rastras, sembradoras, etc. Que es el caso que analizaremos como aplicación práctica. En este caso dependeremos de la obtención a tiempo de los accesorios para el ensamble final (ejemplo: discos para arado o rastra), y de la integra-

ción vertical en planta, lo cual hace al sistema volverse complejo.

Un último aspecto a detallar en el subsistema que hemos tratado en esta sección, es el denominado :

- Control de Prioridades.

Dado que el MRP es antes que nada un sistema de planeación de prioridades, debemos hacer un análisis un poco más detenido.

La clave para el control en planta son las órdenes por máquina o cargos por máquina y el control diario de avance de las órdenes tal como se muestra en la Figura No.

Esta hoja es un resumen de las tarjetas individuales como las mostradas en la Figura No. . La forma particular de remitir la información dependerá de cada planta, sin embargo lo importante es obtener los siguientes datos :

a. Ordenes en proceso.
b. Cantidades procesadas.
c. Tiempo real vs tiempo estandar.
d. Tiempos perdidos.
e. Causas de tiempos perdidos.
f. Ordenes en espera.
g. Ordenes terminadas.

El análisis por departamento en función de prioridades, secuencia de

manufactura nos dará los elementos de reprogramación cuando estos se requieran.

Subsistema de Planeación de Capacidad.

Dado que el MRP nos da con toda precisión los productos a fabricar en tiempo, mezcla, volumen, así como los materiales necesarios, ahora lo importante es poder saber si la capacidad instalada en la planta es la adecuada.

Los requerimientos del programa maestro transformado en carga de máquinas por departamento, grupo de máquinas y/o máquina, se pueden resolver de la siguiente manera :

1. Trabajando un 1er. turno.
2. Trabajando el 1er. turno más tiempo extra.
3. Implantando un 2o. turno.
4. Trabajando el 1o. y 2o. turnos más tiempo extra.
5. Operando 2 turnos más tiempo extra.
6. Trabajar los 3 turnos.
7. Trabajar los 3 turnos más tiempo extra.
8. Dar componentes a maquilar en cualquiera de las etapas anteriores.
9. Reubicar trabajadores de un departamento a otro.
10. Cancelar turnos.
11. Cancelar maquilas.

12. Usar turnos adicionales por breves períodos.
13. Reducir la planta de obreros.

Como podemos observar las alteraciones son múltiples y su empleo dependerá en cada caso de la facilidad, implementación, y desde luego el costo envuelto en la alternativa seleccionada.

Para determinar la carga de máquinas es necesario además del programa, tener determinando los tiempos estándar en cada operación de cada componente, así como la secuencia de manufactura, en qué máquina y con qué herramientas y herramentales se debe procesar.

La capacidad de planta es constante en cada turno, así que dependiendo de los requerimientos así se pueden presentar varios casos, tal como se ejemplificará a continuación.

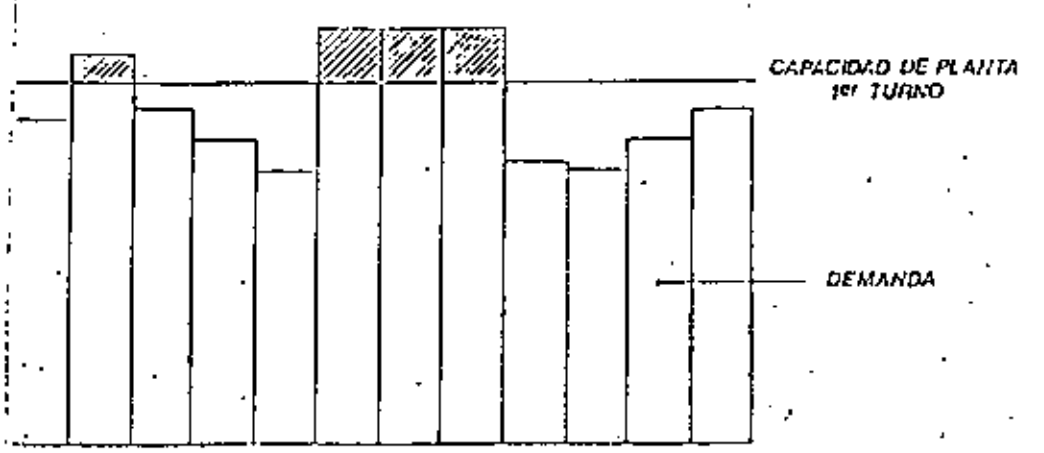


FIGURA No. 28

En el caso anterior se toma la falta de capacidad de dos o se difiere los períodos de sobredemanda a los de baja demanda ó se paga tiempo extra en los picos.

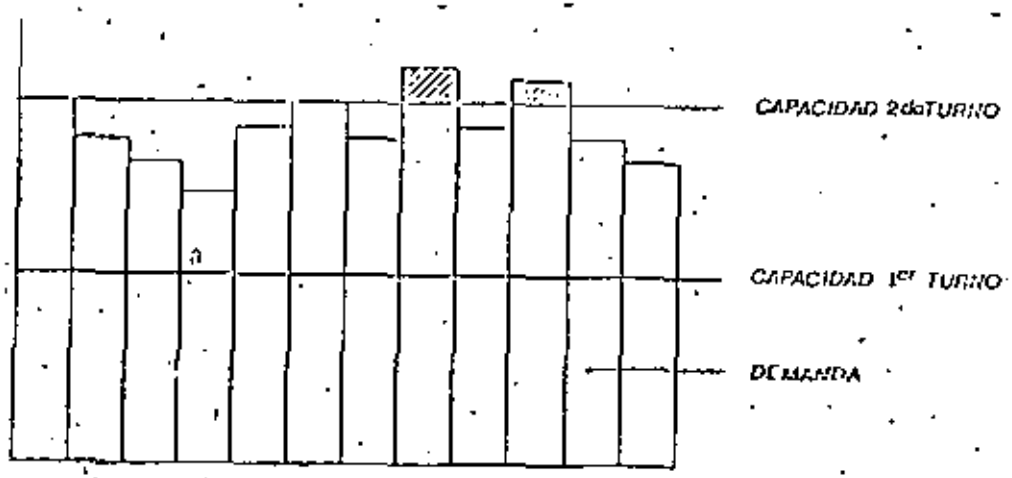


FIGURA No. 29

En el caso anterior es necesario implantar un 2o turno, ya que la demanda es constante sobre la capacidad del 1er. turno y el tiempo extra no se nos pagaría.

Lo importante es lograr los siguientes parámetros :

a. Por centro de carga la demanda de componentes.
b. Llenar al máximo posible, balanceando la planta.
c. Establecer un flujo de producción.
d. Establecer el comparativo plan vs real para reprogramar.
e. Poder tiempo para poder determinar las futuras necesidades de producción.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

BALANCEO DE LINEAS

DR. ROBERTO HOLANDA

JUNIO 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

El programa de producción que resultaría con la aplicación del PLAN 3, es el siguiente:

	Prod. req.	Inv. res.	Días	Prod. normal Tasa	Prod. normal Total	Prod. extra Tasa	Prod. extra Total	Prod. sub. Tasa	Prod. sub. Total	Total
Diciembre	---	300	--	--	---	-	---	-	---	---
Enero	700	590	22	30	660	6	132	9	198	990
Febrero	900	500	18	30	540	6	108	9	162	810
Marzo	1100	390	22	30	660	6	132	9	198	990
Abril	900	435	21	30	630	5	176	9	189	945
Mayo	650	431	22	28	616	-	---	-	---	616
Junio	600	389	21	28	588	-	---	-	---	588
Julio	550	477	21	28	588	-	---	-	---	588
Agosto	400	391	13	28	364	-	---	-	---	364
Septiembre	400	311	20	16	320	-	---	-	---	320
Octubre	300	379	23	16	368	-	---	-	---	368
Noviembre	300	415	21	16	336	-	---	-	---	336
Diciembre	400	335	20	16	320	-	---	-	---	320
TOTAL	7200	--	244	--	5990	-	498	-	747	7235

Y los costos resultantes serán:

a) Costo debido a cambios en la tasa de producción:

Primer cambio:

Producción entre "G" y "H" (normal) = 30 unid./día

Producción entre "H" y "C" = 28 unid./día

Diferencia = 2 unidades

Costo = 2 x $ 2,000

Costo = $ 4,000.00

Segundo cambio:

Producción entre "H" y "C" = 28 unid./día

Producción entre "C" y "D" = 16 unid./día

Diferencia = 12 unidades

Costo = 12 x $ 2,000

Costo = $ 24,000.00

Costo total de los cambios:

Costo total = $ 24,000 + $ 4,000

Costo total = $ 28,000.00

b) Costo del inventario:

Inventario medio = 413

Costo = 413 x $ 240

Costo = $ 99,120.00

c) Costo del tiempo extra:

Unidades producidas con tiempo extra: 498

Costo 498 x $ 20

Costo $ 9,960.00

d) Costo de la subcontratación:

Unidades producidas a través de subcontratación: 747

Costo = 747 x $ 25

Costo = $ 18,675.00

11. COMPARACION ENTRE LOS 3 PLANES

Finalmente, presentamos un resumen de los costos resultantes de cada una de las soluciones alternativas estudiadas. Para que sea posible una comparación entre los costos adicionales debido a cada PLAN, será necesario restar de los costos del inventario obtenidos, los costos correspondientes a los inventarios mínimos:

Promedio de los inventarios mínimos: 276

Costo de los inventarios mínimos: 276 x $ 240 = $ 66,240

Costos adicionales correspondientes a los 3 planes:

PLAN 1: $ 183,120 - 66,240 = $ 116,880

PLAN 2: $ 109,920 - 66,240 = $ 43,680

PLAN 3: $ 99,120 - 66,240 = $ 32,880

COSTOS	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3
Inventarios	116,880	43,680	32,880
Cambios T.P.	4,000	22,000	28,000
Tiempo extra	---	12,600	9,960
Subcontratación	---	23,000	18,675
TOTAL	120,880	101,280	89,515

Por lo tanto, la mejor solución es el PLAN 3 con un costo adicional total de $ 89,515.00.

VII - BALANCEO DE LINEAS

La situación más elemental de balanceamiento de línea, y sin embargo la que se encuentra por todas partes, es donde varios operarios, cada uno llevando a cabo operaciones consecutivas, trabajan como una sola unidad. En tal situación, es obvio que la tasa de producción a través de la línea depende del operador más lento. Por ejemplo, tenemos una línea de cinco operadores ensamblando mantaduras de caucho, antes del proceso de curación. Las asignaciones específicas de trabajo podrían ser del modo siguiente: Operador 1: 0.52 minutos; Operador 2: 0.48 minutos; Operador 3: 0.65 minutos; Operador 4: 0.41 minutos; Operador 5: 0.55 minutos. El Operador número 3 establece el ritmo como se muestra a continuación:

Operario	Minutos Estándar para ejecutar la operación (M.E.)	Tiempo de espera basado en el operario más lento	Minutos Asignados (M.A.)
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	--	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65
	2.61		3.25

La eficiencia de esta línea puede calcularse como la relación entre el total de minutos estándares y el total de minutos asignados, o sea:

$$E = \frac{\sum_{1}^{5} M.E.}{\sum_{1}^{5} M.A.} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

en donde:

E = Eficiencia

M.E. = Minutos estándar por operación

M.A. = Minutos asignados por operación

Es evidente que una situación parecida, en la vida real, proporcionaría ahorros muy significativos, ya que si pudiéramos ahorrar 0.10 minutos en el caso del operador 3, los ahorros netos por ciclo no serían 0.10 minutos, sino 0.10 x 5, o sea, 0.50 minutos.

También es importante señalar que sólo en circunstancias excepcionales puede una línea estar perfectamente balanceada, esto es, cuando los minutos estándar para ejecutar las operaciones fueran idénticos para todos los operadores.

El total de minutos asignados para producir una unidad será igual a la suma de los minutos estándar requeridos por el recíproco de la eficiencia, es decir:

$$\sum M.A. = \sum M.E. \times 1/E$$

Es pues evidente que el número de operarios requeridos es igual a la tasa requerida de producción, por el total de minutos asignados:

$$N = P \times \sum M.A.$$

donde:

N = Número de hombres requeridos en la línea

P = Tasa de producción deseada (en unidades por minuto)

Por ejemplo, supongamos que tenemos un nuevo diseño para el que debemos establecer una línea de ensamble. Hay ocho distintas operaciones que ejecutar y la línea tiene que producir 700 unidades por día. Las ocho operaciones involucran los siguientes minutos estándares, basados en datos estándares ya existentes: Operación 1: 1.25 minutos; Operación 2: 1.38 minutos; Operación 3: 2.58 minutos; Operación 4: 3.84 minutos; Operación 5: 1.27 minutos; Operación 6: 1.29 minutos; Operación 7: 2.48 minutos; Operación 8: 1.28 minutos. El analista desea planear esta línea de ensamble del modo más económico.

El primer paso consistirá en encontrar el número de operarios necesario para cada una de las operaciones.

Puesto que se requieren 700 unidades por día, será necesario producir cada unidad en 0.685 minutos (480/700). Podemos encontrar cuántos operarios se necesitarán para cada operación, dividiendo los minutos estándares de cada operación entre el número de minutos que se necesitan para producir una unidad. Por ejemplo, el número de operarios para la Operación 1 es: 1.25 ÷ 0.685 = 1.82 = 2. Para las demás operaciones, tenemos:

Operación	Minutos Estándar	Minutos estándar entre minutos por unidad	No. de Operarios
1	1.25	1.82	2
2	1.38	2.01	2
3	2.58	3.77	4
4	3.84	5.62	6
5	1.27	1.86	2
6	1.29	1.89	2
7	2.48	3.62	4
8	1.28	1.87	2
Total	15.37		24

Para determinar cuál operación es la más lenta, dividimos los minutos estándares para cada una de las operaciones, entre el número correspondiente

pendiente de operarios:

Operación	Minutos estándar entre No. de operarios		Operación	Minutos estándar entre No. de operarios	
1	1.25/2	0.625	5	1.27/2	0.635
2	1.38/2	0.690	6	1.29/2	0.645
3	2.58/4	0.645	7	2.48/4	0.620
4	3.84/6	0.640	8	1.29/2	0.645

La Operación 2 determinará la producción de la línea que, en este caso, será:

$$\frac{2 \text{ hombres} \times 60 \text{ min.}}{1.38 \text{ minutos estan.}} = 87 \text{ piezas por hora o } 696/\text{día.}$$

La eficiencia de esta línea podrá así calculada de la siguiente manera:

Hemos visto que $N = P \times \sum M.A. = P \times \sum M.E./E$. Despejando la eficiencia, tenemos:

$$E = P \times \sum M.E./N$$

Sustituyendo, tenemos:

$$E = \frac{696}{480} \cdot 15.37 / 24 = 0.9286$$

$$E = 92.9\%$$

Finalmente, vale la pena resaltar que si la tasa de producción de la línea, es decir 696 piezas por día, resultara inadecuada, tendríamos que aumentar la tasa de producción de la Operación 2 , lo que puede lograrse así:

1. Haciendo que uno o los dos operarios trabajen tiempo extra para acumular piezas en la estación de trabajo.

2. Utilizando los servicios de un tercer hombre (a tiempo parcial), en la estación de trabajo de la Operación 2.

3. Asignando algo del trabajo de la Operación 2 a la Operación 1, o a la Operación 3. Será preferible asignárselo a la Operación 1.

4. Mejorando el método de la Operación 2, para disminuir el ciclo de la operación.

Balanceo de líneas: el método de Kilbridge y Wester (*)

El procedimiento del método de Kilbridge y Wester se puede describir mejor mediante un ejemplo como el que define el diagrama de precedencia de la Figura 7.1., que resume los requerimientos tecnológicos de la secuencia. Los números dentro de los círculos representan las operaciones y los números pequeños que se van fuera de los círculos, los tiempos de las operaciones en centésimas de minuto.

En la columna I del diagrama anotemos todas las operaciones de trabajo que no necesiten seguir a otras operaciones. Las operaciones que siguen inmediatamente se anotan en las columnas II, III, etc, observando las relaciones de precedencia. Adviértase que todas las operaciones se encuentran situadas hacia la izquierda, tan lejos como lo permiten las restricciones de secuencia. La suma de todos los tiempos de las operaciones es 552, y teóricamente se puede obtener un balance perfecto con un tiempo de ciclo de c = 552/3 = 184, o sea 3 estaciones. Describiremos el procedimiento suponiendo que el objetivo es balancear la línea perfectamente con tres estaciones y un tiempo de ciclo de 184.

En el Cuadro 7.1, hemos resumido la figura 7.1. en una forma tabular más útil. La información nueva más importante del Cuadro 5.1. se encuentra en la columna (C), que resume la flexibilidad de asignación de las operaciones a las columnas del diagrama de precedencia. Por ejemplo, para el caso de la operación 39, la observación II, ..., XI significa que ésta podría moverse a la derecha, a cualquiera de las columnas del diagrama de precedencia hasta la columna XI, sin cambiar la precedencia básica de las relaciones. Esta flexibilidad para mover las operaciones horizontalmente será útil en el procedimiento que sigue. Advertimos que algunas tareas aparecen en la columna (B) del Cuadro 5.1. con alguna notación. Por ejemplo, la operación No. 3 aparece con la notación (w. 5, 9). Con esto se quiere decir que la operación en cuestión puede moverse horizontalmente por el diagrama de precedencia, sólo si las tareas asociadas se mueven delante de ella. Por lo tanto, la operación 3 se puede mover a la derecha solamente si las tareas 5 y 9 se mueven delante de ella.

Otros datos importantes del Cuadro 7.1. son las duraciones de las operaciones por columnas del diagrama de precedencia original que aparecen en la columna (E) y las sumas de tiempos acumulados que aparecen en la columna (F). Dada toda esta información, procedemos como sigue:

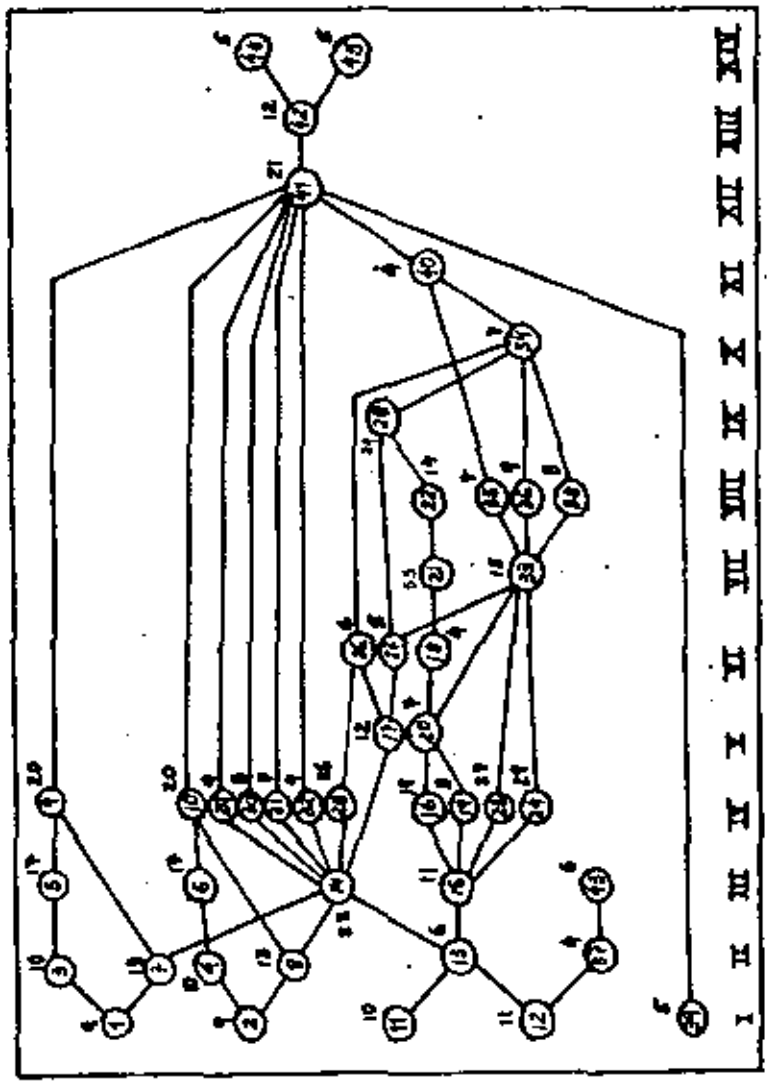
Paso 1. Dado que c = 184, examinemos la columna (F) del Cuadro 7.1. para encontrar la suma acumulada que más se aproxime a 184. La suma acumulada de la columna III, de 173, se aproxima. Los tiempos de las operaciones de las columnas I, II y III no satisfacen las necesidades de la estación 1 por sólo 184 - 173 = 11 unidades de tiempo.

Paso 2. Examinemos los tiempos de las operaciones de la columna IV . ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones que sume exactamente 11? Sí, las operaciones 31 y 32 tienen tiempos de 7 y 4, respectivamente.

Paso 3. Movemos las operaciones 31 y 32 a la parte superior de la lista de operaciones de la columna IV, asignándolas así a la estación 1.

(*) Tomado de Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, vol. 12, No. 4, 1961.

FIGURA 7.1.
Diagrama de precedencia para las operaciones. Tomado de Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, Vol. 12, No. 4, 1961.



Ahora todas las operaciones de las columnas I, II y III, más las operaciones 31 y 32 de la columna IV, están asignadas a la estación 1. El estado de la solución aparece en el Cuadro 7.2.

Paso 4. Examinemos la columna (F) del Cuadro 7.2. para encontrar la suma acumulada que más se aproxima a 2 x 184 = 368. La suma acumulada de la columna VI es 371.

Paso 5. Examinemos la lista de operaciones no asignadas (columnas V y VI y parte de la columna IV) que se pueden mover horizontalmente hasta la columna VI o a cualquier otra más allá de ésta (consideremos además todas las operaciones de la columna VI). Son las operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 23, 24, 26, 18 y 27.

Paso 6. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones mencionadas que totalice 371 - 368 = 3? No.

Paso 7. Aumentamos el número de la columna del paso 4 y repetimos el procedimiento. La suma acumulada de la columna VII es 441.

Paso 8. Examinemos la lista de operaciones no asignadas (columnas V, VI y VII y parte de la columna IV) que se pueden mover horizontalmente hasta la columna VII o a cualquier otra más allá de ésta (incluyendo todas las operaciones de la columna VII). Son las operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w.26), 26, 33 (w.35, 36, 38) y 21.

Paso 9. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones movibles que totalice 441 - 368 = 73? No.

Paso 10. Aumentamos el número de columna del paso 7 y repetimos el procedimiento. La suma acumulada de la columna VIII es 474.

Paso 11. Examinemos la lista de las operaciones no asignadas (columnas V, VI, VII y VIII y parte de la columna IV) que se pueden mover horizontalmente hasta la columna VIII o a cualquier otra más allá de ésta (incluyendo todas las operaciones de la columna VIII). Son las operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 26, 33 (w. 35, 36, 38), 35, 36, 38 y 22.

Paso 12. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones movibles que totalice 474 - 368 = 106; o a la inversa, dado que el tiempo total de las operaciones del conjunto movible suma 129, ¿ hay alguna combinación en el conjunto movible que totalice 129 - 106 = = 23 y que pueda ser conservada en la estación 2? Si la hay: los tiempos de las operaciones 22, 29 y 30 son 14 + 4 + 5 = 23 y el resto de las operaciones movibles tiene un tiempo total de 106.

Paso 13. Movemos las operaciones 9, 10, 25 (w.26) y 33 (w. 35, 36, 38) más allá de la columna VIII. La estación 2 se compone ahora de las operaciones de las columnas IV (sin incluir 31 y 32), V, VI, VII y de la operación 22 de la columna VIII.

Paso 14. La estación 3 se compondrá de las operaciones restantes no asignadas cuyos tiempos suman también 184. La asignación final aparece en el Cuadro 7.3 y en el diagrama de precedencia de la Figura 7.2.

El procedimiento de 14 pasos que acabamos de describir no es general, sino específico de la explicación de este ejemplo. Kilbridge y Wester ofrecen las siguientes generalizaciones y sugestiones como auxiliares en la aplicación de su método heurístico:

CUADRO 7.1.
Representación tabular del diagrama de precedencia de la Figura 5.1.

(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39	II, ..., XI	5	44	44
	3(w. 5,9)	III, ..., IX	10		
	7		13		
II	4(w.6.10)	III, ..., IX	10		
	8		13		
	13		6		
	37(w. 43)	III, ..., XIII	4	56	100
	5(w. 9)	IV, ..., X	17		
	6(w. 10)	IV, ..., X	17		
III	14		22		
	15		11		
	43	IV, ..., XIV	6	73	173
	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	31	V, ..., XI	7		
	32	V, ..., XI	4		
IV	25(w. 26)	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	164	337
V	17		12		
	20		7	19	356
	26	VII, ..., IX	6		
VI	27		5		
	18		4	15	371
	21		55		
VII	33(w.35,36,38)	VIII	15	70	441
	22		14		
	35	IX, X	7		
VIII	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7	7	505
XI	40		4	4	509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

Fuente: Kilbridge y Wester, "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Industrial Engineering, Vol. 12, No. 4, 1961.

CUADRO 7.2.
Cuadro .1. modificado tras de la asignación de operaciones a la estación 1, únicamente.

(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39		5		
	3		10		
	7		13		
II	4		10		
	8	ESTACION 1.	13		
	13		6		
	37		4		
	5		17		
	6		17		
III	14		22		
	15		11		
	43		6		
	31		7		
IV	32		4	184	184
	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	25(w. 26)	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	153	337
V	17		12		
	20		7	19	356
	26	VII, ..., IX	6		
VI	27		5		
	18		4	15	371
	21		55		
VII	33(w.35,36,38)	VIII	15	70	441
	22		14		
	35	IX, X	7		
VIII	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7	7	505
XI	40		4	4	509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

CUADRO 7.3.
Cuadro .2. modificado tras la asignación de las operaciones a las tres estaciones.

(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39		5		
	3		10		
	7		13		
II	4		10		
	8		13		
	13	ESTACION 1	6		
	37		4		
	5		17		
	6		17		
III	14		22		
	15		11		
	41		6		
IV	31		7		
	32		4	184	184
	29		4		
	30		5		
	16		19		
	19		3		
	23	ESTACION 2	27		
	24		29		
V	17		12		
	20		7		
VI	27		5		
	18		4		
VII	21		35		
VIII	22		14	184	368
	9		20		
	10		20		
	25		26		
	33		15		
	28		24		
	26		6		
IX	35		7		
	36	ESTACION 3	9		
	38		3		
X	34		7		
XI	40		4		
XII	43		21		
XIII	42		12		
XIV	44		5		
	45		5	184	552

1. Se utiliza la permutabilidad entre columnas para facilitar la selección de operaciones de la duración deseada para un agrupamiento óptimo de las estaciones de trabajo. La movilidad lateral ayuda a colocar las operaciones en las estaciones de la línea de ensamble, para que puedan ser utilizadas donde sirvan mejor a la solución del agrupamiento.

2. Generalmente las soluciones no son únicas. Las operaciones asignadas a una estación se pueden permutar generalmente dentro de la columna. Esto da al supervisor de la línea cierta flexibilidad para alterar la secuencia de las operaciones, sin perturbar el balance óptimo.

3. Si es posible, hay que disponer primero de las operaciones de larga duración. Por lo tanto, si se puede escoger entre la asignación de una operación de duración 20, por ejemplo, y la asignación de dos operaciones de duración 10 cada una, asígnese primero la operación de mayor duración. Los elementos de menor duración se guardan para mayor facilidad de manipulación al final de la línea.

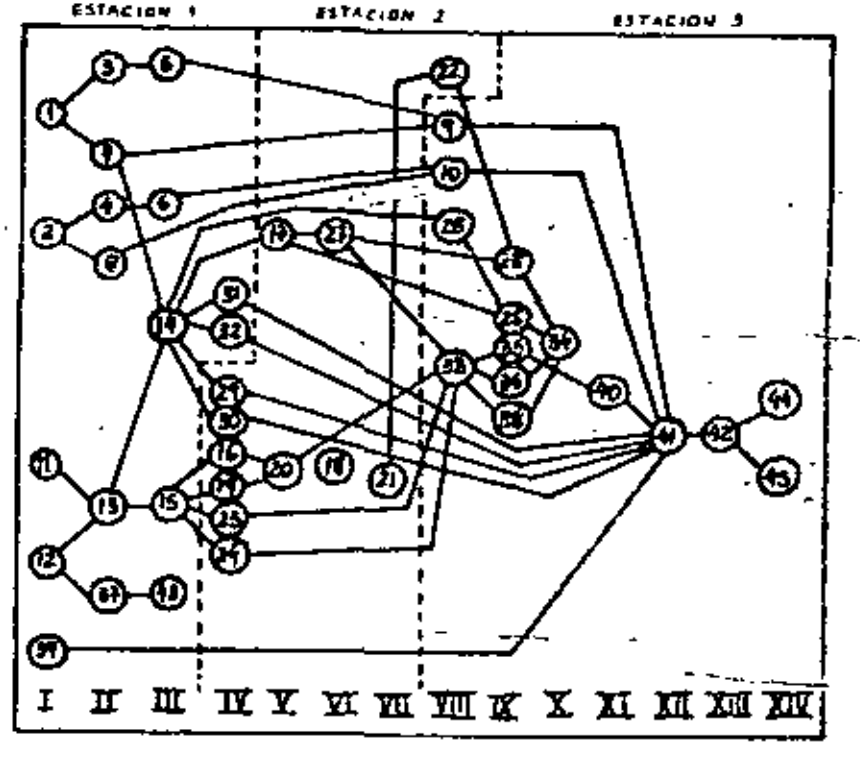


FIGURA 7.2.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PROGRAMACION DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

JUNIO, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. P ·al M-2285

VIII.-PROGRAMACION DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

INTRODUCCION

La programación de los sistemas productivos es un campo donde hay problemas intrigantes así como soluciones muy interesantes. El tema no ha recibido hasta hoy la atención que merece y el material que ha sido publicado es generalmente parte de trabajos que se dedican principalmente a otros temas.

Los problemas de programación son en general extremadamente complejos, principalmente cuando se trata de un sistema intermitente. Sin embargo, ya han sido desarrolladas soluciones para algunos tipos de problemas. El objetivo principal de estos apuntes es analizar el problema de programación de la producción de una forma general y discutir más detalladamente aquellos problemas para los cuales ya hay una solución.

Los métodos a discutirse pueden ser aplicados a cualquier sistema productivo, continuo o intermitente, de bienes o de servicios. No analizaremos, por lo tanto, aquellas técnicas que solamente pueden ser aplicadas a un determinado tipo de sistema productivo, como son: Balanceo de Líneas (sólo aplicable a sistemas continuos) y Ruta Crítica (sólo aplicable a los grandes proyectos).

8.1. LOS PROBLEMAS DE SECUENCIACION

Los problemas de secuenciación son muy frecuentes y tenemos que resolverlos por ejemplo, cuando necesitamos fabricar varios productos en una máquina dada, meter varios programas en una computadora, o atender a varios clientes en un banco.

Es evidente que los problemas de secuenciación siempre son "resueltos", ya que las empresas fabrican sus productos, los programas de computadora son procesados, etc.. Sin embargo, las soluciones generalmente son obtenidas sin un riguroso estudio que garantice que éstas son realmente las más adecuadas.

Frecuentemente los productos o clientes son procesados en la medida que van llegando al sistema y esta "regla de secuenciación" se llama FIFO (first in, first out). Esta regla es aplicable, por ejemplo, para resolver el problema de un banco o de un supermercado, sin embargo, no hay ninguna razón para que creamos que también debe ser aplicada a otros problemas, como por ejemplo la fabricación de un determinado número de productos en una planta manufacturera.

Como se verá a continuación, secuencias diferentes generalmente conducen a resultados radicalmente diferentes y consecuentemente, para la determinación de la secuencia ideal de procesamiento, deben definirse precisamente los re-

sultados requeridos.

Vale la pena resaltar que nunca podemos dejar de resolver el problema, ya que de una forma o de otra, tendremos que adoptar una secuencia dada. El problema es, por lo tanto, definir que resultados queremos lograr y que secuencia permitirá la realización de éstos.

8.1.1 Problemas de secuenciación Pura

Inicialmente vale la pena señalar que generalmente se consideran secuenciación y programación como dos problemas diferentes: el primero consta de la determinación de la mejor secuencia para el procesamiento de "n" operaciones en una máquina; y el segundo consta de la determinación simultánea de la secuencia ideal de procesamiento de "n" operaciones en "m" máquinas.
En éstos apuntes no hacemos esta distinción y utilizaremos los términos secuenciación y programación como sinónimos.
En varias situaciones un cambio de secuencia puede afectar no solamente los productos o clientes a procesar, sino también las condiciones en las cuales este procesamiento se llevará a cabo. Por ejemplo, si no utilizamos la regla FIFO en un banco, podemos perder varios clientes y por lo tanto, la decisión de utilizar una regla diferente, conducirá no solamente a una secuencia de procesamiento diferente, sino también a un número más reducido de clientes. En otras situaciones, hasta las condiciones del sistema podrán cambiar.

Si nosotros suponemos que el trabajo y las condiciones en que se realizará éste, no dependen de la secuencia adoptada, entonces decimos que el problema es de secuenciación pura. Por ejemplo, si tenemos "n" operaciones OP_1, OP_2 ... OP_n cuyos tiempos de realización son T_1, T_2 ... T_n respectivamente, y si sabemos que las operaciones propiamente dichas y sus respectivos tiempos serán exactamente los mismos para cualquier secuencia adoptada y que las máquinas estarán siempre disponibles, entonces el problema a resolver es de secuenciación pura. El ejemplo clásico de programación donde los tiempos de preparación de las máquinas dependen de la secuencia de procesamiento utilizada, no es evidentemente un problema de secuenciación pura.

8.1.2 Definición del problema de programación

En los problemas de programación sólo nos preocupamos con lo que podemos hacer con las operaciones y no con lo que son realmente estas operaciones. La definición precisa del problema requiere el conocimiento de los valores de las siguiente variables:

a) Número de máquinas de la planta ("m")

b) Número de productos cuya fabricación tenemos que programar ("n") (*).

(*) Como veremos más adelante este dato solamente tiene sentido cuando se trata de un problema estático.

c) Número de operaciones de cada producto ("K")

d) El tiempo para la realización de las operaciones de cada producto, es decir, el tiempo de procesamiento de cada operación ("T_p").

e) El tiempo en el cual cada uno de los productos está listo para ser procesado, es decir, el tiempo en el cual el producto llega al sistema ("T_1").

f) El tiempo en el cual la fabricación del producto tendrá que ser terminado, es decir, el tiempo de entrega ("T_e").

g) El tiempo de preparación de las máquinas para la realización de cada operación. En estos apuntes supondremos que el tiempo de preparación no depende de la secuencia y que "T_p" ya incluye dicho tiempo.

<u>Ejemplo:</u> Supongamos que para el producto "i" las variables descritas anteriormente presentan los siguientes valores:

$T_{1i} = 0$ días ; $T_{pi} = 5$ días ; $T_{ei} = 7$ días

Estos datos indican que en el instante $T_{1i} = 0$ podemos empezar a procesar un producto cuyo tiempo de procesamiento total es 5 días y cuya plaza de entrega es 7 días. Si este producto tiene "Ki" operaciones, entonces podemos escribir:

$$T_{pi} = \sum_{j=1}^{Ki} T_{pij}$$

Debemos resaltar que si hay cualquier espera entre una operación y otra, el

producto no será terminado en T_{pi} unidades de tiempo. Si la espera total del producto "i" es "E_i", llamamos <u>tiempo de fabricación</u> a la suma:

$$T_{fi} = T_{pi} + E_i$$

Además de los valores de las variables mencionadas, necesitaremos la siguiente información:

a) En que secuencia las operaciones de cada producto deberán realizarse.

b) La máquina en la cual cada operación deberá ser realizada.

c) El objetivo que se persigue.

Para la resolución de problemas de programación también es necesario establecer algunas restricciones en cuanto al funcionamiento del sistema productivo. En estos apuntes, las restricciones serán las siguientes:

a) Las máquinas estarán siempre disponibles.

b) Las operaciones no pueden ser divididas o combinadas con otras.

c) Cada operación sólo podrá ser realizada en una de las máquinas de la planta.

d) Una vez que se empiece la realización de una operación en una máquina dada, ésta tendrá que ser terminada antes del procesamiento, en esta misma máquina, de cualquier otra operación.

e) El tiempo de preparación de las máquinas no depende de la secuencia de fabricación y este tiempo ya estará incluído en el tiempo de procesamiento de cada operación (T_p).

8.1.3 Clasificación de los problemas de programación.

Si consideramos toda la información requerida para la definición de los problemas de programación, podemos clasificarlos inicialmente de la siguiente forma:

a) Problemas estáticos: son aquéllos en los cuales todos los productos están listos para ser procesados simultáneamente. En estos casos conoceremos el número "n" de productos a fabricar.

b) Problemas dinámicos: son aquéllos en los cuales hay un flujo continuo de productos, que llegan al sistema obedeciendo una determinada distribución probabilística.

Por otro lado, considerando la secuencia según la cual las máquinas son utilizadas para realizar las operaciones de cada producto, los sistemas productivos pueden clasificarse como sigue:

a) Sistema en secuencia fija: son aquéllos en los cuales los productos siguen siempre la misma secuencia, es decir, pasan por la máquina 1, después por la 2, etc., hasta que pasan por la máquina "m"

b) Sistemas de secuencia variable: son aquéllos en los cuales cada producto requiere una secuencia diferente, en lo que se refiere a la utilización de las máquinas. Por ejemplo, en una planta de 3 máquinas, un producto podrá requerir la secuencia Maq. 1 → Maq. 2 → Maq. 3 y otro producto la secuencia Maq 2 → Maq. 1 → Maq. 3.

Debido a las diferentes características que pueden presentar los problemas de programación, será conveniente utilizar una notación del tipo A/B/C/D, donde cada parámetro indicará lo siguiente:

A.- Indica si el problema es estático o dinámico; si el problema es dinámico, "A" representará la distribución probabilística de los tiempos de llegada. Si el problema es estático, "A" representará simplemente el número de productos a fabricar. Por ejemplo, si tenemos que programar la fabricación de "n" productos, entonces A = n .

B.- Indica el número de máquinas de la planta. Por lo tanto, si hay "m" máquinas, entonces B = m .

C.- Indica si el sistema productivo es de secuencia fija o variable. Si la secuencia es fija, C = F , si la secuencia es variable, entonces C = V.

D.- Indica el objetivo que se persigue. Por ejemplo, si el objetivo es minimizar el inventario medio en proceso, entonces $D = \bar{I}_p$.

Un ejemplo completo de esta notación sería $20/2/F/\bar{I}_p$ que significa lo siguiente: programar la fabricación de "20" productos, en una planta que posee "2" máquinas y presenta una secuencia fija de fabricación, de modo que se minimice el inventario en proceso medio.

8.1.4 Objetivos de los programas de producción.

En las secciones anteriores hemos visto que para definir un problema de programación necesitamos establecer el objetivo que se persigue. Este podrá ser cualquiera de los siguientes (o más de uno simultáneamente):

a) Minimizar el tiempo medio de fabricación,

b) Minimizar el inventario medio en proceso,

c) Minimizar el número medio de productos o clientes pendientes.

d) Satisfacer a un mayor número posible de clientes.

e) Satisfacer a los clientes que pagan mejor o compran mayor volumen.

f) Minimizar las pérdidas de materia prima.

g) Minimizar el tiempo de fabricación máximo, es decir el tiempo total para terminar la fabricación de un determinado número de productos.

h) Maximizar la utilización de la maquinaria y/o mano de obra,

i) Minimizar el retraso medio,

j) Minimizar el retraso máximo,

k) Etc., Etc.

Es importante observar la interdependencia o contradicción que existe entre estos objetivos. Por ejemplo:

- Si minimizamos el tiempo de fabricación máximo, estamos al mismo tiempo maximizando la utilización de las máquinas

- Si minimizamos el tiempo medio de fabricación, estaremos también minimizando el número medio de productos pendientes

- Si maximizamos la utilización de las máquinas, probablemente no minimizaremos el inventario medio en proceso.

- Si minimizamos el tiempo medio de fabricación, probablemente no minimizaremos el retraso máximo.

Los dos últimos ejemplos refuerzan la importancia de la definición clara y precisa del objetivo que se persigue, ya que los objetivos pueden ser mutuamente excluyentes y en este caso su realización requerirá sistemas de programación diferentes.

8.1.5 Costos Relacionados con la Programación de la Producción.

Hay tres tipos principales de costos que son directamente afectados por las decisiones tomadas en el campo de la programación de la producción y que están relacionados con:

a) El inventario en proceso,

b) La utilización de maquinaria y/o mano de obra,

c) La entrega retrasada de los productos.

De una forma general, se puede reducir el costo del inventario en proceso mediante la aplicación de reglas sencillas de programación. Aunque en la --

mayoría de los casos no sea posible minimizar el inventario en proceso y el tiempo medio de fabricación simultáneamente, la reducción de éste generalmente conduce a una reducción de dicho inventario. En algunos casos especiales, la reducción del tiempo medio de fabricación también puede dar a la empresa un mayor fuerza competitiva.

Los costos que dependen del nivel de utilización de la maquinaria y mano de obra están evidentemente relacionados con la eficiencia del programa de producción, ya que de éste dependerá el tiempo de inactividad de la maquinaria y mano de obra. Si el nivel de utilización es bajo, éste podrá llevar a la necesidad de trabajar tiempo extra o turnos adicionales, lo que representará también un aumento de los costos. Para algunos problemas especiales ya existen sistemas de programación que permiten una maximización de la utilización, sin embargo generalmente es más difícil aumentar dicha utilización que reducir el inventario medio en proceso.

En varias situaciones y especialmente cuando se trata de grandes proyectos, los costos relacionados con entregas atrasadas pueden ser fácilmente identificados y calculados. Por ejemplo, la empresa podrá tener que pagar "x" pesos por día de retraso en la entrega de un proyecto dado. En los demás sistemas productivos, estos costos no son fácilmente calculables, ya que dependen de la insatisfacción de los clientes y ésta es muy difícil de cuantificar. Sin embargo es importante tener en mente que estos costos existen y que en varias situaciones pueden ser más importantes que los costos relacionados con el inventario en proceso o la utilización de la maquinaria y mano de obra.

8.2.- PROGRAMACION DE LA FABRICACION DE "N" PRODUCTOS EN "UNA" MAQUINA.

8.2.1. Introducción.

En este capítulo analizaremos el caso especial de la programación de "n" productos que requieren una sola operación en la única máquina que tiene la planta. Utilizando la notación descrita anteriormente, es decir A/B/C/D, y suponiendo que el objetivo que se persigue fuera minimizar el inventario medio en proceso, la descripción del problema sería: $n/1/F/\bar{I}_p$

Supondremos que las restricciones descritas en la pág. 99 se aplican a este problema, y utilizaremos la siguiente notación:

m = número de máquinas = 1

n = número de productos

K = número de operaciones de cada producto = 1

T_i = tiempo de llegada de los productos = 0

T_{pi} = tiempo de procesamiento de las operaciones de cada producto.

T_{ei} = tiempo de entrega de los productos.

E_i = espera del producto "i" antes de que empiece su procesamiento.

T_{fi} = tiempo de fabricación del producto, es decir, $(T_{pi} + E_i)$.

Hay razones prácticas y teóricas para que estudiemos inicialmente este problema de programación. Entre éstas podemos citar:

a) Este es el problema más sencillo de programación y consecuentemente podrá ser fácilmente entendido.

b) El problema podrá ser utilizado para mostrar los diferentes resultados que puedan ser obtenidos mediante la utilización de sistemas (reglas) diferentes de programación.

c) Las soluciones obtenidas nos ayudan a entender y encontrar soluciones aproximadas a óptimas para los problemas más complejos.

d) Finalmente, el análisis de este problema nos sirve para evaluar la complejidad de los problemas generales de programación.

También debe resaltarse que este tipo de problema no es tan teórico como pueda parecer. En verdad que muy raramente encontramos una planta que tenga sólo una máquina y productos que requieran una sola operación, sin embargo, al mismo tiempo, algunas empresas pueden tener una máquina que representa una fase tan importante del proceso productivo que el sistema de programación debería ser diseñado como si existiera solamente esta máquina. En la industria de procesamiento (por ejemplo, detergentes), no es muy raro encontrar una planta que funciona de una forma integrada como si fuera una sola máquina. Finalmente, en los sistemas continuos, podemos tener el problema de programar la producción de una línea de ensamble que también funciona de una forma integrada como si fuera una sola máquina.

8.2.2. Programación de acuerdo a los tiempos de procesamiento.

Ya hemos citado anteriormente la regla de programación FIFO, que programa los productos o clientes según la fecha o tiempo de llegada de éstos al sistema. Existen muchas otras reglas de programación y entre éstas podemos mencionar:

a) Dar prioridad a los productos de tiempo de procesamiento más corto.

b) Dar prioridad a los productos de mayor volumen.

c) Dar prioridad a los productos de los clientes que pagan de contado.

d) Dar prioridad a los productos de menor plazo de entrega.

e) Dar prioridad, para una máquina específica, a aquellos productos cuya cantidad de trabajo pendiente sea menor.

Estas reglas son llamadas reglas heurísticas de programación y en la mayoría absoluta de los problemas de programación no es posible obtener una solución óptima mediante la aplicación de cualquiera de ellas. Sin embargo, podemos obtener soluciones bastante buenas que nos permiten lograr parcialmente los objetivos que se persiguen.

En esta sección estudiaremos la primera de estas reglas, es decir, la regla que da prioridad a los productos de tiempo de procesamiento más corto. Nos referiremos a esta regla a través de la abreviación TPMC.

Supongamos que tenemos los siguientes productos y que todos requieren una sola operación en la única máquina que tiene la planta. También supondremos que todos los productos están disponibles para ser procesados simultáneamente:

PRODUCTOS	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (T_{pi})
A	10 h
B	20 h
C	13 h
D	16 h
E	8 h

Se puede demostrar que si se da prioridad a los productos de tiempo de procesamiento más corto, se minimizará el tiempo de fabricación medio y el número medio de productos pendientes en el sistema. Además, si el volumen físico de los productos (lotes o pedidos) es proporcional al tiempo de procesamiento, también el Inventario medio en proceso será minimizado. La secuencia de fabricación que resulta de la aplicación de la regla TPMC sería la siguiente:

PRODUCTO	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (T_{pi})	TIEMPO DE FABRICACION (T_{fi})
E	8h	8h
A	10h	18h
C	13h	31h
D	16h	47h
B	20h	67h

Podemos observar que, el tiempo total de fabricación es igual al tiempo de fabricación del último producto procesado y éste será siempre igual a 67h. El tiempo de fabricación medio, sin embargo, depende directamente de la secuencia de fabricación y en el caso de la secuencia E → A → C → D → B, éste será igual a: (8 + 18 + 31 + 47 + 67) / 5 = 34.2 h.

Hay un total de 5! secuencias diferentes, sin embargo no existe ninguna otra secuencia que permita obtener un tiempo de fabricación medio menor, o que pueda, en las condiciones citadas, reducir más el Inventario medio en proceso y el número medio de productos pendientes en la planta. Veamos la secuencia inversa:

PRODUCTO	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (T_{pi})	TIEMPO DE FABRICACION (T_{fi})
B	20h	20h
D	16h	36h
C	13h	49h
A	10h	59h
E	8h	67h

La secuencia sería la TPML (tiempo de procesamiento más largo) y el tiempo de fabricación medio que le corresponde sería: (20 + 36 + 49 + 59 + 67) / 5 = 46.2h. También se puede demostrar que ninguna otra secuencia conduce a un tiempo medio de fabricación mayor.

Por lo tanto, de este rápido análisis que hemos hecho, podemos sacar la siguiente conclusión: Si queremos programar la fabricación de "n" productos en "una" máquina y si el volumen físico de los productos es proporcional a su tiempo de procesamiento, entonces la aplicación de la regla TPMC conduce a los siguientes resultados:

a) Se minimiza el tiempo medio de fabricación.

b) Se minimiza el número medio de productos pendientes en el sistema.

c) Se minimiza el Inventario medio en proceso.

Si el volumen físico de los productos (V_i) no es proporcional a su tiempo de procesamiento, entonces la regla que minimiza el Inventario medio en proceso será aquélla que da prioridad a los productos cuyo índice V_i / T_{pi} sea mayor.

Veamos un ejemplo:

PRODUCTO	T_{pi}	V_i (M^3)	V_i/T_{pi}
A	1h	2.0	2.0
B	7h	10.5	1.5
C	4h	5.0	1.25
D	6h	14.4	2.4
E	5h	2.5	0.5
F	3h	12.0	4.0

La secuencia que minimiza el inventario en proceso será:

PRODUCTO	T_{pi}	V_i (M^3)	V_i/T_{pi}
F	3h	12.0	4.0
D	6h	14.0	2.4
A	1h	2.0	2.0
B	7h	10.5	1.5
C	4h	5.0	1.25
E	5h	2.5	0.5
TOTAL	26h	46.4	-

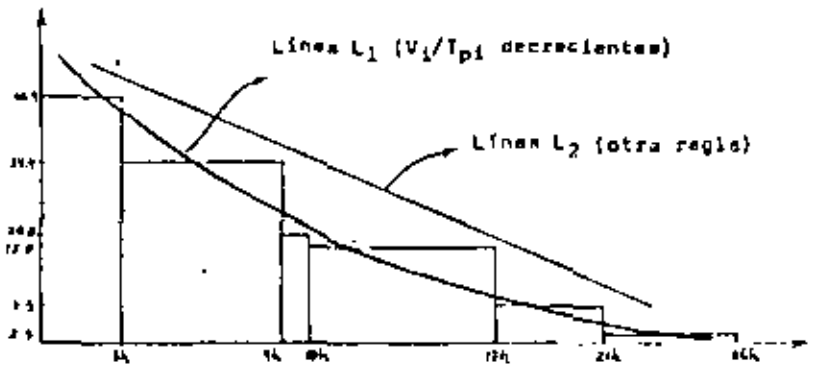
Si observamos este cuadro veremos que mientras no se termine el producto "F", el inventario en proceso es $46.4m^3$. Después de 3h el inventario se reduce a $46.4 - 12.0 = 34.4m^3$, y permanecerá a este nivel hasta que terminemos el producto "D", es decir, durante los próximos 6h, y así sucesivamente.

Podemos entonces construir el siguiente cuadro:

NIVEL DEL INVENTARIO	TIEMPO DURANTE EL CUAL EL INV. PERMANECE A ESTE NIVEL	TIEMPO x INV.
46.4	3h	139.2
34.4	6h	206.4
20.0	1h	20.0
18.0	7h	126.0
7.5	4h	30.0
2.5	5h	12.5
TOTALES	26h	534.1

El inventario en proceso medio será la siguiente media ponderada: $I_{p\ medio} = 534.1/26 = 20.5\ m^3$.

La representación gráfica de la variación del inventario en proceso será:



Se puede observar que si se da prioridad a los productos cuyo índice V_i/T_{pi} es mayor, la tasa de disminución del inventario en proceso será máxima cuando se empieza la fabricación y mínima cuando se está terminando el último producto. Esto garantiza que el inventario medio en proceso será mínimo. Cualquier otra regla de programación conducirá a una línea que estará por encima de la línea L_1 de la figura (por ejemplo, la línea L_2) y consecuentemente el inventario medio sería mayor.

8.2.3. Programación de acuerdo al tiempo de entrega

Uno de los objetivos más importantes de los sistemas productivos es cumplir con los plazos de entrega previamente establecidos conjuntamente por la empresa y los clientes. Para estudiar este tipo de problema será necesario definir las siguientes variables:

a) Diferencial de entrega: Es la diferencia entre el tiempo de fabricación y el tiempo de entrega requerido por el cliente.

b) Adelanto: Es la diferencia entre el tiempo de fabricación y el tiempo de entrega, cuando esta diferencia es negativa.

c) Retraso: Es la diferencia entre el tiempo de fabricación y el tiempo de entrega, cuando esta diferencia es positiva.

Un resultado realmente sorprendente y que puede ser fácilmente demostrado, es que la regla TPMC, aunque no tome en consideración los tiempos de entrega de los productos, también minimiza el promedio de los diferenciales de entrega. Sin embargo, esta regla no garantiza la minimización de las siguientes variables:

a) Retraso máximo

b) Retraso medio

c) Número de productos retrasados.

Si queremos minimizar el retraso máximo, tendremos que utilizar la regla que da prioridad a los productos de tiempo de entrega más corto, es decir, fecha de entrega más próxima. Nos referiremos a esta regla a través de la abreviación TEMC.

Otra regla que en muchos casos prácticos conduce a mejores resultados que la regla TEMC, es la que da prioridad a los productos cuyas diferencias "tiempo de entrega-tiempo de procesamiento", sean menores. Esta diferencia puede ser llamada tiempo de holgura, por lo que utilizaremos para esta regla la abreviación TMHC (tiempo de holgura más corto).

A continuación presentamos un ejemplo donde se aplican las reglas TPMC, TEMC y TMHC, y donde se puede observar que la regla TPMC minimiza el tiempo de fabricación medio y el diferencial de entrega medio, y la regla TEMC minimiza el retraso máximo.

El ejemplo consta de la fabricación de 4 productos en la única máquina que tiene una planta dada, y los tiempos de procesamiento y plazos de entrega se muestran en el cuadro siguiente:

Productos	Tiempo de Procesamiento (días) (A)	Tiempo de Entrega (días) (B)	Tiempo de Holgura (días) (B - A)
A	1.0	6.0	5.0
B	2.5	3.0	0.5
C	4.5	5.5	1.0
D	4.0	7.0	3.0

Los resultados de la aplicación de cada una de las reglas son:

Regla TPMC (tiempo de procesamiento más corto).

Productos	Tiempo de Procesamiento (días)	Tiempo de Entrega (días)	Tiempo de Fabricación (días)	Dif. de Entrega (+)Retraso (-)Adelanto (días)
A	1.0	6.0	1.0	-5.0
B	2.5	3.0	3.5	+0.5
D	4.0	7.0	7.5	+0.5
C	4.5	5.5	12.0	+6.5

Resultados: Tiempo de fabricación medio: 6.0 días
Diferencial de entrega medio: 0.62 días.
Adelanto medio: 5.0 días (sólo un producto).
Retraso medio: 2.5 días.
Número de productos retrasados: 3
Retraso máximo: 6.5 días.

Regla TEMC (tiempo de entrega más corto).

Productos	Tiempo de Procesamiento (días)	Tiempo de Entrega (días)	Tiempo de Fabricación (días)	Dif. de Entrega (+) Retraso (-) Adelanto (días)
B	2.5	3.0	2.5	-0.5
C	4.5	5.5	7.0	+1.5
A	1.0	6.0	8.0	+2.0
D	4.0	7.0	12.0	+5.0

Resultados: Tiempo de fabricación medio: 7.4 días.
Diferencial de entrega medio: 2.0 días.
Adelanto medio: 0.5 días (sólo un producto).
Retraso medio: 2.8 días.
Número de productos retrasados: 3
Retraso máximo: 5.0 días.

Sistema THMC (tiempo de holgura más corto).

Productos	Tiempo de Procesamiento (días)	Tiempo de Entrega (días)	Tiempo de Fabricación (días)	Dif de Entrega (+) Retraso (-) Adelanto (días)
B	2.5	3.0	2.5	-0.5
C	4.5	5.5	7.0	+1.5
D	4.0	7.0	11.0	+4.0
A	1.0	6.0	12.0	+6.0

Resultados: Tiempo de fabricación medio: 8.1 días.
Diferencial de entrega medio: 2.8 días.
Adelanto medio: 0.5 días (sólo un producto)
Retraso medio: 3.8 días
Número de productos retrasados: 3
Retraso máximo: 6 días.

Los resultados de estos cuadros son bastante interesantes. Inicialmente podemos observar que la regla TPMC minimiza el tiempo de

fabricación medio (6 días) y el diferencial de entrega medio (0.75 días). A su vez, la regla TEMC minimiza el retraso máximo (5 días). También debe resaltarse que la regla TPMC, aunque no tome en consideración el tiempo de entrega de los productos, es superior o igual a las demás reglas en lo que se refiere a todos los factores analizados, excepto el último factor (retraso máximo). Los tiempos de entrega no son muy lógicos, ya que algunos de los productos de mayor tiempo de procesamiento presentan tiempos de entrega relativamente cortos y viceversa. Obviamente que esto va en contra de las reglas que no tienen en consideración los tiempos de entrega, sin embargo, aún así, la regla TPMC presenta resultados mejores o iguales a los de las otras reglas. Esto muestra, de cierta forma, la complejidad de los problemas de programación.

Obviamente, los resultados presentados en estos cuadros no pueden ser generalizados, puesto que dependen de los valores de los tiempos de procesamiento y de los tiempos de entrega, y por lo tanto, solamente son válidos para este ejemplo específico. Sin embargo, hay una conclusión importante que deriva de estos resultados: siempre que el problema de programación sea determinar la secuencia de fabricación de un número dado de productos de modo a:

a) Reducir el diferencial de entrega medio,
b) Reducir el retraso medio,
c) Reducir el tiempo de fabricación medio y
d) Reducir el número de productos retrasados,

se deben aplicar y evaluar los resultados de reglas que tomen en consideración los plazos de entrega de los productos; sin embargo será de fundamental importancia evaluar también los resultados de la regla TPMC, ya que ésta podrá ser la regla que proporcione los mejores resultados. También debe señalarse que no es conveniente aplicar la regla TPMC cuando el objetivo sea minimizar el retraso máximo.

8.2.4 Aplicación de la regla TPMC cuando la información es incompleta

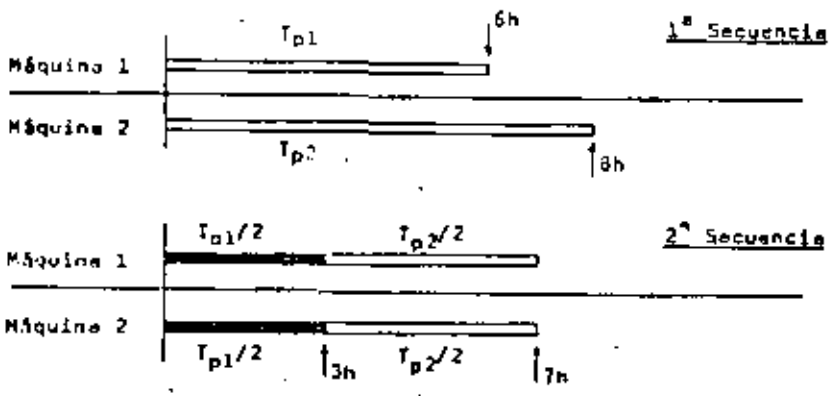
En los ejemplos anteriores hemos supuesto que se conocían de antemano los tiempos de procesamiento de los diversos productos. Sin embargo, en varias situaciones los tiempos de procesamiento no son conocidos o simplemente tenemos una estimación de éstos y consecuentemente, sus valores exactos solamente serán conocidos después que

se termine la fabricación de los productos.

Supongamos que no conocemos los tiempos de procesamiento de algunos productos y que $X_1 \leq X_2 \leq \ldots \leq X_n$ son estimaciones de éstos. Si existe una correlación entre los tiempos de procesamiento y las estimaciones, y fabricamos los productos en la secuencia indicada, estaremos aplicando correctamente la regla TPMC. En otras palabras, para que la regla TPMC sea aplicada correctamente, no es necesario que $X_1, X_2, \ldots, X_n$ sean estimaciones precisas de $T_{p1}, T_{p2}, \ldots T_{pn}$, sino que exista una correlación directa entre los T_{pi} y los X_i. Por ejemplo, si el estimador consistentemente comete errores para más en las estimaciones de los tiempos de procesamiento, aún así la regla TPMC será aplicada correctamente. Obviamente, si los valores de los T_{pi} son prácticamente iguales, la probabilidad de que utilizemos la secuencia inadecuada será mucho mayor.

8.2.5. Programación de la fabricación de "n" productos en "m" máquinas idénticas.

En esta Sección consideraremos el caso especial de una planta que en vez de tener una sola máquina, posee "m" máquinas idénticas, entre las cuales podremos repartir el trabajo total requerido para la fabricación de cada producto. Por ejemplo, supongamos que tenemos 2 máquinas y 2 productos cuyos tiempos de procesamiento son $T_{p1} = 6h$ y $T_{p2} = 8h$, respectivamente, y que el trabajo que requiere cada producto puede ser repartido entre las dos máquinas. Se podría programar la fabricación de las siguientes maneras:



Si adoptamos la 1ª secuencia, el tiempo de fabricación medio será: $\bar{T}_f = (T_{f1} + T_{f2})/2 = (6h + 8h)/2 = 7h$. Y para la segunda secuencia tenemos: $\bar{T}_f = (3h + 7h)/2 = 5h$.

Podemos observar que se puede reducir considerablemente el tiempo de fabricación medio simplemente repartiéndose la cantidad de trabajo de cada producto entre las 2 máquinas de la planta.

El ejemplo analizado es bastante sencillo, sin embargo este principio tiene una aplicación general, es decir, en cualquier planta de "m" máquinas, si m' de éstas son idénticas, siempre se podrá reducir el tiempo de fabricación medio repartiéndose el contenido de trabajo de cada producto entre estas m' máquinas idénticas.

8.3. PROGRAMACION DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE SECUENCIA FIJA

Otro problema especial de programación es aquél donde los productos requieren siempre la misma secuencia en lo que se refiere a la utilización de las máquinas. En otras palabras, el sistema productivo es de secuencia fija.

Un ejemplo típico de este tipo de sistema son las líneas de producción o ensamble. Sin embargo, para que un sistema productivo sea considerado como de secuencia fija, no es necesario que los productos tengan que pasar por todas las máquinas o puestos de trabajo y que tarden lo mismo en cada uno de éstos, sino que presenten un flujo de dirección uniforme.

8.3.1. El método de Johnson

En 1954 Johnson presentó un algoritmo que permite resolver el problema $n/2/F/T_{f\ máx.}$, es decir, "programar la fabricación de "n" productos en las 2 máquinas de un sistema de secuencia fija, de modo que se minimice el tiempo de fabricación máximo". Vale la pena recordar que cuando minimizamos el tiempo de fabricación máximo, estaremos al mismo tiempo maximizando la utilización de las máquinas.

Para la presentación de este método utilizaremos la siguiente notación:

A_i = operación del producto "i" en la primera máquina.
B_i = operación del producto "i" en la segunda máquina.
T_{fi} = tiempo de fabricación del producto "i".

El método de Johnson consta de la siguiente regla de programación:

"El producto "i" deberá preceder al producto "j", siempre que .... $\min\{A_i, B_j\} < \min\{A_j, B_i\}$".

Veamos un ejemplo:

Producto	A_i	B_i
a	6h	3h
b	0h	2h
c	5h	4h
d	8h	6h
e	2h	1h

Consideremos inicialmente los productos "a" y "c":

$$a \begin{cases} A_i = 6h \\ B_i = 3h \end{cases} \qquad c \begin{cases} A_j = 5h \\ B_j = 4h \end{cases}$$

$$\min(6h, 4h) = 4h > \min(5h, 3h) = 3h$$

Puesto que $\min(A_i, B_j)$ no es menor que $\min(A_j, B_i)$, el producto "a" no debe preceder al producto "c".

Comparemos ahora los productos "a" y "d":

$$a \begin{cases} A_i = 6h \\ B_i = 3h \end{cases} \qquad d \begin{cases} A_j = 8h \\ B_j = 6h \end{cases}$$

$$\min(6h, 6h) = 6h > \min(8h, 3h) = 3h$$

Por lo tanto, el producto "a" tampoco deberá preceder al producto "d".

En cuanto a los productos "a" y "e", tenemos:

$$a \begin{cases} A_i & 6h \\ B_i & 3h \end{cases} \qquad e \begin{cases} A_j & 2h \\ B_j & 1h \end{cases}$$

$$\min(6h, 1h) = 1h < \min(2h, 3h) = 2h$$

Por lo tanto, el producto "a" deberá preceder al producto "e".

Hasta ahora tenemos los siguientes resultados: "a" deberá ser procesado después de "c" y "d", y antes de "e". Si recordamos que el producto "b" no requiere procesamiento en la máquina 1, hay sólo dos secuencias de procesamiento en dicha máquina que obedecen a estas restricciones:

$$c \longrightarrow d \longrightarrow a \longrightarrow e$$

$$d \longrightarrow c \longrightarrow a \longrightarrow e$$

Necesitamos, por lo tanto, comparar los productos "c" y "d":

$$c \begin{cases} A_i = 5h \\ B_i = 4h \end{cases} \qquad d \begin{cases} A_j = 8h \\ B_j = 6h \end{cases}$$

$$\min\{5h, 6h\} = 5h > \min\{8h, 4h\} = 4h$$

Por lo tanto, el producto "c" no deberá preceder al producto "d".

La solución final del problema será entonces procesar los productos en la máquina 1 siguiendo la secuencia

$$d \rightarrow c \rightarrow a \rightarrow e$$

y procesar los productos en la máquina 2 luego que éstos salgan de la máquina 1. A continuación presentamos esta solución mediante una gráfica de Gantt:

Método de Johnson

Puede observarse que el tiempo de fabricación máximo corresponde al producto "e" y es igual a 23h. Como hemos dicho anteriormente, ninguna otra regla de programación conducirá a un tiempo máximo de fabricación menor que 23h.

De la gráfica también podemos sacar los tiempos de fabricación de los demás productos:

Producto	T_{fi}
a	22h
b	2h
c	18h
d	14h
e	23h

Finalmente, el tiempo de fabricación medio será:

$$\bar{T}_f = (22h + 2h + 18h + 14h + 23h)/5 = 15.8h$$

8.3.2. Minimización del tiempo medio de fabricación en una planta de 2 máquinas $(n/2/F/\bar{T}_f)$.

La minimización del tiempo de fabricación medio en una planta con sólo dos máquinas ya es un problema bastante complicado, para el cual hasta hoy no se encontró ninguna solución. El algoritmo de Johnson no es bueno en cuanto a la realización de este objetivo. En el ejemplo anterior, este método condujo a un tiempo de fabricación medio igual a 15.8h, mientras que, como se puede observar en la gráfica que se muestra a continuación, la regla TPMC conduce a un tiempo de fabricación medio igual a 11.8h. Sin embargo, la utilización de las máquinas es mucho menor cuando se aplica la regla TPMC.

Regla TPMC

Tiempo de fabricación medio = (2h + 3h + 11h + 16h + 27h)/5 = 11,8h

Estos resultados muestran una vez más la importancia de una definición previa del objetivo que se persigue. Si el objetivo fuera maximizar la utilización de las máquinas, el método de Johnson sería el más adecuado. Si el objetivo fuera minimizar el tiempo de fabricación medio, debería aplicarse la regla TPMC.

8.3.3. Minimización del tiempo de fabricación máximo en una planta con 3 máquinas $(n/3/F/T_{f\,máx})$.

En su trabajo de fecha 1954, Johnson también propuso una solución aproximada para este tipo de problema. La regla de programación propuesta por él es la siguiente:

"El producto "i" deberá preceder al producto "j" si ..... $\min\{A_i + B_i, B_j + C_j\} < \min\{A_j + B_j, B_i + C_i\}$".

Donde:

A_i = operación del producto "i" en la primera máquina.
B_i = operación del producto "i" en la segunda máquina.
C_i = operación del producto "i" en la tercera máquina.

Veamos un ejemplo:

Productos	A_i	B_i	C_i
a	1h	2h	9h
b	5h	9h	7h
c	7h	6h	8h
d	8h	9h	9h

Productos "a" y "b":

min (1h + 2h, 9h + 7h) = 3h < min (5h + 9h, 2h + 9h) = 11h

El producto "a" deberá preceder a "b".

Productos "a" y "c":

min (1h + 2h, 6h + 8h) = 3h < min (7h + 6h, 2h + 9h) 11h

El producto "a" deberá preceder a "c".

Productos "a" y "d":

min (1h + 2h, 9h + 9h) = 3h < min (8h + 9h, 2h + 9h) = 11h

El producto "a" deberá preceder a "d".

Productos "b" y "c":

min (5h + 9h, 6h + 8h) = 14h > min (7h + 6h, 9h + 7h) = 13h

El producto "c" deberá preceder a "b".

Productos "b" y "d":

min (5h + 9h, 9h + 9h) = 14h < min (8h + 9h, 9h + 7h) = 16h

El producto "b" deberá preceder al producto "d".

La secuencia final deberá ser entonces:

a → c → b → d

A continuación presentamos en forma gráfica esta solución, así como la solución óptima. Se puede observar que el tiempo de fabricación máximo que corresponde al método de Johnson ($T_{f\ máx}$=41h) es ligeramente mayor que el tiempo de fabricación máximo óptimo (39h). La única diferencia entre las dos secuencias es que la posición de los productos "b" y "c" está invertida, es decir, las dos secuencias son a, b, c, d y a, c, b, d, respectivamente. Los resultados experimentales sugieren que en varias situaciones, cuando el método de Johnson no conduce a la solución óptima, ésta podrá ser obtenida mediante una simple inversión de la posición de dos productos.

Este rápido análisis muestra que el método de Johnson no conduce siempre a una solución óptima, sin embargo su aplicación conduce a soluciones bastante buenas, con una probabilidad relativamente alta.

8.3.4. Programación de la fabricación de "n" productos en "m" máquinas

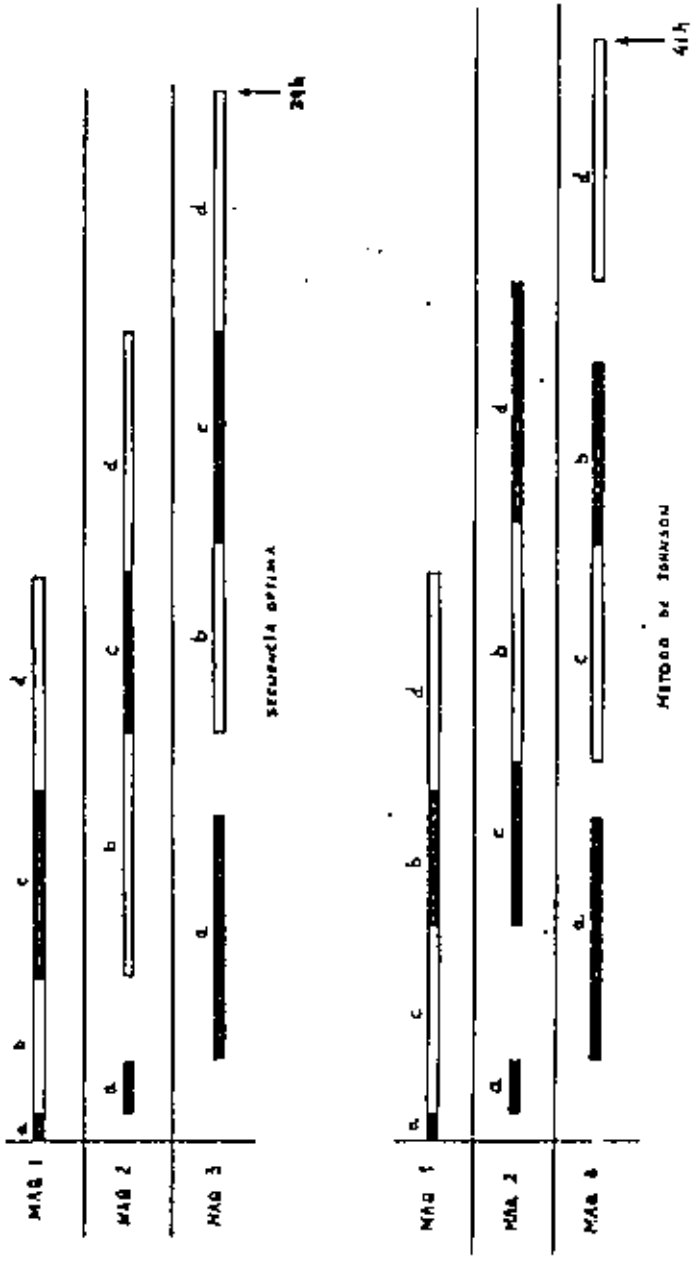
8.3.4.1. El método de Ichiro Nabashima

En 1967 Ichiro Nabashima propuso un algoritmo para la resolución del problema $n/m/F/T_{f\ máx.}$, el cual es en realidad una generalización del algoritmo de Johnson. El método de Ichiro sólo es aplicable cuando:

$$\min OP_j \geq \max OP_{j+1} \quad \text{donde} \quad j + 1 \leq m - 1.$$

donde: OP_j es el conjunto que incluye todas las operaciones que requieren procesamiento en la máquina "j".

OP_{j+1} es el conjunto de operaciones que requieren procesamiento en la máquina "j + 1".



Por ejemplo, el método no sería aplicable al problema que se describe a continuación, ya que algunas de las C_i son mayores que la B_i más corta (7h).

Producto	A_i	B_i	C_i	D_i
a	10h	9h	8h	8h
b	11h	7h	4h	2h
c	15h	10h	5h	4h
d	17h	8h	9h	6h

A_i = operaciones en la primera máquina
B_i = " segunda "
C_i = " tercera "
D_i = " cuarta "

La regla de programación propuesta por Ichiro consiste de lo siguiente:

"El producto "i" deberá preceder al producto "j" siempre que

$$\min\left[\sum_{t=1}^{m-1} OP_{i\,t},\ \sum_{t=2}^{m} OP_{j\,t}\right] < \min\left[\sum_{t=1}^{m-1} OP_{j\,t},\ \sum_{t=2}^{m} OP_{i\,t}\right]",$$

donde t = 1, 2, 3, ... m, indica la máquina que corresponde a cada operación.

Veamos un ejemplo:

Producto	A_i	B_i	C_i	D_i
a	10h	9h	7h	4h
b	11h	7h	4h	1h
c	15h	10h	5h	2h

Podemos observar que la más corta de las A_i es mayor que todas las B_i; la más corta de las B_i es mayor que todas las C_i; etc. Por lo tanto, el método de Ichiro podrá ser aplicado.

Consideremos inicialmente los productos "a" y "b" y apliquemos la regla de programación:

$$\min (10 + 9 + 7 , 7 + 4 + 1) = 12 < \min (11 + 7 + 4 , 9 + 7 + 4) = 20$$

Como se cumple la desigualdad, entonces el producto "a" deberá preceder al producto "b".

En cuanto a los productos "a" y "c", tenemos:

$$\min (10 + 9 + 7, 10 + 5 + 2) = 17 < \min (15 + 10 + 5, 9 + 7 + 4) = 20$$

Por lo tanto, el producto "a" deberá preceder al producto "c".

Finalmente, comparemos "b" y "c":

$$\min (11 + 7 + 4, 10 + 5 + 2) = 17 > \min (15 + 10 + 5, 7 + 4 + 1) = 12$$

El producto "c" deberá preceder al producto "b" y por lo tanto la secuencia óptima sería:

$$a \longrightarrow c \longrightarrow b$$

Puede observarse que para m = 3, el método de Ichiro resulta idéntico a la regla de programación de Johnson para el caso de 3 máquinas (Sección 3.3). Esto explica porque el método de Johnson ni siempre conduce a una solución óptima. En otras palabras, cuando se cumple la condición

$$\min OP_j \geqslant \max OP_{j+1}$$

la regla de Johnson conduce a una solución óptima y cuando esta condición no se cumple, la solución obtenida podrá ser buena, pero probablemente no será óptima.

3.4.2. Demás problemas con "n" productos y "m" máquinas

En la Sección anterior hemos presentado una solución para el problema $n/m/F/T_{f\ máx}$. Los demás problemas de programación donde hay "n" productos y "m" máquinas no han sido resueltos hasta hoy. Al mismo tiempo, el número de secuencias posibles es tan grande que en la mayoría de los casos el problema no es computable.

Debido a estas razones, la técnica de simulación ha sido frecuentemente utilizada en varios trabajos de investigación para evaluar la eficiencia de diferentes reglas de programación. Sin embargo, los resultados obtenidos generalmente no revelan ni la superioridad de alguna regla en especial, ni si dichas reglas conducen a resultados diferentes cuando son aplicadas a sistemas de secuencia fija y a sistemas de secuencia variable, respectivamente. Sólo hay un resultado que parece ser verdadero para todos los tipos de sistemas productivos: la regla TPMC generalmente reduce el tiempo de fabricación medio. En el próximo capítulo discutiremos con más detalles los resultados generales de las investigaciones realizadas en este campo.

3.4. PROGRAMACION DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE SECUENCIA VARIABLE

La programación de los sistemas productivos de secuencia variable es un desafío fascinante. Aunque sea muy facil definirlo o presentarlo, la obtención de soluciones óptimas es una tarea de grandísima complejidad.

En este tipo de problema, cada operación requiere tres números "i", "j" y "k" para su identificación:

"i": indica el número del producto al cual pertenece la operación.
"j": indica la secuencia en que las operaciones de un producto dado deben realizarse.
"k": indica la máquina donde la operación debe realizarse.

Por ejemplo, la operación $OP_{2,3,2}$ pertenece al producto 2, será la 3ª operación a realizarse cuando se procese dicho producto y su realización se llevará a cabo en la máquina 2.

4.1. Programación de la fabricación de "n" productos en "dos" máquinas.

En 1956 Jackson desarrolló un algoritmo que permite resolver el problema $n/2/V/T_{f\ máx.}$, es decir, "programar la fabricación de "n" productos en las 2 máquinas de un sistema productivo de secuencia variable, de modo que se minimice el tiempo máximo de fabricación".

Para aplicar el método de Jackson necesitamos inicialmente dividir los productos en 4 grupos, como sigue:

Grupo A: Productos que requieren una sola operación a realizarse en la máquina 1.
Grupo B: Productos que requieren una sola operación a realizarse en la máquina 2.
Grupo AB: Productos que necesitan procesarse primero en la máquina 1 y después en la máquina 2.
Grupo BA: Productos que necesitan procesarse primero en la máquina 2 y después en la máquina 1.

En seguida, utilizando el método de Johnson, determinamos separadamente la secuencia de procesamiento de los productos de los grupos AB y BA, respectivamente. Las secuencias de los grupos "A" y "B" no afectarán el tiempo de fabricación máximo, de modo que podremos adoptar cualquier secuencia para estos grupos. La secuencia que minimiza el tiempo máximo de fabricación será obtenida combinándose los grupos A, B, AB y BA de la siguiente manera (respetando obviamente las secuencias ya determinadas para cada grupo):

Máquina 1: AB ⟶ A ⟶ BA

Máquina 2: BA ⟶ B ⟶ AB

4.2. Generación de programas de producción

La mayoría de los métodos utilizados para "resolver" los problemas de programación para los cuales todavía no hay soluciones óptimas, requiere la generación de un determinado número de programas de producción y su posterior evaluación. Todos estos métodos tienen lo siguiente en común: se selecciona una operación dada y se le asigna el inicio de su realización en una determinada máquina. La secuencia según la cual las operaciones serán seleccionadas dependerá obviamente de la regla de programación utilizada. En otras palabras, cada regla generará programas de producción diferentes.

Cuando aplicamos cualquier regla de programación, podemos generar programas utilizando dos procedimientos diferentes: procedimiento con ajuste y procedimiento sin ajuste. Cuando se utiliza un procedimiento sin ajuste, no se podrá cambiar el inicio de una operación que ya fue asignada. Cuando se utiliza un procedimiento con ajuste, el inicio de las operaciones ya asignadas podrán cambiarse para acomodar otras operaciones.

Es evidente que el procedimiento con ajuste es mucho más laborioso, sin embargo podrá generar programas de producción más eficientes. La mayoría absoluta de los programas de computadora para la generación y evaluación de programas de producción, utiliza el procedimiento sin ajuste, ya que es muy difícil determinar una "regla de ajuste" que sea realmente eficiente. Por otro lado, cuando se elaboran programas de producción manualmente, utilizando gráficos como la de Gantt, frecuentemente se aplica un procedimiento con ajuste. Es evidente que la solución ideal sería un programa de computadora que llevara a cabo un procedimiento con ajuste. Sin embargo, se extrema

demasiado difícil que una computadora reproduzca el proceso mental utilizado por el ser humano para llevar a cabo un procedimiento con ajuste.

Un concepto que es importante entender cuando se están generando programas de producción, es el concepto de conjunto de operaciones programables (S_o). A este conjunto pertenecen todas aquellas operaciones cuyas operaciones precedentes ya fueron asignadas. En el caso de un problema n/m, (S_o) consiste inicialmente de "n" operaciones, es decir, la primera operación de cada uno de los "n" productos. Si para cualquier producto podemos empezar su procesamiento realizando dos o más operaciones simultáneamente, entonces el conjunto (S_o) contendrá inicialmente más de "n" operaciones. Si recordamos el concepto de procedimiento sin ajuste, podemos entonces afirmar que cuando se utiliza este procedimiento las operaciones nunca podrán regresar a (S_o) una vez que hayan sido asignadas.

Hay dos formas principales de clasificar las operaciones del conjunto (S_o):

a) Por producto: en este caso tendríamos "n" subconjuntos (S_p) que consistirían de las operaciones programables de cada producto.
b) Por máquina: en este caso tendríamos "m" subconjuntos (S_m) que consistirían de las operaciones programables de cada máquina.

De una forma general, podemos decir entonces que la generación de programas de producción consiste de la aplicación de una regla que nos permita determinar en que secuencia las operaciones de los diversos conjuntos (S_m) serán procesadas en las máquinas correspondientes. Debe resaltarse que, por lo menos teóricamente, para cualquier programa de producción es posible determinar una regla de programación capaz de generarlo y vice versa.

Si nosotros definimos de alguna manera un problema de programación, por ejemplo $20/S/V/\bar{T}_F$, y aplicamos una determinada regla de programación, manualmente o mediante una computadora, estaremos utilizando la técnica de simulación. Esta técnica es extremadamente útil para la resolución de los problemas de programación, ya que podemos aplicar varias reglas diferentes y evaluar la eficiencia relativa de cada una de ellas antes de su eventual implantación en la práctica. De hecho,

Esto es actualmente el procedimiento más utilizado en las investigaciones sobre la programación de la producción, ya que para la mayoría de los problemas no se ha determinado todavía las reglas que conducen a soluciones óptimas.

En los capítulos anteriores hemos discutido algunas reglas de programación, que son las siguientes:

TPMC - Dar prioridad a los productos cuyos tiempos de procesamiento sean menores.
FIFO - Dar prioridad a los productos que lleguen primero al sistema.
TEMC - Dar prioridad a los productos de tiempo de entrega más corto.
THMC - Dar prioridad a los productos cuyos tiempos de holgura sean menores.

Otras reglas de programación que han sido evaluadas en los diversos trabajos de investigación son:

a) Dar prioridad a las operaciones más cortas. Obsérvese que esta regla es ligeramente diferente de la regla TPMC, ya que la operación más corta de un determinado conjunto (S_m) ni siempre pertenece al producto de menor tiempo de procesamiento. Debido a la similitud que existe entre estas dos reglas, utilizaremos la abreviación $TPMC_1$ para la que da prioridad a los productos de menor tiempo de procesamiento y la abreviación $TPMC_2$ para la que da prioridad a las operaciones más cortas.

b) Dar prioridad a los productos cuya cantidad total de trabajo pendiente sea menor. Esta regla conduce a resultados más o menos semejantes a los de las reglas $TPMC_1$ y $TPMC_2$ y la llamaremos $TPMC_3$.

c) Dar prioridad a los productos cuyo número de operaciones pendientes sea menor ($TPMC_4$).

d) Dar prioridad a los productos cuya cantidad total de trabajo pendiente sea mayor (CTPM).

e) Dar prioridad a los productos cuyo número de operaciones pendientes sea mayor (NOPM).

La eficiencia de estas reglas ha sido comparada, principalmente en lo que se refiere a la reducción del tiempo de fabricación medio y del tiempo de fabricación máximo. En cuanto a la reducción del

tiempo de fabricación medio, las reglas $TPMC_1$, $TPMC_2$, $TPMC_3$ y $TPMC_4$ generalmente conducen a mejores resultados. Debe recordarse que cuando reducimos el tiempo de fabricación medio, estamos al mismo tiempo reduciendo el número medio de productos pendientes en la planta y el inventario en proceso medio. Sin embargo, en la mayoría de los casos es posible determinar reglas específicas que reduzcan todavía más dicho inventario.

En cuanto a la reducción del tiempo de fabricación máximo, las regins CIPM y NGPM generalmente conducen a mejores resultados.

Finalmente, la regla TEMC conduce a buenos resultados cuando el objetivo es reducir el retraso máximo.

Es evidente que estos resultados no son suficientes para que los diversos sistemas productivos puedan resolver sus complejos problemas de programación de la producción. Sin embargo, creemos que éstos son un punto de partida del cual podrán salir soluciones relativamente buenas que ayuden a los hombres de empresa a enfrentar las presiones de la actual sociedad industrial. El campo está abierto a las investigaciones y esperamos que en un futuro no muy lejano se encuentren más y más soluciones óptimas para los diferentes tipos de problemas.

IX- BIBLIOGRAFIA SOBRE PROGRAMACION

1. R. W. CONWAY, W. L. MAXWELL y L. W. MILLER
   "Theory of Scheduling"
   Addison - Wesley Publishing Company, 1967.

2. S. M. JOHNSON
   "Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules With Set-up Time Included"
   Nav. Res. Log. Quart. 1, No. 1, Marzo 1954.

3. J. R. JACKSON
   "An Extension of Johnson's Results on Job-lot Scheduling"
   Nav. Res. Log. Quart. 3, No. 3, Septiembre, 1956.

4. ICHIRO NABESHIMA
   "The Order of "n" Items Processed on "m" Machines"
   The Metropolitan Hiroo School, 8ª Reunión, Noviembre, 1960.

5. BUFFA Y TAUBERT
   "Sistemas de Producción-Inventario; Planeación y Control"
   Editorial Limusa, 1975.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

DIRECCION DE PROYECTOS POR CAMINO CRITICO

Ing Odón de Buen Lozano

Junio, 1981

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

I N D I C E

DIRECCION DE PROYECTOS POR CAMINO CRITICO

1.- EL PROYECTO.

El proyecto puede definirse como el conjunto de antecedentes que permite estimar las ventajas y desventajas económicas que se derivan de asignar ciertos recursos de un país o de una empresa estatal o privada, para la producción de determinados bienes o servicios.

La palabra PROYECTO tenía en el pasado un sentido más reducido que el que se le da actualmente. Anteriormente considerábamos como proyecto a un conjunto de diseños únicamente. La influencia de la literatura de habla inglesa que se relaciona con el tema, ha ampliado el significado de la palabra y su sentido actual que sin duda ya ha tomado carta permanente de naturaleza, es el de diseño y desarrollo conjuntos.

Nosotros, aquí, usaremos la palabra Proyecto en su acepción extensa.

Un proyecto está formado por una serie de actividades que se van a ejecutar o se están ejecutando en forma coordinada. La ejecución de las actividades determina la realización escalonada de ciertos eventos.

Los proyectos pueden ser cíclicos, como el de la fabricación en serie de un producto industrial o no cíclicos como la construcción de una nueva fábrica. Los sistemas de dirección de proyectos que vamos a estudiar se aplican básicamente a los proyectos no cíclicos, existiendo otros sistemas más adecuados para controlar los procesos cíclicos.

Algunos de los riesgos y contingencias a que se enfrenta todo proyecto son asegurables; pero no lo son los que derivan de errores de estimación en los varios aspectos que

comprende el estudio del proyecto y que pueden ser de tal cuantía que conduzcan al fracaso.

Indudablemente que al enfrentarse al desarrollo de un proyecto no solo se requiere contar con la decisión para afrontar el riesgo a secas, sino también con un análisis racional de las posibilidades de éxito, basado en los mejores antecedentes y elementos de juicio disponibles.

Un proyecto es normalmente el producto del trabajo conjunto interdisciplinario de profesionales y especialistas de muy diversas ramas. La metodología que aquí vamos a estudiar es especialmente adecuada para lograr la coordinación de los esfuerzos de todos los participantes en un proyecto, con el objeto de alcanzar en forma adecuada las metas comunes.

La planeación de cualquier proyecto, en sus diversas etapas de desarrollo requiere un proceso de aproximaciones sucesivas. Durante el avance del mismo es necesario llevar a cabo un trabajo permanente de planeación y programación que conduzca en todo momento al camino mejor para el éxito del proyecto. Este proceso tiene lugar, en particular, cuando se hacen las revisiones periódicas de la Ruta Crítica, para su actualización.

Como se verá más adelante, el Método del Camino Crítico puede aplicarse a trabajos muy simples o a proyectos sumamente complejos, como son los de instalación, por ejemplo, de un nuevo proyecto industrial, en cuyo caso el procedimiento se pueda aplicar, en forma general a la totalidad del proyecto, en sus etapas de: estudio del mercado, tamaño y localización de las instalaciones, ingeniería, inversiones, presupuestos y ordenación de datos para la evaluación, financiamiento y organización, hasta la entrega de los productos al último consumidor.

En el caso anterior el método se aplica a diferentes niveles y requiere la aplicación de un correcto criterio de escala para su utilización, decidiendo cuál es el nivel de detalle más adecuado en cada caso. El éxito de la aplicación del método estriba fundamentalmente en la buena selección por parte de los responsables del trabajo de planeación y programación, de dicho nivel de detalle, ya que un detalle excesivo lo convierte en engorroso y poco manejable y una falta de detalle lo hace inútil.

Por otra parte, desde el puntode vista de la aplicación del Método de Ruta Crítica un proyecto es cualquier tarea que tiene un principio y un fin definibles y que requiere el empleo de uno o de más recursos en cada una de las actividades separadas, pero interrelacionadas e interdependientes, que deben ejecutarse para alcanzar los objetivos para los cuales el proyecto fué instituído. (Definición de R.L. Martino)

Un Proyecto tiene los tres elementos siguientes:

1) OPERACIONES.- Que son las cosas que hacemos.

2) RECURSOS.- Que son los medios de que nos valemos para realizar las operaciones.

3) CONDICIONES O RESTRICCIONES.- Que son los factores que limitan y condicionan nuestro proyecto.

Si ponemos el ejemplo del montaje de una planta termoeléctrica para la generación de energía eléctrica, las operaciones son, por ejemplo,: los trabajos de perforación de pozos para agua, la construcción de cimentaciones para la caldera, el montaje de los tanques de combustible, etc.

Los recursos son básicamente: Personal, Entrenamiento, Dinero, Créditos, Materiales, Herramienta y Tiempo.

Las Condiciones o Restricciones son generalmente de aspecto externo al proyecto en sí, pero generalmente influyen en forma determinante en el éxito del proyecto; como son: la fecha fija de terminación de una obra, la entrega de diseños y planos, materiales y maquinaria; las limitaciones de capital o crédito; las aprobaciones, inspecciones y recepciones de los trabajos parcial o totalmente terminados, etc.

2. LA PLANEACION.

La planeación tiene por objeto la previsión del futuro, con el objeto de adecuar nuestra presente y futura actividad, para hacer posible el alcance de determinadas metas especificadas, en un tiempo establecido. Incluye la estimación de los recursos generales necesarios para alcanzar dichas metas.

La planeación la podemos dividir en: Estratégica y Táctica. En la planeación estatégica se toman decisiones que tienen efectos más permanentes y que son más difíciles de cambiar y tienen repercusiones a plazos más largos; la planeación táctica por otra parte, se realiza para acciones a más corto plazo y más fácilmente cambiables. Ambos tipos de planeación son necesarias y se complementan.

En términos generales se acostumbra dividir a la planeación en tres rangos: A corto, mediano y largo plazo. La duración de cada uno de estos rangos es variable con la rama de actividad en la que se realiza la planeación y del dinamismo con que dicha rama se desarrolla.

De acuerdo con el Dr. Russel L. Ackoff la planeación la podemos dividir en tres tipos fundamentales:

La planeación resolutoria: Que busca una solución resuelva el problema planteado, aunque no sea la mejor solución posible.

La planeación optimizada: Que busca no solamente resolver un problema sino encontrar la mejor solución posible.

La planeación adaptativa: Que adapta al sistema para resolver mejor el problema, considerando en el término sistema, tanto al organismo que tiene un problema que resolver como el medio que rodea a dicho organismo.

3. EL METODO DEL CAMINO CRITICO.

El método del Camino Crítico consiste fundamentalmente de lo siguiente:

1) Es una herramienta de la administración para definir y coordinar las actividades que deben ser realizadas para cumplir con éxito y a tiempo, los objetivos de un proyecto.

2) Una técnica que ayuda en la toma de decisiones pero no toma las decisiones por sí misma.

3) Una técnica que nos proporciona una información estadística que nos permite conocer qué incertidumbre existe con respecto a la terminación oportuna de las actividades de un proyecto.

4) Un método que permite al director de un proyecto dirigir su atención hacia:

   a) Los problemas latentes que requieren y/o soluciones.

   b) Los procedimientos y ajustes, en lo que se refiere al tiempo, los recursos, o el mejoramiento de la eficiencia, que permitan mejorar la capacidad que se tiene para cumplir con los objetivos propuestos.

Desde el punto de vista de este método, también denominado normalmente como de Ruta Crítica, la planeación es la primera etapa del proceso y consiste en la determinación de las necesidades de recursos del proyecto y su orden necesario de aplicación, en las diversas actividades que deben realizarse para lograr los objetivos del proyecto.

Por ejemplo, si el proyecto consiste de la instalación de una estructura metálica, el trabajo de planeación consistirá en el análisis paso a paso, de la forma en que se va a realizar el montaje, estableciendo los sistemas de trabajo que se utilizarán en cada etapa del mismo, y seleccionando el equipo de maniobra más adecuado en cada caso y la clase de personal que será necesario en cada etapa, decidiendo en qué momento se utilizarán varios turnos o se pagará tiempo extra.-

4. LA PROGRAMACION.

Con los factores ya establecidos en la Planeación se procederá a realizar el programa detallado de cada una de las actividades que se van a realizar, que quedarán finalmente establecidas con fechas de calendario claramente determinadas. Esta es la Programación.

Es importante tener en cuenta al realizar los dos procesos anteriores que una obra puede terminarse en tiempos muy disímiles dependiendo de la forma y la cantidad en que se utilicen los recursos disponibles. Al hacer un programa para realizar un Proyecto el objetivo fundamental que se persigue es el de terminarlo con la mejor CALIDAD y con el menor TIEMPO y COSTO posibles.

Revisión Periódica de la Planeación y Programación

Nunca debe olvidarse que los proyectos son diná-

micos y que cualquier sistema de planeación y programación de los mismos tiene que serlo también. Muchas personas creen que todo termina con la preparación de un buen programa, que se pasa al personal técnico y administrativo para su ejecución. Esto es un gran error. Desde luego es mejor hacer un buen programa una sola vez que no hacer ninguno y avanzar en la obra a base de improvisación e intuición, pero no es suficiente.

La periodicidad de revisión de los programas detallados del Proyecto dependen básicamente del tipo de ente y de las restricciones internas y externas del mismo y en forma muy especial de la variabilidad con el tiempo de dichas restricciones y de la incertidumbre de su ocurrencia.

Haciendo un resumen muy conciso de los diferentes métodos utilizados para el control de proyectos, podemos clasificarlos esquemáticamente de la siguiente manera:

1) Experiencia, Intuición, Memoria.
2) Diagramas de Barras.
3) Diagramas de Flechas, Ruta Crítica.
4) Combinación de Diagramas de Flechas y Estadística.
5) Planeación Conjunta de Diseños, Entregas de materiales y equipo y Construcciones.
6) Aplicación de Ingeniería de Sistemas.

Todos estos caminos llevan a un solo resultado: PREVISION y CONTROL, tenerlos nos permiten conocer en cualquier proyecto y en cualquier momento, lo siguiente:

a) Qué es lo que hay que hacer.
b) Cuándo va a realizarse y cuánto se va a tardar en hacerlo.
c) Qué ha sido ya hecho.

d) Qué se está haciendo.

e) Qué falta por hacer.

f) Cuál es el costo de lo realizado hasta la fecha y cuánto se estima que costará ejecutar lo que falta por hacer.

Para lograr estos controles que son totalmente indispensables para el buen control de los proyectos, el empleo de computadoras electrónicas representa un poderoso auxiliar que hace posible en la actualidad tener los controles citados en forma adecuada, por grande que sea el proyecto que se trata de controlar.

Cuando se pone un proyecto en nuestras manos para su realización debemos estudiarlo con todo detalle, para conocer perfectamente qué vamos a hacer, dónde lo vamos a hacer y cuándo se requiere que lo hagamos y cuáles son sus restricciones.

Los pasos para Planear y Programar un proyecto son los siguientes:

1) Hacer una relación cuidadosa del trabajo a efectuar, a partir de los planos, especificaciones, memorias y condiciones del proyecto.

2) Separar el trabajo en sus partes principales, analizando que CALIDAD se requiere en cada una de ellas.

3) Hacer el estudio de Métodos, Tiempos y Movimientos de cada una de las actividades a realizar, para encontrar el procedimiento más adecuado para llevar a cabo cada actividad y conocer la suma de recursos que se van a necesitar para su ejecución, asignando TIEMPOS a cada actividad finalmente.

4) Establecer la secuencia lógica necesaria entre las diferentes actividades.

5) Asignar los RECURSOS disponibles a las diferentes actividades.

6) Calcular las fechas límite de inicio y terminación de todas y cada una de las actividades del proyecto.

7) PROGRAMACION de las fechas de inicio y terminación de cada una de las actividades, dentro de sus límites de tiempo, y de acuerdo con los RECURSOS disponibles.

8) Analizar el tiempo total resultante para la terminación total del proyecto o de una de sus partes, si así se requiere para ver si es mayor, igual o menor que el requerido. En caso de que el resultado no sea satisfactorio hacer una nueva Planeación y Programación.

9) Calcular los costos Directos e Indirectos del proyecto. En caso de que el costo no se considere adecuado, hacer una nueva planeación y programación o llegar a la conclusión de que el proyecto no es factible.

5. DIAGRAMAS DE FLECHAS.

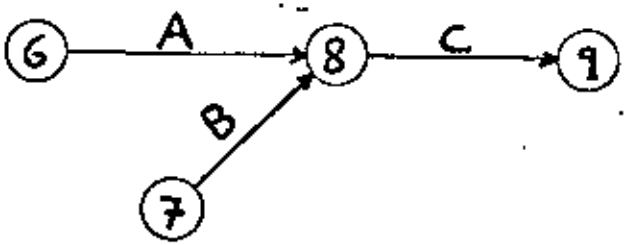
El Diagrama de Flechas es un modelo lógico del proyecto. En este diagrama cada flecha representa una diferente actividad. La longitud de cada flecha no tiene importancia, ni tampoco su dirección. La cola de la flecha representa el principio de la actividad y su punta el fin de la mis-

ma. Como se trata de un modelo lógico, la escala con que se dibuja el tamaño de la fecha no tiene importancia.

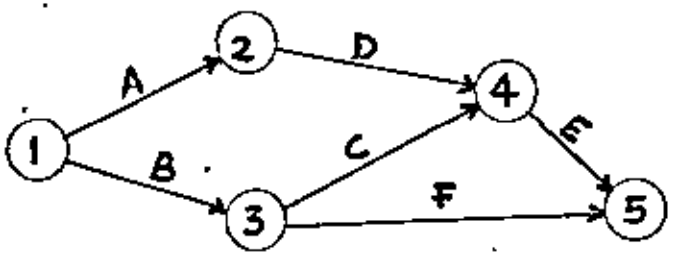
Para sacar provecho de los diagramas de flechas es necesario prepararlos siguiendo una serie de convenciones y reglas. Unos autores recomiendan unas, otros recomiendan otras y la práctica otras más, habiendo en conjunto muchas reglas comunes en las que todos están de acuerdo.

Estas reglas, por otra parte, van cambiando con el tiempo, a medida que se van desarrollando nuevos métodos o se crean nuevos programas para la solución de estos problemas, por medio de computadoras electrónicas. En nuestro caso las reglas que van a ser empleadas son las siguientes:

Regla 1. Las actividades se representan por medio de flechas. Las actividades quedan limitadas por nodos o EVENTOS que son acontecimientos que tienen lugar cuando terminan una o varias de las actividades que concurren a ese nodo o evento.



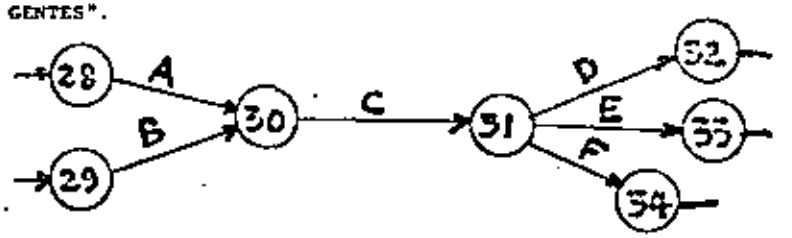
Regla 2. Se usa una flecha y sólamente una para representar cada actividad, no teniendo ninguna importancia ni significación la longitud, la forma y el sentido de cada fecha. La cola representa el comienzo de la actividad y la punta el final de la misma.



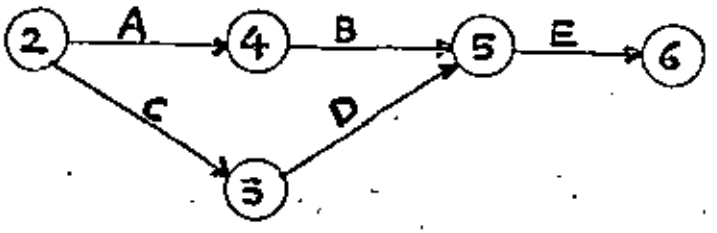
Regla 3. Cada flecha o actividad queda denominada de acuerdo con el nodo que la antecede y que la precede y la descripción de la actividad se coloca sobre la flecha misma. En el diagrama anterior la actividad "A" se denomina (1-2).

Regla 4. Para dibujar el diagrama de flechas de un proyecto lo más práctico es dibujar todas las flechas correspondientes a las actividades iniciales y avanzar hacia adelante, siguiendo la lógica del programa y estableciendo sistemáticamente todas las relaciones lógicas que existen entre las diversas actividades, hasta llegar a la actividad final.

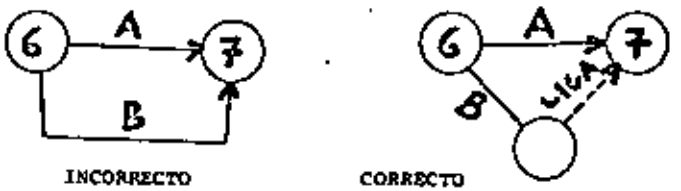
Regla 5. A los nodos en que concurren más de una actividad se les denomina "CONCURRENTES" y a aquellos de los que parten más de una actividad se les llama "DIVERGENTES".



Regla 6. Antes de que una actividad pueda comenzarse deben haberse terminado todas las actividades que concurren al nodo donde dicha actividad comienza. Así, por ejmplo, en la figura siguiente la actividad (5-6) no puede ser comenzada mientras no se terminen las actividades (4-5) y (3-5).

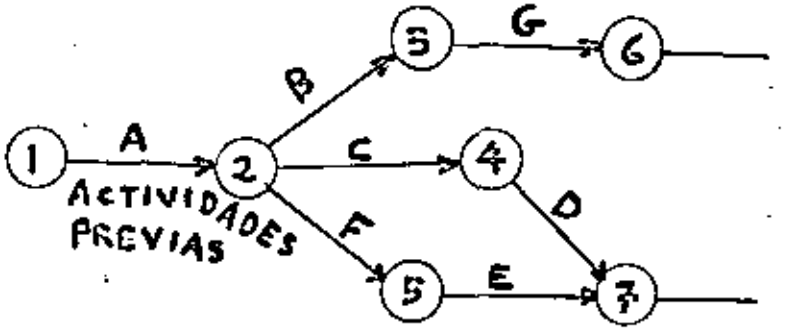


Regla 7. Como según la Regla 2 no podemos representar a dos actividades con los mismos números y en muchos casos ocurre que hay dos actividades y sólo dos que comienzan en un mismo nodo y terminan en un mismo nodo, se utilizan las "FLECHAS DE LIGA", adicionales, que no tienen duración, pero sí tienen utilidad para dar una secuencia lógica al diagrama de flechas.



INCORRECTO CORRECTO

Regla 8. En algunos casos es conveniente poner al principio de todo un diagrama de flechas una flecha de tiempo de iniciación o que corresponda a actividades previas del proyecto en sí. A esta flecha se le puede asignar o no, según convenga, un tiempo posteriormente.



Regla 9. Cuando se hace un diagrama de flechas debe tenerse especial cuidado en que las secuencias lógicas sean correctas. Es muy común cometer errores a este respecto.

Tenemos, por ejemplo, el caso de que exista una actividad "C" que depende de dos actividades "A" y "B" y una actividad "D", que depende exclusivamente de la actividad "A". Es fácil cometer un error dibujando el diagrama, como indica la figura siguiente:

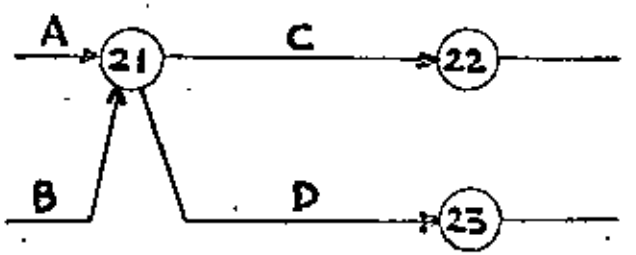
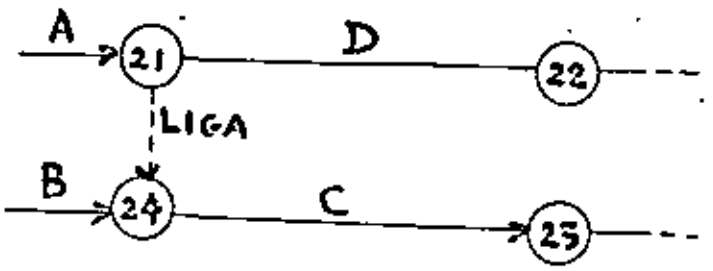


DIAGRAMA INCORRECTO

La forma correcta de dibujar el diagrama es diseñarlo tal como se indica a continuación, utilizando una flecha de liga, para dar la secuencia lógica:



Al realizar un proyecto existen siempre diferentes formas, a veces muy disímiles, de llevarlo a cabo. La preparación del diagrama de flechas y la programación posterior de las actividades nos permiten estudiar en el papel los diferentes caminos posibles de ejecución, antes del comienzo real de los trabajos, pudiéndose así escoger la mejor solución sin necesidad de realizar costosas experiencias prácticas para encontrarlo.

Por otra parte, como los diagramas de flechas sirven fundamentalmente para coordinar los trabajos de un proyecto, es indispensable que en la preparación de los mismos participen, con VOZ y VOTO, los sobrestantes, ingenieros o administradores que vayan a controlar los trabajos que se estan programando. En esta forma, al tener una participación directa y viva en la preparación del programa, lo sentirán como suyo y se interesarán más activamente en su realización y se sentirán más responsables del cumplimiento de las fechas establecidas.

6. ASIGNACION DE TIEMPOS A LAS ACTIVIDADES DEL DIAGRAMA DE FLECHAS.

La asignación de tiempos a las actividades del diagrama se puede ir haciendo a medida que se dibuja cada flecha, o bien, se puede terminar el diagrama completo para establecer todas las secuencias lógicas y, entonces, asignar la duración a cada actividad.

En páginas anteriores hemos indicado cuál es el proceso que debe seguirse para Planear y Programar el proyecto y allí se indicó que la duración de cada actividad dependerá, básicamente, de los recursos que decidamos utilizar para su realización.

Cuando se utiliza el método conocido como "C.P.M." la asignación de los tiempos se hace basándose en la experiencia de las personas que realizan la planeación, considerando que ya han participado en actividades similares a la considerada y que pueden estimar con bastante aproximación el valor medio que tendrá dicha actividad.

Hay, por otra parte, ciertos tipos de proyectos como, por ejemplo, el desarrollo de nuevos productos o de investigación, en los que hay mucha incertidumbre acerca de la posible duración de las actividades. Para resolver este problema, se ha desarrollado una solución estadística, que es la base del Sistema "PERT" y se funda en que la distribución de probabilidades de los tiempos de duración de actividades con mucha incertidumbre, sigue la distribución conocida como "DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES BETA", la que para ser utilizada requiere de tres estimaciones de tiempo para cada actividad:

<u>El tiempo optimista.</u> Es el tiempo menor en que se estima que determinada actividad puede ser realizada, o sea, el tiempo que tomaría realizarla si todo sucediera mejor de lo esperado.

<u>El tiempo más probable.</u> Es la mejor estimación del tiempo en que pueda realizarse una actividad, si todo ocurre normalmente.

<u>El tiempo pesimista.</u> Es el tiempo mayor que se estima que puede durar la actividad, o sea, el tiempo que tomaría si todo saliera mal. No debe considerarse en estos casos la posibilidad de catástrofes.

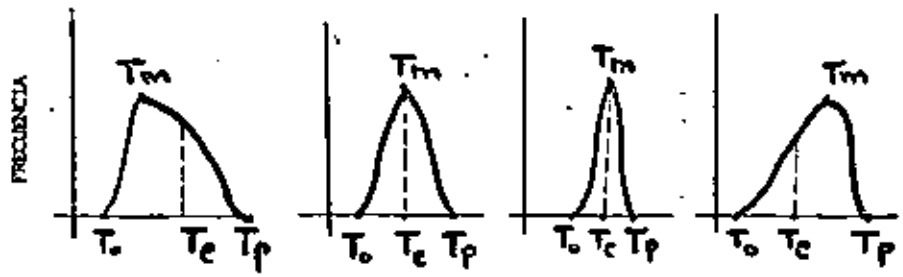
Cuando se hacen estimaciones de tiempo como las tres indicadas, se están estableciendo curvas de distribución de probabilidades como las que se indican en las figuras siguientes, donde:

T_o = el tiempo optimista.

T_m = el tiempo más probable.

T_p = el tiempo pesimista.

T_e = el tiempo esperado o medio.



Las posiciones relativas de T_e, T_m y T_p, en las curvas de distribución, dependen lógicamente de los valores numéricos que hayan sido dados por el programador.

El valor de T_e para cualquier tipo de distribución como los aquí estudiados es:

$$T_e = \frac{T_o + 4T_m + T_p}{6}$$

INCERTIDUMBRE Y VARIANCIA

Cuanto mayor sea la separación entre el tiempo optimista, y el pesimista, mayor será la incertidumbre acerca del tiempo en que realmente se ejecutará la actividad. El

concepto VARIANCIA nos da una medida de la incertidumbre. Cuando la VARIANCIA es grande hay mayor incertidumbre acerca de cual será el tiempo real de realización de una actividad.

Por otra parte, la duración de una actividad es una variable aleatoria, cuya distribución de probabilidad tiene características que dependen del grado de control que se tenga de los factores que intervienen en la ejecución de la actividad.

Una actividad bien controlada tiene una Varianza chica y se tiene una menor incertidumbre acerca del tiempo real en que va a realizarse.

Al calcular los diagramas de flechas, cualquiera que sea el método que se use para dar valor a la duración de las actividades, siempre se trabaja con un solo valor, ya sea el directamente estimado o el calculado como tiempo medio, usando el sistema del PERT.

7. CALCULO DE UN DIAGRAMA DE FLECHAS.

Antes de procedar al cálculo de un Diagrama de Flechas es conveniente definir algunos términos que se usarán en los cálculos.

t = tiempo directamente estimado o tiempo medio calculado a base de T_o, T_m y T_p.

FMP = Fecha más próxima en que puede ocurrir un evento.

FML = Fecha más lejana en que puede ocurrir un evento.

CMP = Comienzo más próximo de una actividad, o sea, la fecha más próxima en que pueda comenzar.

CML = Comienzo más lejano de una actividad, o sea, la fecha más lejana en que puede comenzar.

TMP = Terminación más próxima de una actividad, o sea, la fecha más próxima en que puede terminar.

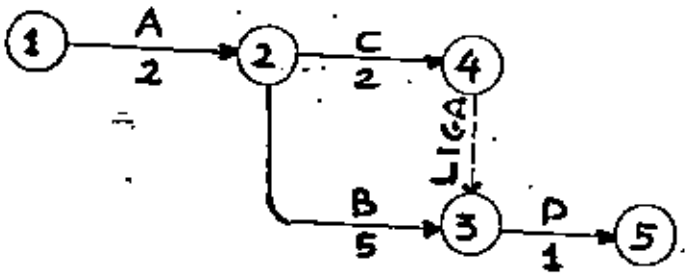
TML = Terminación más lejana de una actividad, o sea, la fecha más lejana en que puede terminar.

MT = Margen total de tiempo o tiempo flotante total.

ML = Margen libre de tiempo o tiempo flotante libre.

MI = Margen independiente, o tiempo flotante independiente.

Para mejor comprender el proceso de cálculo vamos a considerar el diagrama elemental que se indica a continuación, en el que hemos sustituído la descripción de las actividades, por una letra mayúscula.



En este caso al evento inicial lo hemos denominado (1) y a éste le corresponde un tiempo cero. En esta forma los tiempos, que pueden ser días, horas, minutos, o cualquiera otra unidad de tiempo, se calculan como las edades de las personas, ya que se considera que un niño no tiene un año sino hasta que no ha transcurrido el primer año.

El cálculo de los tiempos del diagrama de flechas se hace recorriendo ésta actividad por actividad, sin dejar ninguna, hasta llegar al evento final, en un camino de recorrido hacia adelante. Después se completan los cálculos haciendo, como veremos un recorrido semejante, pero en sentido contrario, desde el evento final hasta el inicial.

RECORRIDO HACIA ADELANTE.

Las reglas que deben seguirse para el cálculo del diagrama de flechas, en el recorrido hacia adelante son las siguientes:

1) La fecha más próxima en que puede ocurrir el evento inicial se hace igual a cero:

FMP = 0, para el evento inicial.

2) Se considera que cada actividad comienza en cuanto el evento anterior correspondiente tiene lugar, o sea, CMP de una actividad = FMP del evento que la preceda.

3) En los nodos concurrentes, la fecha más próxima en que puede ocurrir el evento correspondiente al nodo en cuestión, es la fecha más alejada de las terminaciones más próximas de todas las actividades que concurren a este nodo.

FMP = Fecha más próxima de un evento, es la más alejada de las terminaciones más próximas (TMP_1, TMP_2 ....TMP_n), para un evento concurrente, con n actividades que concurren.

Aplicando estas reglas al diagrama de la página 22 tenemos:

Nodo 1. Hacemos $FMP_1 = 0$

Actividad A, (1-2).-

$CMPA = FMP_1 = 0$

$TMPA = CMPA + t = 0 + 3 = 3$

Nodo 2. $FMP_2 = 3$, ya que antes del nodo 2 existe únicamente la actividad "A".

A continuación podemos seguir los cálculos por cualquiera de las dos rutas posibles, por 2-3, ó por 2-4; en este caso seguiremos por 2-3.

Actividad B, (2-3).-

$CMPB = FMP_2 = 3.$

$TMPB = CMPB + t = 3 + 2 = 5$

Nodo 3. $FMP_3 = TMPB = 5$

Actividad D, (3-5).-

$CMPD = FMP_3 = 5$

$TMPD = CMPD + t = 5 + 1 = 6$

Actividad C, (2-4).-

$CMPC = FMP_2 = 3$

$TMPC = CMPC + t = 3 + 4 = 7$

Nodo 4. $FMP_4 = TMPC = 7$

Actividad E, (4-5).-

$CMPE = FMP_4 = 7$

$TMPE = CMPE + t = 7 + 2 = 9$

Nodo 5. FMP_5 es el mayor de los tiempos TMP de las actividades (3-5) y (4-5) que concurren a este nodo.

Por lo tanto, $FMP_5 = 9$

Actividad F, (5-6).-

$CMPF = FMP_5 = 9$

$TMPF = CMPF + t = 9 + 2 = 11$

Nodo 6. $FMP_6 = TMPF = 11$

EL VALOR DE FMP_6 NOS DA LA DURACION TOTAL DEL DIAGRAMA DE FLECHAS.

En el caso que se pone como ejemplo, si se cumplen los tiempos de ejecución planeados, la duración total del proceso será de 11 unidades de tiempo.

RECORRIDO HACIA ATRAS

El objetivo que se persigue al recorrer el diagrama de flechas en sentido contrario al anterior es el de calcular la fecha más lejana en que pueda tener lugar cada evento y las fechas de terminación más lejana de las actividades del diagrama.

Para hacer estos cálculos se hacen las siguientes consideraciones:

1) La fecha más lejana en que puede tener lugar el evento final, debe ser igual a la fecha más próxima que se calculó en el recorrido hacia adelante.

Es decir:

$$FML_6 = FMP_6 = 11$$

2) El comienzo más lejano de cualquier actividad es igual a la fecha más lejana del evento que la sucede, menos la duración de la actividad en cuestión.

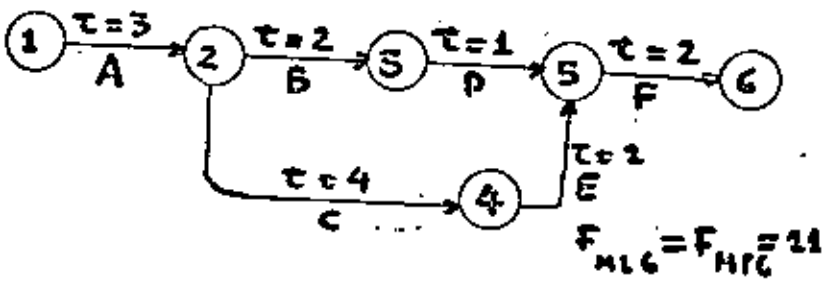
TML (De una actividad) = FML (Del evento posterior)

CML (De una actividad) = TML (De la misma act.) - t = FML - t

3) La fecha más lejana en que puede ocurrir un evento es la más cercana de las fechas de comienzo más lejano de las actividades que salen de ese evento.

FML (De un evento) = a la más cercana de las fechas más lejanas de comienzo de las actividades que se originan en dicho evento (CML_1, CML_2... CML_n) para n actividades.

Para mejor comprensión de las reglas vamos a aplicarlas al mismo ejemplo anterior:



Nodo 6. Hacemos $FML_6 = FMP_6 = 11$

Actividad F, (5-6).

$TMLF = FML_6 = 11$

$CMLF = TMLF - t = 11 - 2 = 9$

Nodo 5. $FML_5 = CMLF = 9$

Actividad D, (3-5).

$TMLD = FML_5 = 9$

$CMLD = TMLD - t = 9 - 1 = 8$

Actividad E, (4-5).

$TMLE = FML_5 = 9$

$CMLE = TMLE - t = 9 - 2 = 7$

Nodo 4. $FML_4 = CMLE = 7$

Nodo 3. $FML_3 = CMLD = 8$

Actividad B, (2-3).

$TMLB = FML_3 = 8$

$CMLB = TMLB - t = 8 - 2 = 6$

Actividad C, (2-4).-

$TMLC = FML_4 = 7$

$CMLC = TMLC - t = 7 - 4 = 3$

Nodo 2. La fecha más lejana en que puede ocurrir este evento es la menor de las fechas de comienzo más lejano de las actividades B y C.

Por lo tanto: $FML_2 = 3$

Actividad A, (1-2).-

$TMLA = FML_2 = 3$

$CMLA = TMLA - t = 3 - 3 = 0$

Este resultado final de CMLA = 0, nos sirve de comprobación de los cálculos, ya que $FMP_1 = FML_1 = 0$ en el evento inicial; de la misma forma que $FML_6 = FMP_6$, en el evento final.

CALCULO DEL MARGEN TOTAL, PARA CADA ACTIVIDAD.

El margen Total es igual a la diferencia entre la fecha más Lejana del Evento sucesor de una actividad y la fecha de terminación más próxima de la actividad en cuestión.

$$MT = FML - TMP$$

El Margen Total es, por lo tanto, el tiempo que puede retrasarse cualquier actividad, sin que se afecte el Comienzo más próximo o la fecha de ocurrencia de cualquier actividad o evento, del Camino Crítico del diagrama de flechas.

La definición anterior es equivalente a decir que el Margen Total es igual a la diferencia entre la Terminación más lejana y la Terminación más próxima de una actividad, o entre el Comienzo más lejano y el Comienzo más próximo de la misma.

$$MT = TML - TMP = CML - CMP$$

El Margen total es el número de unidades de tiempo que faltan para que la actividad se vuelva crítica.

El Margen Total es, en general, el número de unidades de tiempo que puede tomar adicionalmente el tiempo de realización de una actividad, sin causar un retraso, o sea, sin aumentar, la fecha esperada de cualquier evento, que se encuentre en la Ruta Crítica.

En nuestro ejemplo anterior las actividades A, C, E y F se encuentran en la Ruta Crítica y no tienen por lo tanto Margen Total. En cambio, las B y D sí tienen Margen Total, que es, siguiendo los conceptos expresados:

Para la actividad B (2-3).-

$$MT = TMLB - TMPB = 8 - 5 = 3$$

ó también: $MT = CMLB - CMPB = 6 - 3 = 3$

ó también: $MT = FML_3 - TMPB = 8 - 5 = 3$

Para la actividad D (3-5).-

Siguiendo nada más uno de los caminos de cálculo indicados:

$$MT = CMLD - CMPD = 8 - 5 = 3$$

Se puede ver que cuando dos actividades están en serie, como la B y D, tienen el mismo Margen Total. En este caso, constituyen, además, la única Ruta Subcrítica del diagrama en cuestión.

CALCULO DEL MARGEN LIBRE, PARA CADA ACTIVIDAD.

Las únicas actividades que tienen Margen Libre son aquellas que concurren a un nodo y no pertenecen a ninguna Ruta Crítica.

El Margen Libre es igual a la diferencia entre la fecha más próxima del evento posterior de una actividad, y la fecha correspondiente a la terminación más próxima de la misma actividad.

O sea: $ML = FMP - TMP$

El Margen Libre, es por lo tanto, el tiempo que puede representarse la terminación de una actividad, sin afectar al Comienzo más próximo de cualquier otra actividad o a la fecha más próxima de cualquier evento en el diagrama de flechas correspondientes.

En nuestro ejemplo, la única actividad que tiene Margen Libre es la D (3-5), por ser la única actividad que llega a un nodo concurrente y no está, al mismo tiempo, en una Ruta Crítica.

En la actividad D (3-5).-

$$ML = FMP_5 - TMPD = 9 - 6 = 3$$

Este tiempo es también el tiempo que puede tomar la actividad D (3-5) adicionalmente, sobre su Terminación más próxima esperada, sin que el evento (5) deje de realizarse en su fecha más próxima esperada.

Aplicando la fórmula de ML a cualquiera de las demás actividades del diagrama que sirvió de ejemplo, encontramos que en todos los casos ML = 0.

Hagamos el cálculo, por ejemplo, para la actividad C:

$$MC = FMP_4 - TMPC = 7 - 7 = 0$$

Es interesante llamar la atención sobre el hecho de que el Margen Total es siempre igual o Mayor que el Margen Libre, ya que:

$$MT = FML - TMP$$

y

$$ML = FMP - TMP$$

y FML es siempre mayor que FMP.

En la actividad D (3-5).-

$$ML = FMP_5 - TMPD = 9 - 6 = 3$$

Este tiempo es también el tiempo que puede tomar la actividad D (3-5) adicionalmente, sobre su Terminación más próxima esperada, sin que el evento (5) deje de realizarse en su fecha más próxima esperada.

Aplicando la fórmula de ML a cualquiera de las demás actividades del diagrama que sirvió de ejemplo, encontramos que en todos los casos ML = 0.

Hagamos el cálculo, por ejemplo, para la actividad C:

$$ML = FMP_4 - TMPC = 7 - 7 = 0$$

Es interesante llamar la atención sobre el hecho de que el Margen Total es siempre igual o Mayor que el Margen Libre, ya que:

$$MT = FML - TMP$$

y

$$ML = FMP - TMP$$

y FML es siempre mayor que FMP.

CALCULO DEL MARGEN INDEPENDIENTE, PARA CADA ACTIVIDAD.

Las únicas actividades que pueden tener Margen Independiente positivo son aquellas que llegan a un nodo concurrente y no están en una ruta crítica.

Solamente los Margenes Independientes positivos nos sirven en el trabajo de programación.

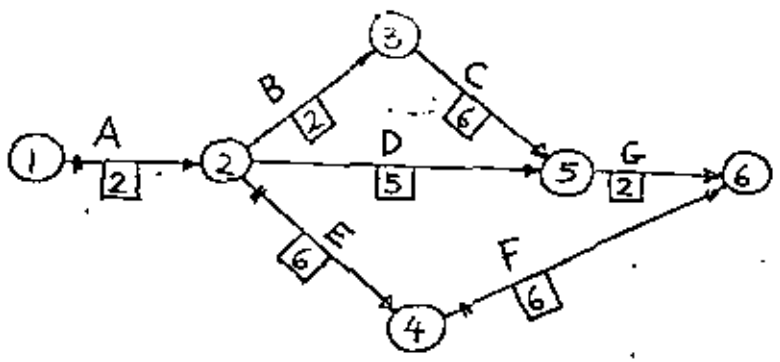
El Margen Independiente se obtiene restando a la fecha más próxima del evento posterior de una actividad, la suma de la fecha más lejana del evento anterior de la misma actividad y la duración de ésta.

O sea: para la actividad: X (M.N)

$$MIX = FMPX - (FMLM + t)$$

Cuando una actividad tiene Margen Independiente, aunque las actividades que concurren a su nodo inicial terminen en su terminación más lejana, haciendo que dicho evento tenga lugar en su Fecha Más Lejana, de todas maneras esta actividad puede retrasarse el tiempo correspondiente a su Margen Independiente, sin afectar a la fecha más próxima de su evento terminal.

En la figura siguiente, sólo la actividad D tiene Margen Independiente positivo. Las duraciones se indican en los rectángulos que aparecen debajo de cada fecha.



En el diagrama anterior, la Ruta Crítica corresponde a las actividades A-E-F, con un tiempo total para todo el diagrama de: 2 + 6 + 6 = 14.

Si calculamos el diagrama anterior obtenemos lo que se muestra en la siguiente tabla:

Actividad	Duración	CMP	CML	TMP	TML	MT	ML	MI	R.C.
A	2	0	0	2	2	0	0	0	X
B	2	2	4	4	6	2	0	0	
C	6	4	6	10	12	2	0	-2	
D	5	2	7	7	12	5	3	3	
E	6	2	2	8	8	0	0	0	X
F	6	8	8	14	14	0	0	0	X

Puede observarse en los datos de la tabla anterior que para las actividades que están en la ruta crítica, todos los márgenes son iguales a cero. Y que, por otra parte, las actividades que están en serie, a través de nodos no concurrentes, tienen los mismos márgenes totales, tal como se muestra en las actividades B y C. Es bueno recordar aquí que "nodo concurrente" es aquel al que llegan más de una actividad y "nodo no concurrente", aquel al que sólo llega una actividad.

8. EJEMPLO DE PREPARACION DE UN DIAGRAMA DE FLECHAS.

Como ejemplo de aplicación del método de Ruta Crítica vamos a utilizar la planeación de un trabajo de mantenimiento consistente en el reemplazo de un tramo de tubería de vapor que se deriva del cabezal principal de salida de vapor de una caldera para una serie de calentadores de una fábrica.

Vamos a suponer que esta tubería es suspendida y que hay varias válvulas al nivel del piso conectadas a es

ta sección particular de la tubería y sabemos que algunas de ellas están defectuosas. El trabajo consiste en la remoción de la tubería y de las válvulas viejas, la colocación de la nueva tubería y de nuevas válvulas, realizar el nuevo aislamiento de la tubería y finalmente hacer limpieza general de las instalaciones.

La forma en que construyamos el diagrama de flechas correspondiente a este trabajo, depende fundamentalmente de nuestra experiencia anterior al respecto. Si el ingeniero y el o los sobrestantes que van a dirigir la obra han realizado conjuntamente trabajos similares es muy posible que de mutuo acuerdo y paso a paso dibujen de inmediato el diagrama de flechas correspondiente a la secuencia lógica de las actividades a realizar.

Cuando el trabajo es relativamente nuevo para los participantes, puede ser conveniente hacer una lista inicial de las diferentes actividades que se considere será necesario llevar a cabo. No es necesario escribir las actividades en el orden cronológico en que deberán realizarse. Esta lista es una simple guía de lo que se va a hacer. En nuestro ejemplo esta lista podría ser la siguiente:

1. Erigir y después desmontar una obra falsa.
2. Organizar la cuadrilla de trabajo.
3. Remover la tubería vieja y las válvulas viejas.
4. Desconectar la línea antigua y desconectar las válvulas.
5. Colocar la nueva tubería y las nuevas válvulas.
6. Estimar y hacer un esquema del trabajo que debe hacerse.
7. Pedir los materiales.
8. Prefabricar las secciones de la tubería antes de colocarlas en su lugar.
9. Aislar la nueva tubería.
10. Hacer prueba de presión a la nueva tubería.

El diagrama de flechas podemos iniciarlo con una actividad inicial que llamaremos "tiempo de iniciación". A partir de este punto debemos dibujar las flechas que correspondan a las actividades que puedan desarrollarse simultáneamente. Para ello nos reuniremos alrededor de una mesa con los ingenieros y sobrestantes que van a llevar a cabo el trabajo. Como ya lo hemos indicado es indispensable que en la preparación del diagrama de barras y en la asignación posterior de los tiempos correspondientes a dichas actividades, participen los que se van a responsabilizar de su ejecución. Si así lo hacemos ellos tomarán la planeación y programación como suya y procurarán su cumplimiento.

Como se muestra en la figura 1 las dos primeras actividades que pueden realizarse simultáneamente ya que no son dependientes una de otra son: "Suspender uso de la línea vieja" y "Reunir cuadrilla para comenzar el trabajo".

A partir de la terminación de estas dos actividades iremos elaborando en forma sistemática el diagrama de flechas, tal como se muestra en la figura 3.

El diagrama final se muestra en la figura 3 en que se indican la totalidad de los trabajos necesarios. Al terminar el diagrama es necesario numerar los nodos, con objeto de fijar los nodos iniciales y finales de cada actividad, lo cual es indispensable para el cálculo de los tiempos del diagrama por medio de una computadora o manualmente

Por tratarse de un trabajo de tipo general en el que hay en la mayoría de los casos una gran experiencia al respecto, la asignación de tiempos se hace en forma determinística, de acuerdo con los recursos de que se disponga y usando el criterio de los participantes, discutiendo razonadamente la duración de cada actividad y llegando siempre a un acuerdo unánime negociado, entre todos los participantes.

da, etc. según sea la máquina computadora que se esté utilizando dándonos finalmente a la salida de la misma o en una máquina auxiliar, los resultados impresos.

Los resultados que da la máquina son, en general, los mismos que se han calculado en las páginas anteriores.

Existe un método práctico para hacer el cálculo manual rápido de los diagramas de flechas. La base del método está en la forma como se dibuja el diagrama y en como se anotan los resultados de los cálculos, sobre el mismo.

La forma en que se dibujan los nodos y las flechas así como los valores que sobre éstos se anotan se indican en la siguiente figura: Ver figura 4).

Usando estos símbolos, se dibuja primero el diagrama de flechas, siguiendo la lógica del proceso y se le anotan en el lugar indicado los números de los nodos y los tiempos de duración estimada o calculada de cada una de las actividades.

Se hacen dos pasos de cálculo, semejantes a los indicados anteriormente, primero hacia adelante y después hacia atrás. El procedimiento es el siguiente:

1) La fecha más próxima del evento inicial se hace igual a cero.

$$F_{MP} = 0$$

2) Se calcula la terminación más próxima de cada actividad sumando a la Fecha más próxima del evento anterior, la duración de la actividad.

$$T_{MP} = F_{MP} + t$$

El resultado se anota en la punta de la flecha correspondiente a la actividad en cuestión.

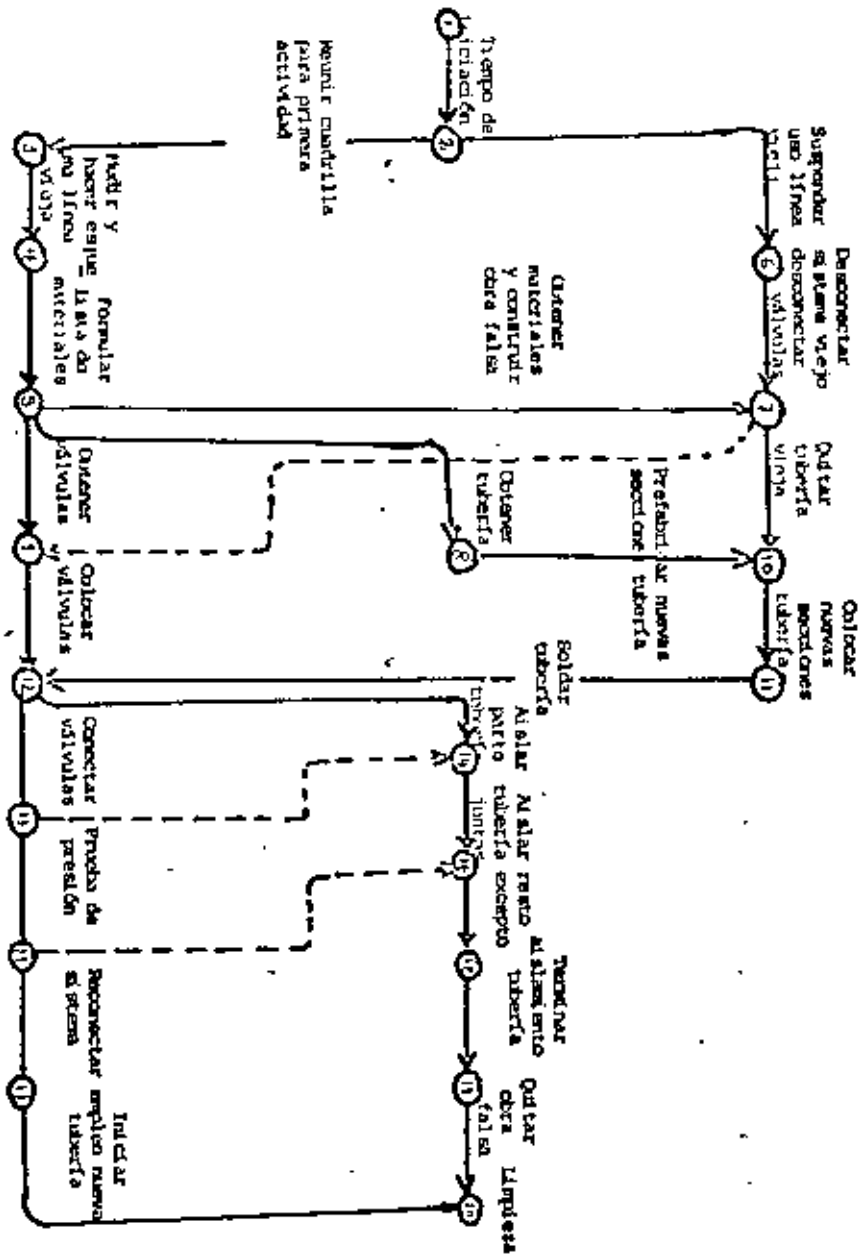


FIGURA - 3 -

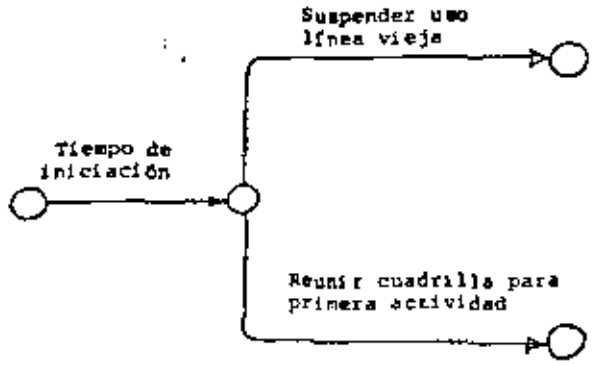


FIGURA - 1 -

9. CALCULO DE DIAGRAMAS DE FLECHAS CON COMPUTADORAS Y EN FORMA MANUAL.

En la actualidad existen diversos programas de biblioteca para computadoras, que permiten hacer todos los cálculos de los diagramas de flechas en forma muy rápida.

Los datos necesarios para utilizar estos programas son en términos generales:

a) El número del nodo anterior y posterior de cada actividad.
b) La descripción de cada actividad.
c) La duración de cada actividad, ya sea con un tiempo único estimado o los tres tiempos (Pesimista, Optimista y Más Probable) según lo pida el programa utilizado.

Se hace una tabla con estos datos y siguiendo el Formato que indica el Libro de Instrucciones del programa, se perforan las tarjetas correspondientes. El Formato nos dice en que lugares exactos de la tarjeta deben de ir cada uno de los datos.

Al procesar estos datos en la computadora correspondiente, se obtienen los resultados, que pueden salir por máquina de escribir, por tarjetas perforadas, por cinta perfora

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CALCULO DEL DIAGRAMA DE FLECHAS DE LA FIGURA ANTERIOR

ACTIVIDAD	DURACION	DESCRIPCION	C H P	C M L	T M P	T M L	M T	H L	RUTA CRITICA
1-2	2	A							
2-3	5	C							
1-6	3	D							
1-4	3	B							
4-6	5	F							
4-5	1	G							
5-7	3	H							
6-7	4	E							

TABLA I. PARA ANOTAR LOS RESULTADOS DEL CALCULO O DEL DIAGRAMA DE FLECHAS DE LA FIGURA 5.

FIGURA - 2 -

3) Para cada evento se determina su fecha más próxima de ocurrencia, que es la fecha más alejada de todas las Terminaciones más próximas de las actividades que concurren al evento.

Es decir, se selecciona para F_{MP} (Fecha más próxima) del evento, la más alejada de las T_{MP} Terminaciones más próximas) que concurren al evento y el resultado se anota en el lugar correspondiente.

En el recorrido hacia atrás, se hace lo siguiente:

1) Se hace la fecha más lejana del evento final igual a la Fecha más próxima del mismo.

$$F_{ML} = F_{MP}$$

2) Para cada una de las actividades que concurren en un evento, cuya fecha más lejana de ocurrencia permitida es F_{ML}, se calcula el Comienzo más lejano, restando a F_{ML} el tiempo de duración de la actividad.

$$C_{ML} = F_{ML} - t$$

El resultado se anota en la cola de la flecha correspondiente.

3) Para cada evento se determina su Fecha más lejana de ocurrencia permitida que es la fecha más cercana de todos los Comienzos más lejanos de las actividades que tienen como orígen el evento en cuestión. El resultado se anota en el lugar correspondiente.

Una vez que se han hecho los dos recorridos del diagrama de flechas, se calcula el Margen Total de cada actividad, sacando la diferencia entre el Comienzo más lejano y el Comien-.

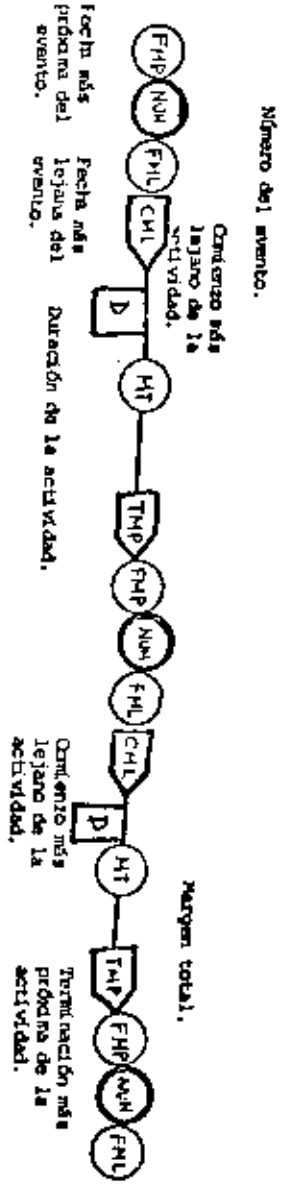


FIGURA - 4 -

zo más próximo de cada actividad, o entre la fecha más lejana del evento posterior y la Terminación más próxima de la actividad en cuestión.

$$MT = T_{ML} - T_{MP} = F_{ML} - T_{MP}$$

Este valor se anota en el círculo central de la flecha correspondiente.

El Margen Libre se calcula como la diferencia entre la Fecha más próxima del evento final de una actividad y Terminación más próxima de la actividad en cuestión.

$$ML = F_{MP} - T_{MP}$$

Y se anota abajo del círculo que contiene al Margen Total.

Con objeto de que el lector pueda practicar el cálculo de un diagrama de flechas, se adjuntan dos copias de la Figura 5 y de la Tabla I.

Para llevarlo a cabo, favor de seguir paso a paso los recorridos hacia adelante y hacia atrás que se acaban de explicar en los párrafos anteriores.

10. CALCULOS DE DIAGRAMAS DE RUTA CRITICA CON ACTIVIDADES EN LOS NODOS.

Otra forma de representar un diagrama de actividades, cuyo se ha extendido ya mucho en la actualidad, es el de "Actividades en los Nodos". Como su nombre lo indica y a diferencia del método clasico ya analizado, en este caso las actividades se representan en los nodos y las flechas se utilizan únicamente para establecer las secuencias lógicas entre actividades.

En la figura 6 se representa un diagrama de flechas correspondiente a las actividades a realizar para llevar a cabo un estudio de mercado y en la Figura 7 se representa el mismo diagrama, dibujado con actividades en los nodos.

Nótese que en el diagrama con actividades en los nodos no se muestra ninguna actividad de liga. En realidad lo que ocurre es que en este tipo de representación, todas las actividades son de liga.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La ventaja principal de la preparación de diagramas con actividades en los nodos es su gran simplicidad. La preparación se facilita mucho por el hecho de no tener que utilizar flechas de liga.

Para su utilización generalizada, este procedimiento tiene el inconveniente que existen muchos menos programas de computadora diseñados para utilizarlo, ya que la gran mayoría de los existentes emplean el sistema habitual de actividades en las flechas.

La experiencia del que esto escribe es que la preparación de diagramas de Ruta Crítica se simplifica enormemente con el método de actividades en los nodos, ya que el programador puede utilizar hojas preparadas en que están dibujados una serie de rectángulos sobre los que se escriben las descripciones de las actividades y sus duraciones, estableciéndose muy fácilmente las secuencias lógicas, por medio de un lápiz plomo. Es muy fácil entrenar a personal de oficina, para que a partir de estos diagramas llene hojas de codificación para computadora, que después se perforan en tarjetas o se meten directamente a una computadora a través de una terminal, ya sea directamente, o por el intermedio de cintas o discos.

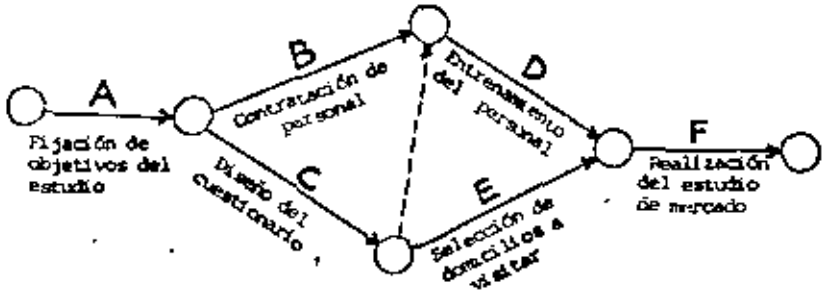


FIGURA - 6 -

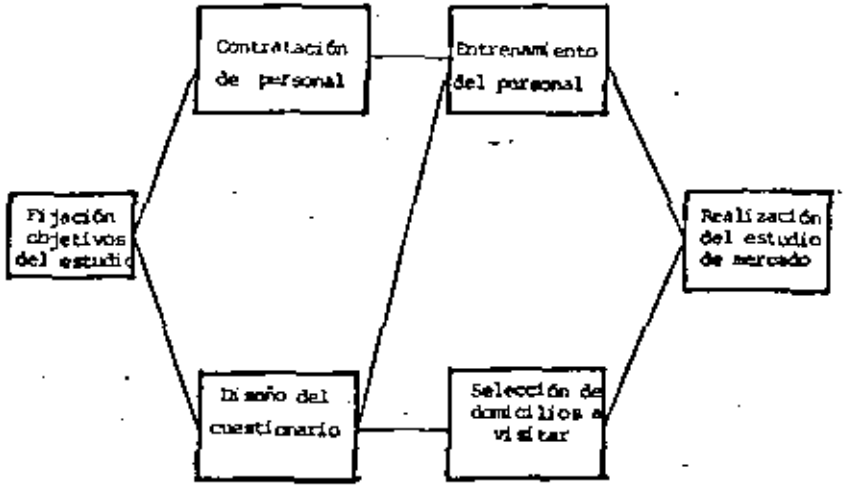


FIGURA - 7 -

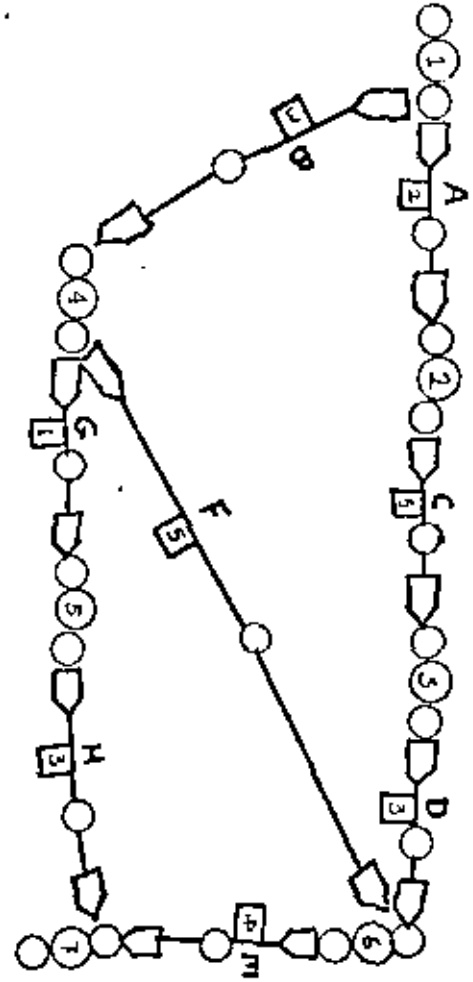


FIGURA - 5 -

Para el cálculo manual de los diagramas se emplean los símbolos que se muestran en la figura 7A.

En la figura 8 se muestra un diagrama con actividades en los nodos, con todos los valores ya calculados. Los pasos del cálculo han sido los siguientes:

Siendo la actividad 1 la actividad inicial las flechas que salen de este nodo indican que cuando la actividad 1 se termine se podrán comenzar las 2 y 4. Al terminarse estas dos actividades será posible comenzar la actividad 3. Para que se pueda comenzar la actividad 5 es solamente necesario que se termine la 4. Finalmente, cuando las actividades 5 y 3 hayan ambas terminado, se podrá comenzar la actividad 6.

En el recorrido hacia adelante, el Comienzo Más Próximo de la actividad inicial 1 es cero y la TMP1 = 0 + 5 = 5. Para la siguiente actividad 2, por ejemplo, CMP = 5, valor que se encuentra regresando hacia atrás de la flecha que proviene del nodo 1. Cuando varias actividades convergen a una actividad, su CMP es la fecha más alejada de las Terminaciones más próximas de las actividades que concurren a este nodo. En esta forma, para la actividad 6, el Comienzo Más Próximo es el valor mayor seleccionado entre 20 y 18, es decir: 20.

El recorrido hacia atrás se comienza con la actividad terminal. Se hace a su Terminación Más Lejana igual a la Terminación más próxima. Para la actividad 6 la TML=40 y su CML6 = 40 - 20 = 20.

Para encontrar las TML de las demás actividades, recórranse de regreso cada una de las flechas que llegan a cada actividad y tómese el menor de los CML de las puntas de las flechas. Si es una sola flecha, hágase la TML de la ac-

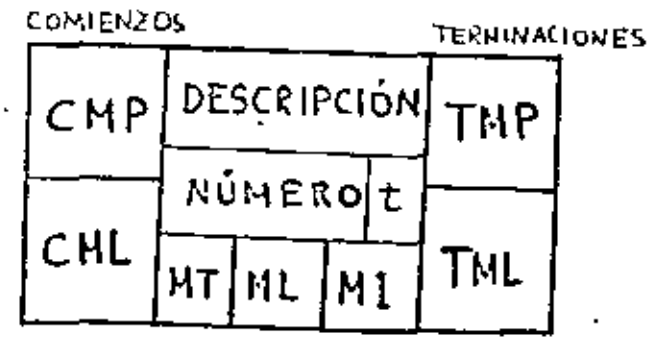


FIGURA - 7A -

tividad que está en la cola de la flecha igual al CML de la actividad que está en la punta de la flecha. Si son varias flechas, como en el caso de la actividad 1, por ejemplo, el CML1 = 5, ya que los Comienzos Más Lejanos correspondientes a las puntas de las flechas que salen de 1, son ocho y cinco, y elegimos el valor menor, o sea, 5. El Margen Total de cada actividad lo calculamos en la forma habitual, como la diferencia entre el CML y el CMP de cada actividad, o como la diferencia entre la TML y la TMP, que nos da el mismo valor. El cálculo del Margen Libre de una actividad es un poco más difícil. Recordando la fórmula que nos daba el Margen Libre, en el caso de las actividades en las flechas, tenemos que para una actividad X (M,N):

$$MLX = FMPN - TMPX$$

La Fecha Más Próxima de N que es el evento posterior de la actividad X, la obtenemos fácilmente, como la más cercana de las fechas correspondientes a los CMP's de las actividades que siguen al evento en cuestión. Por ejemplo, para la actividad 4, el comienzo más próximo más temprano de las actividades que siguen a ésta, es el menor de los CMP's correspondientes, o sea, es 15. (CMP = FMP = 15) y la TMP4 = 15. Por lo tanto, el Margen Libre para la actividad 4 es ML4 = 15 - 15 = 0. Siguiendo el mismo procedimiento para la actividad 2, obtenemos: ML2 = 15-12 = 3.

Para el cálculo del Margen Independiente, recordemos que para una actividad X (M, N), es igual a:

$$MIX = FMPN - (FMLM + t)$$

Ya hemos visto en el párrafo anterior como se calcula FMPN. Debemos recordar que aunque, en este método de cálculo, el evento no tenga una representación gráfica, sí

que teniendo un significado real que está implícito en el diagrama correspondiente.

De acuerdo con esta idea, el Margen Independiente de 2, se calcula:

$$MI2 = 15 - (5 + 7) = 3$$

En la misma forma:

$$MI5 = 20 - (15 + 3) = 2$$

II. COMPRESION DE LAS REDES

Como se indicó en páginas anteriores ocurre muchas veces que la duración calculada de un proyecto, no coincida con la duración de compromiso o de contrato, por lo que es necesario volver a revisar las redes de actividades para ver la forma de reducir el tiempo total del proyecto, para hacerlo igual o menor al marcado por la fecha citada de contrato.

En algunos casos es suficiente una revisión de los tiempos de las actividades críticas, que contemplados con la mira de precisar más los tiempos correspondientes, pueden ser fácilmente reducibles, con lo que el problema puede ser resuelto de inmediato.

Debe sin embargo, ponerse especial atención en el hecho, de que en muchos casos la diferencia en el tiempo total entre la Ruta Crítica y la primera Subcrítica puede ser muy pequeña, es decir, que la Holgura Total de la Subcrítica puede ser sólamente de uno a dos días y que al reducir en esa misma cantidad el tiempo total de la Ruta Crítica, la Subcrítica se vuelve Crítica también y debe ser analizada en una forma semejante, siendo así ya necesario reducir simultáneamente las dos Rutas, para poder disminuir el tiempo total del proyecto.

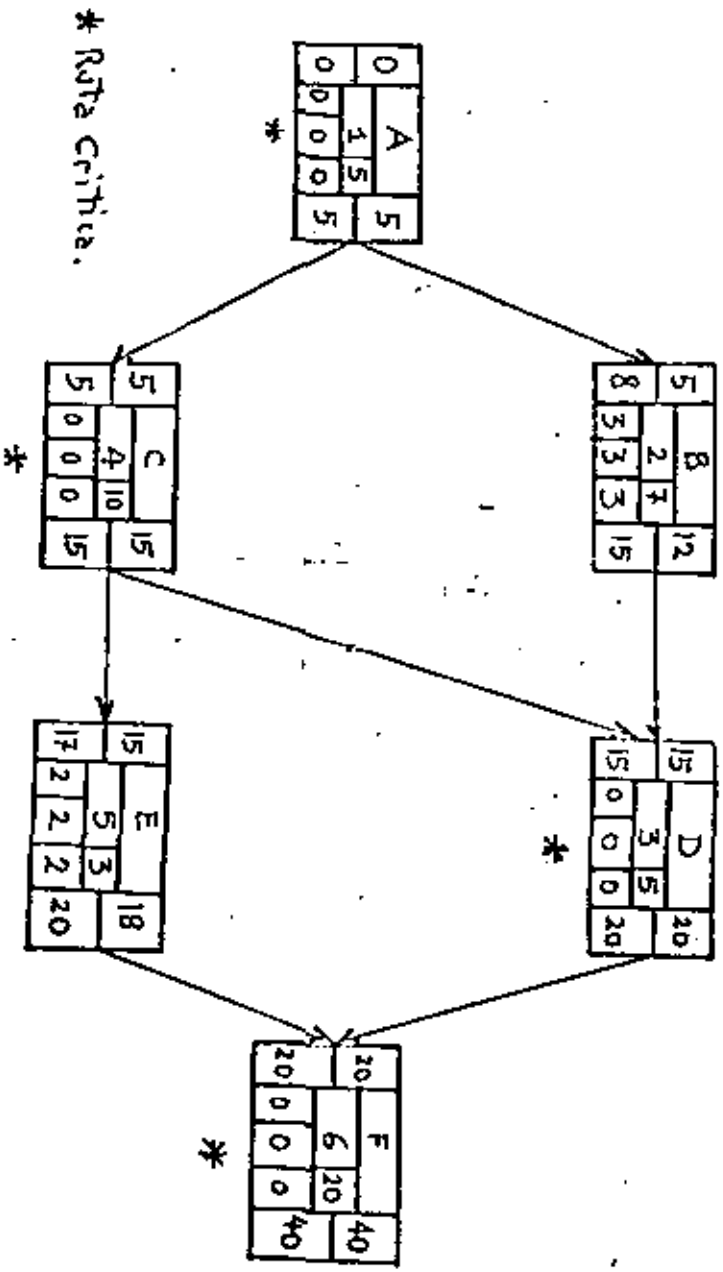


FIGURA - 8 -

Un criterio que es interesante destacar es el de que en muchos casos al estimar el tiempo medio de una actividad que está en serie con otras actividades, consideramos ciertas condiciones particulares que son posibles en cada una de dichas actividades por separado, como por ejemplo, la contingencia de que en cualquiera de las mismas se presente lluvia. Analizando cada una de las actividades por separado esto es admisible y lógico, pero al estudiar el problema en su conjunto debe hacerse un reajuste de los tiempos. Si tenemos por ejemplo tres actividades en serie, en cada una de las cuales existe una probabilidad de que llueva de 0.8 y dado que la posibilidad de lluvia en cada caso es independiente de la posibilidad de lluvia en el conjunto de las tres actividades en serie es de: 0.8 x 0.8 x 0.8 = 0.51, lo cual nos puede dar la pauta para una inmediata disminución de los tiempos de cualquiera de las actividades que forman la secuencia.

Ya sabemos que sólo una pequeña fracción de los trabajos de un proyecto son críticos y que para disminuir el tiempo total del mismo nada ganamos con acelerar las actividades no críticas. La experiencia muestra que quienes aceleran un trabajo sin la ayuda del C.P.M. o el P.E.R.T. invariablemente desperdician una gran cantidad de dinero, acelerando trabajos que no son críticos.

Por otra parte debe comprenderse que para acortar una secuencia crítica de actividades, no es conveniente acelerar sin previo estudio una actividad cualquiera. El mismo número de días puede ser ahorrado de muchas maneras, unas más baratas y otras más caras.

Curvas de Costo-Tiempo.

Una actividad cualquiera de un proyecto puede ser ejecutada en tiempos muy diferentes según sea la organización del trabajo y los recursos que en éste se apliquen.

tividad que está en la cola de la flecha igual al CML de la actividad que está en la punta de la flecha. Si son varias flechas, como en el caso de la actividad 1, por ejemplo, el CML1 = 5, ya que los Comienzos Más Lejanos correspondientes a las puntas de las flechas que salen de 1, son ocho y cinco, y elegimos el valor menor, o sea, 5. El Margen Total de cada actividad lo calculamos en la forma habitual, como la diferencia entre el CML y el CMP de cada actividad, o como la diferencia entre la TML y la TMP, que nos da el mismo valor. El cálculo del Margen Libre de una actividad es un poco más difícil. Recordando la fórmula que nos daba el Margen Libre, en el caso de las actividades en las flechas, tenemos que para una actividad X (M,N):

$$MLX = FMPN - TMPX$$

La Fecha Más Próxima de N que es el evento posterior de la actividad X, la obtenemos fácilmente, como la más cercana de las fechas correspondientes a los CMP's de las actividades que siguen al evento en cuestión. Por ejemplo, para la actividad 4, el comienzo más próximo más temprano de las actividades que siguen a ésta, es el menor de los CMP's correspondientes, o sea, es 15. (CMP = FMP = 15) y la TMP4 = 15. Por lo tanto, el Margen Libre para la actividad 4 es ML4 = 15 - 15 = 0. Siguiendo el mismo procedimiento para la actividad 2, obtenemos: ML2 = 15-12 = 3.

Para el cálculo del Margen Independiente, recordemos que para una actividad X (M, N), es igual a:

$$MIX = FMPN - (FMLM + t)$$

Ya hemos visto en el párrafo anterior como se calcula FMPN. Debemos recordar que aunque, en este método de cálculo, el evento no tenga una representación gráfica, si

que teniendo un significado real que está implícito en el diagrama correspondiente.

De acuerdo con esta idea, el Margen Independiente de 2, se calcula:

$$MI2 = 15 - (5 + 7) = 3$$

En la misma forma:

$$MI5 = 20 - (15 + 3) = 2$$

11. COMPRESION DE LAS REDES

Como se indicó en páginas anteriores ocurre muchas veces que la duración calculada de un proyecto, no coincide con la duración de compromiso o de contrato, por lo que es necesario volver a revisar las redes de actividades para ver la forma de reducir el tiempo total del proyecto, para hacerlo igual o menor al marcado por la fecha citada de contrato.

En algunos casos es suficiente una revisión de los tiempos de las actividades críticas, que contemplados con la mira de precisar más los tiempos correspondientes, pueden ser fácilmente reducibles, con lo que el problema puede ser resuelto de inmediato.

Debe sin embargo, ponerse especial atención en el hecho, de que en muchos casos la diferencia en el tiempo total entre la Ruta Crítica y la primera Subcrítica puede ser muy pequeña, es decir, que la Holgura Total de la Subcrítica puede ser sólamente de uno a dos días y que al reducir en esa misma cantidad el tiempo total de la Ruta Crítica, la Subcrítica se vuelve Crítica también y debe ser analizada en una forma semejante, siendo así ya necesario reducir simultáneamente las dos Rutas, para poder disminuir el tiempo total del proyecto.

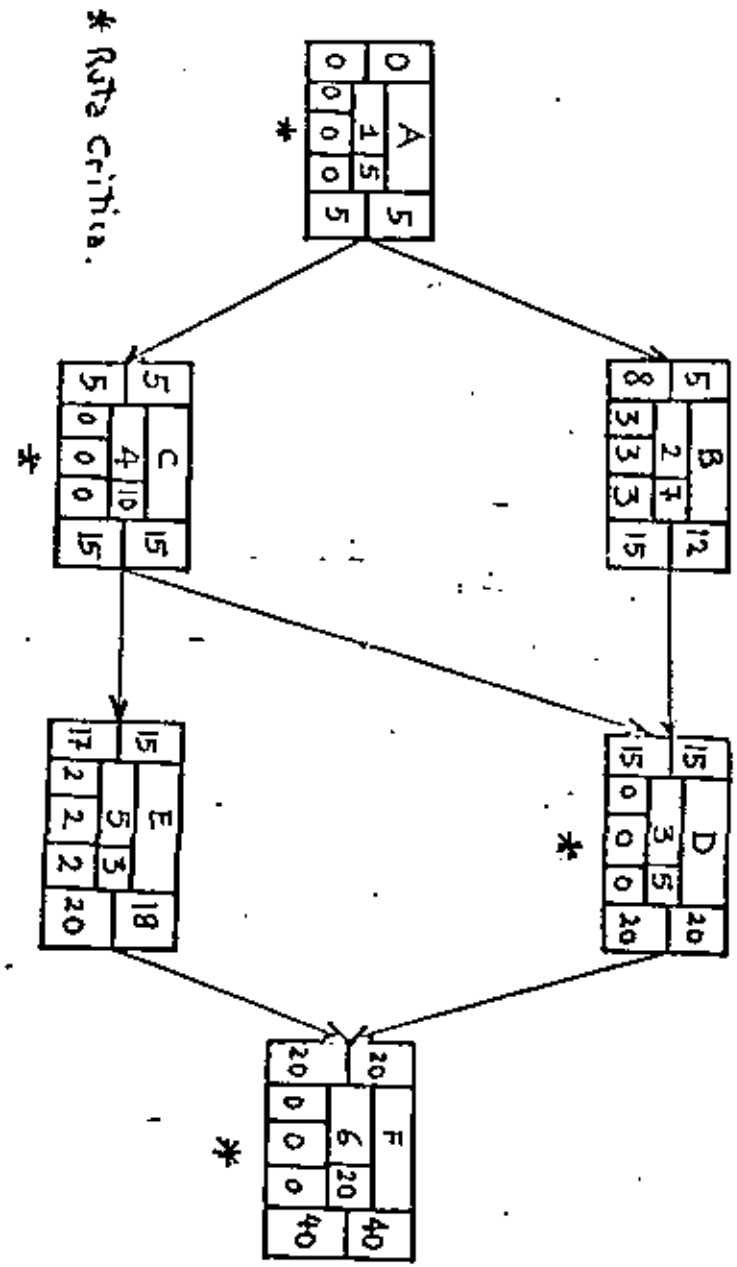


FIGURA - 8 -

Un criterio que es interesante destacar es el de que en muchos casos al estimar el tiempo medio de una actividad que está en serie con otras actividades, consideramos ciertas condiciones particulares que son posibles en cada una de dichas actividades por separado, como por ejemplo, la contingencia de que en cualquiera de las mismas se presente lluvia. Analizando cada una de las actividades por separado esto es admisible y lógico, pero al estudiar el problema en su conjunto debe hacerse un reajuste de los tiempos. Si tenemos por ejemplo tres actividades en serie, en cada una de las cuales existe una probabilidad de que llueva de 0.8 y dado que la posibilidad de lluvia en cada caso es independiente de la posibilidad de lluvia en el conjunto de las tres actividades en serie es de: 0.8 x 0.8 x 0.8 = 0.51, lo cual nos puede dar la pauta para una inmediata disminución de los tiempos de cualquiera de las actividades que forman la secuencia.

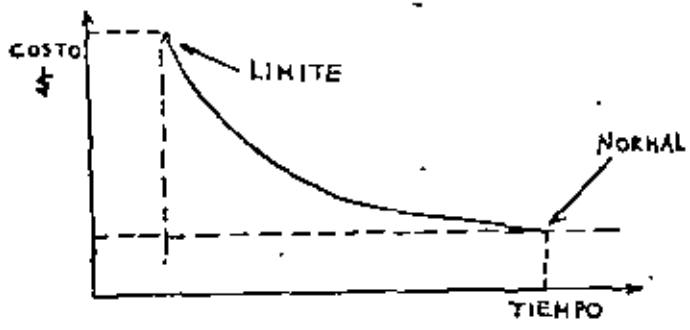
Ya sabemos que sólo una pequeña fracción de los trabajos de un proyecto son críticos y que para disminuir el tiempo total del mismo nada ganamos con acelerar las actividades no críticas. La experiencia muestra que quienes aceleran un trabajo sin la ayuda del C.P.M. o el P.E.R.T. invariablemente desperdician una gran cantidad de dinero, acelerando trabajos que no son críticos.

Por otra parte debe comprenderse que para acortar una secuencia crítica de actividades, no es conveniente acelerar sin previo estudio una actividad cualquiera. El mismo número de días puede ser ahorrado de muchas maneras, unas más baratas y otras más caras.

Curvas de Costo-Tiempo.

Una actividad cualquiera de un proyecto puede ser ejecutada en tiempos muy diferentes según sea la organización del trabajo y los recursos que en éste se apliquen.

Con la experiencia obtenida en trabajos similares anteriores o haciendo un estudio de tiempos y movimientos de la actividad en cuestión, con criterio práctico, se pueden obtener curvas de Costo-Tiempo, como la que se muestra en la siguiente figura:



La curva mostrada es típica para la mayor parte de los proyectos y puede observarse que una actividad puede realizarse en un tiempo menor del normal, mediante incrementos casi despreciables del costo correspondiente, debido a la forma de la curva, muy aplastada en la proximidad del punto normal.

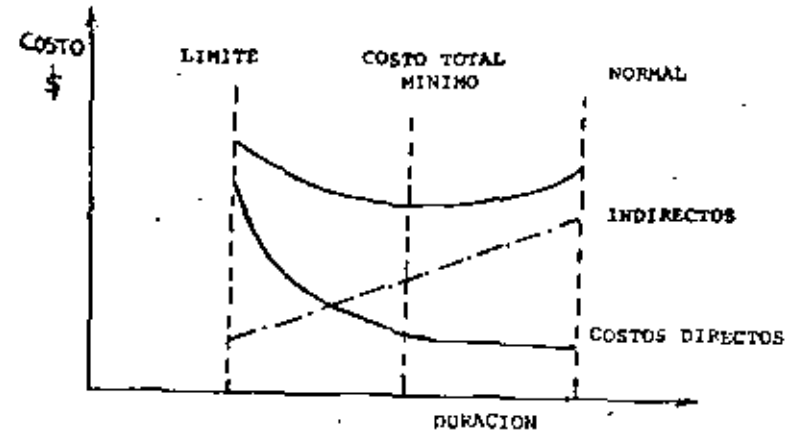
Se considera el tiempo normal, como el que corresponde a las condiciones de trabajo más efectivas, con la observación de que si el trabajo se realiza en un tiempo mayor del indicado como normal, los costos aumentarán en lugar de disminuir.

Si queremos comprimir el tiempo de una actividad y aplicamos recursos adicionales de personal, herramienta y equipo, llegará un momento en que las condiciones de trabajo

quedarán saturadas y habrá un punto en que a un incremento considerable de recursos y de costo, no representará una disminución apreciable del tiempo de terminación. Al punto indicado corresponden el tiempo y el costo límites.

Costos Indirectos.

Hasta el momento nos hemos limitado a considerar únicamente los costos directos de una actividad, sin embargo, en todo proyecto existen adicionalmente los costos indirectos o fijos. Como puede verse en la siguiente figura para cada actividad o para un proyecto completo, deben sumarse los costos indirectos y directos para obtener el costo total. Al hacer, así, el análisis de los costos de comprimir una red, los costos indirectos correspondientes al tiempo total, mientras que el cargo correspondeinte al costo indirecto, disminuye.



Combinando la curva de costo directo tiempo, con la estimación de gastos fijos acumulados en función del tiempo, tenemos una curva que relaciona costo total y tiempo. Esta

curva tiene siempre su valor mínimo en un tiempo que es menor que la duración normal del proyecto.

Para optimizar el costo de un proyecto, haciéndolo mínimo, al terminar la programación inicial debe hacerse siempre un estudio de compresión, para calcular cual es el tiempo total que debe tomar un proyecto, para minimizar el costo total.

12. PLANEACION Y PROGRAMACION DE RECURSOS

En todos los casos estudiados anteriormente hemos considerado al analizar la realización completa de un proyecto, que los recursos disponibles son infinitos, es decir, que la organización que va a llevar a cabo las obras o actividades, cuenta de un conjunto total de recursos superior a la suma de todos los recursos necesarios para la realización simultánea de las actividades que coinciden en el tiempo.

Puede comprenderse que esta situación no es la normal en muchos casos y principalmente en grandes proyectos y es corriente que al querer arrancar una actividad, no sea posible hacerlos por estar el personal necesario o el equipo empleados en otras actividades del mismo proyecto.

Por ello es indispensable hacer un análisis de recursos una vez que se ha terminado la planeación inicial. En muchos casos la escasez de recursos puede quedar totalmente resuelta afectando únicamente la programación del proyecto, aplazando dentro de las Holguras o Márgenes las actividades no críticas, pero en muchas otras ocasiones es necesario posponer el comienzo de algunas actividades, quizás críticas, por tener que esperar a tener personal o equipo disponibles, determinando esto, en muchos casos, el alargamiento del tiempo total del proyecto.

La forma en que en cada caso concreto se resuelven estos problemas depende de los objetivos y de las restricciones del proyecto, ya que generalmente hay muchas alternativas para resolver determinadas situaciones. Así, por ejemplo, la falta de equipo propio se puede resolver alquilando equipo ajeno y la escasez de personal especializado se puede resolver con la capacitación del personal no especializado, disponible. Cuando la limitación en el gasto no nos permite aplicar soluciones alternativas, para resolver los cuellos de botella determinados por la falta de determinados recursos, nos veremos seguramente obligados a terminar el proyecto en una fecha posterior a la prevista.

Como ya se indicó en páginas anteriores, una vez que se ha terminado la planeación de un proyecto, se tienen las bases necesarias para llevar a cabo la programación detallada del mismo. Para programar es necesario disponer de un diagrama de barras que sea producto del diagrama de Ruta Crítica y en donde todas las actividades estén dibujadas a partir de su Fecha Más Próxima de comienzo. A partir de este punto la programación se basará en la utilización mejor de los recursos disponibles, dando fechas exactas (Programación) a todas y cada una de las actividades del proyecto. La lista programada de actividades se pasará entonces, a cada uno de los encargados de la realización de las diferentes fases del proyecto, para su ejecución.

No debe nunca olvidarse de que el proceso de planeación y programación es totalmente dinámico y que debe procederse a una revisión permanente de las redes de actividades o eventos, para mantenerlas al día, adicionando las actividades nuevas que surjan y suprimiendo aquellas que se han terminado.

La periodicidad con que deben ser revisados y actualizados los programas depende fundamentalmente de la im-

portancia de la obra y de su organización, pudiendo cambiar radicalmente de un proyecto a otro.

Es muy importante, por otra parte, que al preparar los diagramas y al formar las curvas de Costo-Tiempo, se utilicen no sólo los datos estadísticos acumulados que se tengan, sino también, y en forma muy especial la experiencia personal de los técnicos, sobrestantes y del personal experimentado de que disponga la organización.

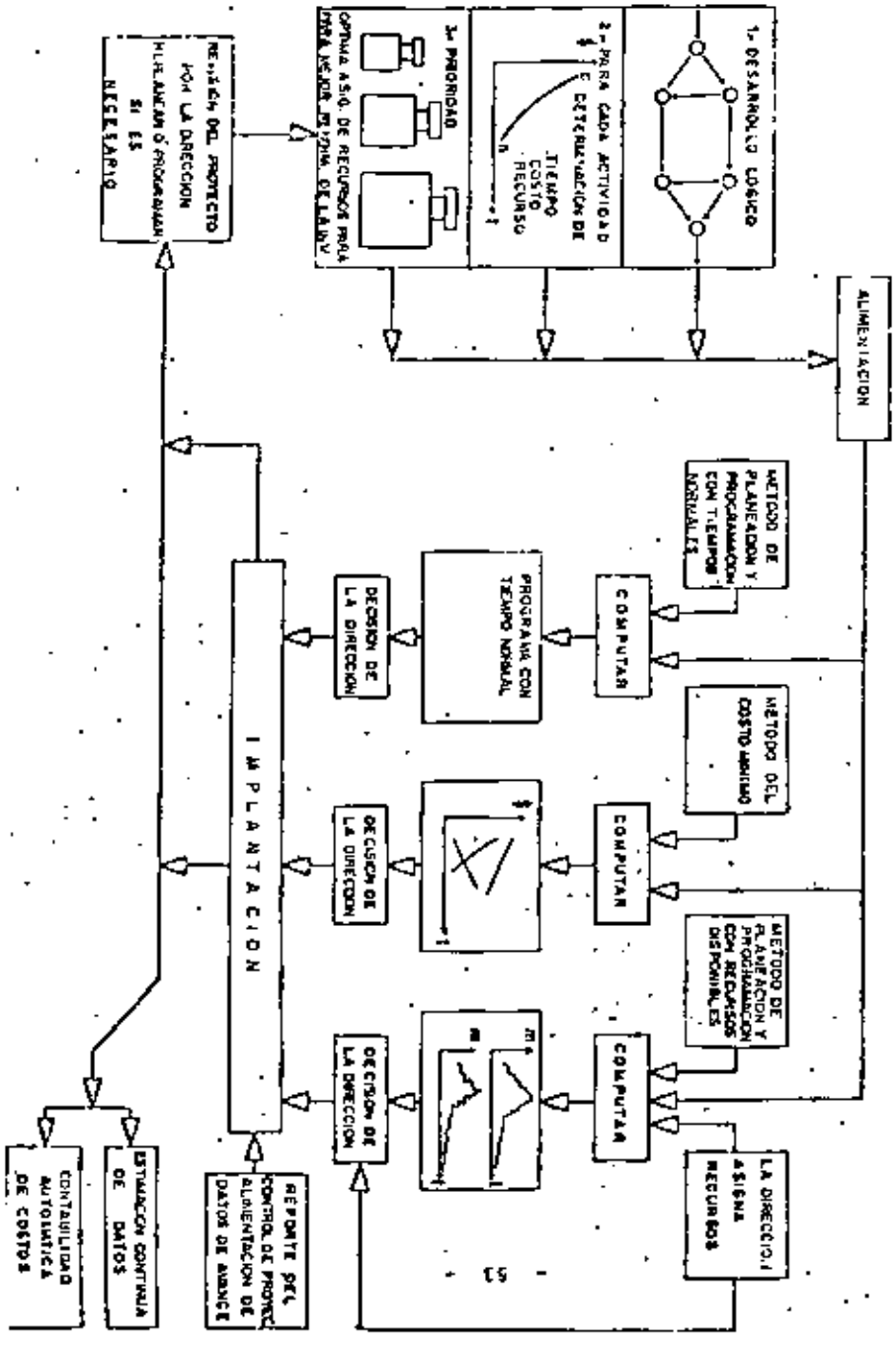
Es indudable que cuando se hace participar en la planeación y programación de los trabajos al personal que después lo va a llevar a la práctica, éste toma un interés mucho mayor y actúa con una más alta responsabilidad en el cumplimiento efectivo de las fechas establecidas, con gran beneficio para el éxito del proyecto.

En la última figura se hace un resumen de los diferentes métodos que se han explicado a lo largo de este curso. Haciendo un resumen podemos decir que el primer procedimiento es el de asignar tiempos normales y si la duración total del proyecto queda dentro del tiempo máximo especificado, seguir adelante con el trabajo. El segundo consiste en optimizar la ruta crítica, haciendo una compresión de la red, para obtener el costo mínimo posible y si éste tiempo conviene a la dirección del proyecto, seguir adelante con el mismo.

El tercer sistema es aquel que tiene en cuenta los recursos asignados al proyecto y analiza si son suficientes para la realización del mismo, ya sea con tiempos normales o con tiempos correspondientes al costo mínimo.

En los tres casos deben realizarse las iteraciones necesarias, hasta que la dirección del proyecto acepte los tiempos y los costos calculados, sin olvidar que en

todos los casos está implícito la obligación del mantenimiento de la calidad convenida en las especificaciones del proyecto.



BIBLIOGRAFIA.

Project Management with CPM and PERT
Moder and Phillips
1964
Reinhold Industrial Engineering and Management Sciences Textbook Series
New York

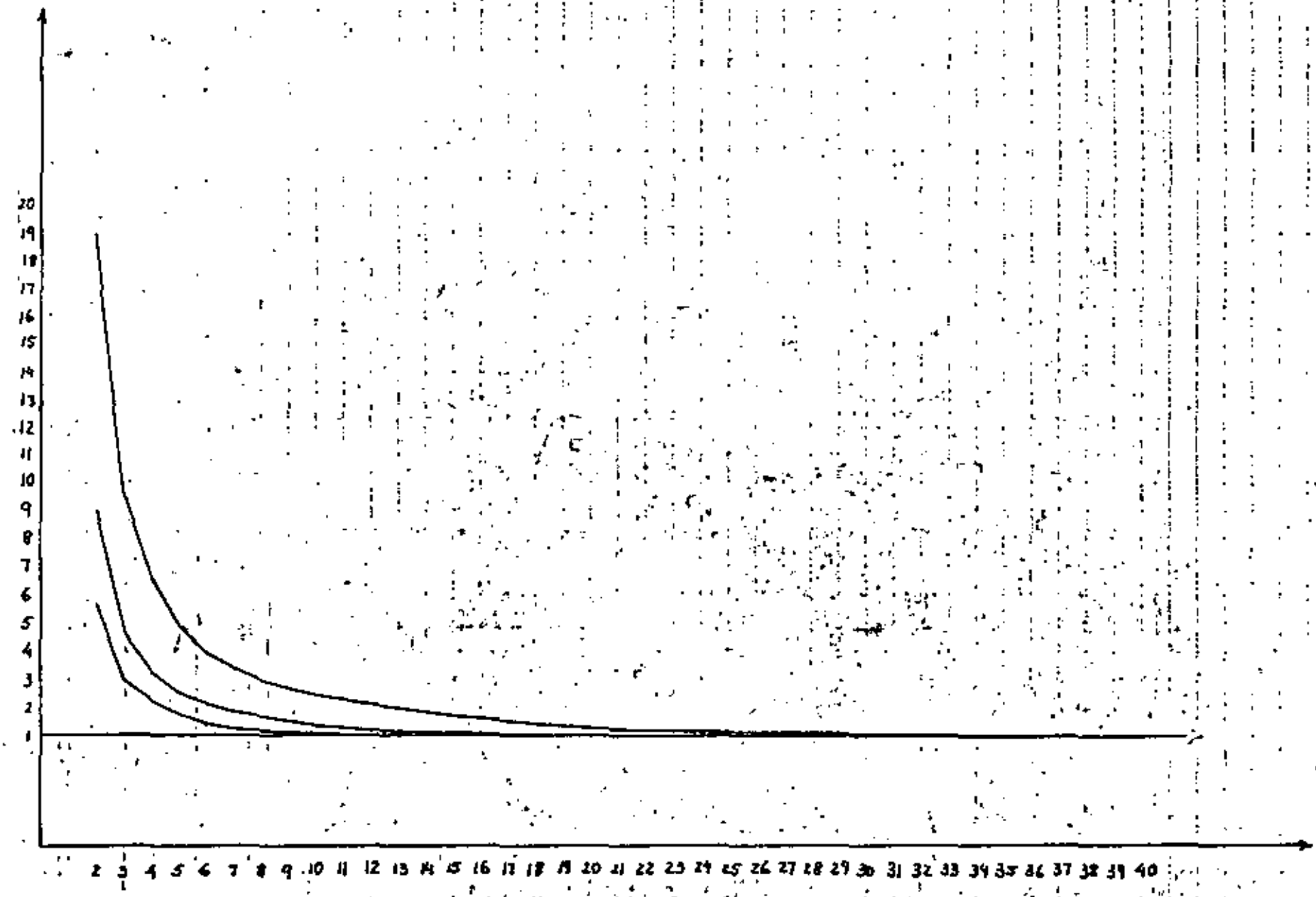
Determinación de la Ruta Crítica
R. L. Martino
1965
Editora Técnica, S. A.
Dinamarca No. 60
México 6, D. F.

A Concept of Corporate Planning
Russel L. Ackoff
Edición 1970
Wiley International Edition
New York

Tecnología Mecánica e Instalaciones
Odón de Buen Lozano
1967
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A.
Apartado Postal 70-180
México 20, D. F.

Métodos Modernos de Planeación, Programación y Control de Procesos productivos.
Melchor Rodríguez Caballero
1962
Editado por el autor
México, D. F.

A Management Guide to PERT/CPM -
Jerome D. Wiest, Ferdinand K. Levy
1977
Prentice-Hall, Inc.
New Jersey


20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

AÑO	Y	X	X.Y	X^2	Log Y	X Log Y	Log X	Log X. Log Y	$(\text{Log } X)^2$	RECTA		CURVA EXP.		CURVA POT	
										Orden	Error	Orden	Error	Orden	Error
1975	50	1	50	1	1.6990	1.6990	0	0	0	44.3	+ 5.7	49.2	+ 0.8	45.0	+ 5.0
1976	58	2	116	4	1.7634	3.5268	0.3010	0.5308	0.0906	60.0	- 2.0	59.5	- 1.5	64.3	- 6.3
1977	75	3	225	9	1.8751	5.6253	0.4771	0.8946	0.2276	75.7	- 0.7	72.0	+ 3.0	79.3	- 4.3
1978	83	4	332	16	1.9191	7.6764	0.6021	1.1555	0.3625	91.4	- 8.4	87.1	- 4.1	92.0	- 9.0
1979	105	5	525	25	2.0212	10.1060	0.6990	1.4128	0.4665	107.1	- 2.1	105.3	- 0.3	103.2	+ 1.8
1980	130	6	780	36	2.1139	12.6834	0.7782	1.6450	0.6055	122.6	+ 7.2	127.4	+ 2.6	113.4	+16.6
$\Sigma/\bar{E}$	501	21	2028	91	11.3917	41.3169	2.9574	5.5387	1.7748	-.-	4.35	-.-	2.05	-.-	7.17
1981	-.-	7	-.-	--	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	138.5	-.-	154.1	-.-	122.8	-.-

Directorio de Alumnos del Curso: PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION
(del 8 al 19 de junio de 1981).

1	José R. Ayla Martínez Departamento de Pesca Jefe de Sección Alvaro Obregón 265 México 13, D.F. 511 02 40	Retorno 31 # 25 Col. Avante Z.P. 21 544 55 05
2.	Lázaro Carrillo Zarza Fábrica de Proyectiles y Morteros Tecamachalco s/n México 10, D.F . 589 80 55	Cda. Lázaro Cárdenas 48 Z.P. 16 352 45 13
3.	Fructuoso Castillo Romero Departamento de la Industria Militar Jefe de Fabricación de Herram ientas Av. Industria Militar No. 1111 México 10, D.F. 589 62 22	Viaudcto Piedad 568 B 23 Col. Magdalena Mix. México 8, D.F. 768 39 94
4.	Jorge Cervantes Guillén Grupo Soltec, S.A. Jefe de Producción Lago Silverio No. 238 México 17, D.F. 254 0022	Mariano Escobedo No. 39-5 México 17, D.F.
5.	Paúl Cortés Brizuela Jefatura de Control de Calidad I M S S Jefe de Sección Río Blanco 6 México 14, D.F. 754 40 99 Ext. 327	Opalo 27 México 14, D.F. 537 45 66
6.	Alberto Chavez Martínez Departamento de Pesca Jefe de Sección Alvaro Obregón No. 269 5° Piso México , D.F. 511 02 40	Malinalco 14 Altavilla Ecatepec, Edo. de México 569 02 02
7.	J.Roberto Delgado Quezado Packsa Jefe de Producción Carr. Cuernavaca Cuautla Km. 3.1 5 02 90	Anenecuilco 162 Chipitlán Cuernavaca, Mor. 4 32 19
8.	Joel Del Luna Scott Micare Jefe de Proyectos Mineros	Calle de Coss 403 Ote. Piedras Negras, Coah.

9. Enrque Espriú Andrade
Parmexa, S.A.
Gerente de Planta
Calzada Legaria 170
México 17, D.F.
399 80 73

Galicia 351
México 13, D.F.

10. Salvador Estrada González
Industria Militar
Av. Industria Militar 1111
México 10, D.F.

11. Oscar Amador Flores Nájera
Depto. de la Industria Militar
Control de Calidad
P. dela Reforma 2770
México, D.F.

Rép. de el Salvador 38-1
México 1, D.F.
512 36 07

12. José Luis Gamino Villaverde
Farmitalia Carlo Erba, S.A.
Responsable de Almacenes
Av. M. A. de Quevedo No. 555
México 21, D.F.
554 12 11

Av.Sn. Bernardino 573 L 5
México 22, D.F.

13. Edmundo García López
Conjunto Manufacturero, S.A.
Supervisor de Producción
Vía López Portillo 6
Tultitlán, Edo. de Méx.
665 49 00

Calle Ailes L 22 M 271
Las Plazas
Villa de las Flores
Coacalco, Edo. de Méx.

14. Arturo Ramón García Miranda
Electrónica S.A. de C.V.
Analista de Materiales
Km. 62.5 Carr. Méx. Toluca
Toluca, México
6 13 00

5 de Mayo 701
Toluca, Méx.
4 11 03

15. Joaquín García Rodríguez
M. A. de Quevedo 2842
Veracruz, Ver.
4 02 24

16. Roberto García Villanueva
Industrias Garzam, S.A.
Jefe de Producción
Ciruelos No. 6
Col. Avante
Z.P. 21
677 85 66

Guerrero 151
Tizapán
México 20, D.F.

17. Alberto González Díaz
Departamento de Pesca
Subjefe de Oficina
Alvaro Obregón 269 5° Piso
México, D.F.
525 49 60 Ext. 237

Marina Nal. 200 Edif. 3 Depto.
Anahúac
Z.P.17
México, D.F.

18. Javier Guerra Iturbide
Worthington de México, S.A.
Programador de Producción
Poniente 140 No. 859
México 14, D.F.
567 51 00

Molintzin Manzana 433 Lote 53
Cda. Azteca, Edo. de México

19. Francisco Herrera García
Compañía General de Electrónica
Gerente de Control de Calidad
Tezozomoc 239
México 16, D.F.
561 74 77

Cordilleras No. 17
U. Iztacalco
México 8, D.F.

20. Genaro Hernández Guerrero
Conjunto Manufacturero, S.A.
Superintendente de Maquinados
Av. Circunvalación Km. 17.5
Estado de México
565 49 00

Hda. de los Portales 37
Prados del Rosario
México 16, D.F.
382 15 88

21. Héctor Juárez Zola
Departamento de la Industria Militar
Ayudante de Programación de Producción
Av. Industria Militar 1111
México 10, D.F.
589 29 21

Velázquez de León No. 30
San. Rafael
México 4, D.F.
592 04 14

22. Olivia León Arellano
Departamento de Pesca
Jefe de Sección
Av. Alvaro Obregón 269
México 7, D.F.
511 02 40

Priv. Alamo No. 56
Col. Priv. Alamo 56
México 15, D.F.
541 21 98

23. José Luis Fernando López Peña
Barmexa, S.A.
Legaría 170
México 17, D.F.
399 81 49

Calle 14 Nte. 30
San Carlos, Edo. de México

24. Luis Felipe López Gorbea
Dirección General de Aprovechamiento de
Aguas Salinas y Energía Solar
Técnico ensalación
Blvd. del Pipila No. 1
Tecamachalco
México 10, D.F.

Av. Rincón del Sur 68
Bosques Residencial del Sur
México 23, D.F.
676 37 45

25. José Antonio López Ortiz
Construcciones de Aluminio, S.A.
Gerente Proceso de Información
Av. Prolongación de Ceylán 6
San Pablo Xalpa, Edo. de México
587 59 44

Golfo de Campeche 40-8
Tacuba
México 17, D.F.
527 24 59

26. Enrique López Vázquez
Worthington de México
Sup. Programación Carga de Máquinas
Poniente 140 # 859
Ind. Vallejo
México 16, D.F.
5 67 51 00

Dr. Balmis 217-10
México 7, D.F.
761 05 78

27. José Antonio Madrid Omaña
Fábrica de Armas
Subdirector
Av. Industria Militar s/n
México, D.F.
589 65 33

Reforma 2700
Lomas de Chapultepec
México 10, D.F.
589 65 33

28. Esteban Mateos Lara
Bufete Industrial
Ingeniero C
Tolstoi 22
México 5, D.F.
533 15 00

Zahuatlán 364
La Romana
Tlalnepantla, Edo. de México
390 01 22

29. Salvador Mejía Pereda
Grupo Soltec, S.A.
Director Técnico
Av. Ferrocarril 15
Naucalpan, Edo. de México
576 14 29

Calz. de las Aguilas 634
Los Alpes
México 20, D.F.
593 29 85

30. Filemón Melo Pedraza
Av. Edo. de Méx. No. 1
Atizapán de Zaragoza
Estado de México
572 24 33

31 Gustavo Michel Marín
LKS Rodamientos y Equipo, S.A.
Jefatura de Materiales
Eje Central Lázaro Cárdenas 177
México 2, D.F.
529 83 33

Calle Unión 361
Col. Pantitlán
México 9, D.F.
763 23 08

32. José M. Ortiz

33. Diana Beatriz Ramírez Zúñiga
Fca. de Armas
Depto. de la Industria Militar
Subjefe de Control de Producción
Av. Industria Militar s/n
México 10, D.F.
589 64 44

Ote 170 # 186
México 9, D.F.
762 21 82

34. Fidel Ortega Rodríguez
Maderas Conglomeradas S A de C.V.
Auxiliar de Superintendencia
Av. Sn. José N.2
San Juan Ixhuatepec Tlanepantla
Edo. de México
569 01 33

Calle Gral. Terraza 4
Marina Nacional
México
569 45 91

35. Enrique Paredes Herrera
Depto. Ind. Militar
Subjefe de la Planta de Carga
Av. Industria Militar s/n
Tecamachalco
México 10, D.F.
589 62 22

Abraham Cepeda IV Block No. 12
Resid. Militar
México 10, D.F.
540 17 28

36. José Luis Peña López
Ingeniero de Producción
Legaria 170
México 17, D.F.
399 84 33

37. Armando Pérez Zambrano
Dir. Gral. de Aprov. de Aguas
Salinas y Energía Solar
Téc. Especializado en Desalación
Blvd. del Pipila No. 1
México 10, D.F.
294 17 91

Hda. de la Gavía 99
Bosque de Echegaray
Naucalpan, Edo. de Méx.
560 03 25

38. Hilda Piña Jiménez
Depto. de Pesca
Analista Técnico
Alvaro Obregón 269-5°
México 7, D.F.
511 10 86

Playa Roqueta 92
México 13, D.F.
579 18 05

39. Juan Perroni Merino
Depto. de la Ind. Militar
Subjefe de la Planta Central
Av. Ind. Militar No. 1111
México 10, D.F.
589 55 55

40. Miguel Ramírez Pedroza
Precolados Pretec, S.A.
Gerente de Producción
Av. Edo. de México.
722433

Lesina 217
Lomas Estrella
Ixtapalapa
México 13, D.F.
82 79 24

41. Alvaro Reyes Pruneda
I M S A
Analista
Río Blanco 6

Retorno 103 17 L
Lomas Sotelo
México 10, D.F.
557 87 77

42. José Arturo Rivera Paz
I M S S
Encargado del Area Administrativa
Calzada Vallejo No. 675
México 15, D.F.
587 13 42

Rosa Verde 121
México 19, D.F.
651 36 62

43. Rosa Emilia Rivera Ramos
Fac. de Est. Sup. Cuautitlán
Carr. Cuautitlán Teoloyucán Km. 3
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.
2 03 45 Ext. 21

Diana 52
V. de Ensueños
C. Izcalli, Edo. de Méx.

44. Arturo Romero Moncada
U A P.
Catedrático Area de Ing. Ind.
Dom. Conocido
Calle 4 Sur 104
Puebla, Pue.
42 57 91

Campos Eliseos 118
Villa las Flores
Puebla, Pue.
43 90 53

45. Oscar David Rosales Velasco
Depto. de la Ind. Militar
Jefe de Planta Central de Herramientas
Av. Ind. Militar 1111
México 10, D.F.
589 55 55

Roble 26
Valle Verde
Tlalnepantla, Edo. de Méx.
397 94 63

46. J. Alejandro Santos Sánchez
Worthington de México
Jefe de Planeación y Control de Prod.
Poniente 140 No. 859
México 14, D.F.
567 5100

Av. de las Granjas 245 B 42
México 14, D.F.
352 67 38

47. Luis Miguel Serna Castro
Worthington de México, S.A.
Jefe de Planeación de Prod.
y Control de Inv.
Pte. 140 # 859
México 16, D.F.
567 51 00

Bravo 68
México 1, D.F.
789 76 15

48. Jorge Tellez Salas
Depto. de la Ind. Militar
Jefe de Producción
Av. I. Militar 1111
México 10, D.F.
589 54 00

Batalla de Ebano 54
Residencial Militar
México 10, D.F.
557 53 77