PLANEACION Y CONTROL DE LA UCCION

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Marzo 7	18 a 21 h	INTRODUCCION Conceptos de planeación y control aplicados a la producción. Clasificación de los sistemas productivos. Técnicas de análisis	M. en C. Juan F. Bueno Zirión
Marzo 8	8 a 14 h	PRONOSTICOS (ESTUDIO DE LA DEMANDA) Importancia Estudio del comportamiento de la demanda Estudio de las técnicas y selección del modelo	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
Marzo 14 y 15	18 a 21 h 8 a 11 a.m.	PLANEACIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS Función de la planeación de inventarios. Análisis de inventarios por el método ABC Modelos básicos de inventarios Sistemas de control de inventarios Decisiones de inventarios	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
Marzo 15 Marzo 28	11 a 14 h 18 a 21 h	PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION Programas maestros de la producción Soluciones para diferentes estructuras de costos Costos involucrados en el cambio de volúmenes de producción. Asignación de recursos a la producción. La función del control Estudio de restricciones y optimización.	M. en C. Juan F. Bueno Zirión M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda
Marzo 29	8 a 14 h	SISTEMAS DE PRODUCCION CONTINUA Diseño del sistema productivo Balance de líneas Programación integral de un sistema continuo	M. en C. Roberto Rosa Borges de Holanda

		Calendarios o cédulas de producción Control de la producción continua.	
Abril 11	18 a 21 h	SISTEMAS DE PRODUCCION INTERMITENTE	M. en C. Juan F. Bueno Zirión
		Diseño de las instalaciones Programación y control de la producción Metodología Sistema de gran escala Ruta crítica PERT Aplicaciones	
Abril 12	8 a 14 h	ABASTECIMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES	M. en C. Juan F. Bueno Zirión
		Estudio de la oferta de materias primas Programación y control de los abastecimientos Metodología y técnicas del abastecimiento y manejo de materiales:	

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

FECHA: Del 7 de Marzo al 12 de Abril de 1980.

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD	
1. M. en C. Juan F. Bueno Zirión					
2. M. en C. Roberto Rosa Borges de H.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
INTRODUCCION					
PRONOSTICOS (ESTUDIO DE LA ...)					
PLANEACION Y CONTROL DE INVENTARIOS.					
PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION.					
SISTEMAS DE PRODUCCION CONTINUA					
SISTEMAS DE PRODUCCION INTERMITENTE.					
ABASTECIMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES.					
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

M. EN C. JUAN BUENO ZIRION

MARZO-ABRIL, 1980

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

I.- INTRODUCCION

En esta introducción, intentaremos exponer el tema central de este curso y mediante ello las ligas e interacciones de los diferentes temas que lo componen. No entraremos en discusiones semánticas, ya que es un propósito ajeno a esta sesión, que nos define ortodoxamente a la planeación, sino que la consideramos como una acción ordenada de un grupo comprometido con sus objetivos, para llevar a cabo una serie de acciones. El control consiste entonces en la revisión periódica de las acciones y logros del Plan para su modificación pertinente si es que se requiere alguna. Todo lo anterior circunscrito al marco de la empresa como generadora de bienes y servicios.

Los orígenes de la Planeación de la Producción los encontramos en la Revolución Industrial, la cual trajo consigo una mayor complejidad en las operaciones industriales y sobre todo la apertura de mercados variables, tanto por el lado de la demanda como de la oferta. Obligando al empresario a tomar decisiones que en el futuro afectarían el comportamiento de su empresa frente a estos mercados. La dificultad de estas decisiones podemos ejemplificarlas por una analogía:
Los participantes de este curso es casi seguro que alguna vez en su vida han conducido un automóvil. Imagínese que ahora tiene que hacerlo con los ojos vendados y siguiendo las indicaciones de su copiloto, es seguro, que la marcha sería más lenta y con grandes riesgos, si ahora obligamos a que el copiloto volteé hacia atrás y únicamente viera el camino ya recorrido y en base a esto se conduzca el automóvil. Tendremos el caso típico de la empresa en que la conducción de la misma hacia el futuro está basada en un conocimiento imperfecto del pasado. Pero por difíciles que sean estas decisiones referentes a la Planeación, y de una forma objetiva o no, deben de ser y son tomadas en todas las empresas.

La Planeación dentro de una empresa la podemos dividir en niveles tal como muestra la figura 1.

El primer nivel de Planeación dentro de una empresa es el integral, en él se obtienen básicamente las directrices generales de la empresa y consta esencialmente de tres fases: a) Basados en un pronóstico de Venta a Largo Plaza, b) se realiza en Plan General de Operación a partir del cual nace, ya con fichas de realización, c) el -- Programa de Operación.

Este Plan General de Operación incluye la proyección de la demanda modificada al considerar nuevos productos, pedidos especiales, mercado de exportación, mercado potencial insatisfecho y restricciones gubernamentales. Con este plan general de ventas la empresa define sus necesidades comerciales y sus inversiones necesarias en su red de distribución. Calcula su plan general de producción y lo compara contra su capacidad derivándose sus necesidades de operación e inversiones, que incluyan necesidades de expansión, sustitución, - mantenimiento y reestructuración.

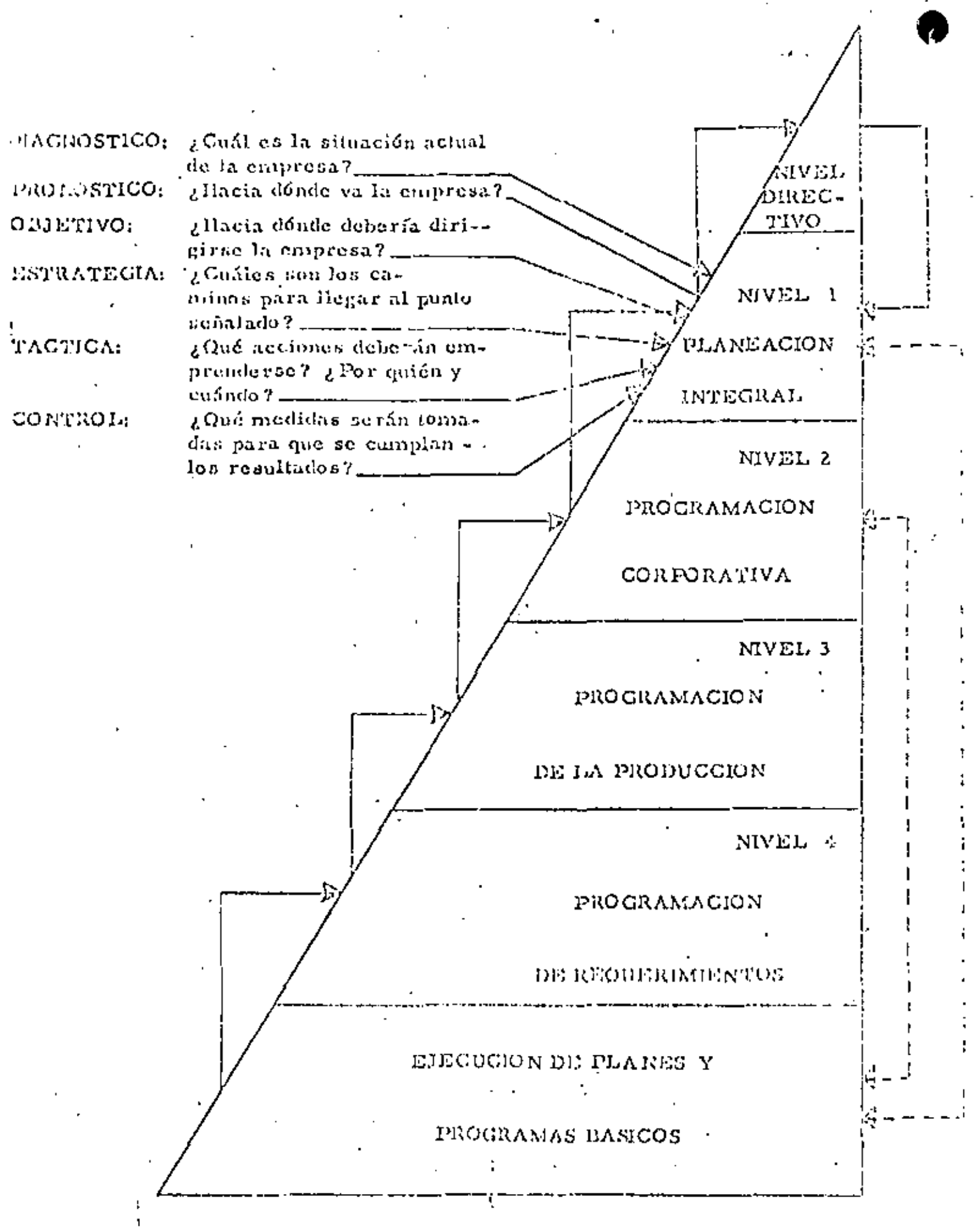
Apoyados en lo anterior se está en condiciones de preparar un plan de Producción y Política de Inventarios incluida en el mismo. Asi mismo ya es posible elaborar planes de financiamiento y evaluar la bondad del Plan General que una vez aprobado da lugar al programa del mismo.

El segundo nivel solo existe en empresas conformadas a su vez por otras empresas y en ellas el plan integral conjunta los planes generales de cada una de ellas.

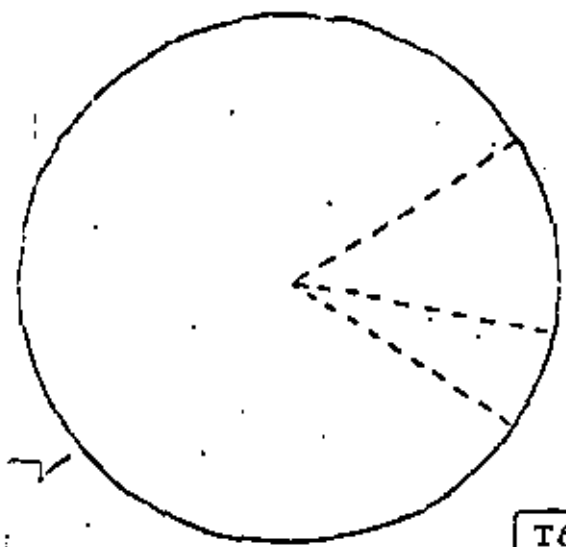
El tercero, y objeto de este curso, es el Plan de Producción y necesariamente a corto plazo, basados en el Plan General y considerando cada producto por separado, es necesario, basado en el análisis de ventas reales y su variación en el tiempo, se efectúa el Plan de -- Producción que considera el uso de inventarios. Mano de obra, turnos de Producción, tiempo extra, subcontratación y abastecimientos, frente a la demanda planteada con el mínimo costo posible.

Este plan a su vez incluye su mecanismo de control.

En este, iremos conociendo en primer término los métodos de pronóstico y de manejo de inventarios, con estas dos herramientas podremos profundizar en el concepto de un Plan de Producción, considerando las cosas de intermitante y contínua para terminar con el tema de abastecimientos y el subtema asociado de manejo de materiales y con ello esperar el cumplimiento de los objetivos del curso.


DIAGNOSTICO: ¿Cuál es la situación actual de la empresa?
PROGNOSTICO: ¿Hacia dónde va la empresa?
OBJETIVO: ¿Hacia dónde debería dirigirse la empresa?
ESTRATEGIA: ¿Cuáles son los caminos para llegar al punto señalado?
TACTICA: ¿Qué acciones deberán emprenderse? ¿Por quién y cuándo?
CONTROL: ¿Qué medidas serán tomadas para que se cumplan los resultados?
NIVEL DIRECTIVO
NIVEL 1
PLANEACION INTEGRAL
NIVEL 2
PROGRAMACION CORPORATIVA
NIVEL 3
PROGRAMACION DE LA PRODUCCION
NIVEL 4
PROGRAMACION DE REQUERIMIENTOS
EJECUCION DE PLANES Y PROGRAMAS BASICOS

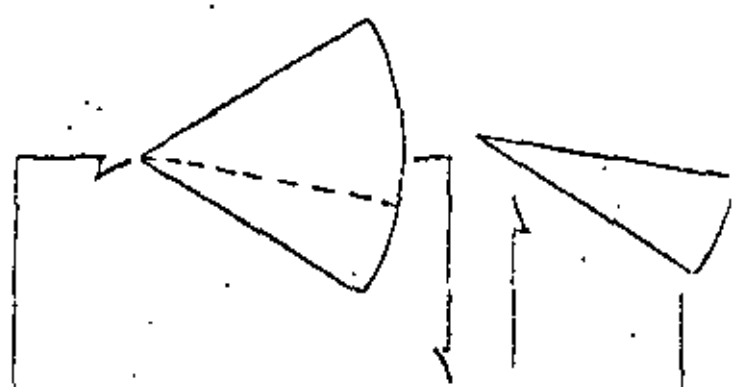
Mercado Global Nacional	Mercado por Segmentos	Mercado de la Empresa
Productos	Productos de la Competencia	Productos de la Empresa



Obtención de la Demanda Futura por medio de Correlaciones, teniendo en cuenta Estadísticas Históricas y Proyecciones con Indice de Crecimiento Anual.

Técnicas de Correlación Lineal Múltiple

- Estadísticas Históricas
- Flotas de Unidades
- Producto Interno Bruto
- Ventas Totales de Unidades
- Crecimiento de la Población
- Crecimiento de la Industria



Penetración de la Empresa en el Mercado por Linea de Modelo

- Comportamiento histórico de Modelos
- Cambios y Modificaciones a unidades
- Aceptación de Nuestras unidades
- Pedidos Especiales
- Exportaciones
- Salida del Mercado de Otras Empresas

Pronóstico de Venta a Largo Plazo de la Empresa:

1976
1977
1978
1979
1980
1981

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

EJEMPLO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE DIFERENTES METODOS DE PRONOSTICOS

ING. ROBERTO ROSA BORGES DE HOLANDA

MARZO, 1980

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

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

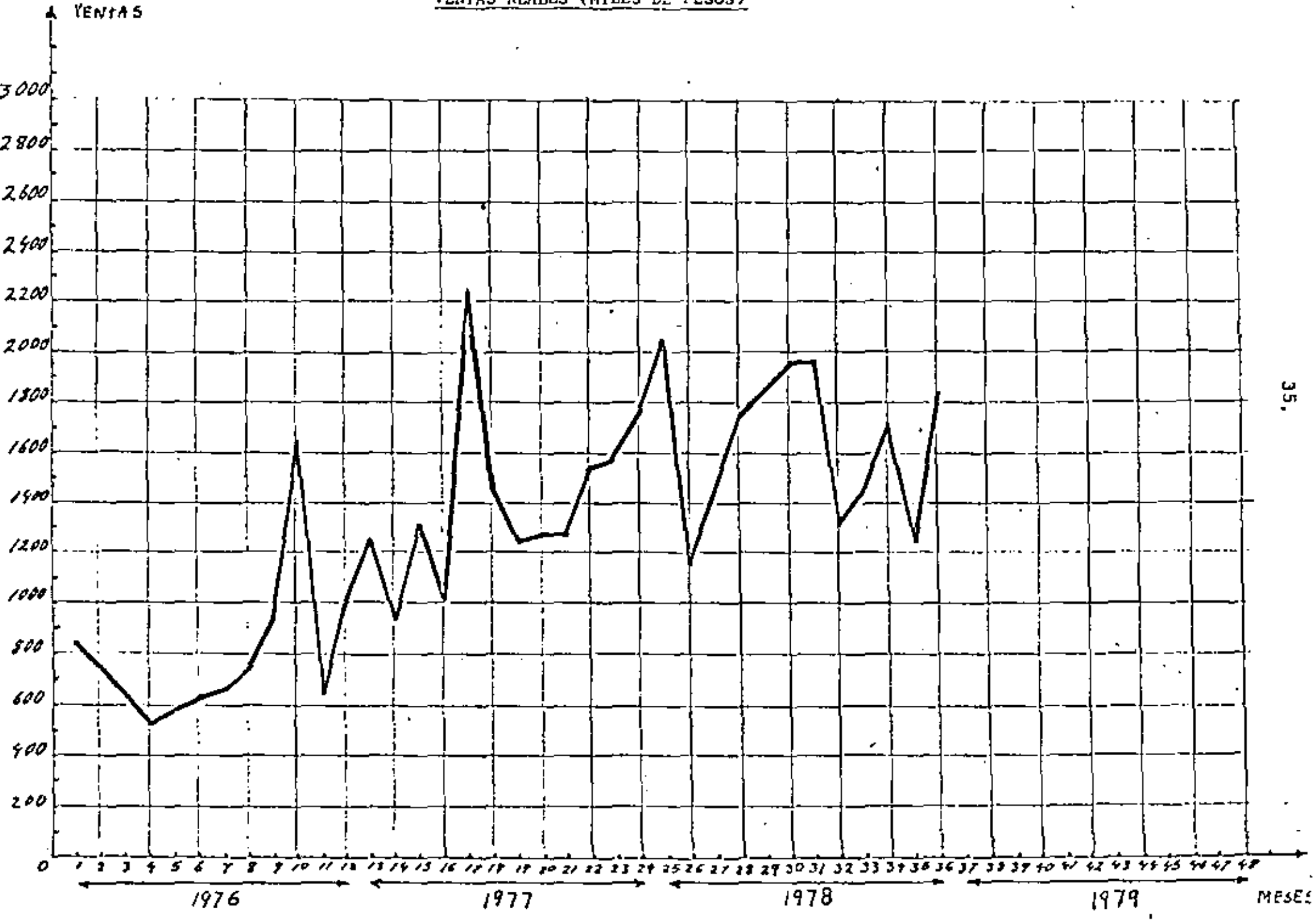
CUADRO # 1

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	866.42	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	- 361.05	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
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	—	1637.5	—
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	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	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	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
	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	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	
9	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	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	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 Proresiva.

	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	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

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	396.19
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	588.03
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:

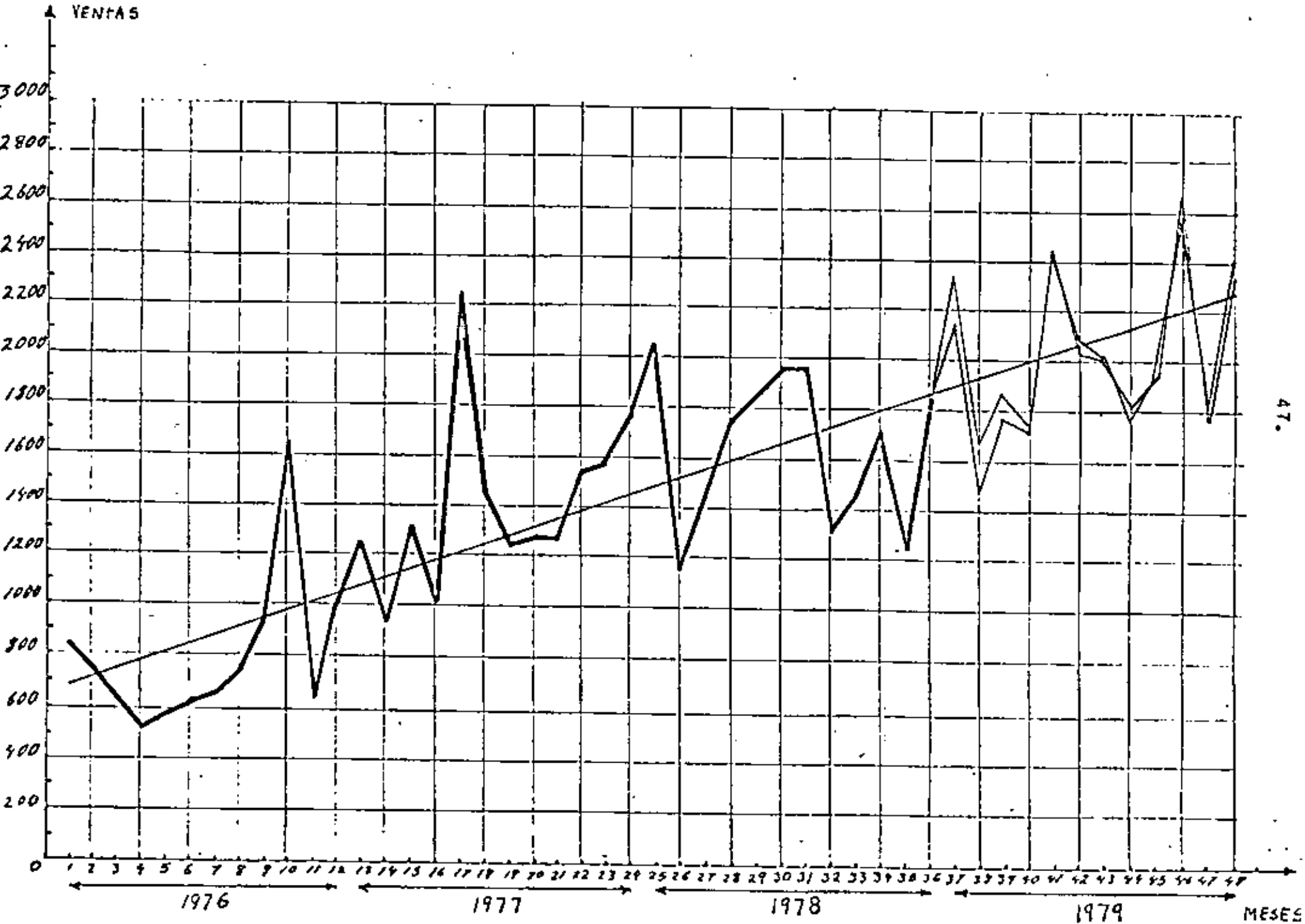
a) Para cada mes de cada uno de los años se dividió el pronóstico entre el volumen de ventas correspondiente y así se obtuvieron tres "índices" para cada mes.

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).

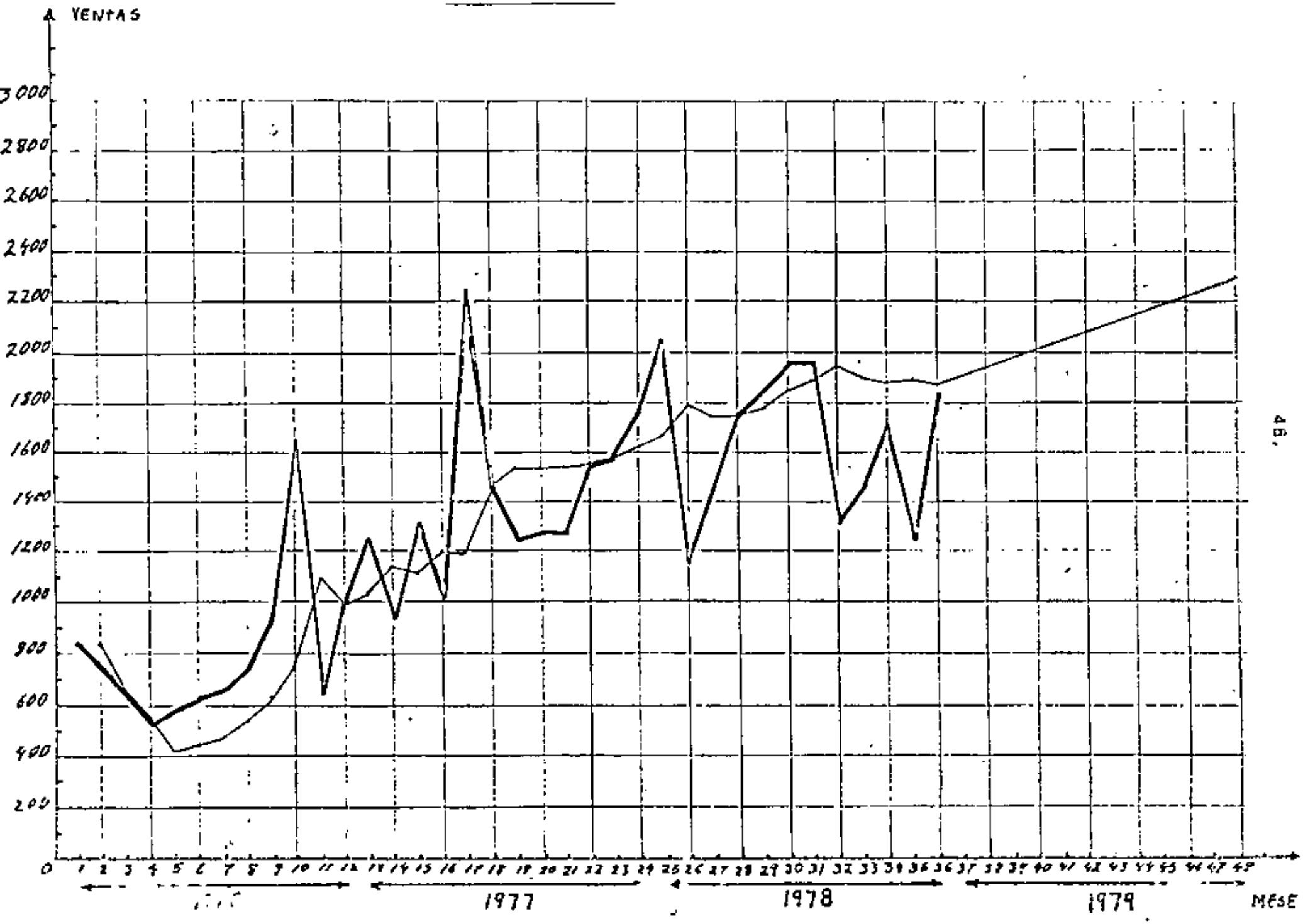
GRAFICA # 2

RECTA DE MINIMOS CUADRA.



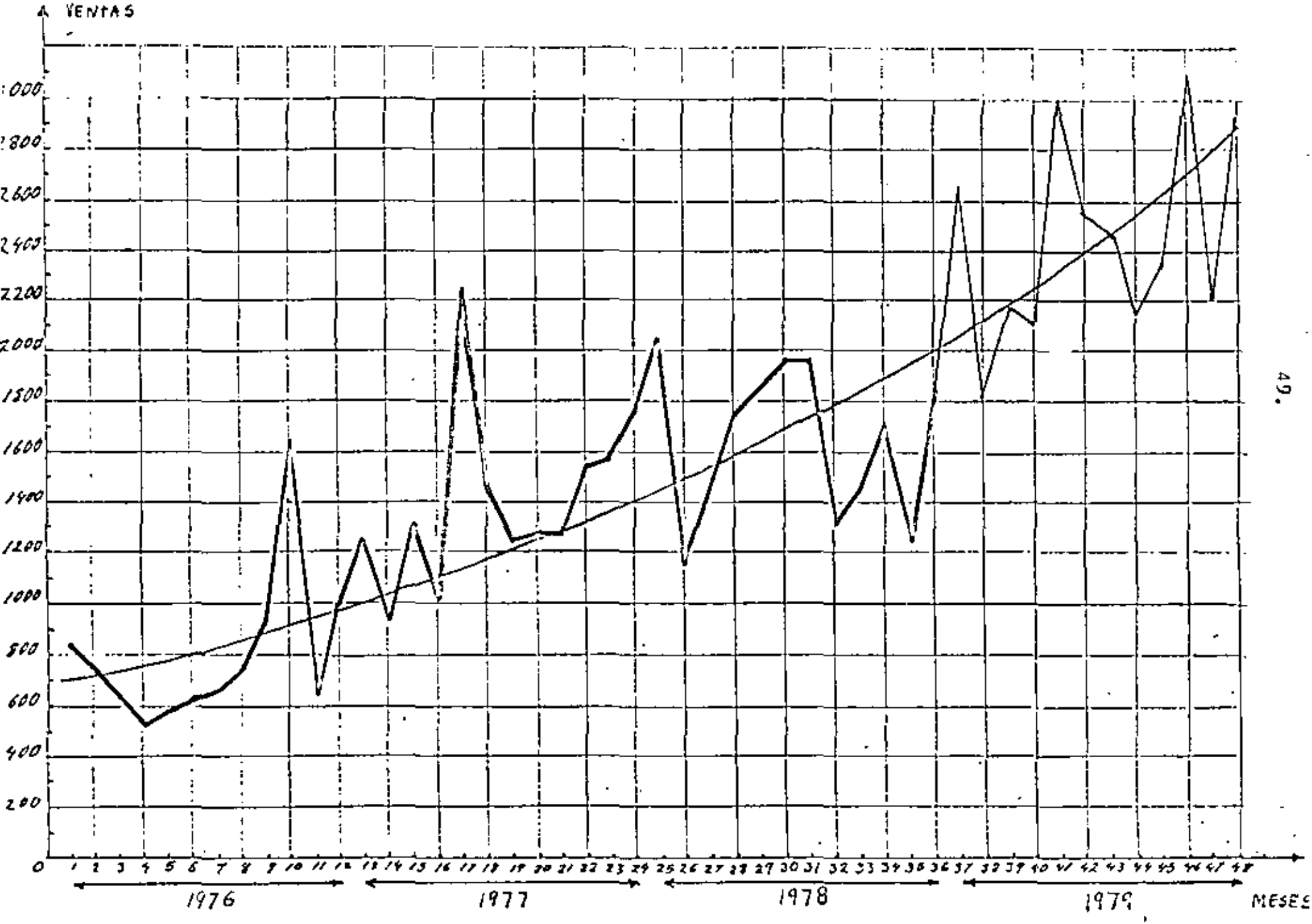
GRAFICA # 3

RECTA PROGRESIVA



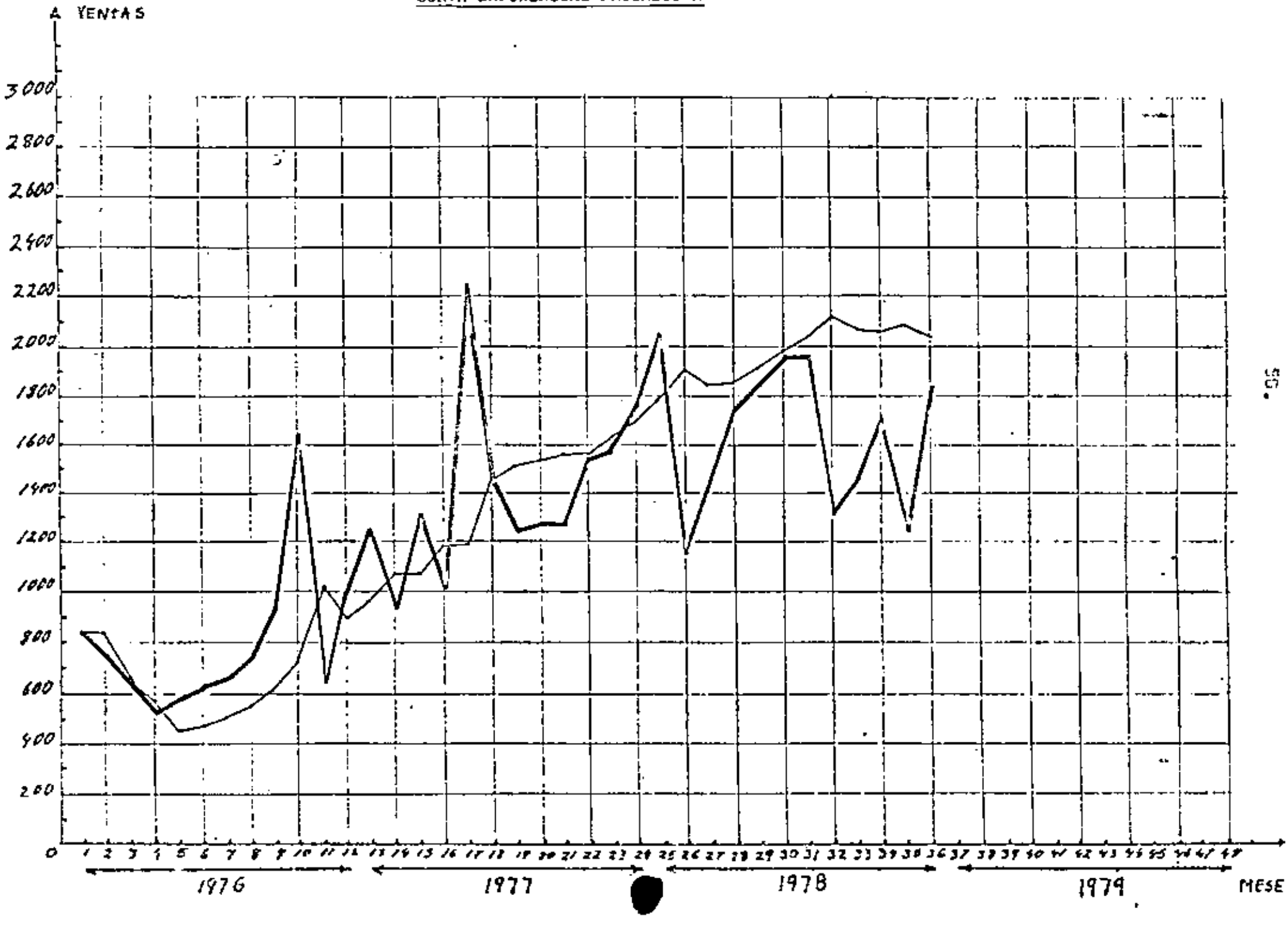
GRAFICA # 4

CURVA EXPONENCIAL



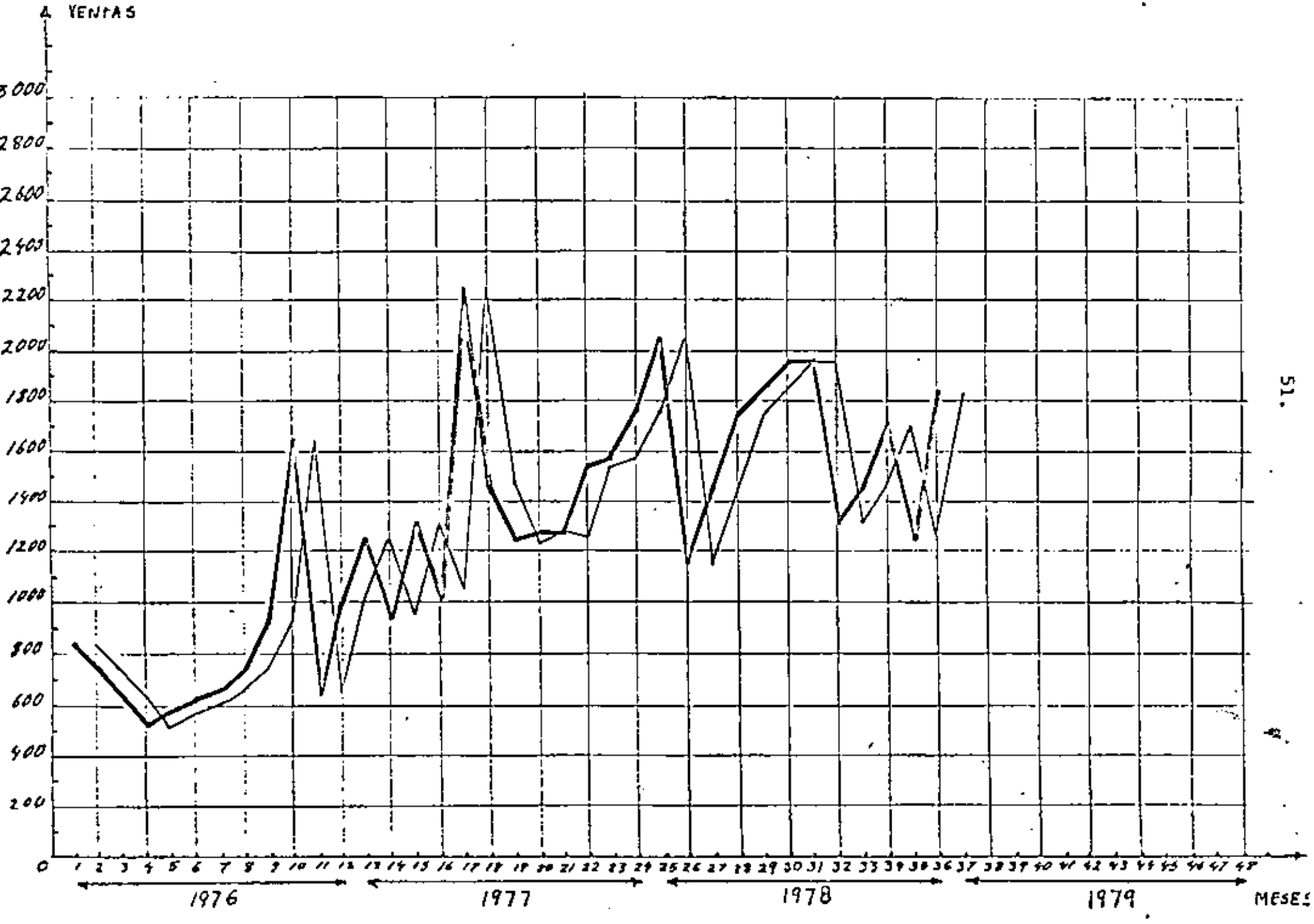
GRAFICA # 5

CURVA EXPONENCIAL PROGRESIVA



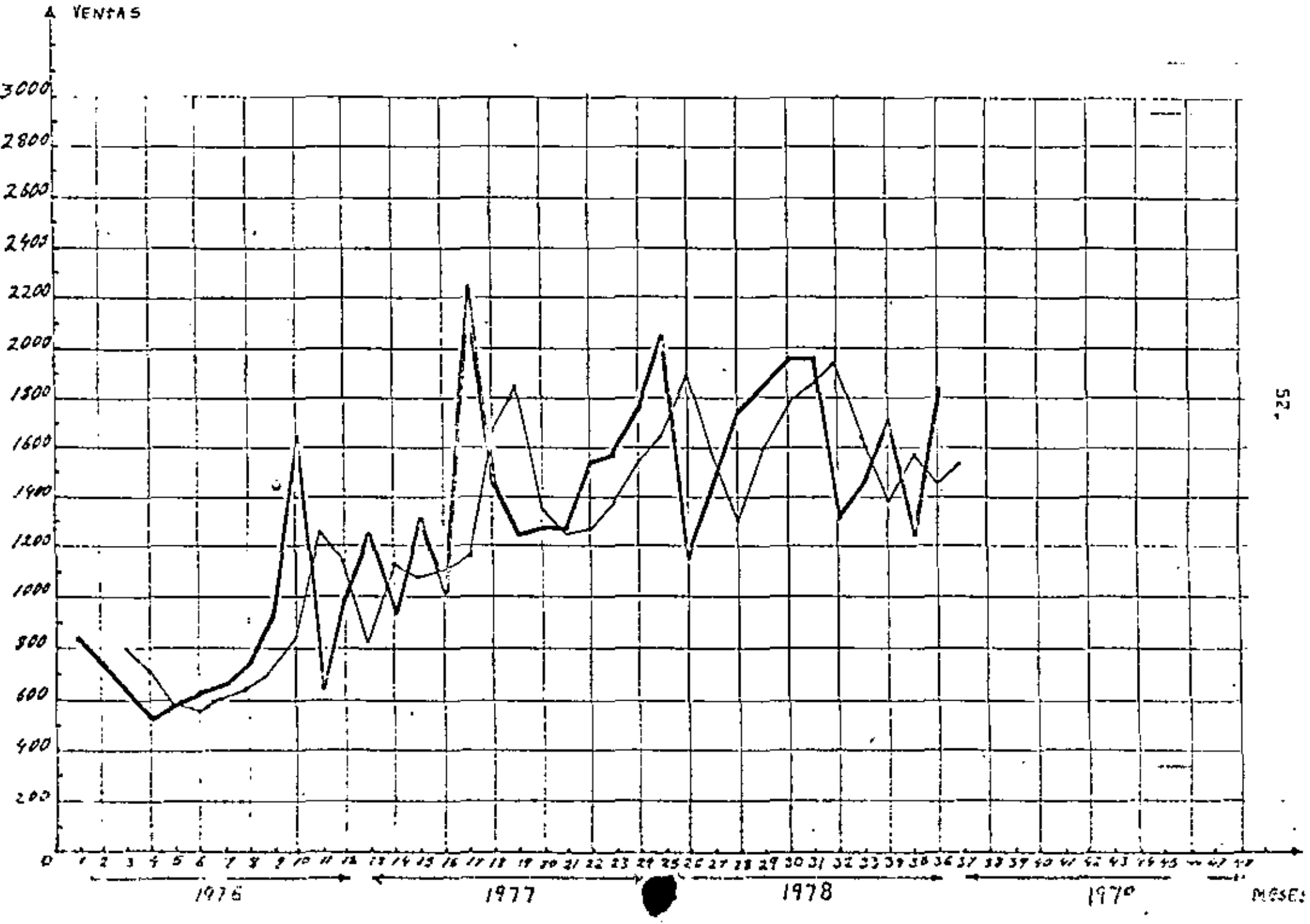
GRAFICA # 6

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE UN AÑO



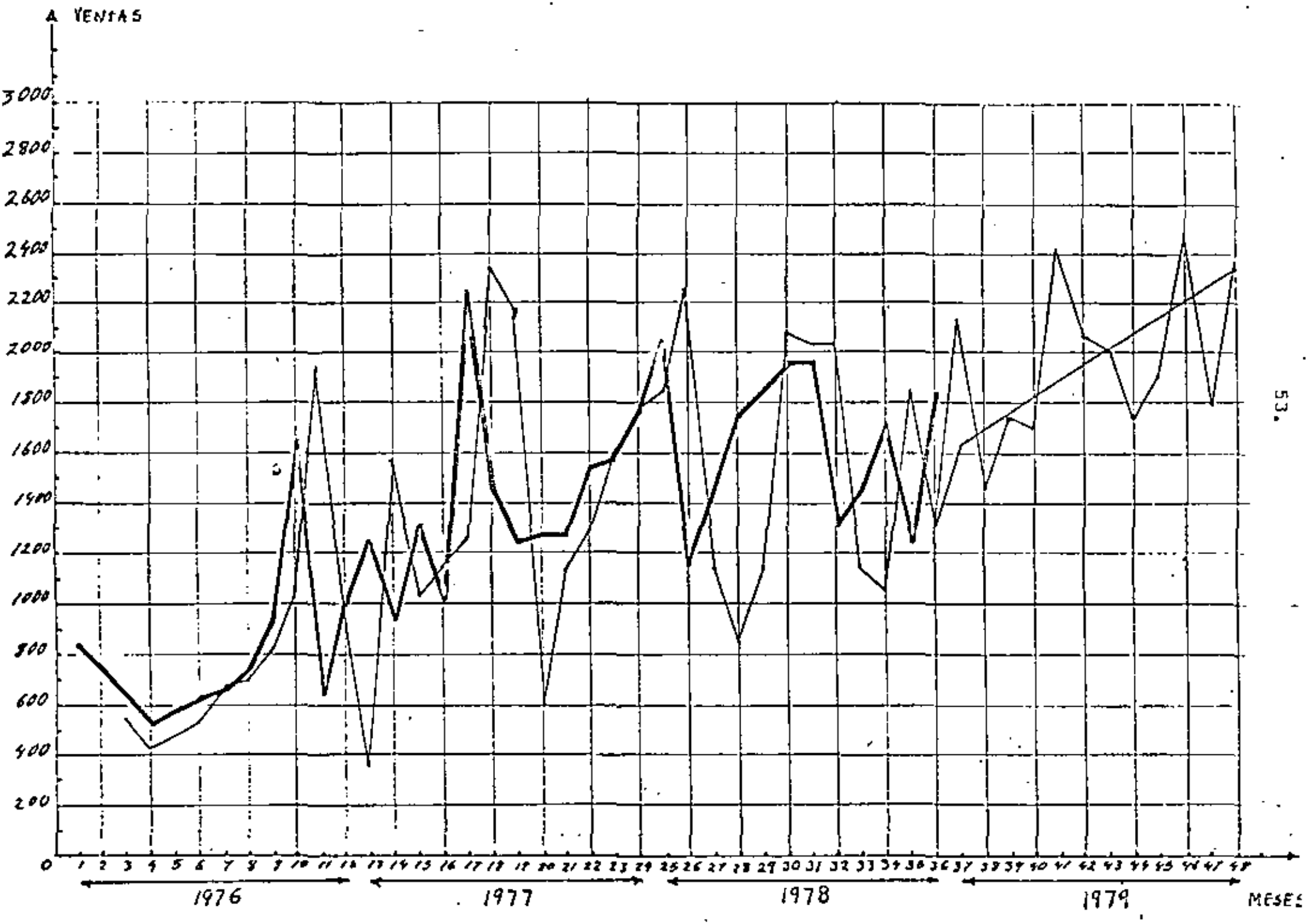
GRAFICA 27

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE DOS TERMINOS



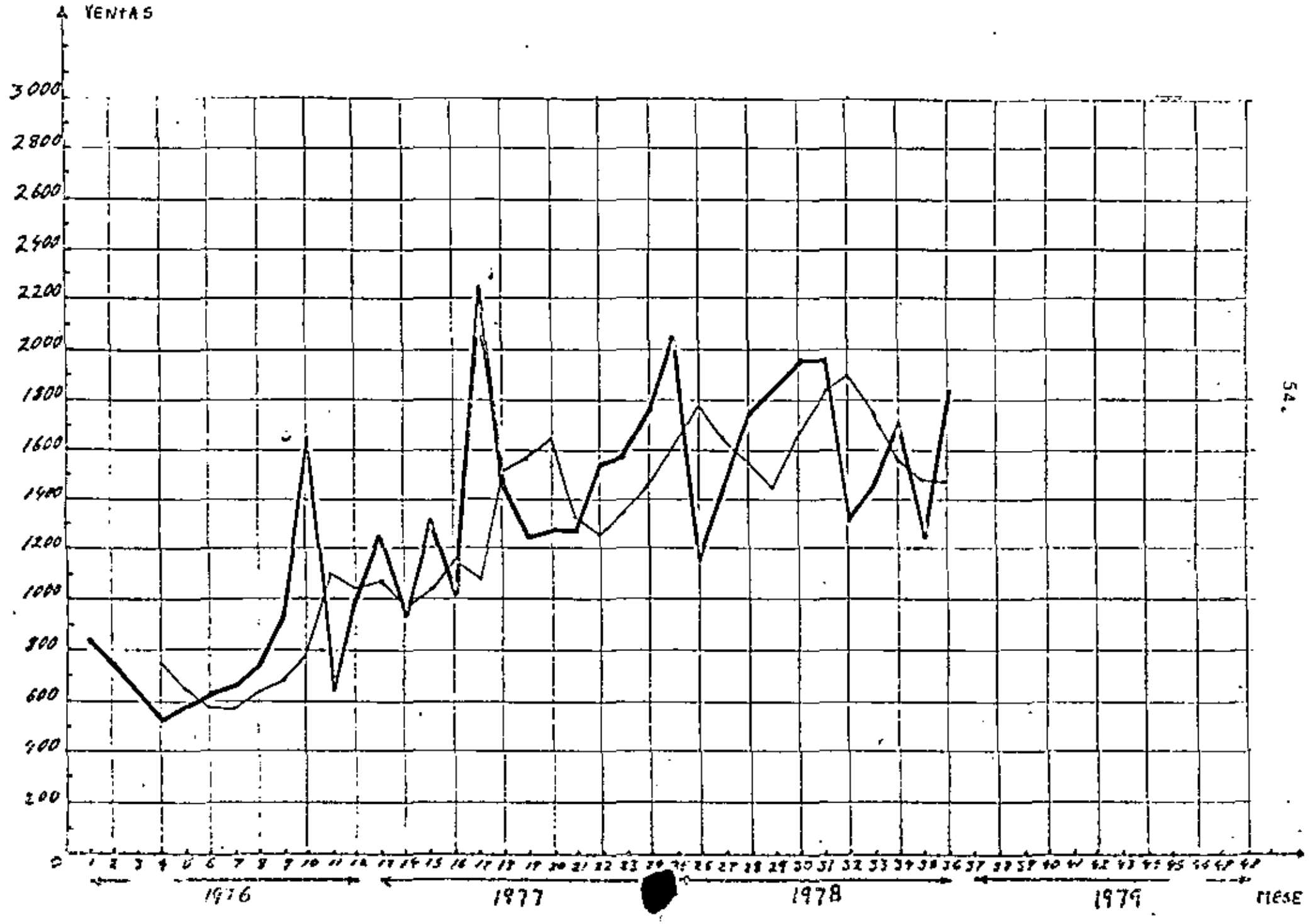
GRAFICA # 3

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE TERMINOS



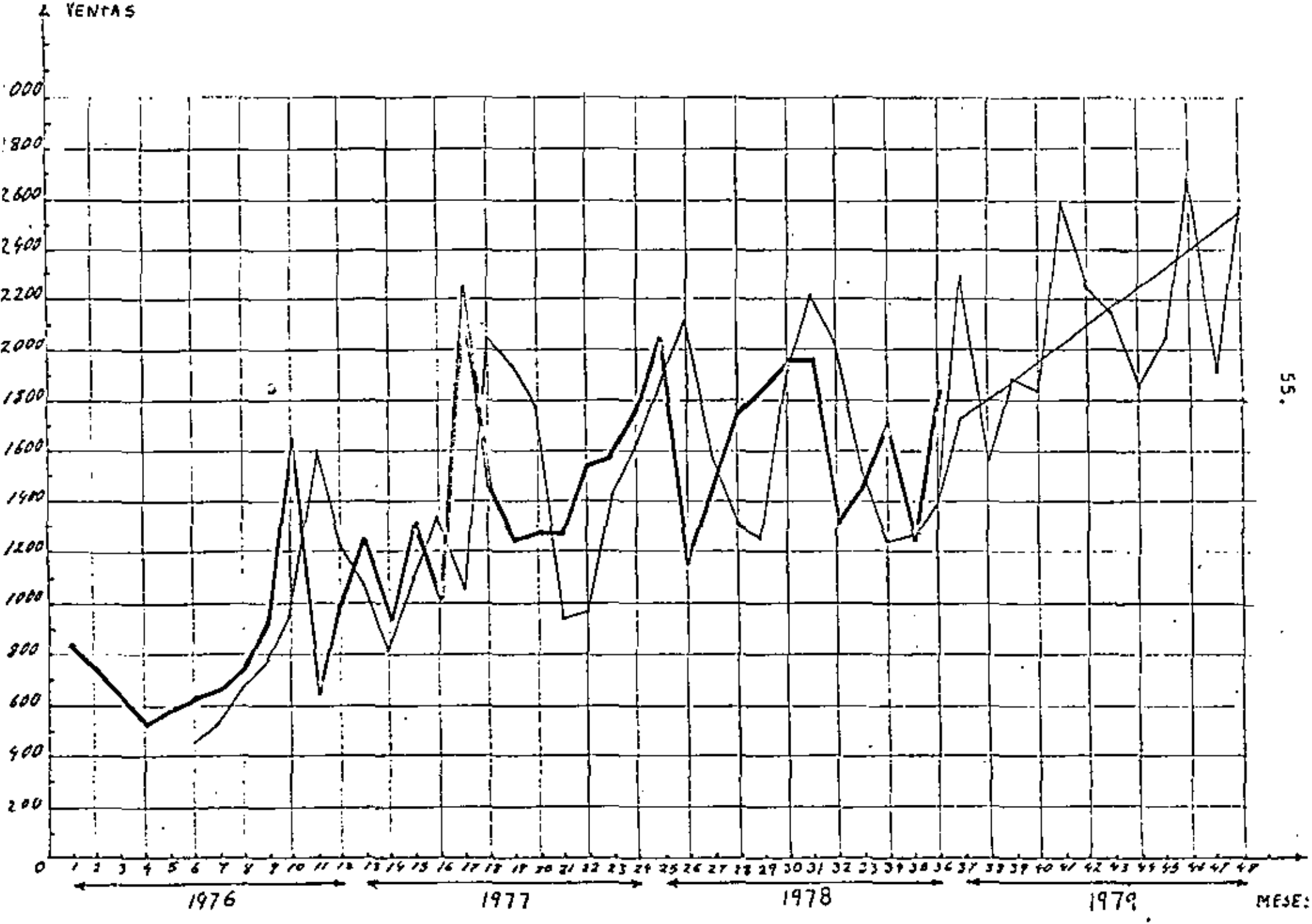
GRAFICA N° 5

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE TRES TERMINOS



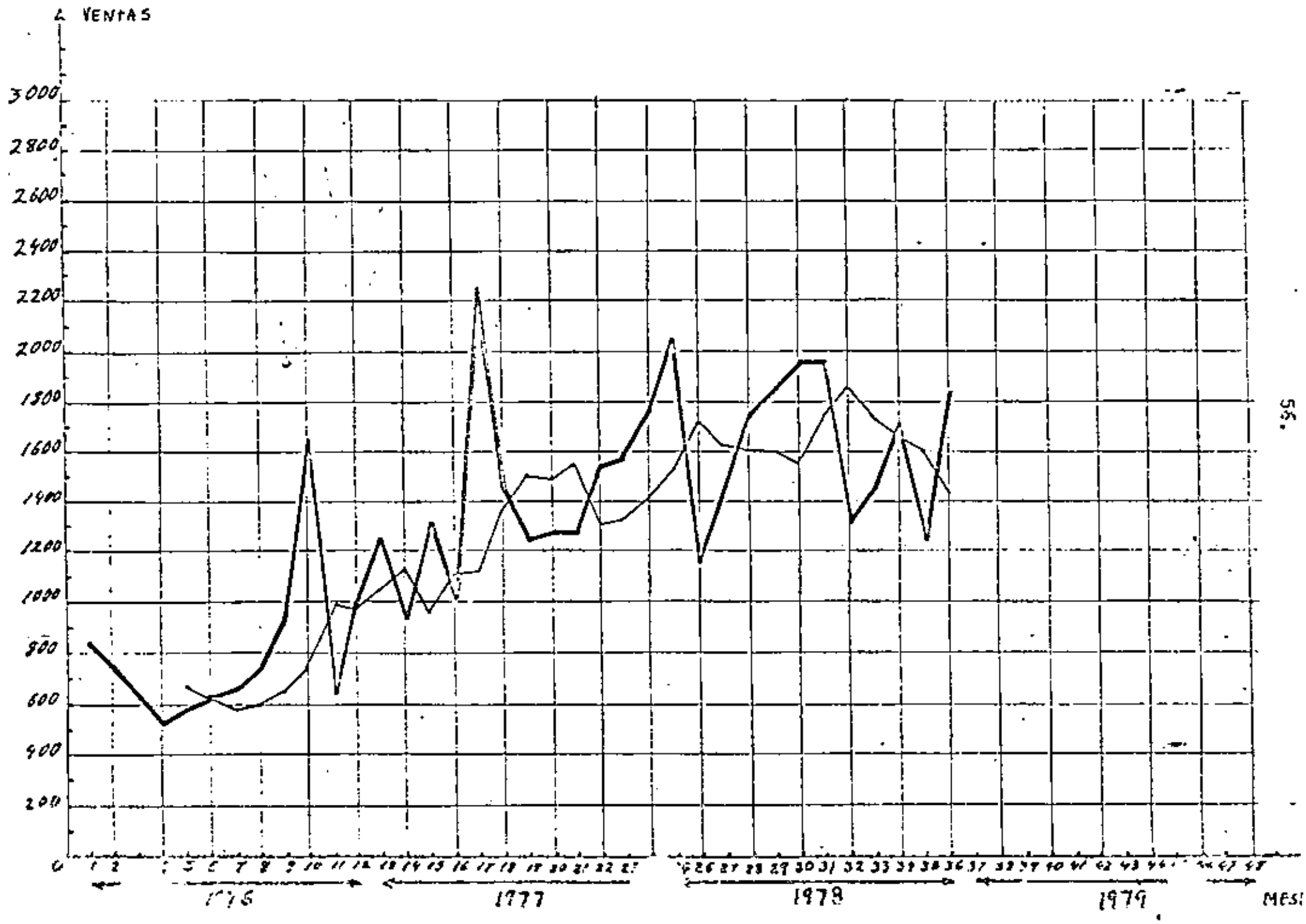
G[illegible]

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO A TRES TERMINOS



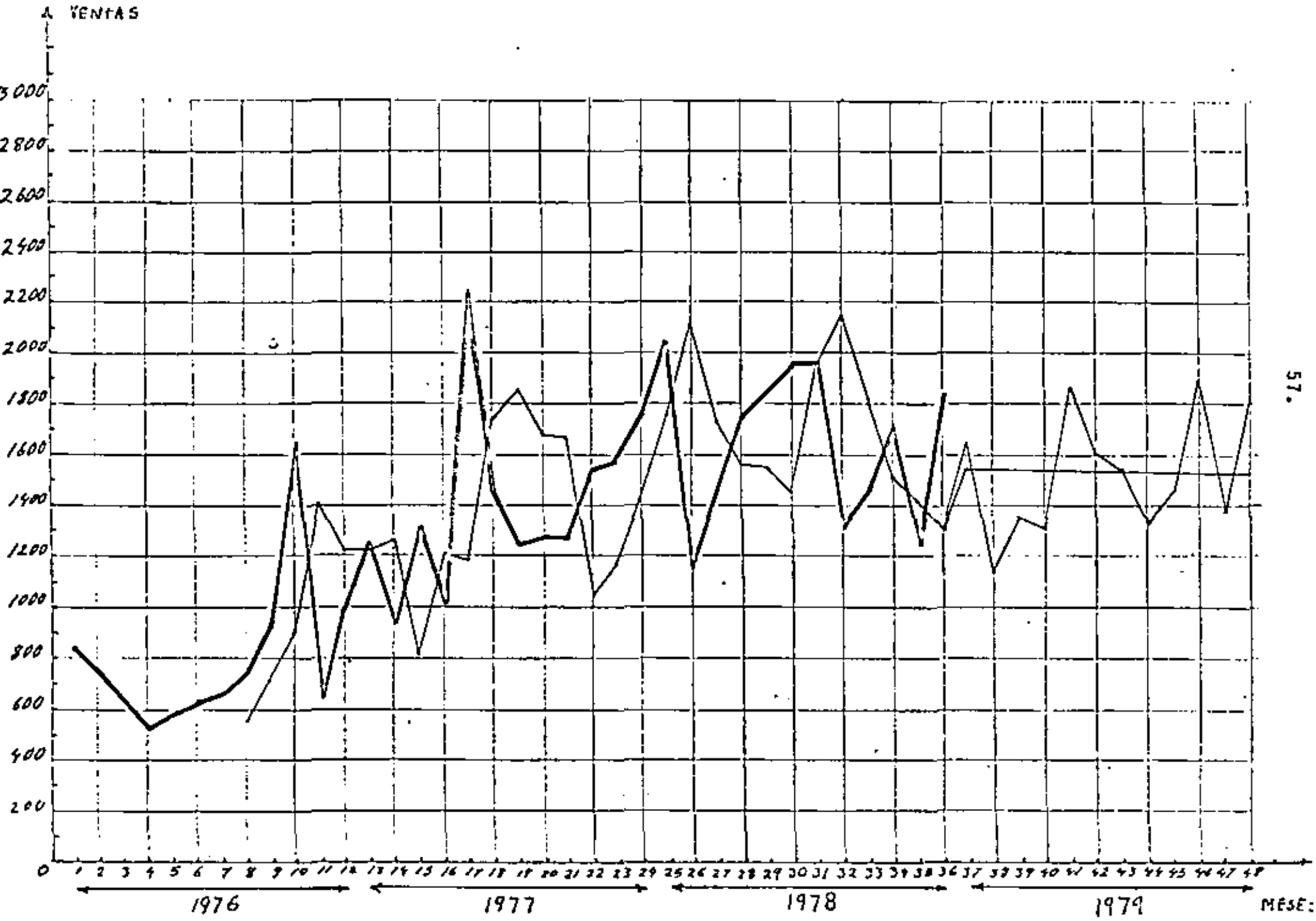
GRAFICA # 11

PROMEDIO MOVIL SIMPLE DE CUATRO TERMINOS



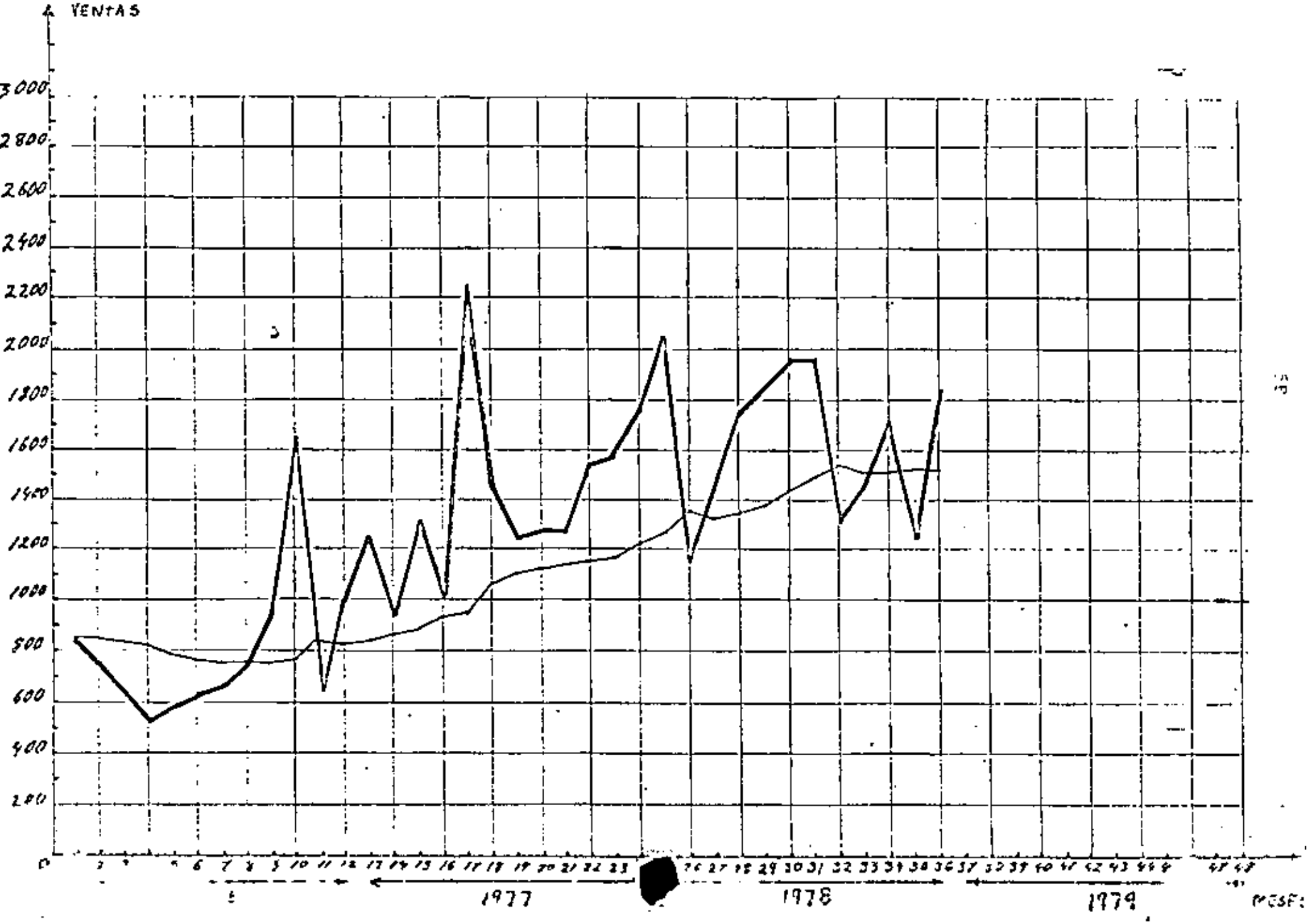
GRAFICA # 12

PROMEDIO MOVIL AJUSTADO DE CUATRO TERMINOS



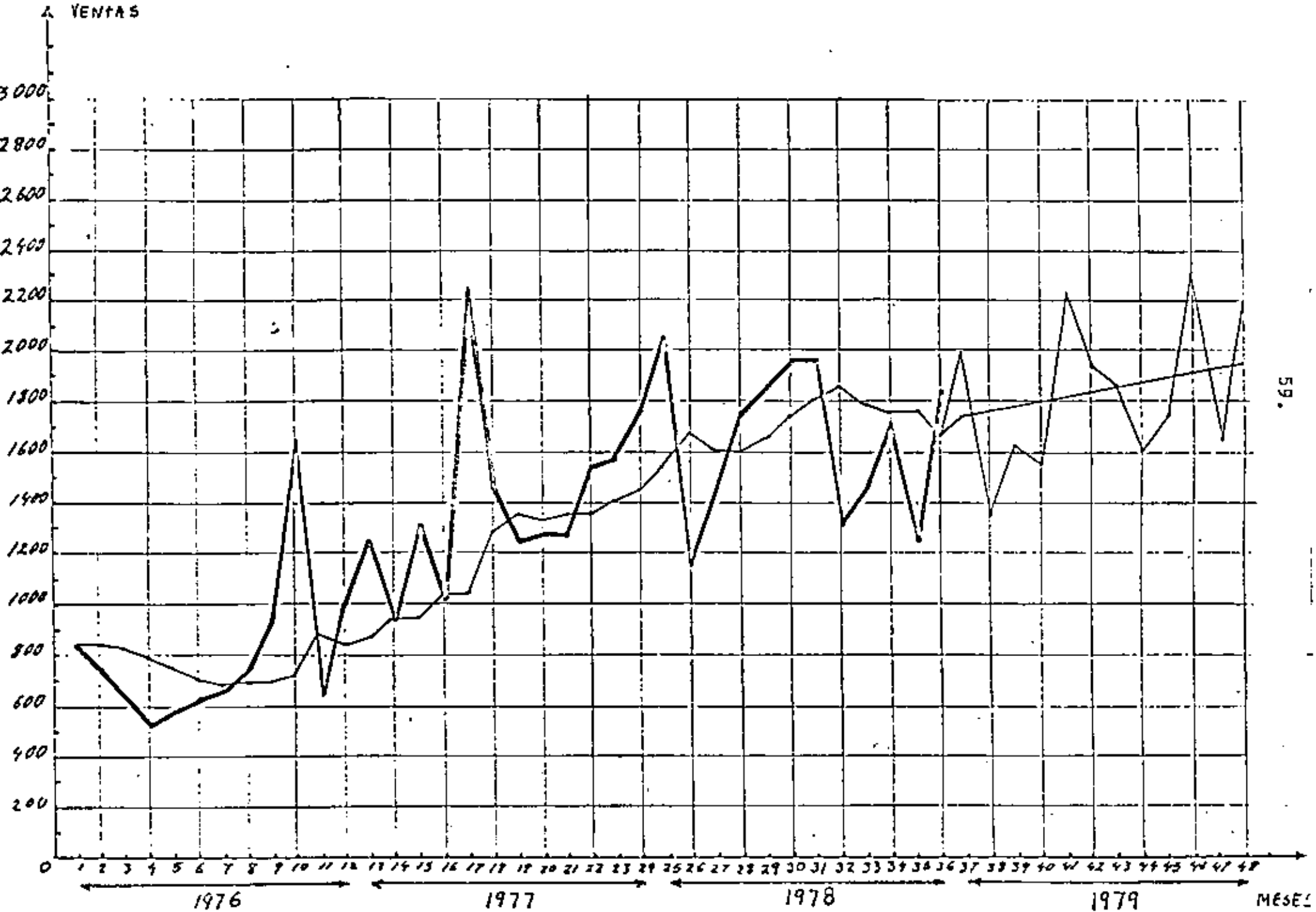
GRAFICA # 13

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON $\alpha = 0.1$



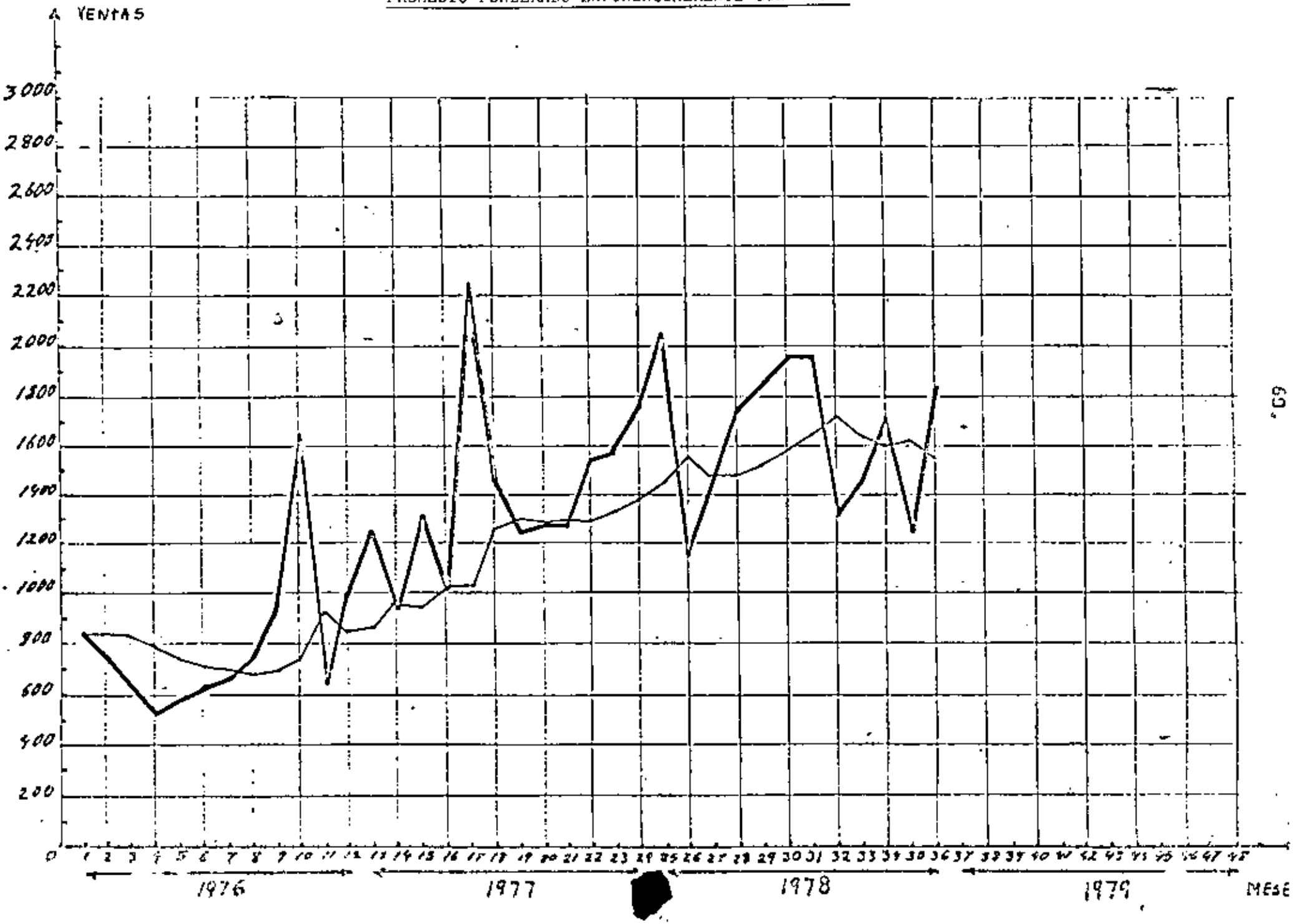
GRAFICA C-4

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON $\alpha = 0.1$



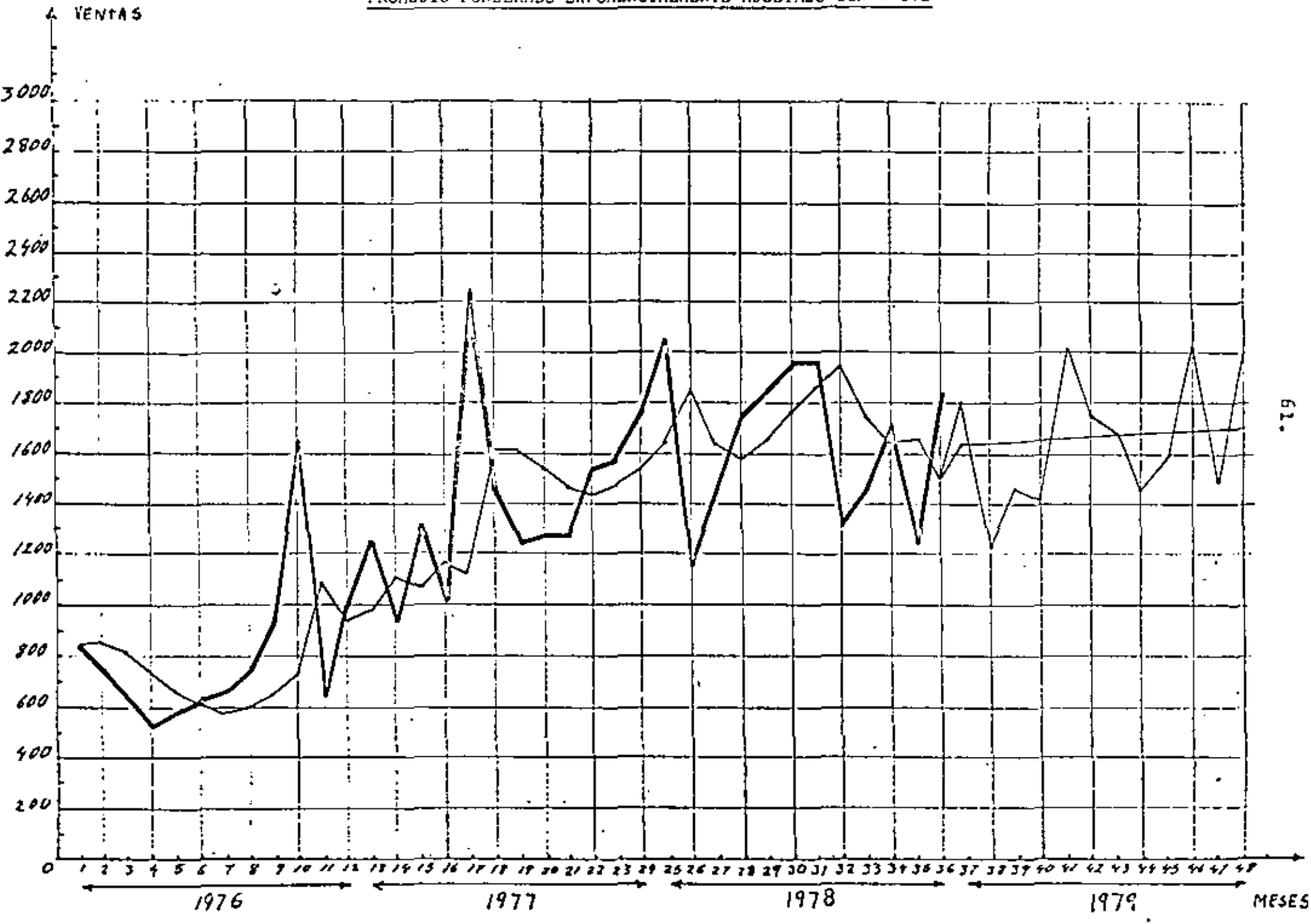
GRAFICA # 15

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.2



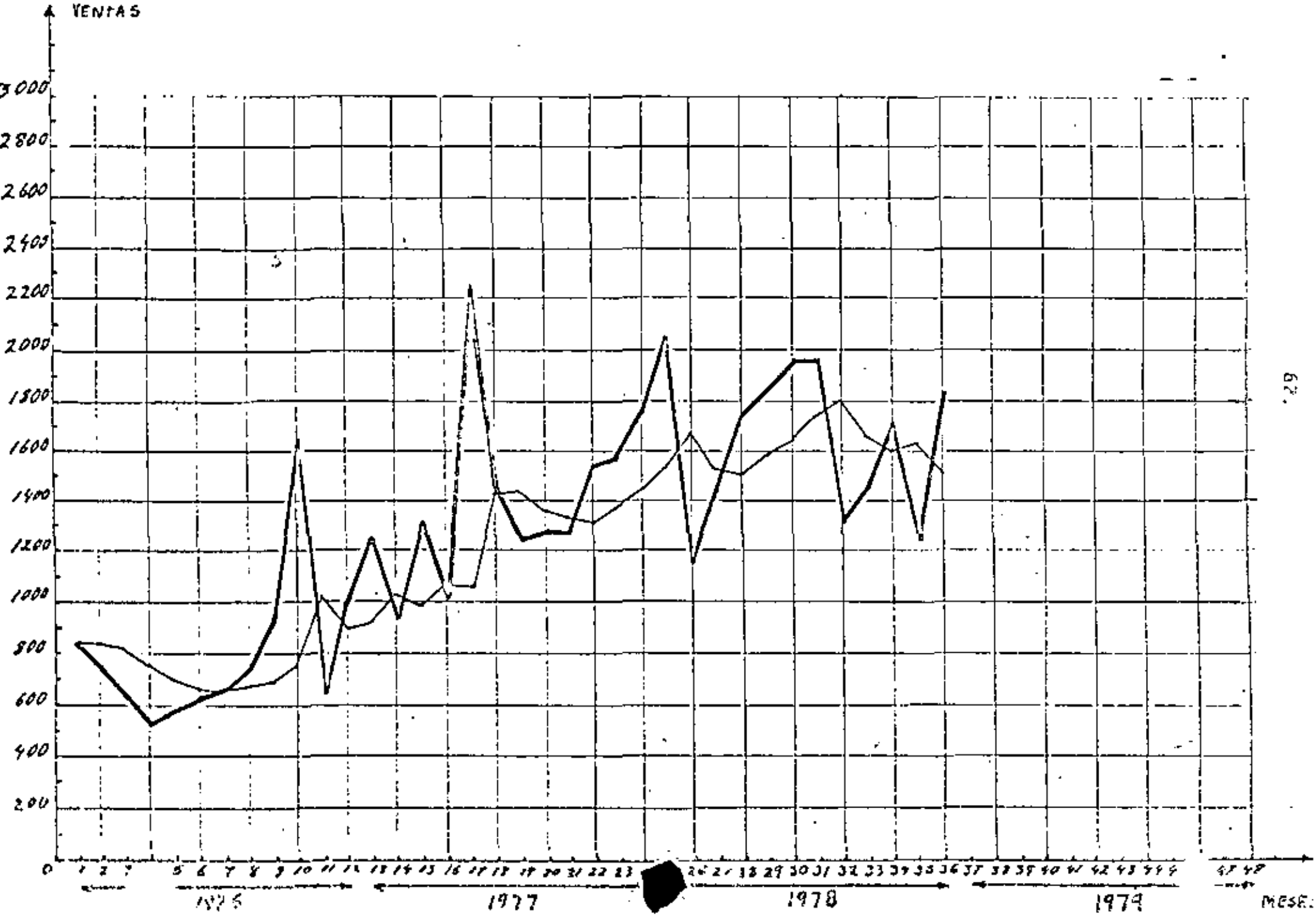
GRAFICA # 16

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON α=0.2



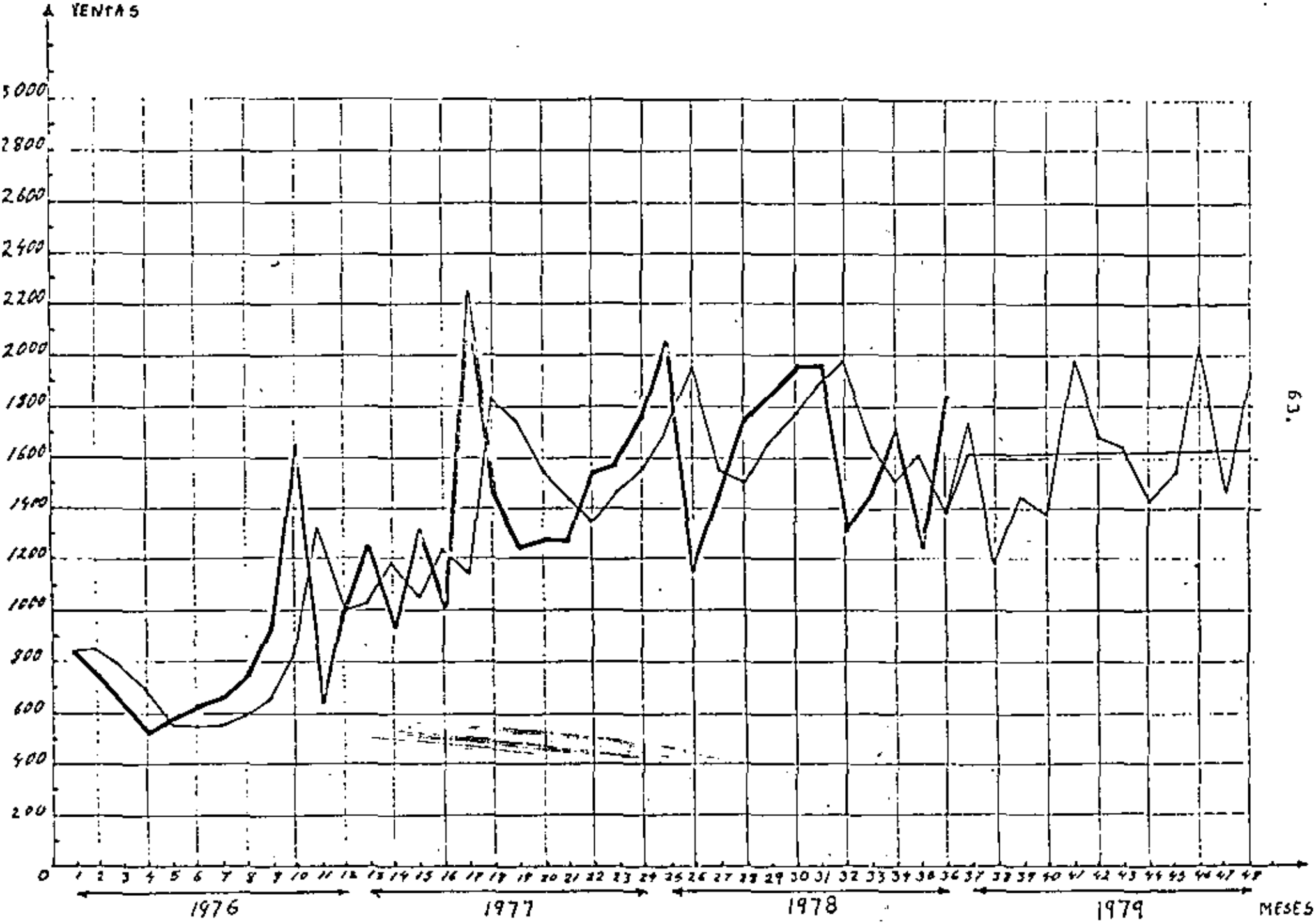
GRAFICA # 17

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE CON α=0.3



GRAFICA [redacted]

PROMEDIO PONDERADO EXPONENCIALMENTE AJUSTADO CON α=0.3



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

P R O N O S T I C O S

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE PRODUCTOS

M. EN C. JORGE RIVERA B.

MARZO-ABRIL, 1 9 8 0

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

T E M A R I O

1. PREDICCION SUBJETIVA

La metodología de predicción subjetiva en un procedimiento intuitivo o subjetivo, el cual es seguido por las siguientes razones:

i) necesidad de una solución en un período de tiempo corto
ii) cuando la relación de beneficios futuros a el costo de técnicas sofisticadas es desfavorable para el tomador de decisiones
iii) cuando el tomador de decisiones piensa que su intuición en una situación particular es más confiable que cualquier función matemática de predicción

Las características del criterio subjetivo son:

i) no es reproducible
ii) es único para un determinado tomador de decisiones individual
iii) está basado en un registro de predicciones acumulado en un período de tiempo pasado

2. MODELOS ESTRUCTURALES Y ECONOMETRICOS

Un modelo estructural es un conjunto de funciones matemáticas las cuales intentan representar relaciones casuales que describen los factores que controlan la variable que se desea predecir así como los medios disponibles para el que realiza la predicción. Ilustraremos esta metodología con el siguiente ejemplo:

Ejemplo (Evaluación de Proyectos de Inversión en Perspectiva)

Para esta evaluación se necesita primero la evaluación del beneficio futuro y por lo tanto del precio del bien que esta siendo producido. Seguiremos la nomenclatura que se presenta a continuación para el análisis de nuestro problema:

Q^s_t : cantidad suministrada al mercado en el tiempo t

Q^d_t : cantidad demandada en el mercado en el tiempo t

P_t : precio en el tiempo t

W_t : salario pagado, por hora, en la industria en el tiempo t

Y_t : ingreso del consumidor en el tiempo t

En nuestro ejemplo consideraremos que se sigue el modelo más simple en la interrelación de la economía de la firma por lo que supondremos que el precio está determinado, en un mercado competitivo, por las funciones de oferta-demanda.

En el modelo de oferta-demanda que se postula se considera:

i) Q_t^s depende del precio P_t y de W_t

ii) Q_t^d depende del precio P_t y del ingreso Y_t del consumidor

Por lo tanto, matematicamente nuestro modelo es:

$$Q_t^s = f_s(P_t, W_t)$$

$$Q_t^d = f_d(P_t, Y_t)$$

Para la completa especificación del modelo deberán realizarse las siguientes etapas:

1a. etapa: (Especificación de las funciones f_s y f_d)

En la práctica consideramos que f_s y f_d son lineales:

$$Q_t^s = \alpha_o + \alpha_1 P_t + \alpha_2 W_t \qquad (1)$$

$$Q_t^d = \beta_o + \beta_1 P_t + \beta_2 Y_t \qquad (2)$$

donde α_i $(i=0,1,2)$ y β_j $(j=0,1,2)$ son coeficientes constantes pero desconocidos.

2nd. etapa: (Inferencia de los parámetros del modelo)

Esta etapa consiste en la estimación de los valores para los coeficientes desconocidos α_i, β_j a partir de datos históricos de las variables

$$Q_t^s,\ P_t,\ W_t,\ Q_t^d,\ Y_t$$

En esta inferencia introduciremos las variables aleatorias $\xi_{s,t}$, $\xi_{d,t}$ en (1) y (2) respectivamente, las cuales representan los errores (disturbancias) asociados en las ecuaciones teóricas propuestas. Se considera que $\xi_{s,t}$ y $\xi_{d,t}$ son variables aleatorias con media cero.

$$Q_t^s = \alpha_o + \alpha_1 P_t + \alpha_2 W_t + \xi_{s,t} \qquad (3)$$

$$Q_t^d = \beta_o + \beta_1 P_t + \beta_2 Y_t + \xi_{d,t} \qquad (4)$$

La determinación de α_i y β_j se hace a través de técnicas de regresión.

NOTAS:

i) Ya que el modelo formado por las ecuaciones (3) y (4) se origina en un contexto económico, también es llamado un modelo econométrico.

ii) La estimación de los coeficientes es un problema en la aplicación de la teoría de la econometría.

3ra. etapa: (Predicción de los precios futuros)

Suponga que nos son dados los valores futuros de

$$W_t,\ Y_t,\ \xi_{s,t},\ \xi_{d,t}$$

y deseamos conocer valores futuros de precio y cantidades suministradas y demandadas en el mercado. Ya que en el sistema (3) y (4) tenemos tres incognitas

$$Q_t^s,\ Q_t^d,\ P_t$$

y dos ecuaciones, podemos resolver este sistema usando la condición de equilibrio en un mercado competitivo-perfecto:

$$Q_t^s = Q_t^d$$

con lo cual obtenemos

$$P_t = \frac{(\beta_0 + \beta_2 Y_t + \xi_{d,t}) - (\alpha_0 + \alpha_2 W_t + \xi_{s,t})}{(\alpha_1 - \beta_1)}$$

NOTAS:

i) En la práctica no se tiene información sobre las disturbancias, sin embargo se puede considerar que son iguales a $E(\xi_{s,t})=0$ y $E(\xi_{d,t})=0$

ii) W_t y Y_t fueron consideradas conocidas o que se habían determinado fuera del modelo (variables exogenas). Su determinación podría ser otro problema de predicción o se usaría predicciones subjetivas (intuitivas) para considerar al salario y al ingreso como entradas al modelo. Sin embargo en esta última situación, también podría preferirse confiar directamente en una predicción intuitiva del precio ya que probablemente se tenga más confianza en nuestro "sentimiento" que tenemos sobre nuestro mercado que en magnitudes tan relativas e intangibles como ingreso del consumidor.

Fuentes de error en la predicción cuando se emplea el modelo estructural:

i) salarios o ingresos futuros diferiran de los valores supuestos cuando el modelo fue resuelto para obtener predicciones

ii) valores reales de disturbancias futuras diferiran de cero

iii) error de muestreo que se presenta en la estimación de los coeficientes en la etapa segunda

iv) error de especificación del modelo, es decir, la estructura misma puede ser deficiente en algún aspecto, por ejemplo, la relación de oferta-demanda podría ser no-lineal, en lugar de lineal como supusimos

3. TECNICAS DE REGRESION

En esta sección se estudiaran las técnicas de regresión para estimar los parametros de algunos modelos de series en el tiempo. Primeramente se analiza un caso particular del modelo general lineal, el caso particular es de la forma:

$$x_t = a+bt+ \xi_t \qquad (3.1)$$

y después el modelo general lineal en los paramétros a_i, que puede representarse por:

$$x_t = \sum_{i=1}^{n} a_i f_i(t) + \xi_t \qquad (3.2)$$

Este modelo general comprende varios casos que se pueden presentar en la práctica, como pueden ser los siguientes:

$$x_t = a_o + a_1 t + a_2 t^2 + \xi_t$$

$$x_t = a_o + a_1 t + a_2 \text{Sen } 2\Pi t + a_3 e^{t} + \xi_t$$

Notese, que ambos modelos son lineales en los parametros a_i

3.1 MODELO LINEAL SIMPLE

DEFINICION. Sea $\Lambda = \{1,2,..,T\}$ el conjunto indicador histórico de la serie $\{x_t : t \in \Lambda\}$. El modelo lineal simple para la serie en el tiempo $\{x_t : t \in \Lambda\}$, se definira por la relación:

$$x_t = a + bt + \xi_t, \qquad t \in \Lambda \qquad (3.3)$$

y debera satisfacer las siguientes suposiciones sobre la variable aleatoria ξ_t (que representa el error del pronóstico cuando se usa la relación (3.3)):

i) $E(\xi_t) = 0$ (ie, el promedio del error es cero)

ii) $V(\xi_t) = \sigma_\xi^2$ (ie, la varianza del error es constante e igual a σ_ξ^2)

iii) $cov(\xi_i, \xi_j) = 0$ para $i \neq j$ (ie, los errores son variables aleatorias no correlacionadas)

El siguiente teorema, nos presenta la forma de estimar los parametros a y b del modelo (3.3), usando el criterio de mininos cuadrados y también proporciona la forma de obtener el pronóstico para un tiempo futuro $T + r$

TEOREMA. Sea $\{x_t, t \in A\}$ una serie en el tiempo con $A = \{1,2,\ldots,T\}$ como conjunto indicador histórico. Si el modelo elegido para esta serie es de la forma (3.3) entonces:

i) los estimadores $\hat{a}$ y $\hat{b}$ de los parametros a y b respectivamente, por el criterio de mínimos cuadrados son:

$$\hat{a} = \frac{2(2T+1)}{T(T-1)} \sum_{t=1}^{T} x_t - \frac{6}{T(T-1)} \sum_{t=1}^{T} t x_t \equiv \hat{a}(T) \qquad (3.4)$$

$$\hat{b} = \frac{12}{T(T^2-1)} \sum_{t=1}^{T} t x_t - \frac{6}{T(T-1)} \sum_{t=1}^{T} x_t \equiv \hat{b}(T) \qquad (3.5)$$

ii) el pronóstico para un tiempo futuro $T + r$, es:

$$\hat{x}_{T+r} = \hat{a}(T) + \hat{b}(T)[T + r] \qquad (3.6)$$

Demostración:

i) El criterio de mínimos cuadrados, consiste en elegir aquellos valores $\hat{a}$ y $\hat{b}$, que minimizen la suma de los cuadrados de los residuos, la cual se indicara por SS_E, ie,

$$SS_E = \sum_{t=1}^{T} [x_t - \hat{a} - \hat{b}t]^2 .$$

Para minimizar SS_E, $\hat{a}$ y $\hat{b}$ deberán satisfacer que

$$\frac{\partial SS_E}{\partial \hat{a}} = 0 \quad y \quad \frac{\partial SS_E}{\partial \hat{b}} = 0.$$ Estas dos condiciones, nos dan origen a dos ecuaciones en las incognitas $\hat{a}$ y $\hat{b}$ que al resolverlas, se obtiene los resultados mostrados en la parte i) del teorema. Para la demostración de la parte ii) baste sustituir los valores de los estimadores $\hat{a}$ y $\hat{b}$ en el modelo lineal simple, y evaluar x_t en el tiempo $t = T + r$.

Los detalles de la demostración aparecen en la referencia 9

NOTA. Los valores de los estimadores $\hat{a}$ y $\hat{b}$, fueron calculados en base a un número T de datos históricos, por lo que su valor depende de este número T de datos disponibles. Por esta razón los valores de $\hat{a}$ y $\hat{b}$ se han indicado por $\hat{a}(T)$ y $\hat{b}(T)$ para hacer incapie que estan calculados en base a un número T de datos.

EJEMPLO. El registro de la demanda semanal de un producto nuevo es mostrado en la tabla de abajo. Use estos datos para estimar los parametros en el modelo de tendencia lineal.

Semana (t)	Demanda (x_t)
1	10
2	12
3	15
4	18
5	20

Aplicando la primera parte del teorema anterior se tiene

$$\sum_{t=1}^{5} x_t = 75 \qquad \sum_{t=1}^{5} tx_t = 251$$

$$\hat{a}(5) = \frac{2(1)}{5(4)}(75) - \frac{6}{5(4)}(251) = 7.2$$

$$\hat{b}(5) = \frac{12}{5(24)}(251) - \frac{6}{5(4)}(75) = 2.6$$

Aplicando la segunda parte del teorema, la ecuación de pronóstico es

$$\hat{x}_{5+} = 7.2 + 2.6(5 + \tau)$$

El pronóstico de la demanda para la siguiente semana, es decir, $\tau=1$, es

$$\hat{x}_6 = 7.2 + 2.6(6) = 22.8 \approx 23$$

3.2 MODELO GENERAL LINEAL

DEFINICION. El modelo general lineal se define por la relación

$$x_t = \sum_{i=1}^{n} a_i f_i(t) + \xi_t , \qquad t \in A \tag{3.7}$$

donde $A=\{1,\ldots,T\}$ es el conjunto indicador histórico, las a_i son los parametros de regresión, $f_i(t)$ son funciones independientes del tiempo y se cumplen las siguientes condiciones: $E(\xi_t)=0$, $V(\xi_t)=\sigma_\xi^2$, y $cov(\xi_i,\xi_j)=0$ para $i\neq j$.

NOTAS. Representaciones matriciales.

i) Representación matricial del modelo general lineal (3.7):

Sea $a=(a_i)$ un vector columna nx1, $f(t)=(f_i(t))$ un vector columna nx1, $x(t)=(x_i)$ un vector renglón 1xT, $\xi=(\xi_i)$ un vector renglón 1xT, y F una matriz definida por

$$F = \begin{bmatrix} f_1(1) & f_1(2) & \ldots & f_1(T) \\ f_2(1) & f_2(2) & \ldots & f_2(T) \\ \vdots & & & \\ f_n(1) & f_n(2) & \ldots & f_n(T) \end{bmatrix}$$

La notación a' indica la transpuesta de a. La relación (3.7) puede expresarse matricialmente por cualquiera de las siguientes formas:

$$x_t = a' f(t) + \varepsilon_t \qquad t \in \Lambda \tag{3.8}$$

$$x = a'F + \varepsilon \tag{3.9}$$

ii) Representación matricial del residuo:

Sea $\hat{a}=(\hat{a}_i)$ un vector nx1, un estimador de $a=(a_i)$. Sea

$$e_t = x_t - \hat{x}_t = x_t - a' f(t) , \qquad t \in \Lambda \tag{3.10}$$

el t-ésimo residuo.

Si $e=(e_t)$ es un vector 1xT, la representación matricial del residuo, i.e. de la ecuación (3.10), es

$$e = x - \hat{a}'F \tag{3.11}$$

iii) Representación matricial de la suma con prioridades de los cuadrados de los residuos:

Sea $$SS_E = \sum_{t=1}^{T} W_{tt}^2 e_t^2 \tag{3.12}$$

la suma con prioridades de los cuadrados de los residuos, donde W_{tt}^2 es el factor de prioridad asociado al t-ésimo residuo.

Si $\mathbf{W}$ es una matriz definida por

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & \\ 0 & 0 & & 0 & W_{TT} \end{bmatrix}$$

entonces la representación matricial de SS_E es

$$SS_E = (e\mathbf{W})(e\mathbf{W})' = e\mathbf{W}\mathbf{W}'e = e\mathbf{W}^2 e =$$

$$= x\mathbf{W}^2 x' - \hat{a}'F\mathbf{W}^2 x' - x\mathbf{W}^2 F' \hat{a}' + \hat{a}'F\mathbf{W}^2 F\hat{a}' \tag{3.13}$$

El siguiente teorema presenta resultados para la estimación de los parametros de regresión y para el pronóstico, en el caso del modelo general lineal. Además proporciona algunas características del estimador de los parametros de regresión, estableciendo que el estimador obtenido por el criterio de mínimos cuadrados es insesgado. También proporciona un estimador para la varianza de los errores aleatorios, σ_ε^2. Todos los resultados del siguiente teorema también son válidos para el modelo lineal simple de la sección 3.1.

TEOREMA. Para el modelo general lineal (3.7) se tiene

i) el estimador $\hat{a}'=(\hat{a}_i)$ de $a=(a_i)$, usando el criterio de mínimos cuadrados es:

$$\hat{a} \doteq G^{-1}g \equiv \hat{a}(T) \qquad (3.16)$$

donde $G=(FW)(FW)'$, y $g=FW^2x'$

ii) el pronóstico para un tiempo futuro $T+\tau$, es

$$x_{T+\tau}=a'(T)f(T+\tau) \qquad (3.17)$$

iii) el estimador $\hat{a}$ es insesgado, ie.,

$$E(\hat{a})=a$$

iv) la matriz de variancia-covariancia del estimador $\hat{a}$ es

$$V=E(\hat{a}-a)(\hat{a}-a)'={}^2G^{-1}FW^2(FW^2)'G^{-1} \qquad (3.18)$$

si W es la matriz unitaria (ie. todos los datos reciben los mismos pesos), entonces

$$V=\sigma_\zeta^2G^{-1}=\sigma_\zeta^2(FF')^{-1} \qquad (3.19)$$

v) si σ_ζ^2 es desconocido, un estimador de σ_ζ^2 es

$$\sigma_\zeta^2=\frac{ee'}{T-n} \qquad (3.20)$$

DEMOSTRACION. Considerando el criterio de mínimos cuadrados, habra que encontrar un vector a tal que minimize SS_ζ, la cual esta dada por(3.15). Los detalles aparecen en la referencia 9.

4. TECNICAS DE PROMEDIOS MOVILES

Se presentan en esta sección, dos técnicas de pronósticos basados en promedios móviles.

Las técnicas de promedios móviles consisten en aplicar el criterio de mínimos cuadrados a un conjunto de datos históricos de tamaño fijo, donde a cada dato del conjunto histórico se le asigna el mismo factor de prioridad (o peso). Se analizarán las técnicas de promedios móviles para procesos constantes y de tendencia lineal.

4.1 PROCESOS CONSTANTES

DEFINICION. Un proceso constante para la serie en el tiempo $\{x_t : t \in A\}$, es un modelo de la forma

$$x_t = a + \xi_t \qquad (4.1)$$

donde a es un parametro desconocido, constante en cualquier segmento local de tiempo, pero es posible que en diferentes intervalos largos de tiempo varíe. ξ_t es una variable aleatoria tal que

$$E(\xi_t) = 0 \quad y \quad V(\xi_t) = \sigma_\xi^2$$

TEOREMA (TECNICA DE PROMEDIOS MOVILES). Para el proceso constante (4.1) se tiene que

i) el estimador $\hat{a}$ de a, tomando en cuenta unicamente N de los T datos del conjunto indicador histórico $A = \{t: t = 1,2,\ldots T\}$, y usando el criterio de mínimos cuadrados, esta dado por

$$\hat{a} = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^{T} x_t \equiv M_T \qquad (4.2)$$

o alternativamente por

$$M_t = M_{T-1} + \frac{x_T - x_{T-N}}{N} \qquad (4.3)$$

ii) el pronóstico para un tiempo futuro $T + \tau$, es:

$$\hat{x}_{T+\tau} = \hat{a} = M_T \qquad (4.4)$$

DEMOSTRACION. Usando el criterio de mínimos cuadrados y considerando que solo usaremos los N más recientes datos del conjunto histórico, se tiene que suma de los cuadrados de los residuos, SS_E, esta dado por:

$$SS_E = \sum_{t=T-N+1}^{T} (x_t - \hat{a})^2$$

El valor de $\hat{a}$ que minimiza SS_E, satisface que

$$\frac{\partial SS_E}{\partial \hat{a}} = 0, \text{ lo cual implica que}$$

$$\hat{a} = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^{T} x_t$$

NOTA

El estimador M_T para a, es el promedio de las N más recientes observaciones del conjunto histórico $\{x_t : t \in A\}$. Por esta razón M_T es llamado un promedio móvil de período N. En cada período la observación más vieja es descartada y la más nueva es añadida al conjunto.

EJEMPLO. La demanda de un gato hidráulico en los últimos 6 días es $x_1 = 19$, $x_2 = 24$, $x_3 = 22$, $x_4 = 19$, $x_5 = 20$, $x_6 = 16$. El estimador M_6 para a es:

$$M_6 = \frac{1}{6}\,[\,19+24+22+19+20+16\,] = 20$$

Por lo tanto $\hat{a} = M_6 = 20$. El pronóstico para el siguiente día es $\hat{x}_7 = \hat{a} = 20$. Suponiendo que al otro día se observa una demanda $x_7 = 22$, entonces eliminamos x_1 y añadimos x_7 para obtener un nuevo estimador M_7,

$$M_7 = \frac{1}{6}\,[\,24+22+19+20+16+22\,] = 20.5$$

o usando la ecuación (3.22)

$$M_7 = 20 + \frac{22 - 19}{6} = 20.5$$

NOTA. El comportamiento del método de promedio móviles es una función de N, el número de observaciones que se desean promediar. Se analizará cuando es conveniente elegir un valor grande de N y cuando un valor pequeño.

i) Si el parametro "a" del proceso cambia subitamente de un valor $a = a_1$ a un valor $a = a_2$, se necesitará que N sea pequeño para que al calcular M_T no se tomen datos más viejos ya que estos ya no proporcionarán una buena evaluación del nuevo parámetro $a = a_2$. Nótese que, si se elige un valor grande de N entonces si se estarán tomando los primeros datos los cuales ya no representan el comportamiento del proceso. Por esta razón se dice que cuando N es grande, el método de promedios móviles reacciona lentamente a cambios súbitos del parámetro a del proceso.

ii) Si el parámetro "a" del proceso no cambia, entonces se desea que N sea grande, ya que para N grande se obtendrá un estimador $\hat{a}$ con menor varianza porque

$$V(\hat{a}) = \frac{\sigma_x^2}{N} \longrightarrow 0 \quad \text{cuando} \quad N \longrightarrow \infty$$

lo cual es una característica deseable para un estimador.

REFERENCIAS

1. Bolch, B. W., and Huang, C. J., MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS FOR BUSINESS AND ECONOMICS. Prentice Hall, 1974

*2. Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. , TIME SERIES ANALYSIS, FORECASTING AND CONTROL. Holden Day, 1970

3. Brown, R.G., SMOOTHING, FORECASTING AND PREDICTION OF DISCRETE TIME SERIES, Prentice Itall. 1963

4. Brown, R.G., STATISTICAL FORECASTING FOR INVENTORY CONTROL, Mc Graw-Hill. 1959

5. Buffa, E.S., and Taubert, W.H., PRODUCTION-INVENTORY SYSTEMS: PLANNING AND CONTROL, Revised edition, Irwin; Inc, 1972

6. Draper, N.R., and Smith, H., APPLIED REGRESSION ANALYSIS, Wiley, 1968

7. Graybill, F.A., INTRODUTION TO LINEAR STATISTICAL MODELS, Vol. I, McGraw-Hill, 1961

8. Huang, D.C., REGRESSION AND ECONOMETRIC METHODS, Wiley, 1970

*9. Johnson, L.A., and Montgomery, D.C., OPERATIONS RESEARCH IN PRODUCTION PLANNING, SCHEDULING, AND INVENTORY CONTROL, Wiley, 1974

*10. Makridakis, S., Hodgsdon, A., and Wheelwright, C. AN INTERACTIVE FORECASTING SYSTEM, The American Statisticion, Vol. 28, No. 4. 153-158, 1974

*11. Nelson, C.R., APPLIED TIME SERIES ANALYSIS FOR MANEGERIAL FORECASTING. Holden-Day, 1973

12. Wheelwright, S., and Makridakis, S., FORECASTING METHODS FOR MANAGEMENT, Wiley, 1973

*Estas son las referencias principales en que se basa este curso

Statistical Computing

This Department will carry articles of high quality on all aspects of computation in statistics.
Papers describing new algorithms, programs, or statistical packages will not contain listings of the program, although the completely documented program must be available from the author. Review of the paper will always include a running test of the program by the referee.
The Editorial Committee will be pleased to confer with authors about the appropriateness of topics or drafts of possible articles.

An Interactive Forecasting System

SPYROS MAKRIDAKIS,* ANNE HODGSDON* AND STEVEN C. WHEELWRIGHT**

ABSTRACT

Time sharing computer configurations have introduced a new dimension in applying statistical and mathematical models to sequential decision problems. When the outcome of one step in the process influences subsequent decisions, then an interactive time-sharing system is of great help. Since the forecasting function involves such a sequential process, it can be handled particularly well with an appropriate time-shared computer system. This paper describes such as system which allows the user to do preliminary analysis of his data to identify the forecasting technique or class of techniques most appropriate for his situation and to apply those in developing a forecast. This interactive forecasting system has met with excellent success both in teaching the fundamentals of forecasting for business decision making and in actually applying those techniques in management situations.

The past decade has seen a number of developments in the area of forecasting methods that can be used in business. These advances in both theory and practice have been largely in response to requirements placed on individual firms by the increasing complexity and competitiveness of the business environment. Companies of all sizes now find it essential to make forecasts for a number of uncertain quantities which affect their decisions and their performance.

As with the development of most management science techniques, the application of these methods has lagged behind their theoretical formulation and verification. Thus, while most managers are aware of the need for forecasting methods, few managers are familiar with the range of techniques that have been developed and the characteristics of those which must be known in order to select the most appropriate technique for a given situation.

Unfortunately, because of the lack of experience which managers have in formalized forecasting procedures there is very little reported work that deals directly with the management side of forecasting problems and the issues with which the manager must deal. Rather, the existing forecasting literature consists of a number of excellent books and articles that deal with a particular forecasting technique or with a narrow class of techniques and its technical characteristics (see, for example, the Box and Jenkins [1] approach to time series forecasting, Johnston's [5] treatment of regression techniques, and Brown's [2] smoothing methods for time series analysis). However, as operations researchers have found in the past, in order to gain wide-spread management acceptance of these methods it is necessary not only to describe their technical aspects, but to translate those characteristics into practical management concern. The factors of primary concern to managers include the practical experience that others have had in using the method, the cost of applying the method, the limitation of the forecast developed by that method, and the accuracy of the resulting forecast.

Those who have tried to apply forecasting methods in recent years have become aware of a number of requirements that are difficult to meet with existing techniques and systems. Three of the most important of these are the following:

1. *The Difficulty of Maintaining Flexibility In Approaching New Situations*

Managers have found that it is extremely easy to develop a preference for one forecasting method over all others and then to use that almost exclusively in any new situation. However, they generally recognize the need to consider a range of alternative techniques in such cases. One source of this difficulty is reliance largely on a single technical person in the firm as the source of knowledge concerning forecasting methods. It is difficult to expect that person to feel unbiased toward each of several alternative forecasting methods simply because of the magnitude of the intellectual task involved. Thus, a system that explicitly supports the consideration of many different techniques for each new forecasting problem would be clearly attractive to managers.

2. *Considering All Relevant Factors In Selecting A Forecasting Technique*

Managers are well aware of the need to consider not only accuracy but a number of other factors in selecting a forecasting technique for a new situation. Since trade-offs and judgments must be made concerning these various factors, the manager needs to be involved actively in applying any forecasting system to make those considerations.

* European Inst. of Business Admin., INSEAD, Blvd. de Constance, 77305 Fontainebleau, France.
** Harvard Business School, Boston, Mass. 02163.

3. *A Mechanism For Rapidly Screening Alternative Techniques*

A third point that has created problems for many managers in forecasting is that they have felt compelled to turn any new situation directly over to a technical person on their staff, since they did not feel competent to do the preliminary analysis themselves. However, in many situations, if the manager could do such a preliminary screening of alternative techniques for a given situation, it might save considerable time and effort in the long run. It would also encourage the adoption of formal forecasting procedures in situations where it may not be worthwhile to make the commitment required to obtain the involvement of a specialist.

In addition to the problems that have been recognized by managers trying to apply forecasting, those teaching in business management programs have also identified some major problems. One of these is a tendency to get bogged down in the classroom in technical details at the exclusion of more practical considerations. This is a natural tendency, given that most of the literature on forecasting is technical in its orientation and that there is little written about actual experiences in forecasting.

Another problem faced by those teaching forecasting is that it takes a considerable amount of time to have students apply a single forecasting technique in a thorough manner to a single situation. Since most courses are relatively short, they do not allow the time necessary to apply a number of those techniques to each of several problem situations.

Finally, teachers have found it particularly difficult to teach about the assumptions inherent in each alternative forecasting method and the implications of those in practice. An obvious solution to this last problem would be to give the students some practical experience in applying the methods. But again, the time generally required to do this for a wide range of situations makes it impractical in all but the most specialized courses.

Based largely on a recognition of the above problems, the authors have over the past few years developed an interactive system for both teaching forecasting methods and applying them in practice. This system has been installed on a time-shared computer and used by a number of students. The remainder of this paper describes this interactive system, how it works and the practical experiences of the authors in using it both in teaching situations and in identifying and applying forecasting techniques for particular management problems. To date, the results have been extremely encouraging and it seems to be meeting its objective of overcoming the specific problems previously outlined.

DESCRIPTION OF THE COMPUTERIZED SYSTEM

The interactive forecasting system developed by the authors is divided into two sequential segments. The first segment, referred to as SIBYL, is aimed at allowing the user to perform a preliminary analysis of his data in order to identify two or three forecasting techniques that may be most appropriate for that situation. As shown in the flow chart in Figure 1, the user begins by inputing the data that he wishes to examine and use as a basis for forecasting. This segment of the system makes a number of inquiries of the manager concerning his judgments about the data and about the characteristics of the situation that are most important in selecting a forecasting method. Those factors that need to be considered include the following:

1. The time horizon for decision making: immediate term, short term, medium term, and long term.
2. The pattern of data: seasonal, horizontal, trend, cyclical, or random.
3. The type of model desired: time series, causal, statistical, or non-statistical.
4. The value of the forecast, and thus the amount that can be spent in obtaining it.
5. The accuracy that is required and justified.
6. The complexity that can be tolerated.
7. The availability of historical data.

Some of these factors can best be analyzed through statistical tests while others involve value judgments which only the user can supply. Furthermore, a number require information about the forecasting techniques themselves, which can well be supplied by previous users. However, all of these factors are important and specific consideration of them must be made by the manager before he can select the most appropriate forecasting method available.

For the user to be able to decide upon the best method available, he must have, on the one hand, knowledge of all forecasting techniques and on the other, he must be able to evaluate all of the factors in his specific situation that will influence such a selection. Such a task is not easily handled, even for the expert in the field. For the novice there are many more difficulties, one of the most important being his lack of experience in evaluating the relevant factors influencing the choice of a forecasting method.

A primary characteristic of the SIBYL segment of this forecasting system is that it considers all of the seven factors mentioned above and gives support to the manager in applying them. The logical basis for this consideration is that shown in Figure 2. (This figure has been developed by the authors as a basis for comparing available techniques on different factors.) The influence of this structure on the design of the system is reflected in the sequence of questions and prompts used in SIBYL. The initial questions in this segment deal with the series of data that is to be used as the basis of the forecast. An opportunity is also provided for the user to graph that data and obtain several statistics on it.

The next section of questions deals with autocorrelations and their use in identifying the basic pattern in the data. In this portion of SIBYL, the autocorrelations can be computed for various time-lags and then graphed or presented in summary statistical form. Once the autocorrelations are computed, SIBYL aids the user in identifying the patterns that seem to be present in his data. Through a series of questions the program then obtains information on the important factors needed for selecting a forecasting method and supplies the user with a list of three or four techniques that appear to be most suitable for this situation. At this point, the user is also given a number of comparative statistics on those suggested techniques and asked to select one to be used in actually developing a forecast.

Once a specific forecasting method has been selected, control is then passed to a second major segment of the system, RUNNER.

Before describing RUNNER, there are a couple of other characteristics of this forecasting system that facilitate its use by either a student or manager that deserve special mention. One of these is the option the user has of responding to any inquiry from the system with the word HELP. When a user responds in this manner he receives additional information explaining not only what is wanted in the way of a response, but also giving a more general explanation of that factor and how it relates to forecasting in general.

The second form of support given to the user is a supplementary manual that has been prepared to explain further and illustrate with examples the major principles involved in forecasting in general and in the use of specific techniques. The page references in this supplementary manual are given by the system.

The second major segment of this interactive forecasting system is called RUNNER. It is shown in the bottom half of Figure 1. This segment is composed of a number of subroutines, each one being the computerized version of a specific forecasting technique. The program RUNNER allows the user to select from the set of subroutines that forecasting method he wants to have applied to his data. (Remember that when the user reaches this point, SIBYL will have already identified the two or three techniques that are particularly well suited for this situation.) Most of the questions and prompts involved in this segment of the program deal with setting the parameters for a specific forecasting method. For example, if the forecasting method is simple adaptive filtering, it is required that the user define three parameters: the weights, the adaptation constant, and the number of training iterations.

Once the forecasting method has been trained, it can then be used to prepare a forecast and to compare that with actual values in order to determine the technique's accuracy. This is done in terms of the error and the percent error. Finally, RUNNER can be used to compare several different techniques for the same set of historical data.

After running the SIBYL-RUNNER combination, the user will have completed:

1. A general analysis of his data.
2. A screening of available forecasting techniques.
3. A detailed examination of a few of the most appropriate techniques.
4. Final selection of a technique for his situation.

EXPERIENCE IN USING THE INTERACTIVE FORECASTING SYSTEM

The use of this time-sharing-based forecasting system has been particularly well received in teaching situations. Student reactions have been that they felt much more motivated when using this approach as compared to more traditional textbook approaches, and that they have felt they gained a much better understanding of the practical application of the alternative techniques (in addition to their theoretical basis). The authors have used this program in conjunction with a text on forecasting in a regular classroom course.

One of the attractive features of this system has been that it can be used very efficiently by someone familiar with it and with forecasting in general, since it allows suppression of much of the descriptive printout. Thus, the students have found it to be useful not only in their initial learning, but also once they have understood a number of techniques, it has facilitated their application of them to specific situations.

In general, the experience of teaching through the use of this system has indicated that it overcomes some of the problems that were identified at the outset of this paper. These include avoiding the expenditure of a disproportionate amount of class time on technical details, allowing the students rapidly to gain experience in a number of situations in order to infer the important characteristics of each technique, and keeping the amount of time required to reach a given level of competence at a reasonable level.

Although the SIBYL-RUNNER system has not been as thoroughly tested in actual business situations as it has in teaching situations, it has proved to be very successful in the forecasting situations in which it has been applied. Some of the advantages of this system for management forecasting are that it does allow the manager to obtain rapidly, and at a low cost, at least a rough forecast for his situation. In addition, it overcomes many of the existing problems managers face by guiding their examination of a full range of alternatives for any new situation, helping them to consider those factors that are important in selecting the most appropriate technique for a given situation, and providing them with a wide range of techniques which can actually be applied.

Having such an interactive forecasting system available within a company can greatly encourage

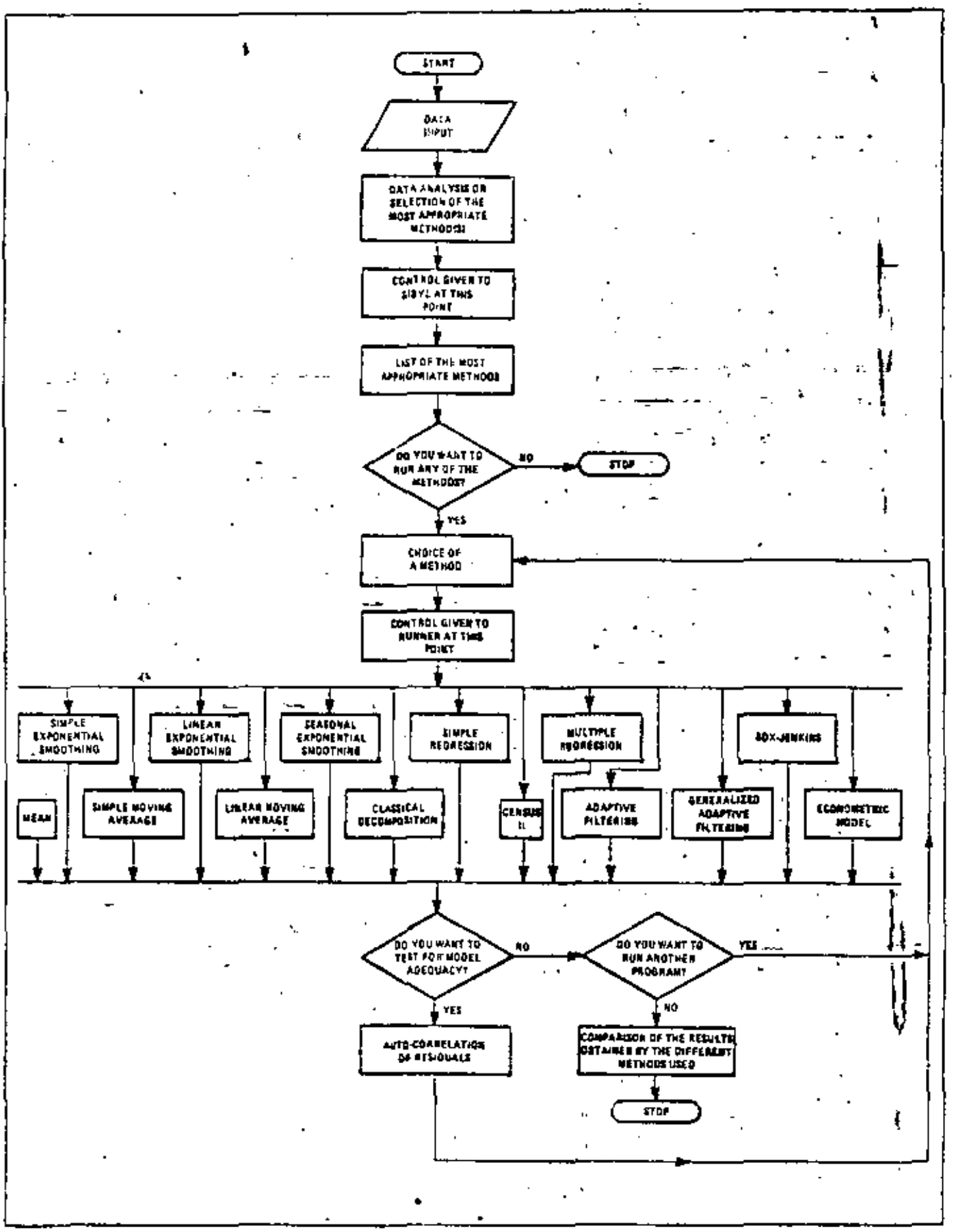


Figure 1. Flow-Chart of the Interactive Forecasting System

FORECASTING TECHNIQUES

FACTORS		QUANTITATIVE																					TECHNOLOGICAL					
				SMOOTHING				DECOMPOSITION			CONTROL			REGRESSION			OTHERS						EXPLORATORY				NORMATIVE	
		NAIVE	MEAN	SIMPLE MOVING AVERAGE	SIMPLE EXPONENTIAL SMOOTHING	LINEAR MOVING AVERAGE	LINEAR EXPONENTIAL SMOOTHING	CLASSICAL DECOMPOSITION	CENSUS II	FORAN SYSTEM	ADAPTIVE FILTERING	BOX JENKINS	GENERALIZED ADAPTIVE FILTERING	SIMPLE REGRESSION	MULTIPLE REGRESSION	ECONOMETRIC MODELS	LIFE CYCLE ANALYSIS	SURVEYS	LEADING INDIC. OR BEHAVIOR INDEXES	INPUT-OUTPUT ANALYSIS	INVENTORY CONTROL	MATHEMATICAL PROGRAMMING	DELPHI	SCURVES	HISTORICAL ANALOGIES	MORPHOLOGICAL RESEARCH	RELEVANCE TREES	SYSTEM ANALYSIS
TIME HORIZON OF FORECASTING	IMMEDIATE LESS THAN ONE MONTH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X						
	SHORT ONE TO THREE MONTHS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X									
	MEDIUM LESS THAN TWO YEARS	X									X	X	X	X	X	X		X										X
	LONG TWO YEARS AND MORE	X												X	X	X	X			X			X	X	X	X	X	X
PATTERN (TYPE) OF DATA	HORIZONTAL — AUTO	X		X	X			X	X	X	X	X	X						X	X								
	HORIZONTAL — NON		X																		X	X						
	TREND — AUTO	X				X	X	X	X	X	X	X	X						X	X								
	TREND — NON													X	X	X												
	SEASONAL — AUTO	X						X	X	X	X	X	X		X	X												
	SEASONAL — NON																				X	X						
	CYCLICAL — AUTO	X						X	X	X	X	X	X		X	X		X										
	CYCLICAL — NON																				X	X						
	MINIMUM DATA REQ'S	1	30	5-10	3	10-20	3	60*	72*	24	60*	72*	72*	30	30*	FEW 100's	15-30			FEW 100's								
TYPE OF MODEL	TIME SERIES	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X		X	X	X	X	X	X
	CAUSAL	X								X		X		X	X	X				X		X	X		X	X	X	X
	STATISTICAL		X									X		X	X	X		X			X							
	NON-STATISTICAL	X		X	X	X	X	X			X		X				X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
	MIXED								X	X																		
COSTS (SCALE FROM ZERO TO ONE, 0 SMALLEST 1 HIGHEST)	DEVELOPMENT	0	.1	.1	.05	.15	.1	.4	.4	.5	.4	.5	.5	.3	.5	.8	.5		0	1.0	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5
	STORAGE REQ'S — PROGRAM	NA	.01	.03	.08	.12	.12	.15	.4	.5	.20	.5	.35	.11	.34	.46	.34			NA	.5	.7						
	STORAGE REQ'S — DATA	.01	.1	.024	.006	.01	.008	.33	.33	.00	.33	.33	.33	.2	.33	1.0	.00			NA	.01	1.0						
	RUNNING	NA	.01	.006	.005	.007	.005	.2	.05	.2	.3	.08	.70	.1	.21	.7	.2			NA	.01	NA						
ACCURACY (SCALE FROM ZERO TO ONE, 0 SMALLEST 1 HIGHEST)	PREDICTING PATTERN	.7	.16	.3	.35	.2	.25	.5	.7	.7	.7	.9	.85	.5	.8	1.0	.5			.5			.5	.8	.5	.5	.5	.5
	PREDICTING TURNING POINTS	.3	0	0	0	0	0	.3	.8	.7	.6	.8	.75	0	.4	.1	0	.1	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
APPLICABILITY OR COMPLEXITY (0 SMALLEST 1 HIGHEST)	TIME REQUIRED TO OBTAIN FORECAST	.5	.7	.05	.06	.01	.01	.3	.4	.5	.4	.7	.5	.25	.4	.8	.5		0	1.0	.1	.5	.7	.8	.7	1.0	1.0	1.0
	EASINESS TO UNDERSTAND AND INTERPRET THE RESULTS	1.0	1.0	1.0	.8	.9	.5	.7	.7	.7	.7	.4	.5	.3	0	.3	0	1.0	1.0	.3	0	.5	.5	.5	.5	.7	.8	.8

*A SEASONAL PATTERN (WHEN APPLICABLE) OF 12 MONTHS DURATION IS ASSUMED IN DERIVING THE MINIMUM DATA REQUIREMENTS

Figure 2. Factors to be Considered in Selection of a Forecasting Method.

the use of formalized forecasting procedures. This is supported not only because of the range of techniques covered, but also because they can be applied directly by the manager with support from the use of the HELP command and the accompanying manual. It is practical for him to use the system at any time without the need of extensive re-education when it has been a few weeks since its last usage. It is the authors' conclusion that this system meets many of the existing needs in the area of forecasting and through further development and application it should find wide acceptance both in management education and in business practice.

Of course there are limitations to this system. First is that both managers and students must be introduced to forecasting and the range of available techniques before they can begin to use the SIBYL-RUNNER system effectively. Secondly, the questions and prompts can become routine over time and thus fail to elicit the user's judgment as is desired. Third, the simplicity of the system and its ease of usage may lead to its application where a more sophisticated analysis under the direction of a forecasting specialist is warranted. This package is designed for expanding the application of systematic forecasting methods, not replacing existing systems that already meet the requirements of very specific situations.

Keeping these limitations in mind, the authors have found SIBYL-RUNNER to be a very useful tool in facilitating the appropriate use of existing forecasting techniques in management situations. Additional experience and improvements based on that experience can only help to enhance the system's effectiveness.

At present a single computer program written in the BASIC programming language incorporates the features of the SIBYL-RUNNER system illustrated in Figure 1. In addition, there exists a BASIC program representing each of the forecasting techniques included in this system. For example, there is one program for exponential smoothing, another for simple regression, and so on. These programs that represent each forecasting method are called and controlled directly by the SIBYL-RUNNER program; however, they can be run individually too.

The SIBYL-RUNNER system was designed for use on a standard Hewlett-Packard 2000F computer with a core capacity of 20,000 8-bit bytes. Because of the general nature of the BASIC language used on this machine, no significant modifications would be needed to use this system on another time-shared computer equipped with the capabilities to run BASIC programs.

Efforts are currently underway to program the SIBYL-RUNNER system in FORTRAN so that it can be used on an even wider range of equipment. This work should be completed by the middle of 1975.

For those interested, a copy of the program can be obtained in either the form of a printed listing or a punched paper tape (for the nominal cost of duplicating and mailing the material) by writing to the senior author.

REFERENCES

1. Box, G. E. P., and Jenkins, G. M.: *Time Series Analysis*, San Francisco: Holden-Day, 1970.
2. Brown, Robert G.: *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1963.
3. Cantor, J.: *Pragmatic Forecasting*, American Management Association, New York, 1971.
4. Ewing, D. W.: *The Practice of Planning*, New York: Harper and Row, 1968.
5. Johnston, J.: *Econometric Methods*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1966.
6. Makridakis, S., and Wheelwright, S.: "Integrating Forecasting and Planning," *Insead Research Paper* N° 73, June 1972.
7. McLaughlin, R. L., and Boyle, J. J.: *Short Term Forecasting*, American Marketing Association Booklet, New York, 1968.
8. Shiskin, J.: "Electronic Computers and Business Indicators," *National Bureau of Economic Research*, Washington D.C., Occasional Paper 57, 1968.
9. Steiner, G. A.: *Top Management Planning*, Macmillan, New York, 1969.
10. Stockfisch, J. A. (ed.): *Planning and Forecasting in the Defense Industry*, Belmont, California: Wadsworth Publishing, 1962.
11. Wheelwright, S. and Makridakis, S.: *Forecasting Methods for Management*, New York: J. Wiley and Sons, 1973.

John C. Chambers, Satinder K. Mullick y Donald D. Smith

Cómo elegir la técnica de pronóstico correcta

Lo que todo administrador debe saber de los diversos tipos de pronósticos y las ocasiones en que deben usarse

PROLOGO

El ejecutivo de la actualidad toma en consideración algún tipo de pronóstico para casi todas sus decisiones. Los pronósticos sólidos de demandas y tendencias ya no son artículos de lujo, sino necesidades para que el administrador pueda luchar con la temporalidad, los cambios repentinos de niveles de la demanda, las maniobras de disminución de precios de sus competidores, las huelgas, y las grandes oscilaciones de la economía. Los pronósticos lo ayudarán a luchar con estos problemas; pero lo ayudarán aún más si conoce los principios generales de los pronósticos, lo que éstos son capaces e incapaces de hacer para él en la actualidad, y cuáles son las técnicas más adaptables para sus necesidades del momento. Los autores de este artículo tratan de explicar al administrador el potencial que los pronósticos poseen para él, enfocando especial atención en los pronósticos de venta de los productos de la Corning Glass Works, según estos han ido madurando a través de sus ciclos de vida, y también acompañan el análisis de toda la gama de las técnicas de pronóstico.

El Sr. Chambers es Director de Investigación de Operaciones de la Corning Glass Works. Anteriormente trabajó para la Ford Motor Company, con North American Aviation, y con Ernst and Ernst. Sus intereses actuales se centran en la planeación estratégica de nuevos productos y en el desarrollo de métodos mejorados para pronósticos. El Sr. Mullick es Gerente de Proyectos del Departamento de Investigación de Operaciones de la CGW, y anteriormente había estado afiliado a la Larsen and Toubro Ltd., en la India; a Bohner and Kochle Maschinenfabrik en Alemania Occidental; y a la Universidad Johns Hopkins. Su especialidad es la planificación estratégica y táctica para nuevos productos. El Sr. Smith es Director Principal de Proyectos del Departamento de Investigación de Operaciones de la CGW. Su gran interés actual está en el área de los análisis de series de tiempo, y en la econometría.

En años recientes se han desarrollado muchas técnicas de pronóstico para poder manejar la variedad y complejidad cada vez mayor de los pronósticos administrativos. Cada una de ellas tiene su aplicación especial, y hay que tener cuidado de seleccionar la técnica correcta para cada aplicación. Tanto el administrador como el pronosticador tienen papeles que jugar en la selección de las técnicas; y mientras mejor comprendan la gama de posibilidades de pronóstico de las que disponen, más probable será que los esfuerzos de pronóstico de la empresa produzcan frutos.

La selección del método dependerá de muchos factores: el contexto del pronóstico, la relevancia y disponibilidad de datos históricos, el grado de precisión que se desee, el período de tiempo respecto al cual se pronosticará, el costó/beneficio (o *valor*) que tiene el pronóstico para la empresa, y el tiempo del que se dispone para hacer el análisis.

Será necesario ponderar constantemente estos factores, a diversos niveles. Por ejemplo, el pronosticador generalmente deberá seleccionar la técnica que logre el óptimo aprovechamiento de los datos disponibles. Si le resulta fácil aplicar determinada técnica cuya precisión es aceptable, no debe tratar de "enchapar de oro" el trabajo, usando alguna técnica más avanzada, que ofrezca precisión potencialmente mayor, pero que requiera información inexistente o costosa de obtener. Es relativamente fácil efectuar los intercambios de este tipo; pero veremos que hay otros que exigirán mucha más consideración.

Además, cuando una compañía desea pronosticar respecto a determinado producto, tendrá que considerar *la etapa del ciclo de vida del producto respecto al cual va a pronosticar.** Tanto la disponibilidad de datos como la posibilidad de establecer relaciones entre los factores, dependerán directamente de la madurez del producto, por lo que la etapa del ciclo de vida constituirá una determinante capital del método de pronóstico que deberá usarse.

Nuestro propósito aquí es presentar un panorama general de este campo, comentando las diversas maneras en que una compañía puede enfocar un problema

* Nota del editor. Para mayor información sobre el tema, véase el artículo No. 41 de la Biblioteca Harvard de Administración de Empresas "Aprovechar el Ciclo de Vida del Producto", por Theodore Levitt.

de pronóstico, describiendo los métodos disponibles, y explicando cómo se podría ajustar el método al problema. Daremos ejemplos del uso de diversas técnicas, obtenidos de nuestra experiencia con el uso de las mismas en la Corning, y concluiremos haciendo nuestro propio pronóstico respecto al futuro de los pronósticos.

Aunque consideramos que los pronósticos siguen siendo un arte, también creemos que alguno de los principios que hemos aprendido a través de nuestras propias experiencias ayudarán mucho a los demás.

Administrador, pronosticador y selección de métodos

El administrador suele suponer que cuando le pide a un pronosticador que prepare determinada proyección, la solicitud misma proporciona toda la información que el pronosticador necesita para ponerse a trabajar y terminar su trabajo. Pero eso casi nunca es cierto.

El pronóstico exitoso comienza por una colaboración entre el administrador y el pronosticador, mediante la cual obtienen las respuestas para las siguientes preguntas.

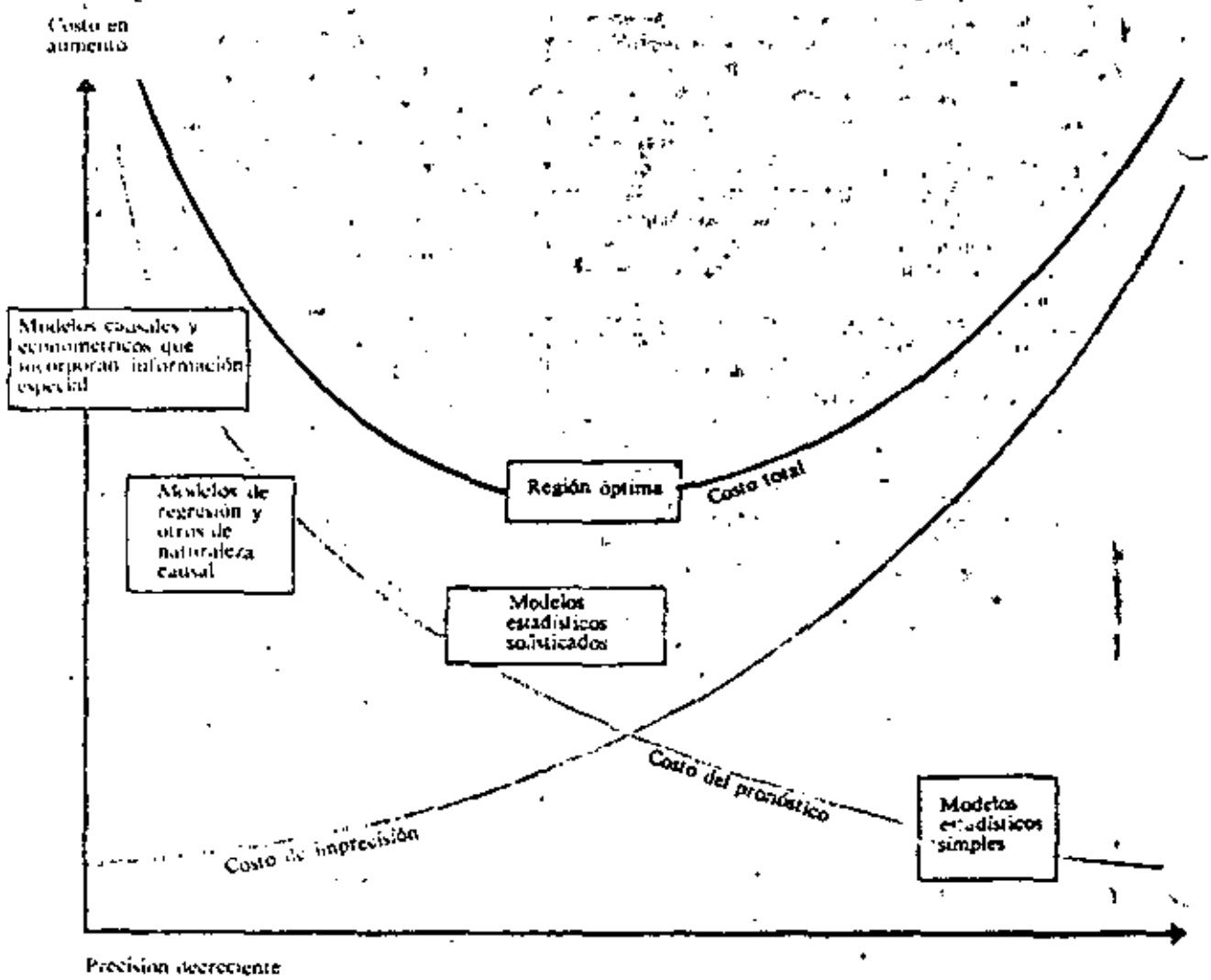
1. ¿Cuál es la finalidad del pronóstico: cómo se va a usar?

Esto determina la precisión y potencia que se requieren de las técnicas, lo que a su vez gobierna la selección. Decidir si entrar en un negocio o no, quizás no exija más que un estimado bastante burdo del tamaño del mercado, mientras que el pronóstico que se prepare para fines presupuestales tendrá que ser muy preciso, consecuentemente, las técnicas idóneas para cada fin serán diferentes entre sí.

Y si el pronóstico va a establecer una norma contra la cual se medirá el rendimiento, el método de pronóstico no debe tomar en cuenta los eventos especiales tales como promociones y otros medios mercadotécnicos, puesto que éstos se llevan a cabo precisamente para cambiar los patrones y las normas históricas, y consecuentemente formarán parte del rendimiento que se va a valorar.

Cuando los pronósticos no hacen más que bosquejar la forma que tendrá el futuro si la empresa no hace cambio significativo alguno de sus tácticas y estrategias, no suelen ser suficientemente buenos para fines de

CUADRO 1. COMPARACION DEL COSTO DEL PRONOSTICO EN EL COSTO DE IMPRECISION DE UN PRONOSTICO A MEDIANO PLAZO, SUPONIENDO DISPONIBILIDAD DE DATOS



planificación. Por otro lado, si lo que la administración desea es un pronóstico del efecto que puede tener sobre las ventas cierta estrategia de mercadotecnia que se está comentando, entonces la técnica tendrá que ser lo suficientemente sofisticada como para tomar cuenta específica de las acciones y los eventos especiales que implica dicha estrategia.

Los costos de las diversas técnicas varían, y también varían su amplitud y precisión. El administrador deberá fijar el nivel de imprecisión que podrá tolerar —es decir, deberá decidir la forma en que variará su propia decisión según la gama de precisión del pronóstico. Esto permitirá que, al seleccionar la técnica, el pronosticador haga intercambios del costo vs. el valor de la precisión.

Por ejemplo, es probable que cuando la precisión del control de producción e inventarios aumente, las existencias "de seguridad" disminuirán. Para tal aplicación, el administrador y el pronosticador tendrán que sopesar el costo de usar una técnica más sofisticada y costosa en relación con el ahorro potencial de sus costos de inventario.

El Cuadro I muestra la forma en que el costo y la precisión aumentan con la sofisticación, y contiene la ilustración de estos factores contra el costo correspondiente de los errores de pronóstico, suponiendo ciertos factores generales. La técnica más sofisticada que podrá justificarse económicamente será la que caiga en la región donde las sumas de estos dos costos sea mínima.

Una vez que el administrador haya definido el propósito del pronóstico, entonces quien pronostica podrá aconsejarlo en cuanto a la frecuencia con que se podrá producir útilmente. Desde el punto de vista estratégico, debería comentar entre sí respecto a si la decisión que van a tomar con base en el pronóstico será susceptible de cambios posteriores, si se encuentran con que el pronóstico resultó ser impreciso. Si *puede* cambiarse, entonces se debe examinar la utilidad que podrían lograr si instalaran algún sistema para seguirle la pista a la precisión del pronóstico, y decidir el tipo del sistema seguidor de pista que les resultará idóneo para tal fin.

2. *¿Cuáles son las dinámicas y los componentes del sistema para el cual se hará el pronóstico?*

Esto aclara las relaciones entre las variables interactuantes. Generalmente, el administrador y el pronosticador del caso revisan algún diagrama de flujo que muestre las posiciones relativas de los diversos elementos de los sistemas de distribución, venta, producción o el que se esté estudiando.

El Cuadro II muestra estos elementos en el sistema a través del cual el componente principal de su CGW para los televisores a color —el cinescopio— fluye hasta llegar al consumidor. Nótese los puntos donde se requieren o mantienen inventarios dentro de este sistema de fabricación y distribución —estos son los *elementos de líneas de abasto*, que ejercen efectos muy importantes a través de todo el sistema de [illegible] por lo que son de interés crítico para el pronóstico.

Los elementos de color azul ejercen cierto efecto sobre la técnica de pronóstico, y la clave de [illegible] indica las naturalezas que respectivamente poseen los datos de la CGW en cada punto, que también son determinantes principales para la selección de técnicas, puesto que diversas técnicas exigen diversas clases de insumos. Cuando no se dispone de datos, o estos son costosos de obtener, la gama de selecciones de pronósticos queda muy limitada.

La gráfica de flujo también debe mostrar cuáles son las partes del sistema que están bajo el control de la empresa que está haciendo el pronóstico. En el *Cuadro II*, esta parte no es más que el volumen de paneles y embudos de vidrio que Corning suministra a los fabricantes de cinescopios.

En la parte del sistema que la compañía controla absolutamente, la administración tiende a sintonizarse según las diversas relaciones de causa y efecto que pueden existir, por lo que frecuentemente puede utilizar técnicas de pronóstico que tomen cuenta explícita de los factores causales.

El diagrama de flujo posee valor especial para el pronosticador cuando se requieran métodos de pronóstico causales, porque le permitirá hacer conjeturas respecto a las posibilidades de variantes de niveles de ventas que causarán los inventarios, y otros factores por el estilo, y también podrá determinar los factores que debe considerar la técnica para poder proporcionar al ejecutivo un pronóstico aceptablemente preciso.

Una vez que estos factores y sus relaciones hayan sido aclarados, el pronosticador podrá construir un modelo causal del sistema, que capture tanto los hechos como la lógica de la situación —lo cual es, al fin y al cabo, la base de todo pronóstico sofisticado.

3. *¿Cuánta importancia tiene el pasado para la estimación del futuro?*

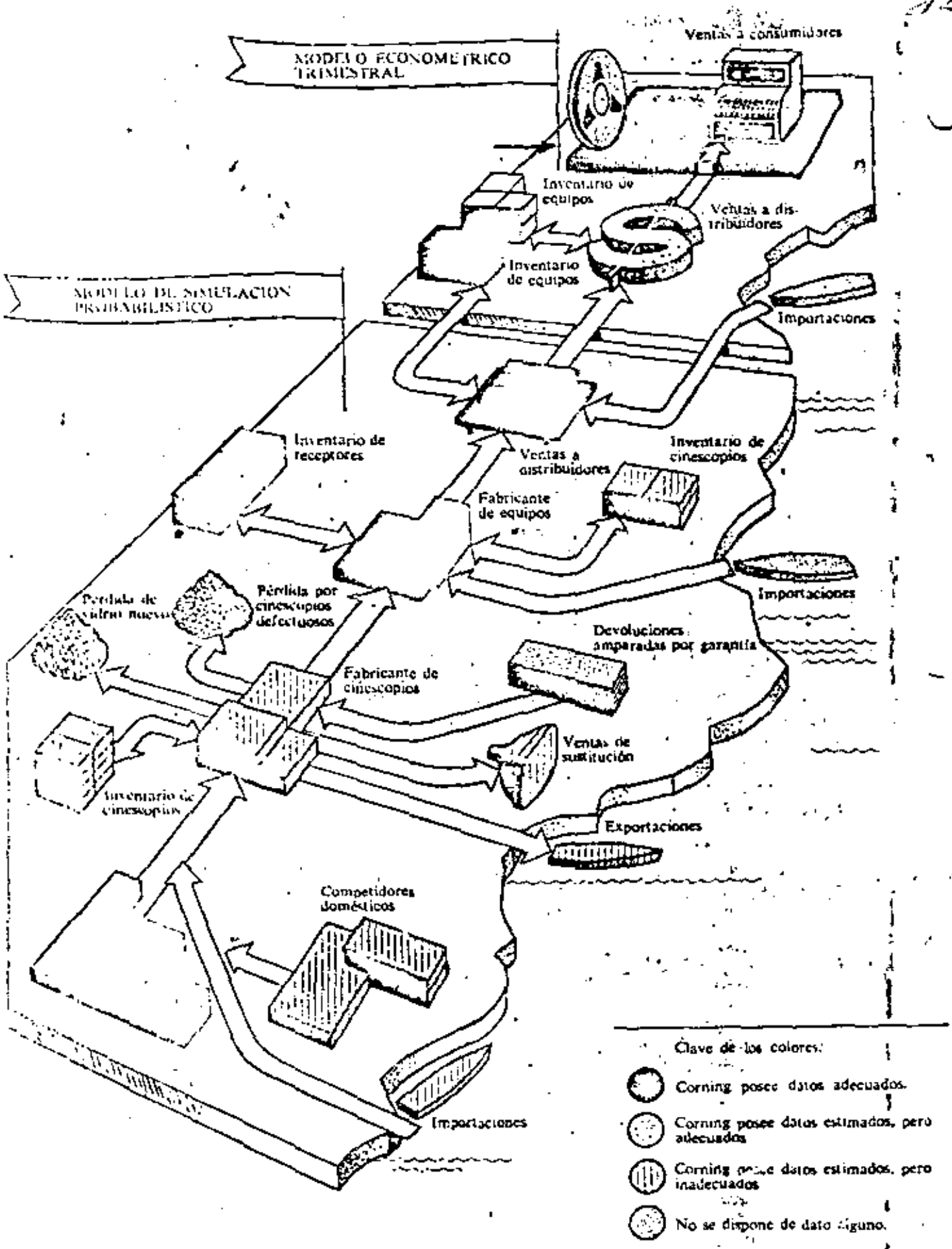
Los cambios significativos del sistema —nuevos productos, nuevas estrategias competitivas, y factores similares— hacen que la similitud entre el pasado y el futuro vaya siendo menor. A corto plazo, no es probable que los cambios recientes causen alteración en los patrones generales; pero a largo plazo sí es probable que aumenten sus efectos. El ejecutivo debe comentar éstos plenamente con el pronosticador.

Tres tipos generales

Cuando el administrador y el pronosticador [illegible] formulado su problema, el pronosticador está [illegible] situación de seleccionar su método.

Hay tres tipos básicos: *las técnicas cualitativas, [illegible] análisis y proyección de series de tiempo, y los métodos causales*. El primero utiliza datos cualitativos [illegible] por (ejemplo, la opinión de los expertos) e información de eventos especiales del tipo que ya mencionamos, y

CUADRO II. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES DE TELEVISIÓN



paralelo en cualquier [illegible]

En segundo lugar, se utiliza totalmente los patrones y cambios de patrones, y así se confía totalmente en los datos históricos.

El tercero [illegible] muy relación y específica respecto a las [illegible] entre elementos del sistema, y es lo suficientemente poderoso para tomar cuenta formal de los eventos especiales. Como en las técnicas de análisis y proyección de series de tiempo, el pasado surte efecto poderoso en los modelos causales.

Estas diferencias implican (y muy correctamente) que el mismo tipo de técnica de pronóstico no será apropiado para pronosticar las ventas (por ejemplo) que se lograrán en todas las etapas del ciclo de vida de un producto; por ejemplo, la técnica que se confíe en los datos históricos, no resultará útil para pronosticar el futuro de un producto totalmente nuevo que no posea historia.

La parte más importante del resto de este artículo tratará del problema de adaptar la técnica a las etapas del ciclo de vida. Esperamos facilitar al ejecutivo cierta penetración al potencial que poseen los pronósticos, mostrándole la forma en que debe enfocarse este problema. Pero antes de contemplar el ciclo de vida, tenemos que bosquejar un poco más detalladamente las funciones generales de los tres tipos básicos de técnicas.

Técnicas cualitativas

Estas se usan principalmente cuando se carece de datos; por ejemplo, cuando se comienza a introducir un producto al mercado. Hace uso del criterio humano y de los esquemas de categorización para trasformar la información cualitativa en estimaciones cuantativas.

El objetivo aquí es de juntar, lógica y sistemáticamente y sin sesgo, toda la información y los criterios que tengan relación con los factores que se estén estimando. Estas técnicas se usan frecuentemente en las áreas de tecnología nueva, donde quizás el desarrollo de una idea de producto requiera varias "invenciones" y sería difícil estimar las demandas que consecuentemente se harán del Departamento de Investigación y Desarrollo; y donde los índices de aceptación del mercado y de penetración sean muy inciertos.

El cuadro plegadizo contiene varios ejemplos de este tipo (véase la primera sección), incluyendo la investigación de mercados y la técnica Delphi, con la cual ya estamos familiarizados. En este cuadro hemos tratado de proporcionar un compendio de informes básicos sobre los tipos principales de técnicas de pronóstico. Algunas de las técnicas referidas no son en realidad un solo método o modelo, sino una familia. Por lo tanto, es posible que nuestro cuadro no describa con precisión todas las variantes de determinada técnica, por lo que su texto debe *interpretarse* como *descriptivo* del concepto básico de cada una de ellas.

También es bueno que digamos algo sobre las esti- [illegible] mates que contiene el cuadro [illegible] esto [illegible] aproximados, como [illegible] de los [illegible] de computación, las categorías [illegible] teorías de identificación del punto [illegible] de algunos procedimientos dependen de [illegible] utilizar en forma rutinaria, o se van a crear [illegible] sólo pronósticos; y también dependen de si [illegible] determinarse sus ponderaciones o no [illegible] vez que se haga un pronóstico; esto hará que [illegible] aumenten significativamente. Pero de todas [illegible] las cifras que presentamos servirán de una [illegible]

Si el lector consulta frecuentemente al [illegible] plegadizo, podrá comprender mejor el resto de este artículo.

Análisis de series de tiempo

Estas son técnicas estadísticas que se utilizan cuando se dispone de datos de varios años respecto a un producto o línea de producto, y tanto las relaciones [illegible] las tendencias son claras y relativamente estables.

Uno de los principios básicos del pronóstico [illegible] —de todos los pronósticos, en realidad, [illegible] se dispone de datos históricos— es que el pronosticador debe aprovechar los datos del rendimiento del pasado para obtener una "lectura de velocímetro" del índice vigente (por ejemplo, el de ventas) y la rapidez con que dicho índice está aumentando o disminuyendo. El índice vigente, y los cambios de dicho índice —"aceleración" y "desaceleración"— constituyen la base del pronóstico. Una vez que se conozcan, se podrán utilizar varias técnicas matemáticas para desarrollar proyecciones basadas en ellas.

Pero este asunto no es tan sencillo como parece. Suele ser difícil construir proyecciones basadas en datos poco elaborados porque los índices y las tendencias no son inmediatamente evidentes; por ejemplo, hay veces que están mezclados con variaciones temporales, y quizás distorsionados por factores tales como los efectos que ha logrado una gran campaña de promoción de ventas. Hay que activar los datos elaborados antes de poder usarlos, y como más frecuente se hace esta revisión es haciendo análisis de series de tiempo.

Una *serie de tiempo* es un grupo de apuntes de datos, puestos en orden cronológico; por ejemplo, el [illegible] de ventas de cierto producto que determinada [illegible] ha logrado cada mes durante varios años. El análisis de series de tiempo ayuda a identificar y explicar:

- Cualquier regularidad, o cualquier variación sistemática, de la serie de datos que se debe a [illegible] ralidad: "temporales" o *periódicas*.
- Los patrones cíclicos que se repiten cada dos [illegible] años o más.
- La tendencia de los datos.
- Los índices de crecimiento de dichas tendencias.

(Lamentablemente, la mayoría de los métodos [illegible] tes no sirven para identificar más que las tendencias [illegible] los efectos combinados de tendencias y ciclos.

y Neale Harper G. Nash y Harold S. [illegible] "Problems of the Technological Future", HBR Mayo-Junio 1969, pág. 68.

[illegible] de tener éstos en cuenta [illegible] *tendencias* de los *ciclos*. Regresamos [illegible] conectamos los análisis [illegible] en las etapas finales de la [illegible] distribución.

[illegible] que se haya terminado el análisis, se puede [illegible] de pronosticar las ventas futuras [illegible] que sean.

[illegible] observar que, si bien hemos separado aquí [illegible] de la proyección, para poder explicar cada [illegible] individualmente, la mayoría de las técnicas [illegible] estadístico de la actualidad combinan [illegible] en una sola operación.

[illegible] *el pasado*. De tal descripción resul[illegible] que todas las técnicas estadísticas se basan [illegible] suposición de que los patrones existentes subsis[illegible] Esta suposición tiene más probabili[illegible] resultar cierta a corto plazo que a largo plazo, [illegible] por el cual estas técnicas nos proporcionan pro[illegible] razonablemente precisos para el futuro inme[illegible] funcionan muy mal cuando se trata de [illegible] hacia el futuro a menos que los patrones [illegible] extraordinariamente estables).

[illegible] motivo, normalmente estas técnicas no [illegible] de pronosticar *cuando* el índice de creci[illegible] de una tendencia cambia significativamente: [illegible] ejemplo, cuando un período de crecimiento lento [illegible] repentinamente cambia a período de decaimiento rápido.

A estos puntos se les llama *puntos críticos*, y naturalmente que tienen mayor importancia para el adminis[illegible] [illegible] vemos, el pronosticador debe hacer [illegible] de instrumentos totalmente diferentes, procedentes [illegible] estadísticas puras, para pro[illegible] cuando ocurrirán.

Modelos causales

Cuando se dispongan de datos históricos, [illegible] ha[illegible] realizado suficiente análisis para determinar, [illegible] mente las relaciones existentes entre el [illegible] va a pronosticar y los demás factores (tales como ne[illegible] gocios relacionados, fuerzas económicas [illegible] factores socioeconómicos), el pronosticador frecuentemente decide construir un *modelo causal*.

El modelo causal es el instrumento de pronóstico más sofisticado de todos. Expresa matemáticamente las relaciones causales relevantes, y quizás incluya consideraciones del sistema de abastecimiento (por ejemplo, inventarios) e informes de encuestas de *mercado*. Puede también incorporar directamente los resultados de algún análisis de series de tiempo.

El modelo causal toma en cuenta todo lo que se sabe de la dinámica del sistema de flujo, y utiliza además los pronósticos de eventos relacionados tales como acciones competitivas, huelgas y promociones. Si se dispone de datos suficientes, el modelo generalmente incluye factores para cada ubicación en el diagrama de flujo (según lo muestra el *Cuadro II*) y conectar éstas mediante ecuaciones que sirven para describir el flujo general del producto.

Si se carece de datos de ciertos tipos, al inicio es necesario hacer suposiciones sobre alguna de las relaciones, y posteriormente buscar pistas que indiquen lo que está ocurriendo, para con ellos determinar si las suposiciones son correctas. Típicamente, el modelo causal se revisa continuamente a medida que va dispo-

CUADRO III. TIPOS DE DECISIONES QUE SE TOMAN A TRAVES DE TODO EL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO, CON TECNICAS DE PRONOSTICOS [illegible] CON ESTAS

[illegible]	Desarrollo del producto	Prueba de mercado y primera introducción	Crecimiento rápido	Ritmo sostenido
[illegible]	Magnitud de la fuerza del desarrollo Diseño del producto Estrategias [illegible]	Tamaño óptimo de las instalaciones Estrategias de mercadotecnia, incluyendo distribución y precios	Expansión de instalaciones Estrategias de mercadotecnia Planeación de producción Ventas	Promociones, ventas especiales Precios Planeación de la producción Inventarios
[illegible]	Métodos de Delphi Analogías históricas de productos [illegible] Análisis de patrón Análisis de insumos [illegible] Cuestionarios [illegible]	Encuestas de [illegible] Sondeos de patrón y [illegible] [illegible]	Técnicas estadísticas para identificar puntos críticos [illegible] de ventas y previsiones Encuestas de mercado [illegible] de [illegible]	Análisis y proyección de series de tiempo Modelos causales y econométricos Encuestas de mercado para seguida de [illegible] y avisos Análisis del ciclo de vida

niendo cada vez más de conocimientos respecto al sistema.

Examine otra vez en el cuadro plegadizo el bosquejo de los tipos más comunes de técnicas causales. Según muestra el cuadro, fácilmente que los modelos causales son los mejores para pronosticar los puntos críticos y para preparar los pronósticos a largo plazo.

Métodos, productos y su ciclo de vida

En cada etapa de la vida de un producto, desde su concepto hasta que sus ventas logran un ritmo sostenido, las decisiones características que la administración tendrá que tomar serán muy diferentes entre sí, y requerirán diferentes tipos de información que les sirva de base. Las técnicas de pronóstico que proporcionarán estos grupos de informes mostrarán diferencias análogas. *El Cuadro III* resume las etapas de la vida de un producto, las decisiones típicas que hay que tomar en cada una de ellas, y las principales técnicas de pronóstico que será correcto utilizar en cada etapa. Y también es cierto que diferentes productos requerirán diferentes tipos de pronósticos. Por ejemplo, los principales componentes de vidrio para los cinescopios de televisión (de los cuales la Corning es suministradora principal) y los artículos de cocina CORNING WARE (una línea de productos para consumidores que es propiedad de Corning) son dos productos de la CGW en cuyos manejos ha habido grandes diferencias. Seguiremos aquí los métodos de pronóstico que se utilizaron en cada una de las cuatro etapas diferentes de madurez de estos productos, para que nos ayuden a comprender más directamente y mejor la forma en que se seleccionan y aplican algunas de las técnicas principales de la actualidad.

Tomemos nota de las diferencias entre las situaciones respectivas de los dos tipos de productos:

- Para un producto para consumidores, como lo son los artículos de cocina, el control que ejerce el fabricante sobre la red de distribución llega cuando menos al nivel de los distribuidores, y eso le permite afectar o controlar muy directamente las ventas a consumidores, y también puede controlar directamente algunos elementos de la red de distribución.

Por lo tanto, muchos de los cambios de índices de embarque y de lucratividad general se deben a actos del fabricante mismo, quien también puede decidir si hacer promociones y ventas especiales, y fijar precios. Por lo tanto, la técnica que seleccione el pronosticador para proyectar las ventas deberá permitir la incorporación de tales informes especiales. Se puede comenzar con técnicas sencillas, y elaborarlas hasta formar técnicas sofisticadas que incluyan tales posibilidades; pero la meta final estará definida desde el principio.

- Cuando la compañía del administrador suministre componentes a algún OEM (Original Equipment Manufacturer = Fabricante Original de Equipo), como lo hace la Corning a los fabricantes de cinescopios, la compañía no tiene esa influencia ni control directo de los elementos de la red de distribución, ni tampoco de las ventas finales a consumidores. A la compañía le será imposible obtener buena información respecto a lo que ocurre en puntos más adelantados del sistema de flujo (como ocurre en el segmento superior del *Cuadro II*), y, consecuentemente, será necesario que el pronosticador utilice un género de pronóstico totalmente diferente del que utilizaría para productos de consumidores.

Tomando estos dos ejemplos como parámetros, nuestros comentarios incluirán casi toda la gama de técnicas de pronósticos. Sin embargo, cada vez que sea necesario mencionaremos otros productos y otros métodos de pronósticos.

1. Desarrollo de productos

En las primeras etapas del desarrollo de los productos, lo que busca el gerente son respuestas a preguntas como las siguientes:

- ¿Cuáles son las oportunidades de crecimiento que constituyen las alternativas posibles de seguir con el producto X?
- ¿Cómo les ha ido a los productos ya establecidos que son similares al X?
- ¿Deberemos entrar en este negocio nosotros? Y si entramos, ¿en qué segmento?
- ¿Cómo deberemos distribuir los esfuerzos y los fondos de investigación de desarrollo?
- ¿Cuánto éxito obtendrán los diversos conceptos del producto?
- ¿Cómo encajará el producto X en los mercados dentro de cinco o diez años?

Para que los pronósticos puedan ayudar a contestar estas preguntas a largo plazo, ellos mismos tendrán que poseer largos horizontes.

Un inconveniente que frecuentemente se opone a los pronósticos a largo plazo es que resulta casi imposible pronosticar precisamente lo que ocurrirá en un futuro a varios años de distancia. Estamos de acuerdo en que la incertidumbre aumenta cuando se pronostica respecto a períodos a más de dos años en el futuro, pero a pesar de ello, un pronóstico con cierta medida de precisión, cuando menos permitirá que el administrador conozca los riesgos que implican determinada estrategia, y al poseer este conocimiento, podrá seleccionar la estrategia idónea de entre las disponibles.

Desde luego que la investigación sistemática de mercados es apoyo principal en esta área. Por ejemplo, el análisis de las normas de prioridad es capaz de describir la preferencia del consumidor y la probabilidad de que compre un producto, y así será muy valioso para pronosticar (y para mantener al día) los niveles y los índices de penetración. Pero también hay otros instrumentos, cuyo uso dependerá del estado del mercado y del concepto del producto.

Para un mercado definido

No podrán existir datos directos de un producto que no se haya puesto en venta en el seno de su inventor, pero sí muy a menudo sucederá que se pueda obtener información sobre la probabilidad de su rendimiento, siempre que el mercado en que vaya a introducirse constituya una entidad conocida.

Primero, se puede comparar el producto propuesto con los productos presentes y proyectados de los competidores, y categorizarlos en escalas cuantitativas respecto a diferentes factores. Llamamos a esto *medición relativa, no las cifras propiamente dichas*.[1]

Para que este enfoque tenga éxito, es esencial que los expertos de la empresa que proporcionen los datos provengan de diversas disciplinas: mercadotecnia, investigación y desarrollo, producción, legal y otras, a fin de que sus opiniones sean objetivas.

Segundo, y más formalmente, se podrán construir *modelos de mercado segmentados*, segregando en diferentes partes un mercado complejo, para estudiar y pronosticar individualmente cada uno de ellos. Específicamente, sería útil proyectar las curvas de crecimiento, o curvas de *S*, para los niveles de ingreso correspondientes a diferentes regiones geográficas.

Cuando a la CGW le propusieron que produjera cinescopios de televisión a color, la empresa fue capaz de determinar los factores que ejercerían influencia sobre el crecimiento de las ventas. Hecho esto, desagregó la demanda de los consumidores, e hizo ciertas suposiciones respecto a estos factores; y entonces pudo desarrollar una curva de *S* respecto al índice de penetración del mercado hogareño, que resultó muy útil para la empresa.

Tercero, se puede comparar el producto propuesto con un anticipado que haya tenido características similares. En 1965, segmentamos el mercado de los televisores a color, por niveles de ingresos y regiones geográficas, y comparamos estos submercados con el patrón histórico del crecimiento del mercado de los televisores a blanco y negro. Justificamos este procedimiento alegando que la televisión a colores era un cambio respecto a la de blanco y negro, análogo (aunque de menor intensidad) al progreso que la televisión blanco y negro constituyó respecto a la radio.

Los análisis que hicimos del crecimiento del mercado de los televisores a blanco y negro también nos permitió [illegible] la variabilidad que podría esperarse, [illegible] que nuestras proyecciones podrían [illegible] en consecuencia de factores económicos y de otra índole.

Los precios de los televisores blanco y negro y los de otros utensilios hogareños en 1949, los ingresos disponibles de los consumidores en 1949, los precios de los televisores a color y otros utensilios en 1965, y los ingresos disponibles de los consumidores en 1965, fueron factores que nos resultó muy ventajoso [illegible] a desarrollar nuestro pronóstico a largo plazo para la penetración nacional de los televisores a colores. Consecuentemente, los patrones de éxito obtenidos por los televisores a blanco y negro nos facilitaron cierto indicio de las probabilidades de éxito y del potencial de ventas que tendrían los televisores a color.

Pero, en contraste con el anterior procedimiento, nuestros pronósticos de la aceptación que lograrían los utensilios de cocina Corning Ware en manos de los consumidores, los derivamos principalmente de una sola fuente experta: de un administrador que poseía comprensión perfecta de las preferencias de los consumidores y del mercado de los utensilios hogareños. Y es muy posible que estos pronósticos se hayan cumplido. Esto afirma nuestra creencia de que los pronósticos de venta de un producto nuevo que va a competir en un mercado existente serán incompletos e inciertos a menos que se obtengan los mejores criterios de elementos plenamente experimentados.

Para un mercado indefinido

Sin embargo, frecuentemente el mercado para un producto nuevo está muy débilmente definido, o se disponen de pocos datos respecto al producto, o el concepto del producto sigue siendo fluido, y la historia parece irrelevante. En este caso están las turbinas de gas, los automóviles eléctricos y a vapor, las viviendas modulares, los equipos para medir la contaminación, y las terminales de computadoras basadas en compartimiento de tiempo.

Bajo tales circunstancias, muchas organizaciones han aplicado el método llamado "de Delphi", de solicitar y consolidar las opiniones de los expertos, método que nosotros hemos usado, y con éxito, en varios casos de la CGW para estimar la demanda que habrá de tales productos nuevos.

Cuando se combina el análisis de insumos-producción (input-output) con otras técnicas, puede ser muy útil para proyectar el curso futuro que tomarán las grandes tecnologías y los grandes cambios de la economía. Los instrumentos básicos para este análisis son las tablas de insumos-producción de las industrias de los Estados Unidos para 1947, 1958 y 1963, y varias actualizaciones de las tablas de 1963 que fueron preparadas por diversos grupos que deseaban extrapolar las cifras de 1963, o hacer pronósticos para años posteriores.

Puesto que quizás determinada empresa o línea de productos no represente más que un sector muy pequeño de una industria, puede ser muy difícil usar las tablas directamente. No obstante, varias compañías están segmentando las industrias para valorar sus potenciales de venta y para pronosticar cambios de las [illegible] de productos —el cese gradual de producción de líneas antiguas acompañado de la introducción de líneas nuevas. Por ejemplo, la Quantum-Science Corporation (QUANTEK) ha desarrollado técnicas que

[1] [illegible] Charles Sumner [illegible] Martin, y [illegible] A. Goodman, [illegible] "Forecasting Technology", HBR Enero-Febrero 1971, [illegible]

permiten que los análisis de autoexplicación sean más directamente útiles para los empresarios de la electrónica de la actualidad. (Hay otras técnicas, tales como los consensos por jurados y los pronósticos visionarios, cuya eficacia en nuestros días parece menor, y que no podemos valorar con base en nuestra propia experiencia).

2. Prueba e introducción

Antes de que un producto pueda pasar a su etapa de penetración con la rapidez que siempre se espera, habrá que probar el potencial del mercado e introducir el producto; entonces puede ser aconsejable hacer más pruebas de mercado. Al llegar a esta etapa, la administración necesita respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cual deberá ser nuestro plan de mercadotecnia; a cuáles mercados deberemos entrar, y con qué volúmenes de producción?
- ¿Qué capacidad de fábrica exigirán las etapas primarias de producción?
- Según crezca la demanda, ¿dónde deberemos construir esta capacidad?
- ¿Cómo deberemos distribuir nuestros recursos de investigación y desarrollo a través del tiempo?

El logro de utilidades importantes dependerá de que se encuentren las respuestas correctas a esas preguntas, por lo que será económicamente factible gastar cantidades relativamente grandes de esfuerzos y dinero en obtener buenos pronósticos, a corto plazo, mediano y largo.

A esta etapa, el pronóstico de ventas debe proporcionar tres puntos de información: la fecha en que comenzarán las ventas rápidas, el índice de penetración del mercado durante la etapa de ventas rápidas, y el nivel final de penetración, o índice de ventas durante la etapa de ritmo sostenido.

Uso de los primeros datos

Es difícil pronosticar la fecha en que un producto pasará a la etapa de crecimiento rápido dos o tres años antes de que ocurra (y éste suele ser el horizonte normal). El único recurso que tendrá la empresa será el uso de métodos estadísticos de determinación de pistas, para comprobar el éxito que esté obteniendo la introducción del producto; y la ejecución de estudios refinados de mercados, para determinar cuando haya ocurrido algún aumento significativo en el índice de ventas.

Además, deberá tomarse máximo cuidado al analizar los primeros datos de ventas que se comienzan a acumular cuando el producto haya sido introducido al mercado. Por ejemplo, es importante distinguir entre las ventas a *innovadores* (los que probarán cualquier cosa que sea nueva) y las ventas a *imitadores* (quienes no compran un producto sino hasta que haya sido aceptado por los innovadores); este último grupo [illegible] proporciona la estabilidad de demanda. Hay [illegible] muchas veces que los nuevos productos han aprovechado tener éxito a su inicio, debido a las compras hechas por los innovadores, pero después han fracasado en [illegible] final.

Por ejemplo, la televisión a colores fue introducida en 1954, pero no obtuvo la aceptación de la mayoría de los consumidores sino hasta fines de 1964. Claro que la televisión a colores no podía pasar de la etapa de introducción a la de crecimiento rápido hasta que [illegible] redes difusoras hubieran aumentado sustancialmente su programación a colores; pero desde el punto de vista de la planificación, no es probable que [illegible] las señales críticas especiales (tales como "[illegible] sustancial de programación a color por las grandes redes difusoras") sino hasta después del hecho; y en general encontraremos que serán las encuestas de consumidores, científicamente diseñadas, las que nos proporcionarán los primeros medios de detectar los puntos críticos que ocurren de la demanda de un producto.

Técnica de productos similares

Aunque seguir la pista por medio de estadísticas constituye un método útil durante las etapas primarias de introducción, pocas veces se dispone de datos suficientes para preparar un pronóstico estadístico. Naturalmente que los estudios e investigaciones del mercado serán útiles, como ya hemos indicado; pero lo seguro es que el pronóstico tratará de identificar algún producto similar y más antiguo cuyo patrón de penetración sea similar al del producto nuevo, ya que los mercados generales pueden exhibir, y exhiben, patrones razonables.

De nuevo consideramos la televisión a colores, y los pronósticos que preparamos en 1965.

Respecto al período 1947-1968, el *Cuadro IV* muestra los gastos totales de los consumidores, los gastos en utensilios domésticos, los gastos en radios y televisores, y los porcentajes relevantes. La columna 4 muestra que los gastos totales en artefactos domésticos fueron relativamente estables durante períodos de varios años, por ello, los artefactos nuevos tendrán que competir con los existentes, especialmente durante las recesiones económicas (nótese las cifras de 1948-1949, 1953-1954, 1957-1958 y 1960-1961).

Hay ciertas fluctuaciones específicas de estas cifras que tienen cierto significado especial. Cuando la televisión a blanco y negro fue introducida como producto nuevo en 1948-1951, la razón de gastos en equipo de radio y televisión a gastos totales en bienes de consumo (véase la columna 7) aumentó un 33% aproximadamente (del 1.23% al 1.63%), en comparación con el modesto aumento del 15% (del 1.63% al 1.88%) que registró la misma razón en la siguiente década. (Ocurrió un aumento similar del 33% en 1962-1966, a medida que la televisión a colores efectuaba su penetración más importante).

Cuadro V. GASTOS EN TELEVISORES DOMÉSTICOS VS. GASTOS EN TODOS LOS BIENES DE CONSUMO

(Millones de dólares)

Todos los bienes de consumo* (2)	Televisor doméstico** (3)	Radio, TV [illegible]** (4)	Totales de columnas 3 y 4 (5)	Columna 5 / Columna 2 (6)	Columna 3 / Columna 2 (7)
110.9	3.18	1.43	4.61	4.16%	2.87%
115.9	3.47	1.48	4.95	4.16	2.93
119.1	3.13	1.70	4.83	4.06	1.43
128.6	3.94	2.46	6.40	4.98	1.91
138.4	3.87	2.26	6.13	4.43	1.63
143.3	3.82	2.37	6.19	4.32	1.65
150.0	3.99	2.61	6.60	4.40	[illegible]
151.1	4.02	2.74	6.77	4.48	1.81
162.9	4.69	2.79	7.48	4.59	1.71
168.2	4.89	2.87	7.76	4.61	1.71
176.4	4.63	3.00	7.63	4.33	1.70
178.1	4.44	3.07	7.51	4.22	1.72
190.9	4.86	3.42	8.28	4.34	1.79
196.6	4.74	3.62	8.36	4.25	1.84
200.1	4.77	3.76	8.53	4.26	1.86
212.1	5.01	3.94	8.95	4.22	1.86
222.5	5.24	4.54	9.78	4.40	2.04
232.9	5.74	5.41	11.15	4.69	2.27
257.4	6.03	6.01	12.04	4.68	[illegible]
272.7	6.77	6.91	13.68	4.93	[illegible]
288.1	7.09	[illegible]	14.50	5.03	2.57
313.9	7.80	7.85	15.65	4.99	2.50

* Datos obtenidos del *Survey of Current Business*. Tablas de Gastos de [illegible] (Secretaría de Comercio de EE. UU., números de julio).

** Datos obtenidos del *Survey of Current Statistics* (Secretaría de Comercio de EE. UU. Edición Bienal de 1969).

[illegible] haya sido la aceptación de la televisión blanco y negro en 1950 como utensilio doméstico [illegible] lo que haya causado que la proporción de [illegible] utensilios domésticos principales para todos los bienes de consumo (véase la columna 5) haya [illegible] hasta alcanzar la cifra de 4.98%; en otras palabras, la innovación constituida por la televisión fue [illegible] que el consumidor comenzara a gastar más [illegible] en utensilios importantes, alrededor de 1950.

Nuestra expectativa para mediados de 1965 era que la introducción de la televisión a colores induciría un [illegible] similar. Por lo tanto, aunque esta comparación de posiciones no nos proporcionó un propósito pre[illegible] detallado, sí estableció el parámetro máximo de las ventas totales que podríamos esperar para el futuro.

El próximo paso fue examinar la curva de penetración histórica de los televisores a blanco y negro en los Estados Unidos, mostrado en el *Cuadro V*. Sospechamos que la penetración de los televisores a color mostraría una curva tipo *S* similar, pero que los televisores a color demorarían más en penetrar en todo el mercado, es decir, en obtener ventas de estado sostenido. La televisión a blanco y negro sólo demoró diez años para alcanzar el estado de ventas sostenidas, pero los estudios cualitativos de opiniones de expertos indicaban que a la televisión a colores le [illegible] el doble, y por esto es que la inclinación de la curva correspondiente a la televisión a colores es más gradual.

A la vez, los estudios que se llevaron a cabo en 1965 mostraron que la penetración de ventas de la televisión a colores eran significativamente diferentes respecto a diversos grupos de ingresos, y esos índices nos resultaron muy útiles para proyectar la curva de los televisores a color y para seguir la pista de la precisión de nuestra proyección.

Con base en todos estos datos y suposiciones, pronosticamos las ventas al detalle que ocurrirían desde lo que restaba de 1965 hasta mediados de 1970 (véase la sección punteada de la curva de abajo del *Cuadro V*). Estos pronósticos resultaron ser precisos hasta fines de 1966, pero fueron demasiado elevados para los siguientes tres años, debido primordialmente a que las condiciones económicas generales empeoraron y, a que las políticas de precios cambiaron.

Debemos observar aquí que cuando desarrollamos estos pronósticos y técnicas sabíamos que para poder mantener la precisión que necesitaríamos en períodos posteriores se requerirían técnicas adicionales en [illegible] etapas. Pero estos pronósticos nos dieron una precisión aceptable para la época en que se hicieron, porque la meta principal de entonces no era más que la [illegible] el índice de penetración y el nivel final de ventas al llegar el estado sostenido. Preparar estimaciones [illegible] de la forma en que se comporten las redes de distribución y fabricación, es actividad que propiamente pertenece a la próxima etapa del ciclo de vida.

Otros enfoques. Cuando no sea posible identificar un producto similar disponible en el caso del horno microondas de la CGW, y en el de su Estrella de cocina de superficie limpia (Counter-mate)[illegible] tendrá que usar otro enfoque.

Para fines de la introducción inicial a los mercados, no es necesario más que determinar el índice mínimo de ventas necesario para que el lanzamiento de un producto cumpla los objetivos de la empresa. Para estimar este mínimo podrán usarse análisis tales como los de insumos-producción, tendencias históricas y pronósticos tecnológicos; también la factibilidad de no penetrar en el mercado en absoluto, y de seguir con la investigación y el desarrollo hasta alcanzar la etapa de crecimiento rápido, pueden determinarse mejor mediante el análisis de sensibilidad.

Pronóstico del crecimiento rápido

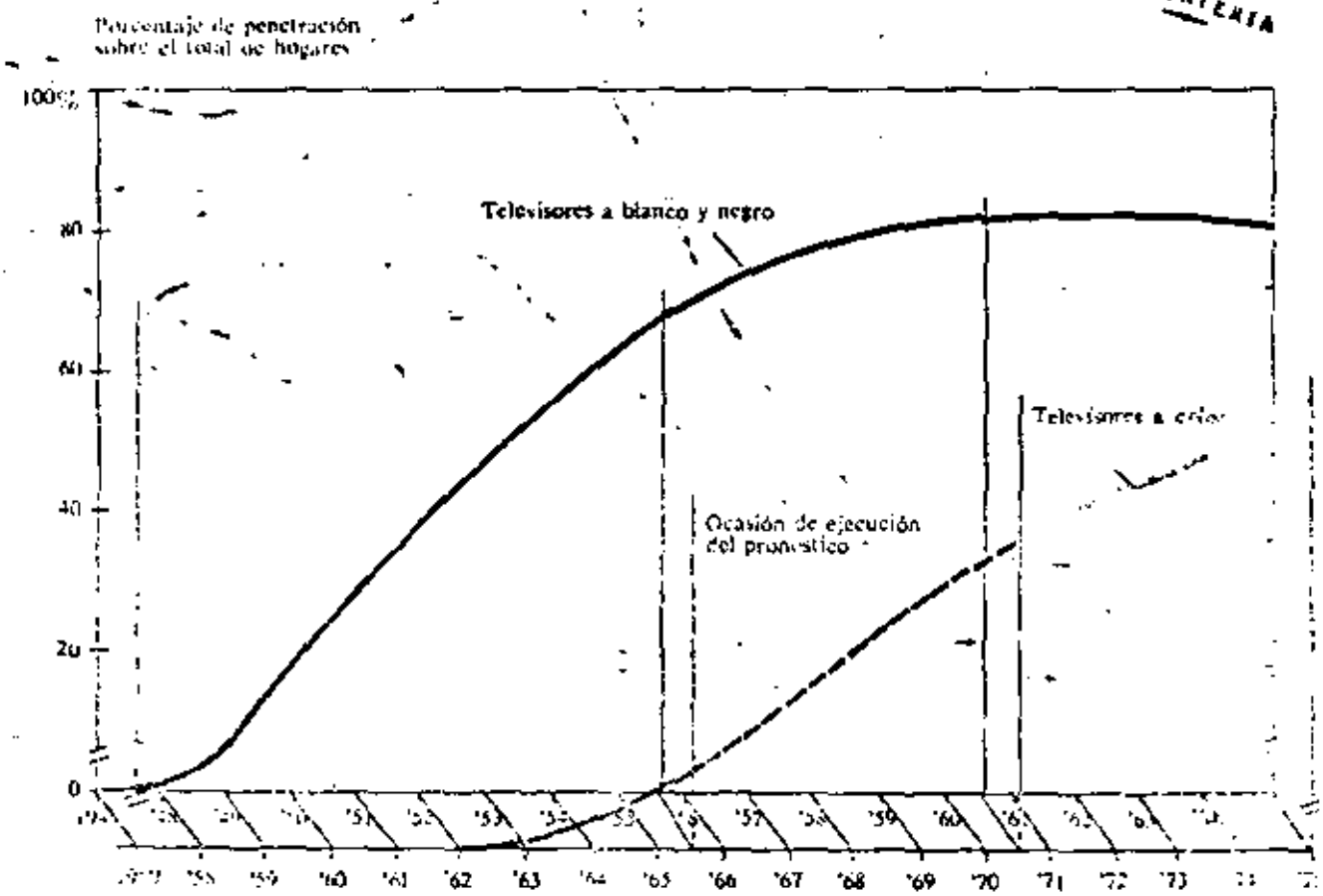
Pero hacer estimación de la fecha a la que el producto habrá pasado a la etapa de crecimiento rápido, es asunto de otra índole. Como hemos visto, esta fecha es función de muchos factores: la existencia de un sistema de distribución, la aceptación o familiaridad, por parte de los clientes, del concepto del producto; la necesidad que llena el producto, los eventos significativos (tales como la programación a colores por parte de las redes de televisión), y factores por el estilo.

Esta fecha puede estimarse [illegible] sistema de productos similares, [illegible] ejercicios del tipo Delphi o de consenso [illegible] jerarquización y jerarquización [illegible] estimar los factores que serán [illegible] tación por parte de los clientes, cada producto [illegible] tivo se categoriza respecto a cada [illegible] una calificación general del producto [illegible] cual se compara con la calificación [illegible] ducto nuevo.

Como hemos dicho, suele ser difícil pronosticar precisamente *cuándo* ocurrirá un punto crítico, y según nuestra experiencia, la precisión máxima que puede esperarse es entre tres meses y dos años de aproximación a la fecha real.

Claro que hay ocasiones en que se puede estar seguro de que un producto nuevo recibirá aceptación entusiasta. Las pruebas de mercados y las reacciones iniciales de los clientes nos aclararon perfectamente que había un enorme mercado para los equipos de cocina CORNING WARE. Puesto que el sistema de distribución ya existía, el tiempo que requirió esta línea para [illegible] crecimiento rápido dependió principalmente de nuestra propia capacidad para fabricarlo. Algunas veces, el pronóstico no requiere más que calcular la capacidad de empresa; pero ésta no es la regla.

CUADRO V. CURVAS DE LA PENETRACION DE HOGARES, A LARGO PLAZO, DE LOS TELEVISORES A COLOR Y A BLANCO Y NEGRO



El crecimiento rápido

[illegible] pasa a esta etapa, las decisiones [illegible] son las relativas a expansión de instalaciones. Estas decisiones suelen implicar [illegible] que ocurren en el ciclo (que no sean [illegible] de decisiones importantes respecto [illegible] desarrollo), pero todos los esfuerzos [illegible] seguir las pistas que se hagan estarán [illegible]

coyuntura, los pronósticos y las perse- [illegible] deberán proporcionar al ejecutivo [illegible]

[illegible] existe del *pronóstico del índice de* [illegible] que se hizo previamente.

[illegible] en la cual las ventas se nivelarán a [illegible] de *ritmo sostenido*.

[illegible] los componentes, la desviación de la [illegible] que pueden causar *condiciones* [illegible] *a lo largo de la red de distribución*; por [illegible] de inventarios.

El índice de crecimiento

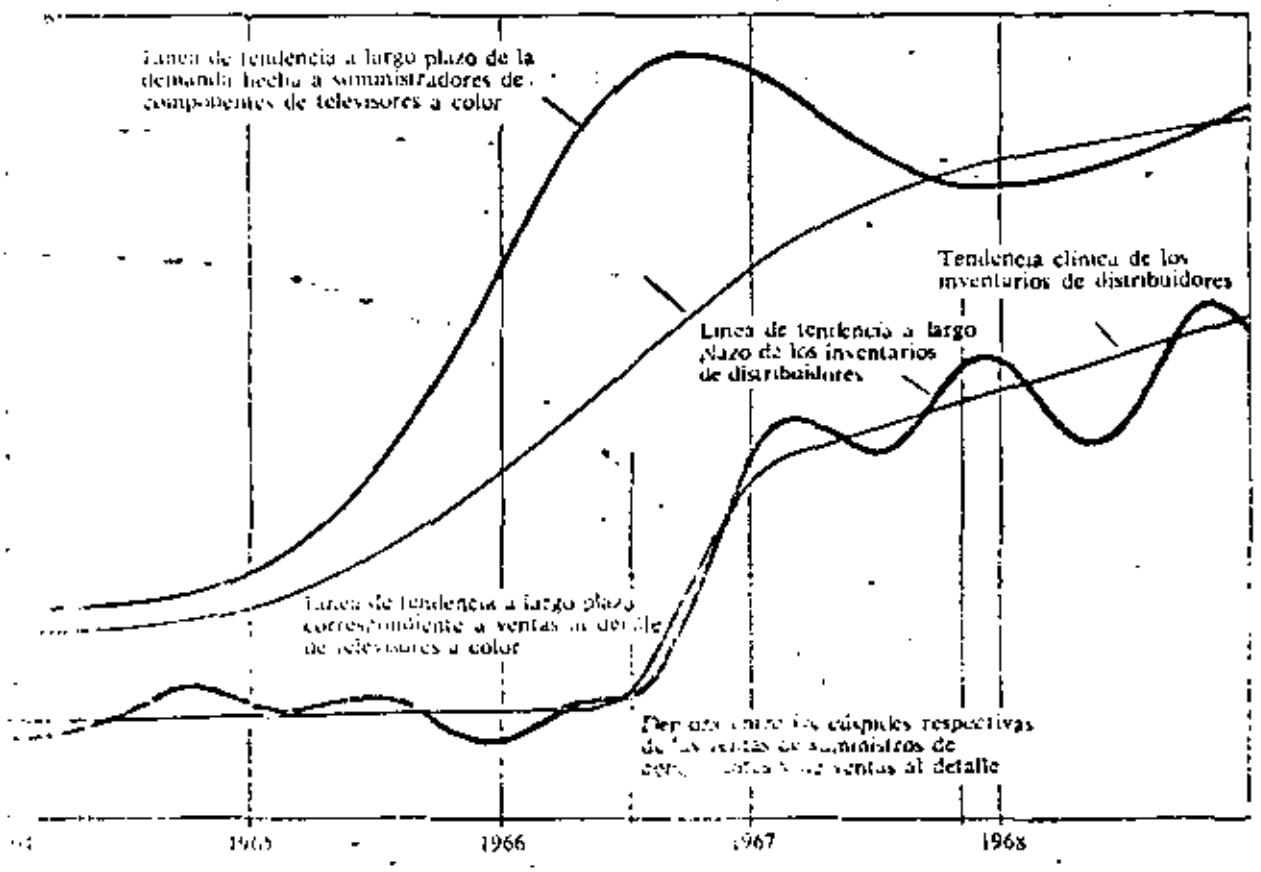
[illegible] y largo plazo del índice de cre- [illegible] y del obtenimiento del ritmo sos- [illegible] [illegible] los mismos modelos [illegible] la etapa de introducción [illegible] productos: estudios [illegible] dos del mercado (especialmente estudios de la intención de compra) y comparaciones de productos.

Para [illegible] en la etapa de crecimiento rápido suelen haber [illegible] tes datos disponibles para que se construyan modelos de crecimiento *causales* (aunque estos últimos necesariamente contendrán suposiciones que habrá que verificar más tarde).

Para los televisores a color, nosotros estimamos el índice de crecimiento y el estado a nivel sostenido mediante un modelo tosco econométrico-mercadotécnico que construimos con base en los datos que poseíamos al inicio de dicha etapa, y también condujimos frecuentes estudios del mercado.

Como ya explicamos, la limitación principal de la etapa de crecimiento de los utensilios de cocina CORNING WARE fue nuestra propia capacidad de producción, por lo que la información básica que había que pronosticar para este caso era la fecha en que se nivelaría el crecimiento. Habían inventarios sustanciales, y eso amortiguaba la precisión de la información de ventas a consumidores en toda la línea: así que carecíamos de datos confiables del campo y eso dificultó la estimación de la fecha. Terminamos por tener que establecer

[illegible] VENTAS A DISTRIBUIDORES, INVENTARIOS DE [illegible] VENTAS DE COMPONENTES DE [illegible] COLOR



[illegible] de las ventas de consumidores, los inventarios en distribuidores, los componentes. Los detalles han [illegible] para fines de ilustración.

un sistema de información de campo más directo que funcionó mejor.

La red de distribución ejerce ciertos efectos de distorsión sobre la demanda de fabricantes a la vez que amortigua o alterna la información en los casos de productos componentes; y aunque estos efectos son muy importantes, es demasiado frecuente, a pesar de ser dogma, que se haga caso omiso al planificar la producción o la capacidad.

Simulación de la red de distribución

Mientras que la demanda de utensilios en proceso muestra una curva en forma de *S* parecida a la de las ventas al detalle, es posible que muestre algunos meses de atraso o adelanto respecto a la curva de ventas y así distorsione la curva de la demanda del suministrador de componentes.

El Cuadro VI muestra la tendencia a largo plazo de la demanda hecha de un suministrador de componentes (que no sea Corning) en función de las ventas y los inventarios de distribuidores. Como podrá verse en esta curva, es posible que las ventas a suministradores crezcan con relativa velocidad durante varios meses y lleguen a alcanzar la cúspide, antes de haberse nivelado la curva de ventas detallistas. Son obvias las implicaciones de estas curvas para la planificación y distribución de instalaciones.

Para nuestro cuadro hemos utilizado componentes para televisores a color, porque sabemos por experiencia la importancia que tiene el flujo largo de tiempo para los televisores a color, lo que resulta de los muchos pasos secuenciales en la fabricación y distribución de estos aparatos (recuérdese el *Cuadro II*). Hay ejemplos más espectaculares aún; por ejemplo, tratándose de motores de camiones, es muy frecuente que el tiempo de flujo de componentes del proveedor al consumidor se alargue hasta dos años.

Para poder estimar la demanda total que habría de la producción de CGW, utilizamos un modelo de demanda de detallistas, y una simulación de la red de distribución. El modelo incorporaba índices de penetración, curvas de mortandad, y factores similares. Combinamos los datos que generó el modelo con datos de participación de mercado, y de pérdidas de vidrio y con otros informes, y esta combinación fue el cuerpo de insumos que utilizamos para simular la red de distribución. La producción simulada en consecuencia nos permitió aplicar curvas proyectadas, similares a las que muestra el *Cuadro VI*, a nuestros propios proyectos de fabricación de componentes.

La simulación es un instrumento excelente para circunstancias de esta naturaleza, porque en esencia es más simple que su alternativa, esto es, que construir un modelo más formal y "matemático". Es decir, la simulación esquiva la necesidad de aplicar técnicas analíticas de solución y crear duplicaciones matemáticas de un ambiente complejo, y permite que el proyectista experimente. La simulación también nos enseñó cómo se comportarían los elementos [illegible] bución, y como interactuarían a través [illegible] conocimientos son muy útiles para [illegible] especialmente para la construcción [illegible] causales formales).

Seguir pistas y avisar

Claro que estos conocimientos no son absolutos [illegible] "seguros", y habrá que seguir conociendo [illegible] de las dinámicas de la red de distribución para poder determinar si las diversas estimaciones y las demás suposiciones que se hicieron resultaron correctas. En corto plazo, los métodos estadísticos son buenos para estimar y checar el índice de crecimiento, e indicar cuándo ocurrirán los puntos críticos.

A fines de 1965 ya era aparente que estaba aumentando la demanda de utensilios en proceso, porque se observaban diferencias positivas constantes entre las ventas reales en cinescopios de televisión y las ventas pronosticadas. Nuestras conversaciones con los gerentes de productos y otros ejecutivos nos señalaron la posibilidad de que estuviese ocurriendo cierto cambio significativo en la actividad de la red de distribución; era evidente que había habido aumentos rápidos de la demanda de los detallistas, que a su vez estaban aumentando los pedidos de vidrio para los utensilios en proceso: tal circunstancia podría crear una "joroba" en la curva de *S* similar a la que muestra el *Cuadro VI*. Esta "joroba" proporcionó utilidades adicionales a CGW en 1966, pero tuvo un efecto adverso en 1967. Pudimos pronosticar esta "joroba", pero lamentablemente no la pudimos disminuir ni evitarla, ya que nuestro control de la red de distribución no era suficiente para que lo lográramos.

Los inventarios, a través de toda la red de distribución, también muestran una curva en forma de *S* (según el *Cuadro VI*), hecho que crea y complica dos condiciones características de toda la red: al principio se llena demasiado, y subsecuentemente su condición oscila entre exceso de inventario y demasiado poco inventario, en varios puntos: una secuencia de condiciones de "bonanza" y "borrasca".

Por ejemplo, el sistema de distribución para utensilios de cocina Corning Ware, que es más sencillo, mostró curva en forma de *S* como las que hemos examinado. Cuando el crecimiento de las ventas al detalle disminuyó de rápido a normal, los datos de los envases efectuados no proporcionaron indicaciones oportunas de [illegible] había llegado a este punto crítico tan importante. Los datos de los inventarios que mantenían los [illegible] res sí nos dieron cierto aviso de que se estaba [illegible] excesivamente la red de distribución, pero [illegible] ello no pudimos identificar con suficiente [illegible] punto tan crítico al nivel de los detallistas, [illegible] carecíamos de datos precisos a ese nivel. [illegible] supervisamos cotidianamente la información de [illegible] para poder identificar los cambios importantes [illegible] tonces ajustamos nuestros pronósticos de [illegible] acuerdo con dichos cambios.

[illegible] principales

[illegible], por lo tanto, que una de las actividades [illegible] durante la etapa de crecimiento rápido de[illegible] de estimaciones anteriores; [illegible] haber sido incorrectas, entonces de[illegible] pronóstico tan precisamente como [illegible] una estimación revisada.

[illegible] en que los modelos desarrollados ante[illegible] incluirán más que "macrotérminos"; y [illegible], la investigación de mercados será capaz [illegible] la información que se necesita para [illegible] función de sus componentes. Por ejem[illegible], el modelo para pronósticos de televisores [illegible] consolero más que las penetraciones totales [illegible] a diferentes niveles de ingresos, sin otor[illegible] atención alguna a la forma en que se usarían [illegible], por lo tanto, hicimos una encuesta de [illegible] para determinar con más precisión los usos [illegible].

[illegible] deberán expansionarse submodelos de [illegible] de la red de distribución durante la etapa [illegible] rápido, incorporándose a ellos los informes [illegible] detallados, a medida que éstos se reciben. [illegible] de los televisores a color, pudimos compro[illegible] capaces de estimar los requisitos gene[illegible] de la red de distribución respecto a cinescopios [illegible] los factores de participación de mercado de [illegible], [illegible] pérdidas de vidrio, y que con estas esti[illegible] postulamos postular una distribución de pro[illegible] en torno de las estimaciones más probables. [illegible] fue muy fácil comparar estos pronósticos [illegible] volúmenes reales de ventas, y así comprobar la [illegible] de los procedimientos mediante los cuales los [illegible].

[illegible] vimos que teníamos que aumentar el nú[illegible] de factores que contenía el modelo de simulación [illegible], había que expansionar el modelo para [illegible] consideración a varios tamaños de cinesco[illegible] eso aumentó nuestra precisión y utilidad [illegible].

[illegible] que describe no es más que uno de los que [illegible] utilizarse para pronosticar las ventas de pro[illegible] nuevos que están en estado de crecimiento rá[illegible]. Otras personas han analizado otros métodos.[3]

4. Ritmo sostenido

[illegible] esta etapa, las decisiones que el administra[illegible] son muy diferentes de las que ha tomado [illegible]. Ya se ha resuelto la mayor parte de la [illegible] de instalaciones y las tendencias, y los [illegible] de crecimiento se han vuelto razonablemente [illegible]. Es posible que ocurran oscilaciones de la demanda y de las utilidades, debidas a cambios de las condiciones económicas, a productos nuevos y competitivos, a dinámicas de la red de distribución, y a factores similares; y el administrador tendrá que mantener sus actividades de persecución de pistas, e iniciar actividades nuevas del mismo tipo. Pero a la larga, en cuanto a pronósticos, podrá concentrar su atención en las áreas siguientes:

- Planificación de producción a corto y a largo plazo.
- Fijación de normas para comprobar la efectividad de las estrategias de mercadotecnia.
- Proyecciones para ayudar a la planificación de utilidades.

También necesitará un sistema que sirva para seguir pistas y dar aviso, que le permita identificar cualquier disminución significativa de la demanda del producto (pero es de esperar que todavía falte mucho para que se le llegue a tal condición).

Para estar seguro, el administrador deseará proyecciones de márgenes y utilidades, y pronósticos a largo plazo para ayudarle a planificar al nivel de dirección general. Pero para estas actividades más detalladas los pronósticos a plazo corto y medio serán factores básicos; por tal motivo, a continuación examinamos los pronósticos de ventas.

Tener a mano los instrumentos adecuados

Al planear la producción y establecer la estrategia mercadotécnica para corto y medio plazo, lo primero que tiene en mente el administrador es hacer una estimación precisa del nivel vigente de ventas, y otra del índice de cambio que muestra dicho nivel.

Por lo tanto, a esta etapa será preciso que el pronosticador haga dos contribuciones relacionadas entre sí:

- Deberá proporcionar estimaciones de *tendencias y de temporalidades*, que evidentemente afectarán el nivel de ventas. Las temporalidades son especialmente importantes tanto para la planificación general de la producción como para el control de inventarios. Para lograr estas estimaciones necesitará aplicar análisis de series de tiempo y técnicas de proyección, es decir, técnicas *estadísticas*.
- Deberá establecer relación entre el nivel futuro de ventas y otros factores que sean más fáciles de pronosticar, o tengan buena relación de "anticipación" a las ventas, o ambos. Para lograr esto necesitará construir *modelos causales*.

El tipo de producto que se esté examinando será factor muy importante para la selección de las técnicas que deberán usarse.

Para los utensilios de cocina Corning Ware, cuyos niveles de sistemas de distribución están organizados en forma relativamente directa, utilizamos métodos estadísticos para pronosticar los embarques y aprovechamos la información recibida del campo para pronosticar los cambios que ocurrirían en los índices de embarque.

[3] [illegible] "Pricing Patterns and the Demand for Housing" [illegible] Cambridge University Press, 1964); Frank [illegible] "The Economics of Demand Variables", Alan[illegible] Chicago [illegible] Die [illegible] "The Durability of Consumers' [illegible] Economica, Volumen 26, No. 2, 1964.

En la actualidad estamos en proceso de incorporar informes especiales —estrategias de mercadotecnia, pronósticos económicos y elementos similares— directamente a los pronósticos de embarques, y eso nos está llevando hacia un modelo de pronósticos de tipo causal.

Por otra parte, puede ocurrir que un suministrador de componentes sea capaz de pronosticar sus ventas totales con precisión suficiente para la planificación de producción de carga amplia; pero es más probable que el ambiente de la red de distribución sea tan complejo, que su mejor recurso para las proyecciones a corto plazo sea confiarse principalmente a las estimaciones hechas de lo que antecede al estimar la demanda de viajeros para televisión en función de tamaños y de clientes. En tales casos, donde los métodos estadísticos funcionen mejor será para proporcionar guías y comprobaciones de los pronósticos hechos por los vendedores.

Pero generalmente al llegar a este punto del ciclo de vida se dispone de suficientes datos de series de tiempo, y se conocen suficientes relaciones causales obtenida directamente de estudios de mercado, para que el pronosticador pueda hacer una verdadera aplicación de estos dos grupos de medios tan poderosos. Para esa época se dispondrán de datos históricos de cuando menos los últimos años; y el pronosticador los utilizará todos, de una manera u otra.

Mencionaremos aquí una crítica que frecuentemente se escucha. Los pronosticadores no quieren utilizar más que los datos más recientes (tales como las cifras de venta del pasado inmediato) para la construcción de proyecciones, alegando que la situación en curso siempre es tan dinámica y las condiciones están cambiando tan radical y rápidamente, que ya los datos históricos de épocas anteriores casi no tienen validez alguna.

Creemos que esta opinión tiene muy poco valor. Una gráfica de los datos de venta de varios años, como la que muestra la *Parte A* del *Cuadro VII*, da la impresión de una tendencia de ventas que no sería posible que recibiéramos si nos limitáramos a observar dos o tres de los puntos de datos más recientes.

En la práctica encontramos que los patrones generales tienden a subsistir durante uno o dos trimestres hacia el futuro, como mínimo, aun cuando ocurren condiciones especiales que hacen fluctuar las ventas durante uno o dos períodos (mensuales) en el futuro inmediato.

Para los pronósticos a corto plazo de uno o tres meses al futuro, son mínimos los efectos de factores tales como las condiciones económicas generales y *no causan* cambios radicales en los patrones de la demanda. Ya que las tendencias tienden a cambiar gradual y no repentinamente, los métodos estadísticos y demás de naturaleza cuantitativa son excelentes para los pronósticos a corto plazo; pero el uso de sólo uno, o sólo algunos, de los puntos de datos más recientes, tendrá como resultado que no se otorgará consideración suficiente a la naturaleza de las tendencias, los ciclos, y las fluctuaciones temporales de las ventas.

Aunque podamos dar las técnicas como aceptables, necesitamos proseguir para explicar la forma en que el pronosticador podrá identificar *precisamente* lo que estará ocurriendo cuando las ventas fluctúen de un período al siguiente, y cómo pronosticarán tales fluctuaciones.

Clasificación de tendencias y temporalidades

Al pronosticar, hay que manejar por separado las tendencias y las temporalidades, porque son circunstancias totalmente diferentes.

Consideremos lo que ocurriría, por ejemplo, si el pronosticador se limitara a tomar el promedio de los puntos de los datos más recientes de determinada curva, los combinara con otros puntos promedios similares del pasado inmediato, y utilizara el resultado como base para una proyección. Sería muy fácil que reaccionara exageradamente a los cambios ocurridos al azar, y los identificara equivocadamente como demostraciones de tendencias importantes; y quizás confundiera un cambio en el índice de crecimiento con un cambio periódico o cometiese otros errores similares.

Para evitar este tipo de errores, la técnica de promedios cambiantes que es parecida a la técnica hipotética que acabamos de describir, utiliza puntos de datos en forma tal que quedan eliminados los efectos de las temporalidades y las irregularidades.

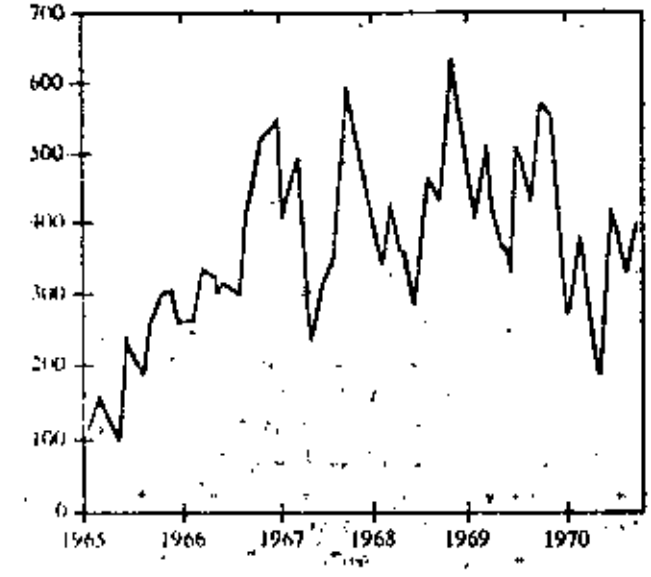
Además, el ejecutivo necesita *tanto* estimaciones precisas de tendencias *como* estimaciones precisas de temporalidades: para poder planificar la producción de carga amplia, para poder determinar los esfuerzos y distribuciones mercadotécnicas, y para poder mantener los inventarios debidos, es decir, inventarios adecuados para la demanda de los clientes, pero no excesivamente costosos.

Será bueno que antes de seguir adelante demos ejemplos de la forma que toman estas identificaciones. Las *Partes A, B, y C* del *Cuadro VII* muestran la descomposición inicial de datos en estado natural respecto a las ventas de las fábricas de televisores a color, entre 1965 y mediados de 1970. La *Parte A* muestra la curva de datos brutos; la *Parte B* muestra los factores temporales que están implícitos de los datos brutos; este patrón es bastante razonable, aunque varía un poco de un año a otro. (En la próxima sección explicaremos la procedencia de esta gráfica de las temporalidades.)

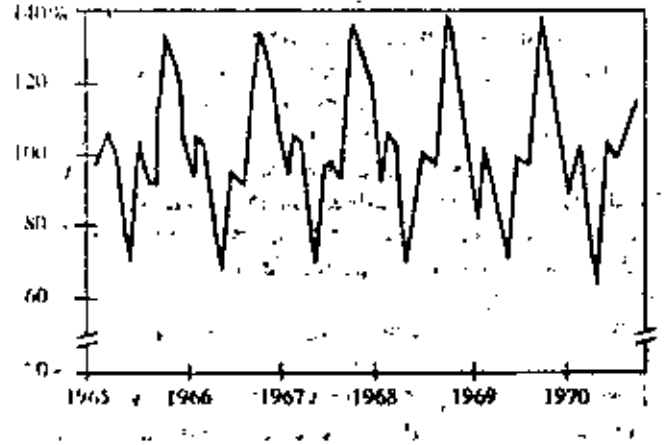
La *Parte C* muestra el resultado obtenido al descontar las temporalidades de la *Parte B* de la curva de datos brutos; a la curva así producida se le llama "curva de datos temporalizados". Seguidamente, en la *Parte D*, hemos dibujado la curva más suave u "óptima" que es posible lograr a través de la curva destemporalizada y así hemos obtenido la *tendencia cíclica*. (Observaremos, además, que las diferencias entre esta línea de tendencias cíclicas y la curva de datos destemporalizados constituye el componente irregular o asistemático que el pronosticador siempre tendrá que tolerar, y que tendrá que tratar de explicar por otros métodos).

CUADRO VII. ILUSTRACIÓN DE LOS DATOS DE VENTAS DE LAS FÁBRICAS DE TELEVISORES A COLOR

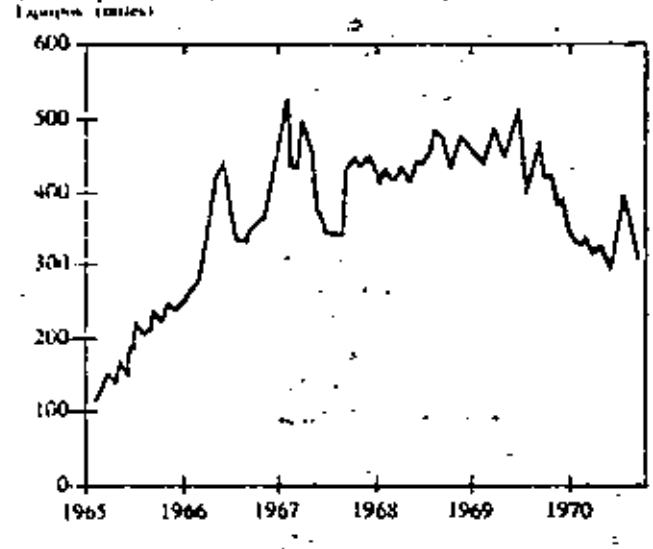
Parte A. Datos brutos de ventas de fábricas de televisores a color
Equipos (miles)



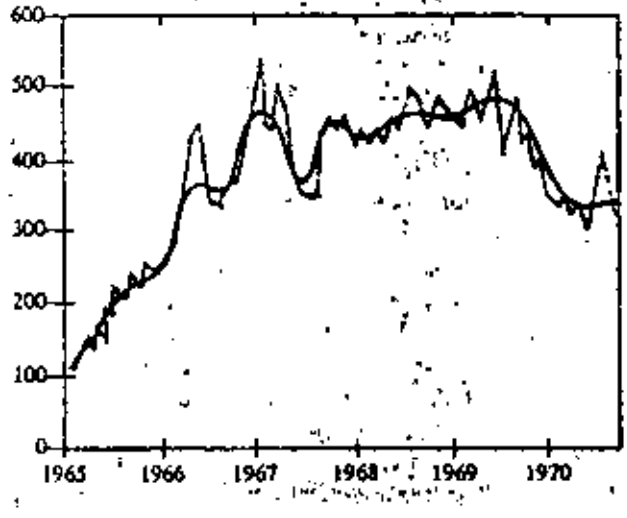
Parte B. Temporalidades respecto a ventas de fábricas de televisores a color
Temporalidades (porcentaje del índice promedio mensual de ventas)



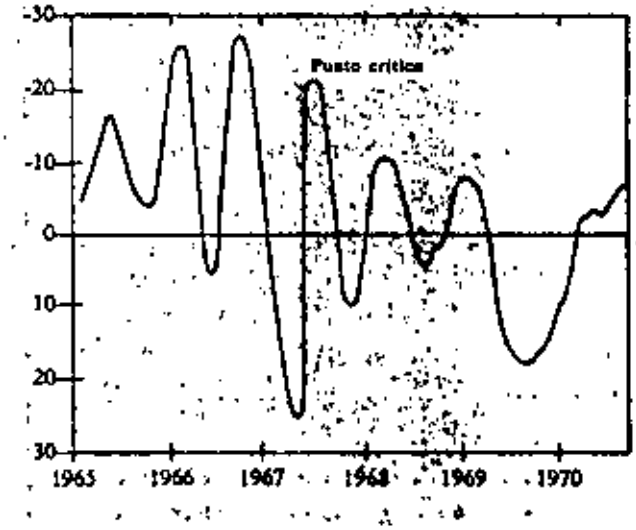
Parte C. Ventas de fábricas de televisores a color (desestacionalizadas)
Equipos (miles)



Parte D. Tendencia cíclica final de ventas de fábricas de televisores a color
Equipos (miles)



Parte E. Cambios de tendencias cíclicas finales (índice de crecimiento) de ventas de fábricas de televisores a color
Equipos (miles)



Resumiendo: el objetivo de la técnica de pronósticos que usamos aquí es hacer lo más posible para identificar las tendencias y las temporalidades. Lamentablemente casi todos los métodos de pronóstico se proyectan mediante un procedimiento de aislamiento, análogo al de la técnica de promedios cambiantes o al de la técnica hipotética que describimos al principio de esta sección; el logro de una separación más precisa de las tendencias y las temporalidades será obra más laboriosa y costosa.

Pero de todas maneras, las técnicas de identificación han demostrado su utilidad en la práctica. La mejor manera en que podremos explicar por qué han tenido éxito, es bosquejando toscamente cómo construimos un pronóstico de ventas basado en tendencias, temporalidades, y datos obtenidos de éstas. El método es el siguiente:

• Se dibuja la gráfica del índice al cual cambia la tendencia. En la ilustración del *Cuadro VII*, esta gráfica está muestrada en la *Parte E*. Dicha gráfica describe los altibajos sucesivos de la tendencia cíclica que muestra la *Parte D*.

• Se proyecta este índice de crecimiento hacia adelante, a través del intervalo que cubre el pronóstico. Suponiendo que estuviésemos preparando nuestro pronóstico a mediados de 1970, estaríamos proyectando hacia los meses de verano, y posiblemente hacia los primeros meses de otoño.

• Se suma este índice de crecimiento (sea positivo o negativo) al índice de venta actual. El índice que se obtiene podría denominarse "índice de ventas destemporalizado".

• Se proyectan las temporalidades de la *Parte B* durante el período que se está examinando, y se multiplica el índice de pronóstico destemporalizado por estas temporalidades. El producto será el índice de ventas pronosticado, que es el que buscábamos.

Claro que en los casos especiales donde no hay que considerar temporalidades este proceso se simplifica mucho, puede utilizarse menor volumen de datos y técnicas más sencillas.

Hemos encontrado que el análisis de los patrones de cambio del índice de crecimiento nos proporciona más precisión para pronosticar puntos críticos que el que logramos cuando no usamos más que la tendencia cíclica (por lo que también nos proporciona la misma precisión para pronosticar cambios desde el crecimiento positivo al crecimiento negativo, y viceversa).

En realidad, la ventaja principal de considerar los cambios del crecimiento la constituye el hecho de que frecuentemente podemos pronosticar con mayor anticipación el momento en que ocurrirá la situación de ausencia de crecimiento. Consecuentemente, la gráfica de cambio de crecimiento también nos proporciona excelente base visual para pronosticar e identificar los puntos críticos.

Técnica X-11

El lector sentirá curiosidad por saber la forma en que se descomponen las temporalidades, extrayéndose de los datos brutos de ventas; y por conocer la manera precisa en que se determina la curva de cambio de crecimiento con base en la curva de tendencia.

Una de las mejores técnicas que conocemos para analizar profundamente los datos históricos para determinadas temporalidades, el índice actual de ventas, y el crecimiento, es la técnica X-11 del Departamento del Censo, que simultáneamente extrae las temporalidades de los informes brutos y a la vez ajusta a los datos una línea de tendencias cíclicas. La descripción de esta técnica es muy amplia: cuesta unos U.S. $10, y proporciona información detallada sobre las temporalidades, las tendencias, la precisión de las temporalidades, el encaje de las tendencias cíclicas, y otras medidas. La producción así obtenida incluye gráficas de las tendencias cíclicas y del índice de crecimiento, que podría recibirse simultáneamente en los despliegues gráficos de una terminal de computadora basada en tiempo compartido.

Aunque el método X-11 no se desarrolló originalmetne para los pronósticos, sí establece base para la preparación de pronósticos efectivos. No obstante, debemos observar que hay cierta inestabilidad en la línea de tendencias de los puntos de datos más recientes, ya que la técnica X-11, igual que casi todas las demás técnicas estadísticas, hace uso de cierta forma de promedio cambiante. Por lo tanto, ha demostrado su eficacia para estudiar los cambios de patrones de crecimiento a medida que se obtiene cada punto nuevo de crecimiento.

Cuando los datos recientes parezcan reflejar crecimiento o disminución repentina de las ventas, o cualquier otra anomalía del mercado, el pronosticador debe determinar si ocurrió algún evento especial durante el período que está considerando, como promociones, huelgas, cambios de la economía, u otros factores similares. La técnica X-11 proporciona la instrumentación básica que se necesita para otorgar el valor debido al efecto de dichos eventos.

Generalmente, y aun cuando puedan establecerse asociaciones entre los patrones de crecimiento y la ocurrencia de determinados eventos, la técnica X-11 y los demás métodos estadísticos no producen resultados buenos cuando el período del pronóstico es de más de seis meses, porque la incertidumbre o la naturaleza imprevisible de los eventos lo impide. Pero para pronósticos a corto plazo, de uno a tres meses, la técnica X-11 ha demostrado que es razonablemente precisa.

Nosotros la hemos usado para estimaciones de ventas de cada división, a tres períodos hacia el futuro, así como para determinar los cambios de los índices de ventas. Hemos comparado nuestros pronósticos hechos con técnica X-11 con los pronósticos desarrollados por cada una de varias divisiones para los cuales éstas han utilizado diversos métodos algunos de los cuales han tomado en cuenta las estimaciones de los vendedores y otros conocimientos especiales. Los pronósticos que se hicieron utilizando la técnica X-11 se basaron en métodos estadísticos exclusivamente, y no otorgaron consideración alguna a informes especiales.

Los pronósticos de las divisiones contenían un poco *menos* de errores que los que proporcionó el método X-11; sin embargo, encontramos que los pronósticos de las divisiones tenían cierto sesgo optimista, mientras que los que proporcionó el método X-11 no contenían sesgo alguno. Esto nos sugirió que se puede hacer mejor trabajo de pronóstico si se combinaban los conocimientos especiales, las técnicas de las divisiones, y el método X-11. Esto es lo que se está haciendo en algunas de las divisiones en la actualidad, y la precisión de sus pronósticos ha mejorado en consecuencia. También hemos usado el método X-11 para hacer pronósticos de ventas para el futuro inmediato, que sirvan de norma para

la evaluación de diversas estrategias mercadotécnicas, y hemos encontrado que han sido especialmente efectivos para estimar los efectos que surtirán los cambios de precios y las promociones.

Como ya hemos indicado, frecuentemente se utiliza

A los lectores de este artículo quizás les interesen los siguientes artículos de HBR que tratan de los pronósticos:

Edward G. Bennion, "Econometrics for Management", Marzo-Abril 1961, pág. 100.

James R. Bright, "Evaluating Signals of Technological Change", Enero-Febrero de 1970, pág. 62.

John F. Duty y Robert J. Lord, "Does TF Really Work?" (Keeping Informed), Noviembre-Diciembre 1970, pág. 16.

Wassily W. Leontief, "Proposal for Better Business Forecasting" (Looking Ahead), Noviembre-Diciembre 1964, pág. 166.

Harper Q. North y Donald L. Pyke, "Probes of the Technological Future", Mayo-Junio 1969, pág. 68.

George G. C. Parker y Edilberto L. Segura, "How to Get a Better Forecast", Marzo-Abril 1971, pág. 99.

James Brian Quinn, "Technological Forecasting", Marzo-Abril 1967, pág. 89.

---

el análisis de tendencias para proyectar datos anuales durante varios años a fin de determinar cuáles serán las ventas si subsiste la tendencia vigente. Algunas veces se utilizan de esta manera el análisis de regresión y los pronósticos estadísticos, es decir, para estimar lo que pasará si no ocurren cambios significativos. Si cuando esto se determine, el resultado no es aceptable para la estrategia de la dirección general, la empresa está en situación oportuna para cambiar su estrategia.

Modelos econométricos

Cuando los periodos de tiempo sean largos, los cambios de condiciones económicas generales darán cuenta de gran parte de los cambios del índice de crecimiento de un producto. Puesto que los pronósticos económicos son cada vez más precisos, y existen ciertas fuerzas económicas generales "principales" que cambian antes de que ocurran cambios subsecuentes en determinadas industrias, se puede mejorar la precisión de los pronósticos de los negocios, incluyendo factores económicos en sus modelos.

Pero el desarrollo de dicho modelo, al que suele llamarse "modelo econométrico", precisa que se tengan los datos suficientes para poder establecer las relaciones correctas.

Cuando los televisores a colores atravesaban su etapa de crecimiento rápido, nos dimos cuenta de que era probable que las condiciones económicas afectaran notablemente el índice de ventas. Pero los macroanálisis de los datos de televisores a blanco y negro que hicimos en 1965, relativos a las recesiones de fines de la década de los cuarenta y principio de la de los cincuenta no mostraron efecto económico sustancial alguno; por lo tanto, no poseíamos datos suficientes para establecer buenas relaciones econométricas para el modelo relativo a televisores a color. (Pero una investigación hecha posteriormente sí estableció que habían ocurrido pérdidas perceptibles en las ventas de los televisores a color durante 1967, que se debieron a condiciones económicas).

En 1969, la Corning decidió que necesitaba un método superior al X-11 para pronosticar los puntos críticos en las ventas detallistas de televisores a color para periodos de seis meses a dos año hacia el futuro. Los métodos estadísticos y las estimaciones de los vendedores son incapaces de determinar estos puntos críticos con suficiente anticipación para ayudar a tomar decisiones; por ejemplo, el gerente de producción necesita saber con tres a seis meses de anticipación dichos cambios para poder mantener una fuerza de trabajo estable.

Nos parecía que disponíamos de los datos suficientes para construir un modelo econométrico, por lo que comenzó el análisis previo al desarrollo de dicho modelo, tanto para las ventas de televisores a blanco y negro como para los televisores a color. Nuestros conocimientos de las temporalidades, las tendencias, y el crecimiento de estos productos, constituían la base natural para hacer las ecuaciones correspondientes de los modelos.

Los insumos económicos del modelo se obtuvieron primordialmente de información que había sido generada por el Modelo Econométrico de la Wharton, pero también utilizamos otras fuentes.

Utilizando datos que llegaban hasta 1968, el modelo se comportó bastante bien en el pronóstico del descenso que ocurrió en el último trimestre de 1969; y cuando se incorporaron los datos de 1969 al modelo, éste estimó precisamente la magnitud del descenso que ocurriría en los primeros dos trimestres de 1970. Las relaciones de ventaja-atraso, y la disponibilidad de pronósticos económicos para los factores del modelo, permiten estimar los efectos que tendrá la economía sobre las ventas, para periodos futuros de hasta dos años.

Los pronósticos para control de producción e inventario, los de grupos de artículos, y las estimaciones de demanda a largo plazo, son especialmente importantes para la fase de ritmo sostenido. El lector interesado en estos temas encontrará comentarios sobre dichos temas al reverso del desplegado que contiene este artículo.

Finalmente, al atravesar la fase de ritmo sostenido, es útil preparar juntas de revisión trimestrales, durante las cuales se examinen las pistas estadísticas, las gráficas de aviso y los nuevos informes. En estas juntas, la decisión de revisar o actualizar determinado modelo o pronóstico se podrá sopesar contra diversos costos, así como la magnitud del error del pronóstico. En un área sumamente volátil, será mejor celebrar dichas juntas de revisión cada mes o período.

Pronósticos en el futuro

Consideramos que al concluir un artículo sobre pronósticos, debemos dejar asentado nuestro criterio res-

pecto a las técnicas que se utilizarán en el futuro, a corto y a largo plazo.

Como ya hemos dicho, no es demasiado difícil pronosticar el futuro inmediato, puesto que las tendencias a largo plazo no cambian de un día para otro. Muchas de las técnicas que describimos siguen en la etapa primaria de su aplicación, por lo que esperamos que gran parte de las técnicas que se utilizarán dentro de los próximos cinco años serán las mismas que comentamos aquí, aunque es posible que sus formas se amplíen.

El costo de utilización de estas técnicas disminuirá significativamente, y eso aumentará la frecuencia con que se usen. Esperamos que las empresas de compartimiento de tiempo de computadoras ofrecerán acceso, a costos nominales, a bancos de entrada y salida de datos, que se descompondrán en mayor número de segmentos de negocios de los que se dispone en la actualidad. El hecho de que la tendencia del costo por procesamiento en computadora sigue disminuyendo, y que se sigan produciendo simplificaciones de computación, hará que las técnicas tales como el método Box-Jenkins resulten económicamente factibles, aun para algunas aplicaciones para control de inventarios. También se podrá disponer, a costo nominal, de "paquetes" de técnicas, programas y métodos para computadoras, correspondientes a las técnicas estadísticas y a algunos modelos generales.

En la actualidad, para la mayor parte de los pronósticos a corto plazo no se usan más que métodos estadísticos y se use poca información cualitativa. Donde se utiliza información cualitativa no se hace más que en forma externa, y no se incorpora directamente a la rutina de computación. Pronosticamos que ocurrirá un cambio de los sistemas totales de pronóstico, conforme al cual varias técnicas se ligarán entre sí y a la vez se hará un manejo sistemático de la información cualitativa.

Se hará uso más extenso de los modelos econométricos durante los próximos cinco años, y la mayoría de las grandes empresas desarrollarán y refinarán modelos econométricos de sus actividades más importantes. También se desarrollarán modelos de simulación de mercadotecnia para nuevos productos, que corresponderán a los productos de mayor volumen, y tendrán sistema de pistas para actualizar los modelos y sus parámetros. La programación heurística servirá de medio para refinar los modelos de pronóstico.

Algunas compañías ya han desarrollado sus propios modelos de insumo-producción, en paralelo con los datos de insumo-producción y las proyecciones estadísticas del gobierno; pero todavía faltan cinco a diez años para que la mayoría de las grandes empresas puedan usar efectivamente los modelos de insumo-producción.

Sin embargo, dentro de cinco años sí veremos cómo se hace uso extenso de sistemas de hombre-máquina conforme a los cuales se programan en computadoras modelos estadísticos, causales y econométricos con frecuentes interacciones por parte del hombre. A medida que ganemos confianza en dichos sistemas, de modo que ocurran menos informes por excepción, la intervención humana disminuirá. Básicamente, serán los modelos computerizados los que efectuarán las computaciones sofisticadas, y el hombre servirá cada vez más de generador de ideas y desarrollador de sistemas. Por ejemplo, el hombre estudiará las dinámicas del mercado y establecerá relaciones más complejas entre el factor que se está pronosticando y los que contiene el sistema del pronóstico.

Más adelante, los modelos de simulación de consumo se convertirán en asunto cotidiano. Estos modelos pronosticarán el comportamiento del consumidor y sus reacciones a diversas estrategias mercadotécnicas tales como la fijación de precios, las promociones, las introducciones de nuevos productos, y los actos de la competencia; y se hará uso frecuente de modelos probabilísticos en el proceso del pronóstico.

Finalmente, la mayor parte de los pronósticos computados tendrán relación con las técnicas analíticas que este artículo describe. Las aplicaciones de computadoras ocurrirán principalmente en negocios de productos estables y establecidos. Aunque hasta ahora las técnicas de pronóstico sólo se han aplicado especialmente al pronóstico de ventas, en el futuro se aplicarán cada vez más al pronóstico de utilidades, de gastos de capital, y otros factores igualmente importantes. Esto dará al pronosticador la libertad de pasar la mayor parte de su tiempo pronosticando las ventas y las utilidades que se derivarán de nuevos productos. Sin duda que se desarrollarán nuevas técnicas analíticas para pronósticos relativos a nuevos productos, pero habrá una dificultad sostenida que durará no menos de diez o veinte años y probablemente mucho más, para pronosticar con precisión los factores diversos de nuevos productos tales como sus ventas, su lucratividad y su ciclo de vida.

Palabras finales

La dirección general puede ayudar al pronosticador o planificador a formular debidamente el problema que va a pronosticar, a tener más confianza en los pronósticos que se le proporcionen y usarlos más efectivamente, si tiene buena comprensión de los rasgos y las limitaciones básicas de las técnicas. El pronosticador, por su parte, tendrá que mezclar las técnicas que usa con los conocimientos y experiencia que poseen los administradores.

Creemos que la necesidad actual no es de mejores métodos de pronóstico, sino de mejor aplicación de las técnicas que poseemos.

4.2 PROCESOS CON TENDENCIA LINEAL

DEFINICION. Un proceso con tendencia lineal para la serie en el tiempo $\{x_t: t \in A\}$, es un modelo de la forma

$$x_t = a + bt + \varepsilon_t$$

donde a y b son parámetros desconocidos constantes en cualquier intervalo de tiempo, y ε_t es una variable aleatoria con $E(\varepsilon_t)=0$ y $V(\varepsilon_t)=\sigma_\varepsilon^2$.

TEOREMA (TECNICA DE PROMEDIOS MOVILES DOBLES). Para el proceso con tendencia lineal (4.5), se tiene

1. Si $\hat{a}$ y $\hat{b}$ son estimadores de a y b, y $\hat{a}' = \hat{a} + \hat{b}\bar{t}$, donde $\bar{t} = \frac{1}{N}\sum_{t=T-N-1}^{T} t$ entonces

$$\hat{a}'(T) \equiv \hat{a}' = \frac{1}{N}\sum_{t=T-N-1}^{T} x_t = M_T \tag{4.6}$$

$$\hat{b}(T) \equiv \hat{b} = \frac{12}{N(N^2-1)}\left[\frac{N-1}{2}x_T + \frac{N-3}{2} + \dots + \dots - \frac{N-3}{2}x_{T-N+2} - \frac{N-1}{2}x_{T-N+1}\right] W_T \tag{4.7}$$

2. Fórmulas recursivas para los estimadores a'(T) y b(T) son:

$$\hat{a}'(T) = M_T = M_{T-1} + \frac{1}{N}(x_T - x_{T-N}) \tag{4.8}$$

$$\hat{b}(T) = W_T = W_{T-1} + \frac{12}{N(N^2-1)}\left[\frac{N-1}{2}x_T + \frac{N-1}{2}x_{T-N} - NM_{T-1}\right] \tag{4.9}$$

3. Si se desea encontrar $\hat{a}$ en lugar de a', entonces

$$\hat{a}(T) = M_T - W_T\left(T - \frac{N-1}{2}\right) \tag{4.10}$$

4. El pronóstico para un tiempo futuro $T+\tau$, puede calcularse por cualquiera de las siguientes fórmulas:

i) $$\hat{x}_{T+\tau} = \hat{a}(T) + \hat{b}(T)(T+\tau) = \hat{a}'(T) + \hat{b}(T)\left[\frac{N-1}{2} + \tau\right]$$

$$= M_T + W_T\left[\frac{N-1}{2} + \tau\right] \tag{4.11}$$

ii) $$\hat{x}_{T+\tau} = \hat{x}_T + \hat{b}(T)\tau$$

$$= 2M_t - M_T^{[2]} + \tau\left(\frac{2}{N-1}\right)(M_T - M_T^{[2]}) \tag{4.12}$$

donde

$$M_T = \frac{1}{N}\sum_{t=T-N+1}^{T} x_t \tag{4.13}$$

$$M_T^{[2]} = \frac{1}{N}\sum_{t=T-N+1}^{T} M_t \tag{4.14}$$

$$= M_{t-1} + \frac{1}{N}\left[M_t - M_{t-N}\right] \tag{4.14}$$

a la cantidad M_t^2 se le llama un promedio movil doble. A las cantidades M_T se le llama un promedio movil simple.

EJEMPLO. Las ventas semanales de un acondicionador de aire de 5000 BTU se encuentran en la segunda columna de la tabla de abajo.

Demanda semanal y pronósticos para un acondicionador de aire.

Semana	Demanda	M_t	$M_t^{[2]}$	$\hat{x}_t$
1	10	5		
2	12			
3	15			
4	14			
5	16	13.4		
6	19	15.2		
7	18	16.4		
8	21	17.6		
9	23	19.4	16.40	
10	20	20.2	17.76	23.90
11	22	20.8	18.85	23.86
12	24	22.0	20.00	23.00
13	23	22.4	20.96	24.56
14	21	22.0	21.48	22.78
15	25	23.0	22.04	24.44

El proceso que genera estos datos puede ser bien aproximado por un modelo de tendencia lineal, y un promedio móvil doble de cinco semanas se va a usar para pronosticar las ventas en la siguiente semana. Los promedios móviles simples M_t se calculan para cada semana desde t= 5,6, ...,15 y se muestran en la tercera columna. Los promedios móviles $M_t^{[2]}$ se calculan usando (4.14) o (4.15) para t= 9,10,...15. Los pronósticos hechos al final de la semana t, para la siguiente semana se calculan con la ecuación (4.12) para $\tau = 1$, y se muestran en la última columna para el período t+1. Por ejemplo

$$\hat{x}_{10} = 2M_9 - M_9^{[2]} + (1)\left(\frac{2}{9}\right)(M_9 - M_9^{[2]})$$

$$= 2(19.4) - (16.40) + \frac{1}{2}(19.4 - 16.40) = 23.90$$

5. TECNICAS DE ALISAMIENTO EXPONENCIAL.

En esta sección se presenta las técnicas de alisamiento exponencial, las cuales son las más ampliamente usadas debido a su exactitud y a su eficiencia computacional. El desarrollo de estas técnicas se dará usando el criterio de mínimos cuadrados con prioridades.

5.1 ALISAMIENTO EXPONENCIAL SIMPLE PARA UN PROCESO CONSTANTE.

TEOREMA. (TECNICA DE ALISAMIENTO EXPONENCIAL SIMPLE). Para un proceso constante

$$x_t = a + \xi_t \qquad t \in A = \{1,2,\ldots,T\} \qquad (5.1)$$

como el definido por (4.1), se tiene

1. El estimador $\hat{a} \equiv \hat{a}(T) \quad S_T$ del parametro a, puede calcularse por cualquiera de las siguientes 3 ecuaciones:

i) $$\hat{a} = \frac{(1-\beta)}{(1-\beta^{T-1})} \sum_{t=1}^{T} \beta^{T-t} x_t \equiv \hat{a}(T) \equiv S_T \qquad (5.2)$$

donde β es una constante dada entre 0 y 1.

ii) Si $\alpha = 1-\beta$, entonces $\hat{a} \equiv S_T$, esta dada por

$$S_T = \alpha x_T + (1-\alpha) S_{T-1}$$

La operación definida por (5.3) es llamada alisamiento exponencial simple, al valor S_T se le llama el valor alisado o el estimador alisado, y a la constante α se le llama la constante de alisamiento.

iii) Otra expresión para encontrar $\hat{a} \equiv S_T$, es

$$S_T = \alpha \sum_{K=0}^{T-1} \beta^K x_{T-K} + \beta^T S_0$$

donde $\alpha = 1-\beta$

2. El pronóstico para un tiempo futuro $T+\tau$, en base a un conjunto indicado histórico $A = \{t : t = 1,2,\ldots,T\}$, es

$$\hat{x}_{T+\tau} = S_T \qquad (5.5)$$

DEMOSTRACION. El criterio de mínimos cuadrados con prioridades para encontrar el estimador $\hat{a}$, consiste en elegir aquel valor $\hat{a}$ que numinize la suma con prioridades de los cuadrados de los residuos:

$$SS_E = \sum_{t=1}^{T} \beta^{T-t} e_t^2 = \sum_{t=1}^{T} \beta^{T-t} (x_t - x_t)^2$$

$$SS_E = \sum_{t=1}^{T} \beta^{T-t} (x_t - \hat{a})^2$$

donde β^{T-t} es la prioridad (o peso) dado al residuo e_t. Derivando SS_E con respecto a al valor $\hat{a}$, e igualando a cero se obtiene el resultado (5.2). Los detalles aparecen en la refernoia 9. El resultado (5.3) se obtiene realizando operaciones algebraícas en la ecuación (5.2). Existe un procedimiento heurístico para obtener el resultado (5.3), que es frecuentemente usado, ver página 425 de la referencia 9.

NOTAS.

1. Otro nombre para la técnica de alisamiento exponencial simple, es alisamiento exponencial de primer orden.
2. La ecuación que en la práctica se utiliza para estimar $\hat{a} \equiv S_T$, es la ecuación (5.3). Para aplicar esta ecuación se requiere conocer el valor de la constante α. El valor que se elige de α generalmente es entre 0.1 y 0.30. El criterio para seleccionar este valor se presentará más adelante.
3. La técnica de alisamiento exponencial requiere del conocimiento de un valor inicial S_0, para emplear la fórmula (5.3), en forma iterativa (para ver porque depende de S_0 vea la ecuación 5.4). Si se tienen datos históricos disponibles, S_0 se puede tomar como el promedio de los más recientes datos. Si no existen datos históricos confiables entonces deberá de hacerse un pronóstico subjetivo de S_0.

EJEMPLO. Un contratista desea pronosticar el número de instalaciones de calentadores de agua por semana. El tiene los siguientes datos disponibles:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de instalaciones	15	18	10	12	20	17	22	16	14	20

Examinando graficamente los datos él decide suponer un modelo constante, y usar alisamiento exponencial simple. Suponiendo arbitrariamente un $\alpha = 0.1$, entonces

$$S_{11} = (0.1)x_{11} + (0.9)S_{10}$$

Sin embargo no hay un valor inicial S_{10} (notese que S_{10} representaría S_0 si reedifinimos el origen del conjunto indicador histórico como $t = 10$). Para estimar el valor inicial S_{10}, se tomará el promedio de las demandas de las diez primeras semanas, que es igual a 16.6. Por lo tanto, es razonable considerar

$$S_{10} = 16.6 \approx 17$$

Entonces el promedio para cualquier tiempo futuro $10 + \tau$, sera

$$\hat{x}_{10+\tau} = S_{10} = 17$$

Suponga que el número real de instalaciones en la semana 11 fue igual a 15. Entonces

$$S_{11} = \alpha x_{11} + (1 - \alpha) S_{10}$$

$$S_{11} = (0.1)(15) + 0.9 \quad (16.60) = 16.44 \approx 16$$

y el pronóstico para un tiempo futuro $11 + \tau$ basándose en un conjunto indicador histórico $A = \{ t : t = 1, 2, \ldots, 11 \}$, es

$$\hat{x}_{11+\tau} = S_{11} = 16.44 \approx 16$$

En la siguiente tabla aparecen los pronósticos para períodos de tamaño $\tau = 1$, contra los valores reales de las instalaciones de calentadores.

Demanda y Pronóstico de Instalaciones de Calentadores de Agua

Semana (t)	x_t	S_t	x_2
1			
22			
.			
25			

5.2 ALISAMIENTO EXPONENCIAL DOBLE PARA PROCESOS CON TENDENCIA LINEAL

TEOREMA (TECNICA DE ALISAMIENTO EXPONENCIAL DOBLE). Para un proceso con tendencia lineal.

$$x_t = a + bt + \epsilon_t \qquad t \in \Delta = \{1, 2.., T\}$$

como el definido por (4.5) se tiene:

1. Los estimadores $\hat{a}$ y $\hat{b}$ de a y b respectivamente son:

$$\hat{b} = \frac{\alpha}{\beta}\left(S_T - S_T^{[2]}\right) \equiv \hat{b}(T) \qquad (5.6)$$

$$\hat{a} = 2\, S_T - S_T^{[2]} - T\, \frac{\alpha}{\beta}\left[S_T - S_T^{[2]}\right] \equiv \hat{a}(T) \qquad (5.7)$$

donde

$$S_T = \alpha\, x_T + (1 - \alpha) S_{T-1} \qquad (5.8)$$

y

$$S_T^{[2]} = \alpha\, S_T + (1 - \alpha)\, S_{T-1}^{[2]} \qquad (5.9)$$

A $S_T^{[2]}$ se le llama el estimador doblemente alisado exponencialmente. La notación $S_T^{[2]}$ no significa que S_T se le eleva al cuadrado, sino es un símbolo para indicar el resultado de la ecuación (5.9).

2. El pronóstico para un tiempo futuro $T + \tau$, usando alisamiento exponencial doble es:

$$x_{T+\tau} = \hat{x}_T + \tau\, \hat{b}(T) \qquad (5.10)$$

$$x_{T+\tau} = (2 + \gamma)\, S_T - (1 + \gamma)\, S_T^{[2]} \qquad (5.11)$$

donde $\gamma = \tau\, (\alpha / \beta)$ (5.12)

3. Los valores iniciales S_0 y $S_0^{[2]}$, para iniciar el alisamiento exponencial doble se calcular por:

$$S_0 = \hat{a}(0) - \frac{\beta}{\alpha}\, \hat{b}(0) \qquad (5.13)$$

$$S_0^{[2]} = \hat{a}(0) - 2\, \frac{\beta}{\alpha}\, \hat{b}(0) \qquad (5.14)$$

donde $\hat{a}(0)$ y $\hat{b}(0)$ son estimados de datos históricos usando regresión lineal. Si no se dispone de datos históricos entonces se dan estimaciones subjetivas de $\hat{a}(0)$ y $\hat{b}(0)$.

EJEMPLO. Un analista de investigación de operaciones de un centro de cómputo de tiempo compartido, desea pronosticar los ingresos para su compañía. La compañía ha estado en operación dos años, sin embargo, él considera que los ingresos de estos dos años no indican las operaciones comerciales actuales, ya que la compañía no ha llegado a estar bien establecida. El piensa que los ingresos se incrementarán linealmente con el tiempo, y además sus mejores estimadores subjetivos para los parámetros de esta relación lineal son (en miles de dólares) $\hat{a}(0) = 95$ y $\hat{b}(0) = 1.0$. El analista decide usar alisamiento exponencial doble con $\alpha = .1$. Usando estos estimadores, los valores iniciales requeridos para el alisamiento exponencial son:

$$S_0 = 95 - \frac{(0.9)}{(0.1)}(1) = 86$$

y

$$S_0^{[2]} = 95 - 2\,\frac{(0.9)}{(0.1)}(1) = 77$$

Por lo tanto, el pronóstico (en miles de dólares) para el mes 1 es

$$\hat{x}_1 = \left[2 + (1)\frac{(0.1)}{(0.9)}\right] S_0 - \left[1 + (1)\frac{(0.1)}{(0.9)}\right] S_0^{[2]}$$

$$= (2.111)(86) - (1.111)\,77 = 95.999 \quad 96$$

Suponga que el ingreso real en el mes 1 fue 98, entonces los estimadores alisados serían

$$S_1 = \alpha x_1 + (1-\alpha)\,S_0 = (0.1)(98)+(0.9)(86)=87.20$$

$$S_1^{[2]} = \alpha S_1 + (1-\alpha)S_0^{\,2} = (0.1)(87.20)+(0.9)(77)=78.02$$

y el pronóstico para el año 2 sería

$$\hat{x}_2 = (2.111)S_1-(1.111)S_1^{[2]} = (2.111)(87.20)-(1.111)(78.02)$$
$$= 96.399 \approx 96$$

los ingresos mensuales para el siguiente año y sus pronósticos se presentan en la siguiente tabla.

Pronósticos de ingresos mensuales usando alisamiento exponencial doble

Mes (t)	x_t	S_t	S_t^2	$\hat{x}_t$
0		86.00	77.00	
1	98	87.20	78.02	96
2	94	87.88	79.01	96
3	99	88.99	80.00	98
4	104	90.49	81.05	99
5	108	92.24	82.17	101
6	100	93.02	83.26	103
7	106	94.32	84.36	104
8	104	95.29	85.45	105
9	118	97.56	86.66	106
10	109	98.70	87.87	110
11	102	99.03	88.98	111
12	116	100.73	90.16	110

5.3 MÉTODO DE WINTER PARA VARIACIONES ESTACIONALES

TEOREMA. Considere un modelo estacional cuya estación (o ciclo) esta formado por L períodos, y que sigue la relación

$$x_t = (a + bt)c_t + \xi_t \qquad (5.15)$$

donde

a es la señal base llamada la componente permanente
b es la componente de la tendencia lineal
c_t es la componente estacional (o factor estacional) para el período t, y satisface

$$\sum_{t=1}^{L} c_t = L \qquad (5.16)$$

1. El procedimiento para revisar periodicamente los estimadores de los parámetros del modelo y hacer el pronóstico, se presenta a continuación. Al final de cualquier período T, después de observar x_T, realize lo siguiente:

   i) Revise (o estime) el estimador de la componente permanente:

$$\hat{a}(T) = \alpha\left[\frac{x_t}{\hat{c}_t(T-L)}\right] + (1-\alpha)\,\hat{a}(T-1) + \hat{b}(T-1) \qquad (5.17)$$

   donde $0 < \alpha < 1$, es una constante de alisamiento.

ii) Revise el estimador de la componente tendencia:

$$\hat{b}(T)=\beta\left[\hat{a}(T)-\hat{a}(T-1)\right] + (1-\beta)\hat{b}(T-1) \qquad (5.18)$$

donde 0 . 1, es una segunda constante de alisamiento.

iii) Revise el estimador del factor estacional para el período T:

$$\hat{c}_T(T) = \gamma \frac{x_T}{\hat{a}(T)} + (1-\gamma)\hat{c}_T(T-L) \qquad (5.19)$$

donde 0 1, es una tercera constante de alisamiento.

iv) El pronóstico para cualquier período futuro T+-,-es:

$$x_{T+\tau} = \left[\hat{a}(T) + b(T)\right] \hat{c}_{T+\tau}(T+\tau-L) \qquad (5.20)$$

2. Los valores iniciales $\hat{a}(0)$, $\hat{b}(0)$ y $\hat{c}_t(0)$ para $t=1,2,\ldots,L$, necesarios para inicial esta técnica, se estiman de la siguiente manera:

i) Si se disponen de datos de dos estaciones pasadas, entonces

$$\hat{b}(0) = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{L} \qquad (5.21)$$

donde $\bar{x}_1$ es la demanda promedio de la primera estación y $\bar{x}_2$ es la demanda promedio durante la más reciente estación.

ii) Los factores estacionales inciales pueden primeramente calcularse por

$$\hat{c}_t(0) = \frac{x_{t+L} - x_t}{L\hat{b}(0)}, \qquad t=1,2,\ldots,L \qquad (5.22)$$

Sin embargo, este procedimiento generalmente da resultados pobres debido a la aleatoridad del patrón de la demanda. Por esto, se sugiere que se estimen tentativamente por (5.22), que después se usen para estimar la componente permanente "a" (ver ecuación (5.23)), y después se vuelvan estimar en terminos de $\hat{a}(0)$ y $\hat{b}(0)$, ver (5.24).

iii) Para estimar $\hat{a}(0)$, use

$$\hat{a}_t(0) = \frac{\sum_{t=1}^{2L} x_t + 3L^2\hat{b}(0) - 2\hat{b}(0)\sum_{t=1}^{L} t\hat{c}_t(0)}{2L} \qquad (5.23)$$

para $t=1,2,\ldots,3L$.

iv) Para reevaluar los factores estacionales iniciales, basandose en los valores de a(0) y b(0), use:

$$\hat{c}_t(0) = \frac{1}{2}\left[\frac{x_t}{\hat{a}(0) - (2L-t)\hat{b}(0)} + \frac{x_{t+L}}{\hat{a}(0) - (L-t)\hat{b}(0)}\right] \qquad (5.24)$$

para $t=1,2,\ldots,L$.

EJEMPLO. La demanda para sistemas de aire acondicionado con características de 5000 BTU y 110 V, es estacional, con una mayor demanda en los meses de primavera y verano. Datos históricos para 1970 se encuentran disponibles y aparecen en la tabla I. Suponemos que la componente de la tendencia lineal es cero, por lo que los factores estacionales se calculan dividiendo la demandz mensual entre la demanda mensual promedio durante el año. Estos factores estacionales aparecen en la ultima columna de la tabla I.

TABLA I. Datos históricos (1970)

Mes	Demanda	Factores estacionales estimados
Enero	4	0.48
Febrero	2	0.24
Marzo	5	0.60
Abril	8	0.96
Mayo	11	1.32
Junio	13	1.56
Julio	18	2.16
Agosto	15	1.80
Septiembre	9	1.08
Octubre	6	0.72
Noviembre	5	0.60
Diciembre	4	0.48
Total	100	12.00

Los parametros iniciales son:

$\hat{b}(0)=0$ por suposición de que no existe esta componente

$$\hat{a}(0)=\frac{100}{12}=8.3$$

las constantes de alisamiento que se eligen son $\alpha=0.2$, $\beta=0.1$, y $\gamma=0.5$. Los valores para $\hat{a}(t)$, $\hat{b}(t)$, y $\hat{c}(t)$ son calculados con las ecuaciones (5.17), (5.18) y (5.19) respectivamente. El pronóstico con la ecuación (5.20). Los resultados aparecen en la tabla II. Por ejemplo, enero

$$\hat{x}_{En} = \left[\hat{a}(0)+b(0)\right]\ \hat{c}_{En}(En\ 1970) = (8.3+0)(0.48)=3.98\approx 4$$

Ya que la demanda real en enero de 1971, fue de 5, se tiene de la ecuación (5.18) que

$$\hat{b}(En) = \beta\ (En) - \hat{a}(0) + (1-\beta)\hat{b}(0)$$
$$= 0.1(8.72-8.3) + 0.9(0) = 0.043$$

y de la ecuación (6.20)

$$\hat{c}_{En}(En\ 1971) = \gamma\left[\frac{x_{En}}{a(En)}\right] + (1-\gamma)c_{En}(En.\ 1970)$$

$$= 0.5\left[\frac{5}{8.72}\right] + 0.5(0.48) = 0.53$$

El pronóstico para Febrero seria

$$\hat{x}_{Fe} = \left[\hat{a}(En) + \hat{b}(En)\right] \hat{c}_{Fe}(Fe.\ 1970)$$
$$= (8.72 + 0.043)(0.24) = 2.1$$

Los elementos restantes de la tabla II, se cal culan de manera similar.

TABLA II. Resultados Calculados para el año actual de 1971.

Mes	Demanda real	a(t)	b(t)	$c_t(t)$	Pronostico realizado un periodo anterior
Enero	5	8.72	0.043	0.53	4.0
Febrero	4	10.34	0.200	0.31	2.1
Marzo	7	10.77	0.223	0.63	6.3
Abril	7	10.25	0.149	0.82	10.6
Mayo	15	10.59	0.158	1.37	13.7
Junio	17	10.78	0.161	1.56	16.8
julio	24	10.97	0.164	2.17	23.6
Agosto	18	10.91	0.142	1.73	20.0
Septiem.	12	11.06	0.143	1.08	11.9
Octubre	7	10.91	0.114	0.68	8.1
nov.	8	11.49	0.161	0.65	6.6
Diciembre	6	11.82	0.178	0.49	5.6
Total	130				129.3

7. METODOS DE BAYES EN PRONOSTICOS

Los métodos de Bayes que se presentan en esta sección son útiles cuando no se tiene información histórica disponible en el momento que se va a iniciar el pronóstico. Esta situación se presenta con mucha frecuencia en la práctica, por lo que al hacer un pronóstico inicial, este se realiza en bases subjetivas exclusivamente. Sin embargo, a medida que se va obteniendo información histórica de la serie en el tiempo, se deberán modificar nuestros estimadores subjetivos.
El método de Bayes, proporciona un criterio para ir modificando nuestros estimadores subjetivos en términos de la información que se va obteniendo. La técnica de Bayes en pronósticos consiste en aplicar el criterio de la teoría de decisiones de Bayes, la cual a su vez, está basada en el teorema de Bayes. Se presentará primero el teorema de Bayes, y después su aplicación a pronósticos para el caso de una serie en el tiempo que siga un modelo constante y cuando sea modelo con tendencia lineal.

CRITERIO DE BAYES EN ESTADISTICA.

Cuando se tiene una variable aleatoria x, que tiene una función de densidad f, la cual esta caracterizada por un parámetro θ , entonces se usa la notación $f(x;\theta)$ o $f(x|\theta)$, para hacer incapie en que la función de densidad f, depende del parámetro θ. Por ejemplo, cuando f es una densidad de probabilidad binomial, entonces la notación $f(x;\theta)$ significa que

$$f(x;\theta) = \binom{n}{x} \theta^{x} (1-\theta)^{n-x} \qquad x = 0,1,2,\ldots,n$$

Si f es una distribución normal, entonces la notación $f(x;\theta_1,\theta_2)$ significa

$$f(x;\theta_1,\theta_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta_2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\theta_1}{\theta_2}\right)^2}$$

En este ejemplo el parámetro θ_1 representa la media y θ_2 la varianza. Si una variable aleatoria x tiene una función de densidad normal con θ_1 y varianza θ_2, se dice que x es $N(\theta_1,\theta_2)$ o también se escribe

$$x \sim N(\theta_1,\theta_2).$$

NOTA. A una función de densidad de probabilidad también se le llama una función de densidad.

Criterio de Bayes. Sea x una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad $f(x;\theta)$, donde el parámetro θ es desconocido. El criterio de Bayes en teoría de decisiones consiste en considerar al parámetro desconocido θ como una variable aleatoria. Esta consideración es la diferencia importante entre el criterio de Bayes y el criterio clásico en teoría de decisiones, ya que el criterio clásico considera que el parámetro θ desconocido, es una constante y no una variable aleatoria.

TEOREMA (TEOREMA DE BAYES)

Sea x una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad $f(x;\theta)$ donde el parámetro desconocido θ es considerado como una variable aleatoria. Sea $f(\theta)$ la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria θ. A $f(\theta)$ se le llama la función de densidad de probabilidad apriori de la variable aleatoria θ. Sean $x_1, x_2, \ldots, x_n$ observaciones de x, y sea $f(x_1, x_2, \ldots, x_n \mid \theta)$ la función de densidad de probabilidad condicional de $x_1, x_2, \ldots, x_n$, dado θ. La función de densidad de θ dadas las observaciones $x_1, x_2, \ldots x_n$, esta dada por

$$f(\theta \mid x_1, x_2, \ldots, x_n) = \frac{f(x_1, x_2, \ldots, x_n \mid \theta)\, f(\theta)}{\int_\theta f(x_1, x_2, \ldots, x_n \mid \theta)\, f(\theta)\, d\theta} \qquad (7.1)$$

A $f(\theta \mid x_1, x_2, \ldots, x_n)$ se le llama la función de densidad aposteriori de θ. A la fórmula (7.1) se le llama fórmula de Bayes o teorema de Bayes.

Demostración. La fórmula (7.1) aparece en la mayoría de los libros sobre probabilidad. Ver por ejemplo:

Mood, A.M., Graybill, F.A., and Boes, D.C., INTRODUCTION TO THE THEORY OF STATISTICS. Third edition. Mc Graw-Hill, 1974

NOTAS

1. La utilidad de la fórmula (7.1) consiste generalmente, en realizar los siguientes pasos

i) Subjetivamente se establecen los posibles valores que puede tomar el parámetro θ, junto con la probabilidad de que tome los valores supuestos de θ. La función de probabilidad de estos valores también se da subjetivamente, en base a la experiencia, o de situaciones similares encontradas en otros problemas ya resueltos.

ii) se observan los valores históricos (o experimentales), $x_1, \ldots, x_n$.

iii) se calcula la condicional $f(x_1, \ldots, x_n \mid \theta)$, para cada uno de los valores de θ supuestos.

iv) se asignan nuevas probabilidades a los valores de θ, usando ecuación (7.1), en base de la información proporcionada por las observaciones históricas $x_1, \ldots, x_n$.

v) con las nuevas probabilidades $f(\theta \mid x_1, \ldots, x_n)$ para los posibles valores de θ, es posible hacer estimaciones o tomar decisiones sobre θ, como se verá en el teorema que aparece después.

2. En muchas ocasiones, en lugar de considerar directamente las observaciones $x_1, \ldots, x_n$, se calcula una función $y = u(x_1, \ldots, x_n)$ de las observaciones $x_1, \ldots, x_n$, para concentrar toda la información que proporcionan $x_1, \ldots, x_n$ en un solo valor $y = u(x_1, \ldots, x_n)$, y en base a esta información concentrada estimar las nuevas probabilidades de θ, ie se calcula

$$f(\theta \mid y) = \frac{f(y \mid \theta)\, f(\theta)}{\int_\theta f(y \mid \theta)\, f(\theta)\, d\theta} \qquad (7.2)$$

Para obtener esta probabilidad aposteriori, primero es necesario encontrar la condicional de $f(y \mid \theta)$ la cual depende de la función $f(x_1, \ldots, x_n \mid \theta)$, la cual a su vez depende de $f(x)$. En general

s fácil encontrar la función $f(y \mid \theta)$ en términos de $f(x)$, aunque depende del tipo de función $y = u(x_1,\ldots,x_n)$ que se haya elegido. Por ejemplo, si

$$y = u(x_1,\ldots,x_n) = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

se sabe en estadística que $y = \bar{x}$ tiene una distribución igual a la distribución x, con la misma media, pero con varianza igual a la varianza de x sobre n. En el caso de que x sea $N(\mu, \sigma^2)$, entonces $y = \bar{x}$ es

$$\sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n}).$$

TEOREMA (CRITERIO DE BAYES EN TEORIA DE DECISIONES). Sea $f(x;\theta)$ una función de densidad de probabilidad, donde θ es un parámetro desconocido considerado como una variable aleatoria. Sean $x_1, x_2, \ldots, x_n$ observaciones de x, y si $y = u(x_1,\ldots,x_n)$ una función de $x_1, x_2, \ldots, x_3$. El estimador Bayesiano de θ, indicado por θ^*, usando el criterio del menor error cuadrado medio, esta dado por

$$\theta^* = \int_\theta \theta f(\theta \mid y)\, d\theta \qquad (7.3)$$

DEMOSTRACION. El método de Bayes asociado al criterio del menor error cuadrado medio, consiste en elegir un estimador θ^*, que minimize el valor esperado condicional de $(\theta - \theta^*)^2$, dadas las observaciones $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Para las personas interesadas en profundizar y justificar sobre esta demostración ver la referencia de Mood, Graybill and Boes, mencionada anteriormente. No es necesario que se conozcan estos detalles para entender la técnica de Bayes en pronósticos que se presentará después.

NOTA. En probabilidad se sabe que $\int \theta f(\theta \mid y) dy$ es por definición la media condicional de θ dado y. Por lo tanto, observando la ecuación (7.3), se dice que el estimar Bayesiano θ^* de θ, basado en el criterio del menor error cuadrado medio, es la media condicional de θ dado y, o también se dice que θ^* es la media aposteriori de θ, o la media de la distribución aposteriori $f(\theta \mid y)$.

TEOREMA (METODO DE COHEN). Sea $\{x_t : t \in A\}$, $A = \{1,2,\ldots,n\}$, una serie en el tiempo, y considere que puede ser representada por el modelo constante

$$x_t = a + \xi_t \qquad (7.4)$$

donde a es un parámetro desconocido que representa la media del proceso, y ξ_t es el error aleatorio con distribución $N(o, \sigma_\xi^2)$, donde σ_ξ^2 es conocido. Suponga que el parámetro desconocido a, es una variable aleatoria, cuya distribución apriori es $N(a_o, \sigma_o^2)$, ie nuestra consideración subjetiva es que a es una variable aleatoria $N(a_o, \sigma_o^2)$. Sea $y = \bar{x}$, la función que concentra toda la información histórica $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

1) El estimador Bayesiano a^* de a, esta dada por cualquiera de las siguientes ecuaciones

$$a^* = \frac{\bar{x}\,\sigma_o^2 + a(\sigma^2/n)}{\sigma_o^2 + (\sigma^2/n)} = a^*(n) \qquad (7.5)$$

$$a^* = \frac{n}{u+n}\bar{x} + \frac{u}{u+n} a_0 \equiv a^*(n) \qquad (7.6)$$

donde $u = \sigma_\epsilon^2/\sigma_0^2$

$$a^* = \alpha x_n + (1-\alpha)\, a^*(n-1) \qquad (7.7)$$

donde $\alpha = 1/(u+n)$

ii) El pronóstico para un tiempo futuro $n+\tau$, es

$$\hat{x}_{n+\tau} = a^*(n) \qquad (7.8)$$

DEMOSTRACION.- Para $y = u(x_1,\ldots,x_n) = \bar{x}$ encuentre $f(\bar{x}|\theta)$ donde $\theta = a$, después encuentre $f(\theta|\bar{x})$ usando fórmula de Bayes (ecuación (7.2)), y por último use (7.3).

NOTA. La técnica de Bayes deberá dejarse de usar cuando en algún tiempo ya se disponga de datos suficientes, y en ese tiempo debería adoptarse otra técnica de pronóstico, quizá alisamiento exponencial u otra.

EJEMPLO. Suponga que deseamos pronosticar la demanda para un producto nuevo. Sospechamos que la demanda esta normalmente distribuida y que un modelo constante es apropiado, pero no se dispone de información histórica. Se supone que una razonable densidad apriori para a es $N(50.4)$, y que $\sigma_\epsilon^2 = 9$. Para el período 1, el pronóstico es

$$\hat{x}_1 = 50$$

Suponga que la demanda real en el período 1 es $x_1 = 56$. Ahora el estimador de Bayes de a es

$$a^*(1) = \frac{1}{(9/4)+1}(56) + \frac{(9/4)}{(9/4)+1}(50) \approx 52$$

Por tanto, el pronóstico para el período 2 es

$$\hat{x}_2 = 52$$

Suponga que la demanda real en el período 2 es 58, entonces

$$a^*(2) = \frac{1}{(9/4)+2}(58) + \frac{(13/4)}{(9/4)+2}(52) \approx 53 \quad \text{y} \quad \hat{x}_3 = 53$$

Este procedimiento se continua hasta que haya suficientes datos acumulados disponibles, para que en ese momento se desarrolle un sistema de pronóstico permanente.

TEOREMA. Considere un modelo lineal de la forma

$$x_t = a + bt + \xi_t \qquad (7.9)$$

el cual puede ser reescrito como

$$x_t = a' + b(t-\bar{t}) + \xi_t$$

donde $a' = a + b\bar{t}$, y $\bar{t} = \sum_{i=1}^{n} ti/n = n(n+1)/2$

Suponga que las densidades apriori de b y a' son normales, ie., $b \sim N(b_0, \sigma_b^2)$ y $a' \sim N(a'_0, \sigma^2_{a'})$, y además suponga que $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$. Suponemos que σ_ϵ^2 es conocida.

Sean $\hat{a}' = \sum_{t=1}^{n} x_t/n$ y $\hat{b} = \sum_{t=1}^{n} x_t\,(t-\bar{t})/SS_{tt}$

estimadores de a' y b, donde $SS_{tt} = \sum_{t=1}^{n} (t-\bar{t})^2$. Estos estimadores $\hat{a}'$ y $\hat{b}$ concentran la información de $x_1, \ldots, x_n$. Los estimadores de Bayes son

$$b^* = \frac{w}{w + \sigma_\epsilon^2}\,\hat{b} + \frac{\sigma_\epsilon^2}{w + \sigma_\epsilon^2}\,b_0 \qquad (7.10)$$

donde $w = SS_{tt}\sigma_b^2$

$$(a')^* = \frac{z}{z + \sigma_\epsilon^2}\,\hat{a}' + \frac{\sigma_\epsilon^2}{z + \sigma_\epsilon^2}\,a'_0 \qquad (7.11)$$

donde $z = t\sigma_{a'}^2$

NOTA

1. Los estimadores $\hat{a}'$ y $\hat{b}$ que concentran la información de $x_1, \ldots, x_n$, corresponden a los estimadores obtenidos por mínimos cuadrados.
2. Observando (7.10) y (7.11) se nota que los estimadores de Bayes — (a') y b* son promedios ponderados (o con prioridades) de los estimadores de mínimos cuadrados y de las medias dadas apriori.
3. Las fórmulas (7.10) y (7.11) se deberán usar para que sucesivamente se vayan combinando los estimadores subjetivos con datos observados hasta que se tenga suficiente experiencia para desarrollar un sistema de pronóstico permanente.

for $v = 1, 2$, and

$$\mathbf{C}(u, v) = \begin{bmatrix} \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \sin u\omega j \sin v\omega j & -\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \sin u\omega j \cos v\omega j \\ -\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \cos u\omega j \sin v\omega j & \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \cos u\omega j \cos v\omega j \end{bmatrix}$$

for $u = 1, 2$ and $v = u + 1$ where $\omega = 2\pi/12$. Closed form expressions for the elements of the submatrices $\mathbf{A}$ and $\mathbf{B}(v)$ may be found by using z-transforms as

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{1-\beta} & \dfrac{-\beta}{(1-\beta)^2} \\ \dfrac{-\beta}{(1-\beta)^2} & \dfrac{\beta(1+\beta)}{(1-\beta)^3} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}(v) = \begin{bmatrix} \dfrac{-\beta \sin v\omega}{1 - 2\beta \cos v\omega + \beta^2} & \dfrac{1 - \beta \cos v\omega}{1 - 2\beta \cos v\omega + \beta^2} \\ \dfrac{\beta(1-\beta^2) \sin v\omega}{[1 - 2\beta \cos v\omega + \beta^2]^2} & \dfrac{-2\beta^2 + \beta(1+\beta^2) \cos v\omega}{[1 - 2\beta \cos v\omega + \beta^2]^2} \end{bmatrix}$$

The trigonometric identities

$$\sin a \sin b = -\tfrac{1}{2}[\cos(a+b) - \cos(a-b)]$$
$$\cos a \cos b = \tfrac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$
$$\cos a \sin b = \tfrac{1}{2}[\sin(a+b) - \sin(a-b)]$$
$$\sin a \cos b = \tfrac{1}{2}[\sin(a+b) + \sin(a-b)]$$

allow the elements of $\mathbf{C}(u, v)$ to be expressed as

$$\mathbf{C}(u, v) = \begin{bmatrix} -\left(\dfrac{c_1}{d_1} - \dfrac{c_2}{d_2}\right) & -\left(\dfrac{c_3}{d_1} + \dfrac{c_4}{d_2}\right) \\ -\left(\dfrac{c_3}{d_1} - \dfrac{c_4}{d_2}\right) & \left(\dfrac{c_1}{d_1} + \dfrac{c_2}{d_2}\right) \end{bmatrix}$$

where

$$c_1 = 1 - \beta \cos(u + v)\omega$$
$$c_2 = 1 - \beta \cos(u - v)\omega$$
$$c_3 = \beta \sin(u + v)\omega$$
$$c_4 = \beta \sin(u - v)\omega$$
$$d_1 = 1 - 2\beta \cos(u + v)\omega + \beta^2$$
$$d_2 = 1 - 2\beta \cos(u - v)\omega + \beta^2$$

We see that the elements of G are completely determined by [illegible] using β. Note that

$$\mathbf{f}(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

For $\beta = 0.95$, say, and $\omega = 2\pi/12$, it is relatively easy to show that

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0.17030 \\ 0.00853 \\ 0.05453 \\ 0.15542 \\ 0.07055 \\ 0.14285 \end{bmatrix}$$

The smoothing vectors for several other models are given by Brown (2, pp. 178–195).□

6-4.6 Choice of Smoothing Constant

In any application of exponential smoothing, it is necessary to specify a value for the smoothing constant (or constants) in the model. This section will discuss some approaches to a rational basis for selecting the smoothing constant.

The smoothing constant controls the number of past realizations of the time series that influence the forecast. Small values of the smoothing constant include many past observations, and the forecasting system will respond slowly to changes in the parameters of the time series model. Larger values of the smoothing constant include less historical data and the forecasting system responds more rapidly. However, a large smoothing constant may cause the system to respond to random variations in the signal and be oversensitive. Brown (2) discusses the response characteristics of exponential smoothing to various standard signals, such as the impulse, ramp, and step functions.

As a general rule, the smoothing constant α for a constant model should be somewhere between 0.01 and 0.3. A widely used technique is to carry out a

sequence of trials on a set of actual historical data using several different values for the smoothing constant, and select that value of α that optimizes some measure of effectiveness such as minimum sum of squares error. Of course, this approach also may be used for more complicated models. Various modifications of this concept are often employed. For example, if three years of historical data are available, one might use the first two years to optimize the smoothing constant and then simulate a forecast for each month of the remaining year to see how the "optimum" smoothing constant will react to fresh data.

If the results of a set of trials indicate an optimum value of α for a constant model that is greater than 0.3, then the validity of the model should be questioned. The data may be significantly autocorrelated, in which case the methods of Section 6-10 should be considered. Plotting the data may reveal trends or cyclic patterns that will lead to a large smoothing constant, but that should be dealt with by employing a more appropriate model.

For polynomial and transcendental models, it is possible to define an *equivalent value of the smoothing constant* such that estimates of the constant term in the model are the same. That is, suppose α_1 is used in single smoothing. Then the equivalent value of the smoothing constant for a model with n terms would be

$$(1 - \alpha_n)^n = 1 - \alpha_1$$

Many practitioners prefer to have available several values of the smoothing constant, and use an appropriate value at different times. For example, a normal value for α when the process seems stable may be 0.1; however, in addition, the value 0.25 may be used when the coefficients in the underlying process seem to be changing more rapidly. A number of procedures have been developed for maintaining control of the smoothing constant and automatically shifting from one value to another. These *adaptive control procedures*, as they are often called, are discussed in Section 6-8.

If we can make certain assumptions about the basic characteristics of the time series, it is often possible to develop rigorously an optimum value of the smoothing constant. For example, it is possible to determine the optimum smoothing constant for simple smoothing where the time series has exponential autocorrelation.

Forecasting Over Lead Times

In most of the examples presented thus far, we have assumed that management is interested in producing a forecast for the next time period, or for a single arbitrary point t periods into the future. Many times we are interested in forecasting for each of several future periods. That is, we must forecast over some *lead time* or planning horizon. Typically, for production and inventory

planning problems, we are interested in forecasting demand up to 12 future time periods.

To illustrate how this may be done, suppose the current period is T and we are interested in forecasting demand over the next w periods, say $T + 1$, $T + 2, \ldots, T + w$. We may obtain this forecast by indexing time in our forecasting model to $T + 1, T + 2, \ldots, T + w$ and computing $\hat{x}_{T+1}, \hat{x}_{T+2}, \ldots, \hat{x}_{T+w}$. Then the forecast of cumulative demand for the lead time of w periods is

$$\hat{X}_w(T) = \sum_{t=T+1}^{T+w} \hat{x}_t$$

In this manner, it is quite simple to produce a forecast of demand for any w-period lead time.

We may also compute the variance of the forecasts at any future point in time as

$$V(\hat{x}_t) = f'(t)Vf(t)$$

where the variance-covariance matrix V is defined by Equation 6-20. If the independent variables include an unbounded polynomial term, then $V(\hat{x}_t)$ depends on the future point in time for which the forecast is being made. Brown (2) shows that, in general, the variance of the forecast with a linear model increases as a linear function of time, and with a quadratic model, it increases as a quadratic function of time. A model that does not contain any unbounded polynomial function has nearly the same variance of the forecast for any future point in time. This is quite important, as a manager usually does not think of a forecast merely as a point estimate, but often wants a range of values. Thus, it may be necessary to present a probability statement about the values that future observations may take on. The variance of the forecast will be required to do this.

The forecast error is

$$e_t = x_t - \hat{x}_t$$

and the variance of the forecast error is

$$V(e_t) = \sigma_\varepsilon^2 + f'(t)Vf(t)$$

if the random variables ε_t are serially independent. Thus, the variance of forecast error also increases as a function of time. Intuitively, this seems quite reasonable, as we should be less confident about our model the further into the future we attempt to forecast.

Now consider the variance of the cumulative forecast, say $V\{\hat{X}_w(T)\}$. Since

$$\hat{X}_w(T) = \sum_{t=T+1}^{T+w} \hat{x}_t$$

$$= \sum_{t=T+1}^{T+w} \hat{\mathbf{a}}'(T)f(t)$$

we see that

$$V\{\hat{X}_w(T)\} = \sum_{t=T+1}^{T+w} \mathbf{f}'(t)\mathbf{V}\mathbf{f}(t)$$

That is, the variance of the cumulative forecast for a w-period lead time is the sum of the variances of the forecasts for each of the w time periods. It is easily shown that the variance of the cumulative forecast error for the w-period lead time is

$$\sum_{t=T+1}^{T+w} [\sigma_\epsilon^2 + \mathbf{f}'(t)\mathbf{V}\mathbf{f}(t)]$$

or the sum of the variances of the forecast errors for each of the w individual forecasts. It is not surprising to see that the variance of the forecast error increases as the number of periods in the lead time increases.

The reader is reminded that when using the adaptive smoothing formulations of Section 6-4.5 the origin of time is assumed to be at the end of the current period T. Then, $T = 0$ would be used in the preceding equations.

The Tracking Signal and Analysis of Forecast Errors

No forecasting system will produce perfect forecasts of future observations. There will always be some discrepancy between the forecast for period t, say $\hat{x}_t$, and the actual observation for that period, x_t. Mathematically, we define the forecast error as

$$e_t = x_t - \hat{x}_t \tag{6-84}$$

Analysis of the forecast errors can frequently reveal many useful characteristics of both the forecasting system and the time series. We shall discuss several methods for this analysis.

An examination of the errors may indicate that they arise from a stable system, that is, a true time series model for which the assumed time series model is an adequate approximation. If this is the case, we would expect the average value of the forecast errors to be nearly zero. In itself, however, this information may not be very useful without knowledge of the *variability* of forecast errors, as large positive and negative errors would tend to cancel each other. We see that the variance of the forecast errors is

$$V(e_t) = V(x_t) + V(\hat{x}_t)$$

or

$$\sigma_e^2 = \sigma_x^2 + \sigma_{\hat{x}}^2 \tag{6-85}$$

assuming that x_t and $\hat{x}_t$ are independent. For a constant model, we may show that

$$\sigma_{\hat{x}}^2 = \frac{\alpha}{2-\alpha}\sigma_\epsilon^2$$

and thus

$$\sigma_e^2 = \frac{2}{2-\alpha}\sigma_\epsilon^2$$

In addition to the mean and variance of forecast error, it may be useful to have some knowledge of the form of the probability distribution. There is a great deal of theoretical and empirical justification for assuming that the forecast errors are normally distributed (approximately). In any practical problem, this assumption could be easily checked by simulating the forecast of historical data and examining the resulting errors.

The *tracking signal* is a useful device for monitoring and controlling forecast errors. We shall discuss two forms of the tracking signal, one based on the sum of the forecast errors and the other based on a smoothed error.

Consider the sum of the forecast errors in the current period, say period T,

$$Y(T) = \sum_{t=1}^{T} e_t$$

or equivalently

$$Y(T) = Y(T-1) + e_T \tag{6-86}$$

If there is a consistent bias in the forecasts, the errors will have the same sign for several periods, and the sum $Y(T)$ will tend to become nonzero. Brown (2) has shown that for a constant model

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{1-\beta^2}\sigma_\epsilon^2$$

and, in general, for a model with n parameters

$$\sigma_Y^2 \simeq \frac{1}{1-\beta^{2n}}\sigma_\epsilon^2$$

If $|Y(T)|$ is greater than some relatively large multiple of σ_Y, we could not expect this to occur by chance, and would conclude that the forecasting system is no longer adequately tracking the process. That is, if

$$\left|\frac{Y(T)}{\sigma_Y}\right| < K \tag{6-87}$$

the forecasting system is performing adequately. We almost always do not know σ_Y exactly, and must estimate it. Actually, since $\sigma_Y^2 = [1/(1-\beta^{2n})]\sigma_\epsilon^2$, it suffices to estimate σ_ϵ^2.

Suppose that forecast error is normally distributed with mean zero and variance σ_e^2. Then the *mean absolute deviation*, Δ, is

$$\Delta = E\{|e - E(e)|\} = 2\int_0^{\infty} (e - 0)n(e; 0, \sigma_e^2)\, de = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\,\sigma_e \simeq 0.8\sigma_e \quad (6\text{-}88)$$

This approximation holds quite well, even for nonnormal data. At the end of period T, we may estimate the mean absolute deviation by either

$$\hat{\Delta}(T) = \alpha|e(T)| + (1 - \alpha)\hat{\Delta}(T - 1) \quad (6\text{-}89a)$$

or

$$\hat{\Delta}(T) = \frac{1}{N}\sum_{t=T-N+1}^{T} |e_t| \quad (6\text{-}89b)$$

Equation 6-89a is more efficient. Thus, we see that $\hat{\sigma}_e^2 = \left[\frac{\hat{\Delta}(T)}{0.8}\right]^2$. For single smoothing, $\sigma_e^2 = \frac{2-\alpha}{2}\sigma_y^2$, so $\hat{\sigma}_e^2 = \left(\frac{2-\alpha}{2}\right)\left[\frac{\hat{\Delta}(T)}{0.8}\right]^2$ and thus,

$$\hat{\sigma}_y^2 = \left(\frac{1}{1-\beta^2}\right)\left(\frac{2-\alpha}{2}\right)\left[\frac{\hat{\Delta}(T)}{0.8}\right]^2 = \frac{1}{2\alpha}\left[\frac{\hat{\Delta}(T)}{0.8}\right]^2$$

For the relationship between σ_e^2 and σ_y^2 for other models, refer to Brown (2, Chapter 12).

For simple exponential smoothing, the tracking signal based on the sum of the forecast errors is

$$\left|\frac{Y(T)}{\hat{\Delta}(T)}\right| < \frac{K}{0.8}\sqrt{\frac{1}{2\alpha}} = C_1 \quad (6\text{-}90)$$

where K may be chosen from tables of the standard normal cumulative distribution function to provide an approximate level of significance. Quite often, especially when dealing with other than a constant model, instead of choosing K, one may directly choose C_1. Typical values of C_1 for most models are between 4 and 6.

It is also possible to base the tracking signal on the smoothed error in period T, say

$$Z(T) = \alpha e_T + (1 - \alpha)Z(T - 1)$$

The appropriate tracking signal would be

$$\left|\frac{Z(T)}{\hat{\Delta}(T)}\right| < C_2 \quad (6\text{-}91)$$

It is clear that the ratio $\left|\frac{Z(T)}{\hat{\Delta}(T)}\right|$ can never exceed 1.0. The proper value for C_2 is usually between [illegible] and 0.4.

If Equation 6-89a is used to compute the mean absolute deviation, a starting value, $\hat{\Delta}(0)$, must be supplied. Simulation using historical data is one approach, or frequently a relationship can be found between average demand and the standard deviation of forecast errors, and this estimated standard deviation used to provide a starting value $\hat{\Delta}(0)$.

If the tracking signal exceeds the control limit on two or three successive observations, this is a clear indication that something is wrong with the forecasting system. When the tracking signal goes out of control, the quantity $Y(T)$ [or $Z(T)$] should be reset to zero to prevent a false out of control signal in future periods. Finding the reason for the out of control signal involves many of the same procedures that one would use when initially identifying an appropriate time series model. We must usually either add another term (or terms) to the current time series model or increase the smoothing constant because certain model parameters are changing rapidly.

□**EXAMPLE 6-10** To illustrate the calculations required for the cumulative error tracking signal, consider the demand data shown in column (1) of Table 6-7. Suppose that at some point prior to January, it has been determined that a constant time series model is appropriate and a smoothing constant $\alpha = 0.1$ selected. We also know that $S_{\text{Dec.}} = 100.00$, $Y(\text{Dec.}) = 0.00$, and $\hat{\Delta}(\text{Dec.}) = 2.00$. The forecast for January is $\hat{x}_{\text{Jan.}} = S_{\text{Dec.}} = 100.00$. Forecasts for the remaining months are computed in the usual fashion (Equations 6-43 and 6-46) and are shown in column 2 of Table 6-7. The forecast error and cumulative error for each month are shown in columns 3 and 4. The mean absolute deviation for each month, shown in column 5, is computed from Equation 6-89a.

For example

$$\hat{\Delta}(\text{Jan.}) = \alpha|e_{\text{Jan.}}| + (1 - \alpha)\hat{\Delta}(\text{Dec.})$$
$$= 0.1|1.00| + (0.9)(2.00) = 1.90$$

TABLE 6-7 Sample Calculations for the Cumulative Error Tracking Signal

t	(1) x_t	(2) $\hat{x}_t$	(3) e_t	(4) $Y(t)$	(5) $\hat{\Delta}(t)$	(6) $Y(t)/\hat{\Delta}(t)$
January	101	100.00	1.00	1.00	1.90	0.53
February	104	100.10	3.90	4.90	2.10	1.69
March	98	100.49	−2.49	2.41	2.14	1.03
April	110	100.24	9.76	12.17	2.90	4.20*
May	120	101.22	18.78	30.95	4.49	8.80*
June	118	103.10	14.90	45.85	5.53	8.29*

Finally, the tracking signal for each month is computed by dividing the current cumulative error by the current mean absolute deviation. If we choose ± 4 as the detection threshold for the tracking signal, then the first out-of-control response is generated in April, followed by out-of-control values for May and June.□

While we have concentrated primarily on the cumulative error form of the tracking signal, this method does appear to have some disadvantages relative to the smoothed error version. Suppose there was a very large, but random, error in the forecast for a particular time period. This would increase the smoothed error and the cumulative error, but assume that the increase is not quite enough to generate an out-of-control signal. Now, suppose many periods go by with small errors averaging zero. The cumulative error remains at its large value, but the smoothed error decreases toward zero. At some point in time, a second large, random error with the same sign as the previous one occurs. The cumulative sum tracking signal will *incorrectly* generate an out-of-control signal, but the smoothed error version would not. As another example, suppose the cumulative sum tracking signal was just less than the detection threshold, and a perfect forecast occurs. Since the error is zero, the cumulative sum will not change and the mean absolute deviation will become smaller. The net effect will be to *increase* the value of the tracking signal, perhaps above the detection threshold. If a smoothed error tracking signal is employed, a perfect forecast will cause the smoothed error to decrease along with the mean absolute deviation, resulting in little change in the tracking signal.

Forecasting the Probability Distribution of Demand

In certain situations, the probability distribution of the signal may be more important than the individual observations. For example, an inventory manager might be much more interested in the probability of a demand between 140 and 150 units next period than he would be in a single-number forecast. Therefore, we would be interested in forecasting probabilities instead of individual future observations.

Suppose that x_t is a random variable having probability distribution function G, that is, $Pr\{x_t \le \theta\} = G(\theta)$. Usually, the exact form of G is unknown and must be estimated. We require that G be stationary, or changing very slowly with time. The forecasting problem is, for a given p, $0 < p < 1$, to find $\hat{\theta}_p$, an estimate of θ_p, such that $G(\theta_p) = p$. That is, we wish to find an estimator of θ_p such that the probability is p of observing a future realization smaller than θ_p.

Assume that the observations are measured on a scale w[illegible] l class limits, say

$$X_0 < X_1 < X_2 < \cdots < X_n$$

The class limits must be defined so that each observation x_t is assigned to one and only one class. That is, there is only one k such that

$$X_{k-1} < x_t \le X_k$$

The class limits X_0 and X_n should be finite, and there should be between 10 and 20 classes. The classes do not have to be of the same width, but may be defined to obtain information in relation to interest.

Let p_k be the probability that the random variable x_t falls in the interval from X_{k-1} to X_k, that is,

$$p_k = Pr\{X_{k-1} < x_t \le X_k\}; \qquad k = 1, 2, \ldots, n \tag{6-92}$$

We see that $\sum_{k=1}^{n} p_k = 1$. Furthermore, since

$$\sum_{j=1}^{k} p_j = Pr\{x_t \le X_k\} = G(X_k)$$

we may estimate the unknown distribution function G by estimating the n probabilities p_k. We shall write these probabilities as an $(n \times 1)$ column vector $\mathbf{p}$, where

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p_n \end{bmatrix}$$

Denote the estimates of these probabilities at time t as

$$\hat{\mathbf{p}}(t) = \begin{bmatrix} \hat{p}_1(t) \\ \hat{p}_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{p}_n(t) \end{bmatrix}$$

Thus, the estimate of $G(X_k)$ is $\hat{G}(X_k) = \sum_{j=1}^{k} \hat{p}_j(t)$.

Suppose the tth observation x_t is associated with the kth class interval, that is, $X_{k-1} < x_t \le X_k$. Define an $(n \times 1)$ column vector $\mathbf{u}_k$ that has $n - 1$ zero's and a one as the kth component. We may revise the previous period's estimates

$\hat{p}(t-1)$ in light of the current information according to

$$\hat{p}(t) = \alpha u_k + (1-\alpha)\hat{p}(t-1) \tag{6-93}$$

It is not difficult to show that $\hat{p}(t)$ is unbiased $[E\{\hat{p}(t)\} = p]$ and the variance of the kth estimated probability is $\sigma^2_{\hat{p}_k} = \frac{\alpha}{2-\alpha} p_k(1-p_k)$. See Exercise 6-30.

An initial estimate of the probabilities $\hat{p}(0)$ is required. This may be a subjective estimate, or may be obtained through an analysis of historical data.

Consider the forecasting problem. Suppose we have available the n probabilities $\hat{p}(t)$ and are given a probability of interest, say p. We wish to estimate a value θ_p such that the probability of a future observation being smaller than θ_p is p, that is, $G(\theta_p) = p$. If p is such that one of the class limits exactly satisfies $p = \hat{G}(X_k)$, the problem is easily solved by estimating θ_p with $\hat{\theta}_p = X_k$. However, if

$$\hat{G}(X_{k-1}) < p < \hat{G}(X_k)$$

then we may estimate θ_p by linear interpolation as

$$\hat{\theta}_p = \frac{[\hat{G}(X_k) - p]X_{k-1} + [p - \hat{G}(X_{k-1})]X_k}{\hat{G}(X_k) - \hat{G}(X_{k-1})} \tag{6-94}$$

It may be desirable to use other interpolation schemes near the tails of the distribution or if the class limits in the region of interest are widely spaced.

□EXAMPLE 6-11 Suppose that at time $t-1$ the data in Table 6-8 concerning the daily demand of an electronic component are available. The observation in period t is $x_t = 34$. Thus, the vector $u'_4 = [0, 0, 0, 1, 0]$, and using $\alpha = 0.1$,

TABLE 6-8 Demand Data

k	CLASS LIMIT, X_k	PROBABILITY, $\hat{p}_k(t-1)$	$\hat{G}(X_k)$
0	0		0.00
1	10	0.60	0.60
2	20	0.15	0.75
3	30	0.15	0.90
4	40	0.05	0.95
5	>50	0.05	1.00

6-10 The Box-Jenkins Models

Most of the forecasting techniques discussed in previous sections of this chapter are based on exponential smoothing, which is derived from the discounted least-squares criterion (see Sections 6-4.1 and 6-4.3). This approach assumes that the mean of the time series is a deterministic function of time, and actual observations are generated by adding a random error component to the mean. For example, Equation 6-47 says that the mean is a *linear* deterministic function of time, to which a realization of the random variable $\{\varepsilon_t\}$ is added to produce the tth observation, x_t. If the $\{\varepsilon_t\}$ are assumed to be independent random variables, then the $\{x_t\}$ are also independent. This assumption is frequently made, even when it is unwarranted.

Successive observations in many time series are highly *dependent*. If this is the case, then the models presented previously are inappropriate, because they do not take advantage of this dependency in the most effective way. This is not to say that exponential smoothing methods do not work for time series in which observations are dependent; they may work reasonably well. However, forecasting methods are available that exploit this dependency and generally produce superior results. We now turn our attention to some of these alternative models.

Many of these alternative models assume that a time series in which successive observations are dependent can be modeled as a linear combination of independent random variables, say $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \ldots$, that are drawn from a stable distribution, usually assumed normal with mean zero and variance σ_ε^2. The sequence of random variables $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \ldots$, is often called a *white noise process*. The linear combination of the $\{\varepsilon_t\}$ could be written as

$$x_t = \mu + \psi_0\varepsilon_t + \psi_1\varepsilon_{t-1} + \psi_2\varepsilon_{t-2} + \cdots \tag{6-106}$$

where the $\psi_i (i = 0, 1, \ldots)$ are weights and μ determines the level of the process. Equation 6-106 is usually called a *linear filter*. Clearly successive observations of x_t are dependent, because they are generated from the same previous realizations of $\{\varepsilon_t\}$, and are normally distributed if the $\{\varepsilon_t\}$ are normally distributed. In light of (6-106), it is reasonable to define a time series model as a *function that transforms the time series into a white noise process*.[1]

Time series models derived from Equation 6-106 have been reported extensively in the statistics literature. Box and Jenkins (1) have unified this methodology and evolved a philosophy for its use. For this reason, time series models derived from (6-106) are often called *Box-Jenkins models*. We shall now briefly present their approach to forecasting.

[1] This definit[illegible] and much of the terminology and notation of this section, is derived from Box and Jenkins (1)

1 A Class of Time Series Models

The linear filter (6-106) would not be a very useful model in practice, as it contains an infinite number of unknown parameters (the ψ weights). Our approach will be to develop *parsimonious* models, that is, models that contain few parameters, yet are useful in modeling time series.

An alternate way of writing (6-106) is in terms of the backward shift operator, B, defined such that

$$B\varepsilon_t = \varepsilon_{t-1}$$

and

$$B^j\varepsilon_t = \varepsilon_{t-j}$$

Using this notation, the linear filter (6-106) becomes

$$x_t - \mu = (\psi_0 B^0 + \psi_1 B^1 + \psi_2 B^2 + \cdots)\varepsilon_t$$

or

$$x_t - \mu = \Psi(B)\varepsilon_t$$

where $\Psi(B) = \psi_0 B^0 + \psi_1 B^1 + \psi_2 B^2 + \cdots$.

Models derived from (6-106) are capable of representing both *stationary* and *nonstationary* time series. By stationary, we imply that the time series fluctuates randomly about a constant mean level, and by nonstationary we imply that the time series has no natural mean. Generally, if the sequence of weights $\psi_0, \psi_1, \ldots$ in (6-106) is finite or infinite and convergent the time series is stationary with mean μ. If $\psi_0, \psi_1, \ldots$ is infinite and diverges the time series is nonstationary and μ is only a reference point for the level of the series.

Autoregressive Models. It is convenient to work with the time series defined in terms of deviations from μ. Therefore, let $\tilde{x}_t = x_t - \mu$, for all t. An important special case of (6-106) is the model

$$\boxed{\tilde{x}_t = \phi_1\tilde{x}_{t-1} + \phi_2\tilde{x}_{t-2} + \cdots + \phi_p\tilde{x}_{t-p} + \varepsilon_t} \tag{6-107}$$

Equation 6-107 is called an *autoregressive* process, because the current observation, $\tilde{x}_t$, is "regressed" on previous values $\tilde{x}_{t-1}, \tilde{x}_{t-2}, \ldots \tilde{x}_{t-p}$. The process contains p unknown parameters $\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$; therefore we would specifically refer to (6-107) as an autoregressive process of order p, abbreviated AR(p). Clearly the AR(p) process is a special case of the linear filter model (6-106), since we can substitute successively for $\tilde{x}_{t-j}$ on the right-hand side of (6-107) to obtain an infinite series in the ε's.

Two important autoregressive processes are the AR(1) process

$$\tilde{x}_t = \phi_1\tilde{x}_{t-1} + \varepsilon_t$$

and the AR(2) process

$$\tilde{x}_t = \phi_1\tilde{x}_{t-1} + \phi_2\tilde{x}_{t-2} + \varepsilon_t$$

Both of these processes are frequently useful in modeling time series.

Equation 6-107 can be written in terms of the backward shift operator as

$$\tilde{x}_t = (\phi_1 B + \phi_2 B^2 + \cdots + \phi_p B^p)\tilde{x}_t + \varepsilon_t$$

or

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p)\tilde{x}_t = \varepsilon_t \tag{6-108}$$

Letting

$$\Phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p$$

Equation 6-108 becomes

$$\Phi_p(B)\tilde{x}_t = \varepsilon_t \tag{6-109}$$

The autoregressive model may be used to represent both stationary and nonstationary time series. Box and Jenkins show that if the roots of the polynomial $\Phi_p(B) = 0$ lie *outside* the unit circle, the process is stationary. This is equivalent to saying that, for example, in the AR(1) process we must have

$$|\phi_1| < 1$$

and in the AR(2) process

$$\phi_1 + \phi_2 < 1$$
$$\phi_2 - \phi_1 < 1$$
$$|\phi_2| < 1$$

for stationarity. While it is theoretically possible to model a nonstationary time series by an appropriately chosen autoregressive process, this is not usually done, because more effective methods are available.

Moving Average Models. Consider the special case of the linear filter (6-106) with only the first q weights nonzero. This yields

$$\boxed{\begin{aligned}\tilde{x}_t &= \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2} - \cdots - \theta_q\varepsilon_{t-q}\\ &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_q B^q)\varepsilon_t\\ &= \Theta_q(B)\varepsilon_t\end{aligned}} \tag{6-110}$$

say, where $-\theta_1, -\theta_2, \ldots, -\theta_q$ are the *finite* set of weights from (6-106). The model (6-110) is called a *moving average process* of order q, abbreviated MA(q). Two important and very useful special cases are the MA(1) process

$$\tilde{x}_t = \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1}$$

and the MA(2) process

$$\tilde{x}_t = \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2}$$

The name "moving average" may be somewhat misleading, as the weights $\theta_i (i = 1, 2, \ldots, q)$ need not sum to unity or be positive.

There is an interesting duality between the moving average and autoregressive

processes. For example, consider the MA(1) process

$$\tilde{x}_t = \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1}$$
$$= (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$$

which solved for ε_t yields

$$\varepsilon_t = (1 - \theta_1 B)^{-1}\tilde{x}_t$$

Now if $|\theta_1| < 1$, this last equation becomes

$$\varepsilon_t = \left(\sum_{j=0}^{\infty}\theta_1^j B^j\right)\tilde{x}_t$$
$$= (1 + \theta_1 B + \theta_1^2 B^2 + \cdots)\tilde{x}_t$$

which is an infinite-order autoregressive process with weights $\phi_j = \theta_1^j$. That is, we have *inverted* the MA(1) process to obtain an AR(∞) process. The condition

$$|\theta_1| < 1$$

is called the *invertibility* condition for an MA(1) process. In general, for the MA(q) model to be invertible to an AR(∞) process we must require that the roots of $\Theta_q(B) = 0$ must lie outside the unit circle. However, moving average processes are *stationary* for any choice of the weights. This duality holds true for autoregressive processes as well; that is, the finite AR(p) process can be inverted to give an infinite-order moving average process.

Mixed Autoregressive-Moving Average Models. In building an empirical model of an actual time series, it may lead to a more parsimonious model to include *both* autoregressive and moving average parameters. This leads to the mixed autoregressive-moving average model of order (p, q).

$$\tilde{x}_t = \phi_1\tilde{x}_{t-1} + \phi_2\tilde{x}_{t-2} + \cdots + \phi_p\tilde{x}_{t-p} - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2} - \cdots - \theta_q\varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$$

or

$$\Phi_p(B)\tilde{x}_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t \qquad (6\text{-}111)$$

which would be abbreviated ARMA(p, q). For example, a particularly useful model is the ARMA(1, 1) process

$$\tilde{x}_t - \phi_1\tilde{x}_{t-1} = \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1}$$

which can be written as

$$\tilde{x}_t = \phi_1\tilde{x}_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1}$$

The stationarity and invertibility conditions for the AR(p) and MA(q) processes establish these properties for the ARMA (p, q) process. For example, the ARMA(1, 1) process is *stationary* if $|\phi_1| < 1$ and *invertible* if $|\theta_1| < 1$.

Nonstationary Processes. As previously discussed, many time series behave as if they have no constant mean; that is, in any local segment of time the observations look like those in any other segment, apart from their average. We call such a time series *nonstationary in the mean*. Similarly, it is possible for a time series to exhibit nonstationary behavior in *both mean and slope*, that is, apart from the mean and slope, observations in different segments of time look very much alike.

To understand how nonstationary behavior can be incorporated into a time series model, consider the discrete, deterministic signals shown in Figure 6-11.

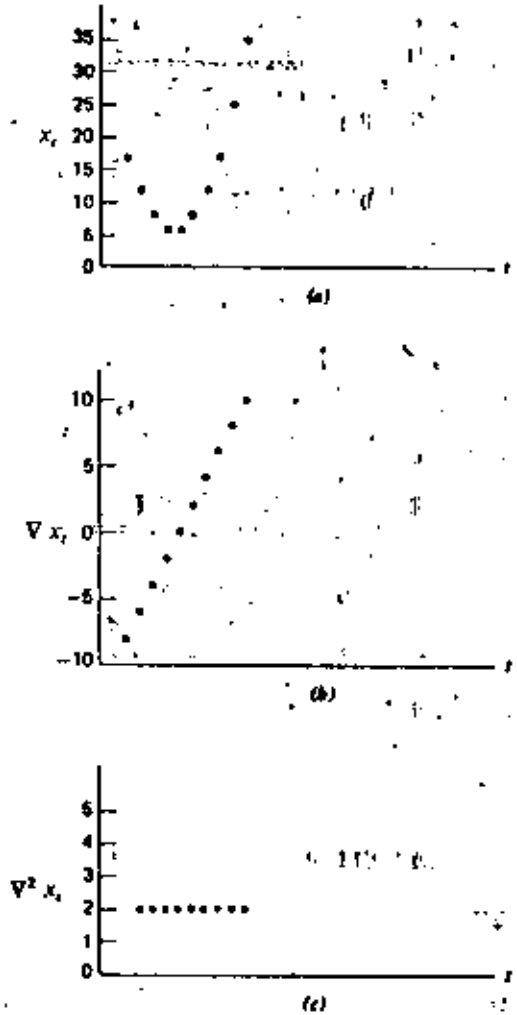


FIGURE 6-11. Reducing a discrete, nonstationary signal to a stationary signal.

The function in Figure 6-11*a* exhibits nonstationary behavior in both mean and slope. Its first difference, however, shown in Figure 6-11*b*, is nonstationary in the mean only. Finally the second difference, shown in Figure 6-11*c*, is stationary. Therefore, it seems reasonable to use differencing to reduce a nonstationary stochastic time series to a stationary one.

Define the (backward) difference operator, ∇, such that

$$\nabla x_t = x_t - x_{t-1} \tag{6-112}$$

Clearly, ∇ can be expressed in terms of the backward shift operator B as $\nabla = (1 - B)$, allowing higher degrees of differencing to be expressed as $\nabla^2 = (1 - B)^2, \nabla^3 = (1 - B)^3, \ldots, \nabla^d = (1 - B)^d, \ldots$. For example, $\nabla^2 x_t = (1 - B)^2 x_t = x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2}$. The difference operator always operates on the original observations. Differencing produces a new series $w_t = \nabla^d x_t = \nabla^d \tilde{x}_t$. In general, the new series $\{w_t\}$ may not have a zero mean.

The mathematical model for the *autoregressive integrated moving average* process of order (p, d, q), denoted ARIMA(p, d, q), is

$$\Phi_p(B)\nabla^d x_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t \tag{6-113}$$

An alternate way of writing (6-113) is

$$\Phi_p(B)w_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t$$

If the differenced series w_t has a nonzero mean, say μ_w, then the ARIMA process would be

$$\Phi_p(B)(w_t - \mu_w) = \Theta_q(B)\varepsilon_t$$

The effect of allowing μ_w to be nonzero is to introduce a deterministic polynomial term into the eventual forecast function, and for this reason we usually assume that $\mu_w = 0$, unless the data indicates otherwise. For a more complete discussion of including deterministic functions of time in the model, see Box and Jenkins (1, pp. 91–94, 193–195).

In practice, most time series can be adequately modeled by an ARIMA process in which p, d, and q do not exceed 2. For example, an important process is the ARIMA(1, 1, 1) process

$$(1 - \phi_1 B)\nabla x_t = (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$$

or

$$x_t = (1 + \phi_1)x_{t-1} - \phi_1 x_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

Notice that for appropriate choices of p and q with $d = 0$, the ARIMA process includes the autoregressive, moving average, and mixed models discussed previously as special cases. Thus, the ARIMA(p, d, q) process in Equation 6-113 represents a useful and flexible class of time series models.

Calculation of the ψ Weights. It is useful in forecasting to be able to express any ARIMA(p, d, q) model in terms of the ψ weights of the linear filter (6-106).

To see how this may be done, recall that the linear filter can be written as

$$\tilde{x}_t = \Psi(B)\varepsilon_t$$

or

$$\varepsilon_t = \frac{\tilde{x}_t}{\Psi(B)}$$

Substituting into (6-113) with the x_t corrected for μ yields

$$\Phi_p(B)\nabla^d \tilde{x}_t = \Theta_q(B)\frac{\tilde{x}_t}{\Psi(B)}$$

or

$$\Psi(B)\Phi_p(B)(1 - B)^d \tilde{x}_t = \Theta_q(B)\tilde{x}_t$$

Therefore, the ψ weights may be obtained by equating coefficients of like powers of B in the expansion

$$(\psi_0 + \psi_1 B + \psi_2 B^2 + \cdots)(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p)(1 - B)^d = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_q B^q)$$

For example, consider the ARMA(1, 1) model

$$(1 - \phi_1 B)\tilde{x}_t = (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$$

To find the ψ weights we would equate coefficients of like powers of B in

$$(\psi_0 + \psi_1 B + \cdots)(1 - \phi_1 B) = (1 - \theta_1 B)$$

For B^0, this yields $\psi_0 = 1$. For B^1, we find $\psi_1 = \phi_1 - \theta_1$. For B^2 the coefficients are

$$\psi_2 - \phi_1\psi_1 = 0$$

which yields $\psi_2 = \phi_1(\phi_1 - \theta_1)$. It is not difficult to show that the jth ψ weight is $\psi_j = \phi_1^{j-1}(\phi_1 - \theta_1)$.

Seasonal Models. Differencing will not produce stationarity in seasonal time series. In general, the models presented in this section are not appropriate for seasonal data. The interested reader is referred to Chapter 9 of Box and Jenkins (1), where a useful class of models for seasonal time series is discussed.

6-10.2 Forecasting with the Box-Jenkins Models

In Reference 1, Box and Jenkins present a general philosophy for the development of an appropriate time series model and its use in forecasting. Their approach consists of a three-step iterative procedure. First, a tentative model

is identified from actual data. Then the unknown parameters in the model are estimated. Finally, diagnostic checks are performed to determine the adequacy of the model, or to indicate possible improvements.

Identification. Tentative identification of a time series model is done by analysis of historical data. Usually, at least 50 observations are required to achieve satisfactory results. The primary tool used in this analysis is the autocorrelation function.

Consider the stationary time series $x_1, x_2, \ldots, x_N$. The theoretical autocorrelation function is

$$\rho_k = \frac{E[(x_t - \mu)(x_{t+k} - \mu)]}{\sigma_x^2}, \qquad k = 0, 1, \ldots \tag{6-114}$$

where σ_x^2 is the variance of the series. The quantity ρ_k is called the autocorrelation at lag k. Obviously, $\rho_0 = 1$. The theoretical autocorrelation function is never known with certainty, and must be estimated. A satisfactory estimate of ρ_k is the sample autocorrelation function

$$\hat{\rho}_k = \frac{\dfrac{1}{N-k}\displaystyle\sum_{t=1}^{N-k}(x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\dfrac{1}{N}\displaystyle\sum_{t=1}^{N}(x_t - \bar{x})^2}, \qquad k = 0, 1, \ldots, K \tag{6-115}$$

For useful results, we would usually compute the first $K \le N/4$ autocorrelations.

As a supplemental aid the partial autocorrelation or conditional correlation function often proves useful. We shall define the partial autocorrelation coefficient ϕ_{kk} as the kth coefficient in an autoregressive process of order k. It can be shown (see Reference 1, Chapter 3), that the partial autocorrelation coefficients satisfy the following *Yule-Walker equations:*

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \phi_{k2}\rho_{j-2} + \cdots + \phi_{kk}\rho_{j-k}, \qquad j = 1, 2, \ldots, k \tag{6-116}$$

We may estimate the partial autocorrelation coefficients by substituting $\hat{\rho}_j$ for ρ_j in (6-116), yielding

$$\hat{\rho}_j = \hat{\phi}_{k1}\hat{\rho}_{j-1} + \hat{\phi}_{k2}\hat{\rho}_{j-2} + \cdots + \hat{\phi}_{kk}\hat{\rho}_{j-k}, \qquad j = 1, 2, \ldots, k \tag{6-117}$$

and solving the resulting equations for $k = 1, 2, \ldots, K$ to obtain $\hat{\phi}_{11}, \hat{\phi}_{22}, \ldots, \hat{\phi}_{KK}$, the sample partial autocorrelation function.[8]

From the sample (estimated) autocorrelation and partial autocorrelation function, which can be conveniently exhibited by a graph, a tentative model is selected by comparison with the *theoretical* autocorrelation and partial

[8] Sample partial autocorrelations computed from (6-117) are sensitive to round-off errors. For a fuller discussion, see Box and Jenkins (1, Chapter 3)

autocorrelation function patterns. These theoretical patterns are shown in Table 6-9.

By "tailing off" in Table 6-9, we mean that the function has an approximately exponential, sinusoidal, or geometric decay, with a relatively large number of nonzero values. By "cutting off" we mean that the function truncates abruptly, with only a very few nonzero values. Notice that the duality referred to earlier between the autoregressive and moving average processes is also evident in Table 6-9. The autoregressive process has an autocorrelation function that tails off and a partial autocorrelation function that cuts off, while the moving average process has an autocorrelation function that cuts off and a partial autocorrelation function that tails off.

The standard errors of the autocorrelation and partial autocorrelation function are useful in identifying nonzero values. Box and Jenkins show that the estimated standard error of the kth autocorrelation coefficient is

$$S(\hat{\rho}_k) \simeq N^{-1/2}\left[1 + 2\sum_{j=1}^{k-1} r_j\right] \tag{6-118}$$

where

$$r_j = \begin{cases} \hat{\rho}_j & \text{if } \rho_j \neq 0 \\ 0 & \text{if } \rho_j = 0 \end{cases}$$

The estimated standard error of the kth partial autocorrelation coefficient is

$$S(\hat{\phi}_{kk}) \simeq N^{-1/2} \tag{6-119}$$

Generally, we will assume an autocorrelation or partial autocorrelation to be zero if the absolute value of its estimate is less than twice its standard error. It is useful to plot the limits $\pm 2S(\hat{\rho}_k)$ and $\pm 2S(\hat{\phi}_{kk})$ directly on the graphs of the functions.

The sample autocorrelation and partial autocorrelation functions of nonstationary time series die down extremely slowly from a value of one. If this type of behavior is exhibited, the usual approach is to compute the autocorrelation and partial autocorrelation functions for the first difference of the

TABLE 6-9 Behavior of Theoretical Autocorrelation and Partial Autocorrelation Functions for Stationary Models

MODEL	AUTOCORRELATION FUNCTION	PARTIAL AUTOCORRELATION FUNCTION
AR(p)	Tails off	Cuts off after lag p
MA(q)	Cuts off after lag q	Tails off
ARMA(p, q)	Tails off; exhibits damped sine wave after $(q - p)$ lags	Tails off; exhibits damped sine wave after $(p - q)$ lags

The forecasts may be obtained by taking expectation at origin T of the model written at time $T + \tau$. As a general rule, the forecast for period $T + \tau$ must be built up from the forecasts for periods $T + 1, T + 2, \ldots, T + \tau - 1$. In this procedure, the x_{T+j} that have not occurred at time T are replaced by their forecasts $\hat{x}_{T+j}$, the ε_{T-j} that have occurred are estimated from $e_{T-j} = x_{T-j} - \hat{x}_{T-j}$, and the ε_{T+j} that have not occurred are replaced by zeros. For example, consider the ARIMA(1, 1, 1) model, written at the end of time $T + \tau$:

$$x_{T+\tau} = (1 + \phi_1)x_{T+\tau-1} - \phi_1 x_{T+\tau-2} + \varepsilon_{T+\tau} - \theta_1 \varepsilon_{T+\tau-1}$$

On taking expectation at time T we find for $\tau = 1$

$$E[x_{T+1}] = \hat{x}_{T+1} = (1 + \phi_1)x_T - \phi_1 x_{T-1} - \theta_1 e_T$$

since $E[\varepsilon_{T+1}] = 0$, and at the end of time T, ε_T may be estimated by the residual at time T, $e_T = x_T - \hat{x}_T$. For $\tau \geq 2$ we would obtain by similar reasoning

$$E[x_{T+\tau}] = \hat{x}_{T+\tau} = (1 + \phi_1)\hat{x}_{T+\tau-1} - \phi_1 \hat{x}_{T+\tau-2}$$

It is also possible to generate the forecasts using the model expressed in terms of the ψ weights. In general, at origin T, we may write

$$x_{T+\tau} = \psi_1 \varepsilon_{T+\tau-1} + \cdots + \psi_{\tau-1}\varepsilon_{T+1} + \psi_\tau \varepsilon_T + \psi_{\tau+1}\varepsilon_{T-1} + \cdots + \varepsilon_{T+\tau} \quad (6\text{-}120)$$

However, at times $t > T$ we would replace the corresponding ε_t by zero and at times $t \leq T$ we would replace ε_t by e_t, so the forecast may be written as

$$\hat{x}_{T+\tau} = \hat{\psi}_\tau e_T + \hat{\psi}_{\tau+1} e_{T-1} + \cdots \quad (6\text{-}121)$$

The estimated weights $\hat{\psi}_\tau, \hat{\psi}_{\tau+1}, \ldots$ can be obtained from the $\{\hat{\phi}_i\}$ and $\{\hat{\theta}_j\}$ as previously described.

Probability limits on the forecast at any lead time may also be computed. The variance of the τ-step ahead forecast error is

$$V(\tau) = \left\{1 + \sum_{j=1}^{\tau-1} \psi_j^2\right\}\sigma_a^2$$

Thus, approximate $100(1 - \alpha)$ percent probability limits on the forecast for period $T + \tau$ would be computed from

$$\hat{x}_{T+\tau} \pm z_{\alpha/2}\left\{1 + \sum_{j=1}^{\tau-1} \hat{\psi}_j^2\right\}^{1/2} s_a \quad (6\text{-}122)$$

where s_a is an estimate of σ_a and $z_{\alpha/2}$ is a percentage point of the standard normal density such that $Pr\{Z \geq z_{\alpha/2}\} = \alpha/2$.

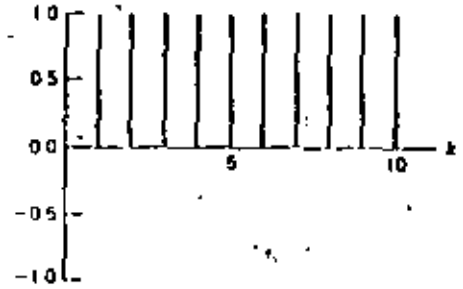
EXAMPLE 6-14 The weekly sales of a plastic container since its introduction nearly six years ago are shown in Table 6-10. The container is manufactured by an injection molding process, and has become widely used by

TABLE 6-10 Weekly Sales of A Plastic Container, x_t (300 Observations, Read Across)

592	1208	1864	2508	3160	3792	4419	5023	5626	6250
6903	7564	8223	8900	9569	10226	10823	11304	11785	12252
12724	13339	13940	14514	15102	15648	16217	16725	17217	17839
18463	19094	19718	20342	20966	21563	22167	22802	23431	24044
24562	25131	25676	26205	26718	27215	27767	28389	28974	29502
30022	30542	31044	31556	32092	32636	33196	33772	34347	34915
35502	36078	36643	37219	37804	38381	38974	39513	40044	40634
41237	41853	42430	42977	43529	44081	44657	45277	45917	46517
47100	47692	48241	48802	49399	49992	50601	51214	51855	52499
53127	53763	54387	54979	55591	56219	56843	57491	58127	58767
59264	59777	60298	60779	61348	61942	62521	63041	63570	64082
64550	65074	65594	66168	66664	67204	67711	68272	68837	69414
70012	70617	71211	71701	72214	72740	73283	73889	74509	75115
75743	76351	76971	77585	78169	78745	79309	79918	80563	81164
81761	82318	82855	83384	83921	84476	85028	85647	86275	86889
87493	88097	88737	89361	90017	90668	91313	91938	92575	93156
93669	94182	94695	95201	95679	96183	96783	97397	97989	98603
99223	99839	100478	101095	101724	102333	102902	103516	104157	104784
105411	106026	106626	107214	107806	108418	109048	109688	110321	110961
111686	112211	112828	113437	114038	114663	115288	115904	116519	117121
117688	118280	118916	119548	120130	120647	121210	121773	122350	122947
123540	124102	124705	125255	125769	126325	126893	127501	128133	128769
129402	129994	130491	130998	131565	132142	132719	133280	133883	134435
134997	135587	136187	136812	137424	138024	138648	139272	139909	140531
141171	141768	142329	142878	143423	144000	144535	145168	145738	145294
146832	147364	147920	148520	149128	149744	150342	150902	151407	151895
152396	152885	153390	153333	154520	155129	155742	156374	157065	157645
158295	158951	159655	160339	161039	161723	162410	163050	163698	164326
165031	165680	166321	166934	167559	168193	168892	169580	170277	170954
171602	172220	172862	173500	174136	174764	175364	175956	176560	177197

several pharmaceutical houses as a package for a prescription drug. From examining Table 6-10, we see that demand has increased steadily, causing an explosive behavior in the time series. The sample autocorrelation function for this series computed from Equation 6-115 is shown in Figure 6-12 (page 474). We see that the autocorrelation function does not die down rapidly, and conclude from this that the time series is nonstationary. Therefore, some degree of differencing will be necessary to produce stationarity.

The first difference of the time series, say $w_t = \nabla x_t$, $(t = 1, 2, \ldots, 300)$, shown in Table 6-11, is plotted in Figure 6-13 (page 475). From looking at these displays, it appears that the nonstationary behavior of the original series has been eliminated by differencing. This is confirmed by the sample autocorrelation function of w_t, shown in Figure 6-14a (page 475), which exhibits the sinusoidal decay of a stationary series.



GURE 6-12. Sample autocorrelation func-
n for the data in Table 6-10.

ABLE 6-11 The First Difference of Weekly Plastic Container Sales. $w_t = \nabla x_t$

52	616	656	644	652	632	627	604	603	624
553	661	659	677	669	657	597	481	481	467
572	615	601	574	588	546	564	513	492	622
524	631	624	624	624	597	604	635	629	613
516	569	545	529	513	497	552	622	585	528
520	520	502	512	536	544	560	576	575	568
587	576	565	576	585	577	593	539	531	590
503	616	577	547	552	552	576	620	640	600
583	592	549	581	597	593	609	613	641	644
528	636	624	592	612	628	624	648	636	640
497	513	521	481	569	594	579	520	535	506
468	524	520	574	496	540	507	561	565	577
598	605	594	490	513	526	543	606	620	606
528	608	620	614	584	576	564	609	645	621
577	557	537	529	537	555	552	619	628	614
604	604	640	624	656	651	645	625	637	581
513	513	513	506	478	504	600	614	592	614
620	616	639	617	629	609	569	614	641	627
627	615	600	588	592	612	630	640	633	640
625	625	617	609	601	625	625	616	615	602
567	592	636	632	582	517	563	563	577	597
593	562	603	550	514	556	568	608	632	636
633	592	497	505	569	577	577	561	583	572
562	590	600	625	612	600	624	624	637	625
637	597	561	549	545	577	585	583	570	556
538	532	556	600	608	616	598	560	505	488
501	489	505	549	581	609	613	632	632	642
647	656	704	684	700	684	687	640	648	668
665	649	641	613	625	634	689	698	697	677
648	618	632	648	636	628	600	592	604	637

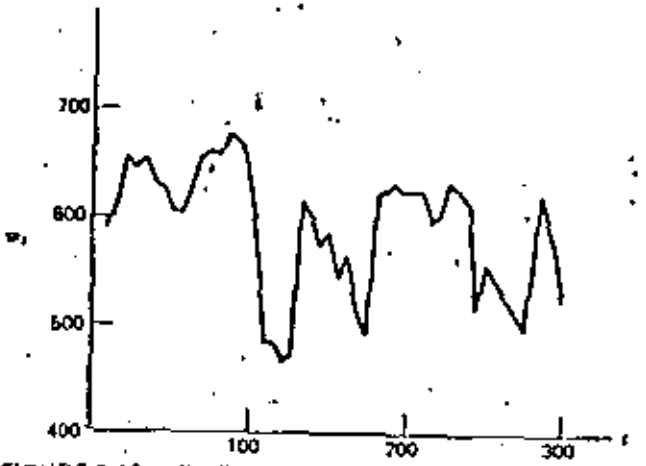


FIGURE 6-13. The first difference, $w_t = \nabla x_t$.

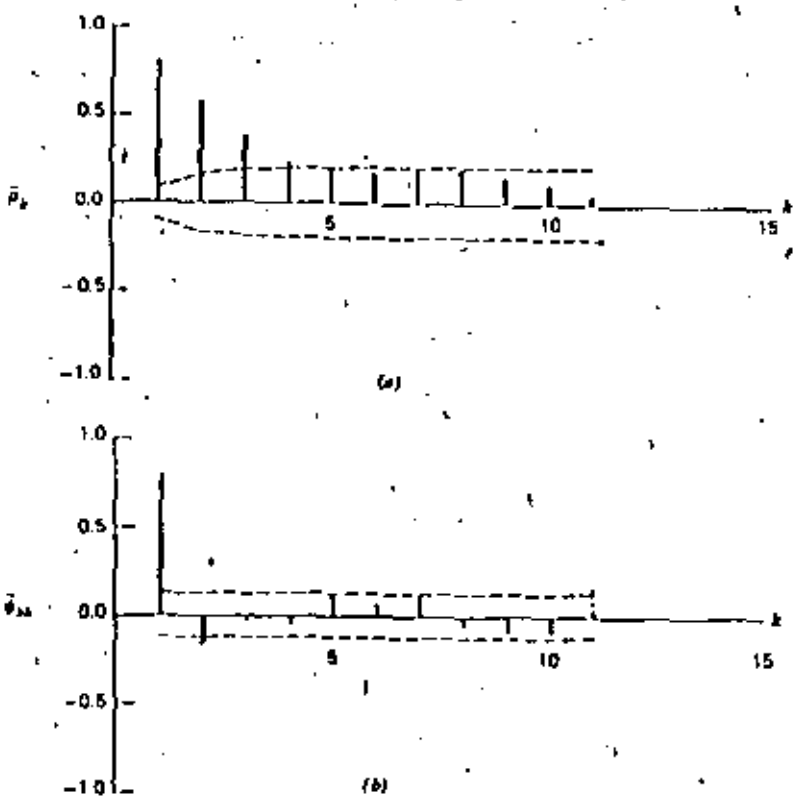


FIGURE 6-14. Sample autocorrelation and partial autocorrelation function for the series $w_t = \nabla x_t$. (a) Sample autocorrelation function (b) Sample partial autocorrelation function.

Having deter[illegible] that one degree of differencing is necessary, we must now select the proper model from the ARIMA(p, 1, q) class. The sample autocorrelation and partial autocorrelation functions for w_t are shown in Figure 6-14, along with two standard error limits (shown as dashed lines). The autocorrelation function tails off sinusoidally, while the partial autocorrelation function cuts off abruptly after two lags. This is indicative of the AR(2) process

$$\tilde{w}_t = \epsilon_t + \phi_1 \tilde{w}_{t-1} + \phi_2 \tilde{w}_{t-2}$$

where the $\tilde{w}_t$ are the values of w_t corrected for the mean. Obtaining the least-squares estimators of ϕ_1 and ϕ_2 as indicated in Example 6-13, we find that $\hat{\phi}_1 = 0.93$ and $\hat{\phi}_2 = -0.17$. Therefore, the tentative ARIMA(2, 1, 0) process is

$$(1 - 0.93B + 0.17B^2)\nabla x_t = \epsilon_t$$

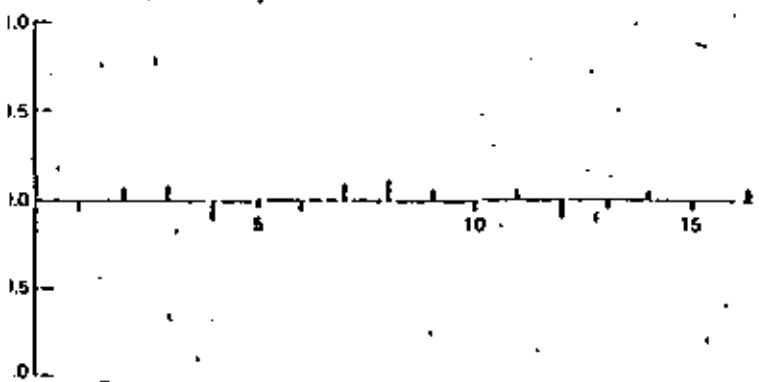
or

$$x_t = x_{t-1} + 0.93(x_{t-1} - x_{t-2}) - 0.17(x_{t-2} - x_{t-3}) + \epsilon_t$$

The autocorrelation function of the residuals generated from this model is shown in Figure 6-15. Since there are no significantly nonzero autocorrelations beyond lag zero, we would conclude that the residuals are a white noise process. Therefore, we conclude that the ARIMA(2, 1, 0) model is appropriate.

Forecasts of future observations may be obtained by taking expectation at origin T of the model written at time $T + \tau$, as described previously. This yields the forecasting equations

$$\hat{x}_{T+1} = x_T + 0.93(x_T - x_{T-1}) - 0.17(x_{T-1} - x_{T-2})$$
$$\hat{x}_{T+2} = \hat{x}_{T+1} + 0.93(\hat{x}_{T+1} - x_T) - 0.17(x_T - x_{T-1})$$
$$\hat{x}_{T+3} = \hat{x}_{T+2} + 0.93(\hat{x}_{T+2} - \hat{x}_{T+1}) - 0.17(\hat{x}_{T+1} - x_T)$$
$$\hat{x}_{T+\tau} = \hat{x}_{T+\tau-1} + 0.93(\hat{x}_{T+\tau-1} - \hat{x}_{T+\tau-2}) - 0.17(\hat{x}_{T+\tau-2} - \hat{x}_{T+\tau-3}), \quad \tau \geq 4$$



E 6-15. Sample autocorrelation function of the residuals

To illustrate, we may forecast the observation at time 301 as

$$\begin{aligned}\hat{x}_{301} &= x_{300} + 0.93(x_{300} - x_{299}) - 0.17(x_{299} - x_{298}) \\ &= 177{,}197 + 0.93(177{,}197 - 176{,}560) - 0.17(176{,}560 - 175{,}956) \\ &= 177{,}695.\end{aligned}$$

□

6-11 References

1. Box, G. E. P., and G. M. Jenkins, *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco, 1970.
2. Brown, R. G., *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1963.
3. Brown, R. G., *Statistical Forecasting for Inventory Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.
4. Brown, R. G., *Decision Rules for Inventory Management*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1967.
5. Chow, W. M., "Adaptive Control of the Exponential Smoothing Constant," *Journal of Industrial Engineering*, XVI (5), 314-317, 1965.
6. Cohen, G. D., "Bayesian Adjustment of Sales Forecasts in Multi-Item Inventory Control Systems," *Journal of Industrial Engineering*, XVII (9), 474-479, 1966.
7. Draper, N. R., and H. Smith, *Applied Regression Analysis*, John Wiley and Sons, New York, 1968.
8. Giffin, W. C., *Introduction to Operations Engineering*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Ill., 1971.
9. Graybill, F. A., *Introduction to Linear Statistical Models, Vol. 1*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1961.
10. Montgomery, D. C., "An Introduction to Short-Term Forecasting," *Journal of Industrial Engineering*, XIX (10), 500-503, 1968.
11. Montgomery, D. C., "Adaptive Control of Exponential Smoothing Parameters by Evolutionary Operation," *AIIE Transactions*, 2 (3), 268-269, 1970.
12. Morrison, N., *Introduction to Sequential Smoothing and Prediction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.
13. Roberts, S. D., and R. Reed, "The Development of a Self-Adaptive Forecasting Technique," *AIIE Transactions*, 1 (4), 314-322, 1969.
14. Trigg, D. W., and A. G. Leach, "Exponential Smoothing with an Adaptive Response Rate," *Operational Research Quarterly*, 18 (1), 53-59, 1967.
15. Winters, P. R., "Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages," *Management Science*, 6 (3), 324-342, 1960.

12 Exercises

6-1 The number of lots of a particular fastener sold per week by a local company is shown below. Fit a straight line of the form $x_t = a + bt + \varepsilon_t$ to this data. Does it appear that this equation adequately represents the process? Estimate the error variance.

ek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
es	78	74	80	79	80	83	82	85	78	89

6-2 The monthly maintenance expense in the manufacturing department of an electronics plant has been recorded for the past 18 months and is shown below. Fit a straight line of the form $x_t = a + bt + \varepsilon_t$ to this data. Estimate the error variance.

nth	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ense	880	812	830	1000	1160	1310	1360	1300	1250
nth	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ense	1315	1475	1590	1650	1920	2250	2180	2360	2400

6-3 The monthly sales of furniture in a city is thought to be linearly related to the number of new home starts. Data for the past year is available below. Fit a straight line to this data (can you use Equations 6-10 and 6-11 to estimate a and b? Why or why not?).

onthly number of new home starts	100	110	96	114	120	160
onthly furniture sales/$1000	46.1	47.3	45.0	47.2	48.1	53.8
onthly number of new home starts	150	124	93	88	104	116
onthly furniture sales/$1000	54.0	51.7	44.9	45.2	45.4	49.5

6-4 Suppose we wish to fit a regression model of the form

$$x_t = a + bt + ct^2 + \varepsilon_t$$

where ε is a random error such that $E(\varepsilon) = 0$ and $V(\varepsilon) = \sigma^2$. Find least-squares estimators of the coefficients a, b, and c.

6-5 Using the results of Exercise 6-4, fit the model $x_t = a + bt + ct^2 +$ to the data below. Estimate the error variance. How many degrees freedom are associated with experimental error?

t	1	2	3	4	5	6
x	9	13	15	22	35	50

6-6 *Weighted Simple Linear Regression.* Suppose the data for the sim linear regression model $x_t = a + bt + \varepsilon_t$ are such that we can no lon assume $V(\varepsilon_t)$ to be constant. Instead, $V(\varepsilon_t) = \sigma_t^2 = \sigma^2/w_t$, where weights w_t are known constants. Show that the least-squares nor equations are

$$\hat{a}\sum_{t=1}^{T} w_t + \hat{b}\sum_{t=1}^{T} tw_t = \sum_{t=1}^{T} w_t x_t$$

$$\hat{a}\sum_{t=1}^{T} tw_t + \hat{b}\sum_{t=1}^{T} t^2 w_t = \sum_{t=1}^{T} tw_t x_t$$

6-7 Consider the data shown below, which represent the monthly deliv of a certain model automobile to a dealer.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Deliveries	52	64	85	90	82	75	73	41	59	95	85	60	50

Fit the regression model

$$x_t = a_0 + a_1 \cos\frac{\pi t}{3} + a_2 \sin\frac{\pi t}{3} + \varepsilon_t$$

to these data using least squares.

6-8 Consider the data shown on page 480, which represents the past four ye of demand for a double-knit polyester textile fabric.

MONTH	1968	1969	1970	1971
January	317	460	538	626
February	194	400	570	690
March	312	392	601	680
April	316	447	565	673
May	325	452	585	615
June	338	517	604	718
July	317	572	527	745
August	350	395	603	767
September	428	410	604	728
October	411	579	790	788
November	495	582	714	793
December	410	558	655	777

(a) Use a six-month moving average to forecast demand for a one-period lead time. Assume that a constant model is appropriate.

(b) Assume that a linear trend process is generating this data. Use a double moving average with $n = 6$ months to forecast demand for a one month lead time. Compare the results with those obtained in part (a).

6-9 For the data in Exercise 6-8, forecast demand for a one period lead time using simple exponential smoothing with $\alpha = 0.1$. Then repeat the forecasting procedure using double exponential smoothing ($\alpha = 0.1$). Which technique appears to give better results?

6-10 The monthly demand for a plastic container is shown below. Using

MONTH	1968	1969	1970	1971
January	143	189	359	332
February	138	326	264	244
March	195	289	315	320
April	225	293	361	437
May	175	279	414	534
June	389	552	647	830
July	454	674	836	1011
August	618	827	901	1081
September	770	1000	1104	1400
October	564	502	874	1123
November	327	612	683	713
December	235	300	352	487

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PRONOSTICOS DE DEMANDA

ING. JOSE OCAMPO SAMANO

MARZO-ABRIL, 1980

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

SELECCION DE TECNICAS DE PRONOSTICO

Introducción :

Todas las personas, principalmente los funcionarios, cada vez que toman una decisión, se basan en alguna clase de pronóstico. En los últimos años se han desarrollado muchas técnicas de pronósticos para manejar la creciente variedad y complejidad de los problemas gerenciales, debiendo tenerse cuidado en la selección de la técnica adecuada a cada aplicación en particular .

Los objetivos que se pretenden alcanzar en cada caso, deberán considerar el número de técnicas de pronóstico disponibles, cuando se deben de aplicar, que datos necesitan para aplicarse y los resultados concretos que se pretende medir; en los párrafos siguientes se pretende desglosar, los múltiples factores que intervienen en la selección del método adecuado, dividiendolos en factores cualitativos, que dependen de la etapa del producto en que se encuentre su ciclo de vida, es decir de su madurez y en factores cuantitativos que nos auxilien en el establecimiento del costo / beneficio o valor del pronóstico .

ANALISIS CUALITATIVO

I Arbol de Decisiones

Considerando la disponibilidad de datos y la posibilidad de establecer relaciones entre los factores que participan, dependiendo

/

Básicamente todo esto de la madurez del producto.

Las cuatro etapas principales en el ciclo de vida de un producto son :

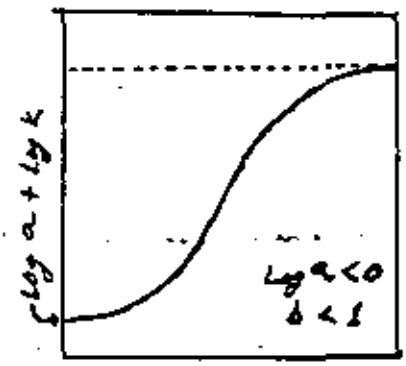
1o. Desarrollo del producto

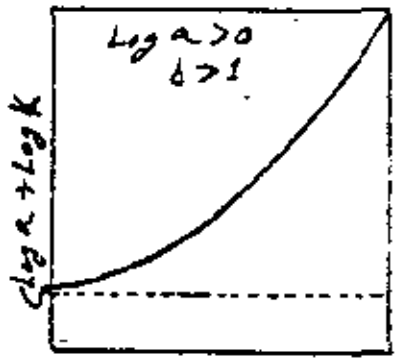
2o. Pruebas de mercado e introducción

3o. Crecimiento acelerado

4o. Estado estable

Las etapas de madurez del producto están bien definidas, pero algunas veces es necesario conocer cuando terminará la etapa de crecimiento acelerado para entrar en la cuarta etapa o estado estable del producto. Uno de los métodos para determinar cuando es la fecha probable para que esto ocurra, es mediante la curva de Gompertz. Esta curva se obtiene aplicando el método desarrollado por el matemático del siglo XIX, Benjamín Gompertz. El modelo de Gompertz describe una función logarítmica asintótica cuyo aumento decrece de acuerdo a una constante porcentual elevada a una variable. Como técnica de pronóstico existen dos formas relevantes de este método, estas son el modelo en forma de "S" con asíntota superior e inferior o el modelo con asíntota inferior, como se muestra en la siguiente figura :





La ecuación general para el modelo de Gompertz es : $Yc = K.a^{b^x}$

Para nuestro objetivo la curva interesante es la que tiene forma de "S", donde la asíntota superior (K) nos define los volúmenes probables a vender en la 4a. etapa; para poder aplicar la ecuación .

Si transformamos esta en su forma logarítmica tendremos :

$\log Yc = \log K + (\log a) \, b^x$

DESARROLLO DEL PRODUCTO

Esta etapa consiste en la planeación comercial de un producto que solo existe en la mente y que se pretende conocer cuales serían los resultados que tendría su futura introducción en el mercado .

Las técnicas de pronóstico nos ayudarán a contestar preguntas tales como :

¿ Cuales serán las alternativas de crecimiento fabricando el producto X ?

¿ Como se ha establecido la cuota para productos similares ?

¿ Debemos entrar en este mercado de productos, y si es así, en que segmentos ?

¿ Como deberemos asignar nuestros recursos de investigación y desarrollo de mercado ?

¿ Que éxito tendrán conceptos diferentes del producto ?

¿ Que penetración en el mercado tendrá el producto X dentro de 5 ó 10 años ?

Pronósticos que ayuden a contestar preguntas de esta naturaleza a largo plazo, deben necesariamente expresarse como suposiciones probables. Una característica común de tales predicciones es que virtualmente es imposible determinar con precisión que pasará dentro de varios años.

Un sistema contínuo de investigación de mercados ayuda a descubrir las preferencias del consumidor (o industria consumidora) y ayuda a aumentar la confiabilidad de las predicciones a largo plazo .

Las decisiones típicas de esta etapa son :

1) Determinación de los recursos necesarios para el desarrollo del producto .

2.) Diseño del producto

3.) Estrategias del negocio

Dependiendo de los datos existentes puede estar o no definido el mercado al que se quiere concurrir.

Para un mercado definido. Si no existen datos del mercado al que se va a concurrir, se pueden conseguir estos de las siguientes formas :

1o. Se puede comparar el producto planeado con productos actuales o planeados de la competencia, clasificandolos en escalas cuantitativas dependiendo de diferentes factores.

A esto se le puede llamar medición de las diferencias del producto. Generalmente este método tiene éxito, cuando se reunen opiniones de personas de diferentes disciplinas, tales como : Mercadotecnia; Planeación; Producción; Jurídico; Ventas; etc.

2o. Se pueden contruir modelos de mercado desglosados (segmentación), separando diferentes submercados para consideraciones y estudios individuales : Ejemplo Areas geográficas, niveles de precios, etc.

3o. Se puede comparar el producto proyectado con su antecesor de características similares.

Para un mercado no definido. Frecuentemente, sin embargo, el mercado para un producto nuevo es definido vagamente o muy pocos datos existen disponibles, el concepto del producto esta en la mente y su historia parece irrelevante, por ejemplo : Automóviles de gas, turbina o eléctricos; casa modulares, etc.

Las técnicas utilizadas para este tipo de casos son : Análisis de entradas y salidas, panel de opiniones y predicciones visionarias.

PRUEBAS DEL MERCADO E INTRODUCCION DEL PRODUCTO

Antes de que el producto entre en la etapa de penetración al mercado en forma acelerada, deben realizarse pruebas en el mercado potencial para medir su grado de introducción.

En esta etapa se obtienen respuestas a preguntas como :

¿ Cual será nuestro plan de mercadeo? En que mercados debemos entrar y en que magnitud?

¿ Que capacidad de producción requerirá la etapa de iniciación?

¿ Conforme al crecimiento de la demanda, deberemos construir la capacidad de producción ?

¿ Como deberemos distribuir nuestros recursos de investigación y desarrollo de mercado con el tiempo ?

Una predicción de ventas en este etapa debería proporcionar tres puntos de información :

1o. La fecha cuando la aceleración de las ventas empieza.

2o. El índice de penetración en el mercado durante esta etapa.

3o. La participación en las ventas en el estado estable .

Las decisiones típicas de la etapa son :

1o. El tamaño óptimo de las instalaciones .

2o. Estrategias de mercadeo, incluyendo distribución y política de precios.

Para determinar cual será la fecha cuando un producto entrara en la etapa de crecimiento acelerado, se pueden emplear métodos estadísticos, verificando el comportamiento de las ventas para comprobar que tan exitosamente el producto está siendo introducido y mediante estudios de mercado para determinar cuando ha habido un incremento significativo con el índice de ventas.

La fecha de entrada al crecimiento acelerado es una función de factores tales como :

La existencia de un sistema de distribución eficiente

La aceptación del cliente.

Las necesidades creadas por el producto.

Los efectos significativos de cualquier índole.

Debe de tenerse cuidado al analizar las ventas inicial es desde que se introdujo el producto al mercado hasta las acumuladas a últimas fechas. Por ejemplo es importante distinguir las ventas

a iniciadores (quienes prueban cualquier cosa nueva) y las ventas a conservadores (quienes compraran un producto solamente cuando ha sido aceptado por el primero).

El grupo conservador es el que proporciona estabilidad a la demanda. La posible vía para estudiar a estos dos grupos es por medio de encuentas, ya que el primero nos puede enseñar a mejorar el producto, mientras el segundo nos indica los deseos y comportamiento del mercado total.

Aunque la investigación estadística es una herramienta útil durante la etapa de introducción del producto, los datos estadísticos muy raramente son suficientes. Investigaciones de mercado tambien pueden ser útiles como se ha indicado, pero es mas común tratar de identificar el producto con otro, cuyos patrones de penetración en el mercado deben ser similares al nuevo.

CRECIMIENTO ACELERADO

Cuando un producto entra en esta etapa, las decisiones mas importantes son las relativas al incremento de la capacidad productiva. Estas traen generalmente y como consecuencia los mayores gastos en el ciclo de comercialización y justifican proyecciones precisas y esfuerzos de investigación de mercados mayores.

Las proyecciones e investigaciones deben de proporcionar las si - guientes premisas :

La verificación de que el producto se encuentre en la etapa de crecimiento acelerado .

Un aviso de alerta cuando las ventas entren al nivel normal de crecimiento estable .

Se debe de averiguar las desviaciones en la curva de crecimiento causadas por las condiciones características de los canales de distribución .

Las decisiones típicas de la etapa son :

1o. Expansión de la capacidad productiva .

2o. Estrategias de mercado.

3o. Planeación de la producción .

Pronósticos a mediano y a largo plazo del índice del crecimiento del mercado y del punto en que las ventas se estabilizan, requieren las mismas técnicas empleadas para la etapa de introducción de un producto .

Cuando un producto ha entrado en la etapa de crecimiento acelerado existen generalmente suficientes datos disponibles para contruir métodos estadísticos, posiblemente hasta modelos de crecimiento causales (a pesar de que mas tarde, sea necesario verificar las condiciones pre-establecidas) .

La mejor forma de analizar un sistema es estudiar sus movimientos dinámicos y comprobar si las condiciones preestablecidas se cumplen correctamente. Los métodos estadísticos proporcionan una buena base a corto plazo para estimar y comprobar el índice de crecimiento y el reconocimiento de las señales cuando los puntos de cambio aparecen. Generalmente los inventarios a lo largo del canal de distribución siguen una curva "S", lo que crea la necesidad de tener un inventario inicial muy elevado y períodos subsecuentes entre los cuales varía el inventario desde niveles altos hasta muy bajos.

Cuando se utilizan intermediarios en los canales de distribución generalmente distorcionan la continuidad de las ventas al consumidor final.

Una de las actividades importantes durante esta etapa consiste en comprobar los estimados iniciales y si ellos están incorrectos tratar de identificar tan preciso como sea posible, el error en el estimado original y producir un pronóstico corregido.

ESTADO ESTABLE

Las decisiones de esta etapa son muy diferentes a las que se han efectuado en las etapas anteriores. La mayoría de los recursos de planeación de mercados han sido eliminados y las tendencias e índices de crecimiento alcanzado una razonable estabilidad. Pero es posible que ocurran cambios en la demanda y en las ganancias, debido a modificaciones en las condiciones, tales como productos nuevos y competitivos, dinámica en los canales de distribución.

etc. Por lo cual se deberán mantener los sistemas de información actualizados.

Sin embargo se puede concentrar la atención en las siguientes áreas :

1o. Planeación de la producción a corto y largo plazo.

2o. Desarrollar proyecciones para mejorar las ganancias planeadas .

También se deberá establecer un sistema de información para identificar la declinación de la demanda del producto.

Las decisiones típicas en esta etapa son :

1o. Promociones especiales

2o. Política de precios

3o. Planeación de la producción

4o. Planeación y control de inventarios .

En la planeación de la producción y en el establecimiento de la estrategia del mercado a corto y mediano plazo, la primera consideración es generalmente, estimar con más precisión el presente nivel de ventas y el grado con que este nivel cambia.

Se puede recurrir a los siguientes metodos :

a) A estimados de tendencias y estacionalidades que afectan obviamente el nivel de ventas. Las estacionalidades son especialmente importantes para la planeación de la producción total en un periódo de tiempo y un adecuado control de-

inventarios. Para este estudio es necesario aplicar análisis de series de tiempo y técnicas de proyección.

b) Se debe de correlacionar el nivel de ventas futuras a factores que son mucho más fácilles de predecir o identificar .

Para hacer esto es necesario contruir modelos causales.

En general en este punto del ciclo de vida de un producto existen suficientes datos series de tiempo y adecuadas relaciones cuasales disponibles, conocidas de experiencias directas y de estudios de mercado. Cuando menos se debe de contar con datos históricos de los últimos años.

II TECNICAS BASCIAS DE PRONOSTICOS .

A métodos cualitativos .

Estos métodos consisten en tomar opiniones de expertos e información acerca de eventos especiales en los que se puede considerar o no la historia.

Se utilizan cuando los datos son escasos, por ejemplo:

Cuando un producto es introducido al mercado. Emplean criterios y esquemas de clasificación para convertir información cualitativa en estimado cuantitativo. Se emplean en pronósticos a largo plazo. Su objetivo es conducir de una manera lógica, imparcial y sistemática la información, tratando de relacionar los factores implícitos. Tales técnicas son frecuentemente utilizadas en áreas de tecnologías nuevas, donde el desarrollo de un producto-idea es difícil de definir y donde el índice de aceptación y penetración en el mercado es incierto .

Los métodos más utilizados son :

1o. METODO DELPHI

Consiste principalmente en que un grupo de expertos son interrogados a travez de cuestionarios secuenciales en los cuales, las respuestas a un cuestionario se utilizan para producir el siguiente. Parte de los expertos recibe cierta información y el resto recibe otra clase de datos, de tal manerade que estos tengan acceso a la información, pero en forma parcial y diferida. Cada vez la muestra reduce y los datos son más selectivos. Esta técnica elimina el efecto de la influencia de la opinión de la mayoría.

2o. PANEL DE OPINIONES

Se basa en la información de un panel de expertos en exposición abierta para llegar a un pronóstico.

Esta técnica presupone que varios expertos pueden llegar a un mejor pronóstico que opiniones personales aisladas, debido a que se propicia la comunicación entre los participantes. El pronóstico es algunas veces influenciado por factores sociales y puede no reflejar la verdadera opinión .

3o. PREDICCION VISIONARIA

Es el pronóstico de posibles acontecimientos en el futuro, basados en la experiencia de hechos pasados y en puntos de vista personales. Como se caracteriza por el uso de la imaginación de los colaboradores, este método no se considera científico .

4o. ANALOGA HISTORICA

Este es una análisis comparativo del desarrollo de productos similares basado en patrones de similitud.

3 METODOS ESTADISTICOS

Se basan en patrones y cambios en los patrones y utilizan indispensablemente los datos históricos.

1o. ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO

Consiste básicamente en aislar para su estudio sus cuatro principales componenetes : a) Tendencia, b) Movimientos Periódicos, c) Movimientos Cíclicos y d) Variaciones Irregulares. Generalmente estas cuatro componentes están presentes en una serie de tiempo y son coexistentes. A continuación se presenta una descripción de cada uno de estos elementos y de los métodos estadísticos usados para su determinación cuantificación y análisis .

a) TENDENCIA

Cuando se considera un periódo lo suficiente largo, una serie de tiempo, muy probablemente presentará un comportamiento que involucra una trayectoria creciente o decreciente de tal naturaleza que generalmente puede ser representada en forma más o menos aproximada por uno o más modelos matemáticos a esto se le conoce como tendencia .

Existen dos razones importantes, para determinar la tendencia de una serie de tiempo, la primera es medir las desviaciones de los datos respecto a la tendencia. Estas desviaciones consisten en movimientos cíclicos, estacionales e irregulares. Frecuentemente el obtener estas desviaciones es un paso en el intento de aislar los ciclos para su estudio .

La segnda es estudiar la tendencia misma para determinar el efecto de los factores relacionados con la trayectoria de la serie, comparar la tendencia con otras, descubrir que efecto tienen los movimientos de la tendencia sobre las fluctuaciones cíclicas y tratar de pronosticar el comportamiento de la tendencia en el futuro.

El método mas sencillo, y el que se recomienda, como el primer paso en el analisis de una serie de tiempo, es graficar los datos originales en papel aritmético y determinar la tendencia por inspección. El procedimiento usado con mas frecuencia es el de ajustar los datos, mediante mínimos cuadros a una línea $y = a + bx$ cuya expresión matemáticia es conocida .

Las curvas que con mayor frecuencia son utilizadas para representar este elemento de las series son.:

TIPO DE CURVA	EXPRESION	FORMA LOGARITMICA
Curva de 2o. grado	$Y=A+BX+CX^2$	----------
Exponencial	$Y=AB^X$	$\text{Log } Y=\text{Log } A+X \text{ Log } B$
Exponencial modificada	$Y=K+AB^X$	----------
Curva de Gompertz	$Y=KA^{B^X}$	$\text{Log } Y=\text{Log } K+ (\text{Log } A)B^X$
Curva logística	$1/Y=K+A^{B^X}$	----------

La curva de Gompertz se analizó anteriormente, por ser la que en su comportamiento se involucran las cuatro etapas de la vida de un producto .

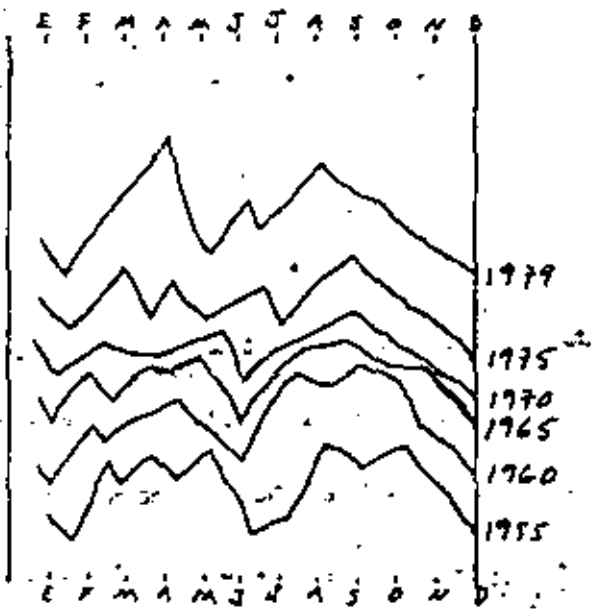
b) MOVIMIENTOS PERIODICOS

Es aquel que se repite con cierto grado de regularidad dentro de un periódo definido de una serie de tiempo.

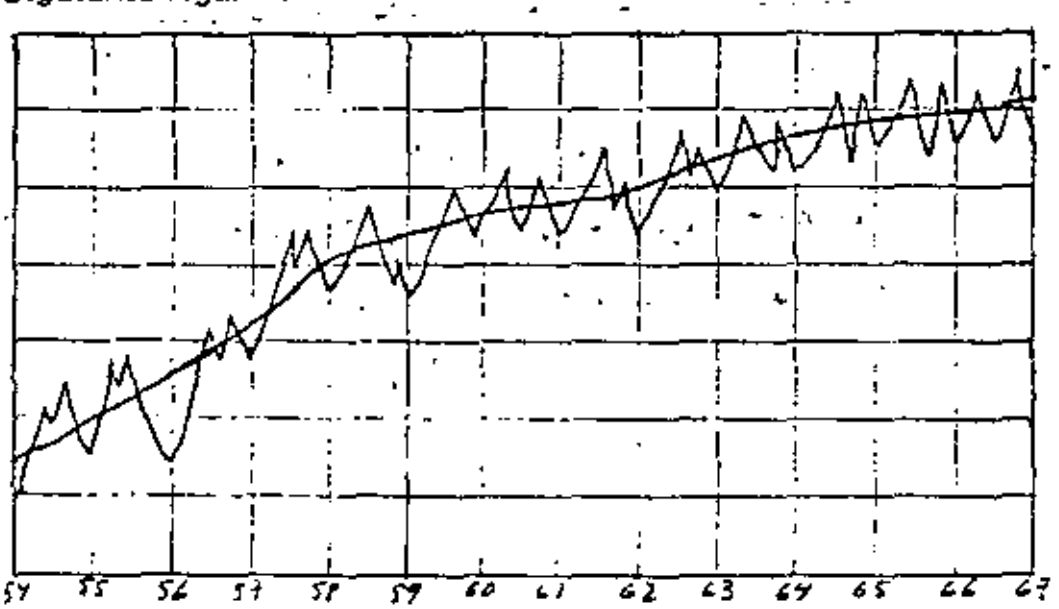
Existen varios tipos de movimientos periódicos, incluyendo aquellos que se repiten en formadiaria, semanal, mensual y anual. Aqui nos enfocaremos al análisis de movimientos mensuales, tambien conocidos como movimientos estacionales, por ser generalmente los de mayor interés. Estos métodos pueden ser adaptados fácilmente a los otros tipos de movimientos periódicos. Existen dos clases de movimientos estacionales, uno cuyo patrón a comportamiento se presenta año con año y otro cuyo patrón varía anualmente .

i) Antes de empezar a calcular un índice de estacionalidad, debe uno asegurarse de que existe un movimiento estacional en la serie mediante la elaboración de una gráfica en la cual la línea de los datos vs meses de cada año es colocada en un nivel superior a la corres-

pondiente del período anterior, esto nos permitirá observar claramente si existe o no movimiento estacional constante año con año.



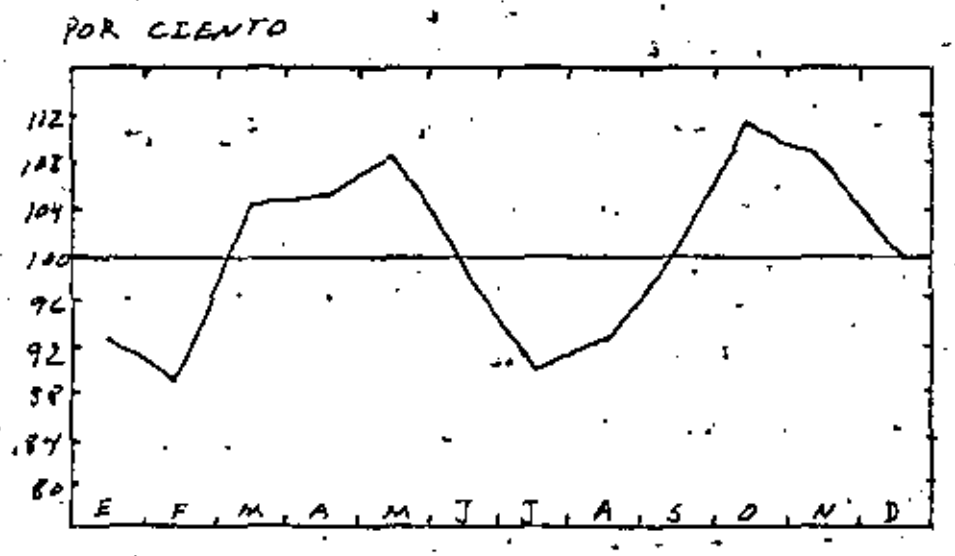
Porcentaje respecto a promedios moviles centrados de 12 meses : este método consiste en calcular el promedio movil de 12 meses, el cual es un estimado de los elementos de tendencia y movimientos cíclicos de la serie (T x C), ya que suaviza o elimina los movimientos estacionales y la mayor parte de las variaciones irregulares (E x I) como puede observarse en la siguiente figura :



donde la línea central es la gráfica de los promedios móviles. Si dividimos los datos originales que contiene los cuatro elementos de la serie entre el promedio móvil correspondiente, se obtiene :

$$\frac{T \times C \times E \times I}{T \times C} = E \times I$$

que es un indicador de la estacionalidad, aunque conteniendo todavía las variaciones irregulares, las cuales se manifiestan como puntos extremos en los juegos de índices correspondientes a cada mes como puede observarse en la siguiente figura .

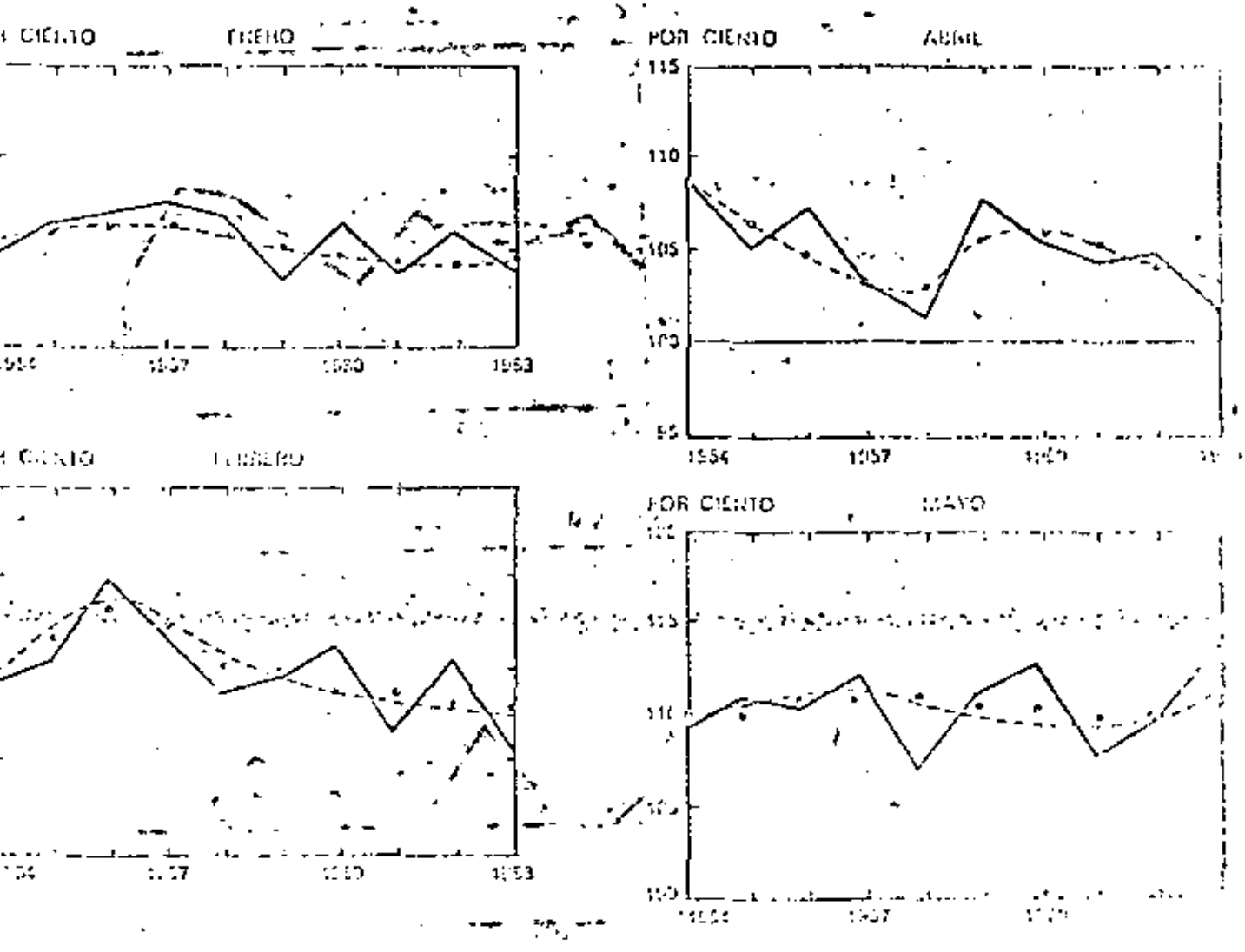


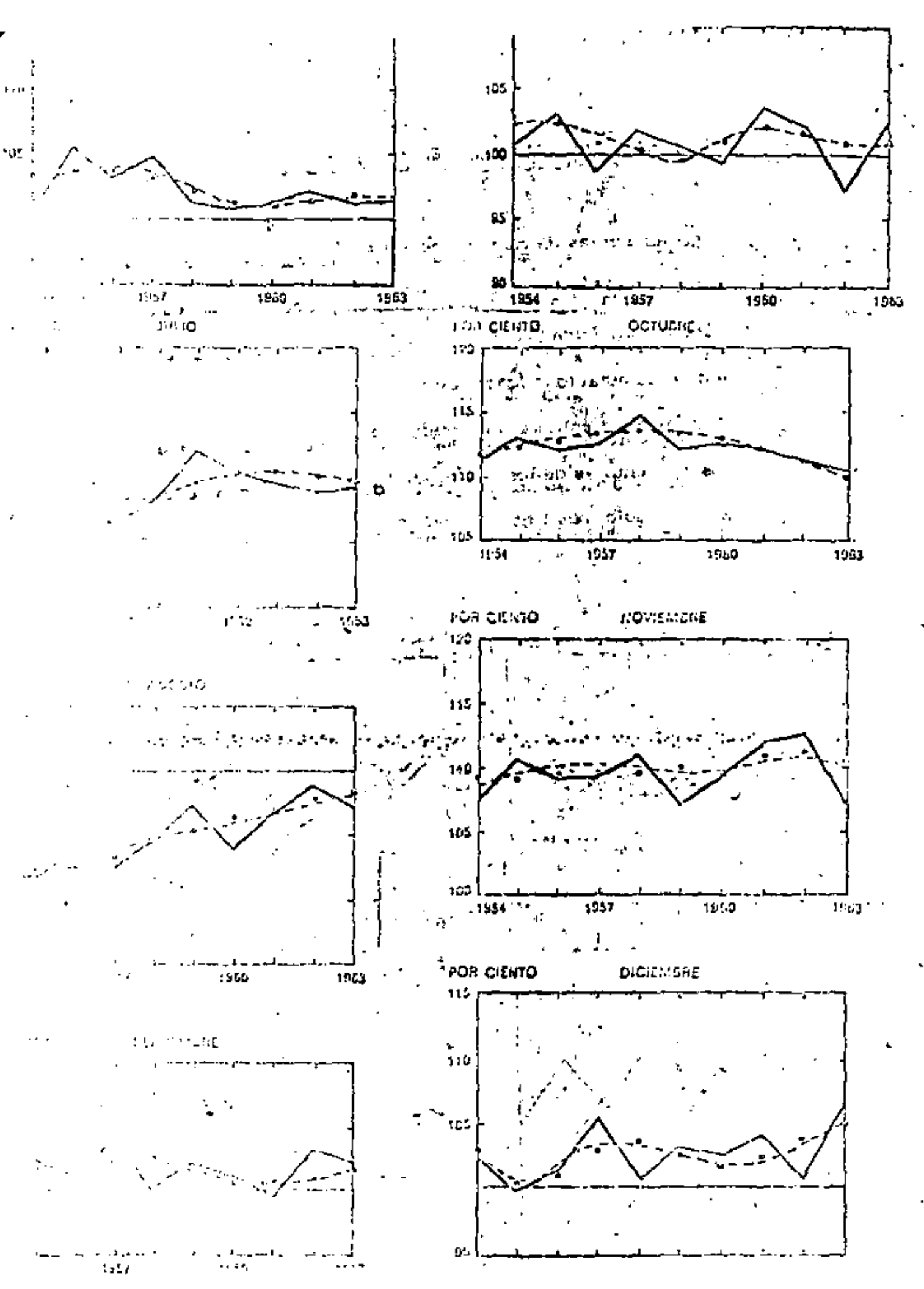
La forma más frecuente de eliminar estas variaciones es calcular una media aritmética modificada de cada grupo, eliminando estos puntos extremos (mayor y menor). Dicha media artimética es el índice de estacionalidad (E) .

II) - PATRON VARIABLE DE ESTACIONALIDAD .

Algunas series de tiempo presentan movimientos estacionales cuyo patrón cambia año con año, estos cambios pueden ser graduados o repentinos. Para cuantificar este efecto es necesario calcular un índice de estacionalidad móvil.

Esto se hace calculando o trazando la línea de tendencia que sigue los porcentajes de los datos originales de cada mes con respecto a su promedio móvil como puede observarse en las siguientes gráficas




105
100
95
90
1954
1957
1960
1963
POR CIENTO
OCTUBRE
115
110
105
1954
1957
1960
1963
POR CIENTO
NOVIEMBRE
115
110
105
1954
1957
1960
1963
POR CIENTO
DICIEMBRE
115
110
105
95

c) MOVIMIENTOS CICLICOS

Habiendo determinado y expresado matemáticamente la tendencia y calculado los índices de estacionalidad, es posible aislar los elementos cíclicos y las variaciones irregulares, decentralizando la serie, operación que consiste en dividir los datos originales $T \times E \times C \times I$ entre los índices de estacionalidad (E) correspondientes :

$$\frac{T \times E \times C \times I}{E} = T \times C \times I \qquad \frac{T \times C \times I}{T} = C \times I$$

Los datos que solo contienen ya los movimientos cíclicos y las variaciones irregulares, muestran claramente los movimientos cíclicos de la misma serie.

No es posible eliminar completamente las variaciones irregulares, sin correr el riesgo de sobresuavizar la serie.

d) VARIACIONES IRREGULARES

Si se intenta estudiar las variaciones irregulares, es posible aislarlas dividiendo los datos $C \times I$, obtenidos en el análisis de los movimientos cíclicos, entre los valores C resultantes de la aplicación de los promedios móviles de corto plazo a los datos $C \times I$ obteniéndose :

$$\frac{C \times I}{C} = I$$

2o. SUAVIZACION EXPONENCIAL

El método consiste en calcular un promedio móvil ponderado de los datos disponibles, dando mayor peso a los mas recientes y en el cual, la rutina de cálculo ha sido adaptada a las características de los equipos de procesamiento electrónico de datos :

La forma de establecer la ponderación de la historia consiste en determinar un factor de peso, llamado constante de suavización (α) que toma valores en el intervalo (0,1) e indica cual es la importancia que se le aignará al dato mas reciente, la porción de importancia restante ($1-\alpha$) se distribuye entre los demás datos de la serie de la siguiente manera : el siguiente dato mas reciente $\alpha(1-\alpha)$ es decir su importancia será el $(1-\alpha)$ % de la importancia del dato mas nuevo; la importancia de la siguiente observación en edad será $(1-\alpha)(1-\alpha)$ ó $(1-\alpha)^2$ o sea el $(1-\alpha)$ % de la importancia del dato inmediato anterior y así sucesivamente . Por ejemplo asignamosle un valor de $\alpha = 0.2$ el peso o importancia de la onservación mas reciente es 0.2 , el del siguiente será $0.2 \times 0.8 = 0.16$ que es el 80 % del peso del anterior, al tercero le corresponderá $0.16 \times 0.8 = 0.128$ que es el 80 % de la importancia del inmediato anterior, etc. Esto hace que conforme aumenta la edad del dato influya menos en la estimación del futuro. Esto expresado en forma de un modelo matemático sería : $S_t = \alpha X_t + (1-\alpha) S_{t-1}$ (X)

donde el nuevo valor suavizado $S_t(X)$ es igual al valor suavizado anterior mas la última observación, ambos afectados por sus respectivos factores de peso. Sustituyendo el valor suavizado anterior por su expresión se obtiene :

$$S_t(X) = \alpha X_t + (1-\alpha)\left[\alpha X_{t-1} + (1-\alpha) S_{t-2}(X)\right]$$

$$= \alpha X_t + \alpha(1-\alpha) X_{t-1} + (1-\alpha)^2\left[\alpha X_{t-2} + (1-\alpha) S_{t-3}(X)\right]$$

$$S_t(X) = X \sum_{k=0}^{t-2} (1-\alpha)^k X_{t-k} + (1-\alpha)^{t-1} X_1$$

que representa la suavización con modelo constante (línea horizontal)

En la práctica es recomendable obtener constantes de suavización que tengan valores no mayores entre 0.1 y 0.3, puesto que alfas de esta magnitud permiten considerar la totalidad o casi la totalidad de la historia, constantes mayores (0.5,0.6, etc.) debido a la disminución acelerada que producen sobre la importancia, anularían el efecto de los datos mas antiguos . Cunado $\alpha > .3$ es necesario comprobar la validez del modelo usado para el ajuste .

C MODELOS CAUSALES

Utilizan información específica y altamente refinada, acerca de la relación entre los elementos del sistema y son lo suficientemente relevantes para considerar eventos especiales en su proceso.

Un modelo causal es la más sofisticada de las herramientas de pronósticos. Expresa matemáticamente las relaciones causa- efecto más importantes, puede incluir consideraciones de distribución e in-

formación de encuestas en el mercado y puede incorporar directamente el resultado del análisis de series de tiempo.

El modelo causal toma en cuenta todas las cosas conocidas en la dinámica del diagrama de flujo del sistema y utiliza predicciones de sucesos posibles, tales como acciones de la competencia, huelgas y promociones. Si los datos están disponibles, el modelo generalmente incluye factores para cada posición del diagrama de flujo y los conecta con ecuaciones que describen el flujo general.

Si cierta clase de datos son dudosos, al principio será necesario hacer congeturas acerca de algunas relaciones y entonces tratarlas de comprobar para determinar si estas son verdaderas.

Es típico, que el modelo causal sea continuamente revisado, debido a que se conoce mejor el sistema cuando se pone en operación.

Los modelos causales son con mucho los mejores para predecir los puntos de cambio y para preparar proyecciones a largo plazo.

1o. MODELO DE REGRESION

Relaciona las ventas e índices económicos, de competencia o variables internas en una ecuación que utiliza la técnica de mínimos cuadrados. Las relaciones deben en primer lugar analizarse estadísticamente y cualquier correlación deberá ser fundamentada en elementos racionales".

2o. MODELO ECONOMICO

Un modelo econométrico es un sistema de ecuaciones de repre-

sión interdependientes que describen el comportamiento de algún sector de la economía o actividad rentable. Los parámetros de las ecuaciones de regresión son generalmente estimados simultáneamente. Como regla, estos modelos son costosos y este depende del detalle de información. Sin embargo, debido al sistema de ecuaciones implícitas en tales modelos, expresan mejor las causas que en modelos de regresión ordinarios y permiten predecir los puntos de cambio con mayor presición.

3o. MODELO DE ENTRADAS Y SALIDAS

Este método de análisis se refiere a interconectar o correlacionar el flujo de bienes y servicios interindustriales o interdepartamentales de la empresa y de la economía del país y sus mercados. Muestra que entradas deben de participar para obtener ciertas salidas. Esfuerzos considerables deben de realizarse para utilizar estos modelos correctamente. Requieren de datos específicos que casi nunca están disponibles y son difíciles de obtener, pero son necesarios para aplicarse a productos o negocios específicos. Es un método sumamente caro.

4o. INDICADOR BASE

Este método consiste en el análisis de una serie de tiempo de una actividad económica específica, cuyos movimientos van en determinada dirección, precede al movimiento de algún otra serie de tiempo en la misma dirección.

III SISTEMAS DE INFORMACION

1o. Investigación de Mercados

Se puede utilizar para cualquiera de los tres tipos de técnicas de pronósticos. Se define como : La busqueda y el análisis sistemático y objetivo de información relevante a un problema o asunto comercial, con objeto de descubrir datos para una decisión .

Existen los diferentes tipos característicos que se mencionan a continuación :

A Investigación de actuación comercial

A-1) Investigación de potencial del mercado

A-2) Investigación de dimensión del mercado

A-3) Investigación de participación en el mercado

A-4) Analisis de ventas

A-5) Proyección de ventas

B Investigación de Productos

C Investigación de Promoción

D Investigación de Distribución

E Investigación de Precios

F Investigación de Compañías

G Investigación Estructural del Mercado (censo básico)

2o. Intenciones de Compra y Encuestas Previas

Estas encuestas determinan :

a) Las intenciones de compra de determinados productos.

b) Un índice que mide el sentimiento general de la situación presente y de la futura. Se estima la forma como estos sentimientos afectarán los hábitos establecidos.

Sirven básicamente para detectar si los puntos de cambio están mal diseñados y evitar que esto ocurra.

3o. Análisis del Ciclo de Vida

Este es el análisis y pronóstico del índice de crecimiento de nuevos productos, mediante curvas de Gompetz ("S"), basados en la aceptación de las diversas partes de la etapa por varios grupos, tales como indicadores, adaptativos iniciales, mayoría inicial, mayoría final y últimos compradores.

ANALISIS CUANTITATIVO

En general se debe de escoger la técnica que hace el mejor uso de los datos disponibles. Se debe de evitar utilizar técnicas muy avanzadas que requieran de información inexistente o difícil y costosas de conseguir.

Necesariamente productos distintos requieren diferente clase de técnicas de pronósticos, por ejemplo cuando el producto es un bien de capital y cuando el producto es un bien de consumo.

Parámetros de desición.

Antes de escoger la técnica de pronósticos es necesario definir los parámetros de decisión, contestando las siguientes preguntas :

1o. Cual es el propósito de la proyección y como será utilizada?

Esto nos determina la presición y el alcance de las técnicas que se utilizarán.

2o. Cual es el costo-beneficio o el valor del pronóstico ?

Se tiene que valorizar entre los gastos ocasionados por la técnica empleada contra los ahorros de costos o beneficios logrados. Generalmente a mayor precisión y confiabilidad del pronóstico el costo se incrementa, este se tiene que comparar contra el costo ocasionado por las malas decisiones por no contar con los elementos que los proporcionen la información decisoria suficiente.

3o. Cuales son los componentes y fuerzas dinámicas del sistema que se utilizará?

Esto aclara la relación entre las variables participantes.

Generalmente, se debe de revisar el diagrama de flujo que muestra la posición relativa de los diferentes elementos del sistema de ventas, sistema de producción, o cualquier sistema u organización que tomen parte.

Debe de especificarse lo que esta bajo el control de la compañía y lo que no está, esto es el total de los elementos que toman parte, las entradas y salidas, especificando los datos que no están disponibles o que son muy costosos de obtener, para de esta manera

conocer cuando el método de pronóstico escogido es limitado .

En las partes del sistema donde la compañía tiene control total, se deben de señalar las relaciones causa-efecto que puden aportar factores causales que seran de suma utilidad en la técnica de pronóstico utilizado.

Una vez que estos factores y su relación han sido determinados, se puede contruir un modelo causal del sistema, en el cual relaciona los dos factores (causa - efecto) y la logística de la situación, lo cual constituye, la base de sofisticación de los pronósticos.

4o. Cual es la importancia del pasado en la estimación del futuro ?

Los cambios significativos en el sistema como son nuevos productos, nuevas estratégias de la competencia, etc. que disminuyen la similitud del pasado y el futuro.

Los cambios recientes a corto plazo no alterarán todas las formas establecidas, pero los efectos de los cambios a largo plazo, generalmente se incrementa .

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

LOGISTICA Y MANEJO DE MATERIALES
– PLANEACION DE INVENTARIOS

M. EN C. JUAN BUENO ZIRION

MARZO-ABRIL, 1 9 8 0

3.1 PLANEACION DE INVENTARIOS.

3.1.1. Introducción.

Nuestro tema es el grupo de métodos matemáticos y cuantitativos conocidos con el nombre de planeación del inventario. A primera vista, las palabras "planeación del inventario", parecen prácticamente evidentes, y el dar una definición semeja una redundancia. En cuanto a "planeación", difícilmente sería necesario aclarar su significado, o "inventario" trae inmediatamente a la mente un acopio de alguna clase de mercancías materiales. El problema del vendedor a menudeo, o el del fabricante, puede tomarse como modelo. Para vender un artículo debe mantener existencias del mismo para satisfacer la demanda Al agotarse sus existencias hará un pedido, o producirá el artículo para poder seguir satisfaciendo su demanda. Siendo ésta la naturaleza de un inventario, se deduce que su planeación debe tratar de la lógica en que se basa o debe basarse este procedimiento. Entonces, pudiera ser una definición la siguiente: la planeación del inventario trata de la determinación de los procedimientos óptimos de adquisición de existencias de artículos para satisfacer la demanda futura. La recolección de la enorme variedad de marcancías, de las cuales alguien tiene que encargarse de mantener existencias, sugiere que se presentará un número considerable de casos especiales dentro de la planeación definida de esta manera, pero parece ser que la definición es lo suficientemente amplia para abarcarlos a todos, sin embargo, añadiremos un comentario más en este punto. Hasta ahora nada se ha dicho respecto a costos, valores, y en realidad no hemos mencionado las características económicas. Por supuesto, tendremos ocasión de discutir estos aspectos en seguida, no obstante, claro está, que prácticamente todos los inventarios, sean o no cosas tangibles, tienen valor económico. El reconocer este hecho nos permite formular una alternativa de la definición, pero equivalente, que coloque el problema de los inventarios en una perspectiva diferente. Dicha definición la sugirió Fred Hanssman: Un inventario es un recurso ocioso de cualquier clase, con tal que este recurso tenga valor económico. Entonces la planeación de los inventarios trataría de la determinación de la magnitud óptima de este recurso ocioso. La cualidad de futuro tadavía es válida, ya que un recurso ocioso que sea el resultado de una decisión pasada representa un costo de

amortización para la decisión futura. El planear por anticipado la cuantía del recurso ocioso es el tema de la teoría de inventarios en esta definición.

3.1.2.-LA ESTRUCTURA DE LOS PROBLEMAS DE LOS INVENTARIOS.

En nuestra definición se llama la atención sobre dos aspectos del problema del inventario; el de obtener la mercancía o cosa en cuestión y la demanda futura. Cada uno introduce alguna diferencia importante entre los problemas de inventario. Vamos a considerar primero la demanda. Evidentemente, se presentará algún nivel específico de la misma en cualquier punto dado en el tiempo. Pero cuando deba tomarse la decisión de inventario, la cuestión importante es lo que sepamos referente al nivel de la demanda futura. Siguiento la costumbre tradicional en la teoría de las decisiones, podemos resumir convenientemente las posibilidades con relación a nuestro conocimiento de la demanda futura en tres categorías; primera: en las que podemos conocer exactamente cuál va a ser la demanda futura. Este no es un caso muy frecuente, pero puede ilustrarse con la construcción de un rascacielos con respecto al inventario de trabes de acero. En este caso podemos saber exactamente cuántas trabes vamos a necesitar durante cada semana que dure la construcción. A este caso se le llama problema de inventario con certidumbre. Segunda: podemos conocer la distribución probabilística de la demanda futura. Existe la posibilidad de que se disponga de esta información para el artículo en cuestión si se cuenta con registros de la demanda anterior. Un ejemplo pudiera ser el inventario de llantas para una flota de taxímetros, o el inventario de pan de un supermercado. A este caso se le llamaría problema de inventario con riesgo. Tercera: podríamos ignorar la probabilidad de los niveles que alcanzaría la demanda futura. Verosímilmente la ignorancia completa es tan rara como la completa certidumbre y discutiremos las maneras en las que puede usarse la información parcial; pero, por ahora, resulta útil presentar este caso extremo como una posibilidad. Un ejemplo podría ser el problema de inventario de la capacidad de una planta para fabricar un producto nuevo para el que no existen analogías de mercado. A este caso se le llamaría problema de inventario con incertidumbre. Estas

son entonces las tres clases esencialmente diferentes de problema de inventario con relación a nuestro conocimiento de la demanda futura.

Los procesos de adquisición introducen dos clases de diferencias. Generalmente, existe algún retraso entre la hora en que se hace un pedido y la hora en que la mercancía o cosa en cuestión se recibe realmente en el inventario. La primera diferencia es en tal sentido En algunas clases de problemas de inventario el retraso es constante o casi constante. En otros problemas de inventario existe una distribución probabilística en los retrasos posibles. Esta diferencia tiene importantes consecuencias en el análisis del problema de inventario. La segunda divergencia proviene del hecho de que algunas compañías ordenan la mercancía en cuestión a un abastecedor fuera de la compañía, mientras que otras compañías producen ellas mismas las mercancías. En efecto, en este último caso, una parte de la compañía pide la mercancía a otra fracción de la misma entidad. Esta diferencia tiene un efecto fundamental en el análisis del problema de inventario, porque la compañía autosuficiente debe considerar el efecto de las políticas empleadas para hacer sus pedidos, no solamente con respecto al inventario, sino también con relación al proceso de producción. En otras palabras, el problema de inventario en las compañías autosuficientes es posiblemente más complicado que el de las compañías que se abastecen de otras.

3.1.3. LA ESTRUCTURA DEL ANALISIS.

El análisis de los problemas de inventario se basa fundamentalmente en una observación muy sencilla de sentido común. Y es que en cualquier problema genuino de inventario que sea debe haber costos opuestos. Queremos decir con esto simplemente que debe haber costos asociados a la cuestión de hacer "demasiado" y que debe haber costos asociados a la cuestión de hacer "muy poco". Algunas veces existen varios de estos costos, pero debe haber cuando menos uno en cada dirección. Estos postulados son muy vagos, y la pregunta inmediata que originan es: "demasiado" o "muy poco", ¿de qué?
Puede responderse a esta pregunta casi de modo directo anticipándo-

se ligeramente a una discusión posterior. La resolución de cualquier problema específico de inventario requiere las respuestas a dos preguntas. Primera: ¿Qué tan a menudo debe ordenarse la mercancía? Segunda: ¿Cuánto debe ordenarse de la mercancía en cualquier pedido particular?.

¿Qué tan a menudo de be ordenarse la mercancía? La respuesta precisa requiere el análisis del problema específico, pero sabemos dos cosas respecto a la frecuencia de los pedidos. Primera: debe existir un costo asociado a la cuestión de ordenar con demasiada frecuencia. Si éste no fuera el caso, entonces la mercancía se ordenaría con la frecuencia máxima posible, quizá haciendo un pedido por separado para cada artículo solicitado. Ahora, en realidad, éstos pueden ser los lineamientos óptimos para hacer los pedidos de algunas mercancías, mas esto no es lo que se discute. Si no hubiera costo asociado a la cuestión de hacer pedidos con mucha frecuencia, entonces, sencillamente, no habría problema y no sería necesario el análisis. Es precisamente la existencia de este costo lo que crea el problema. Segunda: debe haber algún costo asociado con la cuestión de no hacer pedidos con la frecuencia necesaria. Si no existiera este costo, la mercancía no se pediría en su totalidad o, como alternativa, podría hacerse un pedido gigantesco de la mercancía en cuestión. Si cualquiera de estos dos costos opuestos no existieran, no habría problema de inventario con respecto a la frecuencia de pedidos, y los lineamientos óptimos sería optar por una de las dos soluciones extremas indicadas.

¿Cuánta mercancía debe pedirse? De nuevo podemos estar seguros de que existen los dos costos opuestos. Si no hubiese costo asociado a la cuestión de pedir demasiado, entonces, automáticamente, se pediría una cantidad enorme. En forma semejante, si no hubiera un costo asociado a la cuestión de ordenar muy poco, en tal caso el inventario no tendría existencias. Si estos costos no existieran, simplemente no habría problema de inventario en función de la cantidad de mercancía que debe pedirse. De manera que aquí también encontramos los costos opuestos que mencionamos en el primer párrafo de esta sección. En todos los problemas de inventario existen estos costos opuestos, y el primer paso del análisis debe ser determinar cuáles son los costos, y luego, si es posible, medirlos. Discutiremos estas

cuestiones con alguna extensión en la sección siguiente.

Admitida la existencia de estos costos opuesto, ¿cómo procede el análisis? Básicamente, reconociendo el hecho de que el objetivo usual en los problemas de inventario será la minimización del costo total respectivo, no meramente una minimización de uno o de otro de los costos opuestos. El método usado para lograrlo depende directamente de nuestros conocimientos con respecto a la demanda futura. Si se conoce la demanda con certidumbre, y suponiendo que los costos relevantes puedan medirse, el costo total puede determinarse para cada conducta posible, y aquella con la que se obtenga el costo total inferior puede elegirse directamente. Si estamos tratando con un problema de inventario con riesgo, no podemos conocer por anticipado cuáles de las diferentes cuantías de la demanda pueden en realidad acontecer. Sin embargo, como conocemos las probabilidades con las que pueden ocurrir las diferentes magnitudes de la demanda, podemos calcular el costo probable para cada línea de conducta posible. Entonces podemos elegir aquella que minimice el costo probable total. Si el problema de inventario es con incertidumbre, no existe procedimiento generalmente aceptado que deba seguirse, pero hay algunos procedimientos eminentemente razonables que pueden usarse. Nos reservaremos la discusión de este caso para tratarlo por separado posteriormente.

3.1.4 LOS COSTOS RELEVANTES.

En nuestra discución anterior concentramos nuestra atención en la importancia crucial de la determinación y medida de los costos relevantes en la resolución analítica de los problemas de los inventarios. Vamos ahora a considerar estos costos con más detalles. ¿Cuál es su naturaleza? ¿Cómo podemos medirlos? Trataremos de discutir las clases fundamentales de los costos de los inventarios. Cada costo específico aparece en algunas clases de problemas de los inventarios, pero generalmente no todos los diferentes costos serán relevantes simultáneamente para un solo problema de inventario.

La primera clase fundamental de los costos corresponde a los de adquisición. Se acostumbra dividir estos costos en dos subclases: los

que se producen cuando se compra al exterior, que se llama costos de los pedidos, y los que se originan por autoabastecimiento, a los que se denomina de acondicionamiento o de preparación. Estos costos, en ambos casos, juegan el mismo papel en el planteamiento analítico del problema de inventario. Los costos de los pedidos incluyen todos los componentes que resultan al tramitarlos. Para enviar un pedido al exterior es necesario revisar el artículo pedido y determinar la cantidad que de be pedirse. Luego debe tramitarse el pedido, para lo cual se precisa la contribución del tiempo de varios individuos. Finalmente, es también cierto, que para cada pedido se requiere un cheque por separado para pagarlo, y para esto son necesarios otros trámites oficinescos.

A los costos de adquisiciones del mismo fabricante se les llama costos de preparación. Este nombre, hablando en forma estricta, es correcto sólo cuando estamos considerando el caso de una compañía con una línea de producción que hace un número de artículos a base de órdenes de trabajo. Los costos de preparación se refieren entonces al costo de cambiar el proceso de producción para fabricar el artículo ordenado. En este costo está comprendido el tiempo perdido por el proceso de producción, y por tanto, incluye un costo asociado que por lo general puede determinarse directamente de los registros de la contabilidad de costos. En los problemas de los inventarios añadimos a este costo de preparación del proceso de producción cualesquier costos burocráticos que se produzcan al enviar la orden al departamento de producción. De esta manera, el costo de preparación incluye todos los componentes del costo asociados a un pedido del artículo dado. El caso de la compañía que tiene una línea de producción continua es algo diferente. El problema de inventario de una compañía así es, por definición, de la clase que hemos llamado dinámica. El problema de decisión de inventario es el mismo que el de programación de la producción para una compañía así.

A la segunda clase de costos la llamaremos costos de aprovisionamiento, que son los costos por llevar y por no llevar inventario. El primer costo es el de llevarlo. Incluye varios costos, y puede suceder que no sea necesario incluirlos todos en un problema específico

de inventario. Vamos a describir algunos de estos costos componentes:

1. El costo del efectivo invertido en el inventario. El dinero invertido en el inventario podría utilizarse en otra parte para obtener algún provecho.

2. Costos de almacenaje. El espacio que se requiere para almacenar el inventario generalmente tiene un costo asociado. Decimos "generalmente" porque esto igualmente depende de que haya una alternativa para usar el espacio en cuestión.

3. Costos por desperfectos. Muchas clases de mercancías y artículos bajan de valor durante el almacenamiento. Tal cosa puede ser el resultado de su deterioro real, obsolescencia y aun pillaje.

4. Costos por seguro. Como muchos inventarios requieren seguros, es necesario incluir este costo en el de mantener el inventario.

El costo por no llevar inventario se llama costo por agotamiento. Este costo tiene dos variantes que dependen de la reacción del cliente potencial frente al caso de agotamiento. Por ejemplo, ocurre un caso en las ventas por correo. Si la compañía sufre un agotamiento en su inventario cuando se recibe el pedido, dará lugar a un procedimiento rápido de emergencia para conseguir algunas existencias. A este caso se le llama pedido de entrega diferida. La venta al cliente no se perderá; solamente el embarque sufrirá un retraso de unos cuantos días. Sin embargo, como resultado de la situación de agotamiento habrá costos adicionales: el costo de apresuramiento, costos por manejos especiales, y con frecuencia costos por empaque y embarque extraordinarios. Todos éstos deberán incluirse en el costo por agotamiento. El otro caso sucede cuando la venta se pierde. Por ejemplo, se presenta con frecuencia el caso de que un cliente potencial en una tienda de discos para fonógrafos se rehúsa a hacer un pedido por un artículo agotado. Por el contrario, simplemente va a otra tienda competidora que tiene el artículo en existencia. Ordinariamente, debe considerarse que esto produce un costo; el costo de la buena voluntad es el título que usualmente se le da. Estaría uno tentado a pensar que este costo podría medirse por la ganancia perdida por no hacer la venta, pero esto sería incorrecto por dos razones: Primera, sería un error craso medir el -

costo de esta manera porque produce una confusión entre los costos ordinarios con los de oportunidad. Segunda, cuando nos referimos al costo debido a la pérdida de buena voluntad, estamos pensando en el introspectivamente plausible, el verificable hecho de conducta que asume un cliente potencial que ha encontrado uno o más artículos faltantes en un mercado dado es poco probable que vuelva a ese mercado a hacer otras compras. Por tanto, la tienda sufre una pérdida de ventas futuras que de otra manera habría hecho. Este es el costo que desearíamos incluir en nuestro planeamiento. Apresurémonos a añadir que es extremadamente difícil, y con frecuencia prácticamente imposible, medir este costo.

3.1.5. LOS OBJETIVOS QUE TIENE LA FORMACION DE INVENTARIOS.

Kenneth Arrow, clasifica los objetivos en tres clases, sugeridas por Keynes, como los motivos para mantener existencias o efectivo: motivos de trámite, precautorios y especulativos. El motivo de trámite resulta del hecho de que no es generalmente posible, incluso en el caso de certidumbre, sincronizar perfectamente las entradas y salidas de la mercancía en cuestión. Por tanto, los inventarios se llevan con el objeto de compensar la falta de sincronización. El motivo precautorio proviene de la incapacidad usual para pronosticar la demanda con exactitud: la mayor parte de los problemas de los inventarios son con riesgo, y existe, la necesidad consecuente de mantener un cierto tipo de margen de seguridad. Podemos notar que este motivo operará solamente como resultado de la incapacidad para obtener entregas instantáneas de mercancías, a lo menos sin un costo extra. El motivo especulativo resulta cuando los precios suben, o si se espera que los costos cambien. En estas circunstancias, pueden obtenerse ganancias manteniendo inventarios a un precio inferior hasta obtener el precio más elevado.

3.1.6. EL PLAN DEL CURSO.

Volviendo a las diferencias que hay entre los problemas de inventarios, es fácil calcular que existen muchas clases diversas. Actualmente se conocen otras diferencias que traen consigo considerables=

consecuencias; un buen ejemplo de lo que se acaba de decir lo constituye la larga lista de posibles costos que pueden intervenir, de manera que el número total de subclases de problemas de inventarios es realmente enorme. Es evidente que no podría esperarse que un solo curso tratara de todos ellos. Ni sería muy conveniente tener un manual que catalogara los modelos de inventarios. Aunque se incluyera en el un gran número de modelos, todavía se presentaría frecuentemente el caso de que un problema de inventario real, específico fuera algo diferente de alguno de los modelos del libro. Uno de los detalles interesantes del problema de inventarios es su extraordinaria diversidad. Por consiguiente, parece más conveniente tener una meta más modesta. Trataremos de presentar casos de análisis típicos de problemas de inventarios de forma que esclarezcan la estructura del planteamiento analítico. Podemos entonces esperar que el lector, ante una clase diferente de problema, pueda hacer las necesarias modificaciones en el análisis por sí mismo.

Así el curso estará organizado de la siguiente forma:

MODELOS DETERMINISTICOS → ESTATICOS

MODELOS ESTOCASTICOS → DINAMICOS

Sin tratarse por supuesto el caso Determinístico - Estático por ser trivial.

3.2. MODELOS ESTOCASTICOS - ESTATICOS.

3.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES

La característica que distingue a los problemas de inventario es que solamente es posible hacer un pedido. Ciertamente éste no es un caso frecuente de problema de inventario, pero tampoco puede decirse que sea raro. Por ejemplo, un vendedor de árboles de Navidad, puede muy bien tener necesidad de hacer un pedido inicial para obtener todos los árboles que desea para la temporada. Algunos de los problemas que no son estrictamente casos de un solo pedido, no obstante son-

efectivamente así por el gran costo que ocasiona un nuevo pedido.-- Estos son, en realidad, los problemas de inventario de la capacidad de las plantas o de los salones de clase de las escuelas, en el caso de que se este estudiando el tamaño de un nuevo edificio escolar. La mayor parte de los costos que discutimos anteriormente pueden entrar en el problema de inventario estático. No obstante, existen dos diferencias entre los problemas estáticos y los dinámicos con respecto a costos que pueden hacerse notar aquí. Primero, como no hay más que un pedido, el costo del mismo permanece fijo en todas las líneas de conducta, excepto en el caso en que no se hacen pedidos absolutamente. En otras palabras: el costo del pedido es un costo fijo para todas las líneas de conducta en esos problemas y, por tanto, puede ignorarse. Segundo, es especialmente en el caso de problemas estáticos—en el de la cuestión del valor residual— donde se produce el costo por abarrotamiento.

3.2.2. PROBLEMA TIPO.

Consideramos el siguiente problema tipo: un comerciante desea tener existencias de algunos árboles de Navidad para venderlos en esa temporada. Su distribución de la demanda es la siguiente:

DEMANDA	PROBABILIDAD
1	1/20
2	3/20
3	4/20
4	8/20
5	2/20
6	2/20
	20/20

Sus costos son de $ 2.00 por árbol y lo vende a $ 6.00 paga .50 por la entrega y si al final de la temporada le sobran, como leña los vende en .50.

Existen 36 diferentes posibilidades (6 posibles niveles de pedidos por 6 posibles niveles de demanda), y sus costos asociados es posi-

ble representarlos en una matriz con sus costos asociados.

Nivel Pedidos	1	2	3	4	5	6	Valor Probable
1	3.50	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
2	2.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.75
3	.5	5.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.25
4	-1.0	4.0	9.0	14.0	14.0	14.0	10.75
5	-2.5	2.5	7.5	12.5	17.5	17.5	10.25
6	-4.0	1.0	6.0	11.0	16.0	21.0	9.25

Esta tabla, entonces, muestra el resultado que se obtendría de cualquier combinación de la selección de una estrategia y la circunstancia de una demanda de nivel específico.

Ahora, por supuesto, la clave del problema consiste en que no sabemos que nivel de demanda sucederá en realidad. Sin embargo, conocemos la distribución probabilística de la demanda: la probabilidad con que puede ocurrir cada nivel de demanda. Proponemos, en tal caso, calcular, para cada estrategia, el valor probable del resultado para esa estrategia, tomando como base la distribución probabilística de la demanda conocida. El valor probable, se recordará es simplemente la antigua medida aritmética de un grupo de valores. El procedimiento para calcular los valores probables es sencillo: en una estrategia determinada debemos multiplicar cada resultado posible para esa estrategia por la probabilidad correspondiente del nivel de demanda dado y sumar todos estos productos. Este es el valor probable para la estrategia. Así, en el ejemplo de nuestro comerciante

tenemos para la primera estrategia:

$$0.05(3.50)+0.15(3.50)+0.20(3.50)+0.40(3.50)+0.10(3.50)+0.10(3.50)=3.50$$

Para la sexta estrategia tenemos:

$$0.5(-4.00)+0.15(1.00)+0.20(6.00)+0.40(11.00)+0.10(16.00)+0.10(21.00)=9.25$$

Procediendo similarmente calculamos todos los valores probables:

PEDIDO	VALOR PROBABLE
1	$ 3.50
2	6.75
3	9.25
4	10.75
5	10.25
6	9.25

La estrategia a seguir por el comerciante dependerá de su disponibilidad a tomar riesgos. Por ejemplo, si pide 6 puede ganar 21 o perder 4. En cambio, si pide 1 gana 3.5 siempre. Existen dos estrategias comunmente conocidas como viables:

a) Minimax

Para cada estrategia se localiza el mínimo y se escoge el máximo.

1	3.5 ←
2	2.0
3	.5
4	-1.0
5	-2.5
6	-4.0

b) Valor esperado.

Se calculan los valores esperados y se escoge el máximo, en este caso la estrategia de pedir 4 unidades.

3.2.3. LA SOLUCION GENERAL.

Para este tipo de problemas existe suficiente teoría desarrollada, y aunque se requiere un poco de matemáticas, es conveniente exponerla por el uso posterior que haremos de ella.
En lo que sigue usaremos la nomenclatura expuesta a continuación:

- c= costo total de una unidad.
- Cu= costo de faltante de una unidad.
- z= nivel de la demanda.
- x= cantidad pedida.
- $P(z \leq K)$= probabilidad de que la demanda sea menos o igual a K.
- E.F= costo esperado por pedir la cantidad. x

Para una función contínua de probabilidad se tiene que

$$P(z=K) = \int_c^K f(z)\, dz = F(K)$$

donde $f(z)$ es una función de dencidad de probabilidad o sea la ecuación de una curva que une las probabilidades con la demanda. A el símbolo $\int_a^b$ se le conoce como la integral de "a" a "b" y es el área bajo la curva entre esos dos puntos. Así la integral de 0 a K en una curva de probabilidades no es sino la suma de probabilidades de los valores de 0 aK o sea la Probabilidad de que la demanda sea menos o igual a K.
El costo esperado será entonces

$$E.F_x = cx + C_u \int_x^{\infty} (y-x)\, f(z)\, dz$$

y el valor de x que minimiza esta función es igual que satisface

$$F(x) = \frac{C_u - c}{C_u} \qquad \text{donde } F(x) = \int_c^x f(z)\, dz$$

Supongamos, por ejemplo, que la distribución probabilística de la demanda para un problema de inventario particular de este tipo fuera la distribución normal con una media de 100 y una desviación estándar de 20. Si los costos fueran los mismos que usamos anteriormente calculamos que F(x) = 0.9. Consultando cualquier tabla de la

distribución normal, muestra inmediatamente que $F(x) = 0.9$ se obtiene en el punto 1.28 de desviación estándar superior a la media. Por tanto, debemos pedir $100 + 1.28\ (20) = 125.6$ unidades para minimizar el costo probable total en este caso.

Usualmente pueden incorporarse otros costos en esta clase de planteamiento en forma directa. Imaginemos, por ejemplo, que tenemos los dos costos anteriores, c y C_u, pero que además poseemos un valor de recuperación para cualesquier artículos que no se usaron de C_s por unidad. Extendiendo en forma evidente el razonamiento, nos lleva inmediatamente a la ecuación:

$$E.F._x = cx - C_s \int_0^x (x-y)\, f(y)\,dy + C_u \int_x^{\infty} (y-x)\, f(y)\,dy$$

Su derivada es:

$$\frac{d.E.F_x}{dx} = c - C_s F(x) - C_u + C_u F(x)$$

Igualando la derivada a cero se obtiene:

$$F(x) = \frac{C_u - c}{C_u - C_s}$$

El efecto del valor de recuperación es el esperado: aumentar el valor de x comparado con el mismo caso en el que no lo hay. Así en nuestro ejemplo de la distribución normal, supongamos que cada unidad tiene un valor de recuperación de \$ 50. Calculamos entonces que $F(x) = \$900/\$950 = 0.947$. Consultando una tabla de distribución normal se ve que se requiere que $x = 100 + 1.62(20) = 132.4$ unidades.

Nota:

En ocasiones es difícil para la administración determinar el costo de faltante. Una vuelta a este problema sera fijar $F(x)$ o sea el nivel de servicio.

3.3. MODELOS DINAMICOS - DETERMINISTICOS (CERTIDUMBRE)

3.3.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

La característica que define a los problemas dinámicos de inventario consiste en que es posible hacer más de un pedido. Los modelos dinámicos con certidumbre son los que se refieren a los problemas de inventario dinámicos, en los que se conoce el nivel de la demanda en el período de tiempo que abarcan. La demanda puede ser del tipo constante durante el período de tiempo dado, o puede variar, pero en uno y otro caso debe ser conocida para que este problema sea de certidumbre.

Estas características sugieren algunos de los detalles estructurales fundamentales de los análisis de inventario de esta clase. Primero, como se conoce con certeza la demanda, generalmente no hay necesidad de considerar las posibilidades de exceso ni de falta de existencias Como resultado, los dos costos correspondientes a exceso y a falta de existencias no entrarán en estos análisis. Segundo, como son posibles los pedidos múltiples, necesitamos introducir un costo de pedido que acuse los castigos debidos a haber hecho más pedidos que menos. Tercero, precisamos incluir un costo de tenencia que acuse los castigos que provienen de mantener un nivel promedio elevado de existencias en vez de uno bajo. Nuestros análisis consistirán, en forma típica, en balancear estos dos costos opuestos.

3.3.2. MODELO DE LOTE ECONOMICO CON DEMANDA CONSTANTE.

Sin duda alguna, el más antiguo y más conocido de los modelos de inventario es el que se llama modelo de lote de tamaño óptimo. La razón de su relativa antiguedad es que la misma secuela básica y la ecuación resultante son útiles para la planeación de la producción y para determinar el número óptimo de unidades que hay que producir con una instalación, con una máquina o con un proceso. Por consiguiente, los ingenieros industriales fueron los primeros en desarrollar este tipo especial de análisis. Constituye, por su sencillez, un buen punto de partida para el análisis de los problemas de inventario con certidumbre.

En esta clase de problema de inventario suponemos que la demanda por un artículo determinado, sea como fuere, es constante a pesar del tiempo y conocida. Produzcamos el artículo nosotros mismos o lo pidamos a un productor externo, existirá algún costo asociado al pedido del artículo. Si lo producimos nosotros mismos, lo podríamos llamar costo por operación. Si lo pedimos del exterior, lo llamamos costo de pedido. En cualquier caso, representaremos este costo por C_r. Además, existe un costo de tenencia asociado al tener en existencia una unidad de este artículo durante un período de tiempo determinado. En el primer capítulo discutimos los componentes de este costo de tenencia y advertimos que se puede generalmente resumir convenientemente y útilmente en la forma de porcentaje de costo de un número dado de dólares ligados al inventario por un período de tiempo especificado. Representaremos el costo de tenencia por C_c, que se expresará siempre como un porcentaje por unidad de tiempo.

Vamos a presentar la notación necesaria. Se usarán los símbolos siguientes:

z= demanda en un período de tiempo dado, en unidades.

c= costo por unidad del artículo.

C_r= costo por pedido.

C_c= costo en porcentaje por dólar en inventario para un período de tiempo dado.

x= cantidad que hay que ordenar, en unidades.

Podemos elegir cualquier período de tiempo conveniente, pero tanto z como C_c deben expresarse usando la misma unidad de tiempo. El costo por unidad del artículo c, debe incluir, por supuesto, cualesquier costos asignables por unidad debidos a gastos hechos para incorporar el artículo al inventario.

Necesitamos z unidades durante el período de tiempo. Ahora bien, podemos obtener este número de unidades valiéndonos de una gran variedad de distribuciones asignadas a los pedidos. En un extremo, podríamos ordenar todas las z unidades al principio del período. En el otro, podríamos ordenar una unidad cada vez, requiriendo así z pedidos. Evidentemente, utilizando el primer extremo disminuiríamos al mínimo el costo de hacer los pedidos, y en el segundo lo llevaríamos al máximo. Si éste fuera el único costo, no habría problema: simple-

mente haríamos un solo pedido. Ya sabemos que existe un costo opuesto que nos impide utilizar esta sencilla solución. En este problema especial es el costo de la tenencia. Vamos a investigar qué efecto produce en cada uno de estos lineamientos extremos. La figura 3.3.2.1. muestra la forma típica de diente de sierra del inventario si pedimos en cada ocasión x unidades. Como la magnitud de la demanda es constante, la cantidad en inventario, empezando en x, disminuye uniformemente hasta que llega a cero. Si estamos haciendo la planeación correcta, y no hay razón por la que no podamos hacerlo, ya que conocemos la intensidad constante de la demanda, nuestro segundo pedido llegará al almac én precisamente cuando nuestro primer pedido se ha agotado por completo. Una aplicación de geometría plana elemental es suficiente para demostrar que, con un inventario de esta forma, la cantidad promedio en existencia durante todo el período será simplemente la mitad de la cantidad ordenada, o sea x/2. Así, si ordenamos todas las z unidades inmediatamente en un solo pedido, tendremos un promedio de inventario grande durante todo el período; es decir, igual a z/2. Si pedimos una sola unidad. En otras palabras, nuestros costos de tenencia disminuyen al aumentar nuestros costos de los pedidos y viceversa. Lo que debemos hacer es disminuir al mínimo el costo total, que es igual a la suma de los costos del pedido más los costos de tenencia.

Afortunadamente, esto es extremadamente facil hacerlo. Si pedimos x unidades cada vez, tenemos que hacer z/z pedidos durante la unidad de tiempo. Esto costará $(z/x)C_p$. Si pedimos x unidades en cada ocasión tendremos un promedio de inventario de x/2 unidades en existencia constante durante el período. Estas unidades representan (x/2) c dólares ligados al inventario y el costo de tenencia será $(x/2)cC_c$. El costo total de cualquier sistema de ordenar x unidades cada vez será por tanto,

$$\text{Costo Total} = C.T. = \frac{zC_p}{x} + \frac{xcC_c}{2}$$

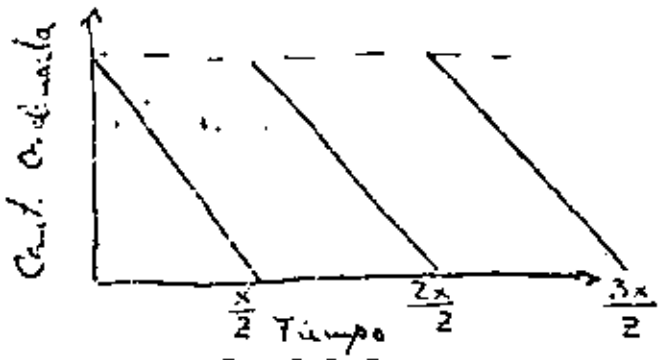


Fig 3.3.2.1

Queremos minimizarla con respecto a x, de manera que todo lo que necesitamos hacer es diferenciar con respecto a x, igualar la derivada a cero y resolver la ecuación resultante. Esto nos da el tamaño óptimo del pedido:

$$x_o = \sqrt{\frac{2zC_r}{cC_c}}$$

Vamos a ilustrar su empleo con un artículo que tiene una demanda anual de z=2,000 unidades, un costo de c=\$3, un costo de pedido de C_r=\$10 y un costo de tenencia de C_c=0.12. Podemos notar que con frecuencia se presenta el caso de que el costo del pedido es más elevado que lo que uno pudiera suponer apoyándose en un sentido común mal informado. Sustituyendo estos valores en nuestra ecuación, se obtiene x_o= 333 unidades. Lo que significa que deberán hacerse seis pedidos por año de este artículo. Igualmente podríamos haber planteado este problema usando el número de pedidos en un período de tiempo dado, n, como variable independiente. Como ya lo hemos resuelto para x_o, podemos determinar la ecuación para n directamente:

$$n = \frac{z}{x_o}$$

Podríamos también haber escrito la ecuación del costo total, expresada en meses, entre pedidos, suponiendo que el período de tiempo elegido fuera un año, como es frecuentemente el caso. Entonces tendríamos que haber obtenido el mínimo con respecto a esta variable t=meses entre pedidos. Podríamos construir la ecuación para el valor óptimo de t directamente de la ecuación para n o x_o:

$$t = \frac{12}{n} = \frac{12x_o}{z}$$

3.3.3. MODELO DE LOTE ECONOMICO CON DEMANDA VARIABLE.

Cuando se conoce la demanda con certidumbre también puede presentarse el caso de que no sea en proporción constante. Por ejemplo, las -

fluctuaciones estacionales en el nivel de la producción pueden requerir que algo de la materia prima, en la que la cantidad necesaria es la función conocida del nivel de producción conocido, deberá estar disponible en cantidades variables específicas. Nos gustaría un método para determinar la política óptima para hacer pedidos para un caso como éste. Como ejemplo de este caso, vamos a suponer que tenemos las siguientes cantidades conocidas de un artículo particular que se necesitará:

MES	DEMANDA
1	60
2	50
3	30
4	0

Vamos a suponer, además, que el costo de ordenar, C_r, es de \$10; el costo de tenencia, C_c, es de 10 por ciento por mes, y que, para el artículo en cuestión el costo c=\$4 por unidad. El problema consiste en determinar la política óptima de hacer los pedidos de este artículo Precisamos hacer algunas suposiciones respecto a la forma de calcular el costo de tenencia. Suficientemente realista para nuestro objeto, y relativamente más sencillo, será hacer la suposición de que el costo de tenencia es solamente aplicable al inventario que se traspasa de un mes al siguiente. En otras palabras, no cargaremos costos de tenencia en un mes dado a las existencias que se usan en ese mes, así, supongamos que pedimos en el primer mes 110 unidades. Al final del primer mes calcularíamos el costo de tenencia a las 50 unidades trasladadas al segundo mes, pero no a las 60 unidades utilizadas en el primer mes. También supondremos que el tiempo de entrega se conoce con certeza y que todos los pedidos se harán de manera que se entreguen el primer día del mes. Esta no es una suposición particularmente restrictiva porque, si no es satisfactoria, necesitamos únicamente presentar nuestros datos en forma semanal ,por ejemplo, y seguir el mismo procedimiento que vamos a exponer. El método de programación dinámica que vamos a usar no suena muy grandilocuente cuando se resume en palabras, ya que consiste en un procedimiento para probar todas las políticas posibles de hacer pedidos

y escoger la mejor. Sin embargo, la esencia del método es un procedimiento lógico, por medio del cual tenemos en realidad sólo que calcular un pequeño subgrupo de todas las políticas posibles con objeto de encontrar la mejor. Es la enorme economía de cálculos que resulta de la programación dinámica la que hace factible este algoritmo. Supongamos que estamos en el mes 4, en este caso se terminó el negocio y nuestra política óptima sería no pedir nada. Si representamos por x(N) la cantidad que se debe pedir en el mes N, tendremos entonces que X(4)=o.

En el mes 3, la cantidad pedida dependerá de lo que tuviéramos en inventario al principio del mes. Así si tuviéramos 20 unidades, tendríamos que pedir 10 con un costo de $ 10.00 por ordenar más $ 4.00 por unidad.

Si a esto le sumamos el costo de haber tenido el inventario o sea el 10% del valor del inventario, en este caso 20x4x.1=8.00, tendremos el costo todal de 58.00. De la misma forma podemos calcular el costo para los otros diferentes niveles. Por comodidad consideramos sólo múltiplos de 10 y en forma de tabla sería:

INVENTARIO	COSTO DE LA POLITICA OPTIMA
0	130.00
10	94.00
20	58.00
30	12.00

En el mes 2, ocurrirá una cosa similar. Así por ejemplo, supongamos que iniciamos el mes con 20 unidades en inventario. Tenemos que almenos pedir 30 unidades más ya que la demanda del mes es de 50. Sin embargo, podemos pedir 10 más y guardarlas de inventario para el mes tres siendo nuestro costo el siguiente:

Inventario	8.00
Pedido	10.00
Costo	160.00
	178.00
+ Costo de iniciar el mes 3 con 10 unidades de inventario	94.00
	272.00

En forma de tabla tenorfamos lo siguiente:

Inventario	Pedido									OPTIMOS	
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	Política	Costo
0	-	-	-	-	-	340	344	348	342	80	342
10	-	-	-	-	304	308	312	306	-	40	304
20	-	-	-	268	272	276	270	-	-	30	268
30	-	-	232	236	240	234	-	-	-	20	232
40	-	196	200	204	198	-	-	-	-	10	196
50	150	164	168	162	-	-	-	-	-	0	150
60	118	132	126	-	-	-	-	-	-	0	118
70	86	90	-	-	-	-	-	-	-	0	86
80	44	-	-	-	-	-	-	-	-	0	44

Similarmente para el mes uno podrfamos construir la siguiente tabla, conociendo que el inventario inicial es cero:

PEDIDO	COSTO	
60	592	
70	594	
80	598	
90	602	
100	606	
110	600	← óptimo
120	608	
130	616	
140	614	

Analizando nuestros resultados vemos que la política a seguir sería pedir en el primer mes 110 unidades y llegar al segundo con 50 de inventario. Pedir en el segundo cero unidades y llegar sin inventario al tercer mes para en este último pedir los 30 restantes con un costo total de 600.

Con este ejemplo, intentamos indicar el poder de la programación dinámica para este tipo de problemas, algoritmo que nos dá la solución final y soluciones intermedias a la vez. Este Método

es lo suficientemente general para usarse aún en el caso de demandas estocásticas pero ello se comentará mas adelante.

3.3.4. CUANDO SE TRATA DE MAS DE UN ARTICULO: CURVA DE LA POLITICA OPTIMA.

Volvamos a la discusión del modelo básico de lote de tamaño óptimo, pero ampliando al caso en el que hay varios artículos para los que deben mantenerse inventarios. Este, por supuesto, es el caso más típico. Muy pocas organizaciones tienen que conservar en inventario un solo artículo, y al crecer las organizaciones, la tendencia se decide marcadamente en la direccion de enormes números de artículos que deben sostenerse en existencia. Algunas organizaciones numeran las unidades que mantienen en existencia en cientos de miles. Queremos ver si la existencia de una multitud de artículos cambia los problemas, añade otros nuevos o aumenta la amplitud de variación de las posibles soluciones a los problemas.

A primera vista, parece que no hay razón para esperar cambios simplemente por causa de la existencia de un gran número de artículos en el inventario. La ecuación que deducimos para la cantidad óptima que hay que pedir no contenía ningún término en el que apareciera el número de artículos en el inventario ni en nuestro razonamiento surgió esta cuestión. Además, es evidente que puede aplicarse la misma ecuación a cada artículo, usando los datos para cada uno de ellos, y que se determinaría la cantidad óptima de cada artículo que hay que pedir por medio de la ecuación. La suma de las políticas óptimas para cada artículo representaría la mejor solución total al problema de inventario. Por tanto, no hay razón para esperar que haya que cambiar nuestro análisis por la suposición del gran número de artículos.

Las nuevas posibilidades surgen en conexión con el problema de medir los costos que se requieren en la ecuación del tamaño de lote óptimo. Necesitaremos un ejemplo ilustrativo. Supongamos que una compañía mantiene inventarios de cinco artículos. La demanda anual, Z_i, y el costo por unidad, C_i, para estos artículos son:

ARTICULO	Z_i	C_i
1	600	$ 3
2	900	10
3	2,400	5
4	12,000	5
5	18,000	1

Típicamente, si llamaran a uno a hacer un estudio de este problema de inventario de una compañía, se encontraría con que ésta estaba usando algún sistema para hacer pedidos, tal como el de pedir cada artículo una vez al mes. Suponiendo que éste sea el caso, podemos calcular el número de pedidos por año y el promedio de inventario que resulta:

ARTICULO	PEDIDOS POR AÑO	PROMEDIO DE INVENTARIO
1	12	$ 75
2	12	375
3	12	500
4	12	2,500
5	12	750
	60	$4,200

de donde puede calcularse fácilmente el promedio de inventario de $(Z_i C_i)/24$.

Si ahora se nos dice que el costo de pedido para esta compañía es de $10 por pedido y el costo de tenencia 12 por ciento al año, podemos calcular el costo total de la política ordinaria de la compañía para hacer pedidos:

$$T.C_{ord.} = 60(10) + 0.12(4{,}200) = \$1{,}104$$

Sabiendo que C_r = y que C_c=0.12, podemos fácilmente calcular la política óptima para cada uno de los artículos. Emplearemos la expresión para el tamaño del pedido enunciado en dólares en vez de unidades:

$$X_{i*} = \sqrt{\frac{2C_i Z_i C_r}{C_c}}$$

Usando esta expresión, podemos calcular rápidamente:

ARTICULO	TAMAÑO OPTIMO DEL PEDIDO EN DOLARES	PEDIDOS POR AÑO
1	$ 548	3.28
2	1,225	7.35
3	1,414	8.49
4	3,162	18.98
5	1,732	10.39
	$ 8,081	48.49

donde los pedidos por año se calculan directamente de $(Z_i C_i)/X_{i\$}$. Como el promedio de inventario por cada artículo es simplemente la mitad del tamaño del pedido en dólares, podemos inmediatamente determinar el costo total de la política de hacer pedidos que hemos calculado:

$$T.C_{ópt} = 10(48.49) + 0.12(4,040) = \$970$$

Podrá verse que la utilización de nuestra ecuación para la política óptima ha dado por resultado una disminución en los costos totales de $ 134 o, aproximadamente, el 12 por ciento.

Supongamos ahora que existen graves dificultades en el procedimiento para medir los dos costos necesarios para determinar la política óptima de hacer pedidos en la compañía. La política que existe en la compañía produce un promedio de inventario de $ 4,200 y hace 60 pedidos al año. Ahora, sin saber nada respecto a C_r o C_c, podemos razonar ciertamente que si nos es posible reducir el inventario y mantener el mismo número de pedidos por año hemos mejorado la posición de la compañía. Lo que deberá ser cierto, cualesquiera que sean los costos que intervengan. Proponemos, entonces, ver si podemos disminuir la inversión en el promedio de inventario conservando al mismo tiempo fijo el número de pedidos en 60. Si nos es factible hacer esto, habremos mejorado la situación, aun cuando no podamos determinar la magnitud real de la economía. Deseamos minimizar el inventario sujeto a la restricción de que el número total de pedidos por año sea 60. La expresión total para todo el inventario es:

Promedio total de inventario = $T.I = \sum_i \frac{x_i c_i}{2}$

Deseamos:

Total de pedidos = $T.O. = \sum_i \frac{z_i}{x_i} = 60$

Formamos la expresión lagrangiana:

$$L = \sum_i \frac{x_i c_i}{2} + \lambda \left(\sum_i \frac{z_i}{x_i} - 60 \right)$$

e igualando las derivadas a cero:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{c_i}{2} - \frac{\lambda z_i}{x_i^2} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_i \frac{z_i}{x_i} - 60 = 0$$

Despejando queda que

$$x_i = \sqrt{2\lambda} \sqrt{\frac{z_i}{c_i}}$$

$$\lambda = \frac{\left(\sum_i \sqrt{z_i c_i} \right)^2}{7,200}$$

Hemos ya determinado $\sum_i \sqrt{z_i c_i}$ para estos datos, de manera que calculamos directamente

$$\lambda = 54.42$$

y obtenemos

$$x_i = x_i c_i = \sqrt{2\lambda} \sqrt{z_i c_i} = 10.43 \sqrt{z_i c_i}$$

Esto da:

Artículo	Tamaño del pedido	Pedidos por año
1	442.70	4.07
2	989.80	9.09
3	1,142.80	10.60
4	2,559.90	23.98
5	1,359.30	12.86
	6,529.50	60.00

El inventario es igual a la mitad del tamaño del inventario en dólares o $ 3,265. El número de pedidos es el mismo de 60, que es nuestra restricción, y el inventario se ha reducido en $ 935, o el 22.3 por ciento de esta cantidad, con la política ordinaria. Esta es la inversión mínima en inventario posible con 60 pedidos al año. La disminución en la inversión de inventario se ha obtenido redistribuyendo los pedidos entre los artículos en forma óptima. No podemos, por supuesto, determinar lo que esta reducción de inventario vale para la compañía, porque no conocemos el valor de C_c.

El éxito que hemos tenido en este análisis sugiere inmediatamente el razonamiento inverso correspondiente. ¿Porqué no mejorar la posición de la compañía sin hacer caso de los costos, manteniendo el promedio de la inversión en inventario al mismo nivel y disminuyendo el número total de pedidos por año?. También esto se puede hacer. Las expresiones para T.I. y T.O. son las mismas que antes, pero sus papeles están invertidos. Queremos minimizar

$$T.O = \sum_i \frac{z_i}{x_i}$$

sujeta a:

$$T.I = \sum_i \frac{x_i c_i}{2} = 4{,}200$$

La expresión lagrangiana

$$L = \sum_i z_i/x_i + \lambda\left(\sum_i \frac{x_i c_i}{2} - 4{,}200\right)$$

derivando e igualando a cero, después de despejar encontramos que

$$x_i = \sqrt{\frac{2z_i}{\lambda c_i}}$$

$$\lambda = \left(\sum \sqrt{z_i c_i}\right)^2 / 35\,280\,000 = 0.011111$$

$$x_i = 13.42\sqrt{z_i c_i}$$

Por tanto, calculamos:

ARTICULO	TAMAÑO DEL PEDIDO EN DOLARES	PEDIDOS POR AÑO
1	$ 569.40	3.16
2	1,273.10	7.07
3	1,469.90	8.16
4	3,286.40	18.26
5	1,800.00	10.00
	$ 8,398.80	46.65

El promedio de inventario permanece en $ 4,2-0, redondeando los errores, mientras que el total de pedidos por año se ha reducido a 46.65, una economía de 13.35 pedidos por año, o 22.3 por ciento de los pedidos, utilizando la política ordinaria. Esta política es la que tiene el mínimo del total de pedidos de todas las políticas, que darían un promedio de inversión en inventario de $ 4,200. Se notará que el porcentaje de economía es el mismo en ambos casos: 22.3 por ciento. Esto sucederá siempre. La pregunta de cuál de estas dos políticas mejoradas es la preferible no puede contestarse sin conocer los costos relevantes. Sin embargo, cualquiera de ellas puede economizar dinero a la compañía, aunque no podamos calcular cuánto.

Ahora tenemos calculadas dos políticas óptimas diferentes bajo restricciones distintas y calculamos la política original óptima para los valores supuestos de C_r y de C_c. Estudiando cuidadosamente estas tres políticas óptimas se percibe una uniformidad fundamental entre ellas. Lo que puede verse en la tabla siguiente:

POLITICA	INVENTARIO TOTAL	PEDIDOS POR AÑO	PRODUCTO (T.I.)(T.O.)
Optima C_r=$10, C_c=$ 0.12	$ 4,040	48.49	195,900
Optima; Pedidos =60	3,265	60	195,900
Optima; Inventario=$4,200	4,200	46.65	195,930

Todos los productos de T.I. por T.O. son iguales a un valor constante, dentro de la aproximación a la que fueron redondeadas las cantidades.

Repasando las ecuaciones para $X_{i\$}$ que usamos para determinar las políticas óptimas para hacer pedidos en cada uno de los tres casos, vemos que en cada uno de ellos tenemos

$$X_{i\$} = K\sqrt{z_i c_i}$$

Por supuesto, K difiere en los ~~cuatro~~ tres casos, pero siempre se determinó de los costos, C_r y C_c o de . Posiblemente ésta es la razón de la aparición de en el producto constante de T.I. y T.O. No obstante, en vez de proseguir en esta forma de razonamiento, tomaremos una ruta diferente que nos lleve a la misma meta. Vamos a escribir la expresión para T.I., expresada en función de la $X_{i\$}$ óptima, como se precisó en el modelo del lote de tamaño óptimo:

$$T.I. = \sum_i \frac{x_{i\$}}{2} = \sum_i \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2c_i z_i C_R}{C_a}} = \sqrt{\frac{C_R}{C_c}}\sum_i \sqrt{\frac{c_i z_i}{2}}$$

Igualmente, la expresión para T.O. es,

$$T.O. = \sum_i \frac{z_i c_i}{x_{i\$}} = \sqrt{\frac{C_c}{C_R}}\sum_i \sqrt{\frac{c_i z_i}{2}}$$

Estas dos expresiones son válidas para cualesquier valores de C_r y C_c; sustituyendo cualquiera de los valores dados y los datos sobre $z_i c_i$, darán el óptimo total de inventarios y la totalidad de pedidos por año. Ahora lo interesante respecto a estas dos expresiones es que cuando se multiplican entre sí dos costos, C_r y C_c, se anulan y nos queda:

$$(T.I.)(T.O.) = \tfrac{1}{2}\left(\sum_i \sqrt{z_i c_i}\right)^2$$

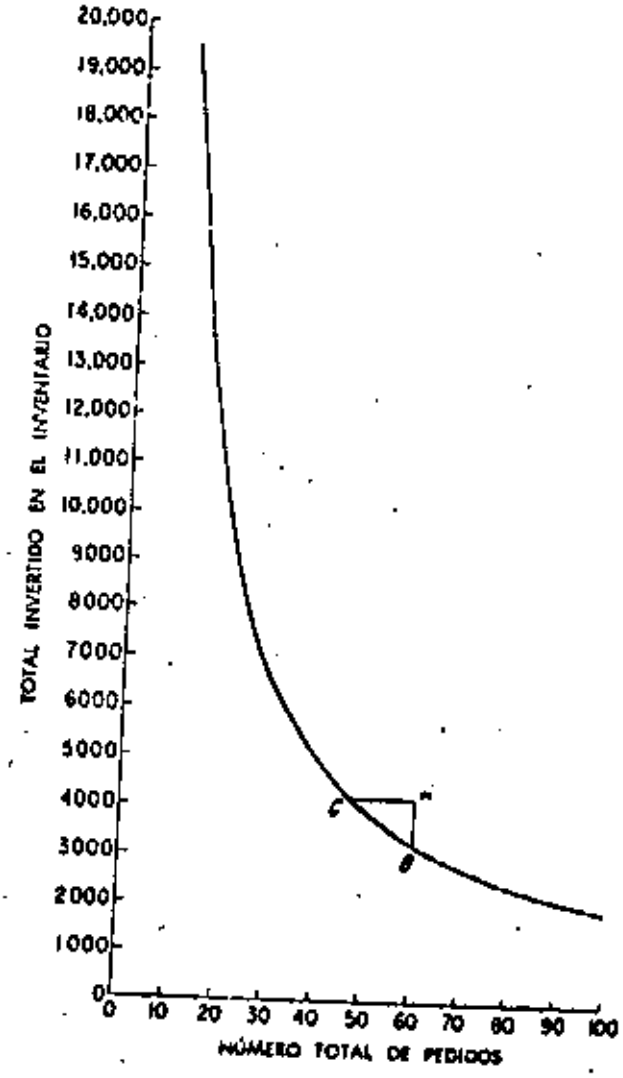
que es exactamente el producto constante que ya habíamos descubierto empíricamente de nuestras políticas óptimas.

Nuestro razonamiento nos proporciona el medio de usar un recurso que puede ser de la mayor utilidad al ejecutivo para establecer políticas de inventario bajo circunstancias donde es difícil o imposible obtener estimaciones satisfactorias de los costos relevantes. A este recurso se le llama curva de la Política óptima. La base de esta curva es precisamente el producto constante, (T.I.)(T.O.), que según ya vimos es siempre cierta, para un grupo dado de datos, para la política óptima de cualquier combinación de valores de C_r y C_c. Podemos hacer una gráfica de esta curva, usando la inversión total en el inven

tario como ordenadas y el número total de pedidos como abscisas. ~~La ecuación (T.I.)(T.O.), que según ya vimos es siempre cierta para un grupo dado de datos, para la política óptima de cualquier combinación de valores de C_r y C_c. Podemos hacer una gráfica de esta curva, usando la inversión total en el inventario como ordenadas y el número total de pedidos como abscisas~~. La ecuación (T.I.)(T.O.)=K es la de una hipérbola. La figura 3.3.4. muestra esta hipérbola, que es la curva de la política óptima, para los datos de nuestro ejemplo. Todos los puntos de esta curva representan la política óptima para alguna relación de C_r a C_c: específicamente, la relación para cualquier punto de la curva se obtiene con (T.I.)(T.O.). Además, todas las políticas óptimas posibles están representadas por algún punto de la curva.

Por medio de esta curva podemos resumir nuestro razonamiento. El punto A es la política ordinaria de la compañía. Su irracionalidad está indicada por el hecho de que no queda en la curva. Cuando asegurábamos que podíamos mejorar la posición de la compañía, manteniendo el número de pedidos en 60 y reduciendo la inversión en inventario estábamos diciendo simplemente que corriendo una paralela al eje de las T.I., del punto A hasta cortar la curva de la política óptima en B, debemos estar mejorando la situación. Cuando mantuvimos el inventario fijo en $ 4,200, trazamos una paralela al eje de los T.O., de A hasta cortar la curva de la política óptima en C. Esto, evidentemente, debe también mejorar la posición de la compañía.

Sin embargo, la curva de la política óptima puede ser mucho más útil que una analogía geométrica con un razonamiento matemático ya terminado. Proporciona un medio al ejecutivo de utilizar sus conocimientos y experiencia en circunstancias en las que este conocimiento y experiencia no pueden transformarse en estimaciones de costos. Así la curva de la política óptima muestra al ejecutivo exactamente cómo pueden cambiarse los pedidos y las inversiones en inventarios en unos por otros. Por ejemplo, puede verse inmediatamente que para reducir la inversión en inventario de $3,000 a $ 2,000, se necesitará aumentar el número de pedidos por año de aproximadamente 65 a cerca de 99 Para disminuir el número de pedidos por año de 40 a 30 se requiere aumentar la inversión en inventario en $ 1,600. El ejecutivo, que



Curva de la Política Optima.

tiene el conocimiento íntimo de las circunstancias de la compañía, puede con frecuencia determinar rápidamente en la curva el punto que corresponde a la compañía sin necesidad de convertir sus conocimientos sobre la forma de almacenar y sobre costos de pedidos en algo que a menudo solamente hacen mal, si es que hacen algo. La curva de la política óptima, entonces, es el recurso más valioso para los casos difíciles que ocurren a cada instante, para los cualres no se dispone de estimaciones satisfactorias de los costos relevantes.

3.4. MODELOS DINAMICOS - ESTOCASTICOS.

3.4.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

Los problemas de inventarios dinámicos con riesgo se caracterizan por dos detalles: existe la posibilidad de varios pedidos y se conoce la distribución probabilística de la demanda. Es evidente que los problemas dinámicos con riesgo o con incertidumbre incluyen la gran mayoría de problemas de inventario prácticos. Todos los artículos que se usan regularmente en un período de tiempo razonable caerán en esta categoría, a menos que se conozca la demanda con certidumbre, lo que es relativamente poco frecuente.

Todas las clases principales de costos pueden ocurrir en este tipo de problema de inventario. Interviene el costo de los pedidos porque es posible que haya alternativas en las frecuencias empleadas para hacer pedidos. Como la otra mitad de esta posibilidad de variar la frecuencia de los pedidos tenemos los costos de tenencia. Como en la demanda existe una distribución probabilística, hay la posibilidad de no tener existencias suficientes. Por tanto, en nuestras ecuaciones deberá intervenir el costo por falta de existencia. En algunos problemas de este tipo, especialmente en artículos con una demanda excepcional por temporada, existirá la correspondiente probabilidad de un exceso de existencias con su consecuente costo. Sin embargo, para muchos artículos no habrá ninguna necesidad de introducir un costo de exceso de existencias porque existe demanda para un período de tiempo esencialmente ilimitado.

Un detalle fundamental nuevo de esta clase de problema de inventario debe hacerse notar explícitamente. Se refiere a que, por primera vez es importante la cuestión del retraso del tiempo entre el pedido y la entrega. En los modelos anteriores puede haber existido el retraso en el tiempo, pero o nada se podía hacer respecto a él, o mediante un ajuste de compensación sencillo y evidente se tomaba en cuenta. En uno y otro caso no producía problema teórico. Este no es el caso con los problemas de inventario dinámico con riesgo. Como ilustración de este hecho puede verse que no existe posibilidad de falta de existencias — a menos que se acepte deliberadamente— en la que no haya retraso entre el pedido y la entrega del artículo. Así como el costo de los pedidos es bajo, no habrá necesidad alguna de tener reservas en existencia porque cualquier faltante puede suplirse con otro pedido. Por consiguiente, en esta clase de problema de inventario el retraso en tiempo debe tomarse en cuenta categóricamente.

Una gran proporción de los análisis matemáticos más complejos que hay en la literatura se dedican a una u otra variante de esta clase general de problema de inventario. No podemos esperar presentar discusiones de todos los modelos que se han inventado, ya que, aunque el espacio lo permitiera, el nivel de las matemáticas que sería necesario emplear en muchos casos sobrepasaría el nivel de las limitaciones que nos hemos impuesto para este curso. Nos contentaremos con la meta más modesta de presentar los procedimientos fundamentales y sugerir algunas advertencias respecto a la aplicabilidad de varios de los métodos más avanzados.

3.4.2. EL SISTEMA Q DE CONTROL DE INVENTARIOS.

El sistema Q tiene un tamaño fijo para el pedido y un período variable para los pedidos. El procedimiento consiste en que cuando las existencias disminuyen a un cierto nivel mínimo, que se deduce del tiempo de retraso entre el pedido y la entrega del artículo, se hace automáticamente un pedido por la cantidad fija predeterminada. Las fluctuaciones en la demanda las acusan las variaciones resultantes en el tiempo entre pedidos. Trataremos ahora de descubrir de qué forma tan óptimo sistema puede precisarse para un artículo determinado-

Uno de estos sistemas está completamente especificado conociendo el tamaño del pedido y el nivel mínimo de existencias que representa la señal para hacer un pedido. Debemos encontrar medios para definir estos factores. Como estas fluctuaciones se absorben variando el período entre pedidos, se deduce que no hay necesidad de almacenar existencias de reserva para afrontar dichas fluctuaciones. Dejando aparte el tiempo de retraso por un momento, necesitamos solamente pedir la cantidad necesaria para satisfacer el promedio de la demanda para el período entre pedidos. Si las fluctuaciones en la demanda agotan estas existencias con más rapidez, entonces simplemente nos limitamos a hacer el próximo pedido de manera más rápida. Por tanto, no hay necesidad de tener existencias de reserva para hacer frente a estas fluctuaciones. Esto no es cierto para el tiempo del período de retraso, porque el pedido, antes de ahora, ya está colocado cuando el período de retraso comienza, y cualquier demanda en este período sólo puede cubrirse con las existencias que se tienen a la mano. Por consiguiente, debe haber existencias de reserva que absorban cualesquier fluctuaciones de la demanda durante el período de retraso. Finalmente, notamos que, aunque varíe el período entre pedidos como respuesta a la fluctuación de la demanda, todavía persiste la condición de que el promedio de los períodos en que se hacen los pedidos se determina inmediatamente por el tamaño fijo de los mismos. Esto es evidentemente cierto, ya que el promedio de la demanda para cualquier pedido, digamos de un año, se conoce, y si lo dividimos entre el tamaño del pedido fijo obtendremos el promedio del período entre pedidos.

Lo que nos sugiere un procedimiento muy sencillo para determinar la política deseada. Usemos la fórmula del tamaño óptimo del lote para el promedio de la demanda para señalar el número óptimo de pedidos por año y por ende el volumen del pedido fijo. Entonces podemos precisar separadamente las existencias de reserva óptimas para el período de retraso por los métodos empleados en los problemas de inventario estático con riesgo. ¿Cómo funcionarían? Como ejemplo, tomaremos un artículo con demanda semanal de distribución normal con una media de $\bar{z}=50$ y desviación estándar de $s=5$. Supondremos que el tiempo de retraso (llamado también tiempo de adelanto) entre el pedido y la entrada es de tres semanas. Para nuestros datos de los costos daremos por sen

tado que el costo del pedido, C_p, es de \$10 y el costo de tenencia C_c, es de 12 por ciento y que el precio del artículo ór unidad es de \$ 5. Esto es suficiente para la primera parte de nuestro cálculo. La demanda anual para este artículo es simplemente 52(50)=2,600 unidades. Usando la ecuación del tamaño óptimo del lote, deducida en el capítulo 4, podemos decidir en seguida el tamaño del pedido:

$$X_e = \sqrt{\frac{2(10)(2600)}{5(0.12)}} = 294.4/C$$

Este, entonces, sería el tamaño fijo del pedido y podríamos inmediatamente determinar el número de pedidos por año, ya que es igual a 2,600/294.4=8.83

Para este tiempo de adelanto de tres semanas entre el pedido y la entrega necesitamos 150 unidades para sarisfacer el promedio de la demanda. Esto, sin embargo, ya forma parte del sistema, en el sentido de que únicamente haremos el pedido tres semanas antes para tomar en cuenta el retraso. Todavía no forma parte del sistema la necesidad de tener existencias de reserva para satisfacer las fluctuaciones de la demanda durante el período de tiempo de adelanto. La distribución probabilística de la demanda durante el período de las tres semanas se hace de acuerdo con la discusión que hicimos en la sección anterior. Como la demanda tiene una distribución normal durante una semana, estamos al tanto de que la distribución de la demanda será normal durante tres semana. Específicamente, en nuestro ejemplo la distribución en tres semanas será normal, con una media de 150 y una desviación estándar de $s' = 5\sqrt{3} = 8.66$. Para nuestro ejemplo actual, vamos a suponer que la administración ha establecido una norma de funcionamiento que requiere que solamente haya una oportunidad en un millar que tenga falta de existencias. De las tablas de la distribución normal descubrimos inmediatamente que esta norma exige un margen de seguridad o de reserva en existencia de 3.085 s'. En nuestro caso, esto significa que necesitamos 3.08(8.66)=26.7 unidades en reserva durante el período de retraso. En otras palabras, las necesidades totales para el tiempo del período de adelanto es de 150 unidades para el promedio de la demanda y 27 unidades para la reserva; o sea, un total de 177 unidades. Esta, entonces, es nuestra cantidad mínima de existencias que sirve como señal para hacer un pedido. Siempre que la existencia-

baje a 177 unidades de inmediato pedimos 294 unidades. Este es nuestro sistema Q para el artículo en cuestión.
Ahora vamos a calcular el costo total del sistema que hemos elaborado . Hay un promedio de 8.83 pedidos por año a un costo de $88.30. - Las unidades de reserva algunas veces se gastarán parcial o totalmente en el período de tiempo de adelanto, pero con frecuencia el tiempo de adelanto terminará con más de 27 unidades en existencia. Por tanto, como promedio, las existencias de reserva se tendrán todo el año. Esto costará 27(5) (0.12)=$16.20. El costo de tenencia para el promedio de la demanda será s-mplemente la mitad del tamaño del p edido - casi perpetuo o a un costo de 147(5)(0.12)=$88.20. Así, el costo total será de $ 192.70. Por supuesto, como no nos arrogamos conocer - C_u, no podemos calcular el costo por falta de existencias. Se presume que la administración lo maneja satisfactoriamente por la organización estándar establecida por ella.
Este, entonces, es el procedimiento general para determinar un sistema Q óptimo. Como se verá en la siguiente sección, donde discutimos el sistema P, el sistema óptimo Q es por lo regular menos costoso - que el sistema óptimo P, para el mismo artículo.

3.4.3. EL SISTEMA P DE CONTROL DE INVENTARIO.

En el sistema P de control de inventarios existe un período fijo para hacer pedidos, pero puede variar el tamaño de éstos. El procedimiento es de intervalos periódicos —determinándose el período analíticamente— ; se revisa la cantidad en el inventario y se hace un pedido. La cantidad que debe estar a la mano ya la órden se determina del análisis, de manera que la cantidad del pedido se fija directamente restando la cantidad a la mano de este total predeterminado. Incidentalmente, cuando resulta que el período para hacer pedidos se hace más corto que el período del tiempo de adelanto, el inventario debe contarse como si se incluyeran unidades a la mano, además de - unidades pedidas, pero que todavía no se han entregado. Este procedimiento debe seguirse, obviamente, en el caso del sistema Q. El sistema P está completamente determinado cuando se sabe cuál es el período para hacer pedidos y cuál es la cantidad que debe tenerse a la mano y la que debe pedirse. Estos, entonces, son los dos parámetros-

que debemos descubrir así como definirlos analíticamente.
La diferencia fundamental entre los sistema P y Q es que para el primero todas las fluctuaciones en la demanda deben tomarse en cuenta al determinar las existencias de reserva. Como el período para hacer pedidos no es flexible, cualquier fluctuación en la demanda debe satisfacerse con las existencias que se tienen para ese objeto. En el sistema Q necesitamos existencias de reserva solamente para el tiempo del período de adelanto. En el sistema P la situación es más compleja. Primero, es obvio que para el sistema P es preciso mantener existencias de reserva como protección contra las fluctuaciones durante el período para hacer pedidos. En el sistema Q se absorben estas fluctuaciones producidas por las variaciones en el período para hacer pedidos y, por tanto, no se requiere existencias de reserva para este objeto. Segundo, a pesar de todo, existe el hecho de que no será suficiente tener existencias de reserva en el sistema P basándose únicamente en el período para hacer pedidos.
Debido a las complicaciones matemáticas que se producen al considerar estas interacciones se acostumbra hacer una simplificación en la práctica que seguiremos en todos los casos en los que tratemos de sistemas P. Esta simplificación consiste en suponer que se obtendrá un sistema satisfactorio si calculamos las existencias de reserva para el período entre pedidos, más el tiempo de adelanto, en vez de hacerlo sólo para el período entre pedidos. Como primera aproximación para obtener un sistema P óptimo podemos proceder como lo hicimos para el sistema Q: usando la fórmula para el tamaño óptimo del lote con el fin de determinar el período óptimo entre pedidos y luego utilizar esencialmente los métodos del análisis del inventario estático para precisar la cantidad óptima que debe pedirse. Este método no nos dará una aproximación tan buena como en el sistema Q, porque aquí la interación entre las dos variables es mucho mayor. Sin embargo, es más fácil hacerlo y generalmente representa una mejora considerable respecto a la política típicamente intuitiva de inventario usada por las compañías en lugar del análisis. Por tanto se emplea con frecuencia el sistema aproximado aunque no sea el óptimo.

Como ejemplo de esta aproximación usaremos el mismo artículo que en la sección anterior. Para este artículo determinamos con la fórmula del tamaño óptimo del lote que el período entre pedidos debe ser de 5.89 semanas (8.83 pedidos por año). Deseamos fijar las existencias de reserva para el período entre pedidos más el tiempo de adelanto que es de tres semanas. Lo que significa que necesitamos conocer la distribución de la demanda para 5.89+3=8.89 semanas. Como una aproximación razonable de los costos de tenencia podemos suponer que las existencias de reserva para el período entre pedidos por r, deseamos encontrar la r que haga mínima la ecuación del costo total. Los costos de tenencia por año serán, rcC_c. Primero supondremos que los costos por faltantes de existencias son constantes, cualquiera que sea el número de unidades faltantes. Entonces podemos escribir:

$$T.C_r = rcC_c + nK\int_{\bar{z}+r}^{\infty} f^t(y)\,dy$$

en la que $f^t(y)$ = t-ésima convolución de $f(y)$,

t = período entre pedidos más el tiempo de adelanto expresado en múltiplos del período básico para el que se conoce $f(y)$

n = número de pedidos al año,

K = costo fijo por falta de existencias,

$\bar{z}$ = promedio de demanda para el período entre pedidos.

Para minimizarla con respecto a r procederemos como de costumbre

$$\frac{dT.C_r}{dr} = cC_c - nKf^t(\bar{z}+r) = 0$$

o,

$$f^t(\bar{z}+r) = \frac{cC_c}{nK}$$

Para nuestro ejemplo $f^t(y)\,dy$ es simplemente la función de frecuencia normal, con una media =8.89(50)=444.5 y una desviación estándar= $5\sqrt{8.89}$=14.91. Para nuestros datos deseamos

$$f^{8.89}(\bar{z}+r) = \frac{c.6c}{8.83\,(166.1)} = 0.000\,4c/2$$

Consultando las tablas de la distribución normal se ve que esta ecuación está resuelta para r=2.90(14.91)=43.2. Lo que significa que para este artículo y con esta aproximación la cantidad de que se dis -

pone después de la llegada de un pedido debe tener un promedio de - 294.5+43.2=337.7. Así, cada 5.89 semanas debe revisarse el inventario de este artículo. Cada vez que revisemos el estado de las existen - cias habrá incluidas en ellas 150 unidades para satisfacer el promedio de la demanda en el período de adelanto. Lo que no debe afectar el hecho de que deseamos 331 unidades en existencia al arribo de cada pedido. Por tanto, nuestra regla es pedir la diferencia entre - 481 unidades y las existencias disponibles en cada revisión. El efecto de esta regla será que ordenaremos algo menos si las fluctuaciones de la demanda han sido en el sentido de la menor demanda y algo mayor en el otro caso. Esto, por supuesto, es la esencia del sistema P. Si el costo total de este procedimiento se calcula, se encuentra que es $ 205.10, en comparación con el total correspondiente de $194.44 del costo anual del sistema Q óptimo. Como era de esperarse el costo del sistema P es algo más elevado.

Igualmente bien podemos introducir un costo unitario por falta de - existencias, C_u, en nuestro análisis aproximado. Usando la misma notación que antes, tenemos:

$$T.C_a = r\,c\,C_c + u\,C_u \int_{\bar{z}+r}^{\infty} (y-\bar{z}-r)\, f^t(y)\,dy$$

e igualando a cero la derivada con respecto a r da:

$$F^t(\bar{z}+r) = 1 - \frac{c\,C_c}{u\,C_u}$$

Esta es una ecuación fácil de resolver. Por ejemplo, supongamos que el costo unitario por faltade existencias, C_u, es de $10 para el - artículo que estamos considerando. Sustituyendo nuestros datos en - la expresión anterior se obtiene:

$$F^t(\bar{z}+r) = 0.9932$$

Consultando las tablas de la distribución normal se ve que debemos- tener r=2.47(14.91)=36.8 y el resto del razonamiento se hará como - el anterior.

3.4.4. Políticas Optimas de Inventarios.

El estudiante podrá haberse dado cuenta que lo anterior que hemos venido haciendo, es calcular la política óptima de inventario dada una regla de conducta determinada a seguir. Osea dado que seguimos una regla tipo Q, la pregunta que nos hemos venido haciendo es cuál es la política óptima a seguir para un conjunto de datos dados. Pero esto no quiere decir que sin restricciones de ninguna clase sea esta la mejor política. Tal vez lo sea, desde un punto de vista práctico, por la facilidad de su control administrativo, más no desde el punto de vista de un análisis matemático riguroso, para ello tendríamos que hacer uso nuevamente de la Programación Dinámica en su forma estocástica y este tema sale de los alcances del curso. Baste mencionar la existencia de esta posibilidad aunque en términos prácticos a la fecha no haya pasado de ser un tema de gran interés en la Investigación de Operaciones y un coto de caza preferido para tesis y otros trabajos relacionados. Es posible que con el uso cada vez más generalizado de las computadoras y su menor costo esto pase a ser la herramienta común de las empresas, ya que de la misma forma empezaron todas las teorías y modelos anteriores y su uso se ha generalizado en todo el mundo.

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

M. EN C. JUAN BUENO ZIRION

MARZO-ABRIL, 1980

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

2.- PROGRAMAS MAESTROS DE PRODUCCION.

Como una introducción al problema de la programación de la producción tomemos los datos del ejemplo siguiente.

Mes (1)	Producción en el mes. (2)	Requerida Acumulada. (3)	Días de en el mes. (4)	Producción acumulada. (5)	Requerimientos diarios (2) y (4). (6)
Ene.	400	400	22	22	18.18
Feb.	510	910	18	40	28.33
Mar.	400	1310	22	62	18.18
Abr.	405	1715	21	83	19.29
May.	460	2175	22	105	20.91
Jun.	675	2850	21	126	32.14
Jul.	580	3430	21	147	27.62
Ago.	600	4030	13	160	46.15
Sept.	300	4330	20	180	15.00
Oct.	280	4610	23	203	12.17
Nov.	440	5050	21	224	20.95
Dic.	500	5550	20	244	25.00

En él aparecen los requerimientos de producción de un cierto producto, tomando ya en cuenta los tiempos de producción y distribución, por lo que los requerimentos son aquellos que la fábrica debe cumplir.

En primer término, nótese que los requerimentos por mes aparecen diferentes cuando se toma en cuenta el No. de días por mes. En el primer caso los cambios en la demanda son menos abruptos que en el caso en que se consideran los días por mes. Así la relación máximo/mínimo en los requerimentos mensuales es de 675/280= 2.41, y de la producción diaria es de 46.15/ 12.17= 3.79.

En segundo término, los requerimentos que la fábrica debe cumplir incluyen así mismo los inventarios de seguridad (buffer) para el caso de demandas extremas. Se desea realizar diferentes planes de producción que cumplan con esos requerimentos. En la siguiente figura se muestra una técnica por medio de la cual diferentes alternativas pueden ser desarrolladas.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1.- Grafique la curva de requerimentos de producción acumulados.

2.- Un plan de producción factible, en el sentido de cumplir con los requerimentos de rpoducción será cualquier línea que siempre esté arriba de la línea de requerimentos de producción. Las diferencias verticales entre estas dos líneas representan los inventarios creados por el plan de producción propuesto.

Se han graficado dos diferentes planes de producción. El plan No. 1 propone una producción constante, el plan No. 2 sigue más de cerca los cambios en requerimentos pero cambia la producción 3 veces en el año (incluyendo el cambio al principio o al final del año). El plan 2 obviamente requiere menores inventarios que el plan 1 pero supone otros costos dada la necesidad de contratar o correr gente, horas extras o alguna subcontratación. Así mismo el plan 2 supone un inventario inicial de 6 unidades.

En la siguiente figura se muestran los dos planes de producción, junto con sus cambios cambios, comparándolos con los requerimientos diarios. Así mismo se muestra la capacidad normal de planta y su capacidad máxima con turnos extra. Requerimentos más allá de la capacidad máxima implican acumulación anterior de inventarios o algo de subcontratación.

En la siguiente tabla se sumarizan los costos incrementales para los dos planes.

		Plan 1.	Plán 2.
(1)	Inventarios	76785	22208
(2)	Cambios en Fuerza Trabajo	0	28000
(3)	Tiempo Extra	0	3600
(4)	Subcontratación	0	1875
	TOTAL:	76785	56163

(1) Costo de llevar inventarios - 240.00/año x unidad
(2) Costo de contratación o liquidación - 200.00/hombre
Un empleado incrementado o substraido de la producción la afecta por .1 unidad/día.
(3) Las unidades producidas en tiempo extra cuestan 20.00 más por unidad.
(4) Las unidades subcontratadas cuestan 30.00 más por unidad.

En este caso al Plan No. 2 resulta menos costoso, aunque con seguridad no es el mejor plan al que se pudiera llegar. Esta es una de las objeciones a este método gráfico, ya que no optimiza el plan en ningún sentido, es más, es un método estático que no nos permite variar el plán según las conciones cambian.

Estas dos limitaciones es posible en algunos casos superarlas por medio de métodos matemáticos o heurísticos que discutiremos más adelante. Sin embargo este método gráfico nos ha servido para centrarnos en el problema que representa un plan maestro de producción o planeación agregada como ha dado en llamársele actualmente. En lo que sigue usaremos los dos términos indistintamente.

3.- DIFERENTES SOLUCIONES PARA DIFERENTES ESTRUCTURAS DE COSTOS.

Según sea la estructura de costos en una empresa alguna de las variables de decisión (como son cambios de inventarios, fuerza de trabajo, etc.,) dominará en la solución dada al problema planteado por la necesidad de hacer frente a una demanda variable. Esto puede ser mejor ilustrado por medio de algunos ejemplos:

Ejemplo 1. Uso de inventarios.

En una pequeña empresa fabricante de zapatos para hombre, se encontró que el inventario era la variable clave para absorber las fluctuaciones de la demanda durante el año.

Como estas fluctuaciones son relativamente pronunciadas, — significa que la inversión en inventarios varía por casi cincuenta porciento en el curso de un año. En la condición extrema de — ventas máximas, inventarios negativos son usados en el sentido de permitir la acumulación de órdenes sin surtir o incrementar los — tiempos de entrega. Las razones de esta política son:

1.- Mano de obra muy calificada siendo un recurso escaso.
2.- Fama bien establecida que hace que el consumidor desee esperar el producto.
3.- El espacio de almacenamiento es reducido.

Ejemplo 2. Uso de inventarios.

Un gran productor de leche y sus derivados se encuentra frente a cambios en la demanda de sus diferentes productos, complicado esto con contratos a largo plazo con sus proveedores, en el sentido que cantidades fijas tienen que ser absorbidas en el año. Como esta oferta varía también durante el año, al problema se le da la solución de no solo variar el inventario de leche sino también los inventarios de sus derivados. Esto se debe a que algunos productos tienen una vida más larga tales como queso, mantequilla y helado — que pueden ser almacenados para la época de mayor venta. Las razones de esta política ya han sido mencionadas, a saber:

1.- Cantidades fijas de compra de materia prima.
2.- Existencia de productos derivados.

Ejemplo 3. Tasa de producción e Inventarios.

En una gran fábrica de latas para la industria cervecera, la demanda de latas se deriva de la demanda por bebidas. Como la producción de latas se puede tipificar en tres etapas; laminado- impresión- formado, es posible usar una combinación de inventarios — en proceso y variaciones en la tasa de producción para satisfacer la demanda. Como la industria de latas es sumamente competitiva, — se considera esencial ofrecer un servicio rápido a los clientes.— Para lograr esto y evitar requerimentos de espacio para almacenar grandes cantidades de latas vacías, la solución está en completar las dos primeras etapas del proceso y guardar las láminas impresas en inventario. Cuando se recibe una órden es posible formar y entregar las latas usando tiempo extra en la etapa de formado. El grado de mecanización usado impide a la administración variar la mano de obra. Las razones para usar tiempo extra e inventarios en proceso en este caso fueron:

1.- La mecanización fija al tamaño de la mano de obra.
2.- Se requiere un rápido servicio dada la competitividad del — mercado.
3.- El proceso es divisible en etapas, requiriéndose menos volumen de almacenamiento en etapas intermedias.

Ejemplo 4. Uso de Mano de Obra.

En una industria mediana productora de dulces y chocolates, que experimenta grandes fluctuaciones en la demanda durante el año variaciones en la mano de obra son usadas para absorber los mínimos y máximos. Como el proceso requiere una gran cantidad de mano de obra de baja calificación, es posible obtener los trabajadores sin grandes dificultades, la política estaba dictada por restricciones en la vida del producto cuyo proceso de deterioración es muy rápido

Esto significa que el inventario tiene una aplicabilidad muy limitada para absorber la demanda. Resumiendo, las razones de esta política fueron las siguientes:

1.- Corta vida del producto.
2.- Disponibilidades de mano de obra.
3.- Mano de obra no calificada necesaria en el proceso.

En los ejemplos anteriores intentamos ilustrar que dadas las estructuras de costos de una industria la solución al problema de hacer frente a las variaciones en la demanda será de un tipo definido, estas condiciones es necesario determinarlas antes de intentar ningún modelo o plán, si se desea evitar errores en ocaciones costosos. Esto no quiere decir, sin embargo, que una forma única de absorber las fluctuaciones en la demanda sea lo óptimo, existiendo costos asociados con cada una de las alternativas, tal y como se mostró en los ejemplos anteriores.

Las alternativas abiertas a un ejecutivo que intenta hacer frente a fluctuaciones son las siguientes:

1.- Ajustar su mano de obra contratando y despidiendo de acuerdo a las fluctuaciones.
2.- Ajustar su producción con más o menos tiempo de trabajo sin variar la mano de obra.
3.- Absorber las fluctuaciones por medio de acumulación de inventarios, pedidos o pérdidas de venta.
4.- Subcontratar.
5.- Políticas de Mercadotecnia.
6.- Combinación de las anteriores.

Cuáles son los costos que conciernen al usar cualquiera de estas estrategias es el tema del inciso siguiente.

3.- COSTOS INVOLUCRADOS EN EL CAMBIO DE VOLÚMENES DE PRODUCCION.

Aunque en la planeación agregada se dividen el nivel de mano de obra y la tasa de producción, es útil hablar de sus interrelaciones y ver la estructura de costos involucrada en el cambio de niveles de producción (que incluye a la mano de obra y/o tasa de producción). Nuestro objetivo sería mostrar más claramente que sucede cuando

el nivel de producción varía. Estaremos interesados en los costos incrementales de dichas decisiones. Podremos dividir estos costos en aquellos que ocurran por única vez al momento de tomar la decisión y los costos incrementales que ocurren durante el periodo en que el nuevo nivel está en efecto. Son tres los factores determinantes de estos costos.

1.- El nivel actual de producción, antes de la decisión de cambiarlo.
2.- La magnitud del cambio.
3.- La duración del cambio.

La influencia del nivel actual debe ser obvia. Si la planta se encuentra trabajando al 80% de su capacidad, un incremento del 10% resulta relativamente fácil comparado con los costos necesarios del mismo incremento si la planta ya se encontrara al 100% de su capacidad.

El efecto de la magnitud del cambio es claro también. Contratar o despedir 50 empleados resulta más caro que hacer lo mismo con 5. Similarmente un gran incremento en los inventarios puede requerir bodegas adicionales y una gran reducción puede implicar abandonar algunas de ellas. Grandes cambios en la mano de obra pueden ser impedidos por la escacés de la misma o cláusulas de contrato con sindicatos.

La duración del cambio también afecta el costo de un cambio de nivel. Un incremento en la producción por medio del uso de tiempo extra implicará costos según dure el cambio. La elección del tiempo de programación dependerá del costo de programas; los errores que se cometan; el tiempo que tarda el estudio y el costo de cambiar planes que ya se encuentran en manos de la gente de producción.

Es muy poco probable que los costos de incrementar o disminuir la producción sean los mismos. En la siguiente tabla se muestran algunos de los costos típicos involucrados en aumentar y disminuir la producción y se nota que las listas son muy diferentes y los costos agregados resultantes es de esperarse que sean diferentes.

TABLA 1 - 1

Costos involucrados en el cambio de niveles de producción (tasa y fuerza de trabajo).

Costos de Aumentar	Costos de Disminuir
1.- Contratación y Entrenamiento.	1.- Compensaciones de despido
a) Entrevistas y Selección.	
b) Registros, exámenes,...	2.- Contribuciones al Sindicato.
c) Entrenamiento.	

2.- Funciones de Servicio
   a) Control de inventarios y Producción.
   b) Compras; recepción e inspección de materiales y de manejo.

3.- Nuevos Turnos.
   a) Supervisión
   b) Costo extra por horario.

4.- Tiempo extra.

3.- Costo de transferir al empleado y reentrenarlo.

4.- Efectos intangibles en la imagen de la compañía.

5.- Costos en el control de inventarios y producción por cambio de programas, puntos de ordenamiento, ...

6.- Tiempos muertos por el retrazo entre la decisión y la acción.

Así mismo podemos hablar de los costos que ocurran por cambios en los niveles de subcontratación, los cuales en caso de un aumento incluyen puntos tales como: firma de nuevos contratos; anticipos, aumento en los pagos; costos de supervisión, etc.; y en casos de disminución pueden incluir conceptos como: indemnizaciones, pérdida de confianza; etc.

En todo caso, y basados en nuestro conocimento de que los costos de un cambio son función del estado actual y de la magnitud del cambio podemos afirmar que los costos seguirán en forma tal como la propuesta en la figura 4. 1

En la cual debemos notar las siguientes características:

1.- El cambio en costos por aumentar la producción aumenta según es más alta la capacidad usada actual.

2.- El cambio en costos por disminución la producción aumenta según es más baja la capacidad usada actual.

3.- El cambio en costos es mayor según el cambio sea en mayor en una incremento creciente. Es decir las líneas son cóncavas hacia arriba.

En la vida real estos supuestos se ven complicados por el hecho de que los cambios en ocaciones no se pueden hacer sino en grandes incrementos a la vez lo que obliga a discontinuidades en las curvas tal y como se muestra en la figura 4 - 2.

Así mismo debemos entender que en la vida real es muy difícil, si no imposible, determinar con exactitud la forma de dichas curvas, por lo cual es la práctica usual hacer ciertas simplificaciones como suponer las curvas como una recta o variar rectas, lo cual permite el uso de técnicas como la Programación Lineal para resolver el problema de la planeación agregada. Estas soluciones como tal son una simplificación de lo que ocurre en la realidad, sin embargo esta realidad es lo suficientemente compleja como para que pierda sentido tratar de modelarla exactamente, y aunque ello pudiera ser hecho, el costo en la mayoría de los casos resultaría prohibitivo por lo cual tendremos siempre que determinar hasta que punto deseamos modelar la realidad y que simplificaciones nos permiten llegar a resultados aprovechables.

Nos faltaría discutir cuales son los costos en que se incurre por un cambio en el nivel de inventarios, en este caso nuevamente se aplican nuestros principios básicos y son que: el cambio en costos dependerá del nivel actual, la magnitud y la duración del cambio de nivel de inventarios. En general se supone que los costos de llevar inventarios son lineales sobre un gran rango ocurriendo algunas discontinuidades en muy altos o bajos niveles en que las facilidades actuales se vuelven extremadamente ineficientes para manejar los volúmenes. En el caso de inventarios existen dos costos básicos: en primer lugar el costo de llevar inventarios que aumenta proporcionalmente al nivel de inventarios en segundo lugar el costo de faltantes que disminuye según aumentan los inventarios; la suma de estos dos costos nos dá el resultante del costo de inventarios, existiendo un nivel mínimo de acuerdo al nivel de operaciones o la forma de la demanda. Esto se ilustra en la figura 4 - 3.

5.- LA FUNCION DEL CONTROL.

Cuando se ha elaborado un programa básico de producción, el resultado es una secuencia de niveles planeados de producción y de balances de inventarios basados en los pronósticos de ventas. A medida que surjan las ventas debemos tener algún sistema para compensar las diferencias entre las necesidades planeadas y las reales de modo que se mantengan los inventarios, la mano de obra y la subcontratación a un nivel adecuado. Si las necesidades reales sobrepasan a los planes, corremos el riesgo de quedarnos sin existencias con resultados de un servicio deficiente para el cliente. Si las necesidades reales son menores a lo esperado, las existencias se acumularán o tendremos mano de obra ociosa, con el resultado de mayores costos para mantenerlos. Un plan de control es necesario, a fín de ajustar los niveles de producción e inventarios con la experiencia de las ventas. Tal plan de control puede lograrse al elaborar periódicamente un nuevo programa de producción que tome en cuenta los l.s inventarios existentes y los ajuste a los niveles de producción a corto plazo. La elaboración de un nuevo programa requiere la reaplicación de ideas que hemos discutido. Los ajustes inmediatos son los que deseamos discutir ahora. Es común que estos ajustes se apliquen únicamente a el nivel de inventarios, el nivel de subcontratación y ajustes en el ritmo de producción, dejando los cambios en mano de obra y política de ventas para los planes a mediano y largo plazo. En lo que sigue ejemplificaremos con el control de inventarios y cambios en el nivel de producción sin mencionar a la subcontratación, aunque ella en algunos casos es factor importante a considerar.

En esencia, nuestro objetivo es incrementar o disminuir los niveles de producción en el período posterior, en forma proporcional a las diferencias entre ventas reales y las de pronósticos, en una cantidad que minimice los costos marginales de inventarios y la fluctuación de niveles de producción. Si el período que se planea es relativamente corto, este ajuste de niveles corregirá continuamente los niveles de inventario a fín de mantenerlos de acuerdo con la demanda actual y de este modo, prevenir el quedarse sin existencias o que éstas se incrementen en demasía.

Esto trabaja como un sistema de retroalimentación.
La información relacionada con la demanda del consumidor se compara con los inventarios reales para determinar el error lo cual se retroinforma y se compara con la información que se tiene sobre los niveles de producción planeados para el período venidero. Mediante el uso de una regla predeterminada, el nivel de producción se ajusta para compensar la fluctuación en la demanda y mantener los inventarios en el nivel deseado. Este flujo de información está representado en la figura 5 - 1.

Para diseñar un sistema de control para niveles de producción son dos las variables sujetas a nuestra elección: La frecuencia de los ajustes y la tasa de reacción del ajuste. Ambos son importantes como veremos. La tasa de reacción del ajuste sobre los niveles de producción determina el grado de ajuste que se debe de hacer para una fluctuación dada en la demanda. Si ajustamos los niveles de producción planeados a la diferencia entre al volumen total de ventas y los pronósticos, tendríamos un 100% de tasa de reacción, y las fluctuaciones en las ventas se transmitirían directamente a la producción. Una tasa de reacción del 100% origina los más serios problemas y costos de inestabilidad. Si ajustamos los niveles de producción solamente en un 50% del cambio indicado por la fluctuación en la demanda, tendríamos una tasa de reacción del 50%. Obviamente estas tasas de reacción pueden tomar cualquier valor entre 0 y 100%. Tasas de reacción bajas originan una producción estable a costa de niveles no adecuados en inventarios, una tasa de reacción alta origina condiciones opuestas. La frecuencia de la reacción también tiene su efecto. Los períodos cortos de revisión tienden a reducir las fluctuaciones en la producción y ocacionan inventarios más bajos, para una tasa de reacción dada. La selección de la tasa de reacción y del período de revisión para un caso dado dependerían del balance de los costos de tener un artículo en inventario, junto con la evaluación de la magnitud en la fluctuación del nivel de producción tolerable a corto plazo.

Debido a que la mayoría de las fluctuaciones en la demanda de los productos se debe a causas fortuitas, no existe una necesidad de reaccionar rápidamente. Tasas de reacción bajas y periodos de revisión cortos, tienden a crear una actitud "expectante" al efectuar a menudo pequeños ajustes. Escencialmente crean una acción de retención, para ver si la fluctuación de las ventas es realmente un incremento o decremento, mas que una fluctuación fortuita. Esta política se justifica además por el hecho de que solo en contadas ocaciones un fabricante recibe información de primera mano acerca de la demanda de su producto, proveniendo en general de sus distribuidores, cuyos cambios son una amplificación de los cambios en el mercado al menudeo, existiendo un retrazo en la respuesta lo cual hace difícil interpretar las tendencias del momento y del futuro.

En la práctica se ha encontrado conveniente tasas de reacción bajas, típicamente del 5% al 10%. Los tiempos de revisión dados por la velocidad con que se puede obtener información del mercado y procesarla, intentándose acortar estos lo mas posible.

6.- ESTUDIO DE LAS RESTRICCIONES Y OPTIMIZACION. (PROG. LINEAL).

En este inciso veremos una técnica muy usada para la formulación de planes de producción, conocida como programación lineal.

La programación lineal es una técnica desarrollada en la época

de la Segunda Guerra Mundial. Su valor respecto a la producción dirigida estriba en que con dicha técnica pueden resolverse problemas de distribución de gran complejidad que involucran un gran número de variables. ¿De qué tipo de problemas hablamos? Empecemos con un ejemplo ilustrativo, que por ser sencillo no requiere el caso de la programación lineal para resolverlo.

Supongamos el problema como sigue: somos productores mayoristas de un laminado plástico que vendemos por hojas de 1.22 mts. x 2.44 mts. en tres espesores, contamos con dos máquinas ubicadas en la misma planta y nos referiremos a ellas como máquinas A y B. La máquina B es de un diseño reciente y produce muy económicamente los espesores 1 y 2, en el caso del espesor 3 resulta más económica la máquina A. Los datos se sintetizan en la siguiente tabla:

Grueso	Horas x 100 hojas A	B	Ingreso x Ventas de 100 Hojas	Demanda Máxima en cientos de hojas/semana.
1	.25	.20	100	310
2	.40	.25	120	300
3	.35	.45	150	125
Costo x Hora	250	300		
Max. disponible de horas/semana	100	100		

Observamos que los costos de operación por hora en la máquina A son de 250.00 comparados con 300.00 en el caso de la máquina B y que ambas máquinas pueden ser operadas un máximo de 100 a la semana, lo que constituye una restricción. Los costos por hora incluyen mano de obra, materiales diversos, energía, depreciación, etc., pero no incluyen los costos de materia prima. Estos son idénticos para un plan de producción dado, en ambas máquinas, y por ende no son considerados en el problema.

En la misma tabla se indican los ingresos por ventas y demandas máximas, para cada uno de los espesores. Al planear la producción podemos suponer que pueden obtenerse las cifras indicadas o menores, siempre y cuando sea económico.

La interrogante es: ¿ Cómo distribuir la producción entre las dos máquinas para los tres tamaños que tenemos del producto, al fin de aumentar al máximo algún índice de utilidad que es nuestro objetivo final ?.

Primero definimos nuestra medida de efectividad como E, ingreso marginal: la diferencia entre el ingreso y los costos variables. En segundo lugar la tabla anterior nos dá los costos marginales o variables y las restricciones respecto al tiempo y producción disponible. Igualmente dicha tabla indica los datos del ingreso y también las limitaciones respecto a la cantidad que podemos vender. Tratemos de expresar estas ideas en forma más exacta.

6. 1.- La formulación simbólica del problema.

Puesto que tenemos limitaciones respecto al número de horas que las dos máquinas pueden operar y dado que conocemos el tiempo requerido para producir cada espesor en cada máquina, en el caso de la máquina A podemos escribir lo siguiente:

(Horas unitarias para el espesor 1) (cantidad del espesor 1) + (Horas unitarias para el espesor 2) (cantidad del espesor 2) + (Horas unitarias para el espesor 3) (cantidad del espesor 3) no pueden exceder 100 horas.

Toda la información contenida en la descripción que antecede tiene como orígen la tabla de datos. Con el objeto de traducirla en forma simbólica, definimos las cantidades de cada producto como x. Usando subíndices, x 1A representa la cantidad del espesor 1 producido en la máquina A, x 2A la cantidad del espesor 2 producido en la máquina A, etc. La expresión simbólica equivalente es:

$$0.25\ x\ 1A + 0.40\ x\ 2A + 0.35\ x\ 3A \leq 100 \qquad (1)$$

Esta forma simbólica equivale a su expresión verbal.
El símbolo $\leq$ se lee "menor o igual a ". Se refiere solo al número de horas que se trabajarán en la máquina A en cada uno de los tres espesores. En forma semejante podemos expresar el caso de la máquina B;

$$0.20\ x\ 1B + 0.25\ x\ 2B + 0.40\ x\ 3B \leq 100 \qquad (2)$$

Tenemos ahora seis incógnitas, x 1A, x 2A, x 3A, x 1 1B, x 2B, y x 3 B, o sea las cantidades, en unidades de 100 hojas, que de cada tamaño deben producirse en las dos máquinas.

Las expresiones simbólicas como (1) y (2) se denominan desigualdades. En escencia indican que el tiempo total asignado a cada uno de los tres espesores puede no ser igual a 100 horas; es decir podría haber algún tiempo ocioso.

En tal caso y para la máquina A, designamos WA como el tiempo ocioso y así planteamos el tiempo faltante:

$$0.25 \times 1A + 0.40 \times 2A + 0.35 \times 3A + WA = 100 \qquad (3)$$

Puede ser que el tiempo ocioso, WA, sea cero, empero dejemos que la solución nos indique su valor, a fin de que nuestra medida de utilidad (efectividad) sea máxima. Análogamente, WB es el tiempo ocioso para la máquina B y tenemos:

$$0.30 \times 1B + 0.25 \times 2B + 0.40 \times 3B + WB = 100 \qquad (4)$$

Ahora nos fijamos en que las cantidades tales a producir, que sabemos no pueden excederse de 310, 300 y 125 para los tres espesores, respectivamente, por limitaciones en la demanda. Puesto que las x representan las cantidades producidas, sabemos que la cantidad del espesor 1 producida en la máquina A más la producida en la máquina B, no pueden ser superiores a 310, V. G:

$$x\,1A + x1B \leq 310 \qquad (5)$$

Igualmente, para los tamaños 2 y 3:

$$x\,2A + x\,2B \leq 300 \qquad (6)$$

$$x\,3A + x\,3B \leq 125 \qquad (7)$$

Como en el caso anterior sabemos que es posible que no produzcamos la cantidad máxima de cada uno de los tres espesores y por tanto, cubrimos cualquier margen con tres nuevas variables, W1, W2 y W3 y así obtenemos tres ecuaciones en vez de tres desigualdades.

$$x\,1A + x\,1B + W1 = 310 \qquad (8)$$

$$x\,2A + x\,2B + W2 = 300 \qquad (9)$$

$$x\,3A + x\,3B + W3 = 125 \qquad (10)$$

Finalmente, tenemos un sumando que al expresarlo simbólicamente integrará el modelo de nuestro problema. Se trata de la función de utilidad (ganancia), que ya hemos definido como ingreso, menos los costos variables o marginales, es decir:

$$Z = \text{ingresos} - \text{costos variables}$$

$$E = 100\,(x_{1A} + x_{1B}) + 120\,(x_{2A} + x_{2B}) + 150\,(x_{3A} + x_{3B})$$

$$- 250\,(0.25x_{1A} + 0.20\,x_{2A} + 0.35x_{3A})$$

$$- 300\,(0.20x_{1B} + 0.35\,x_{2B} + 0.40x_{3B})$$

La función de utilidad puede simplificarse al efectuar las multiplicaciones indicadas y agrupando términos semejantes, obteniendo:

$$E = 37.5x_{1A} + 40x_{1B} + 20x_{2A} + 45x_{2B} + 62.5x_{3A} + 30x_{3B}$$

$$= \max \qquad (11)$$

En realidad, E representa la suma de las diferencias que, para cada tamaño y en cada máquina, existen entre el ingreso y el costo variable multiplicada por la cantidad producida. Lo que queremos hacer es lo más grande posible E y tal objetivo se indica al igualar E a "max".

Ahora tenemos 5 ecuaciones y 11 incógnitas, más la función objetivo que deseamos aumentar al máximo. Ordenémoslas por columnas de las mismas variable como en la siguiente tabla:

...do ...cho	x1A	x2A	x3A	x1B	x2B	x3B	wa	wb	w1	w2	w3
100	0.25		0.40		0.35		1.00				
120		0.20		0.25		0.40		1.00			
150	1.00	1.00							1.00		
250			1.00	1.00						1.00	
125					1.00	1.00					1.00
max	37.50	40.00	20.00	45.00	62.50	30.00					

La tabla empieza a tomar forma de una matriz "simplex" o sea, la forma tabular normalmente usada en la solución de problemas de programación lineal tipo simplex. Con esta formato y con un método iterativo puede llegarse a una solución para determinar el valor de cada una de las once variables. Un proceso iterativo es un procedimiento aritmético que se repite una y otra vez, basado en un conjunto estandar de reglas o pasos. Del planteamiento del problema, en que por necesidad todas las variables son no positivas o cero, se puede demostrar que en la solución óptima del problema, de las once variables, al menos seis serán cero y cinco tendrán valores positivos. El método simplex nos indica cuales de las variables son cero y el valor de las demás, para la condición en que E sea máxima. La solución para este problema es: E tiene un valor máximo de 28,350 pesos cuando las once variables tienen los siguientes valores (el método de solución se desarrolla en el apéndice de este capítulo)

$x_{1A} = 105 \quad x_{2A} = 0 \quad x_{3A} = 125 \quad w_a = 10 \quad w_b = 0 \quad w_1 = 0$

$x_{1B} = 125 \quad x_{2B} = 300 \quad x_{3B} = 0 \quad w_2 = 0 \quad w_3 = 0$

Por consiguiente la solución nos indica que la máquina de alta productividad será ocupada al 1 , lo que al 1) cumplimos con la orden de la demanda, 2) mantenemos a la máquina 1 ocupada por 10 horas y no

producimos en ella el espesor 2 y 3) si trabajamos 100 horas la máquina B produciendo espesores 1 y 2.

Aunque se trata de un problema sencillo, comparado a las complejidades que en la realidad ofrecen los problemas industriales, la respuesta no es obvia. Asimismo sirve para mostrar las potencialidades del método y algunas de sus limitaciones.

Debemos tomar nota que el modelo de programación lineal, con que venimos trabajando, puede proporcionar programas con otros objetivos básicos. Por ejemplo, un programa para aumentar al máximo la utilización del equipo, requeriría una función objetivo donde la suma de las variables wa y wb sea mínima. Por otro lado, el objetivo de producir un metraje máximo podría programarse usando una función objetivo donde la suma de todas las x aumentaría al máximo. En ambos casos podrían emplearse las mismas cinco ecuaciones de restricciones fundamentales.

El problema que hemos usado como ejemplo, es representativo de una amplia clase de problemas donde nos vemos obligados a distribuir recursos limitados entre actividades o usos competitivos. Los modelos para problemas específicos pueden involucrar restricciones tal y como lo ilustra nuestro problema ejemplo v.g. nos fue permitido usar usar un máximo de 100 horas por máquina, o la demanda limitaba hasta ciertos valores la producción. No se pretende indicar por medio de este ejemplo, que todos los problemas impliquen formulaciones de este tipo. Podemos tratar en forma semejante requerimientos de equivalencia o desigualdades en el sentido inverso (≥ mayor o igual que).

Algunos usos de la programación lineal en la industria han sido:

1.- Asignación de instalaciones de producción cuando se dispone de varias rutas disponibles.

2.- La distribución de fondos limitados a varios artículos del inventario.

3.- Problemas de mezclas y problemas de abastecimientos

4.- Programación de la producción para cumplir con un pronóstico de ventas.

5.- Maximización del uso de los materiales.

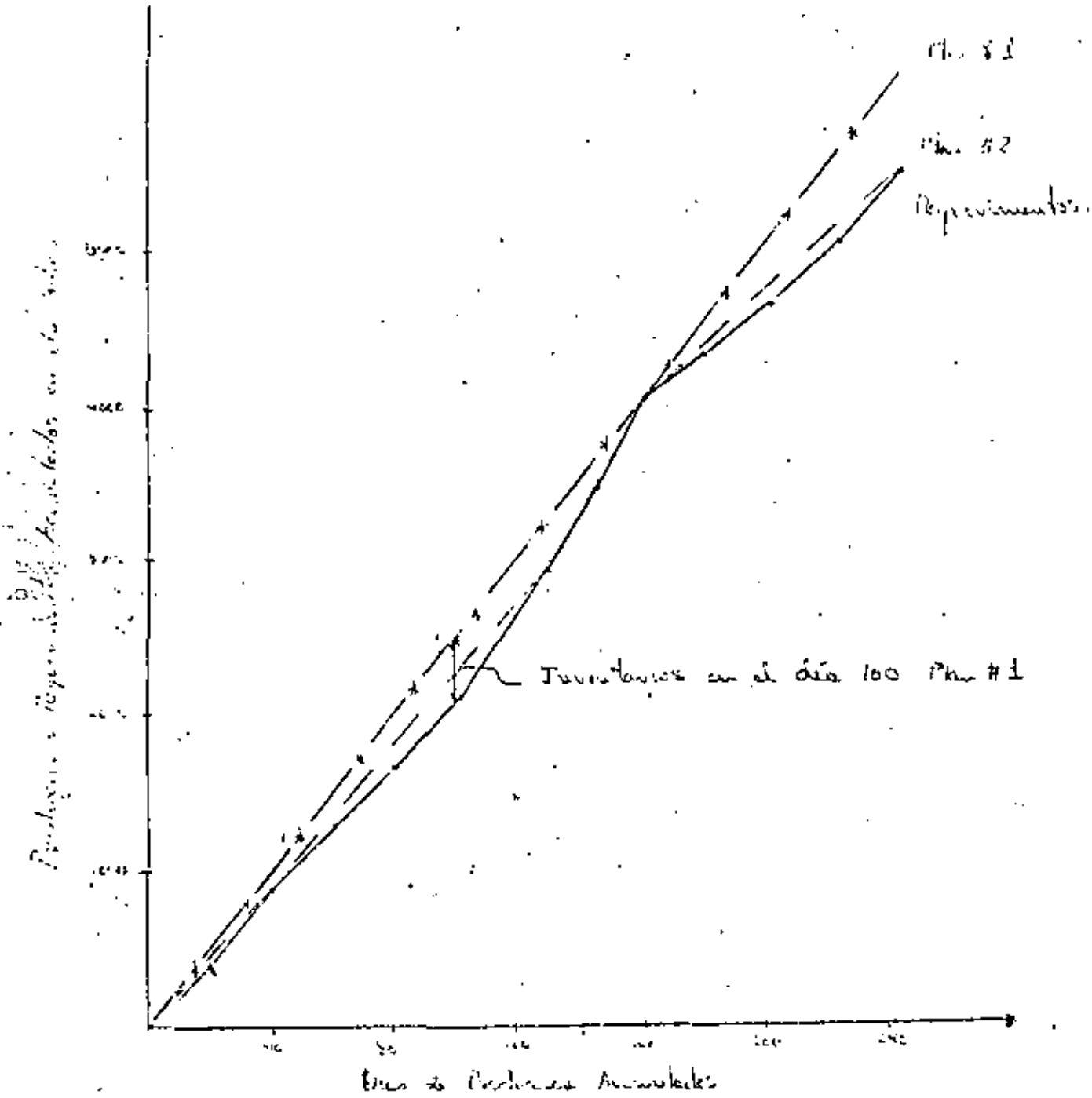
Terminemos esta sección con un ejemplo que se resolverá en clase:

Supóngase una empresa en la que se ha determinado el siguiente pronóstico de producción:

ENE	400
FEB	510
MAR	400
ABR	485
MAY	470
JUN	675
JUL	530
AGO	600
SEP	300
OCT	250
NOV	440
DIC	500

En el presente, la fuerza de trabajo puede producir 470 unidades por mes. Un empleado substraido o incrementado varía la producción en 20 unidades por mes. El salario es de 660 pesos al mes y el tiempo extra se paga en un cincuenta porciento más. En tiempo extra y por política de la empresa un empleado no puede producir más de 2 unidades por mes. El contratar una persona se ha estimado en un costo de 100 pesos y el despedirla en 200 pesos. El costo de llevar inventarios se supone de 10 pesos por mes por unidad y el costo de faltantes de 50 pesos por unidad. Nuestro objetivo es realizar un programa de producción con el menor costo posible, y plantear el problema en términos de la programación lineal.

Figura 2.1.



Plan	Día	Producción	Trabajadores	Comentarios
1	Todos	25.1815	252	
2	126	22.15	228	
	34	30.22	215	Sobrehoras 132 hs. [illegible]
	84	18.10	181	

Figura 28.

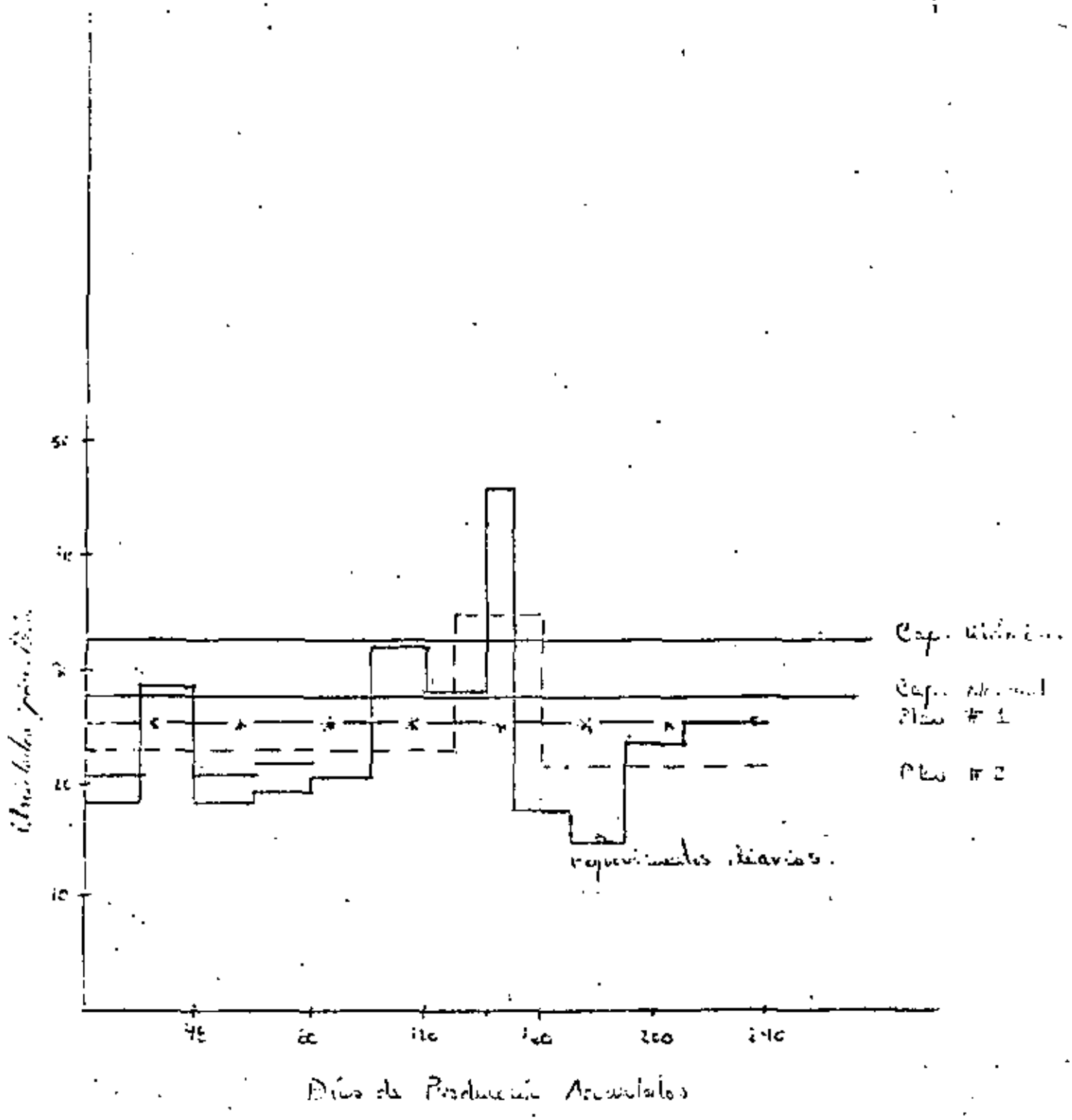

Cap. máxima
Cap. normal
Plan # 1
Plan # 2
requerimientos diarios.
Días de Producción Acumulados

Figure 4.1

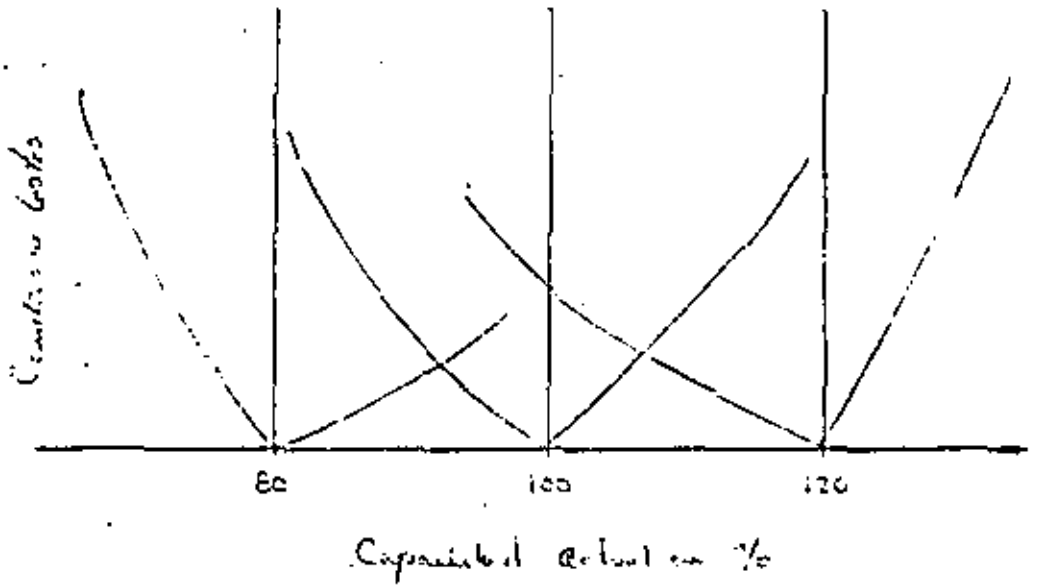


Figure 4.2

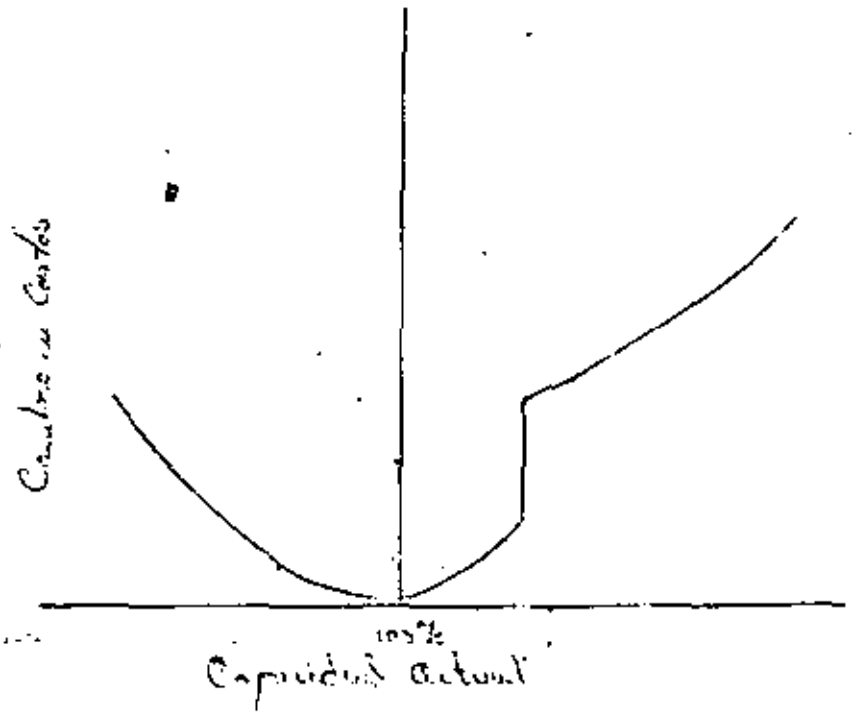


Figura 4-3

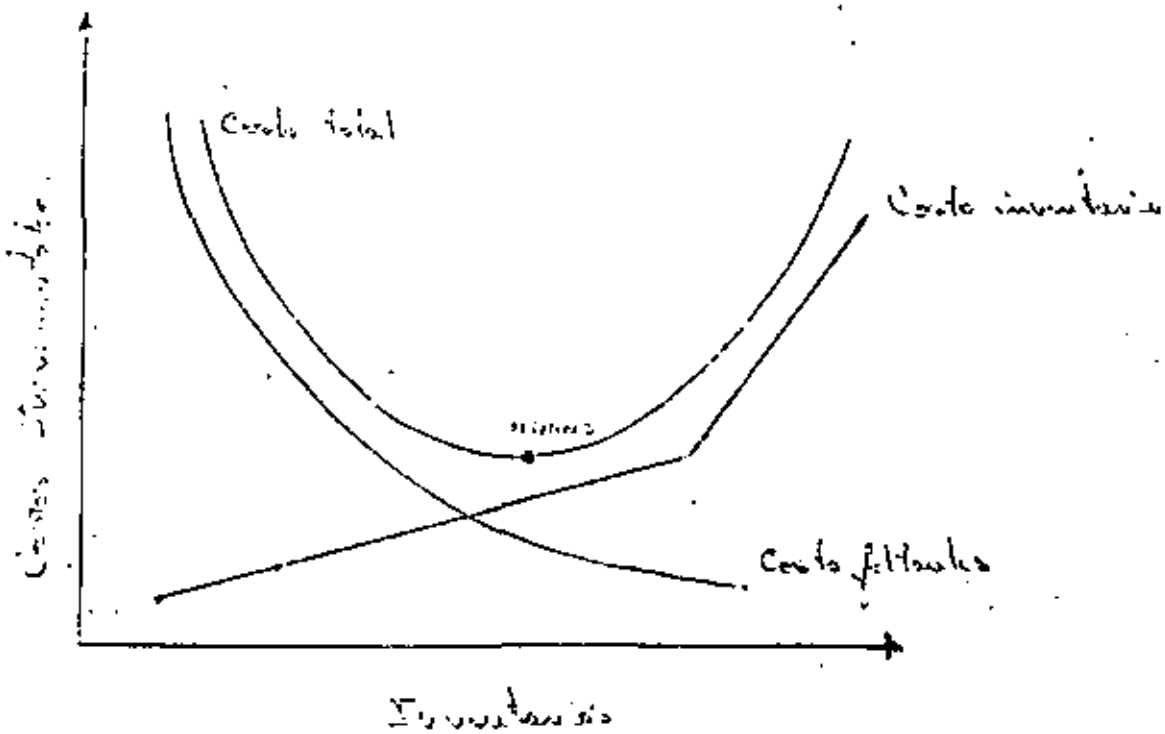


Figura 5 - 1

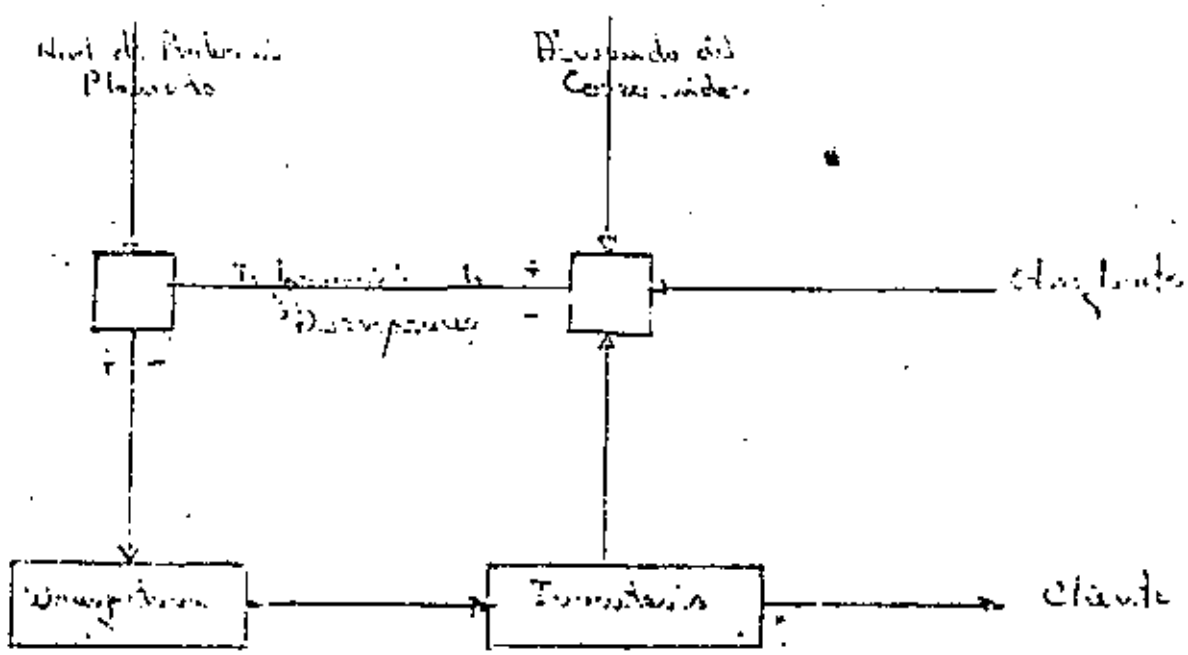
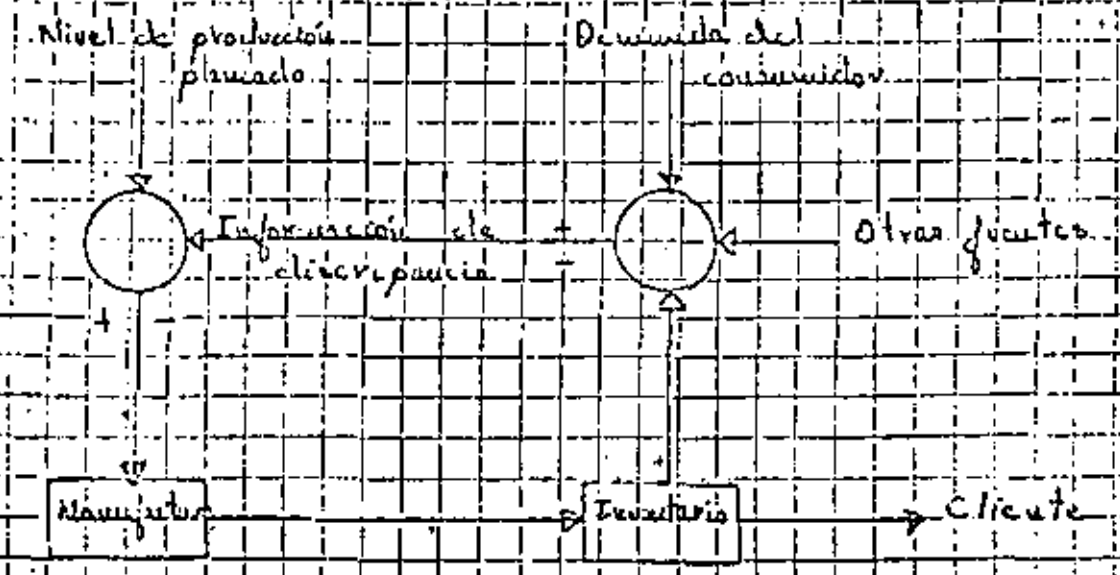


Figura 5-


Nivel de producción planeado
Demanda del consumidor
Información de discrepancia
Otros factores
+
−
+
−
Manufactura
Inventario
Cliente

"PROBLEMAS EN EL CONTROL DE LA PRODUCCION"

Objetivos del Control.

Control, en el sentido que lo usaremos, significa el ajuste de operaciones para conformarlas a un plan. Como se ha visto anteriormente, una fuente principal de dificultades es la incertidumbre que se tiene con respecto a requerimientos futuros.

La principal función del control de producción, es la adecuación de las órdenes al sector de manufactura para mantener los inventarios en un nivel adecuado dadas fluctuaciones a corto plazo de la demanda. la posibilidad de lograrlo necesariamente depende de la abilidad del área manufactura a reaccionar rápidamente a estas fluctuaciones.

Con objeto de mantener bajos los inventarios, el proceso debe tener reacciones rápidas adecuadamente controladas o, en algunos casos, equivalentemente exceso de capacidad. Si las reacciones son lentas o limitadas los inventarios deberan ser altos, así el inventario sirve como un freno a los cambios bruscos de producción.

Algunos Ejemplos de lo que no se debe hacer.

a) La compañía XYZ maneja una línea medianamente amplia de artículos para la construcción. La mayoría de las órdenes son para entrega inmediata y un servicio rápido es importante. Para lograrlo la compañía instaló el siguiente sistema:

1.- Se determinó el lote económico para cada grupo de inventario tomando en cuenta costos de iniciar producción y almacenar.

2.- Se determinó la tardanza "normal" en entrega de pedidos y se fijaron puntos de reordon que protegieran contra estas tardanzas.

3.- La revisión de puntos de reordon se haría de la siguiente forma:

-Se preguntaba a planta si un cierto pedido se iba a entregar dentro del tiempo "normal". Si planta avisaba de contingencias que la obligaban a cambios se ajustaban en un -

80 % los puntos de reorden. Por ejemplo si el tiempo de entrega se doblaba, o sea un aumento el 100 % el punto de reorden se subía en un 80 %.

El resultado fue grandes fluctuaciones en la producción e inventario un servicio a los clientes malo.

He aquí algunas delas razones por las que esto ocurrió:

1.- Un sistema de lotes económicos no va a proteger a la producción de fluctuaciones de la demanda.

2.- Es esquema de ajustar los puntos de reorden viola uno delos principios básicos del control, "nunca amplificar las fluctuaciones" y este sistema las sobre compensa.

b) La misma compañía XYZ decidió cambiar su sistema por uno "más sencillo". El gerente, para quitarse de líos, decidió mantener un inventario suficiente para 30 días de ventas (en número de días no importa) y para ello revisa sus ventas cada mes y adecua sus inventarios correspondientemente.

Otra vez el sistema falló y llevó a la planta a grandes fluctuaciones, las razones de ello son:

1.- Es un sistema vicioso para artículos sujetos a variaciones cíclicas cortas (cuando el ciclo es aproximádamente 3 o 6 veces el tiempo tardado en modificar la producción).

2.- Todas las fluctuaciones las pasa a la planta.

3.- No indica si la política es buena o mala económicamente (porque no 15 o 45 días mejor).

<u>Que si se debe hacer.</u>

1.- Predecir la demanda expresada en unidades de capacidad de producción.

2.- Realizar un plan de producción que indique niveles de inventarios y producción.

3.- Establecer un procedimiento de control que decida que tan rápido reestablecer los inventarios al nivel planeado cuando variaciones en la demanda obligen a desviaciones.

Analizamos estos puntos con mayor cuidado. Un primer requerimiento es tener una medida de la demanda que sea útil y pueda ser aplicada a los inventarios y la producción. Esta medida la mayoría de las ocasiones no serán las unidades en que se vende un producto (ya que en general una industria no produce únicamente un pro-

ducto). Sin embargo, podemos considerar a la empresa como una vendedora del tiempo de sus empleados y máquinas y a la labor de planear la producción e inventarios como una de asignación de tiempo a los diferentes productos. Así, si la demanda de los diferentes productos es expresada en las horas de producción necesarias en los diferentes equipos y hombres podremos tener una medida común útil para fines de planeación y control.

Una vez teniendo la demanda en unidades adecuadas es posible realizar un plan de producción que minimize los costos totales que incluyen aquellos relacionados con llevar inventarios, cambios de producción, etc.

Con estos dos elementos es necesario aún establecer un sistema de control que diga que tan rápido debe cambiarse la producción en respuesta a cambios de la demanda, reconociendo que se debe establecer un balance entre costos originados por cambios en la producción, costo de llevar inventarios y faltantes, y claro está la posibilidad del sistema de lograr estos cambios en el plazo de tiempo deseado.

Veamos en primer término una de las reglas más simples (y casi siempre inadecuada) de control:

<u>Regla del Reordenamiento Periódico(K = 1)</u>.

Bajo esta regla el almacén hará una orden cada periodo igual a los requerimientos anticipados durante el tiempo de entrega, menos la cantidad ya pedida más la cantidad en que el inventario deseado en almacén y un órden exceda al inventario real.

Pongamos un ejemplo que nos muestre la operación de esta regla.

En una compañía en el pasado la demanda real ha excedido a los pronósticos en 25 horas de producción, en el plazo de dos semanas, como máximo. La demanda para las próximas trece semanas, pronosticada, es la siguiente.

Semana	Demanda	Acumulada	
1	21	21	
2	24.5	45.5	
3	24.5	70	
4	28	98	
5	28	126	
6	31.5	157.5	
7	31.5	189	En horas de pro-
8	36.5	225.5	ducción.
9	42.5	268	
10	52	320	
11	54.5	374.5	
12	45.5	420	
13	35	455	

La producción se ajustará semanalmente y a causa del trabajo requerido para notificar a los empleados toma una semana para hacer efectiva una decisión de cambiar la producción. Así la suma del tiempo de entrega y el intervalo entre revisiones es de 2 semanas. Si las desviaciones máximas en ese período han sido de 25 horas para prever esta contingencia será necesario que el inventario no baje de dicho nivel.

Supongamos que al principio del período tenemos un inventario de 38 unidades. Entonces los requerimientos de producción serán:

Demanda	+	Inv.Mínimo Planeado	−	Inv Inicial	=	
455	+	25	−	38	=	442

$$\frac{442}{13} = 34$$ horas por semana. De esta forma el inventario resultante nos lo dá siguiente tabla:

Semana	Demanda Acumulada	Producción Acumulada	Inventario Planeado
1	21.0	34.0	51.0
2	45.5	68.0	60.5
3	70.0	102.0	70.0
4	98.0	136.0	76.0
5	126.0	170.0	82.0
6	157.5	204.0	84.5
7	189.0	238.0	87.0
8	225.5	272.0	84.5
9	268.0	306.0	76.0
10	320.0	340.0	58.0
11	374.5	374.0	37.5
12	420.0	408.0	26.0
13	455.0	442.0	25.0

Como toma una semana notificar a los empleados, la producción para las dos primeras semanas está fijada por el plan. Sin embargo, al final de la primera semana, el primer período de revisión, tenemos la oportunidad de ajustar la producción. Supongamos que la demanda real durante la primera semana fue el equivalente de sólo 17 horas, 4 horas menos que las 21 horas pronosticadas.

Así si la producción siguió lo planeado el inventario sería de 55 unidades y no 51 según el plan. Ahora la regla de control toma su lugar:

Nivel de Prod para la 3ª demanda	=	Dif de prod planeada con real	0
	+	Prod Planeada	34
	+	Cant de desviación en inventario	- 4
			30

De manera similar se calcularon los datos que aparecen en la siguiente tabla:

Semana	Demanda			Producción			Inventario		
	Pronóstico	Real	Desv	Plan	Real	Desv	Plan	Real	Desv
1	21.0	17.0	- 4.0	34.0	34.0	-	51.0	55.0	4
2	28.5	29.3	4.8	34.0	34.0	-	60.5	59.7	- .8
3	24.5	21.5	- 3.0	34.0	30.0	- 4.0	70.0	68.2	- 1.8
4	28.0	30.4	2.4	34.0	38.8	4.8	76.0	76.6	.6
5	28.0	24.4	- 3.6	34.0	31.0	- 3.0	82.0	83.2	1.2
6	31.5	32.7	1.2	34.0	36.4	2.4	84.5	86.9	2.4
7	31.5	43.5	12.0	34.0	30.4	- 3.6	87.0	73.8	-13.2
8	36.5	47.9	11.4	34.0	35.2	1.2	84.0	60.6	-23.4
9	42.5	46.1	3.6	34.0	46.0	12.0	76.0	61.0	-15.0
10	52.0	47.5	- 4.5	34.0	45.4	11.4	58.0	58.9	.9
11	54.5	37.1	- 17.4	34.0	37.6	3.6	37.5	59.4	21.9
12	45.5	55.7	10.2	34.0	29.5	- 4.5	26.0	33.2	7.2
13	35.0	29.6	- 5.4	34.0	16.6	-17.4	25.0	20.2	- 4.8
Total	455.0	462.7	7.7	442.0	444.9	2.9			

A primera vista parecería que es una forma complicada de llegar a una respuesta simple: Incremente o decremente la producción en la semana que está siendo planeada por la cantidad en que las ventas reales difieren de la demanda pronosticada.

Sin embargo, hay una buena razón por la cual mostrarlo así ya que en ocaciones la producción no es igual a la planeada y los ajustes exigidos no son los mismos que los ocacionados por la demanda.

Sistemas de Control con Respuesta Proporcional ($K \leq 1$).

El método anterior tenía el defecto de hacer que la producción niciera sola frente a todas las fluctuaciones, esto en contra de principios elementales de un buen control en la mayoría de las ocaciones. Parece adecuado poner un mayor peso en los inventarios para hacer frente a la demanda, y una manera de lograrlo sería ajustando en una menor proporción, que el total de la desviación, a la producción. Introduzcamos la siguiente notación:

T = Tiempo empleado en hacer un cambio en la producción efectivo (1 semana en el ejemplo anterior)

P_{t+1} = Producción que está siendo determinada

$P_1, P_2 \ldots$ P_t = Producciones ya determinadas

P_i^* = Producción del período i según el plan original

I_o = Inventario que tenemos actualmente

I_o^* = Inventario que debíamos tener según el plan.

Entonces nuestra regla de control podríamos escribirla como:

$$P_{t+1} = P^*_{t+1} + K\left[P_1^* + P_2^* \ldots + P_t^* - P_1 - P_2 - \ldots - P_t + I_o^* - I_o\right]$$

Cuando K = 1 tenemos la misma regla anterior, si K = 0 el término de corrección sería eliminado.

En ocaciones es útil la siguiente regla:

$$P_{t+1} = P_t + K\left[P_1^* + P_2^* + \ldots + P_t^* + P_{t+1}^* - P_1 - P_2 - \ldots - P_t - P_t + I_o^* - I_o\right]$$

en ella intentamos continuar con el nivel anterior con mayor intensidad que en la regla anterior basados en la esperanza de continuidad en la demanda.

Cada una de estas alternativas es útil en cierto tipo de plantas, dependiendo por ejemplo, en si el costo de cambiar la producción proviene primariamente de tiempos extra, compensaciones,... o de entrenamiento, contratación,...

Cada una de estas reglas llevará a modificaciones en el nivel de producción de una forma suave y continua. Sin embargo, en ocaciónes los cambios de producción tienen que ser en saltos o no ocurrir (por ejemplo, menos turnos, otra máquina,...). Para ilustrar como las reglas descritas pueden ser adaptadas a este tipo de situaciones nótese que el nivel de producción indicado por cada regla está compuesto por dos partes:

1.- Un nivel tentativo (P^*_{t+1} o P_t)

2.- Una corrección

Cuando sea necesario un cambio de nivel las reglas se pueden modificar como sigue:

1.- Fíjese un mínimo en la corrección que se puede hacer.

2.- Si la corrección indicada es menor que el mínimo anterior úsese el nivel tentativo en otro caso hágase la corrección.

En cualquier caso, una vez decidido el nivel de inventario mínimo quedan dos variables por determinar que condicionan el comportamiento de la regla y estos son el tiempo entre revisiones y el nivel de ajuste K.

Haciendo algunos supuestos sobre la distribución de la demanda es demostrable que:

1.- La magnitud en los cambios de nivel de producción serán en promedio

$$\sqrt{\frac{K \; Q}{2 - K} \; I_R}$$

Q = tiempo entre revisiones

I_R = Nivel de inv requerido

2.- El ~~intervalo~~ inventario requerido de reserva será proporcional a

$$\left(\sqrt{\frac{T\,(2K - K^2) + Q}{2K - K^2}} \right)$$

En nuestro ejemplo anterior.

T = 1

K = 1

Q = 1

Con estos valores y el nivel de inventario requerido fijado en 25 horas, la magnitud esperada de los cambios en producción serían de 5 horas el inventario en 25 horas promedio operaría. Si por ejemplo hacemos que K = 5, la producción variaría en promedio en 3 horas y el inventario se incrementaría a 27 horas, o sea

$$1\,(2 - 1) + 1 / (2 - 1) = 1.41 \text{ original} \qquad K = 1$$

$$1\,(1 - .25) + 1 / (1 - .25) = 1.52 \qquad K = .5$$

Aumento $\frac{1.52}{1.41} = 1.08$

Nuevo inventario 1.08 x 25 = 27

Si en cambio no cambiamos K pero incrementamos Q a 2 tendremos que:

Cambios esperados en producción = 7

Inventario esperado de reserva = 30

Lo cual está de acuerdo con nuestra intuición de que sucedería en dicho caso.

Un ejemplo "realista" de progreso.

La compañía Alturas, S. A., produce una pequeña máquina que se vende a $ 100 c/u y vende aproximadamente 5 200 unidades al año. El maquinado, ensamblaje se hacen en una pequeña planta usando principalmente obreras no calificadas. El nivel de producción puede cambiado rápidamente con el costo de entrenar o reentrenar trabajadoras, gastos de la oficina de personal e incrementos en problemas de inspección y calidad.

Existen cuatro sucursales en el país que abastecen a los clientes, los cuales a su vez son abastecidos desde el almacén central.

En las sucursales un encargado que vigila los inventarios hace los pedidos a almacén central sintiéndose presionado de no tener faltantes. En el almacén central otro encargado revisa inventarios y pone órdenes de producción a la planta.

Estas órdenes se corrían en la planta separadamente. Las fluctuaciones en producción aun con órdenes aparentemente grandes causaban una honda preocupación a la gerencia.

Para mejorar las cosas el gerente decidió cambiar la práctica de llevar inventarios y decidió establecer lotes económicos. Después de una investigación llegó a los siguientes resultados:

Ventas por sucursal = 25 a la semana o 1300 al año

Costo de pedir a almacén central = 19 $

Costo anual de llevar inventarios = 5 $ / año

Esto indicó que las sucursales deberían de pedir en lotes económicos

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 19 \times 1300}{5}} = 100 \text{ unidades}$$

Se estableció un sistema en las sucursales por el cual cada sucursal ordenaba en cantidades de 100 unidades en promedio cada 4 semanas. Esto en teoría, le daría a cada sucursal un inventario de 50 unidades. Además el inventario en tránsito de la fábrica a la sucursal se le cargó a la sucursal. Como el tiempo de tránsito es de 1 semana, el inventario en tránsito promedia 25 unidades para cada sucursal.

Sin embargo, aunque las ventas semanales por sucursal prome-

dían 25 unidades estas varían y el tiempo de entrega a su vez también variaba y se debía tener inventario suficiente para hacer frente a estas variaciones. Las entregas podían tardar en tránsito hasta 2 semanas y la demanda en 2 semanas podía bajar hasta 38 unidades o subir hasta 70. En vista de esta incertidumbre el gerente, para mantener la probabilidad de faltantes en menos del 1% ordenó que las sucursales hicieran un pedido cada vez que el inventario llegara a 67 unidades.

Esto llegaba en promedio al siguiente inventario por sucursal

Inventario de Seguridad	42	
" en Tránsito	25	
" Promedio x Ordenes	50	(= 100 ÷ 2)
	117	o 4.7 semanas.

Estudiando el almacén central de la misma forma se obtuvieron los siguientes datos:

Costo de llevar inventario = 3.50 $/año

Costo de poner una orden = 13.50 $

Esto indicó lotes económicos de producción de

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 13.50 \times 5200}{3.50}} = 200 \text{ unidades}$$

El tiempo de procesamiento era de 2 semanas. El almacén central necesitaría hacer órdenes a la planta cuando tuviera lo suficiente apenas para hacer frente a una demanda de 2 semanas.

Para ello se construyó la siguiente tabla:

N° de Ordenes de las Sucursales	Cantidad Ordenada	N° de semanas que ocurrió	% de semanas
0	0	28	35
1	100	28	35
2	200	20	25
3	300	4	5

Considerando independientes las órdenes por semana se construyó la tabla que indica el número de órdenes que habrá de abastecer el almacén central en un periodo de 2 semanas.

Nº Ordenes	Cant	% de Veces	% Acum.
0	0	.1225	.1225
1	100	.2450	.3675
2	200	.2975	.6650
3	300	.2100	.8750
4	400	.0975	.9725
5	500	.0250	.9975
6	600	.0025	1.0000
		1.0000	

Como se quisiera satisfacer el 99% de las veces las órdenes - se acordó que el punto de reorden se fijara en 500 unidades o sea que el inventario quedó compuesto de la siguiente forma en promedio.

Inv Prom x Ordenes = 100 (200 ÷ 2)

Inv de Seguridad = 300 (500 punto reorden - 200 uso normal en 2 semanas)

Inv en Proceso = 100 (estimado)
500

Los costos de este sistema serían:

Inventario	Total Anual
Fábrica 500 x 3.5	1750
Sucursales 4 x 117 x 5.5	2340
Costo Ordenar	
Sucursales 52 x 19	990
Fábrica 26 x 13.50	350
	5430

Todo estuvo muy bien, los inventarios totales disminuyeron, - se contaba con un sistema con adecuado servicio y rápida respuesta con fácil supervisión. Todo hubiera estado perfecto si la planta - no se hubiera quedado parada sin que hacer varias veces. En promedio el almacén central haría una orden cada 2 semanas. La experiencia indicó que en 53 % de las semanas no hubo órdenes, en 44% hubo una orden y en 3% hubo 2 o más órdenes.

Un análisis indicó que estas fluctuaciones en la planta eran muy costosas. Pocos y grandes cambios eran mucho más costosos que frecuentes y pequeños cambios. Estas fluctuaciones, después de un año se calcularon en $ 8570 llevando el costo total del sistema a $ 13,000.

Estos $ 6570 se debieron en gran parte al personal corrido y contratado y a pagos de sueldos de personal innecesario.

Todo esto llevó a la sugerencia de cambiar de sistema por uno de periodos fijos de reorden en quien se pidiera la cantidad vendida en el período anterior. El almacén central enviaría el pedido y haría una orden igual a la planta, y sería abastecido en 2 semanas. De esta forma cada sucursal debería tener inventario suficiente para abastecer la demanda durante un período de revisión más el tiempo de entrega (tomando tentativamente en 2 semanas). La pregunta surgió que tan largos deberían de ser los períodos de revisión:

El gerente la contestó de la siguiente manera:

a) Determinación Inv de Seguridad. Sucursales.

N° de Semanas	Prob de que la Demanda sea menor que Nivel	Nivel	Demanda Esperada incluyendo 2 semanas de tránsito	Inventario de Seguridad
1	.9975	99	75	24
2	.9950	126	100	26
3	.9925	152	125	27
4	.9900	179	150	29
5	.9875	205	175	30
6	.9850	231	200	31

b) Inventario Promedio en el ciclo = 25 x N° de semanas 12

c) Inventario en Tránsito = 2 semanas x 25 x 4 sucursales = 200 unidades.

d) Inventario de Seguridad Almacén Central

N° Semanas (n)	Prob Dem< Nivel	Nivel	Dem Esperada	Inv Seg
1	.9925	341	300	41
2	.9925	447	400	47
3	.9913	553	500	53
4	.9908	658	600	58
5	.9898	762	700	62
6	.9890	867	800	67

$$\text{Nivel} \approx 100\,(n+2) + 2.33\sqrt{100(n+2)}$$

e) Inv Ciclico = 100 x N° Semanas 12

f) Costo de Cambios de Producción

Cuando la magnitud de los cambios se llegó a la siguiente tabla (Costo del cambio por una unidad).

Período entre Revisiones	1	2	3	4	5	6
Costo de Cambios	$1600	$2250	$2760	$3180	$3560	$3900

y presentó la siguiente tabla:

	Longitud del Período					
Inventario Sucursales	86.5[1]	101[2]	114.5[3]	129[4]	142.5[5]	156[6]
Costo ($ 5)	435	$ 505	$ 575	$ 645	$715	$ 775
Costo Pedir ($19)	990	495	330	250	195	165
Total	1425	1000	905	895	910	940
x 4 Sucursales	5700	4000	3580	3640	3640	3760
Inv Alm Central	91	147	203	258	312	367
Costo ($3.50)	320	515	715	903	1092	1285
Costo Pedir($3.50)	700	350	235	175	140	120
Total	1020	865	950	1078	1232	1405
Cambios Prod	1600	2250	2760	3180	3560	3900
Total	8520	7115	7330	7838	8432	9065

El éxito de este sistema animó a la compañía a ir más adelante (sus costos bajaron de 14,000 a 7115), e implantar un sistema en que las sucursales reportaran sus ventas periódicamente. La planta consolidaría estos reportes y pondría una cantidad equivalente en producción. Los inventarios de las sucursales serían surtidos cuando las ventas reportadas desde el último envío excedan un mínimo de envío económico. Cuando un envío se hiciera la cantidad embarcada sería igual a la demanda reportada desde el último envío.- Se plantearon dos preguntas: ¿qué tan frecuentemente debían reportar las sucursales? y ¿cuál era el envío mínimo?.

Las posibles ventajas del sistema serían:

1.- Las sucursales podrían justificar sus reportes de ventas reduciendo fluctuaciones y necesidades de inventarios de seguridad.

2.- Era posible hacer menos envíos reduciendo los costos.

Estudios de costos indicaron que del costo total de pedir, $19,- se podía separar en $ 6 de costos administrativos y $ 13 en empaque, embarque y recepción.

Los costos que podrían ser afectados eran:

1.- Costo de Inv de Seguridad en Sucursales: un reporte semanal reduciría las necesidades de 26 a 24 unidades.

2.- Costo de Inv de Seguridad en Almacén Central: Reportes semanales reducirían las necesidades de 47 a 41 unidades.

3.- Cambios de Producción: Con reporte semanales bajarían de 2250 a 1600 anualmente.

4.- Costos de Reportes. Ahora se harían 52 reportes (de $6) en vez de 26.

5.- Costo de Envíos. Antes eran 26 (de $13) ahora debemos determinar el número de envío. El lote económico será de

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot 13 \cdot 1300}{5}} = 82 \text{ unidades}$$

Ese sería el envío promedio a las sucursales, sin embargo, este no puede ser el mínimo, de hecho el promedio deberá ser el mínimo más la mitad de la demanda promedio en el período entre reportes (70 + 12 = 82). Por lo tanto el mínimo se fija en 70 unidades. Cada sucursal recibirá aproximadamente 16 envíos en el año. El inventario por ciclo sería aumentado de la mitad del envío promedio de 2 semanas (50/2) a la mitad del nuevo envío (82/2) promedio.

En una tabla se compararon los dos sistemas:

	Sistema	
	Periodo fijo 2 semanas	Inv base
Inv Seguridad Suc	520	480
Inv Seguridad Alm	165	144
Reportes	625	1250
Cambios Prod	2250	1600
Envíos	1352	828
Inv x Ciclo	500	820
Total	5412	5122

Regocijado con su éxito el gerente decidió ver si obtenía mayores ahorros evitando cambios de producción. Los costos de inventarios y cambios de producción usando las dos reglas mencionadas antes son; para almacen central:

$$C_{INV} = K_1 \sqrt{\frac{2(2K - K) + 1}{2K - K^2}}$$

para $K = 1$

$$C_{INV} = K_1 \sqrt{3} = 144 \quad \therefore \quad K_1 = \$\ 83.30$$

o sea $C_{INV} = K_1 \sqrt{\frac{2(2K - K) + 1}{2K - K^2}}$

$$C_{PROD} = K_2 \sqrt{\frac{K}{2 - K}} \qquad K_2 = \$\ 1600$$

Podemos entonces crear la función

$$C_T = C_{INV} + C_{PROD} = 83.3 \sqrt{\frac{2(2K - K) + 1}{2K - K^2}} + 1600 \sqrt{\frac{K}{2 - K}}$$

y minimizarla para K

se encuentra que para $K = 0.5$ $C_T = 536$ con un ahorro total de $ 1208.

En resumen el sistema trabajo como sigue:

1.- Cada sucursal estableció un inventario base de 169 unidades
(70 envio mínimo
24 seguridad
75 cubriendo 3 semanas de demanda promedio)

2.- Cada sucursal reporta semanalmente y cuando estos sobrepasan 70 unidades la planta hace un envio.

3.- El almacén central estableció un sistema de inventario con 459 unidades
(159 seguridad
300 cubriendo 3 semanas de demanda promedio)

Cada semana se hacen los siguientes cálculos:

Inventario Actual
+ Producto Proceso
- Demanda reportada no satisfecha
+ 100 (Prod normal)
- Inv Base
= Exceso (Deficiencia)

Producción = K (.05) x Exceso

Este ejemplo ficticio pero marca los puntos más interesantes de un sistema adecuado de control de producción el cual como puntos esenciales debera ser eficiente y estable.

APENDICE.

Establecimiento Formal de las Reglas de Control.

Sea:

$P^{*}(i)$ = Prod planeada período i

$P(i)$ = Prod realizada en el período i y disponible en el período i + 1

$\Delta I(i) = I^{*}(i) - I(i)$

$I(i)^{*}$ = inventario planeado al final del período i

μ = tiempo tardado en integrar

$d(i)^{*}$ = demanda pronosticada período i

$d(i)$ = demanda real período i

La regla de control nos dice que:

$$p(i+\mu) = p^{*}(i+\mu) - K\left[\sum_{j=0}^{\mu-1} p(i+j) + I(i) - I^{*}(i)\right] \quad \ldots (1)$$

Sea $x(i) = d(i) - d^{*}(i)$ es una variable aleatoria con media cero y varianza $Q\,\sigma^2(x)$ donde Q es la longitud del período entre revisiones.

Sea $T = \mu Q$ el tiempo total de entrega

De (1)

$$\Delta p(i+\mu) = -KE(i+\mu) = -K\left[\sum_{j=0}^{\mu-1} \Delta p(i+j) + I(i) - I^{*}(i)\right] \quad \ldots (2)$$

Como

$$\left.\begin{aligned} I(h) &= I(h-1) - d(h) + p(h-1) \\ I^{*}(h) &= I^{*}(h-1) - d^{*}(h) + p^{*}(h-1) \end{aligned}\right\} \text{ toda } h \quad \ldots (2)\text{bis}$$

entonces

$$I(i+\mu) = I(i+\mu-1) - I^{*}(i) - \sum_{j=1}^{\mu} x(i+j) + \sum_{j=0}^{\mu-1} p(i+j)$$

$$= E(i+\mu) - \sum_{j=1}^{\mu} x(i+j) \quad \ldots (3)$$

De (2) y (2)bis

$$E(i+\mu) = E(i+\mu-1) + \Delta p(i+\mu-1) - \Delta p(i-1) - x(i) + \Delta p(i-1)$$

$$= E(i+\mu-1)(1-K) - x(i)$$

$$= -\sum_{n=0}^{\infty} (1-K)^n x(i-n)$$

Substituyendo en 3

Y como las x(i) son variables aleatorias independientes y (i+U)= I(i + U) - I (i + U) son tambien variables aleatorias

$$\bar{Y} = 0$$

$$\sigma^2(Y) = Q\,\sigma^2(x)\left[U + \sum_{n=0}^{\infty}(1-K)^{2n}\right] \qquad 0 < K < 1$$

$$= \sigma^2(x)\left[UQ + \frac{Q}{2K - K^2}\right]$$

entonces la desviación de los inventarios alrededor de los niveles planeados será:

$$\sigma(Y) = \sigma(x)\sqrt{T + \frac{Q}{2K - K^2}} = \sigma(x)\sqrt{\frac{T(2K-K^2) + Q}{2K - K^2}} \ldots$$

Similarmente

$$\Delta p(i) = -K\,E(i)$$
$$= -K\sum_{n=0}^{\infty}(1-K)^n\,x(i-U-n)$$

$$y\ \overline{\Delta p} = 0$$

$$\sigma(\Delta p) = \sigma(x)\sqrt{\frac{KQ}{2-K}}$$

Llamemos $\Delta^2 p = \Delta p(i) - \Delta p(i-1)$

es demostrable (Kemio 1968) que

$$\overline{\Delta^2 p} = \frac{2\sigma(x)}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{KQ}{2-K}}$$

y son los ajustes netos esperados a los niveles de producción

NOT.. APENDICE.

DADOS los datos de la Demanda.

Pedidos	Demanda	Frecuencia Real	Frec Pronósticad.	X
0	0	.35	0	0
1	100	.35	1.00	-65
2	200	.25	0	50
3	300	.05	0	15

$$S(x) = \sqrt{\frac{(-65)^2 + (50)^2 + 9(15)^2}{3}} = 48.13$$

Costo de cambio de nivel una unidad = $ 29.40

Costo para diferentes periodos Q y K = 1

$$C_T = (29.4)\,\underbrace{25(x)}_{\sqrt{L}}\sqrt{Q}$$

$$1600\sqrt{Q}$$

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

SISTEMAS DE PRODUCCION INTERMITENTES

M. EN C. JUAN BUENO ZIRION

MARZO-ABRIL, 1 9 8 0

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

SISTEMAS DE PRODUCCION INTERMITENTES.

1.- Introducción.

La producción llamada intermitente, nos trae de inmediato a la mente la imagen de un taller con su gran capacidad de producir una gran cantidad de productos y productos hechos según las especificaciones del cliente. Este concepto general nos lleva al modelo de taller con una diversificación de equipo con uso intermitente, donde la base para su distribución y departamentalización es básicamente funcional. Estos sistemas frecuentemente no producen para crear inventarios, sino que se mantiene un inventario de capacidad lista para hacer frente a las órdenes; y por ello las complicaciones internas son generalmente más serias que para los sistemas de producción continuos.

Existen en general otros tipos de los llamados talleres. Estos son: abiertos y cerrados. En el abierto se reciben órdenes prácticamente de cualquiera y ante tal circunstancia uno debe preveer, diseñar las facilidades físicas, hacer planes agregados, programas, conseguir la materia prima y presupuestar con la mayor incertidumbre. El taller cerrado es un taller cautivo, de algún cuidado para los fabricantes y puesto ahí para su propio uso interno (tal como un taller de mantenimiento en una fábrica que produce en serie). Su línea de productos es bastante predi-

cible y por lo tanto un poco más fácil de administrar. En ambos casos son en general ocho los problemas que se tienen que resolver en un taller:

1.- Diseñar y distribuir el sistema minimizando costos de manejo de material.
2.- Pronosticar la demanda.
3.- Planeación agregada del uso del equipo y recursos.
4.- Programación de la mano de obra y el equipo para minimizar costos de inicio de operaciones, tiempo muerto, inventarios en proceso y tiempos extra.
6.- Programación del equipo para el uso del proceso más eficiente.
7.- Compra económica de las materias primas.
8.- Política de presupuestos.

En esta sección veremos con cuidado los primeros cinco puntos ya que los tres últimos son tan peculiares de cada situación que se salen del propósito general del curso. Y de estos cinco puntos el segundo ya fue tratado con mayor extensión en un capítulo anterior de su curso. Así, tenemos cuatro puntos en general a tratar que constituirán el cuerpo de esta sección. Pero veamos antes, en una forma general estos ocho puntos.

Distribución del Sistema. El diseño de las facilidades y su distribución puede, claro está, ser considerado en diversos niveles de complejidad y

detalle. Nuestra mayor preocupación es en una manera general, determinar la mejor posición relativa de los departamentos y sus requerimientos de área en una forma de bloques. Como los productos son diferentes y sus secuencias de operaciones usualmente también, no existe una distribución que sea mejor para todos. Se trata de elegir una distribución que minimice los costos totales de movimiento de artículos y personal, aunque debemos reconocer el impacto que se tiene en el tiempo promedio de circulación de las órdenes.

Pronóstico de la Demanda y Planeación Agregada. Para ser útiles para el uso de la planeación, programación y control, los pronósticos deben de ser traducidos finalmente en pronósticos de uso de horas de los diferentes equipos, tomando en cuenta la eficiencia de planta. Estas cargas departamentales proyectadas sirven de base para la contratación y entrenamiento de la gente. Como la única cosa realmente vendible en un taller es su capacidad, existe siempre reticencia a despedir la mano de obra calificada, esto limita en cierta forma la planeación agregada, que en términos normales se hace en base a grupos de productos para determinar niveles de inventarios, mano de obra y equipo disponible y por último conjuntarlo todo en un solo plan maestro.

Programación de las Ordenes. La programación de un taller se ha reconocido siempre como uno de los problemas industriales más complejos y difíciles. Esta complejidad nace del hecho de que cada orden sigue una ruta

diferente y necesita de diferentes recursos y su seguimiento es altamente complicado. La programación de talleres se ha estudiado bajo la luz de la teoría de colas utilizando la metodología de la simulación, dándose reconocimiento al hecho de que en la mayoría de las situaciones, tenemos un exceso de maquinaria con la mano de obra rotándose entre los diferentes trabajos. El equipo, entonces, se programa para seguir el proceso más económico, basándose en un análisis del producto y los costos estimados de inicio y producción. La mano de obra es el recurso más flexible y limitante, por lo tanto, que se asigna a los diferentes equipos según lo manda el plan.

Compra de materia prima y presupuestos. En este caso se siguen las prácticas comunes del manejo de inventarios y adquisición de materiales, aunque debemos señalar que aquí la relación con la función de presupuestos es más estrecha por la dependencia vital de uno al otro. El presupuesto normalmente comprende tomar en cuenta la materia prima a usarse, el costo de la mano de obra y usualmente un cargo fijo por indirectos y utilidad, estos últimos determinados en base a estudios sobre comportamiento pasado de los gastos reales contra los gastos aplicados a cada orden, procurando que la diferencia entre ellos sea exactamente la utilidad planeada.

Empecemos por ver algunos de estos puntos mencionados con mayor cuidado, formando el cuerpo de nuestra sección que nos atañe.

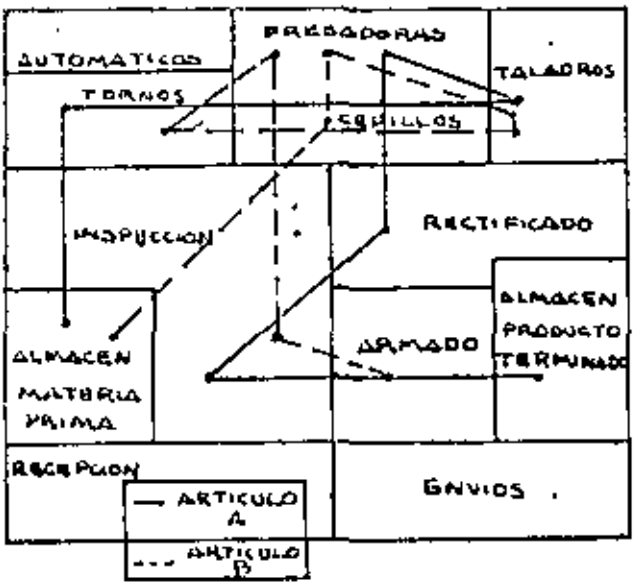
2.- Distribución en Planta.

La distribución en planta establece límites amplios para la planeación y control de la producción e inventarios, para los sistemas intermitentes. Se intenta tomar en cuenta los posibles caminos de las órdenes de forma que se minimice el total del costo de manejo de materiales.

Usualmente los modelos comprenden el estudio de la distribución en planta, considerando únicamente los artículos que tengan el mayor volumen de producción y desarrollando para ellos diagramas de flujo de forma que por tanteos se llega a una solución aceptable. En la actualidad, con la disponibilidad más grande de las computadoras, se han desarrollado métodos heurísticos de solución, de los cuales, tal vez, el más conocido y efectivo es el CRAFT. Es este el método al que veremos con mayor cuidado en los próximos párrafos.

2.1.- CRAFT

El conflicto que se crea al intentar dar solución al problema de la colocación respectiva de los diferentes departamentos en una planta, lo podemos ilustrar en la siguiente figura en la que se muestra un taller en el que se fabrican dos partes. Cada una de ellas tiene una diferente secuencia de



operaciones y si se arreglan los departamentos de forma que se minimice el manejo del artículo 4, el resultado es que el manejo de B sería mucho. Si añadiéramos a la figura otros artículos se volvería un desorden y se perdería la confianza de encontrar una solución, estando asimismo fuera de toda consideración la enumeración y evaluación de todas las posibles combinaciones. En CRAFT no consideramos todas las soluciones sino únicamente una secuencia limitada de las soluciones, siendo cada una mejor que la otra.

En la versión más simple de CRAFT una solucíón existente, similar a la de la figura, se evalúa calculando el costo del manejo de material primero, y entonces, haciendo la pregunta ¿Cómo cambiarían los costos si intercambiáramos dos departamentos? Si se encuentra un intercambio que baja los costos, se tabula. Cuando hemos realizado todos los posibles intercambios se elige el mejor y se realiza el cambio de localización. El proceso se repite hasta que no existen intercambios que logran una reducción en costos.

Recientes versiones del programa pueden considerar intercambios entre tres departamentos a la vez y permite el uso de diferentes sistemas para

el manejo de materiales, toma en cuenta los requerimientos de área y permite la fijación de algunos departamentos.

Los datos que se requiere dar al programa son tres:

a) Flujo de material entre departamentos por carga.

b) Costo de manejo entre departamentos por carga por nivel de distancia.

c) Distribución inicial.

y el resultado es la distribución final de la planta.

*CRAFT Computer Program

SHARE Library No. SDA 3591

Los resultados que se obtengan tienen que ser estudiados bajo la luz de las limitantes del método. Por un lado los costos de manejo de material es posible que no sean proporcionales a la carga, el flujo de materiales es variable en ocasiones y deseamos a veces una cierta flexibilidad en la colocación. Sin embargo, y aún con esos supuestos es mejor el uso de CRAFT que la simple intuición, a menos que la dominancia de flujo de un artículo sea tal que casi caigamos en el caso de producción en serie.

3. - Programación de Ordenes.

El problema consiste en determinar la secuenciación en que deben pro-

cesarse las diferentes órdenes entre los diferentes departamentos. La planeación de la producción del proceso tecnológico y ruta a seguir, la compra de materiales y otras planeaciones preceden al paso de programación, que deberá completarse por un seguimiento adecuado.

El método tradicional consiste en el uso de gráficas (de Garett) para representar al sistema de una forma determinística. El programador, usando ayudas gráficas, produce un programa horario en que la carga de trabajo proyectada para cada máquina se grafica, hora por hora, orden por orden. Desafortunadamente las órdenes llegan estocásticamente y los tiempos de proceso fluctúan y sobre todo, no todas las órdenes son igualmente urgentes y no tienen el mismo valor monetario. El reconocer que un taller puede ser representado por un sistema de colas fue un hecho importante, que inició investigaciones fundamentales que aún continúan. Estas investigaciones se han centrado en el análisis comparativo de diferentes disciplinas para la atención de las colas, a través de simulaciones en computadoras.

Las reglas de servicio que se han analizado bajo diferentes respuestas son las siguientes:

1. - PEPS - Primera entrada primera salida
2. - TOMC- Tiempo de operación más corto
3. - HE- Holgura estática (Tiempo prometido - tiempo de arrivo)

4.- HE/TP- Holgura estática/tiempo de proceso

5.- HE/NO - Holgura estática/número de operaciones

6.- UEPS - Ultima entrada primera salida

7.- HD- Holgura dinámica (tiempo prometido-tiempo de operación)

8.- HD/TP

9.- HD/NO

En general, los hallazgos demostraron que la regla TOMC era la mejor, sin embargo, bajo ella es posible que algunas órdenes permanezcan casi indefinidamente en el sistema. Es por ello que se han buscado combinaciones de PEPS con TOMC y se opera de la siguiente forma: La programación en cada departamento se hace bajo TOMC a menos que la orden cumpla una cantidad preestablecida de tiempo esperando. En ese caso, las órdenes que cumplan esto tienen prioridad uno y se desoachan bajo la regla PEPS.

En el caso en que sea la mano de obra el factor limitante se ha encontrado que la asignación de obreros a el departamento en que mayor carga de trabajo existe y dentro del departamento la atención de órdenes de acuerdo a TOMC truncada, ha dado los mejores resultados.

Sin embargo, en la práctica estas reglas son modificadas con frecuencia debido a el énfasis puesto en que los retrazos en las órdenes no sean grandes, y al hecho de que en ocasiones existen diferentes prioridades en las órdenes aunque su llegada sea posterior. Estas y otras condiciones más

más realistas, a la fecha no han sido incorporadas en los modelos de simulación.

3. - Sistemas de Control.

El material cubierto en la sección anterior nos dá los elementos o programa, que deberá estar sujeto posteriormente a la función de control. Estas como su nombre lo dice, consiste en un seguimiento de las órdenes y en la toma de medidas apropiadas de corrección cuando por varias condiciones, la situación prevista por el plan y programa varía. En este caso el sistema que nos permite la función de control es el sistema interno de información existiendo en general dos niveles: en uno únicamente se conoce el número órdenes en cada departamento y su tiempo de operación y de acuerdo a alguna regla se asigna su prioniday y otro más profundo en que se asignan tiempos de empiezo y terminado para cada orden en cada uno de los departamentos por los que debe pasar.

En el primer nivel, su característica es que no se ejecuta una programación detallada de hombres y máquinas para cada orden. Esta labor se deja al supervisor del departamento o a los propios empleados. Unicamente se indica el orden en que deben procesarse las órdenes de producción existentes.

En el segundo nivel, en poco uso actualmente se ejecuta toda la planeación centralizada. Sin la ayuda de computadoras se comprenderá que el siste

ma se vuelve inoperante.

En ambos casos lo usual es hacer una simulación de la programación antes de considerarla como válida y siempre el mayor problema lo constituye en primer lugar el flujo de información desde el centro de programación hacia los departamentos y viceversa y en segundo lugar la estimación de tiempos de operación. El segundo problema se resuelve con experiencia y el primero se empieza a resolver actualmente con el abaratamiento de las computadoras y el desarrollo de sistemas de cómputo descentralizados.

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

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

ANEXOS

ING. ROBERTO ROSA BORGES DE HOLANDA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

PLANEACION AGREGADA Y BALANCEO DE LINEAS

M. EN C. ROBERTO ROSA BORGES DE HOLANDA

MARZO-ABRIL, 1980

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

VI - PLANEACION AVANZADA

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 es 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 interdependencias:

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 diferir 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 producto?

5. De una forma general, ninguna de estas políticas es la mejor. La solución 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

sentes solamente podrá ser minimizada a través de la aplicación simultánea de algunas o todas estas políticas.

EJEMPLO ELEMENTAL DE PLANEACION AGREGADA

1. 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.

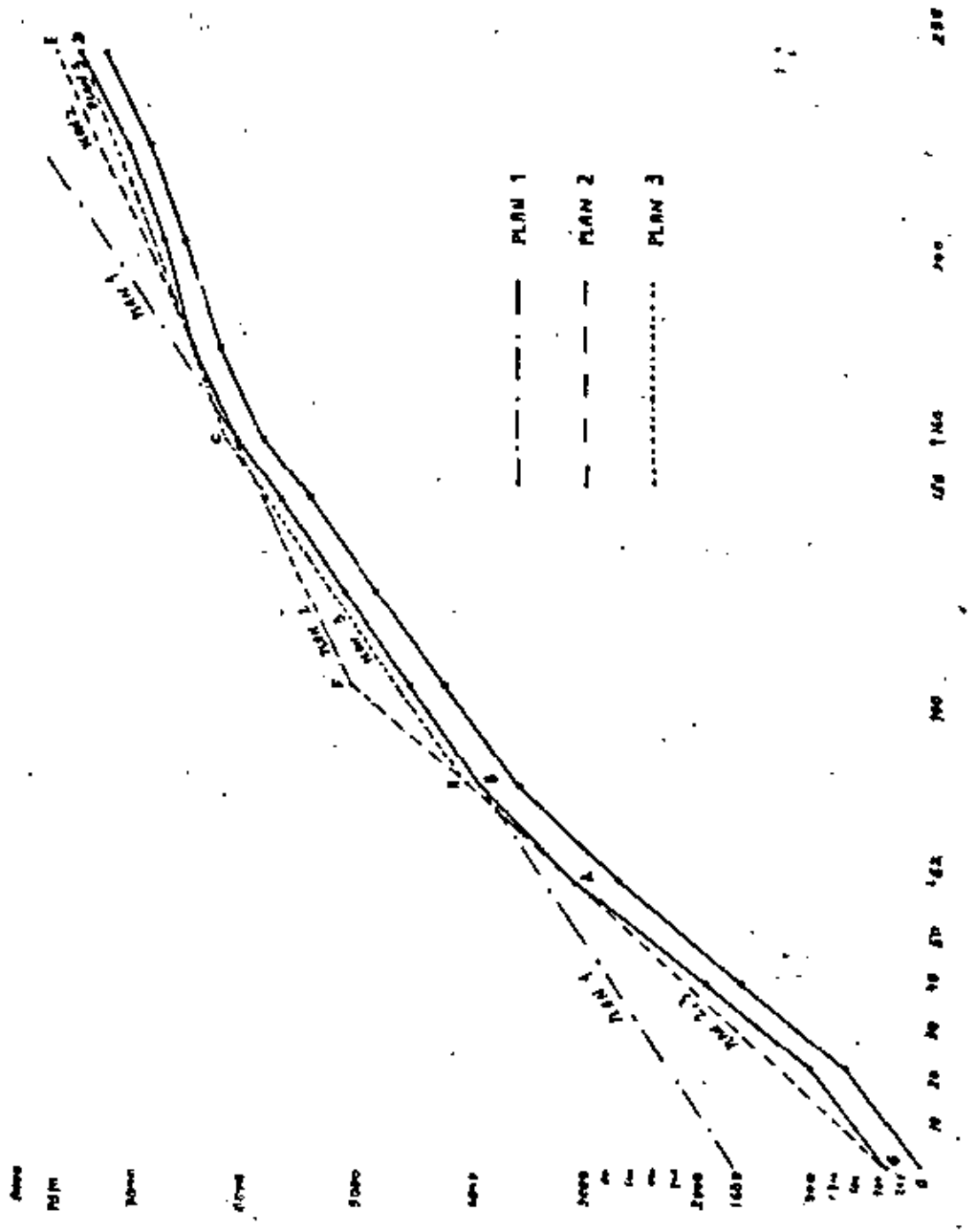
c) Un cambio del nivel de producción de 1 unidad/día conduce a un costo adicional de contratación y entrenamiento o de despidos igual a $ 2,000.00

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

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

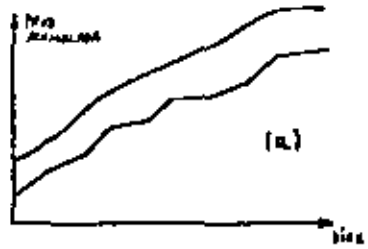
f) Al terminar el mes de diciembre del año anterior, el inventario era de 300 unidades y la planta estaba trabajando a su nivel normal de producción, o sea, 30 unidades/día.

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

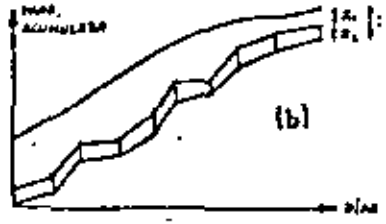


E. Antes de continuar, será conveniente que hagamos algunos ejercicios sobre el tipo de gráfica que hemos presentado en la página anterior:

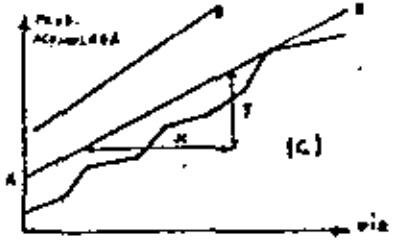
a) Cualquier línea diseñada por encima de la línea representativa de los volúmenes de ventas y de los inventarios mínimos requeridos, representará una solución para el problema de planeación agregada.



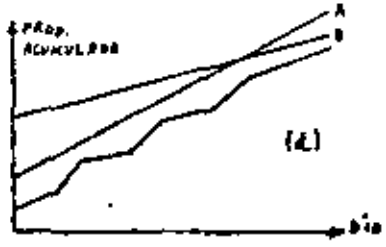
b) El inicio de la línea muestra el inventario inicial requerido para que la solución sea posible. Las distancias entre los puntos finales indican el inventario final total (x_3), que es la suma del inventario mínimo (x_2) y del inventario extra inicial (x_1).



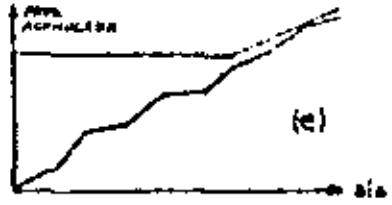
c) Una línea recta (ejemplo, AB) representa una tasa de producción constante. La producción normal puede ser representada por una determinada inclinación "D". Cualquier línea paralela a la dirección "D" representará una solución en la cual la tasa de producción será normal. La tasa de producción representada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



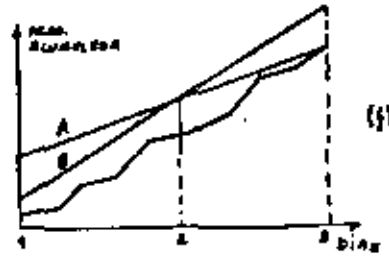
d) Una línea con mayor inclinación representa una tasa de producción mayor. Por ejemplo, la tasa de "A" es mayor que la tasa de "B". Es importante señalar que el inventario inicial de "B" compensa su menor tasa de producción.



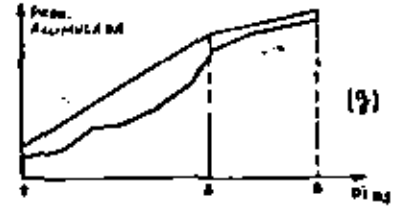
e) Una línea horizontal significa que durante el período no habrá producción y por lo tanto se necesita un inventario inicial muy grande para que la solución sea factible.



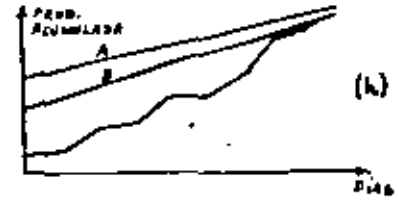
f) Cuando una línea está por encima de otra, esto significa que durante el período considerado los inventarios del plan representado por la línea de arriba son mayores que los inventarios del plan que corresponde a la línea de abajo. Entre los puntos "1" y "2", el plan "A" conduce a mayores inventarios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



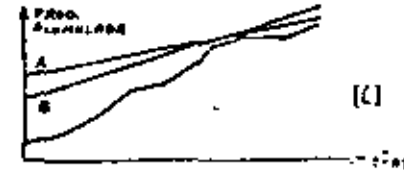
g) Un cambio en el grado de la línea representa un cambio de la tasa de producción. La tasa entre "1" y "2" es mayor que entre "2" y "3".



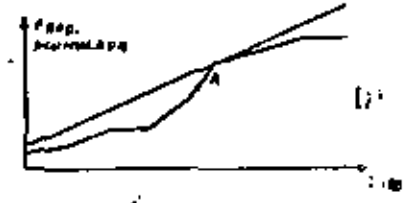
h) Una línea que está siempre arriba de otra conduce a un inventario anual promedio mayor.



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.



3. 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, se necesita un inventario inicial de 1650 unidades (este valor es sacado de la gráfica).

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

$$T.P. = \frac{\text{diferencia vertical}}{\text{diferencia horizontal}} = \frac{3,940 - 1650}{83 - 0} = 27,6$$

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:

$$\boxed{T.P. \geq 28 \text{ unidades/día}}$$

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. mín.
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.

$$\boxed{\text{Costo} = \$\ 4.000,00}$$

b) Costo del inventario:

El costo de mantener el inventario será igual al 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

$$\boxed{\text{Costo anual} = \$\ 183,120.00}$$

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 podemos 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:

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

Análogamente, 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. req.	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	635	21	30	630	6	126	9	189	945
Mayo	650	775	22	30	660	6	132	9	198	990
Junio	500	574	21	19	399	-	---	-	---	399
Julio	550	472	21	19	399	-	---	-	---	399
Agosto	400	270	13	19	247	-	---	-	---	247
Septiembre	400	250	20	19	380	-	---	-	---	380
Octubre	300	397	23	19	437	-	---	-	---	437
Noviembre	300	492	21	19	399	-	---	-	---	399
Diciembre	400	466	20	19	380	-	---	-	---	380
TOTAL	7200	-	244	--	5791	-	633	-	945	7364

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 periodo 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 de T.P. = 15 unid./día, puesto que las otras dos tasas son mayores que los valores calculados y consecuentemente, si se 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. ren.	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

1. 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 $ 85,515.00.

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 montaduras 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 esa 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 3.25 veces el minuto estándar requerido 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:

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

donde:

N = Número de hombres requeridos en la línea

F = 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: 3.86 minutos; Operación 5: 1.27 minutos; Operación 6: 1.79 minutos; Operación 7: 2.49 minutos; Operación 8: 1.28 minutos. El analista debe ahora 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 una 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	3.86	5.63	6
5	1.27	1.85	2
6	1.79	1.83	2
7	2.49	3.63	4
8	1.79	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 corres -

pendiente de operaciones).

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 $N = P \times \sum M.A. = P \times \sum M.E./E$. 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 (4)

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 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 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:

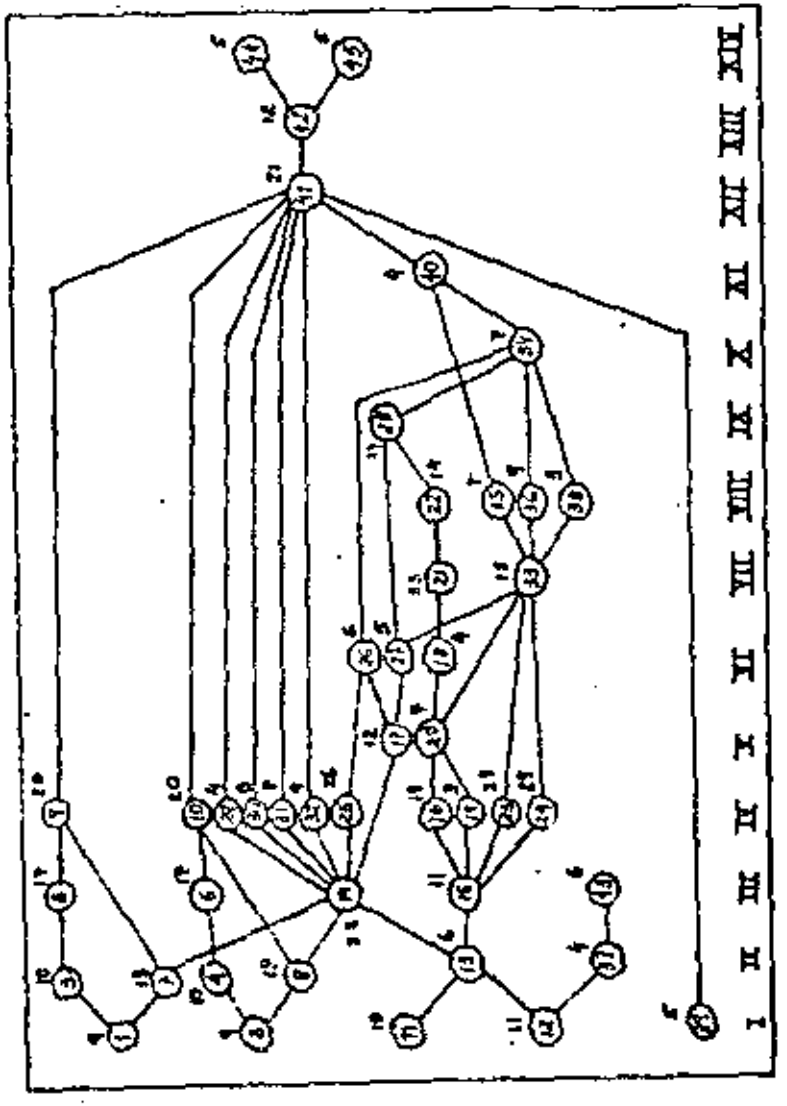
Paso 1. Dado que c = 184, examinemos la columna (F) del Cuadro 7.1, para encontrar la suma acumulada que más se aproxime a 184. La suma acumulada de la columna III, de 173, se aproxima. Los tiempos de las operaciones de las columnas I, II y III no satisfacen las necesidades de la estación 1 por sólo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

Paso 2. Examinamos 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.

(4) 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. Examinamos 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. Examinamos 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. Son las operaciones 9, 10, 29, 30, 25(w. 26), 23, 24 y 26.

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. Examinamos 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. 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 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. Examinamos 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. 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 movibles que totalice 474 - 368 = 106; o a la inversa, dado que el tiempo total de las operaciones del conjunto movible suma 115, ¿ hay alguna combinación en el conjunto movible que totalice 115 - 106 = 9 y que pueda ser conservada en la estación 2? Sí la hay: los tiempos de las operaciones 29 y 30 son 4 + 5 = 9 y el resto de estas 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 aplicación de este ejemplo. Kilbridge y Wester ofrecen las siguientes generalizaciones y suposiciones como auxiliares en la aplicación de su método heurístico:

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

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	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	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.

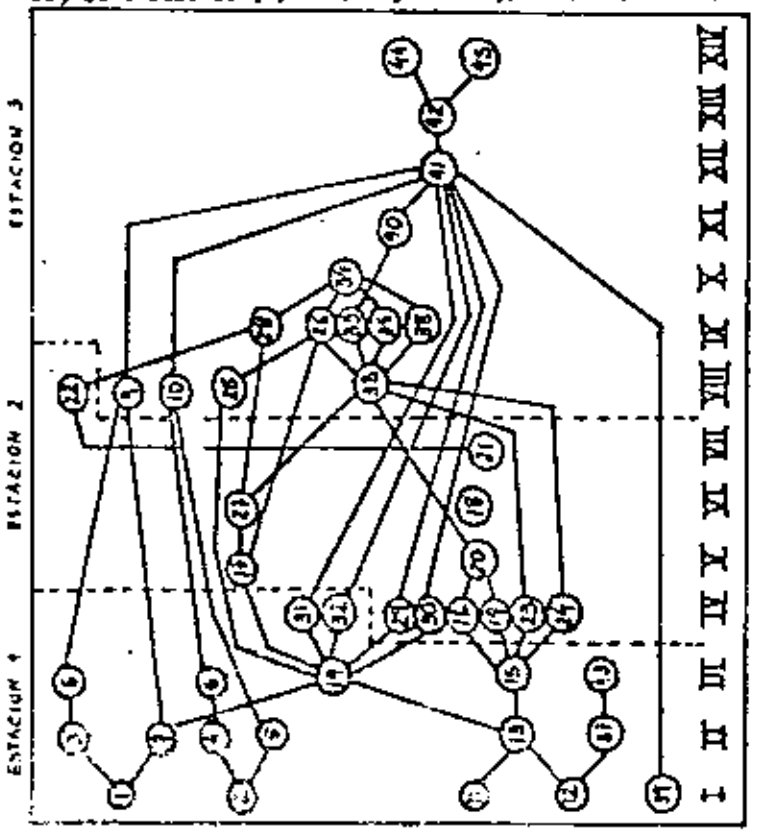
(A) Número de columna del diagrama	(B) Número de identificación de la operación	(C) Observaciones	(D) Duración de las operaciones t_i	(E) Suma de las duraciones	(F) Suma de los tiempos acumulados
	1		9		
	2		9		
I	11		10		
	12		11		
	39		5		
	3		10		
	7		13		
II	4		10		
	8		12		
	13	ESTACION 1	6		
	37		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		5		
	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		
	44		3		
XIV	45		3	160	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.



determining the type of problems to which specific tools are most applicable. An attempt to isolate the key aspect of a particular problem unhindered by folklore approaches, e.g., "how we have always done it," frequently aids immeasurably in the selection of the right analytical tool.

A typical result of considering a layout problem as unique may be the discovery that the criteria themselves are vague. That is, management knows it wants a layout but cannot specify a criterion of evaluation, or may have several criteria which are somewhat conflicting. To the extent that problems with conflicting criteria can be examined by materials handling cost models, subjective factors and changes in criteria and assumptions on the objective function can be measured by simulation.

If, on the other hand, the problem seems to be entirely dictated by qualitative factors, it should be stated and treated as such with a recognition of the limitations in methodology. Unnecessary problem sophistication should be avoided. If no clear measure of effectiveness for a particular problem is evident, a good opportunity for the workers to participate in the decision may be provided. The qualitative benefits thereby obtained may prove greater than any benefits obtained by rigorous solutions.

In summary, the layout problem should be considered in the light of problem uniqueness, the concomitant uniqueness of specific problem criteria, and the need to reflect this uniqueness in problem approaches. The facilities layout problem is inherently multi-valued and is not properly handled by a single criterion model. Problems cannot be forced into models; models must be adapted to problems.

REFERENCES

1. ARMOUR, G. C. and BUFFA, E. S. "A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to the Relative Location of Facilities," *Management Science*, Vol. 9, No. 2 (January, 1963).
2. BUFFA, ELWOOD S. "Sequence Analysis for Functional Layouts," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. VI, No. 2 (March–April, 1955), pp. 12–13, 25.
3. BUFFA, ELWOOD S., ARMOUR, GORDON C. and VOLLMANN, THOMAS E. "Allocating Facilities with CRAFT," *Harvard Business Review* (March–April, 1964), pp. 136–58.
4. HILLIER, FREDERICK S. "Quantitative Tools for Plant Layout Analysis," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. XIV, No. 1 (January–February 1963), pp. 33–40.
5. MUTHER, RICHARD. *Systematic Layout Planning*. Boston: Industrial Education Institute, 1961.
6. VOLLMANN, THOMAS E. "An Investigation of the Bases for the Relative Location of Facilities." Unpublished doctoral dissertation, University of California, Los Angeles, 1964.

15

A review of assembly line balancing*

EDWARD J. IGNALL

A BASIC characteristic of an assembly line is the movement of the workpiece from one worker to the next. The tasks that must be performed to complete the product are divided among the workers so that a given worker does the same thing to every workpiece that passes him. The workpiece spends a certain time, called the *cycle time*, at each work station. Given this situation, balancing an assembly line consists of

* Edward J. Ignall, "A Review of Assembly Line Balancing." Reprinted from the July–August, 1965 issue of *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 244–54.

dividing the given set of tasks among the workers on the line.

To be specific, assume that the following are given:

1. A set, $U1, U2, \cdots, UN$, of N *tasks* to be performed on each workpiece, the ith task having t_i as its *performance time*. The sum of the performance times

$$\sum_{i=1}^{N} t_i$$

is the *total work content*.

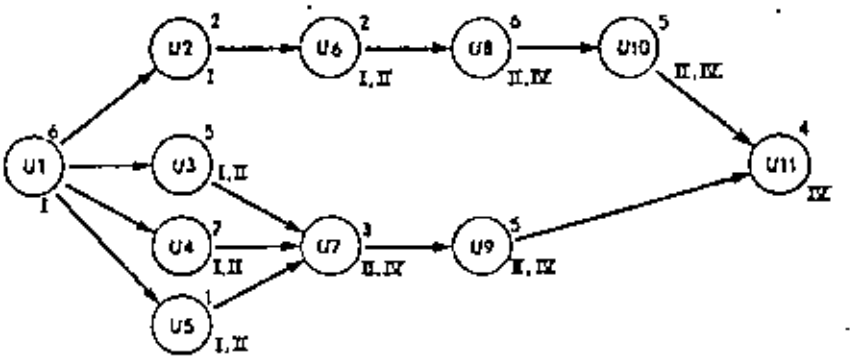
2. *Some precedence relations*, which restrict the order in which the tasks can be performed.

imply $U1 \rightarrow U6$, the arrow from $U1$ to $U6$ can be (and is) omitted. The tasks are also numbered so that it is possible to perform them in numerical order; this is an aid to some of the techniques that will be discussed. The I, II southeast of $U3$ means that $U3$ can be in either zone I or zone II. Zoning requires all the tasks in any one station to have at least one zone number in common (See [19] for a clear description of zoning.)

CRITERIA FOR CHOOSING A BALANCE

Idle time, which is (number of work stations × cycle time)—total work content, is the most important consideration in

FIGURE 1



3. Some *zoning constraints*, which prevent the grouping of certain tasks at the same work station. For example, work on both the front and the back of a large unit would not be done at the same work station.

4. Possibly some other constraints, such as the *must do task*, which has to be performed at one particular work station, and the *two-man task*.

A big help in visualizing the problem is the directed graph or precedence chart. A directed graph from (10) appears as Figure 1.

The 6 northeast of $U1$ is its performance time, t_1. The arrows indicate precedence relations: $U1 \rightarrow U2$ means that $U1$ must precede $U2$. Since $U1 \rightarrow U2$ and $U2 \rightarrow U6$

balancing a line. Assigning tasks to work stations so that idle time is minimized will minimize the number of assembly man-hours per piece.

One way to minimize idle time is to consider all the reasonable values for the number of work stations and then for each one, find a balance that minimizes the cycle time. From these balances, the balance that minimized idle time could be selected. However, directly minimizing cycle time, given the number of stations, is quite difficult. Only two of the methods to be reviewed (the second phase in [14] and the third phase of [17], [18]) attempt to do so. The other methods find balances that minimize the number of stations given cycle time. This must be done for several values

of cycle time in order to (approximately) minimize the number of stations given cycle time.

How should these values of cycle time be chosen? To find a minimum cycle time balance for K work stations, one might use a given method for cycle time C = (total work content)/K and see if a K station balance is obtained. If not, increase C in relatively large steps until a K station balance is obtained, then reduce C in smaller steps until the number of stations goes back up to $K + 1$, then increase C, and so forth.

One would expect that lowering the value of K would give balances with lower idle time, since there will be more tasks per station and better chances for good fits. However, zoning constraints restrict the possible combinations of tasks that can be put in the same station, thus tending to increase idle time. Therefore generalizations about the number of work stations (or cycle times) that will permit low idle time balances are risky.

If idle time alone is considered, then one has the *balance delay* problem, as discussed in (11) (12) (19) (20). However, there are other things to consider. The expected demand for the product implies a "natural" cycle time. If the cycle time that minimizes idle time is higher than this "natural" cycle time, then overtime, a second shift or a second line (with duplicate equipment, and so forth) will be required to meet demand. On the other hand, if the cycle time that minimizes idle time turns out to be much lower than the "natural" cycle time, then the line will have to be shut down a large fraction of the time. Conceivably, the workers on the line could be "farmed out" to other departments for a few hours each day. But practical problems of scheduling and managing may dictate running the line for a few weeks and farming out for a few weeks, and inventory will be built up to cover the period when the line is shut down.

Therefore minimum cycle time balances for various values of the number of work stations should be compared on the basis of the cost of idle time, inventory, overtime or a second line, and so forth, at the expected demand level, and the best balance chosen. Comparisons for other demand levels are desirable, so that the line can be rearranged if and when there is a large enough change in demand.

DEFINING THE PROBLEM

Tasks, their performance times, precedence relations, zoning, and other constraints are assumed to be given. To go back a step, suppose that only the manufacturing method is given. How should one divide the work into tasks and come up with the precedence and zoning constraints? The obvious criterion is making the total work content ($\sum t_i$) as small as possible. Following this criterion may have the following consequences:

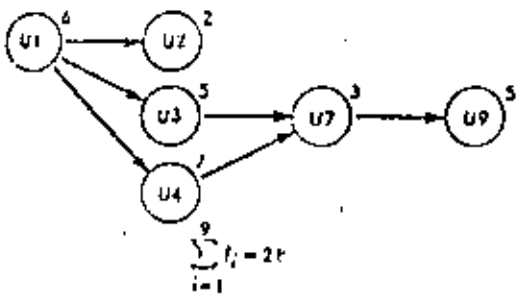
1. There will be many tasks with long performance times, tasks that could be broken up into several shorter tasks with longer total performance time.
2. Many precedence relations will be added, say $U1 \rightarrow U2$, not because it is impossible to do $U2$ before $U1$, but because there is a time penalty for doing so.
3. Many zoning constraints will be added, keeping tasks at separate stations, not because it is impossible to do them together, but because they will take longer if done together.

There are instances where it is worthwhile to pay these penalties. To illustrate for zoning first: suppose in our example line, $U7$ is restricted to zone II. Then at least three stations would be needed to balance the line. Since the t_i are integers, a cycle time of at least 16, with idle time of $3 \times 16 - 46 = 2$ man-minutes, is necessary. Now suppose that this restriction was added because $U7$ would take 3.2 minutes rather than 3 minutes if it were done in zone IV. Then two station balances would be possible if the penalty were paid: for example, $U1$ through $U6$ in the first station, the rest in the second is a balance with

cycle time 23.2 and idle time $U4$ less than the best possible three-station balance.

Now, consider situations where it is advantageous to divide up tasks and eliminate precedence constraints. Suppose the directed graph of Figure 2 (part of our example line) was obtained by defining tasks and precedence to yield minimum total work content.

FIGURE 2



For three work stations, the best that can be done is

$$U1\ U3 \mid U4\ U2 \mid U7\ U9$$

with cycle time 11. But suppose $U3$ can be broken into two tasks, $U3a$ and $U3b$, taking 3 minutes each. Then, although $\sum t_i$ is now 29, one can get

$$U1\ U3a \mid U3b\ U4 \mid U2\ U7\ U9$$

with cycle time 10.

Now revoke the assumption about breaking up $U3$ and instead remove a precedence constraint. Allow $U3$ to follow $U7$ if a 0.5 minute penalty is added to $U3$'s performance time, making $t_3 = 5.5$. Then the best one can do is

$$U1\ U2 \mid U4\ U7 \mid U3\ U9$$

and cycle time is 10.5.

This is a real issue only if idle time is high when cycle time is minimized for a given number of work stations. Therefore, initially, tasks should be defined to give minimum total work content. If the best resulting balances have high idle time, then redefining tasks, precedence, and zoning may help. There is always the question of which tasks to redefine or which restraints to remove. However, an experienced engineer can often see what is preventing a good fit. He can then break up a task or remove a precedence relation and improve the balance with no need to solve formally the "new" problem.

STRUCTURE

Before discussing solution methods, there is a way of structuring line balancing problems which will provide good background. A key idea in line balancing is putting the tasks in some executable order, either before they are assigned to stations or as they are assigned. An ordered arrangement of the N tasks that can be performed in that order is called a *feasible sequence*. Now N tasks can be arranged in $N!$ distinct sequences. Because of precedence relations, only some of these $N!$ will be feasible. If there are r precedence relations among the N tasks (r arrows on the directed graph), then there are roughly $N!/2^r$ distinct feasible sequences. For our example, this estimate is $11!/2^{10} = 4870$ distinct feasible sequences. The actual number is $3!(9!/5!4!) = 756$, less than the estimate. If tasks $U8$, $U10$, and $U11$ are deleted, then the estimate becomes $8!/2^9 = 78$, while the actual number is $3!(7!/5!2!) = 126$, greater than the estimate.

A feasible sequence can be turned into a balance in the following way. Assign the tasks in the order given by the sequence. After several tasks have been assigned, it will be found that the next one in the sequence will not fit into the first work station (either because of cycle time or zoning), this task becomes the first one in the second station, and the process is continued until the next task in the sequence will not fit into the second station. This task becomes the first one in the third station, and one continues in this way until all N tasks have been assigned.

It is not hard to see that there are fewer distinct balances than there are feasible sequences. For example, A and B below

are distinct feasible sequences, yet for cycle time $C = 10$, one gets:

A: $U1, U2, U6 | U4, U5 | U3, U7 | U8 | U9, U10 | U11$

B: $U1, U2, U6 | U5, U4 | U3, U7 | U8 | U9, U10 | U11$.

Here A and B yield only one distinct balance, since the same tasks are assigned to each work station for both sequences. But for $C = 12$, one gets:

A: $U1, U2, U6 | U4, U5 | U3, U7 | U8, U9 | U10, U11$

B: $U1, U2, U6, U5 | U4, U3 | U7, U8 | U9, U10 | U11$

and for $C = 17$ one gets:

A: $U1, U2, U6, U4 | U5, U3, U7, U8 | U9, U10, U11 |$

B: $U1, U2, U6, U5 | U4, U3, U7 | U8, U9, U10 | U11$.

A and B yield two distinct balances for each of these two cycle times. These two sequences also illustrate two valuable results, attributable to Jackson (10), which are given below.

For $C = 12$, $U1$, $U2$ and $U6$ are assigned to the first station for both sequences. But for sequence B, it is possible to add a fourth task, $U5$, to the first station. It can be concluded, *without going any farther than the first work station*, that B must be at least as good as A, since for the remaining stations, the only difference between them is that for B there is one less task to assign. Therefore, if A yields the minimum number of work stations, B must do so also, and A need not be considered. (However, in this case, B and A both require five work stations.)

For $C = 17$, $U1$, $U2$, and $U6$ are assigned to the first station for both sequences. For sequence A, $U4$ is assigned to the first station, and for sequence B, $U5$ is assigned. Now $U4$ takes longer than $U5$, precedes every task that $U5$ precedes, and $U5$ is in every zone that $U4$ is. These three facts enable us to conclude, again without going any farther, that sequence A yields a balance at least as good as that of sequence B. This can be said because A squeezes in a longer task earlier, with no possible precedence or zoning penalty. (In this example, A in fact gives a balance with one less work station than B.)

For the three cycle times that have been chosen, there are three cases: A and B yielding only one balance, A giving a better balance than B, and B giving a better balance than A. The sequences which can be discarded as duplicates ($C = 10$) or as dominated ($C = 12, 17$) depend upon the cycle time. This is why minimizing the number of work stations for a given cycle time is easier than minimizing cycle time for a given number of work stations, at least when one starts with the idea of generating feasible sequences.

At this point, it might be asked how much duplication will there be in turning feasible sequences into balances. For a given line, the number of feasible sequences is fixed. Increasing the cycle time increases the number of tasks per station. Since rearranging the tasks within a station gives different sequences but the same balance, there is more duplication for large cycle times.

In summary then, usually the number of sequences is much greater than the number of distinct feasible sequences, which in turn is greater than the number of distinct balances. In addition, one can discard some distinct balances and still be sure of getting a balance that minimizes the number of work stations.

METHODS FOR BALANCING ASSEMBLY LINES

Fortified by this introduction to feasible sequences, it is now possible to discuss several methods that have been proposed for balancing assembly lines.[1] In this discussion, the emphasis is on ease in explaining and comparing methods, and therefore is not necessarily the same as that of the articles discussed. For example, it is implied in the following that all of these methods can handle zoning (and they can, at least conceptually), although the individual articles may not even mention zoning.

Two facts which favor quick approximations should be kept in mind when

[1] For a complete bibliography, see reference [4].

evaluating the methods. First, line balancing problems grow very rapidly. For a line with 70 tasks and 105 precedence relations, an estimate of the number of feasible sequences is $70!/2^{105} = 10^{95}$. (The interested reader can determine how many centuries it would take all the high-speed general purpose digital computers in the free world to enumerate 10^{95} sequences.) Even after taking advantage of Jackson's two results (10) and eliminating sequences that give duplicate balances, there will be an astronomical number left. On top of this, all but two of the methods that will be discussed attempt to minimize the number of work stations given cycle time. Consequently, with a single line to balance, a method will have to be used from 5 to 50 times in order to compare minimum cycle time balances over a range of the number of stations. Secondly, the distinction between optimal (minimum cycle time) balances and nonoptimal ones tends to fade in the light of things such as the possibility of redefining tasks, precedence, zoning, and other problems which will be discussed later. Helgeson and Birnie (6) point out that it is their experience that any balance can be improved upon by an experienced engineer (by redefining tasks, and so forth). The effort of enumerating everything or pursuing a time consuming algorithm to completion may not yield as good a balance as giving a qualified man a good approximate balance as a starting point.

SALVESON—BOWMAN—WHITE

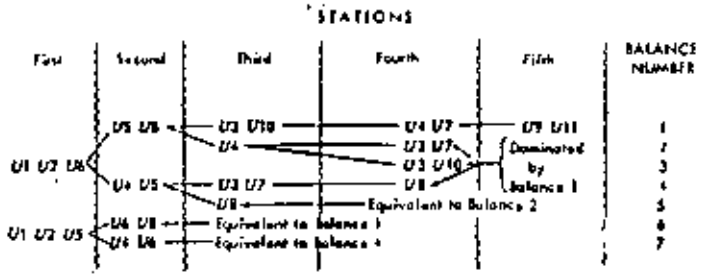
The first published article (1955) on assembly line balancing was written by Salveson (15) (16). His comprehensive treatment of the setting and definition of the problem is extremely valuable. In particular, Salveson suggests that lines with relatively few precedence constraints might best be handled by one method and those with many constraints by some other method. He stresses the need for providing several balances, so that things that are difficult to get into the problem statement can be considered. For example, some tasks may require a more highly skilled (and paid) worker, and a balance that puts all these tasks at one station rather than two can afford to have slightly higher cycle time.

The main formal solution method Salveson proposes is a linear programming (*LP*) model. This formulation allows tasks to be split among stations, and integer *LP* is required to assure that each task is assigned to only one station. Bowman (2) presents two separate integer *LP* models, one of which is improved upon by White (22). The first model requires about 50 equations and 66 variables for our eleven-task example, while the second needs about 100 equations and 43 variables. Things do not get better as the assembly line gets bigger, so this approach seems to be of cultural rather than practical interset, no matter how fast the integer *LP* algorithm of the future is.

JACKSON

In 1956, Jackson presented a method for obtaining balances that minimize the number of stations for a given cycle time (10). The idea is simple: construct all feasible first work stations; then for each such first work station, construct all feasible second work stations; for each first-second combination, construct all feasible third stations, and so forth. At some point, say, after the kth stations are constructed, it will be found that one or more of the balances have assigned all the tasks; therefore, these balances minimize the number of work stations for the given cycle time. Jackson's dominance arguments, given previously, can be used to eliminate a great many balances, with the assurance that the method will yield at least one of the balances with the minimum number of work stations. The entire computation (making use of dominance) needed to solve our example line for cycle time 10 is shown in Figure 3.

FIGURE 3



It is obvious that our 756 feasible sequence example has been greatly reduced. However, dominance has been used and sequences eliminated by looking at more than one station at a time. Even for hand calculation one might not normally see all the duplicates and dominance, so the solution given overstates the economy of this method. For large lines, where one would like to have computers do the balancing, another difficulty arises. It is not too hard for people to understand the use of dominance and to discard duplicates, but getting a computer to do so efficiently is another story. The problem will be easier for the computer if checks for duplicates and dominance are restricted to the station currently being constructed. In this event, balances 5, 6, and 7 would not have been dropped; instead the calculations would have continued and spread out for them. Also balances 2, 3, and 4 would not have been dropped as dominated. Therefore, more balances are carried along at each stage.

In conclusion, Jackson's method is excellent for hand calculations; up to thirty tasks, perhaps more. For computer calculation, the choice is essentially between making use of all the dominance and duplication results, which increases running time, and not doing so, which requires great amounts of storage. Tonge (17) (18) has imbedded Jackson's method in his procedure. It is illuminating to note that Tonge's program had to execute 389,000 instructions to balance our eleven-task line. Although other programs of Jackson's method probably exist, the author does not know of any published data on the number of tasks handled or speed of execution.

HELD, KARP, AND SHARESHIAN

Held, Karp, and Shareshian offer a method which will also yield balances with minimum number of work stations given cycle time (5). Before presenting their method, a few definitions are required. A *feasible subset* is a subset of the N tasks that can be executed in some order without any other tasks being done. In our example ($U3$, $U4$, $U7$) is *not* a feasible subset because $U1$ must be done before $U3$, and $U5$ must be done before $U7$ and neither $U1$ nor $U5$ is in the subset. A *feasible subsequence* is a subsequence of the N tasks that can be executed in the indicated order without any other tasks being done. There is a correspondence between feasible subsets and feasible subsequences: ($U1$, $U2$, $U3$) is a feasible subset while ($U1$-$U2$-$U3$) and ($U1$-$U3$-$U2$) and its associated feasible subsequences. The "*cost*" of a feasible subsequence is the number of filled-up stations it requires plus the time in the last station. The cost of a feasible subset is the minimum of the costs of its associated feasible subsequences. For cycle time 10 in our example, the cost of ($U1$-$U2$-$U3$) is one full station (for $U1$ and $U2$) plus 5 minutes (for $U3$) and the cost for ($U1$-$U3$-$U2$) is one full station (for $U1$) plus 7 minutes (for $U3$ and $U2$). Therefore the cost of subset ($U1$, $U2$, $U3$) is minimum (1 station + 5 minutes, 1 station + 7 minutes) or 1 station + 5 minutes.

The following relationship is the heart of the technique:

Cost of sequence $(Ua - \cdots - Ui - Uj)$
$= \text{Cost of sequence}\,(Ua - \cdots - Ui) + \Delta(Uj)$

where

$\Delta(Uj) = t_j$ if Uj fits in the last station of $(Ua - \cdots - Ui)$
$= t_j$ in the next station + idle time in the last station of $(Ua - \cdots - Ui)$ if Uj does not fit.

Therefore, for a subset S,

Cost of $\{S\}$
= Minimum over all Ui such that $\{\text{Cost of}\,\{S - Ui\} + \Delta(Ui)\}\,\{S - Ui\}$ is feasible.

This relationship is used recursively to get the costs of the subsets with two tasks from those with one, then the costs of the subsets with three tasks from those with two, and so on, until the cost of the entire N task line is obtained. This is the minimum cost of the line, since the N task (sub)set has all the feasible (sub)sequences associated with it.

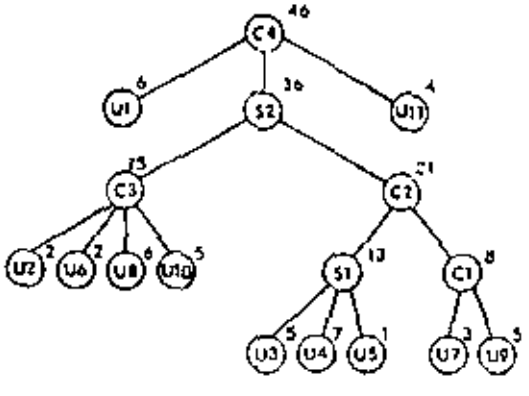
The advantage of this calculation is that only the feasible subsets and their costs must be saved. For our eleven-task example there are 50 feasible subsets (compared to 756 feasible sequences). The authors of (5) have developed methods for counting the number of feasible subsets, enabling them to predict storage capacity required. They have programmed the calculation process for the IBM 7090. The program balances a 36 task line in 20 seconds. For larger lines, the number of feasible subsets exceeds storage limitations, and an approximation is necessary. In their approximation, the authors of (5) break the set of N tasks into small groups of tasks. These groups replace the individual tasks in their recursive relationship. Experimentation has yielded rules for breaking the tasks up into groups that are satisfactory in the sense that the resulting balances have low idle time. To give an idea of problem size and speed, the approximation has balanced a 180 task line in 5 to 7 minutes and a 612 task line in 24 to 30 minutes on the IBM 7090.

TONGE

F. M. Tonge has developed a heuristic program for assembly line balancing (17) (18). As before, definitions and an example lead off the discussion. A *chain* is a group of tasks, having the same tasks as predecessors and the same followers, that must be performed in the indicated order. In our example, $U7 \rightarrow U9$ is a chain, call it $C1$. A *set* is a group of tasks, having the same predecessors and followers, that can be performed in *any* order. In our example, $U3$, $U4$, and $U5$ form a set, call it $S1$. This can be continued— $S1 \rightarrow C1$ is a chain, call it $C2$. In fact, our example line can be reduced to a chain. (Lines with more complex precedence relations require the definitions of more complex groups to complement the chain and the set.) This idea is Phase I of Tonge's procedure; the calculation is completed below.

$U2 \rightarrow U6 \rightarrow U8 \rightarrow U10$ is a chain, call it $C3$. $C2$ and $C3$ form a set, call it $S2$. Then $U1 \rightarrow S2 \rightarrow U11$ is a chain, call it $C4$. The resulting "tree" is shown in Figure 4.

FIGURE 4



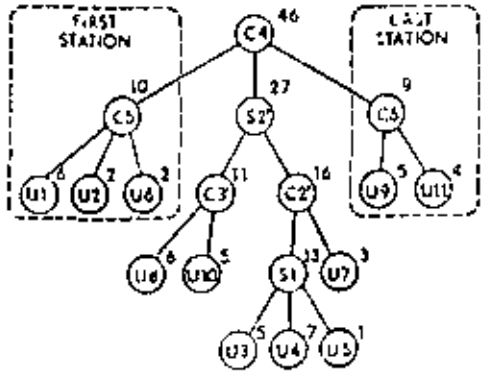
The numbers to the northeast indicate the performance time for each group. Note that the precedence relations are here; the groups that make up a chain must be performed in order from left to right. For example, $S1$ is to the left of $C1$ and both are in chain $C2$, so $S1$ must precede $C1$.

To begin Phase II, a cycle time is necessary. Starting with the lower bound on the number of stations that is implied by the cycle time, the procedure tries to assign all the tasks to that number of stations. If it fails, then another station is added, and the process is repeated. There are 5 heuristics (rules of thumb) used by the procedure in trying to assign tasks to stations. Tasks are switched between groups in the process. The procedure includes rules for deciding, as it goes along, which group to work on next and in what order to try the heuristics. For $C = 10$, implying 5 or more stations, the tree might be attacked as follows.

Start at the top. $C4$ is a chain, and is started from the front. $U1$ requires 6 minutes, so there are 4 left. $S2$ is too big, so its components, $C2$ and $C3$, are examined. They are also too big. Arbitrarily, the choice is to try the components of $C3$ first, and it is found that $U2$ and $U6$ fill up the first station. Now the attack is from the rear, and tasks are assigned to the last station. Working from the back of $C4$, $U11$ is inserted. Again the components of $S2$ are examined; this time $C2$ is tried first. Since $C2$ is a chain, $C1$ must be tried first. Working from the back of $C1$, $U9$ is assigned, leaving 1 free minute in the station. $U7$ will not fit. Going back up the tree, $S1$ cannot be examined since $C1$ is not completely assigned. $C3$ is tried since $S2$ is a set. $U10$ is too big. Therefore, at this point, the last station consists of $U9$ and $U11$. In the process the tree has been restructured, and the new tree appears as Figure 5. Now one would attempt to assign the tasks in $S2'$ to the three remaining men.

Once a balance is obtained, Phase III begins. Here heuristics are employed to try to rearrange the tasks among stations to lower cycle time. This is one of the only published instances where an attempt has been made to minimize cycle time directly. Phase III had not been programmed when Tonge wrote his article, so comment on how well it works is impossible.

FIGURE 5



Phases I and II have been programmed in IPL-IV (a list processing language) for the JOHNNIAC computer at The Rand Corporation. This computer is relatively slow; it took 11 minutes to solve our eleven-task example and 5 hours for a 70 task line. Tonge estimates that the 70 task problem would take about 10 minutes on the IBM 7090. An advantage of this method is that the tree resulting from the calculations for one cycle time can be used as input for balancing for another cycle time, saving time in the second calculation.

ARCUS

In the technique developed by Arcus, the essential idea is the random generating of a feasible sequence (1). In our example, $U1$ must be first, but $U2$ or $U3$ or $U4$ or $U5$ could be next. Suppose probability $\frac{1}{4}$ is assigned to each of these tasks and one is selected at random, say $U5$. Then $U2$ or $U3$ or $U4$ can be next, and probability $\frac{1}{3}$ might be assigned to each of them, and so on, until an entire sequence is generated. As each sequence is generated, the tasks can be assigned to work stations. Arcus's method consists of generating a large number of sequences in this way and choosing the one that gives the fewest stations.

Arcus first proceeds by assigning, at each stage, equal probability to all the tasks that could come next. Then, judging on the basis of the yield of good balances, he explores other methods for weighting

the tasks. Not surprisingly (in view of Jackson's results) he finds that putting all the weight to those tasks that will fit into the current station pays off handsomely. For cycle time 10 in our example, after $U1$ has been assigned, all the weight goes on $U2$ and $U5$ because either will fit in the first station while neither $U3$ nor $U4$ will.

Still restricting attention to those tasks that will fit, but weighting them unequally rather than equally, can yield marginally better balances for the lines with which Arcus experimented. Arcus's best heuristic weights each task that will fit in inverse proportion to the number of places it can go in the sequence. For example, with $U1$ assigned to the first station and $C = 10$, $U2$ or $U5$ will fit. Now $U6$, $U8$, $U10$, and $U11$ must follow $U2$, so $U2$ cannot be eighth or later in the sequence. Therefore, at this stage, it can be second or . . . or seventh; that is, in any one of six slots. Similarly, $U5$ can be in any one of seven slots. So $U2$ will get higher weight than $U5$, in ratio 7 : 6. Therefore, probability 7/13 would be assigned to choosing $U2$ and 6/13 to choosing $U5$.

Arcus's computer program stops after generating 1,000 sequences, this part of the program taking from 5 to 8 minutes on the IBM 7090 for Tonge's 70 task line. Out of the 1,000, it obtained 75 to 150 that gave 23 station balances (depending on which heuristic was used), and, for the heuristic just outlined, 4 that gave 22 station balances. Tonge obtained a 23 station balance for this same problem. Arcus estimates that the whole program would take 30 minutes for 1,000 sequences for this 70 task line.

One would like to know if the weighting scheme that gave the best yield of good balances for Arcus's examples will do so for other lines. The answer is no; for our eleven-task line and cycle time 10, equal weighting of those tasks that will fit is better. To be specific, it can be verified that the probability of generating a five-station balance if, at each stage, all the tasks that will fit are weighted equally is 1/9 or 0.111. The probability of generating a five-station balance by weighting each of the tasks that could fit in inverse proportion to the number of places it could go in the sequence is about 0.091.

It should be pointed out that this method of generating permits the same sequence to be generated more than once. There will be little duplication, however, if the ratio of the number of distinct feasible sequences associated with the line to the number actually generated is large. Since large lines have an extremely large number of feasible sequences, this condition is assured. For a ratio as low as 10, on the average 95% of the sequences will be distinct. In other words, if there are 10,000 feasible sequences in which the tasks can be executed and 1,000 are generated using Arcus's techniques, one can expect to get about 950 different sequences from the 1,000.[2]

A more important consideration is the duplication in the balances that will be obtained. Feasible sequences are generated, and even if there is little duplication of sequences, there will be considerable duplication of balances, since many distinct sequences will yield only one balance. Although Jackson (10) and Held, Karp, and Shareshian (5) avoid this problem, there is more "bookkeeping" involved with each of their methods. In a sense, the choice is between speed and selectivity.

KILBRIDGE AND WESTER

A heuristic technique for assembly line balancing has been presented by Kilbridge and Wester in three articles. In (20) they review analytical systems of line balancing, and they stress also points about zoning that they first brought up in (19). In (19), they also discuss how to choose cycle times when zoning or "must do" tasks break the line into a sequence of independent sublines.

In their first article (11), Kilbridge and Wester offer a heuristic technique for

[2] Duplication is equivalent to unfilled cells in the "occupancy" problem. See reference [3].

balancing assembly lines. Their setup requires the addition of column labels to the directed graph. For our example, the column label 1 would be put above $U1$, the label 2 above $U2$, the label 3 above $U6, \ldots,$ and the label 6 above $U11$. The basic ideas are:

1. The order in which tasks in the same column are performed is a matter of indifference.
2. Tasks can be moved between columns.

To illustrate the latter, $U9$ could be in column 5 just as easily as in column 4. For computation purposes, the information on the directed graph is tabulated in Table I.

TABLE I

Column	*Task*	*Columns Task Can Move to*	t_i	*Cumulative*
1	$U1$		6	6
2	$U2$		2	
	$U3$	can go to column 3 if $U7$ and	5	
	$U4$ →	$U9$ move to 4 and 5	7	
	$U5$		1	21
3	$U6$		2	
	$U7$ →	can go to column 4 if $U9$ moves to 5	3	26
4	$U8$		6	
	$U9$ →	can go to column 5	5	37
5	$U10$		5	42
6	$U11$		4	46

First, the technique will be used to balance the line for $C = 23$. One looks down the cumulative t_i column and sees that 21 minutes are used for tasks in columns 1 and 2. If $U6$ from column 3 is added, one gets 23 minutes; this leaves 23 minutes in the second station. Thus, a zero idle time balance is derived almost effortlessly.

Now try $C = 16$. Again observe that cumulative t_i is 21 for columns 1 and 2. If $U3$ is removed, one gets a first station with $21 - 5 = 16$ minutes of work. This means that the first and second together must have 32 or less. It is seen that one can get 32 exactly by adding $U8$ to columns 1, 2, and 3. This leaves three tasks, totaling 14 minutes in the third station. For three stations, C cannot be reduced to 15, since $3 \times 15 = 45 < 46$. So a minimum cycle time balance for three stations has been obtained with very little effort.

Then, $C = 10$ is tried. If $U2$ and $U5$ are added to column 1, one can get 9 minutes in the first station. $U3$ and $U4$ are left in column 2; they will not both fit into one station, so $U3$ is moved to column 3 (and $U7$ to 4, $U9$ to 5). Then $U4$ and $U6$ can be in the second station, and $U3$ and $U7$ in the third. This leaves $U8$, $U9$, $U10$, and $U11$; and it will take three more stations since $U9$ is now in column 5. Consequently, at this point there are six stations. One can try again, moving different jobs between columns this time. However, in order to get the five station balances which are known to exist, some "dummy" columns would have to be added. Three dummy columns are needed to allow $U4$ to be moved into the same column $U10$ so that $U10$ can precede it.

What this exercise has hopefully illustrated is that Kilbridge and Wester have a simple, powerful technique for large cycle times, when one station crosses several columns. However, for low cycle times, where one column may require two or more stations, much adjustment is necessary, with no guarantee of good results. The technique loses some of its attractive-

ness in these cases. This seems to confirm Salveson's hypothesis that different methods work in different situations. One can also observe that if the cumulative t_i figures are placed on the directed graph at the bottom of each column, there is little need for the table, since the computation can be made on the graph itself.

HOFFMAN

The work of Hoffman begins with the precedence matrix, whose elements give the same information as the arrows on the directed graph (7) (8). The precedence matrix for our example line appears in Table 2.

TABLE 2

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11
U1		1	1	1	1						
U2						1					
U3							1				
U4							1				
U5							1				
U6								1			
U7									1		
U8										1	
U9											1
U10											1
U11											

The matrix is constructed as follows: For each arrow on the directed graph, enter a 1 in the cell corresponding to the row of the task that precedes and the column of the task that follows. The 1 in row 1 column 2 means $U1 \rightarrow U2$. Call this matrix X; let $S = X + X^2 + X^3 + \cdots + X^n$. The elements of S are the number of paths from the task in the row to the task in the column. In (7) Hoffman shows how simple operations on S yield all feasible sequences. Computer programs that will rapidly obtain S for up to a 75 task line are given.

In (8) Hoffman suggests the "successive maximum elemental time" method. The procedure is this: Select as the first station that feasible subset of tasks that leaves the least idle time in the station; then select from the remaining tasks the subset that leaves the least idle time in the second station, and so on. If there are "ties" at any station, apparently both sets are kept, so several different balances can result.

For our example line and $C = 10$, $\{U1, U2, U6\}$ is the only feasible set of tasks that fills up the first station. From the remaining tasks, $\{U4, U5\}$ take 8 minutes, more than any other set of tasks that can go second, so they comprise the second station. Continuing until all tasks are assigned, one gets:

U1 U2 U6 | U4 U5 | U3 U7 | U8 | U9 U10 | U11

which has six stations.

Hoffman also proposes backward balancing (first suggested by Helgeson and Birnie (6)), that is, turning all the arrows on the directed graph around and balancing from right to left. It is not hard to see that the resulting problem is equivalent to the original one, and solving it by his method, one gets:

U11 U9 | U7 U4 | U10 U3 | U8 U6 U2 | U5 U1

U11 U10 | U8 U6 U2 | U9 U7 | U5 U4 | U3 | U1.

The first of these has five stations, so backward balancing with Hoffman's method yields an optimal balance in this example.

From a computer programming point of view, the foregoing description of the procedure is not sufficient. A method for finding that subset of the remaining tasks that has the least idle time at the current station is necessary. Simple operations on the S matrix will do this job, and Hoffman has developed a FORTRAN program for executing the algorithm. This program is included in (8). It can handle lines with up to 99 tasks, and has balanced 19 to 76 task

lines in 3 to 10 minutes on the CDC 1604 (corresponding to perhaps 2 to 8 minutes on the IBM 7090).

HELGESON AND BIRNIE

A heuristic technique, the ranked positional weight method, has been developed by Helgeson and Birnie (6). The *positional weight* of a task is its t_i plus the t_i's of all the other tasks which must follow it. After calculating the positional weights, the tasks are ranked, the task with the largest weight coming first.

Task	U1	U2	U4	U3	U6	U8	U5	U7	U9	U10	U11
Positional Weight ...	46	19	19	17	17	15	13	12	9	9	4
Immediate Preceders .	—	U1	U1	U1	U2	U6	U1	U3, U4, U5	U7	U8	U9, U10

Once again, our example will be balanced for $C = 10$. One proceeds to assign tasks to stations, going in the order of the ranking. If a task takes longer than the time remaining in the station or would violate precedence or zoning, it is passed over and the next task is tried. This process is continued until no further tasks can be assigned to the station. At this point, the next station is started, beginning with the first of the tasks passed over at the preceding station. The resulting balance is

U1 U2 U6 | U4 U5 | U3 U7 | U8 | U9 U10 | U11,

which requires six work stations.

To give two balances to choose from, Helgeson and Birnie introduce the idea of inverse positional weight, which is the ranked positional weight of the backward balancing problem. If one turns the arrows around, calculates positional weights, and balances from right to left, the following is obtained:

U11 U9 | U7 U10 U5 | U8 U6 U2 | U4 | U3 | U1

which also requires six work stations.

In evaluating this method, it must be realized that examination and improvement by an experienced engineer or technician is an integral part of the method. The method's advantage is that the engineer is provided very quickly with a decent balance to work on. The amount of work required to get this preliminary balance does not increase boundlessly with the number of tasks. On the other hand, it is hard to say how good the resulting balance will be. For our example, it does not seem likely that either preliminary balance would open the door to a five-station balance.

MANSOOR

A refinement of the ranked positional weight (RPW) method is suggested by Mansoor (13). He describes one way in which an experienced engineer might handle the output of the Helgeson and Birnie procedure. Mansoor's key idea is keeping track of total idle time as the RPW method is applied. When the total idle time in the stations assigned so far exceeds ($C \times$ desired number of stations) $- \sum t_i$, he backtracks, removing from the current stations some of the tasks that have already been assigned. He suggests first removing the last task assigned, and trying RPW from this point (excluding the removed task from being the first one assigned, of course). He recommends continuing the backtracking until either a balance with the desired number of stations is found or, after all possibilities have been examined, no such balance is found. (If no balance is found, then at least one more station or a higher cycle time is needed.)

If Mansoor's procedure is followed, an optimal balance is guaranteed, as he claims; but the amount of work required may be quite large. Every time a task with low positional weight must be ahead of a large number of tasks with higher weights in an optimal balance, it may take a lot of backtracking to get it assigned ahead of them.

For example, in our line for $C = 10$, we know that a five-station balance exists. The allowable slack is $5 \times 10 - 46 = 4$ man-minutes. Mansoor's method would flag the RPW calculation in the fourth station. To get an optimal balance, $U8$, which is currently in the fourth station, must be moved up to the second station. This takes a fair amount of work even in this case. Therefore, it is not clear that Mansoor's method is practical for large lines. However, the idea of flagging the RPW method when idle time gets too large is very appealing, and selective (as opposed to exhaustive) application of backtracking may be very effective.

MOODIE AND YOUNG

Moodie and Young have developed a two-phase heuristic procedure for balancing lines (14). In the first phase, a preliminary balance is obtained using the "largest candidate rule": Construct work stations sequentially by, at each stage, selecting from those tasks that are feasible and will fit in the current station, the one with the largest preformance time. In our example problem with $C = 11$, this phase yields the following five-station balance:

$U1\ U3 \mid U4\ U2\ U6 \mid U8\ U10 \mid U5\ U7\ U9 \mid U11.$

For example, $U3$, $U4$, $U5$, or $U8$ could be the first task assigned to the second station. $U4$ is chosen because t_4 is the largest of the four performance times.

In the second phase, as in Tonge's phase III, heuristics are used to shift tasks between stations in an attempt to reduce idle time.[3] The heuristics prescribe a series of trades of single elements between stations, with each trade reducing, or at least not increasing, cycle time. In our example, this procedure will not transform the preliminary balance into one with cycle time of 10.

[3] Actually, they define the "smoothness index" and try to minimize it. However, idle time seems superior, since the two measures are roughly equivalent and smoothness does not have the cost interpretation that idle time has.

Moodie and Young's procedure allows task performance times to be variable. They assume that the times for the N tasks are independent, normally distributed random variables with known means and variances. The criterion for a station being filled up becomes "the probability that the sum of the performance times of the tasks in that station be greater than cycle time is less than (say) 2%." The second phase now also attempts to equalize the variances between stations. This is a step in the right direction, although the question of what the allowable probability ought to be, and whether it ought to be the same for all stations is not considered.

Moodie and Young have used the method by hand for small problems and have written a FORTRAN program for larger lines. The program has balanced 21–70 task lines, with and without variable performance times, in 1–2 minutes on the IBM 7090. They observe that keeping the precedence information essentially in list form (as Arcus and others do) rather than as a precedence matrix reduces the computer memory required for large lines.

KLEIN

Klein presents a procedure for problems where the feasible sequences are given (say by Hoffman) and the T_i are integers (enabling one to look only at integer cycle times) (12). For each feasible sequence, a minimum idle time balance is obtained, and the best of these balances is selected. Since this method considers all the feasible sequences, it merits consideration only for small lines.

HU

Hu has developed an algorithm for assigning tasks to workers when only one workpiece can be in process at any time (9). There can be no comparison with the methods that have already been discussed, since they assume that several pieces will be in process simultaneously.

SUMMARY OF METHODS

METHOD	*CHARACTERISTICS* (Exact if a balance with the minimum number of stations is guaranteed, otherwise approximate; a short description; applicability).
Arcus	Approximate; generates undominated feasible sequences randomly; 1000 sequences for 70 task line in 30 minutes on IBM 7090 (estimated).
Held, Karp and Shareshian	I: exact; dynamic programming with feasible subsets; balanced 36 task line in 20 seconds on IBM 7090; can handle up to 36 tasks. II: approximate; as I, but uses groups of tasks rather than individual tasks; balanced 180 task line in 5–7 minutes, 612 task line in 24–30 minutes on IBM 7090.
Helgeson and Birnie (Ranked Positional Weight)	Approximate; ranks the tasks, assigns to stations in ranked order, as far as possible; programmed for computer, but can be done by hand; should give a balance for an engineer to improve faster than any of the other methods.
Hoffman (Successive Maximum Elemental Time)	Approximate; obtains first station with minimum idle time, adds minimum idle time second station, etc.; balanced 19–76 task lines in 3–10 minutes on CDC 1604 (probably 2–8 minutes on IBM 7090); can handle up to 99 tasks.
Jackson	Exact; generates all undominated feasible balances; programmed in Tonge's procedure and probably elsewhere; good for hand computation for relatively small lines.
Kilbridge and Wester	Approximate; trial and error assignment of tasks to stations; for hand calculation, especially when number of tasks per station is large.
Mansoor	Exact or approximate; flags the ranked positional weight method when idle time gets too high, then backtracks; for hand calculations; exact if all backtracking is done, perhaps better if backtrack selectively.
Moodie and Young	Approximate; phase 1 assigns longest of those tasks that will fit to current station, phase 2 rearranges tasks between stations; allows variable performance times; balanced 21–70 task lines in 1–2 minutes on IBM 7090; hand computation possible for smaller lines.
Tonge	Approximate; structures line as a tree, applies 5 heuristics to it; balanced 70 task line in 3–5 hours on JOHNNIAC (estimated 10 minutes on IBM 7090); Phase III tries to directly minimize cycle time for a given number of stations.

WHERE DO WE GO FROM HERE?

From the point of view of the practical value of further research, "the" assembly line balancing problem—the one posed up to now—is solved. A number of good solutions to it are available. However, real assembly lines differ significantly from "the" problem, and research into methods for handling these complications could yield results that would be of great value to people who actually balance lines.

The problem of defining tasks, precedence relations, and zoning constraints has been discussed previously, as has the problem of the more highly paid worker. One significant consideration that has not been touched on yet is that of *product mix*. A good example is the automobile assembly line, where different models will require different amounts of work at some of the work stations. In (21), Kilbridge and Wester have discussed some aspects of this problem.

Another problem is associated with the assumption of constant performance times. *Performance times are usually variable*, and this has an effect on the line's operation. In fact, if a man at the beginning of the line does not finish a workpiece, then no one

after him can work on it. If he stays with it after the cycle time is up, then the man after him is under pressure to work faster than usual to gain back the time. If he does not, the problem is passed on to the next man. On the other hand, if a man near the end of the line is late, the consequences are less disturbing, since fewer people follow him. Therefore, it may be desirable to assign work more loosely at the beginning of the line and/or keep inventory between stations in order to absorb the effects of variable performance times. A start on this problem has been made by Moodie and Young (14).

What about the manager who says "Why bother with fancy methods when we can't assign more than 90% of the cycle time to any worker anyway?" This statement really does not argue against better balances: a 90%, 90%, 90% balance is still better than an 85%, 85%, 90%. However, the fact that a line with quite a bit of idle time on the basis of standard performance times will look better when matched up with *men of unequal ability* is interesting. Suppose the abilities of the men who will work on the line are known. If the men are considered in some fixed order, then any of the methods that have been discussed can be used if cycle time is changed at each station to fit the man who will be working there. If it is also desirable to find the best order for the men to be in, there are (number of men)! different problems to solve.

Some of these problems may yield to theoretical analytical attack. Regardless of whether they do or not, real data case studies are necessary. These would indicate just how significant some of the problems are, and whether or not they occur in combination. Perhaps in automobile assembly lines, the product mix problem dominates everything else, while in the assembly of electronic equipment, the variable performance time might be dominant. Knowing whether these problems occur together is important, because analyzing them separately is not sufficient if they do. Using the "sum" of the results obtained by analyzing each problem separately as the procedure for the combined problem can be a dangerous pastime.

Case studies may also reveal that some of these problems can be taken care of effectively by using one of the methods already discussed, if some rule of thumb is also used. For example, a rule such as "balance as if men were of equal ability, but put the faster men near the beginning of the line" might take care of both variable performance times and men of unequal ability in many cases.

REFERENCES

1. ARCUS, A. L. "Assembly Line Balancing by Computer," Graduate School of Business, University of California, Berkeley, July, 1962.
2. BOWMAN, E. H. "Assembly Line Balancing by Linear Programming," *Operations Research*, Vol. 8, No. 3 (May–June, 1960), pp. 385–89.
3. FELLER, Wr. *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*, Vol. I, 2d ed.; New York: John Wiley & Sons, Inc., 1957, pp. 91–95.
4. HART, L. W., JR. "Activity Sequencing—A Bibliography," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 14, No. 4 (July–August, 1963), pp. 220–23.
5. HELD, M., KARP, R. M., and SHARESHIAN, R. "Assembly Line Balancing—Dynamic Programming with Precedence Constraints," *Operations Research*, Vol. 11, No. 3 (May–June, 1963), pp. 442–59.
6. HELGESON, W. P., and BIRNIE, D. P. "Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 12, No. 6 (November–December, 1961), pp. 394–98.
7. HOFFMAN, T. R. "Generation of Permutations and Combinations," Engineering Experiment Station Report No. 13, University of Wisconsin, Madison, July, 1959.
8. HOFFMAN, T. R. "Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix," *Management Science*, Vol. 9, No. 4 (July, 1963), pp. 551–63.
9. HU, T. C. "Parallel Sequencing and Assembly Line Problems," *Operations*

Research, Vol. 9, No. 6 (November-December, 1961), pp. 841-48.

10. JACKSON, J. R. "A Computing Procedure for a Line Balancing Problem," *Management Science*, Vol. 2, No. 3 (April, 1956), pp. 261-71.
11. KILBRIDGE, M. D., and WESTER, L. "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 12, No. 4 (July-August, 1961), pp. 292-98.
12. KLEIN, M. "On Assembly Line Balancing," *Operations Research*, Vol. 11, No. 2 (March-April, 1963), pp. 274-81.
13. MANSOOR, E. M. "Assembly Line Balancing—An Improvement on the Ranked Positional Weight Technique," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 15, No. 2 (March-April, 1964), pp. 73-77.
14. MOODIE, C. L., and YOUNG, H. H. "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 16, No. 1 (January-February, 1965), pp. 23-29.
15. SALVESON, M. E., "The Assembly Line Balancing Problem," *Transactions of the ASME*, Vol. 77 (August, 1955), pp. 939-48.
16. SALVESON, M. E. "The Assembly Line Balancing Problem," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 3 (May-June, 1955), pp. 18-25.
17. TONGE, F. M. "Summary of Heuristic Line Balancing Procedure," *Management Science*, Vol. 7, No. 1 (October, 1960), pp. 21-42.
18. TONGE, F. M. *A Heuristic Program for Assembly Line Balancing*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1961.
19. WESTER, L., and KILBRIDGE, M. D. "Heuristic Line Balancing—A Case," *Journal of Industrial Engineering*, Volume 13, Number 3, May-June, 1962, pp. 139-49.
20. WESTER, L., and KILBRIDGE, M. D. "A Review of Analytical Systems of Line Balancing," *Operations Research*, Vol. 10, No. 5 (September-October, 1962), pp. 626-38.
21. WESTER, L., and KILBRIDGE, M. D. "The Assembly Line Model-Mix Sequencing Problem," *Proceedings of the Third International Conference on Operational Research*, Dunod, Paris, 1964, pp. 247-60.
22. WHITE, W. W. "Comments on a Paper by Bowman," *Operations Research*, Vol. 9, No. 2 (March-April, 1961), pp. 274-76.

16

An economic model for the division of labor*

MAURICE KILBRIDGE and LEON WESTER

THE industrial or technical division of labor, as distinguished from the social division of labor, is the rational division of work among persons and machines within a particular enterprise. It has as its object an increase in the productivity of labor and machines, and its extent at any time and place is a function of the extent and stability of the market, the product, and methods employed.

Although the technical division of labor is the most obvious characteristic of the modern factory system, it is an ancient and natural phenomenon that far predates the industrial revolution. The great ancient civilizations of the Mediterranean world fostered factory systems for the mass production of some consumer goods in which extensive division of labor was undoubtedly practiced. Xenophon provides evidence of

* Maurice Kilbridge, and Leon Wester, "An Economic Model for the Division of Labor," *Management Science*, Vol. 12, No. 6 (February, 1966), pp. B255-B269.

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

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

BALANCEO DE LINEAS

ING. ROBERTO HOLANDA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

ING. ROBERTO HOLANDA.

BALANCEO DE LINEAS: METODO DE HELGESON Y BIRNIE

EL PROBLEMA CONSISTE EN BALANCEAR LA LINEA EN SEIS ESTACIONES.

PRIMERAMENTE SE OBTIENE UNA SECUENCIA DE OPERACIONES, DE TAL FORMA QUE LA PRIMERA SEA RESPONSABLE DEL MAYOR NUMERO DE TIEMPO, LA SEGUNDA LA QUE LE SIGA EN ESTA CIRCUNSTANCIA Y ASI SUCESIVAMENTE.

ES DECIR:

$PW_j = \Sigma t_i$ QUE DEPENDAN DE LA OPERACION (INCLUYENDO j)

DE ESTA FORMA SE TABULA Y SE PROCEDE DE LA SIGUIENTE FORMA:

PROCEDIMIENTO:

1. ASIGNAR LA OPERACION PW_1 A LA ESTACION 1
2. CALCULAR EL TIEMPO RESTANTE DEL CICLO
3. ASIGNAR LA OPERACION PW_2 A LA ESTACION 1, SIEMPRE Y CUANDO SE SATISFAGAN LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

   a) LA OPERACION QUE PRECEDE INMEDIATAMENTE A LA QUE SE QUIERE ASIGNAR HAYA SIDO PREVIAMENTE ASIGNADA.

   b) QUE CUMPLA CON:

   $$t_i \leq [\, t_{ciclo} - \Sigma t \text{ ASIGNADAS A ESA ESTACION} \,]$$

   SI NO SE CUMPLE CON CUALQUIERA DE LAS CONDICIONES SEÑALADAS, TOME EL SIGUIENTE P_W 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 = $t_{ciclo} - \Sigma t$ ASIGNADAS).

4. CUANDO NINGUNA DE LAS P_W NO ASIGNADAS SATISFACE LAS CONDICIONES MENCIONADAS, ABRA LA ESTACION 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	13	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	20
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

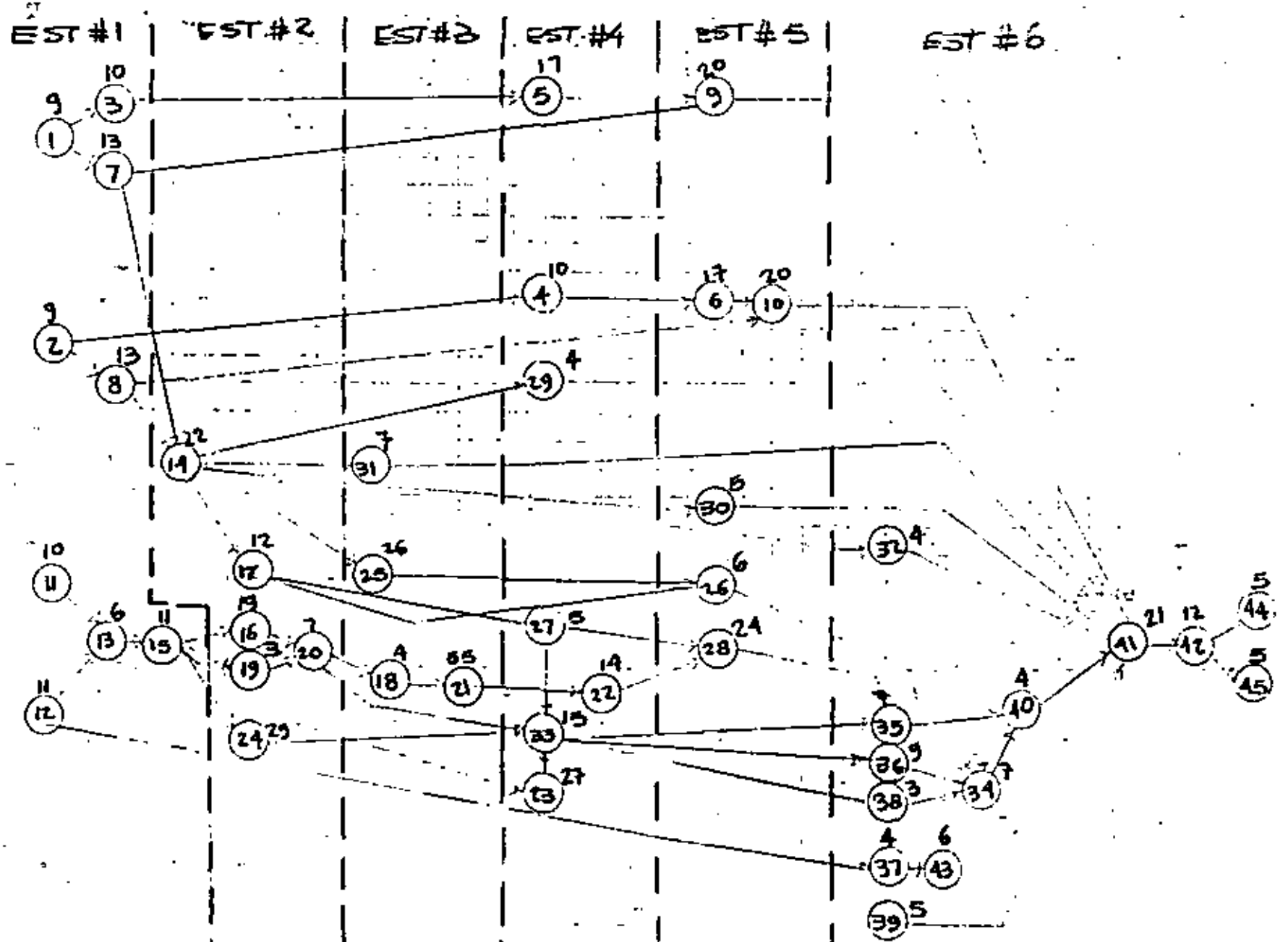
OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
27	5	87
23	27	60
22	14	46
4	10	36
33	15	21
5	17	4
29	4	—

ESTACION 5

OP	t_i	t_i RESTANTE
		92
6	17	75
28	24	61
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

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

CONTROL DE PROYECTOS POR CAMINO CRITICO

ING. ODON DE BUEN LOZANO

MARZO-ABRIL, 1 9 8 0

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

CONTROL 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.

Nosostros, 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 conduzacan 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 conduzaca 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 puede 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 desarrolle.

De acuerdo con el Dr. Russel L. Ackoff la planeación la podemos dividir en tres tipos fundamentales:

<u>La planeación resolutoria:</u> 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.

1. 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 éste 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 hagámos 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.

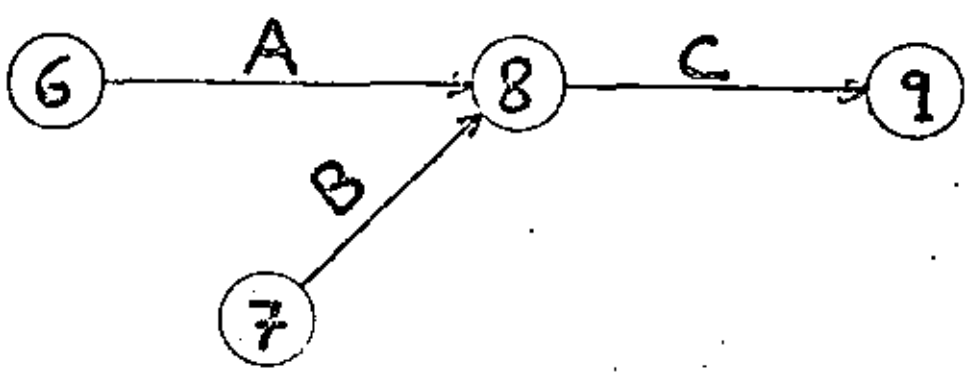
El Diagrama de Flechas es un modelo lógico del proyecto. En este diagrama cada flecha representa una diferente actividad. La longitud de cada flecha no tiene importancia, ni tampoco su dirección. La cola de la flecha representa el principio de la actividad y su punta el fin de la mis-

ma. Como se trata de un modelo lógico, la escala con que se dibuje el tamaño de la fecha no tiene importancia.

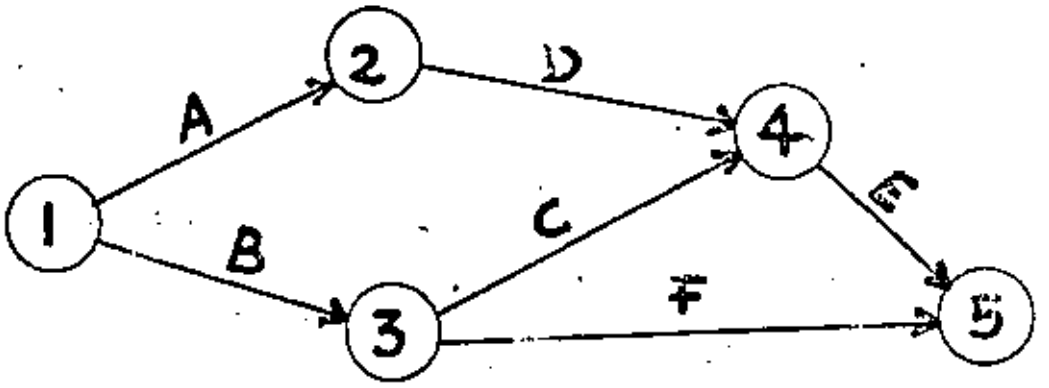
Para sacar provecho de los diagramas de flechas es necesario prepararlos siguiendo una serie de convenciones y reglas. Unos autores recomiendan unas, otros recomiendan otras y la práctica otras más, habiendo en conjunto muchas reglas comunes en las que todos están de acuerdo.

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.ª 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.



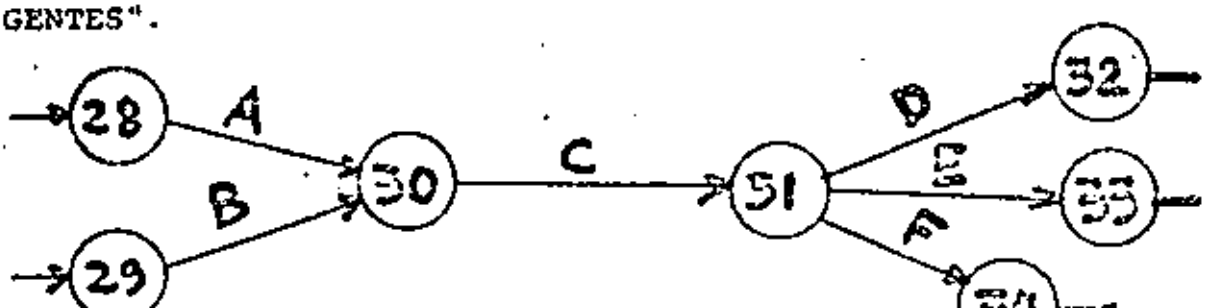
Regla 2. Se usa una flecha y sólamente una para representar cada actividad, no teniendo ninguna importancia ni significación la longitud, la forma y el sentido de cada fecha. La cola representa el comienzo de la actividad y la punta el final de la misma.



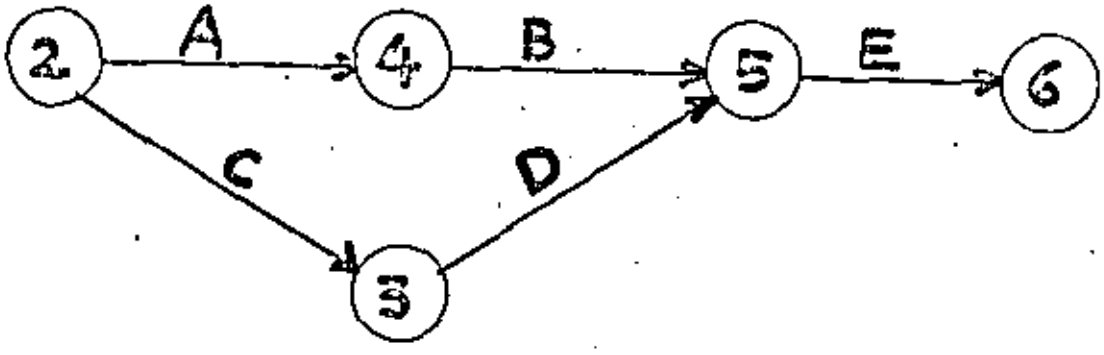
Rgala 3. Cada flecha o actividad queda denominada de acuerdo con el nodo que la antecede y que la precede y la descripción de la actividad se coloca sobre la flecha misma. En el diagrama anterior la actividad "A" se denomina (1-2).

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.

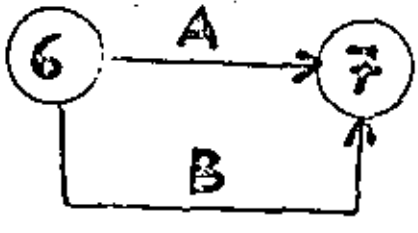
Regla 5. A los nodos en que concurren más de una actividad se les denomina "CONCURRENTES" y a aquellos de los que parten más de una actividad se les llama "DIVERGENTES".



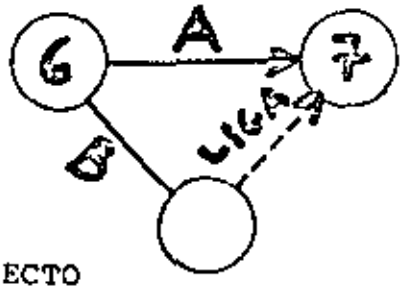
Regla 6. Antes de que una actividad pueda comenzarse deben haberse terminado todas las actividades que concurren al nodo donde dicha actividad comienza. Así, por ejmplo, en la figura siguiente la actividad (5-6) no puede ser comenzada mientras no se terminen las actividades (4-5) y (3-5).



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 si tienen utilidad para dar una secuencia lógica al diagrama de flechas.

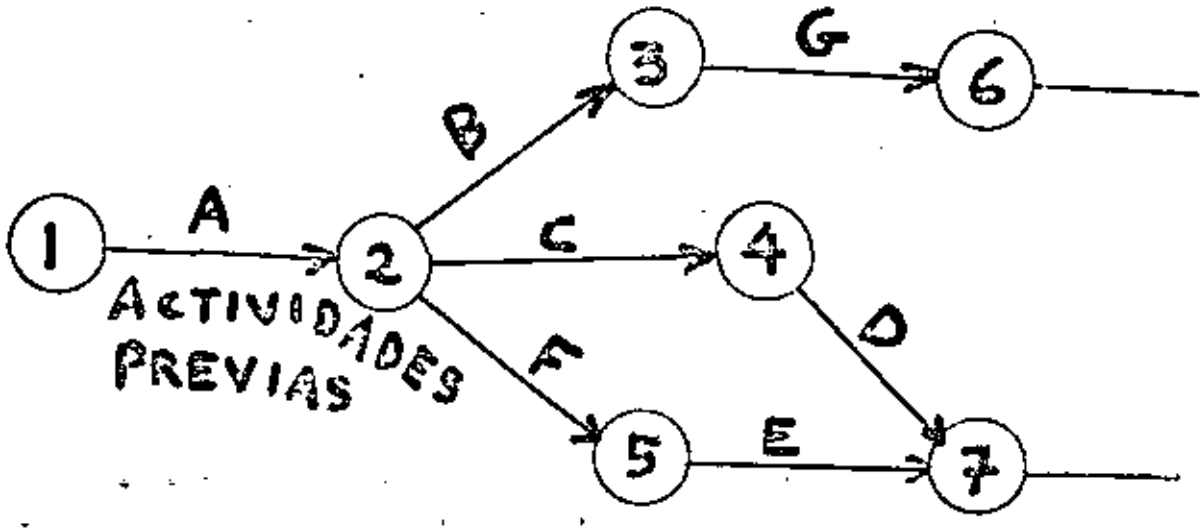


INCORRECTO



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:

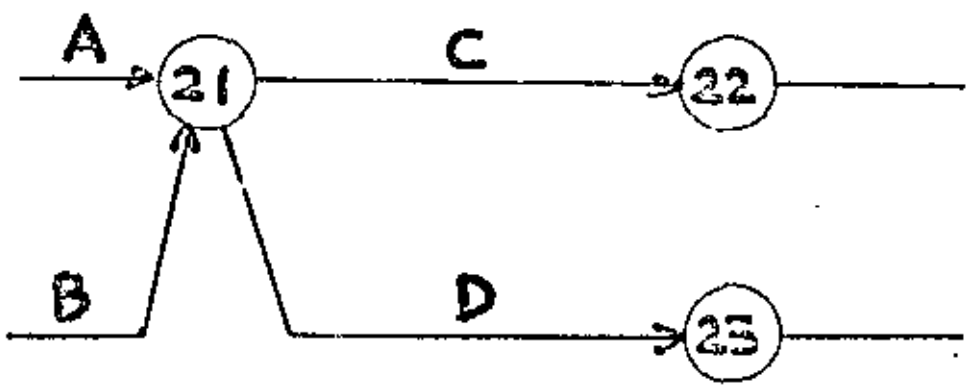
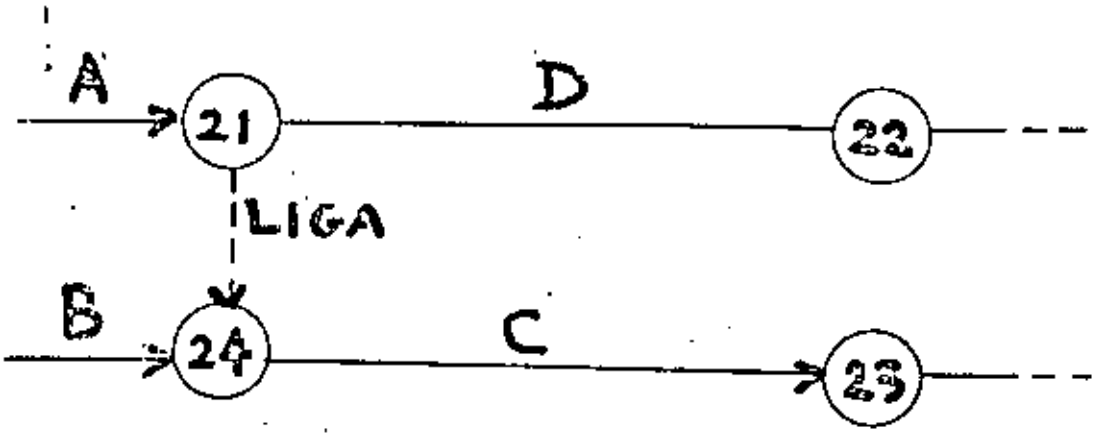


DIAGRAMA INCORRECTO

La forma correcta de dibujar el diagrama es diseñarlo tal como se indica a continuación, utilizando una flecha de liga, para dar la secuendia 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.

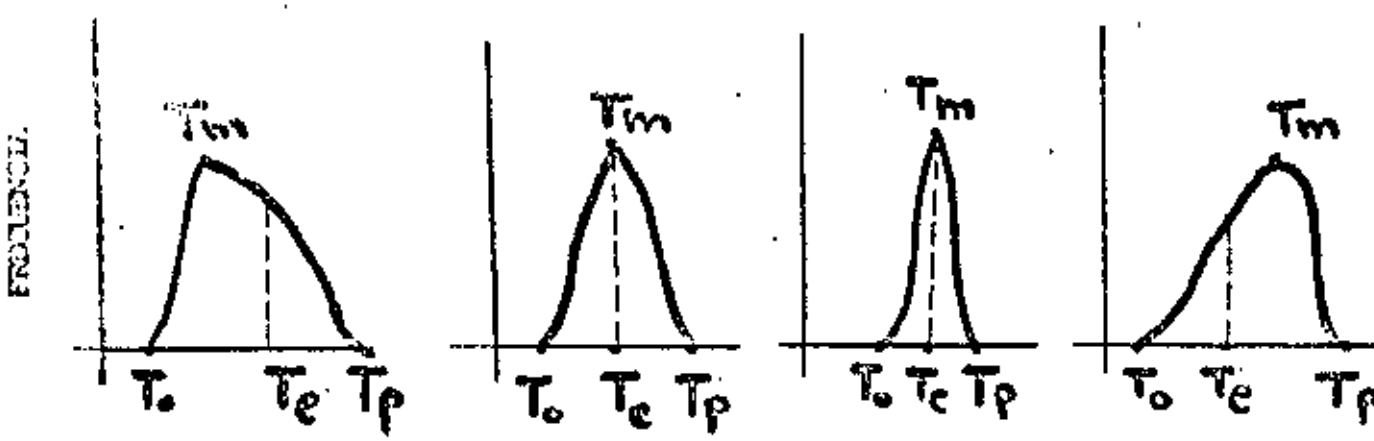
Cuando se hacen estimaciones de tiempo como las tres indicadas, se están estableciendo curvas de distribución de probabilidades como las que se indican en las figuras siguientes, donde:

T_o = al tiempo optimista.

T_m = al tiempo más probable.

T_p = al tiempo pesimista.

T_e = al 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 proceder 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 puede 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.

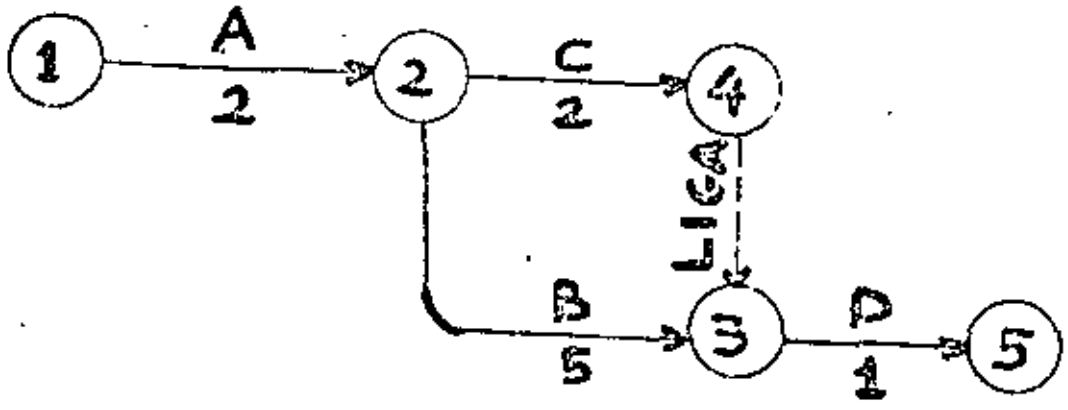
TML = Terminación más lejana de una actividad, o sea, la fecha más lejana en que puede terminar.

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 for

ma 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 precede.

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).-

$$CMPD = FMP_2 = 3.$$

$$TMPB = CMPB + t = 3 + 2 = 5$$

Nodo 3. $FMP_3 = TMPB = 5$

Actividad D, (3-5).-

$$CMPB = FMP_3 = 5$$

$$TMPD = CMPD + t = 5 + 1 = 6$$

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 puede 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.

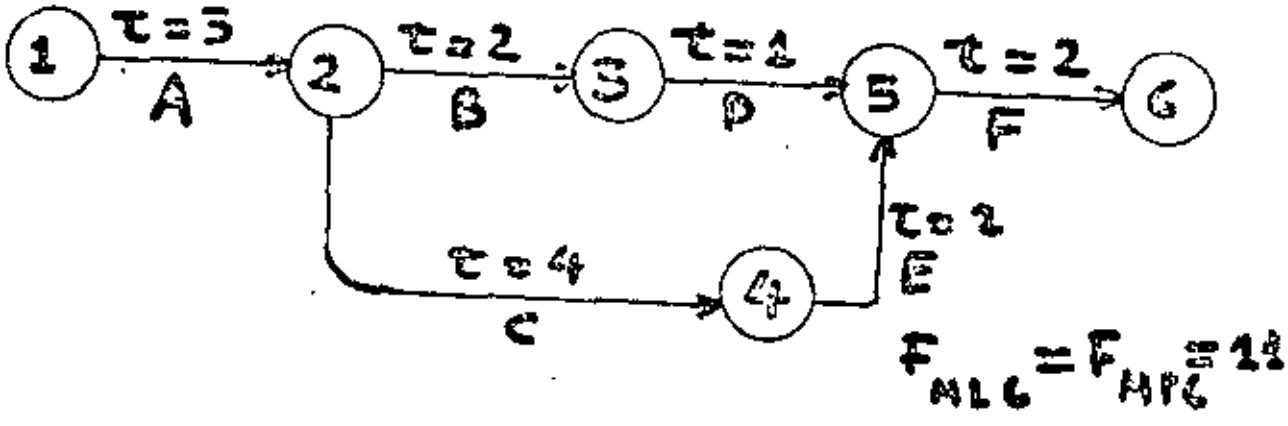
TML (De una actividad) = FML (Del evento posterior)

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:

<u>Para la actividad B (2-3).-</u>

$$MT = TMLB - TMPB = 8 - 5 = 3$$

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.

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 Concepr 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.

I N D I C E

centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION

EL MANEJO DE MATERIALES DENTRO DE LA EMPRESA

- Introducción
- Principios Generales
- Diferentes Alternativas en el manejo de materiales
- Análisis de costos y riesgos

ING. JOSE DI MATEO CAMEIDANO

MARZO-ABRIL, 1 9 8 0

MANEJO DE MATERIALES

En el sentido más amplio, el manejo de materiales puede definirse como - "la preparación, ubicación y posicionado de los materiales para facilitar sus - movimientos y almacenajes".

En los últimos años y en particular luego de la 2da. guerra, la Ing. de Manipuleo de Materiales ha tenido un gran desarrollo como consecuencia del análisis profundo de los costos asociados a movimientos y almacenajes realizados -- en las fuerzas armadas y en las grandes empresas. Fue así como se introdujeron gran cantidad de sistemas, equipos móviles, transportadores, sistemas de almacenaje, Etc., que naturalmente produjeron un gran impacto en la reducción de -- costos industriales.

Las técnicas de manipuleo de materiales tiene como objetivos :

1.-	Reducir Costos.	2.-	Reducir desperdicios
3.-	Aumentar capacidad productiva.	4.-	Mejorar condiciones de trabajo.

5.- Mejorar la distribución o Lay-out.

Las actividades de planeamiento de Mov. de Materiales deben realizarse en forma conjunta con el Plan de Lay Out debido a que el 2do. es un modelo estático y es el equipo de Movimiento de Materiales lo que lo hace dinámico.

Para tener una idea de la importancia de los costos de manipuleo podemos -- decir que globalmente llegan a ser del 30 al 35% del costo total de producción.

Se ha estimado también que sólo el 20% del tiempo en que los materiales están en una planta son procesados, siendo el 80% restante utilizado para movimientos o almacenaje.

Normalmente no será suficiente considerar el problema de manipuleo dentro de la fábrica o en Departamentos de Expedición. Es necesario enfocar el problema total en forma sistemática desde la fuente de Materia Prima hasta llegar al usuario. La tendencia moderna es aplicar el análisis de sistemas mediante la utilización de técnicas de Investigación de Operaciones. El análisis de sistemas parte de la idea que todas las actividades del Sistema Industrial están ligadas por relaciones causa-efecto que pueden describirse con expresiones matemáticas.

El problema de Mov. de Mat. a un costo mínimo de tiempo y esfuerzo no está restringido a la planta Industrial. Si bien el desarrollo más espectacular se ha producido en el sector industrial, hay también numerosas oportunidades de aplicación en otras actividades que no deben ser pasados por alto en el ejercicio de la Ingeniería Industrial.

EL PROBLEMA DEL MANIPULEO DE MATERIALES :

Genéricamente un problema de manipuleo incluirá los siguientes elementos:

1.- Movimiento : Materias Primas, partes, productos, Etc. deben trasladarse. El movimiento debe hacerse asegurando eficiencia y bajo costo.

... //

2.- Tiempo : Los materiales deben estar disponibles en las fechas planeadas.

3.- Lugar : Los materiales deben estar disponibles en los lugares adecuados.

4.- Cantidad En las diversas etapas del proceso productivo, las -- cantidades pueden variar mucho. Es responsabilidad del Mov. de Mat. de proveer cantidades apropiadas.

5.- Espacio Dado que los espacios cuestan dinero, la eficiencia - del aprovechamiento de los espacios estará relacionado con los sistemas de movimientos de materiales.

PRINCIPIOS GENERALES :

A medida que un tema se complica se hace más necesario disponer de -- principios rectores en la práctica diaria. Los principios de Mov. de Mat. representan el conocimiento acumulado a lo largo de años por quienes han practicado estas actividades tanto en la industria como en el comercio.

1.- Planeamiento Se deben planear las actividades de manipuleo y almacenaje de materiales a fin de obtener la máxima eficiencia operativa global.

2.- Sistemas : Integrar tantas actividades de manipuleo como fuera - posible en un sistema coordinado de operaciones que cubra proveedores, recepción, producción, inspección, embalaje, depósitos, expedición, transporte y servicio.

3.- Gravedad	Utilizar la fuerza de la gravedad siempre que sea posible.
4.- Espacios :	Aprovechar en forma óptima el espacio en tres dimensiones.
5.- Tamaño Unitario	Aumentar la cantidad, tamaño o peso de las cargas unitarias.
6.- Mecanización	Siempre que sea económicamente factible, se deberán mecanizar las operaciones de manipuleo.
7.- Normalización	Normalizar métodos de manipuleo así como también tamaños y tipos de equipos empleados.
8.- Adaptabilidad	Utilizar métodos y equipos que puedan realizar una variedad de tareas y aplicaciones, donde no se justifiquen equipos especiales.
9.- Peso propio	Reducir la proporción de peso propio del equipo de transporte con relación a la carga transportada.
10.- Utilización	Lograr la máxima Carga de Trabajo para equipos y la mano de obra.
11.- Mantenimiento	Planear el mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos de manipuleo.
12.- Control	Utilizar actividades de manipuleo de materiales para mejorar el control de la producción e inventarios.
13.- Seguridad	Proveer métodos y equipos adecuados para un manipuleo seguro.

14.- Capacidad Los equipos de manipuleo deben ayudar a lograr la producción deseada y aún cubrir los picos.

El campo del Mov. de Mat. es un amplio sector de la Ingeniería Industrial incluye los problemas relacionados con Disposic. de Equipos, Almacenaje, Selección de Equipos Mecánicos, Automatización, Estudio de Tiempos y Métodos de Movimientos, Reducción de Costos, Tráficos, Embalajes, Etc.

En muchos problemas de lay out el Mov. de Mat. llega a ser el factor determinante, por eso decíamos que deben analizarse en forma conjunta.

DESCRIPCION DE EQUIPOS DE MOV. DE MAT.

El "Material Handling Handbook" (The Ronald Press Co. New York) presenta más de 430 clases de equipos. Nosotros agruparemos los tipos de equipos en 8 categorias principales :

1.- TRANSPORTADORES CONTINUOS

2.- GRUAS, MALACATES Y ELEVADORES

3.- VEHICULOS INDUSTRIALES.

4.- VEHICULOS AUTOMOTORES

5.- VAGONES FERROVIARIOS.

6.- TRANSPORTES MARITIMOS.

7.- TRANSPORTE AEREO.

8.- CAJAS DE TRANSPORTE Y EQUIPOS AUXILIARES.

Esta clasificación incluye todos los equipos de uso universal. Nosotros veremos los tipos más difundidos en el transporte industrial interno y que -

son : 1, 2, 3 y 8.

1.- TRANSPORTADORES CONTINUOS .- Genéricamente un transportador contínuo se define como "un dispositivo horizontal, inclinado o vertical, concebido y construído para transportar materiales a granel, paquetes u objetos según una trayectoria determinada por el diseño del dispositivo y que tiene punto de carga fijos o selectivos.

Generalmente son fijos, si bien hay algunos móviles.

Los transportadores contínuos pueden considerarse como el símbolo de la producción en masa, ya que proveen materiales en forma sincronizada que es la esencia de una producción organizada. Se los hace para transportar casi todo tipo de productos desde gramos hasta toneladas. Además es de hacerse notar que aprovechan convenientemente en algunos casos el espacio cúbico.

Los transportadores contínuos se pueden dividir en dos grandes grupos :

a). De paquetes individuales (cargas discretas).
   1. Transportadores de Trolleys
   2. Transport. de cintas o cadenas (mov. horizontal o inclinado).
   3. Transport. de Gravedad.

b). De material a granel (cargas contínuas).

1.- Tipo Trolley : Consiste en una serie de trolleys que se desplazan sobre un riel colocado a cierta distancia del suelo, y conec

tados unos a otros por medio de una propulsión sin fin como son : cadenas, cables, Etc. La carga se suspende de los trolleys mediante ganchos, bandejas o dispositivos especiales.

Se usan cuando se mueven cargas individuales con mucha frecuencia, siendo su aplicación más definida en los siguientes casos :

1.- Transporte entre varios puntos con selección automática del punto de descarga.

2.- Operaciones con baños electrolíticos, pinturas, Etc. en producción masiva.

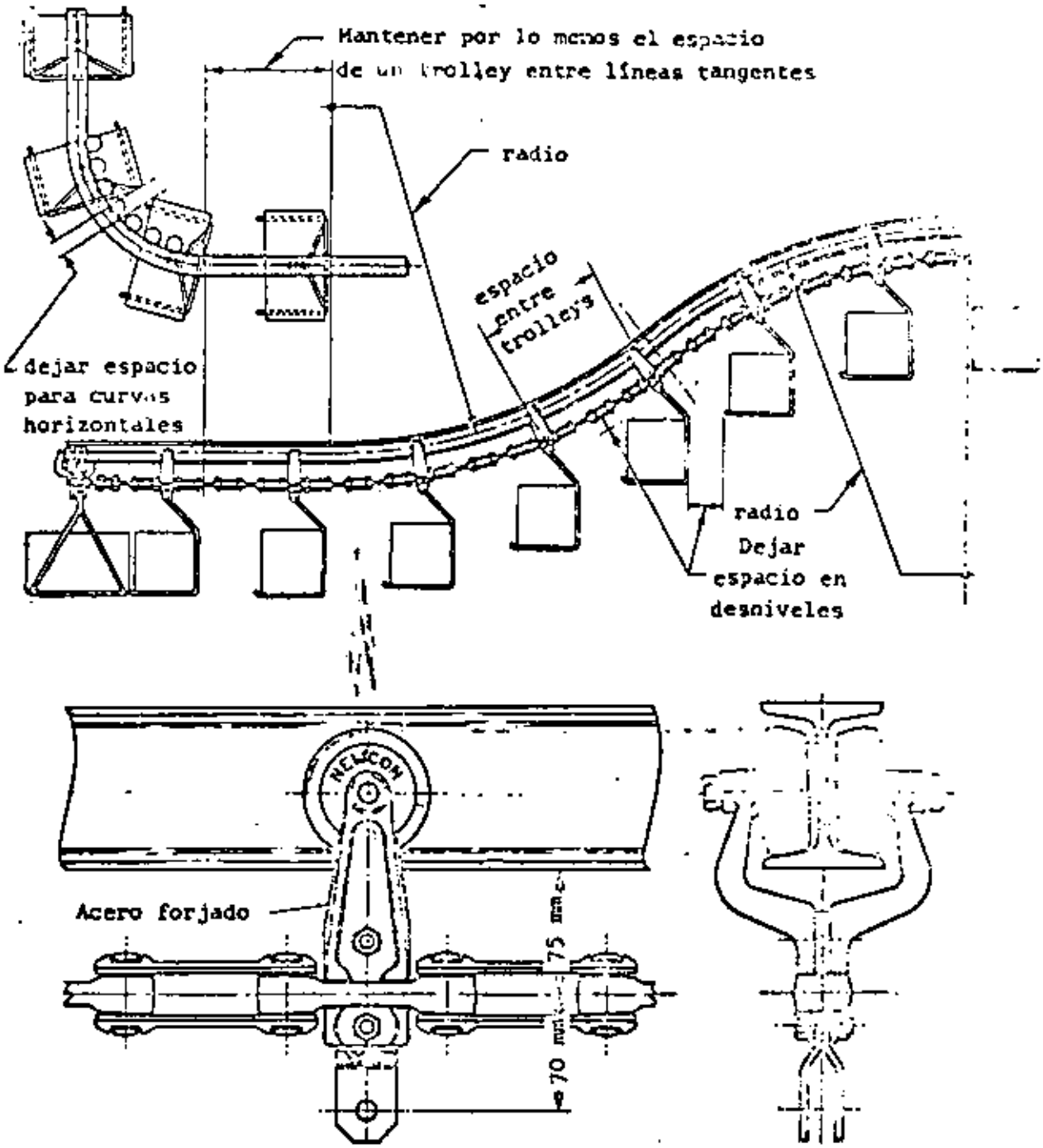
3.- Armado del producto sobre el transportador.
(Pueden o no usar el principio de potencia y libre (Power and free).

La carga se lleva en trolleys individuales en un riel inferior mientras que en uno superior se construye el accionamiento de modo que la tracción puede ser desconectada en cualquier momento.

4.- Almacenamiento de materiales en proceso en líneas de producción lo cual ahorra espacio en departamentos de Producción.

En las figuras puede verse una vista general de un transportador de trolley y un detalle del trolley.

... //



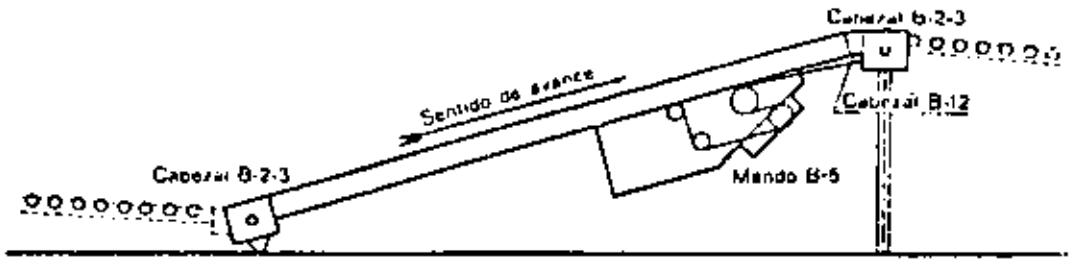
2.- <u>CINTAS TRANSPORTADORAS</u> : Este grupo comprende los equipos utilizados para mover cargas discretas como son : paquetes u objetos sobre una cinta generalmente de superficie plana y a lo largo de una trayectoria horizontal o inclinada. No incluye los equipos para transportes a granel, que en parte se construyen según los mismos lineamientos.

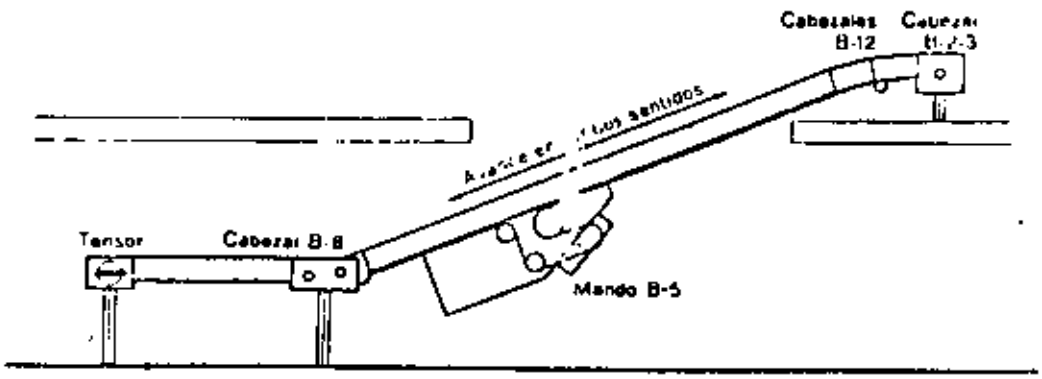
En principio se trata de un movimiento bidimensional.

La superficie de acarreo es accionada por fricción mediante una polea motriz apoyada en rodillos. Son de uso muy general debido a su baja inversión y poco costo operativo. La única limitación la constituye el hecho de que el material no debe dañar a la cinta. Las cintas se construyen de tela, hule, plástico, piel, metálicas, Etc. En todos los casos es necesario incluir un dispositivo tensor pues el estiramiento de la cinta es del orden del 0.5 al 1.5%.

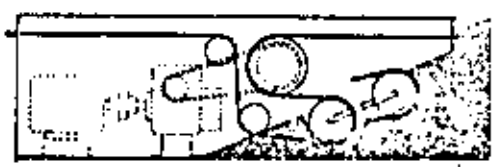
Para el caso de cintas inclinadas hasta 10 grados no hay problemas; se puede llevar hasta 35° mediante el agregado de barras transversales o dispositivos especiales, ello depende también del centro de gravedad de la carga.

En cuanto a velocidades, el rango es muy grande pudiendo ir desde 15 cms/min. hasta varios mts/minuto.

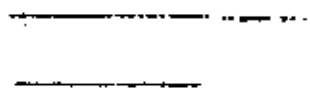




Cintas transportadoras

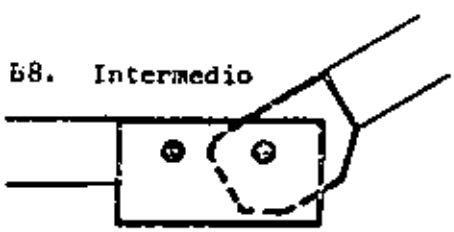


B5. Mando intermedio

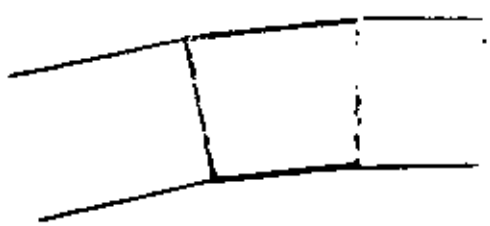


B2-3 B2-7.

Cabezal extremo cinta



B8. Intermedio



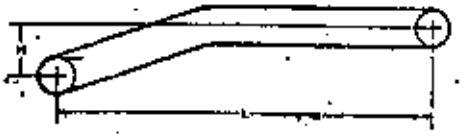
B12. Segmento angular inter. .o

Detalles de cintas transportadoras

Cálculo de potencia requerida para una cinta transportadora de bultos *

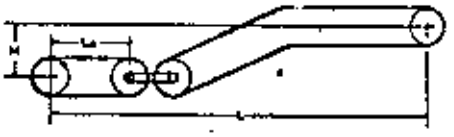
Se aplican las siguientes fórmulas de potencia requerida en la polea de mando (Forrada con capa de goma) para los casos básicos de mando en cabezal de extremo de cinta, sin aditamentos especiales.

CASO I



$$N = \frac{(q+q_c).L.V}{1400} + \frac{q_c.H.V}{70}$$

CASO II



$$N = \left[1 + 0{,}12 \cdot \frac{L_A}{L}\right] \cdot \frac{(q+q_c).L.V}{1400} + \frac{q_c.H.V}{70}$$

Para otros casos la fórmula básica se transforma de acuerdo al siguiente cuadro:

ADITAMENTO	MANDO	POLEA DE MANDO	FORRADO
—	En cabezal B-2	sin forrar	1,5
Tensor intermedio	En cabezal B-2	forrada	1,07
		sin forrar	1,15
—	Intermedio B-5	forrada	1,20
		sin forrar	1,33

La potencia requerida en el motor será:

$N_m = \frac{N_t}{\eta}$ siendo η el rendimiento de la transmisión

NOMENCLATURA

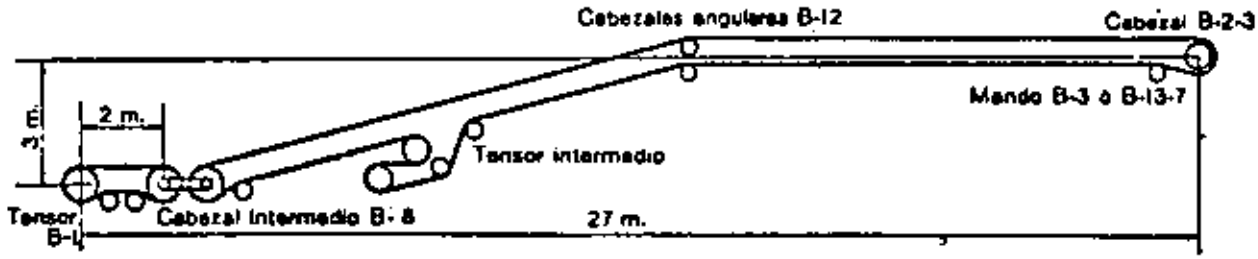
- **Cb:** Capacidad de transporte en bultos/hora.
- **d:** Distancia promedio libre entre bultos en m.
- **Fmax:** Fuerza de tracción máxima en kg.
- **H:** Altura total de elevación en m.
- **L:** Proyección horizontal en m. de la distancia total de transporte.
- **LA:** Proyección horizontal en m. de la distancia de transporte anterior al cabezal intermedio B-8
- **l:** Longitud del bulto en m.
- **N:** Potencia básica en C.V.
- **Nt:** Potencia total de tracción con aditamentos en C.V.
- **Nm:** Potencia de motor necesaria en C.V.
- **p:** Paso entre rodillos en mm.
- **q:** Peso de las partes móviles del transportador en Kg/m. (Tabla I)
- **qb:** Peso del bulto en Kg.
- **qc:** Peso máximo de bultos en Kg/m. (Distancia entre bultos nula).
- **V:** Velocidad de transporte en m/seg.

Figura 11.

Cinta transportadora.

Ejemplo de cálculo*

Con los elementos normalizados indicados se instala una cinta como la de la figura que debe transportar 1200 paquetes por hora, cada uno de un peso de 40 Kg., largo 0,60 m. y ancho 0,45 m.



Estimando una velocidad de 0,3 m/seg. nos da una distancia promedio libre entre paquetes de:

$$d = 3600 \cdot \frac{V}{C_b} - l = 3600 \cdot \frac{0,3}{1200} - 0,6 = 0,3 \text{ m}$$

perfectamente compatible con el transporte.

Elegimos la primer correa de ancho mayor o igual al ancho del paquete. Ancho de correa = 20" = 510 mm. y el paso p. de los rodillos de acuerdo a la fórmula:

$$p = 500 \cdot l - 25 \qquad p = 500 \cdot 0,6 - 25 = 275 \text{ mm}$$

Adoptamos el primer paso Standard inferior o igual al anterior, es p = 200 mm, que nos dá un peso

$$q = 14,1 \text{ Kg/m.}$$

La carga máxima de bultos por metro será

$$q_c = \frac{q_b}{l} = \frac{40}{0,6} = 66,6 \text{ Kg/m.}$$

y la potencia (para caso II):

$$N = \left(1 + 0,12 \frac{L_A}{L}\right) \cdot \frac{(q + q_c) \cdot L \cdot V}{1400} + \frac{q_c \cdot H \cdot V}{70}$$

$$N = \left(1 + 0,12 \cdot \frac{2}{27}\right) \cdot \frac{80,7 \cdot 27 \cdot 0,3}{1400} + \frac{66,6 \cdot 3 \cdot 0,3}{70}$$

$$N = 1,01 \cdot 0,47 + 0,86 = 1,33 \text{ C.V.}$$

Si usamos polea forrada de goma por el tensor intermedio debemos aplicar:

$$N_t = 1,07 \cdot N = 1,07 \cdot 1,33 = 1,42 \text{ C.V.}$$

La fuerza de tracción sobre la correa será:

$$F = \frac{75 \cdot N_t}{V} = \frac{75 \cdot 1,42}{0,3} = 355 \text{ Kg.}$$

TRANSPORTADORES DE GRAVEDAD : Como su nombre lo indica se usa la gravedad como fuerza propulsora. Sirven únicamente para cargas discretas. Tienen el inconveniente que debido a que no puede controlarse muy bien la velocidad, en general no sirven para cargas frágiles.

El grupo puede funcionalmente dividirse en transportadores de rodillos, de ruedas (de patín) y toboganes. El grupo incluye también a los transportadores horizontales que se utilizan en general para operaciones de armado en el caso de productos voluminosos que pueden desplazarse de un puesto de trabajo al otro, empujándolos.

El largo de una instalación de rodillos y gravedad, está limitada únicamente por la pérdida de altura debido a la inclinación. Para instalar una línea larga, si no hay altura suficiente, se utilizan elevadores mecánicos colocados en puntos intermedios los que suben el bulto a cierto nivel posibilitando de tal manera la continuación del transporte por gravedad.

Estos transportadores permiten almacenar mercaderías a lo largo de su desarrollo, de modo tal, que a medida que se retiran los bultos de la parte inferior los demas descienden automáticamente. En las figuras se describen los principales tipos y sus características.

TRANSPORTADORES A GRANEL. Son los equipos concebidos y construídos para el manipuleo continuo de grandes cantidades de material a granel, que incluye gases, líquidos y sólidos.

Los gases y líquidos no plantean problemas dado que se transportan por conductos con o sin bombas o compresoras, o en barriles, tambores, botellas Etc. En este último caso pueden ser considerados como cargas discretas. Por lo tanto al mencionar los transportadores continuos o a granel debe entenderse que se trata de materiales sólidos.

Dada la gran cantidad de equipos en este aspecto funcional, su elección está determinada generalmente por los siguientes factores :

1a).	Estado Físico de los materiales.	Tamaño de la partícula. Peso. Temperatura Fragilidad Resistencia a la abrasión Resistencia a la corrosión. Etc.	
		Transporte entre plantas.	Carbón Piedra Cal
2do).	Uso a que se destina :	Formación de mezclas. Recepción y descarga Carga a paquetes individuales. Carga de máquinas u hornos.	

En este grupo debe mencionarse también el transporte neumático de elementos sólidos como es el caso del algodón.

ROLLETES DE GRAVEDAD

INDICACIONES PARA SU ELECCION:

1º Los bultos deben tener una superficie rígida y lisa para el trasporte. Los que se deforman acomodándose en los espacios entre rolletes, deben llevarse sobre bandejas. Los bultos con travesaños deben trasportarse en forma que estos no se traben con los rolletes.

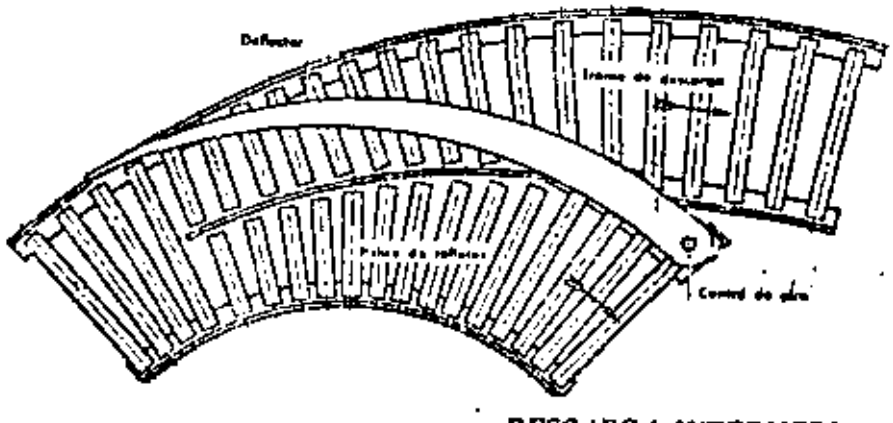
2º El paso de los rolletes elíjase de la Tabla I, entrando en ella con el largo del bulto más corto. En caso de resultar esta medida entre dos valores, adóptese el que corresponde con un paso menor.

3º El largo del rollete determínese, sumando 50 mm. al ancho del bulto. Dimensión A ó A_1 de los dibujos de la pág. 27

4º El diámetro del rollete, longitud de los tramos y perfiles del bastidor, se indican en la Tabla I, en base al peso y largo del bulto. Los largos normales de fabricación de los tramos de rollete son 2.400 ó 3.000 mm.

5º El largo de una instalación de rolletes está limitado únicamente por la pérdida de altura debida a la inclinación. Para instalar una línea larga, si no hay altura suficiente, utilizamos elevadores mecánicos colocados en puntos intermedios, los que suben el bulto a cierto nivel, posibilitando así la continuación del trasporte por gravedad.

6º La inclinación de una línea de rolletes depende de las características de la superficie del bulto y su peso. La Tabla II, indica aproximadamente los valores usuales de la misma.



DESCARGA INTERMEDIA

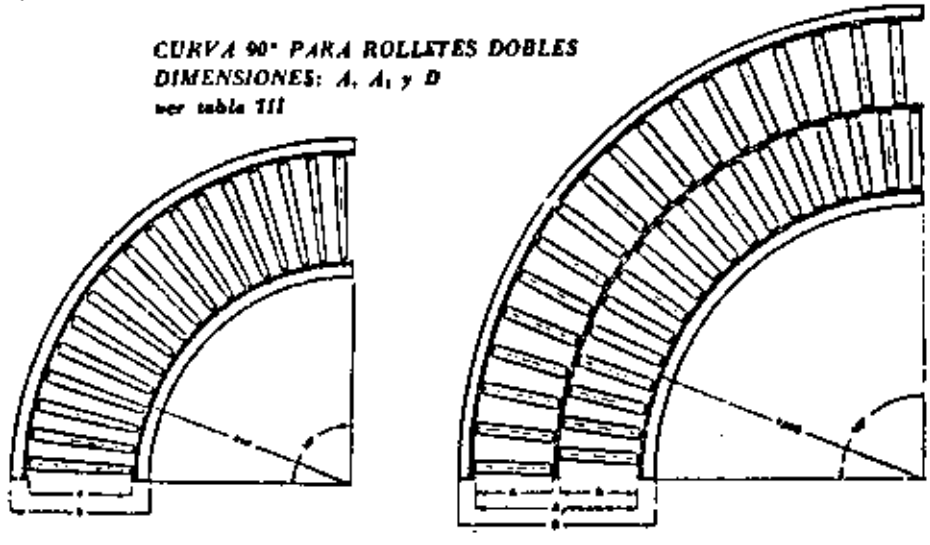
CURVAS

Para cambiar la dirección de trasporte de las mercaderías, en una línea de rolletes de gravedad se usan curvas de fabricación normal cuyo desarrollo angular es de 30°, 45°, 60° ó 90°.

CURVAS CON ROLLETES SIMPLES:

Se utilizan para bultos de hasta 550 mm. de ancho. En ellas se emplean solamente rolletes cónicos, dispuestos en forma adecuada para obtener una marcha suave del bulto en la curva. El bastidor tiene el mismo ancho que en los tramos rectos y el radio interior de estas curvas es de 850 mm. La construcción es plana, es decir que los puntos de entrada y salida están al mismo nivel.

CURVA 90° PARA ROLLETES DOBLES
DIMENSIONES: A, A_1 y D
ver tabla III



CURVA 90° PARA ROLLETES SIMPLES
DIMENSIONES: "A" y "D"
ver tabla III

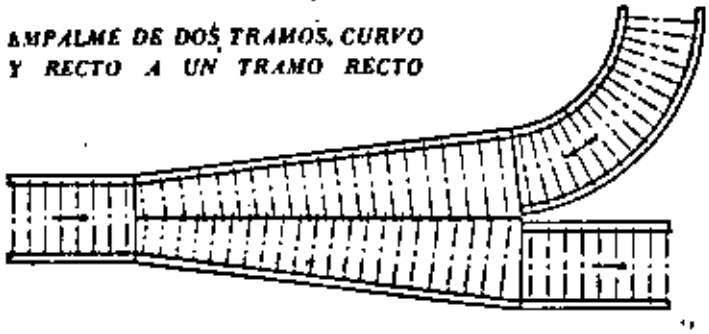
CURVAS CON ROLLETES DOBLES:

Para bultos de 600 mm. o más, las construimos como ilustra la figura con dos hileras de rolletes, dispuestos en forma alternada y dirección radial. Con esta disposición se consigue mayor velocidad en la hilera externa de rolletes, facilitando esto el desvío del bulto.

El radio interior de estas curvas es de 1.200 mm. y el bastidor se adapta al de los tramos rectos. La construcción es plana, es decir, que los puntos de entrada y salida están al mismo nivel.

EMPALMES

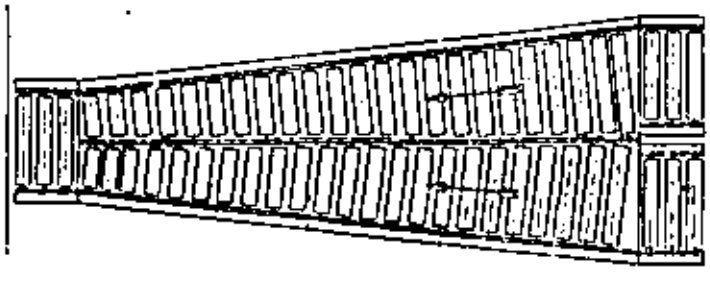
EMPALME DE DOS TRAMOS, CURVO Y RECTO A UN TRAMO RECTO



Utilizados principalmente para enviar los bultos desde ramales a una línea general. En los empalmes, cuando los ramales no trabajen alternativamente, debe colocarse un hombre para evitar atascamientos.

En las ilustraciones se indica con flechas la dirección de trasporte.

EMPALME DE DOS TRAMOS RECTOS



EMPALME DE UN RAMAL CURVO A UN TRAMO RECTO

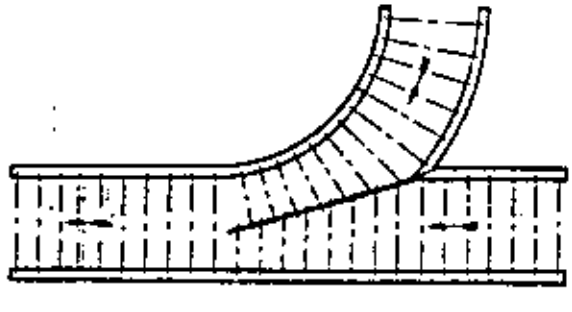


TABLA I

Largo del bulto	175	250	325	400	475	550	625	700	775	850	925	[illegible]
Paso de los rolletes	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	[illegible]
Peso del bulto en Kg. 10	Requieren construcción especial											[illegible]
15												[illegible]
20												[illegible]
30												[illegible]
40												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
Largo de los tramos	Para tramos con largo inferior a 2400 mm.					Para tramos de 2400 mm. de largo			Para tramos de 3000 mm. de largo			

TABLA II

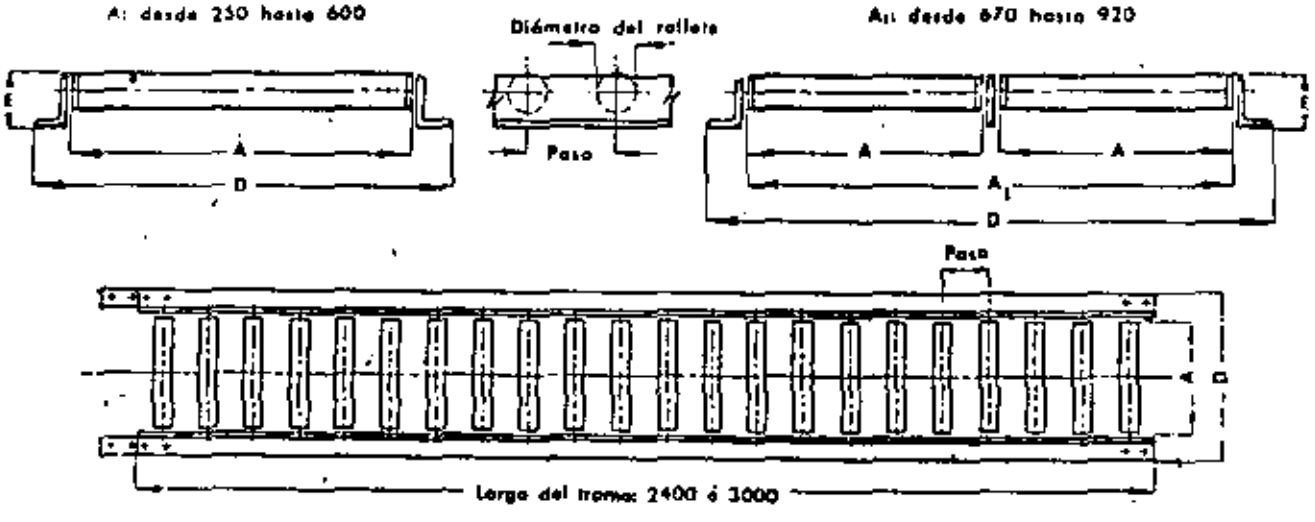
VALORES APROXIMADOS DE LA INCLINACION			
TIPO DE BULTO	OBSERV.	INCLINACION %	INCLINACION Grados y minutos
Cajones de madera o metálicos	10 a 25 kg.	4	2° 20'
" " " " "	25 a 75 kg.	3½	2° 0'
" " " " "	75 a 100 kg.	3	1° 45'
Cajas de cartón	1 a 3 kg.	7	4° 0'
" " "	3 a 7 kg.	6	3° 25'
" " "	7 a 25 kg.	5	2° 50'
Esqueletos	—	5	2° 50'
Tarros de leche	llenos	5½	3° 10'
" " "	vacíos	6	3° 25'
Tambores	—	2¼	1° 15'

TABLA III

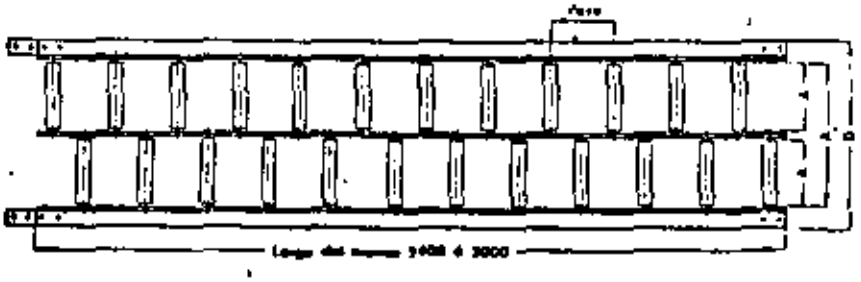
Largo del rollete A			250	300	325	350	375	400	425	450	500	550	600
D	Bastidor de:	L50x40x5	342	392	417	442	467	492	517	542	592	642	692
		L65x50x6 L75x50x7	362	412	437	462	487	512	537	562	612	662	712

Largo total rolletes A_1			670	720	770	820	870	920	1020	1170	1220
Largo de un rollete A			325	350	375	400	425	450	500	550	600
D	Bastidor de:	L50x40x5	760	810	860	910	960	1010	1110	1260	1310
		L65x50x6 L75x50x7	780	830	880	930	980	1030	1130	1280	1330

DIMENSIONES DE LOS TRAMOS DE ROLLETES DE GRAVEDAD



Diámetro del rollete	25	50	70
E	54	75	85

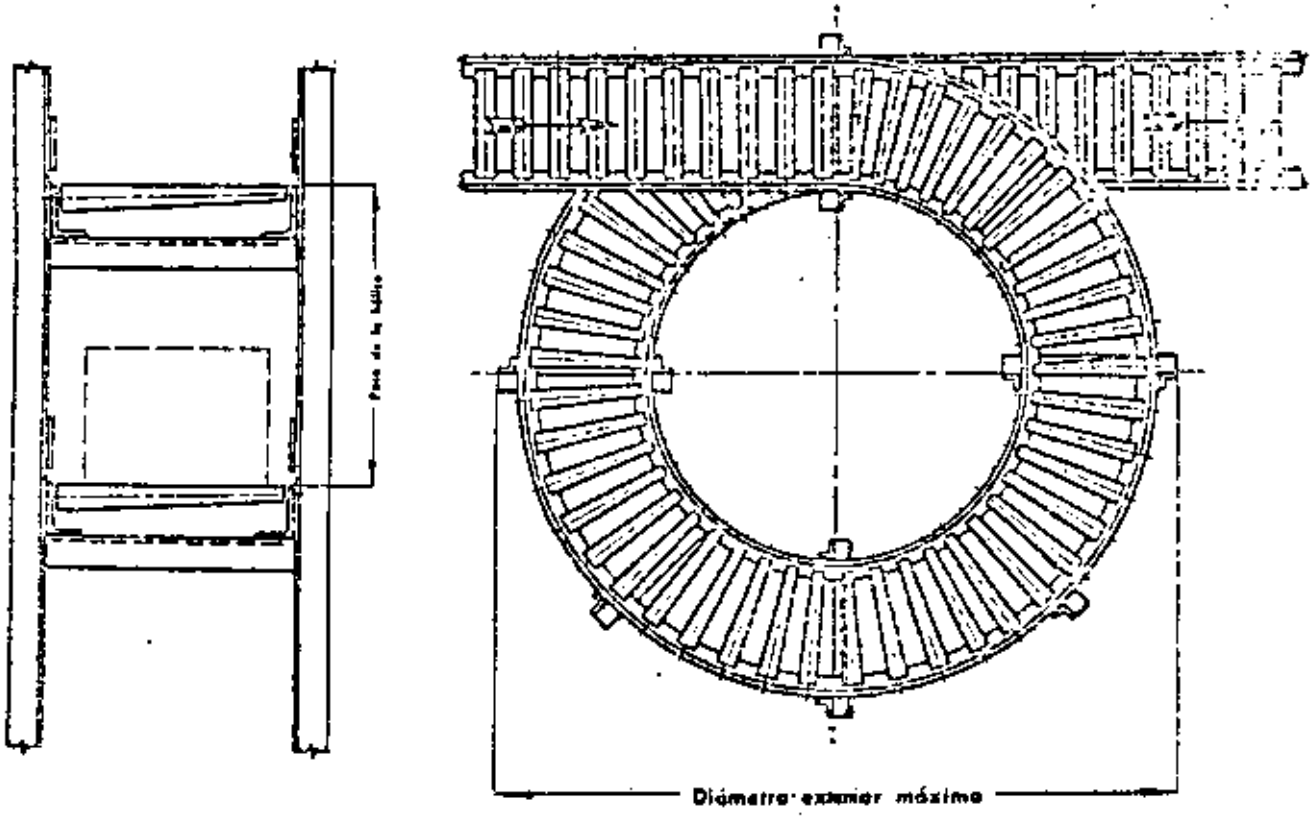


HELICES DE ROLLETES DE GRAVEDAD

Construidas con curvas de rolletes de gravedad de 90° ó 45° de desarrollo, formando una hélice soportada convenientemente por un bastidor de acero. Los rolletes pueden ser cilíndricos o cónicos siendo los primeros según el ancho del transportador, simples o dobles. El diámetro exterior de la hélice y su paso así como el tipo de rollete, dependen del peso y dimensiones de los bultos.

Permiten almacenar mercaderías a lo largo de su desarrollo, de modo tal que, a medida que se retiran los bultos de la parte inferior los demás descienden automáticamente. Los bultos pueden cargarse en la hélice mediante tramos de rolletes de gravedad, y su descarga realizarse de igual manera. Para la carga o descarga en pisos intermedios es factible intercalar desvíos.

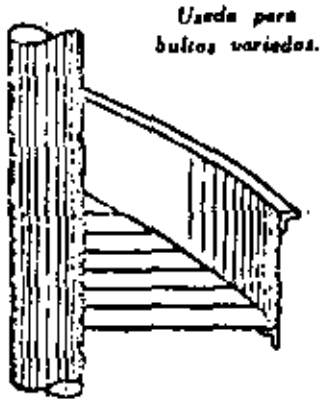
Las aberturas en los pisos normalmente son circulares, pero si no es factible practicar una abertura muy amplia, puede atravesarse el piso mediante una canaleta recta que empalme las hélices del piso superior e inferior.



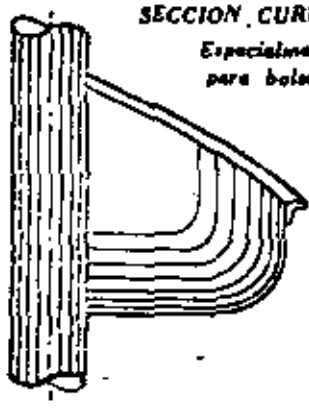
CANALETAS METALICAS HELICOIDALES

SECCIONES DE CANALETA

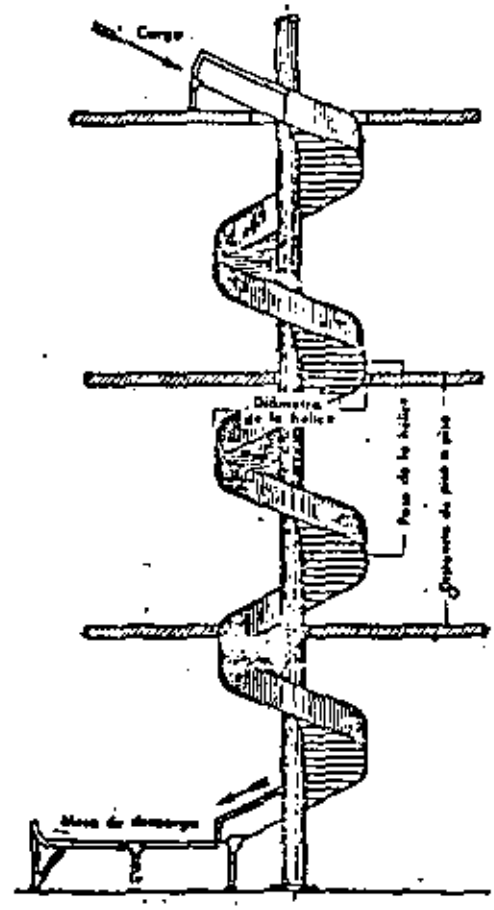
SECCION PLANA
Usada para bultos variados.



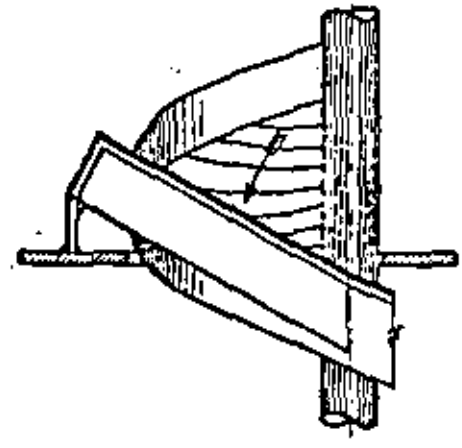
SECCION CURVA
Especialmente para bolsas.



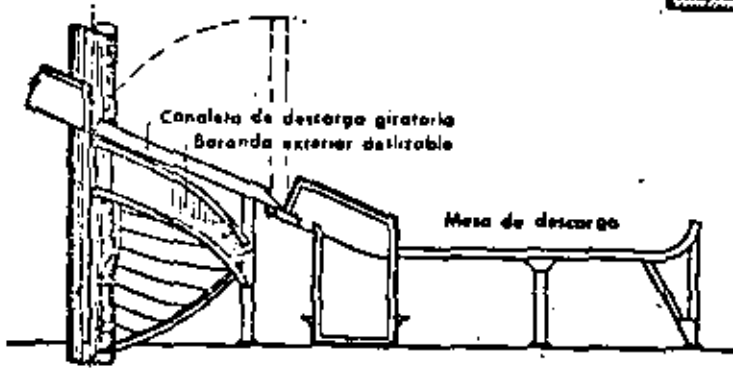
VISTA DE UNA CANALETA



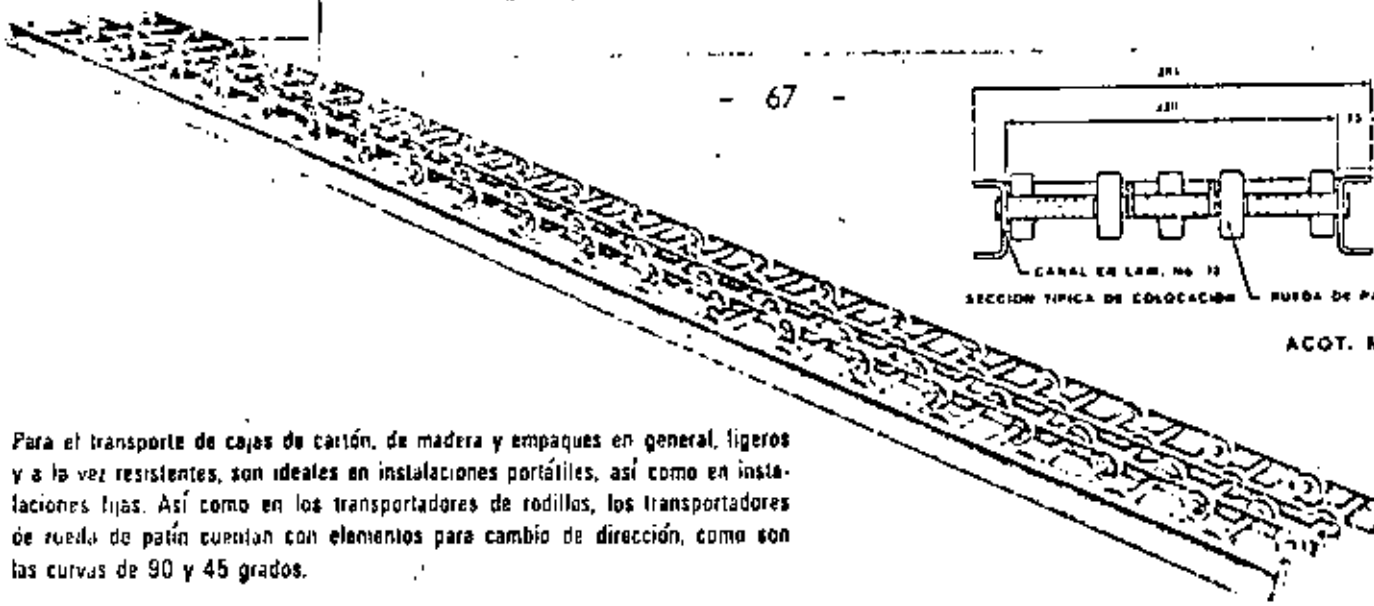
CARGA INTERMEDIA

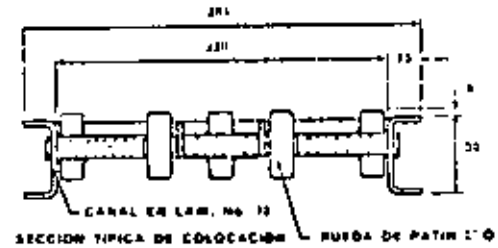


DESCARGA INTERMEDIA



TRANSPORTADORES DE RUEDAS DE PATIN



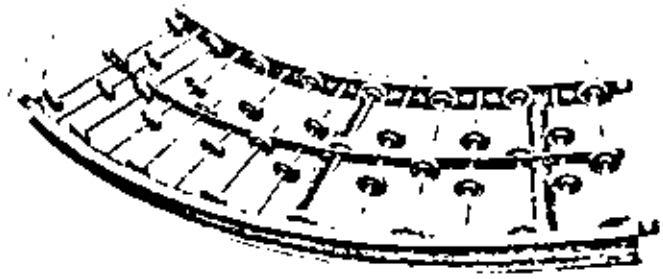


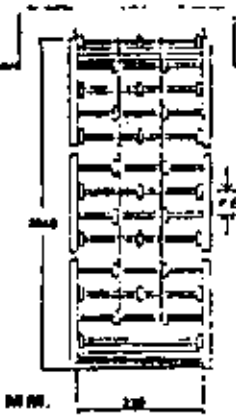
Para el transporte de cajas de cartón, de madera y empaques en general, ligeros y a la vez resistentes, son ideales en instalaciones portátiles, así como en instalaciones fijas. Así como en los transportadores de rodillos, los transportadores de rueda de patín cuentan con elementos para cambio de dirección, como son las curvas de 90 y 45 grados.

Espes. de lám. doblada:	Long del tramo:	Ancho total:	Ruedas por tramo:	Distancia entre ejes:	Peso total:
Calibre 12.	3.05 m (10').	38 cms (15").	100	7.6 cms.	31 kg.

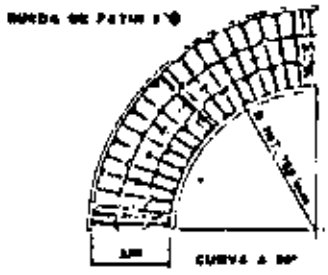
NOTA:—Los transportadores de ruedas de patín se surten también en otras dimensiones y capacidades.

CURVAS DE TRANSPORTADOR DE RUEDAS DE PATIN





DISTRIBUCION TIPICA EN T. RECTO ATR.



ACOT. MM

Para los cambios de dirección en las líneas de transportadores, contamos con curvas de 45 y de 90 grados, con las siguientes dimensiones:

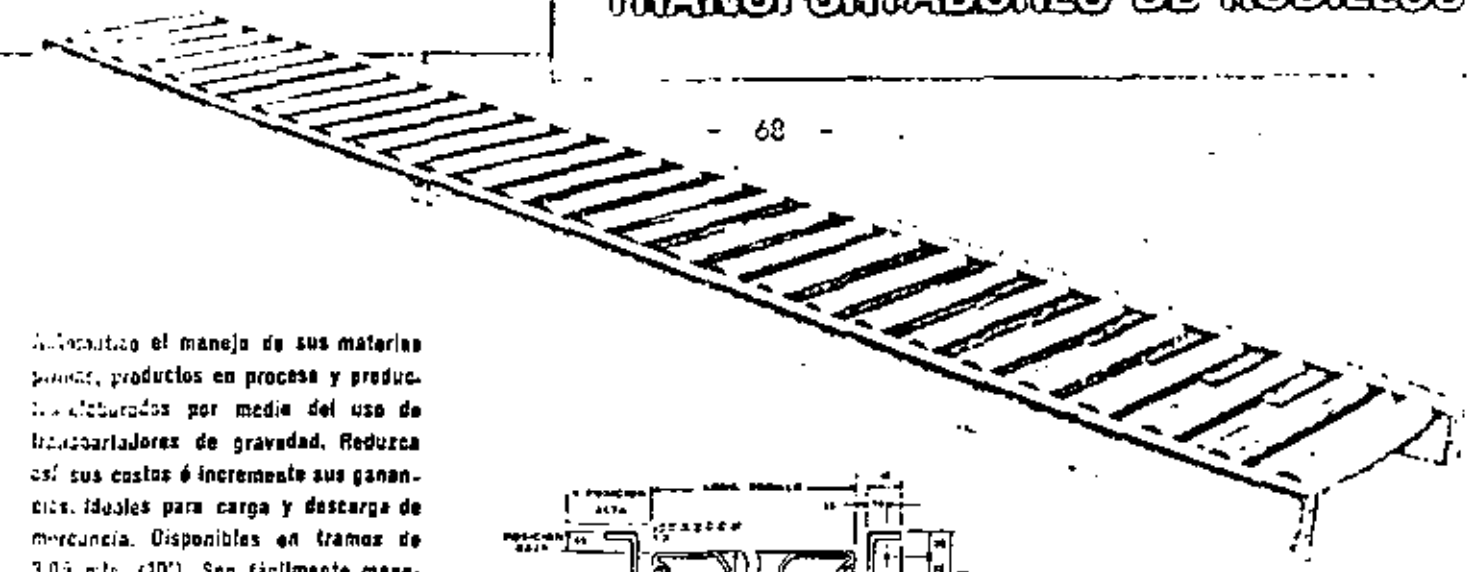
Modelo:	Ruedas por tramo:	Radio interior:	Peso total del tramo:
90°	50	762 mm.	16 kg
45°	25	762 mm.	11 "

Para la instalacion de estos transportadores, tambien se usan los tripies y los apoyos similares a los que se usan en los transportadores de rodillos.

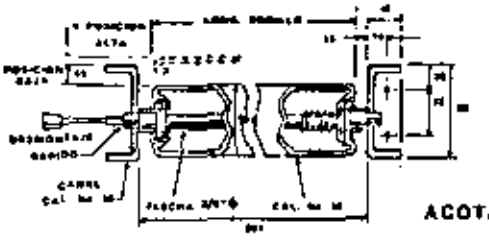
RODACARGA S.A. de C.V.
CALLE 45 NORTE 1074 COL. INDUSTRIAL VALLEJO • MEXICO 16, D. F.
TEL. 5-87-33-11 • APARTADO 13 BIS

SUCURSAL MONTERREY: AV. CONSTITUCION 733 OTE. • TEL. 43-09-83
SUCURSAL GUADALAJARA: CALZADA GONZALEZ GALLO 2501 • TEL. 17-16-90
SUCURSAL LEON: BLVD. A. LOPEZ MATEOS 802 OTE. • TEL. 3-75-50

TRANSPORTADORES DE RODILLOS



Automatice el manejo de sus materias primas, productos en proceso y productos elaborados por medio del uso de transportadores de gravedad. Reduzca así sus costos é incremente sus ganancias. Ideales para carga y descarga de mercancía. Disponibles en tramos de 3.05 mts. (10'). Son fácilmente manejables y desmontables; no ocupan espacio vital. Estos transportadores de rodillos se utilizan con eficacia para el manejo de carga pesada. Sumamente resistentes, son recomendables para instalaciones fijas y en algunos casos también para instalaciones portátiles. Para el transporte de tambores, barriles y barricas, cajas de cartón, etc. y muy especialmente en la industria embotelladora.



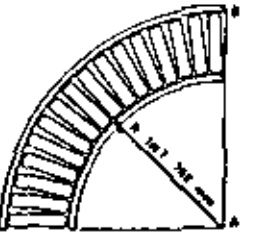
ACOT. MM.

Larg. de lám. doblada:	Long. del tramo:	Ancho total:	Ancho entre Larg.:	Long. útil del rodillo:	Rodillos emb. por tramo:	Distancia entre ejes:	Peso total del tramo:
Calibre 10.	3.05 (10')	44 cms (17½")	38 cms. (15")	36.5 cms. (14⅜")	30	10 cms. (4")	55 kg.

NOTA:—Los transportadores de rodillos se fabrican también en otras dimensiones, capacidades y diámetro de rodillo.

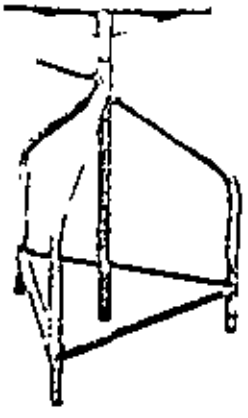
CURVAS DE TRANSPORTADOR DE RODILLOS

Modelo:	Rodillos embalerados por tramo:	Radio interior	Peso total del tramo.
90°	16	762 mm	30 kg
45°	8	762 mm	15 "



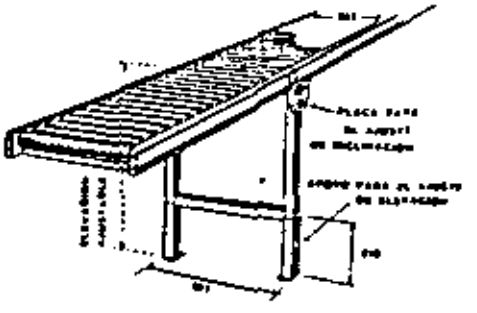
CURVA DE RODILLOS

ACOT. MM.



TRIPIES Y SOPORTES PARA TRANSPORTADORES

El peso de los transportadores lo soportan en el caso de instalaciones semifijas, livianos pero resistentes tripiés de construcción tubular de fierro y ajustables a diversas alturas para dar la inclinación requerida al transportador, y en el caso de instalaciones fijas, soportes ajustables tipo "L", hechos de robusta lámina doblada en calibre 12; tanto la altura como la inclinación se gradúan por medio de dos tornillos por lado, pudiendo fijarse el piso por sendos barrenos en la parte inferior.



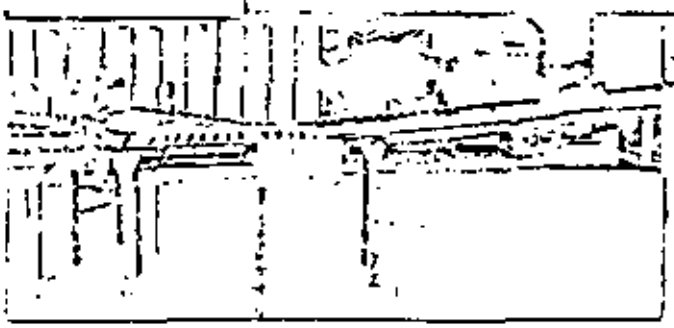
ACOT. MM.

RODACARGA

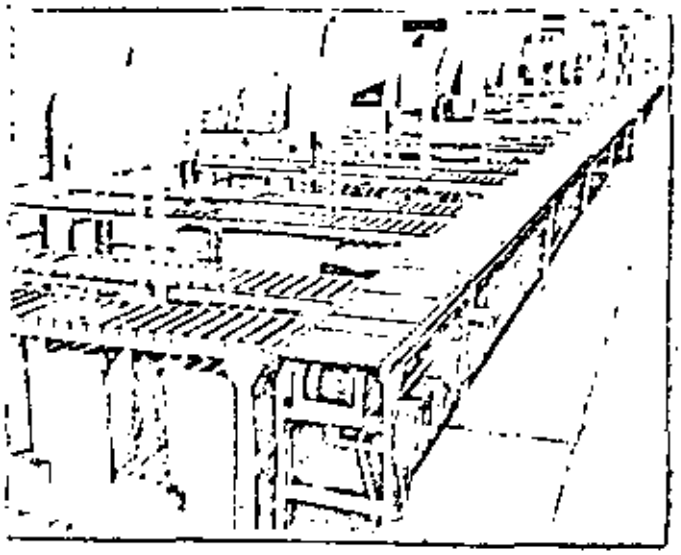
CALLE 46 NORTE 1074 COL. INDUSTRIAL VALLEJO • MEXICO 16, D. F.
TEL. 5-47-33-11 APARTADO 13 805

SUCURSAL MONTERREY: AV. CONSTITUCION 739 OTE. • TEL. 43-09-93
SUCURSAL GUADALAJARA: CALZADA GONZALEZ GALLO 2561 • TEL. 17-16-90
SUCURSAL LEON: BLVD. A. LOPEZ MATEOS 603 OTE. • TEL. 3-73-16

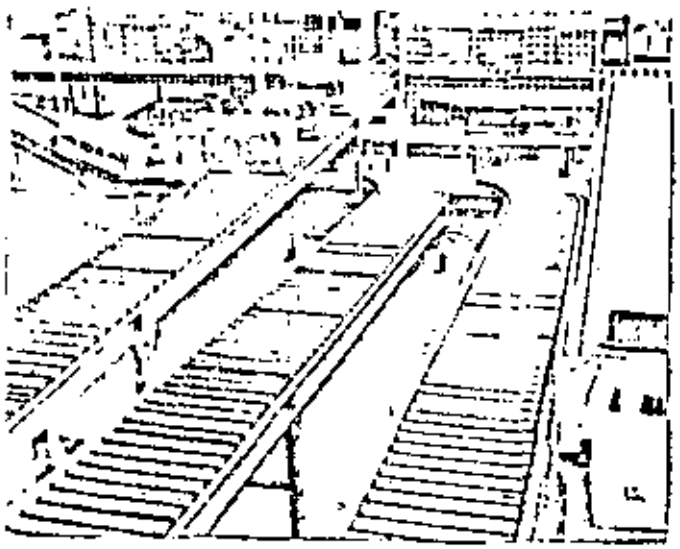
TRANSPORTADORES DE RODILLOS



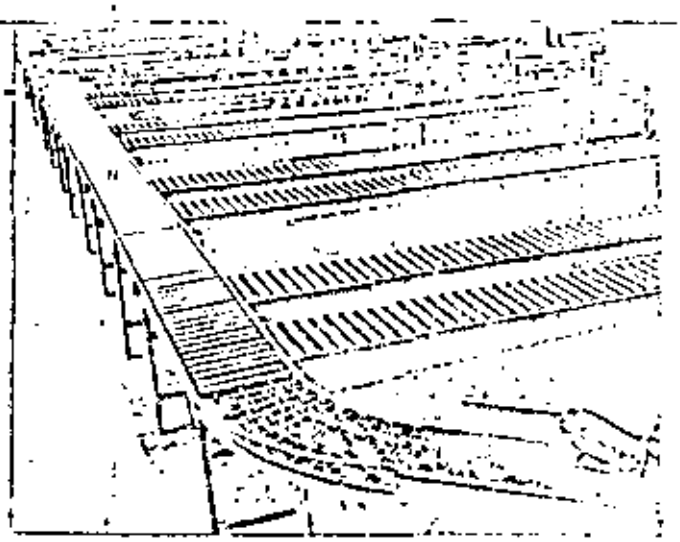
Sección de un sistema de transportadores muy completo que muestra los diversos componentes como son: Banda inclinada, rodillos, ruedas de patín, deflector para cambios de dirección, y soportes ajustables de altura e inclinación.



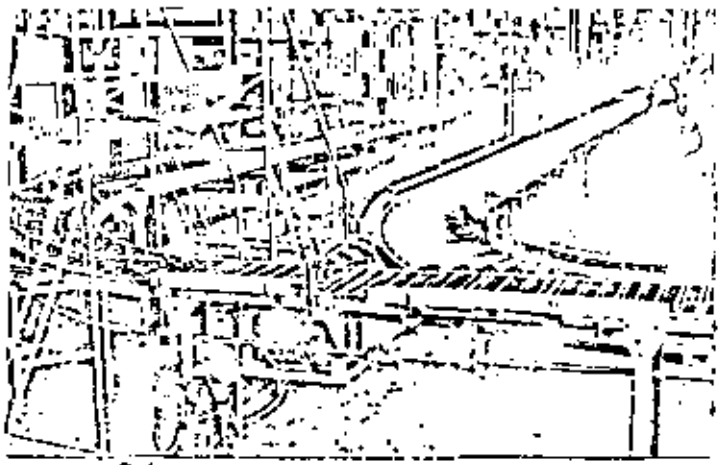
En esta secuencia se muestra como una sección de transportadores de rodillos vivos, surte el producto empacado hacia el departamento de sellado de cajas. Instalados en Avon Cosmetics, S. A. de C. V.



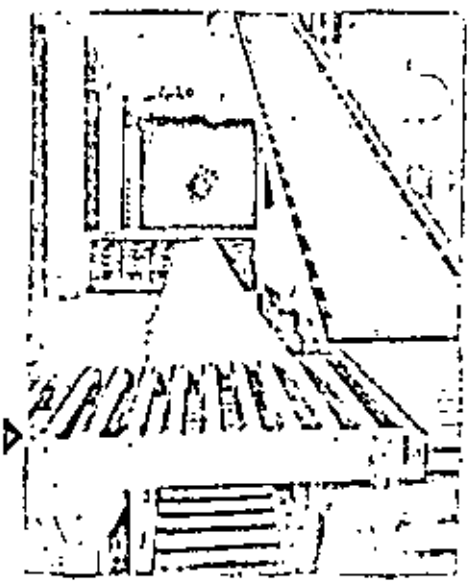
Diversas líneas de transportadores de rodillos permiten enviar todos los productos del Depto. de Selección y Empaque, al Almacen y Embarques. Se completa el sistema con transportadores de banda horizontal e inclinada. Instalación en Laboratorios y Agencias Unidas, S. A.



Sistema de transportadores de rodillos para surtir diversas líneas de empaque, con secciones de compuertas contrabalanceadas que permiten el paso rápido y cómodo de personal a través de los transportadores. Instalación de Avon Cos[illegible] S. A. de C. V.

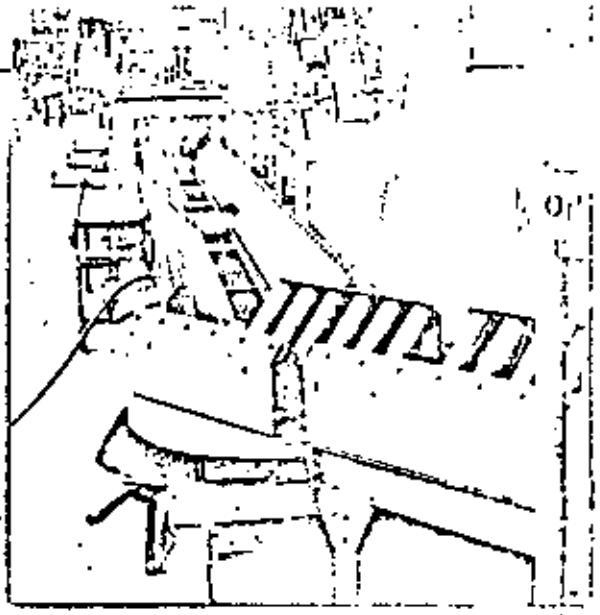


La afluencia de productos de dos diferentes líneas de rodillos convergen por curvas especialmente diseñadas a una línea de transportadores de rodillos. La selección del tráfico de cajas se efectúa por la acción de un deflector automático. Instalación para Avon Cosmetics, S. A. de C. V.

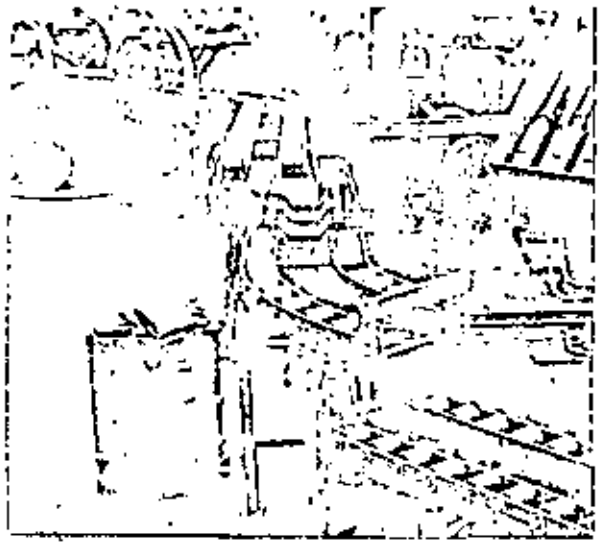


Sistema de transportadores de rodillos por gravedad para recibo y despacho de productos. Se completa el sistema con una banda transportadora reversible de superficie rugosa que permite el movimiento de cajas entre pisos. Instalación en Casa Autrey, S. A

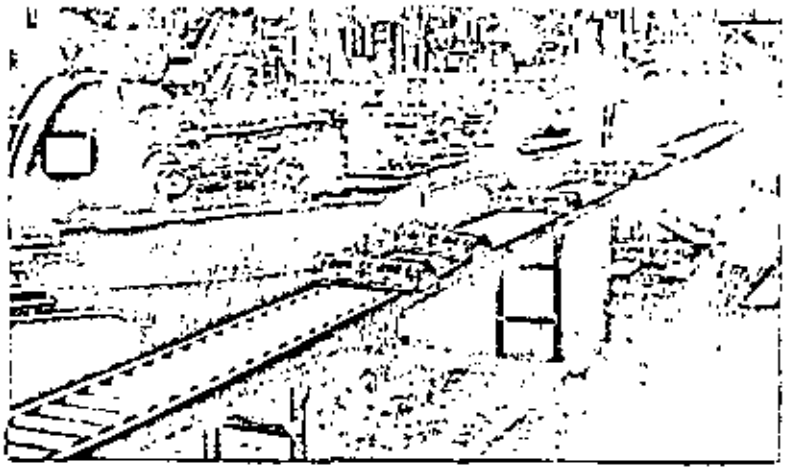
Sistema de transportadores de rodillos de gravedad rectos combinados con tramos curvos en una sección del almacén en Richardson Merrell, S. A. de C. V.



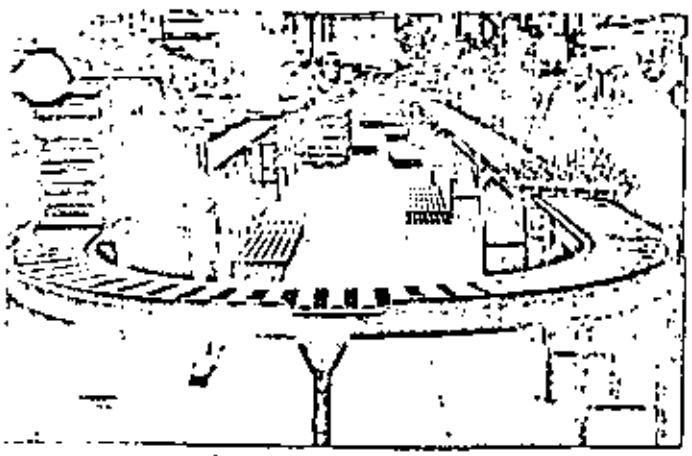
Adecuada línea de transportadores de rodillos en "V" para la sección de machuelado de piezas de motor V8 de gasolina en la línea de producción en Fábricas Automex, S. A. de Toluca, Edo. de México.



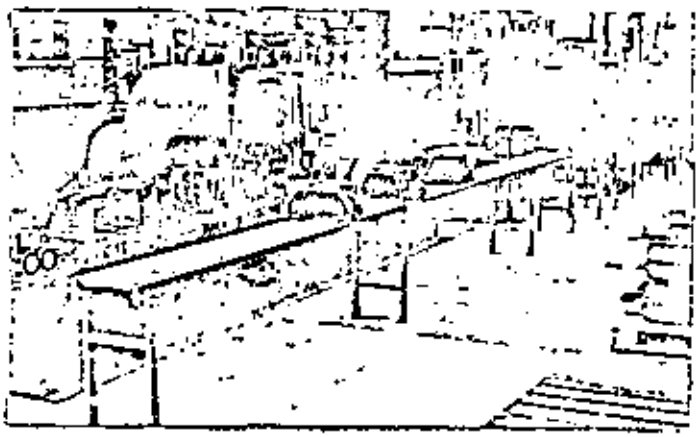
Las operaciones de volteo de motores V8 se realizan fácilmente con volteadores especiales de rodillos y sobre una doble hilera de rodillos para carga pesada. Instalada para una línea de ensamble y rectificado en Fábricas Automex, S. A.



Línea de transportadores de rodillos de carga pesada para el maquinado de cabezas de motor V8 en la línea de producción de Fábricas Automex, S. A.



Sistema de transportadores de rodillos para trabajo pesado mostrando una sección curva con apoyos ajustables de altura é inclinación. Equipado también con una compuerta contrabalanceada que permite el paso del personal en forma rápida y cómoda. Instalado en Fábricas Automex, S. A., en Toluca, Edo. de México.



Transportadores de rodillos para trabajo pesado que reducen los costos de operación en el maquinado de cubiertas de embrague de motores Diesel. Instalados en Motores Perkins, S. A.

II GRUPO : GRUAS, POLIPASTOS, ELEVADORES : Este grupo abarca aquellos equipos destinados a desplazamientos verticales u horizontales o en ambas direcciones. En general se utilizan para trasladar cargas muy pesadas, pieza por pieza y frecuentemente de forma irregular. Genéricamente puede subdividirse en los siguientes tipos principales :

1.- Grúas de vías fijas.

2.- Grúas móviles.

3.- Malacates.

4.- Accesorios.

1.- Grúas de Vías Fijas : Son equipos de transporte mediante los cuales se puede elevar o bajar una carga y también desplazarla en un plano horizontal, estando determinada la autonomía del desplazamiento por el diseño de la grúa.

Su uso más frecuente es para piezas pesadas e irregulares como las que se dan en la construcción de buques, grandes equipos industriales como turbinas, Etc.

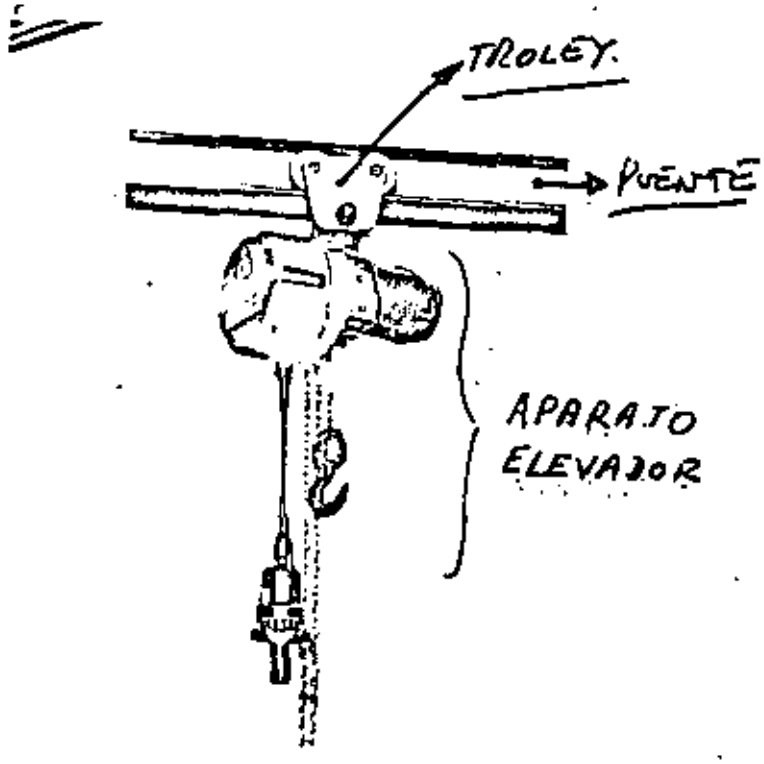
Desde el punto de vista constructivo una grúa puede dividirse en 3 partes, cada una de las cuales se desplaza según una dirección :

1. APARATO DE ELEVACION : Posibilita el movimiento en sentido vertical. Comúnmente se les denomina malacates. Son accionados a mano cuando su uso no es muy frecuente y eléctricamente o neumáticamente en caso de serlo.

... //

2.- EL TROLLEY : Sobre él se monta el aparato de elevación y es el que permite el movimiento en sentido lateral. Como el anterior, puede ser accionado a mano o eléctricamente.

3.- EL PUENTE: Sobre el que se desplaza el trolley. Dicho movimiento también puede ser eléctrico o manual. En los monorrieles el puente es fijo, en otros como los puentes grúa, el puente se desplaza sobre dos vías aéreas. En otros tipos el puente tiene un movimiento giratorio alrededor de un eje vertical.



MUNCK LINK CHAIN HOIST, 750, 1100, 1500, 2200lbs. capacity.

...//

GRUAS MONORRIEL : Consisten en una vía aérea en forma de doble T sobre la que se desplaza un Trolley con un mecanismo elevador. La superficie de la grúa es en este caso una línea recta. Dado que la vía aérea va sujeta del techo o las paredes, este sistema de transporte puede instalarse y utilizarse sin interferir para nada con las operaciones que tienen lugar en el área situado debajo del mismo y por consiguiente ofrece algunas ventajas sobre los transportes terrestres que necesitan espacio libre sobre el suelo.

El sistema de monorriel se usa especialmente en la industria metalúrgica pesada, en la industria química, cerámica, Etc.

Su capacidad es de hasta 10 toneladas con aparejos eléctricos y su velocidad está comprendida entre 10 y 100 mts./minuto.

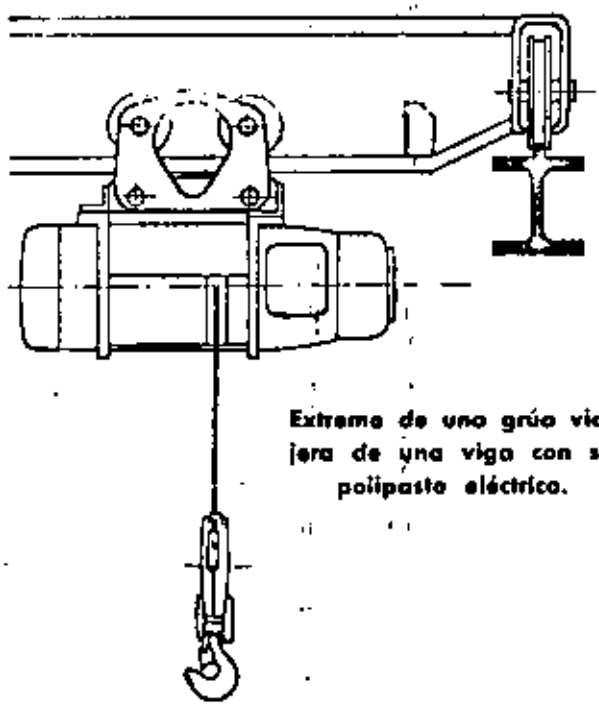
GRUAS PUENTE : En este caso el puente se apoya en ambos extremos sobre ruedas que se desplazan en rieles instalados formando ángulo recto con el puente. Los rieles se instalan sobre columnas del edificio, estructuras aéreas o marcos espaciales.

El tipo de grúa puente sobre rieles asegura una buena operación y permite una construcción mejor debido a que pueden usarse fuedas grandes.

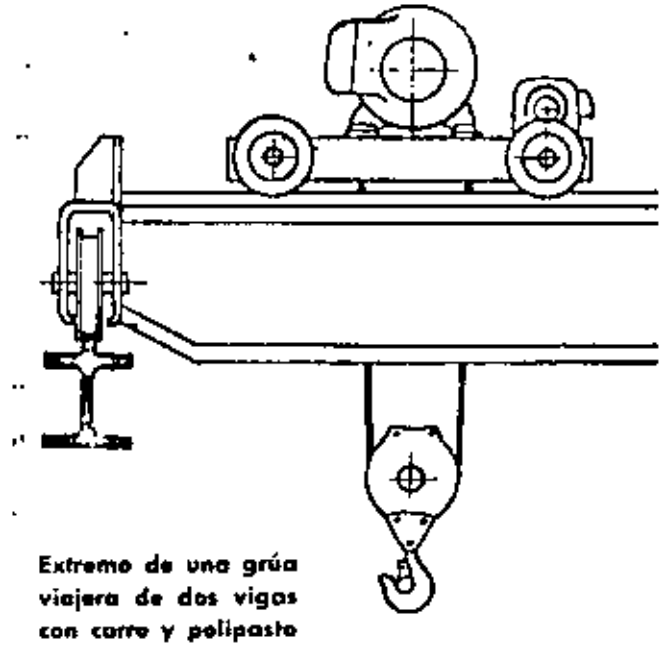
En casos en que la velocidad de traslación longitudinal de la grúa excede la velocidad a la que puede caminar un operario (80 mts/min) éste puede viajar en la cabina de la grúa o usar un control remoto.

Los puentes grúas grandes tienen un motor para impulsar el puente y, por-

lo general, otros dos motores para accionar el trolley y el polipasto, respectivamente. Los puentes grúa eléctricos, que son los más comunes, tienen una capacidad muy variable, que puede llegar hasta las 360 toneladas. Las más comunes tienen entre 4 y 27 toneladas. La velocidad del puente varía desde 8 a 14 mts/min. cuando es necesaria una gran exactitud en los movimientos y llega hasta 130 mts/min. cuando lo esencial es la rapidez.



Extremo de una grúa viajera de una viga con su polipasto eléctrico.



Extremo de una grúa viajera de dos vigas con carro y polipasto eléctrico sobrepuesto.

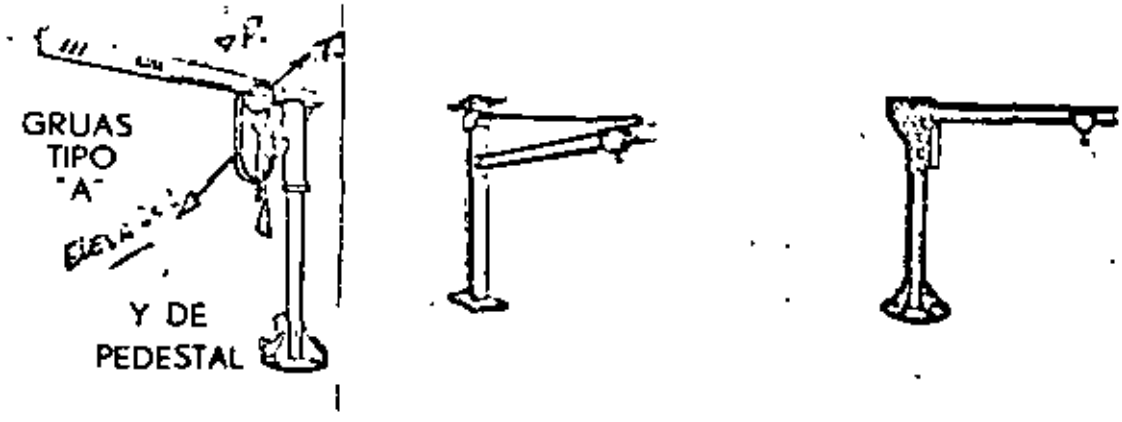
GRUAS FIJAS DE PARED Y PLUMAS. La viga principal de estas grúas gira alrededor de un eje vertical de modo que el área barrida es un segmento de círculo. Este eje vertical en las grúas está sujeto a la pared mientras que -

...//

en las grúas pluma está en una columna que puede construirse en cualquier lugar. El ángulo de giro de la grúa fijo está limitado a 180° ó a 270° si se -- construye en un rincón o esquina. En los equipos normalmente encontrados en la industria la carga máxima es de 5 toneladas y la longitud varía de 1 a 8 mts.

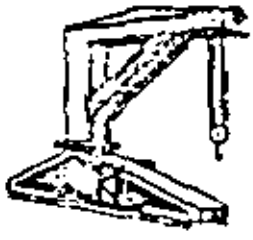
Estas grúas se instalan por lo general cuando se necesita elevar a menudo en un lugar fijo.

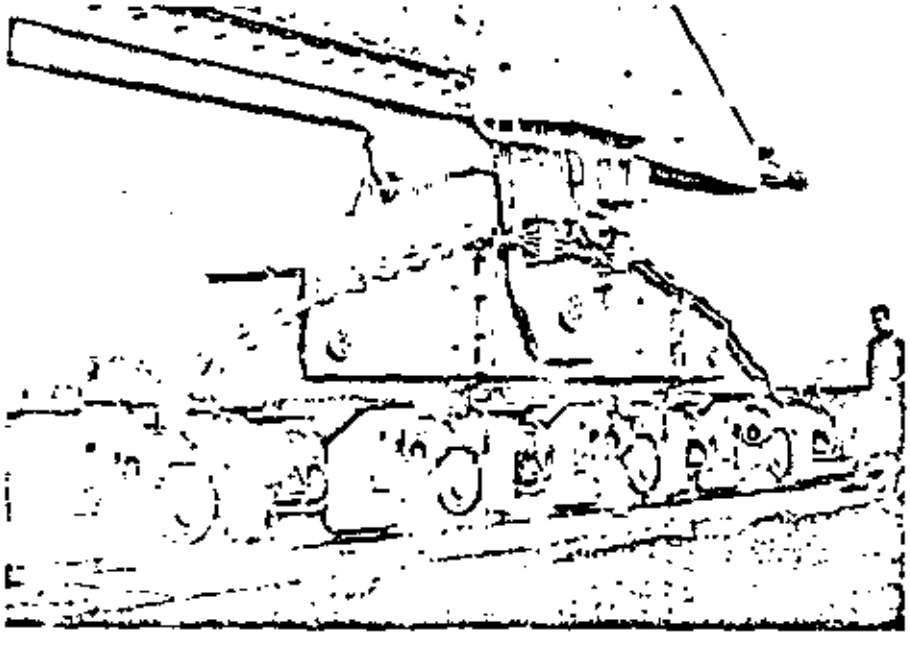
Es posible también construir una grúa fija de tal manera que pueda moverse una distancia corta a lo largo de la pared.



GRUA DE RIELES.- Este tipo de grúa (ver figura), está montada sobre un - vehículo que puede ser arrastrado sobre rieles standard de ferrocarril por locomotoras u otra forma de tracción. La grúa gira alrededor de un eje vertical de modo - que el área cubierta es un círculo alrededor del punto de giro. Estas grúas se construyen normalmente en tipos de 5 a 15 toneladas con radio de 2 a 20 mts. y, por lo general, son conducidas por medio de un motor diesel o de gasolina aunque también pueden ser eléctricas.

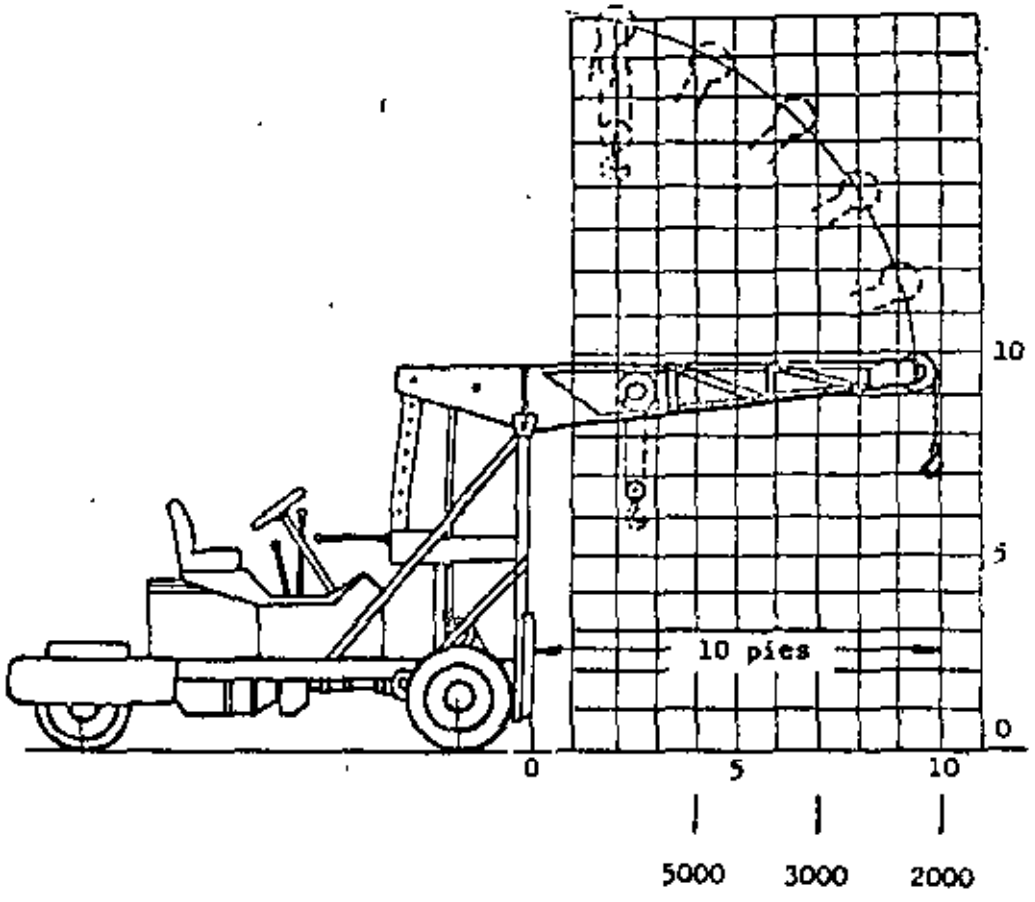
... //





2do. GRUAS MOVILES: Las grúas móviles tienen la característica de que pueden ser conducidas a grandes distancias cuando están cargadas. Normalmente consisten en un vehículo automotor con una estructrua que sostiene la pluma. La pluma puede desplazarse verticalmente y el aparato de elevación puede desplazarse sobre la pluma. En algunos tipos de grúas, se reemplaza la pluma por un brazo con una pala de modo que pueda utilizarse para transportar tierra. Las aplicaciones más comunes de estas grúas son en patios de fábricas, de ferrocarril, muelles, Etc.

Existen otros modelos en los cuales el vehículo va montado sobre orugas.



3ro. MALACATES : Un malacate es un dispositivo mecánico suspendido para - elevar y bajar cargas en dirección vertical con un pequeño esfuerzo.

Los tipos más difundidos son :

1). De mano : utilizado en general para fines no productivos y cuando su uso se reduce a bajas alturas y poca frecuencia.

2). Malacate diferencial : es la forma más simple de elevación mecánica y - consiste de una cadena sin fin única operada sobre un tambor doble o dife-

... //

rencial, y a través de una polea inferior. La diferencia o el diferencial en los diámetros de la polea doble es tan pequeña que la fricción de las distintas partes acopladas sirve para mantener la carga suspendida en cualquier punto cuando se deja de ejercer tracción sobre la cadena.

a. Diferencial

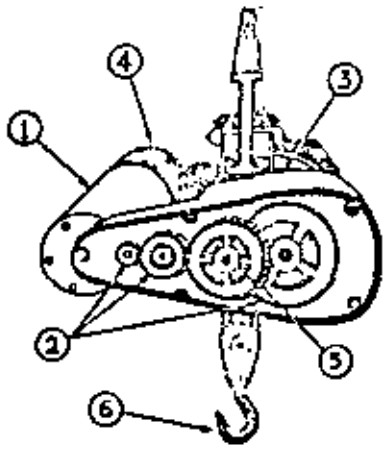
b. De engranajes planetarios

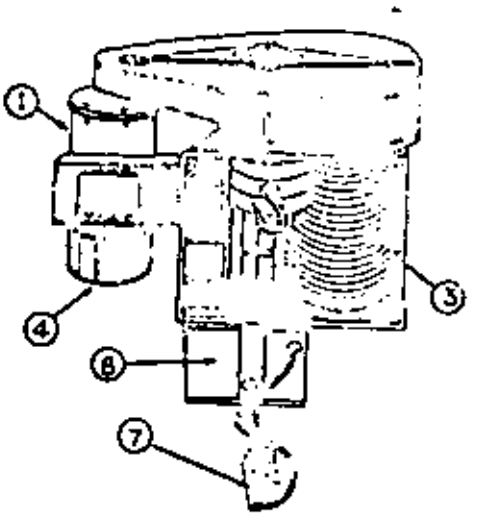
Aparejos de accionamiento manual

Se baja o se sube ejerciendo tracción en uno u otro de los lazos de la -- cadena sin fin que cuelga. Se necesita un hombre para su accionamiento y su uso es hasta 1.5 toneladas. Dado que la reducción de fuerzas se determina por la relación de los diámetros de las dos poleas de arriba, dicha reducción es muy poca.

... //

Casos más elaborados de malacates, son los de reducción por engranajes y más aún los eléctricos, en los cuales las fuerzas requeridas para elevar la carga es proporcionado por un motor eléctrico acoplado al malacate, siendo este motor controlado por un operario mediante botonera. Tienen además un tambor donde se enrolla el cable y están provistos de un mecanismo de freno.





1. Motor eléctrico
2. Tren de engranajes
3. Tambor y cable
4. Freno del motor
5. Freno de la carga
6. Gancho
7. Control
8. Panel de control

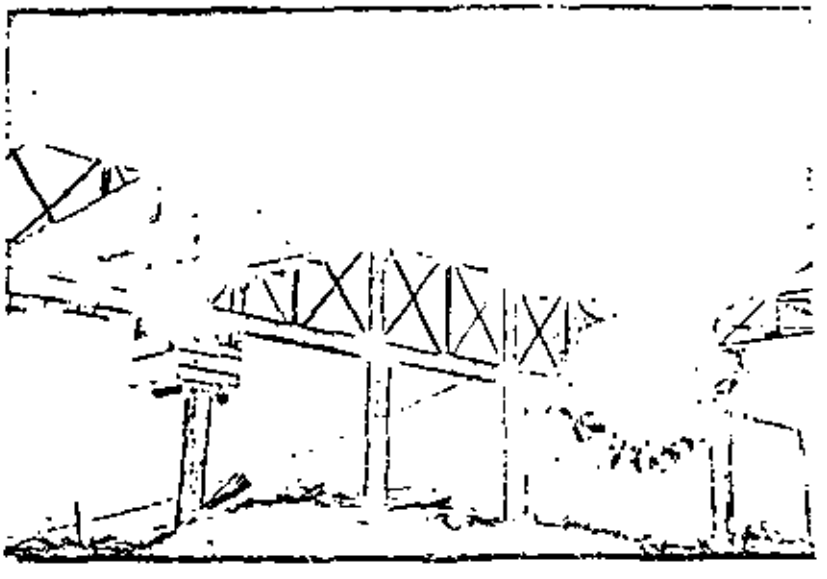
Aparejo eléctrico

Existen también malacates accionados por aire comprimido para usarse en lugares donde no se permiten chispas o donde la regulación suave es esencial, siendo su capacidad limitada a unas 5 toneladas.

... //

4to. ACCESORIOS : Tanto las grúas como los malacates que hemos descrito deben adoptarse en las operaciones normales a diferentes condiciones de trabajo lo que se logra mediante el uso de distintos accesorios. Dentro de los más comunes podemos citar el ELEVADOR ELECTROMAGNETICO que se usa para mover hierro, acero, virutas, desechos, Etc. Su fuerza portante puede ser hasta de 25 toneladas para un diámetro de electroimán del orden de los 2,5 mts.

Los electroimanes son alimentados por corriente directa y no deben utilizarse durante un tiempo muy prolongado (Histérisis, corrientes parásitas, Etc.)

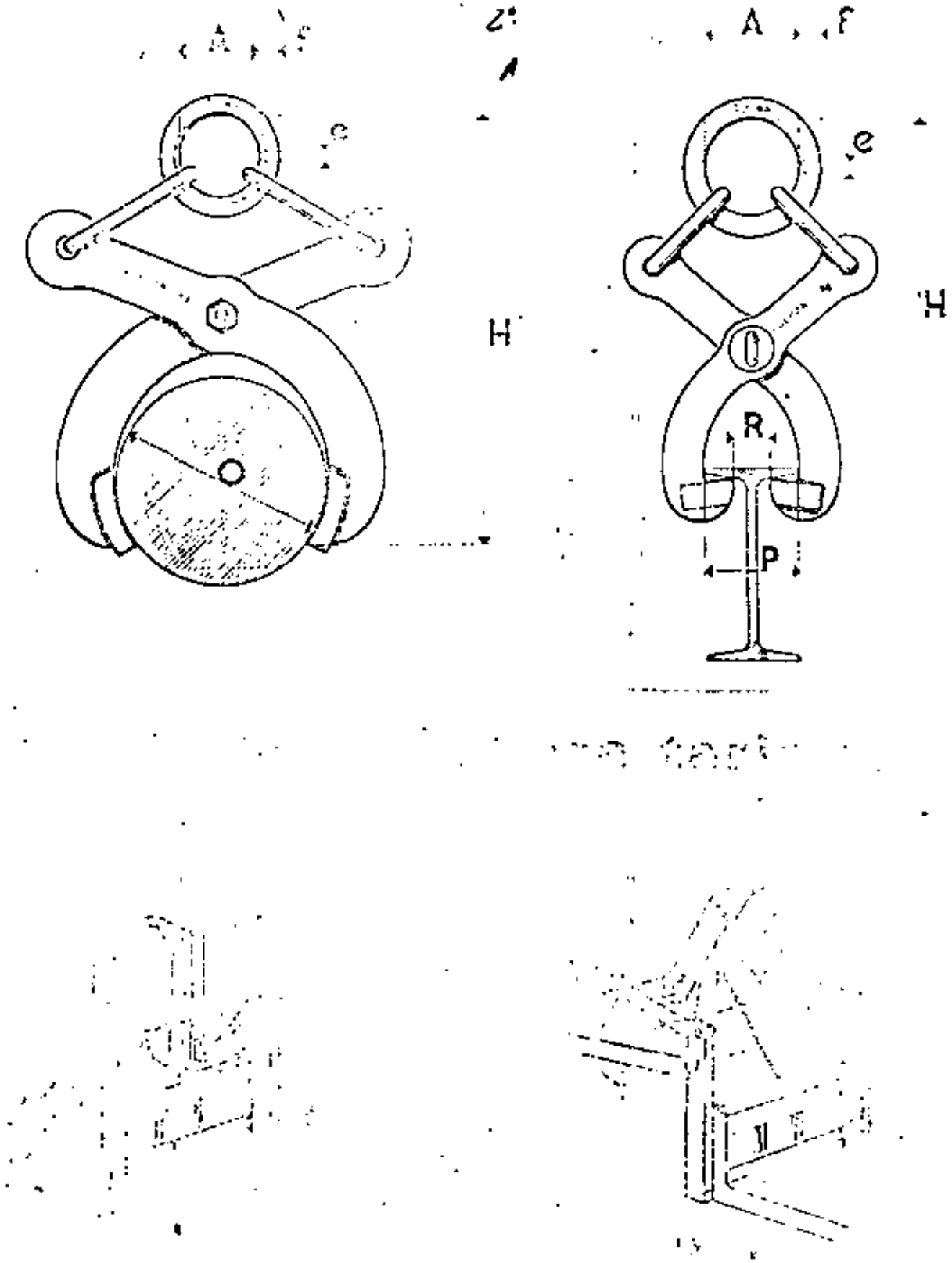


B. ELEVADOR DE LAMINAS : Se utiliza para levantar pilas de láminas.

C. PINZAS. Para materiales de formas diversas.

D. CUCHARAS : Para descargar grava, carbón, Etc.

E. CINTURONES : Para evitar dañar la carga o que ésta se resbale.

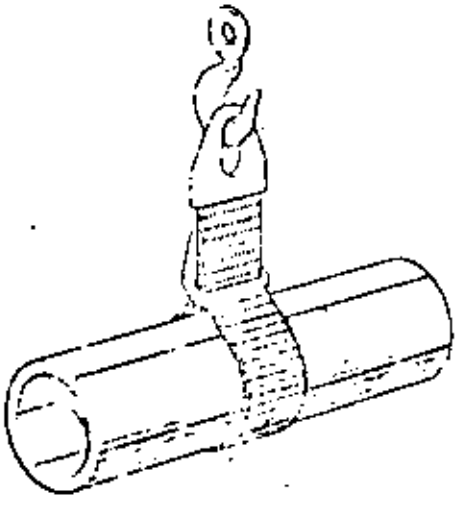


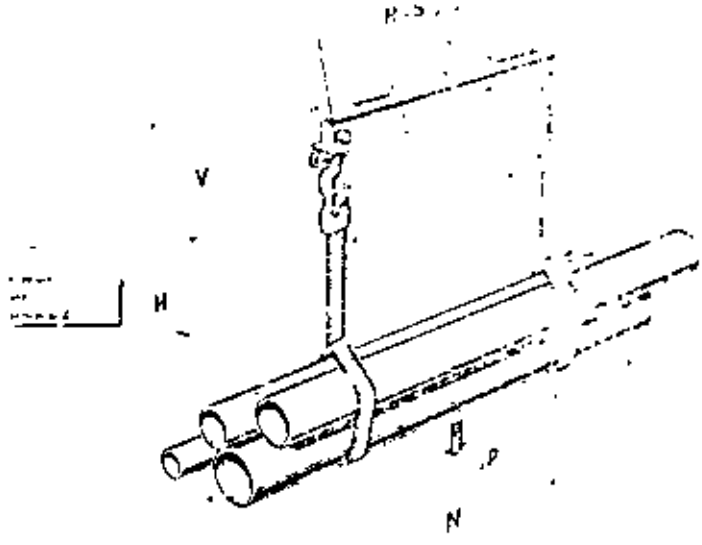
PLEGADA DE ALTURA H REDUCIDA

ECONOMIA

SEGURIDAD

A [illegible]





NUDO CORREDIZO

Sabe [illegible]

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO:

F. VEHICULOS INDUSTRIALES. - Este grupo de equipos incluye todos los vehículos autónomos de dos o más ruedas utilizados para el manejo de materiales dentro de la fábrica y que pueden ser accionados a mano o por fuerza motriz eléctrica o mecánica. Tienen la ventaja de la flexibilidad y su costo de adquisición es relativamente bajo.

Dada la gran cantidad de tipos, se les suele subdividir en :

1.- CARRETILLAS MANUALES.

2.- PLATAFORMAS MANUALES DE 3 ó 4 RUEDAS.

3.- ACOPLADOS PARA USAR CON TRACTORES.

4.- CARROS ELECTRICOS DE PLATAFORMAS.

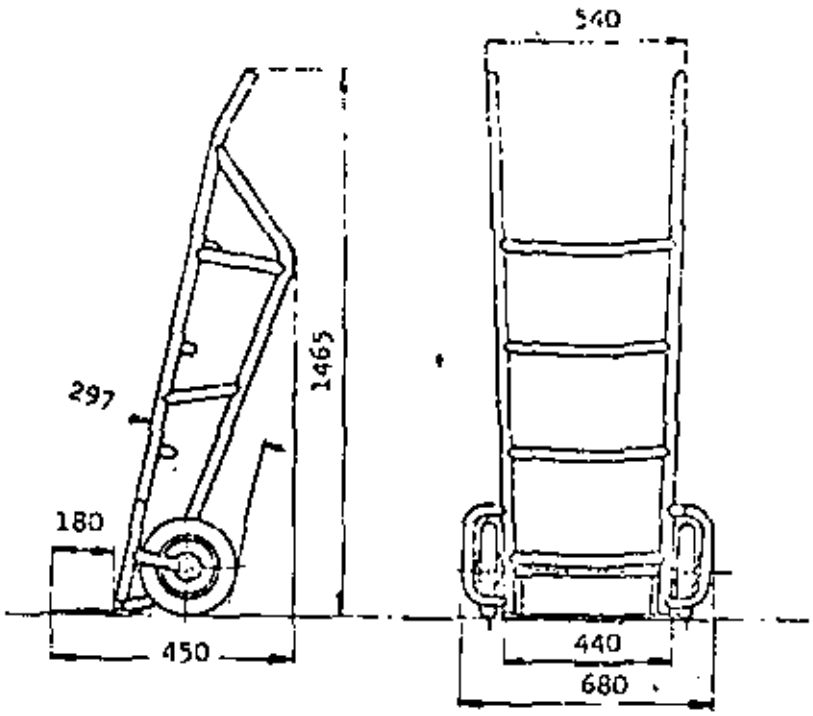
5.- VEHICULOS ELEVADORES.

6.- VEHICULOS ESPECIALES.

Es muy importante dentro de este grupo el factor diseño, sobre todo en los tipos manuales. Los aspectos más importantes son los que se refieren a : estructura, ruedas y cojinetes .

Carretillas Manuales. (Diablos). Consisten en un armazón, generalmente tubular, de acero, aluminio o de aleación liviana y provisto de dos ruedas fijas. La carga se levanta empujando la carretilla debajo de aquella y dejándola caer.

Se usa para el transporte de bolsas, cajas grandes, tambores, Etc., sobre distancias de varias decenas de metros.



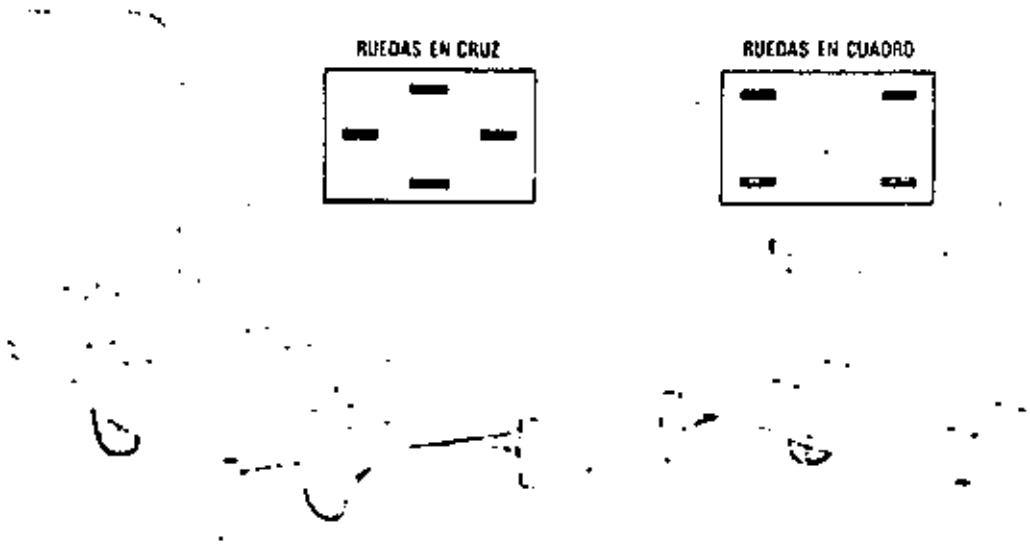
2.- PLATAFORMAS MANUALES DE 3 Ó 4 RUEDAS. Pueden ser de acero o madera y consisten en una plataforma montada sobre ruedas. Se usan para recorridos cortos con rutas variables y la carga máxima es de ------ 4,000 Kgs.

Existen modelos adoptados para aplicaciones especiales. En algunas las ruedas tienen bases giratorias. También hay de base fija o combinados.

El modelo de base giratoria es difícil de controlar mientras que el de base fija es difícil de maniobrar.

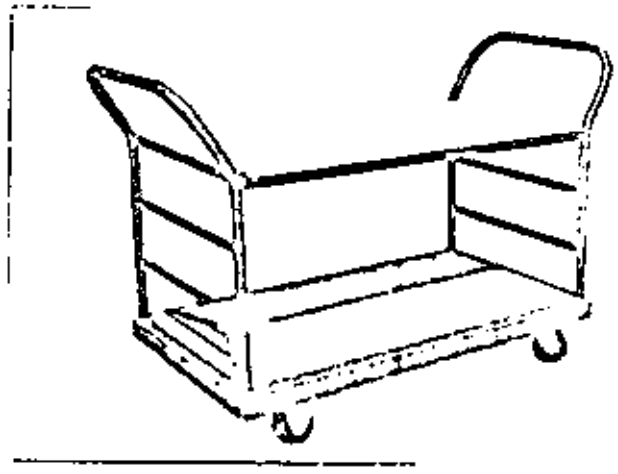
...//

CARROS - PLATAFORMA



Carros - plataforma indispensables en toda fábrica y almacén, así como en talleres textiles, hospitales, hoteles, industriales, tiendas de víveres, lavanderías, tintorerías, etc. Construidos de fierro estructural de alta resistencia, con plataforma de madera de primera y manerales de fierro tubular. Capacidades de 400 a 1,000 kilos. Equipados con dos ruedas giratorias y dos fijas, colocadas en cuadro para su manejo donde no existe problema de espacio y en cruz para su uso en espacios reducidos. Disponibles con uno ó dos manerales y distintas tamaños de plataforma. Puede surtirse cualquier tipo ó tamaño sobre pedido. Existencia constante de los siguientes modelos

Modelo:	Dimensión de plataforma:	Con ruedas:	Cap. en kgs. en cuadro	Cap. en kgs. en cruz.
2446-54	61 cms. x 117 cms. (24") x (46").	F5-111 y G4-132	400 kilos.	400 kilos.
2754-66	69 cms. x 137 cms. (27") x (54").	F6-132 y G6-132	600 kilos.	600 kilos.
2754-86	69 cms. x 137 cms. (27") x (54").	F8-1932 y G6-132	800 kilos.	800 kilos.
3060-10/6	76 cms. x 152 cms. (30") x (60").	RHV-10x2½ y G6-132	1,000 kilos.	1,000 kilos.



3.- ACOPLADO PARA TRACTORES. Se les emplea especialmente para formar trenes y ser remolcados por un tractor. Consisten en una plataforma generalmente sin estructura superior y con 4 ruedas. Cuando se usan en trenes, tienen dispositivos especiales que enganchan al ser empujados los carros uno sobre otro.

4.- CARROS ELECTRICOS DE PLATAFORMA. Se trata de vehículos de tres o cuatro ruedas propulsados por un motor eléctrico a batería colocado en el mismo carro. En algunos tipos el operador va parado sobre la plataforma delantera y controla el desplazamiento mediante pedales, en otros va sentado y tiene un volante. Se usan para distancias medias, con movimientos frecuentes y con carga demasiado pesada para el movimiento manual.

5.- VEHICULOS ELEVADORES: Son vehículos de 3 ó 4 ruedas, provistos de un dispositivo por medio del cual pueden ser levados paquetes apilados sobre plataformas. Pueden considerarse como el desarrollo posterior de los vehículos no elevadores en los cuales los paquetes son descargados uno a uno.

...//

Existen dos tipos principales que son :

1.- Vehículos de plataformas : Tienen una plataforma por medio de la cual pueden tomar un pallet o tarima.

2.- Elevadores de Horquillas : Son los vehículos industriales de elevación más comunes y tienen una horquilla con dos uñas cortadas en forma de bisel o dispositivos especiales, por medio de los cuales - pueden elevar una plataforma, barriles, Etc.

Vehículos de Plataformas : Es un autoelevador de tres o cuatro ruedas con una plataforma o unas que se elevan. Es propulsado a mano o por un motor siendo la elevación de accionamiento hidráulico o eléctrico. En general se usan para el transporte de materiales pesados como matrices, fundiciones de hierro, tambores - en la fabricación de pinturas, Etc.

Autoelevador de Horquillas : El autoelevador es un vehículo de cuatro ruedas con un mástil y una horquilla que se desliza hacia arriba y hacia abajo. Está construído de manera tal, que la horquilla y la carga están fuera de las ruedas delanteras, lo cual es necesario para estibar, y en consecuencia debe agregarse un - contrapeso al vehículo que constructivamente está formado por el motor, el bastidor y en caso de ser necesario por pesos extras. Las ruedas delanteras en general -

son más grandes debido al alto peso del vehículo cargado y pueden ser macizas o neumáticas.

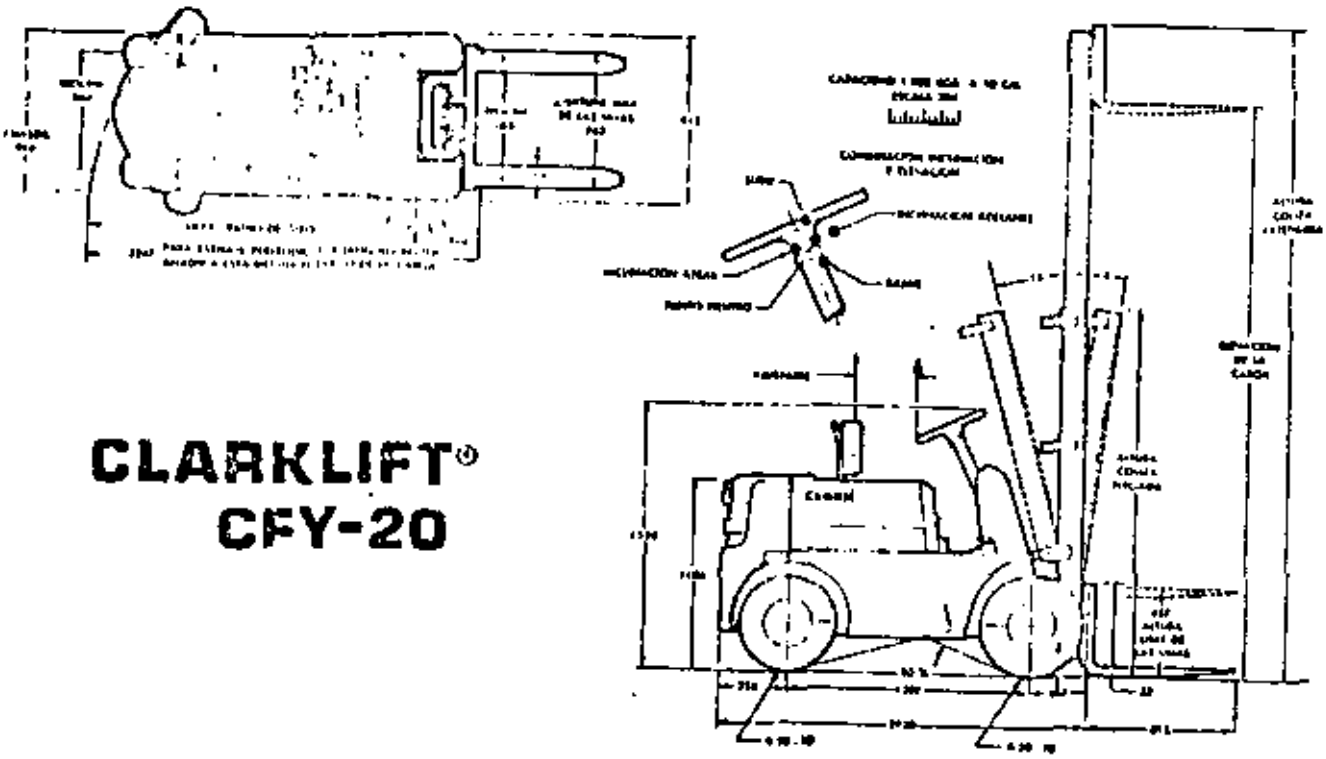
Las neumáticas acojinan la marcha y ejercen menos presión sobre el piso por razón de su gran superficie de contacto. Esta es una consideración importante para vehículos que trabajen al exterior o por superficies sin pavimentar o en interiores en que los pisos están mojados o resbaladizos. Las llantas macizas sin embargo duran más. Todos los autoelevadores tienen cambio de dirección en las ruedas posteriores.

En cuanto a los mástiles hay dos tipos : El telescópico, por medio del cual se obtiene un rango de elevación más grande, si bien se disminuye la capacidad de carga pues ésto se aleja del eje delantero, y el mástil no telescópico con limitación de la distancia de elevación. Para evitar que la carga se deslice de la plataforma, la mayoría de los autoelevadores de horquilla tienen un mecanismo de inclinación de modo que el mástil completo se puede inclinar hacia atras, alrededor de un punto de rotación bajo. La inclinación hacia adelante es de 6° y hacia atrás de 15°.

Dado que el peso de la horquilla y de la carga deben balancearse, es importante tener presente el centro de gravedad de la carga. Los catálogos de los fabricantes traen estas especificaciones. Otro aspecto a considerar, es la resistencia de los pisos, ya que estos constituyen muchas veces una limitación, y los anchos necesarios de pasillos de acuerdo a la forma en que se quiera estibar. Los catálogos traen datos, como el radio de giro, distancias al eje delantero, Etc., y fórmulas matemáticas que permiten calcular los pasillos de acuerdo a la carga, la velocidad,

la posibilidad de tránsito de ida y vuelta.

En cuanto a la potencia, podemos decir que si las cargas se llevarán a grandes distancias o si hay rampas empinadas, se preferirá el montacargas impulsado por motor de gasolina, gas de petróleo licuado o diesel. Dichos montacargas presentan el inconveniente de que emiten gases. Los montacargas eléctricos son limpios, silenciosos y sin gases y se suelen preferir cuando la pulcritud es un requisito.



CLARKLIFT®
CFY-20

ESPECIFICACIONES Y MEDIDAS

... "

A-1

ESPECIFICACIONES TECNICAS

MODELO

CFY-20 Peso ..... 2.065 Kgs.
CY Peso ..... 2.133 Kgs.

CAPACIDAD Y DISTRIBUCION DE PESO

Porcentaje sobre las ruedas motrices (vehículo vacío) ..... 54 %
Capacidad nominal: 2000 Kgs. a 50 cm. del centro de carga.
Para otras capacidades ver tablas.

RODADO

Standard	Medida	Telas	Presión
Tracción simple y dirección	6.50 x 10	10	100 lbs.

Opcional

Tracción dual y dirección ..	6.50 x 10	10	100 lbs.
Tracción simple y dirección	6.50 x 10 maciza especial		

VELOCIDAD Y DECLIVES

	Embrague a fricción	HIDRATORK
Velocidad de desplazamiento con carga nominal	16,9 Km/hora	17,6 Km/hora
Capacidad de subir rampas con carga nominal	31 %	31,5 %

COLIZA STANDARD

	cargado	vacío
Velocidad de elevación ...	25,3 mts./minuto	28,6 mts./minuto
descenso	18,3 " "	24,4 " "

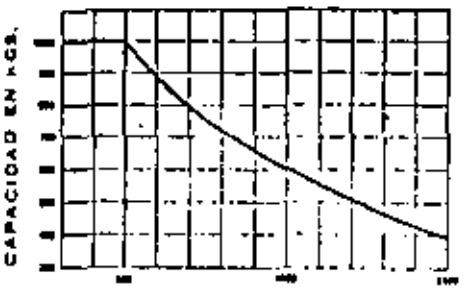
MOTOR

IKA de 4 cilindros con regulador de velocidad centrífugo actuando en la punta del árbol de levas. Distribución o engranajes de diente helicoidal rectificado. Carburador ascendente.

Modelo	4L-151
Alesaje	84,138 mm.
Carrera	111,125 mm.
Cilindrada	2480 cm³
Cap. carter	4,75 lts.
Revoluciones regulados con carga .	2200
HP a revoluciones regulados	49,5
Torsión máxima mkg.	16,6
Cap. tanque de combustible	37,5 lts.

Nota: LP Gas opcional a costo extra.

TABLA DE CAPACIDADES



Centro de la carga en mm. desde el frente de los uñas.
Las capacidades nominales arriba indicadas están computadas con la coliza en posición vertical.
Se aplican para altura máxima de elevación de carga de hasta 4,00 Mts.

DIMENSIONES Y ALTURAS DEL SUELO

Largo hasta el frente de los uñas	2120 mm.
Distancia entre ejes	1393 mm.
Ancho (ruedas motrices simples)	943 mm.
Trocha (matriz)	765 mm.
Radio de giro	1879 mm.
Pasillo básico para estibar en ángulo recto (añadir longitud de carga)	
Coliza	136 mm.
Eje matriz	184 mm.
Eje de dirección	181 mm.
Centro de chasis	203 mm
Luz central	80 %

FILTROS DEL MOTOR

Tres tipos: (1) Filtro de combustible (2) Filtro de aceite con elemento cambiable de papel tipo automotor (3) Filtro de aire tipo seco con elemento cambiable de papel plegado de 5 micrones

SISTEMA ELECTRICO

Batería	NEGATIVO A MASA
Tensión	12 Volts nominales
Capacidad	40 ampere-hora
Regulador de carga compuesto por	Disyuntor Limitador de intensidad Regulador de tensión

Generador

Volts	12 nominales
Amperes	35 nominales

Motor de arranque

Tensión	12 Volts nominales
Bendix	Centrífugo

FRENOS

(Dos sistemas) Torsión del pedal multiplicado a través de reducción final en cada rueda motriz que reduce el esfuerzo y prolonga la vida de los frenos. Doble zapata de expansión hidráulica interna y forros asbestosos. Pedal ancho central en modelos Hydratork de fácil aplicación con cualquier pie. Tambores enterrados en carcaza del eje motriz en lugar de las ruedas. Zapatas auto-regulables, no necesitan ajuste durante la vida útil del forro.

DIRECCION

Cubiertas grandes brindan fácil desplazamiento y buena flotación bajo las más adversas condiciones de operación. Eje de dirección de fuerte acero vanadio montado sobre dos bujes torsionales de goma que amortiguan y brindan articulación contra desniveles del piso hasta 15 cm. de altura. Topes eficaces para estabilidad lateral. Pivotes inclinados disminuyen el efecto de golpes. Tren de dirección tipo a bolillos circulantes. El punto central geométrico y la angularidad de 75° permiten giros cortos. Rótulas tipo automotor. Volante de 457 mm. de diámetro.

EJE MOTRIZ Y CAJA DE VELOCIDADES

Montaje integral de tres puntos que incluye: motor, embrague, caja de velocidades, piñón y corona, diferencial y conjunto de eje motriz totalmente flotante. El peso del vehículo lo soporta la cañonera y no el eje pollier. Reducción final planetaria en ruedas motrices totalmente blindada.

EMBRAGUE A FRICCION

Monodisco seco de 280 mm. de diámetro de cambio rápido "quick-change" con revestimiento remachado de 25 mkg. de torsión; control a pedal tipo automotor. Dos palancas de cambio directas a la caja: adelante-atrás y alta-baja que seleccionan 2 velocidades adelante y dos atrás.

TRASMISION HYDRATORK (OPCIONAL)

Dos velocidades, engranajes en acople constante y [illegible] de dirección. El convertidor multiplica la [illegible] del motor sin castigar la línea motriz de engranajes. El aceite es enfriado por separado en un cambiador situado en la parte inferior del radiador y filtrado a través de un elemento cambiable tipo automotor. Palanca direccional sobre el lado izquierdo de la columna de dirección. En lugares cerrados el juego libre del pedal de frenos acciona hidráulicamente una válvula que permite disminuir gradualmente la fuerza [illegible] aunque el motor funcione a [illegible] para elevación rápida.

CILINDROS DE ELEVACION E INCLINACION

Embolos de inclinación cromados. Espesores para compensar el desgaste de empaquetaduras, cambiables desde afuera. Válvula de seguridad de inclinación garantiza un control eficiente contra derivas. Todos los cilindros tienen aros metálicos de protección para las empaquetaduras. Embolo de elevación tipo pistón de esfuerzo lateral mínimo. Regulador de caudal modulado reduce la velocidad de bajada cuanto mas pesada la carga.

INSTRUMENTAL

Amperímetro, Presión de aceite motor, Medidor de temperatura, Medidor de combustible, Cuenta-horas opcional a costo extra.

COLIZA

Coliza telescópica de guías embutidas con roleta, blindados. Perfil central de acero tratado SAE 1045 embutido en perfil fijo del mismo material, proveen un funcionamiento uniforme y brindan mayor durabilidad. Carro porta uñas con roletes de empuje lateral montados exteriormente para dar mayor estabilidad y evitar esfuerzos de la coliza. Una traba impide que la coliza interna se eleve antes de la completa elevación libre de las uñas.

SISTEMA HIDRAULICO

Válvulas tipo carrete totalmente balanceadas a precisión brindan puestas en marcha y paradas suaves. Válvulas de alivio para sobrecargas, roscas SAE rectas y "O" rings de goma en todo el sistema de presión. Bomba hidráulica de paletas accionada por el motor a través de engranajes. Tanque hidráulico de chapa de 8 mm. montado sobre el chasis como parte integral del mismo. Mangueros hidráulicos de goma y malla de acero trenzado. Protección contra la suciedad: (1) Respiradero del tanque hidráulico con elemento cambiable de 5 micrones. (3) Filtro de caudal completo dentro del tanque de 25 micrones.

CARRO PORTA UÑAS Y UÑAS

Construcción enteramente soldada para trabajos pesados, de acero 1045 contra impactos. Ajuste fácil de uñas de 0-1015 mm. con o sin parrilla opcional. Conveniente traba de acción rápida para asegurar las uñas. Uñas forjadas y tratadas térmicamente para mayor resistencia en toda la sección del talón.

MANTENIMIENTO

El acceso a los órganos mecánicos del autoelevador es simple. Con tan solo abrir las tapas laterales y el capot quedan expuestos para la inspección la tapa de llenado del aceite hidráulico, varilla de nivel del aceite de motor, tapa de llenado de aceite del mismo, etc. Batería montada en plataforma giratoria para su mejor inspección y mantenimiento. Contrapeso de encajes laterales y un solo bulón de fijación, permite ser retirado rápidamente.

ASIENTO

Amplio asiento y respaldo de goma espuma cubiertos de Vinil plástico. Cómodo respaldo curvado e inclinable. Corredera que permite un ajuste longitudinal de hasta 90 mm.

TECHO Y PARRILLA

Estos accesorios son opcionales CLARK EQUIPMENT COMPANY recomienda su uso y aconseja al propietario considerarlos indispensables.

COLORES

Dos tonos: Gris plateado combinado con uno de 5 opcionales: rojo, anaranjado, amarillo, verde o azul.

OTROS

Reserva auxiliar de combustible accionado a mano de 2 lts. de capacidad. Acople tipo perno empotrado a 30 cms. del suelo. Bulones y tornillos cadmiados. Silenciador resonante detrás del radiador, frente a la corriente de aire, esparce el gas evitando el recalentamiento. Todas las superficies expuestas con antióxido y pintados a soplete.

Accesorios para autoelevadores

Sujecion de canastos

Accesorios de empuje

Horquilla giratoria

Pluma cuello de ganso

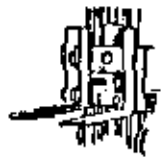
Dispositivo de sujecion

Horquilla de mordaza

Cesto volcable

Sujecion de cartones

Sujecion giratoria de rollos



Giro lateral

Adaptador neumatico

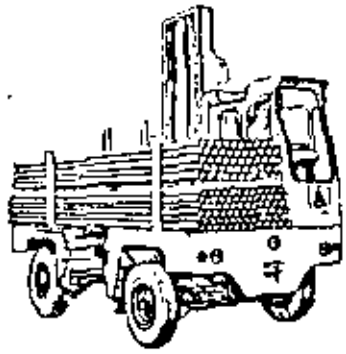
Manipuleo de barriles

6.- VEHICULOS ESPECIALES : Modernamente se han desarrollado una gran cantidad de vehículos diseñados y construídos para aplicaciones no comunes ; sin embargo, algunos tipos se han difundido llegando a ser más o menos comunes.

Entre ellos deben mencionarse dos :

1.- Autoelevador de carga lateral : Es un autoelevador de horquilla con cuatro ruedas normales y un mástil, que puede moverse lateralmente. Cuando tiene que tomar una plataforma, se coloca el vehículo a lo - largo de la plataforma, el mástil y la horquilla se mueven hacia afuera para tomar la carga, levanta, vuelve hacia atrás y baja y luego se desplaza el vehículo. El mástil tiene también un pequeño movimiento de inclinación hacia adelante. Se utiliza este equipo preferentemente para transportar materiales en los cuales predomina una dimensión con respecto a los otras dos, como son tablas, caños, vigas de acero, Etc. y en la mayoría de los casos no se utilizan pallets. Normalmente llevan cargas entre 2 y 15 toneladas y la velocidad máxima es de 40 Km/Hr. Tienen la ventaja de permitir una gran visibilidad para el - operario.

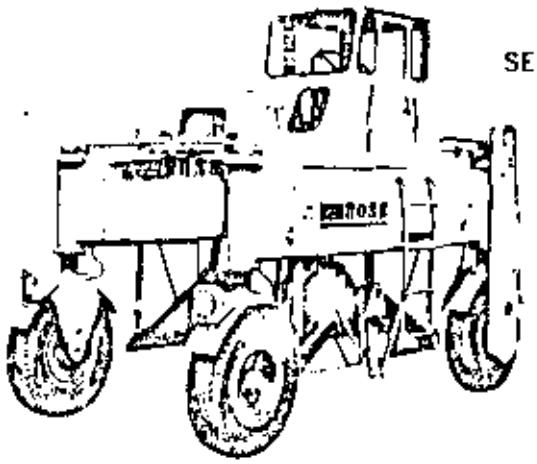
... //



La carga larga completa puede ser manejada fácilmente por el montacargas.

2.- ACARREADOR DE HORCADAS. En un elevador de cuatro ruedas, diseñado para que el material sea tomado por la parte inferior del vehículo. La carga, que en algunos casos se coloca en pallets, se levanta por medio de zapatas elevadores. Se ha difundido mucho en los últimos años en los E.E. U.U. y es muy apto para transportar materiales largos o voluminosos. Su capacidad puede llegar hasta 50 toneladas y tiene la ventaja adicional de poder desplazarse distancias grandes a una velocidad de 50 Km/Hr. aproximadamente, como por ejemplo del puerto a la fábrica directamente.

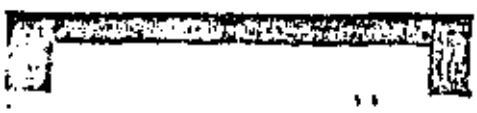
...//



SERIE 81

Grupo 8 CAJAS DE TRANSPORTE Y EQUIPOS ESPECIALES : Las cajas de - transporte (containers) pueden definirse como recipientes destinados a contener una cantidad de cierto material para su movimiento entre procesos, hacia depósitos, Etc. Existen una gran variedad de cajas de transporte normalizados y especiales, diseñadas para acarrear productos, partes, Etc. a través de todas las fases del ciclo de producción incluyendo expedición.

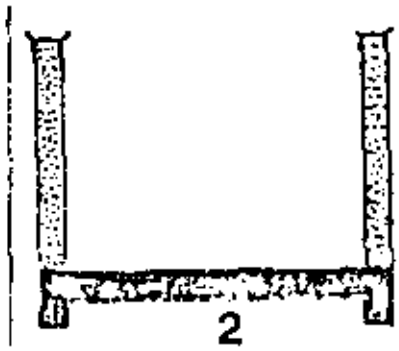
Veamos algunos tipos :

1).- 

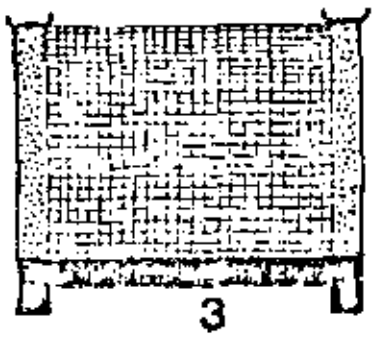
Esta es simplemente una plataforma - (pallet).

Destinado a transportar bolsas, pa--- quetes, Etc. Existen diferentes medidas estandarizadas.

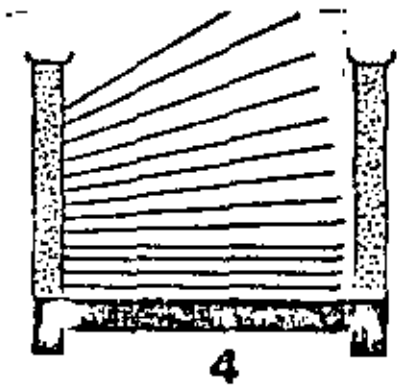
... //

2).- 

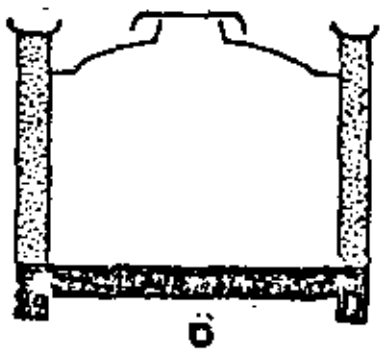
Igual al anterior con el agregado de cuatro columnas, lo que permite transportar tubos redondos, cartos, Etc.

3).- 

La forma básica se completa con tela metálica para el almacenamiento de partes que pueden estar en contacto, tales como piezas de fundición, piezas de plástico, Etc.

4).- 

Consiste en base, columnas, costados y estantes para transportar piezas chicas en bandejas.

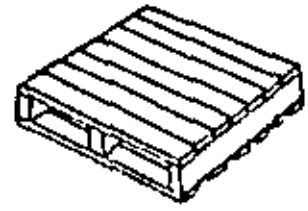
5).- 

Similar a los anteriores, pero forrado interiormente para el transporte de material granular. Pueden hacerse también para transportar líquidos o elementos congelados.

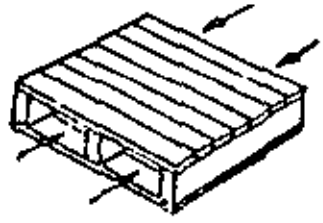
En la práctica, estas formas elementales adquieren diferentes configuraciones para servir a propósitos específicos. En algunos modelos, las paredes son desmontables o plegadizas a efectos de disminuir el espacio ocupado cuando están vacíos.

... //

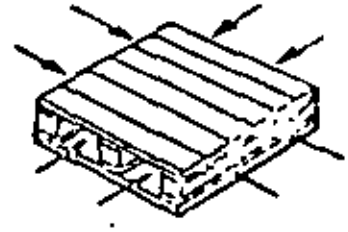
Simple cubierta



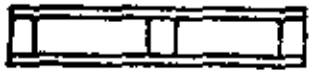
Doble cubierta



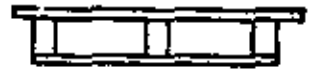
De dos entradas



De cuatro entradas

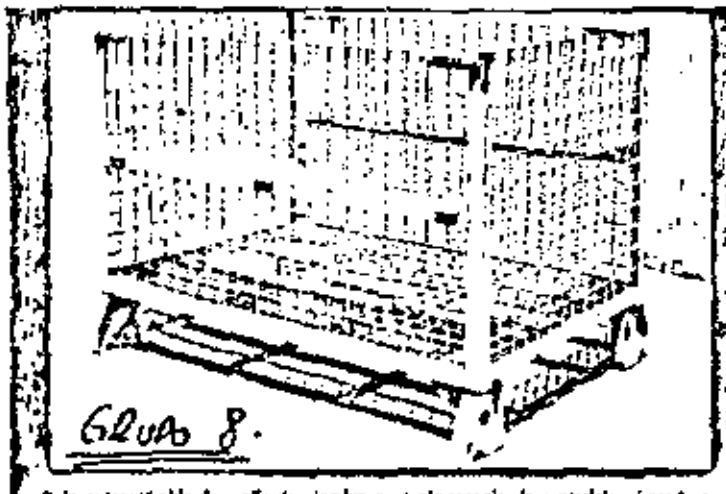


Sin aletas

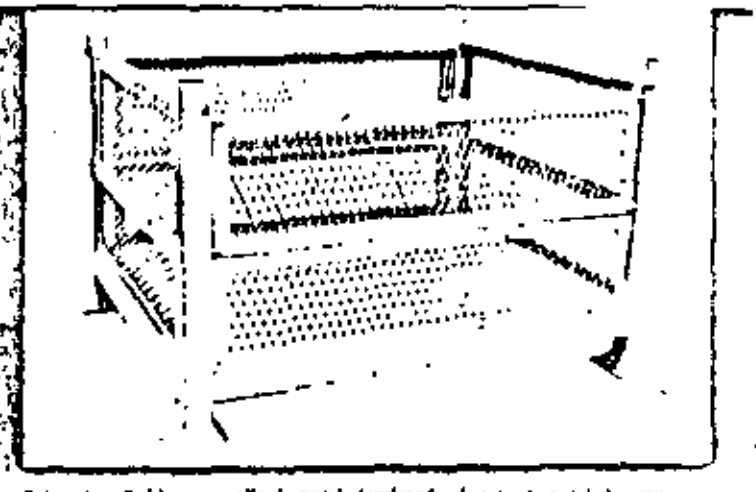


Con aletas simples

Con aletas dobles



Caja estacionable de malla de alambre para almacenaje de materiales ó productos a granel. Por la ventaja de poderse estibar unas sobre otras, se logran mayores áreas aprovechables, ahorrando espacios horizontalmente. Se pueden acumular de 4 a 5 estibas, dependiendo de la altura de elevación de su montacargas. En uso en Thompson Ramco, S. A. de C. V.



Caja estacionable con malla de metal desplegado, de estructura tubular con una compuerta para operaciones de carga y descarga. Se pueden acumular de 4 a 5 estibas, dependiendo de la altura de elevación de su montacargas. En uso en Massey Ferguson de México, S. A. de C. V.

PALETIZADORES : Son máquinas destinadas a hacer pilas de productos que, generalmente, vienen en cajas, como son cerveza, productos alimenticios o también bolsas de cemento, Etc. La máquina recibe cajas individualmente y las acomoda sobre una plataforma o pallet de acuerdo a un patrón predeterminado, en el número de capas requerido. El pallet se monta generalmente sobre un pistón hidráulico. Las cajas se alimentan a la parte superior de la máquina y van descargando sobre el pallet que hace bajar el pistón.

Cédulas fotoeléctricas cuentan el número de cajas y determinar orientación.

La carga completa es automáticamente descargada de la máquina. En la mayoría de los casos el pallet cargado es tomado por un montacargas.

Ejemplo de patrones que pueden hacer un paletizador a efectos de aprovechar óptimamente la superficie del pallet. (ver página No. 101).

Seguridad en el manejo de materiales .—Este tema lo vemos, pues muchos ingenieros industriales, por causas no muy claras, son nombrados Jefes de Seguridad.

La seguridad en el manejo de materiales depende de las mismas normas y -

principios que los programas de seguridad en general. Los accidentes son de dos tipos principales :

a). Debido a condiciones inseguras.

b). Provocados por actos personales.

Las causas principales de las primeras son :

1.- Defensas inseguras.

2.- Diseño o construcción inseguro.

3.- Iluminación deficiente.

4.- Ventilación deficiente.

5.- Ropas inadecuadas.

6.- Herramental no apropiado

7.- Pisos en mal estado, Etc.

En cuanto a los actos personales que pueden provocar accidente pueden mencionarse :

1.- Operar equipos sin autorización.

2.- Trabajar con un equipo a velocidad peligrosa.

3.- Usar manos en vez de herramientas.

4.- Trabar dispositivos de seguridad de los equipos.

5.- Distracciones, bromas, Etc.

6.- No utilizar dispositivos de seguridad (anteojos, guantes, Etc.)

Con referencia a equipos específicos, los fabricantes proveen de normas e Instrucciones para su operación. Como ejemplo de normas para vehículos industriales motorizados, podemos mencionar :

1.- Mantenga su carga lo más bajo posible estando en movimiento.

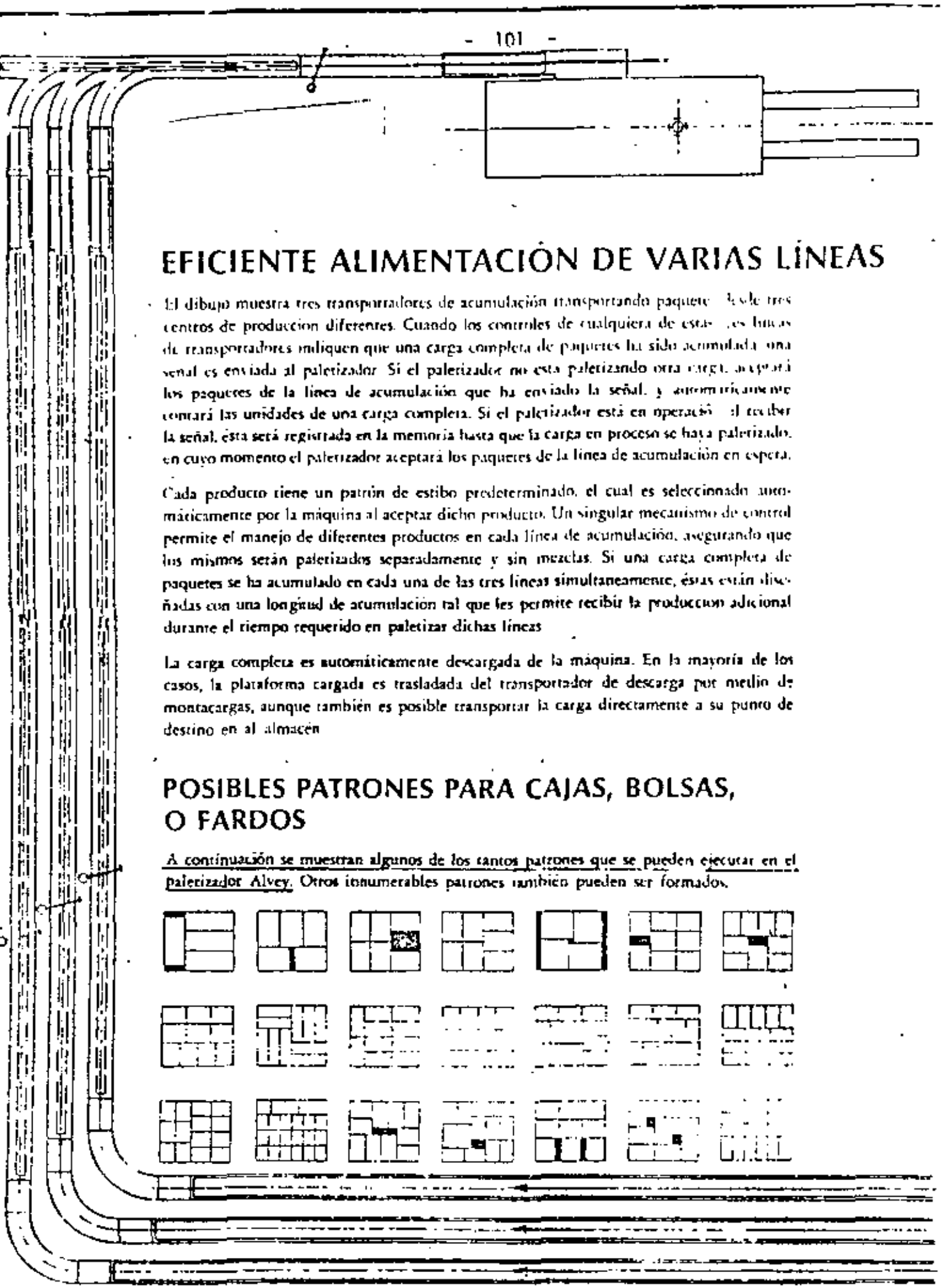
2.- Evite arranques o paradas bruscas.

3.- Disminuya su velocidad al acercarse a puntos peligrosos.

4.- Informe de pisos sucios.

5.- Asegúrese de levantar toda la carga.

6.- Use el claxón, Etc.



EFICIENTE ALIMENTACIÓN DE VARIAS LÍNEAS

El dibujo muestra tres transportadores de acumulación transportando paquetes desde tres centros de producción diferentes. Cuando los controles de cualquiera de estas líneas de transportadores indiquen que una carga completa de paquetes ha sido acumulada, una señal es enviada al paletizador. Si el paletizador no está paletizando otra carga, aceptará los paquetes de la línea de acumulación que ha enviado la señal, y automáticamente contará las unidades de una carga completa. Si el paletizador está en operación al recibir la señal, ésta será registrada en la memoria hasta que la carga en proceso se haya paletizado, en cuyo momento el paletizador aceptará los paquetes de la línea de acumulación en espera.

Cada producto tiene un patrón de estibo predeterminado, el cual es seleccionado automáticamente por la máquina al aceptar dicho producto. Un singular mecanismo de control permite el manejo de diferentes productos en cada línea de acumulación, asegurando que los mismos serán paletizados separadamente y sin mezclas. Si una carga completa de paquetes se ha acumulado en cada una de las tres líneas simultaneamente, éstas están diseñadas con una longitud de acumulación tal que les permite recibir la producción adicional durante el tiempo requerido en paletizar dichas líneas.

La carga completa es automáticamente descargada de la máquina. En la mayoría de los casos, la plataforma cargada es trasladada del transportador de descarga por medio de montacargas, aunque también es posible transportar la carga directamente a su punto de destino en al almacén.

POSIBLES PATRONES PARA CAJAS, BOLSAS, O FARDOS

A continuación se muestran algunos de los tantos patrones que se pueden ejecutar en el paletizador Alvey. Otros innumerables patrones también pueden ser formados.

ANALISIS ECONOMICO : En el mejoramiento del manipuleo de materiales - pueden identificarse tres formas bien definidas :

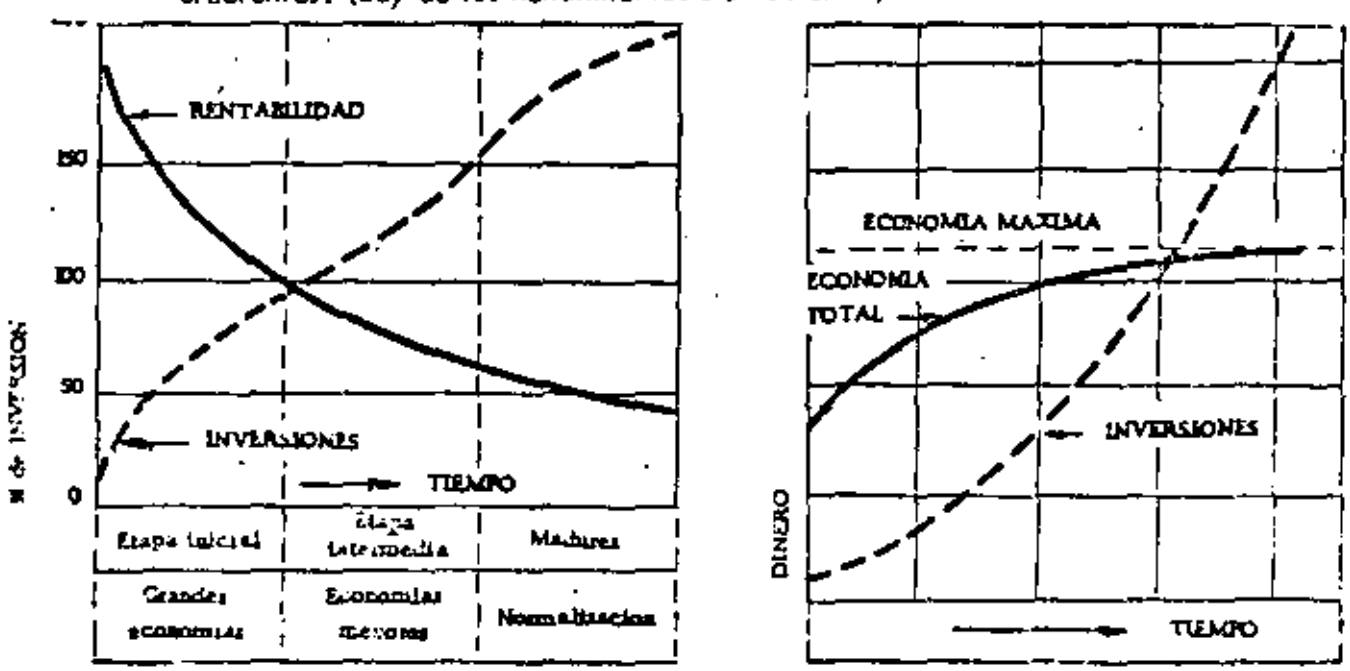
1.- Etapa Inicial.

2.- Etapa Intermedia.

3.- Madurez.

Por supuesto que las líneas de división no son precisas.

En la primera etapa hay gran receptibilidad por parte de la dirección. Cambios muy simples pueden producir economías muy grandes. A medida que el programa avanza, se van estableciendo mayores metas de rentabilidad lo -- cual en general no se verifica, pues se llega al límite de los rendimientos decrecientes. (Ley de los Rendimientos Decrecientes).



La etapa inicial de gran desarrollo y rentabilidad, llega a agotarse y el programa entra en una faz intermedia en la cual los Ingenieros Industriales de-

... //

dican mayor tiempo para obtener menores resultados siendo sus proyectos más detallados.

Al llegar a la etapa de madurez, los cambios son más limitados y específicos. En esta etapa la atención de los especialistas se centra en la normalización de equipos y métodos, mejorar el mantenimiento y las condiciones de seguridad. Es decir que todo el programa llega a límites de refinamiento, de investigación de nuevas técnicas y la incorporación de los últimos adelantos. En todas las etapas, pero especialmente en la última es indispensable contar con un método uniforme, simple y confiable para que la Dirección pueda realizar las propuestas económicas. Se puede aplicar el método que veremos en selección de maquinaria en el cual se calculaban los costos totales anuales para las alternativas. Suele disponerse también de formularios impresos como el de la figura.

ANALISIS DEL COSTO ANUAL PARA EQUIPOS DE MANEJO DE MATERIALES

Basado en _____ dias habiles

C O N C E P T O	Metodo A			Metodo B			Metodo C		
	8	16	24	8	16	24	8	16	24 *
INVERSIONES									
Precio de compra del equipo									
Gastos de instalacion									
Cambios en instalaciones existentes									
Flete									
Trabajos de adaptacion									
Varios									
TOTAL DE INVERSIONES									
GASTOS FIJOS									
Depreciación (___ años)									
Intereses (___ %)									
Seguros									
Impuestos									
Supervisión									
Gastos administrativos									
Personal de mantenimiento									
Otros gastos									
TOTAL GASTOS FIJOS									
GASTOS VARIABLES									
Operarios									
Electricidad y/combustibles									
Lubricantes									
M.d.o. de mantenimiento									
Repuestos									
Otros gastos									
TOTAL GASTOS VARIABLES									
TOTAL GASTOS ANUALES									

* Horas diarias de utilizacion

UNIDADES MAG (Adaptado del Sistematic Layout Planning de Richard Muther).

En producciones diversificadas, que impliquen una apreciable variedad de materiales a transportar ni el peso ni el volumen pueden usarse como magnitudes para mediciones con fines comparativos. Por este motivo y a fin de poder realizar el planeamiento global de una disposición, antes de establecer métodos y -- equipos de movimiento de materiales, se ha introducido la unidad denominada - MAG, que mide la transportabilidad de diferentes materiales.

El concepto y la aplicación de la unidad MAG, tiene sus limitaciones y puede esperarse del sistema una precisión del orden del 20%. No está basado - en investigación Científica sino que fue desarrollado en base a la experiencia - de especialistas en Lay Out y Movimiento de Materiales.

Los diferentes factores que afectan la facilidad o dificultad del transporte pueden reducirse básicamente a los ó siguientes :

A. Tamaño del elemento.

B. Densidad o estado de agregación.

C. Forma.

D. Riesgo de daño al material, personal o equipos.

E. Condiciones del elemento (limpio, aceitoso, Etc.)

F. Costo (Incluído sólo en algunos casos).

... //

El peso no se incluye porque para un material dado, es proporcional al tamaño y además indicamos la densidad o estado de agregación.

El sistema que aplica la unidad MAG establece un valor básico para el tamaño, que se incremente o reduce luego, según valores que tienen en cuenta los factores mencionados anteriormente. Por definición un MAG es igual a una pieza de material que reune las siguientes condiciones.

1.- Puede tenerse cómodamente en una mano.

2.- Es razonablemente sólido.

3.- Es de forma compacta y puede apilarse.

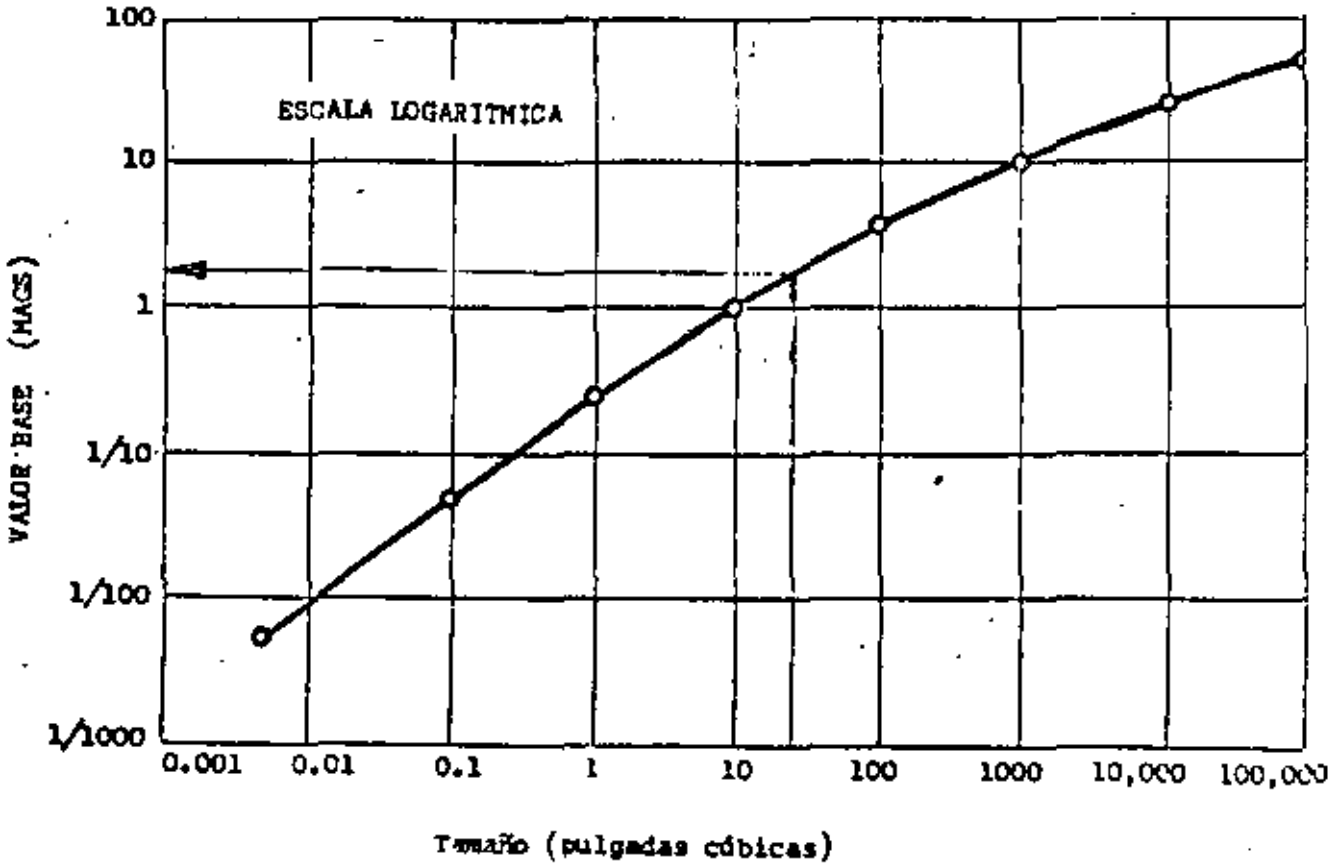
4.- Poco susceptible de ser dañado.

5.- Es razonablemente limpio, firme y estable.

Un ejemplo típico de 1 MAG es un cubo de madera seca de 10 pulgadas cúbicas de volumen.

Sobre esta base, una cajetilla de cigarros es 1/2 MAG, Etc. Para el factor A, existe un gráfico en escala logarítmica.

...//



Puede consultarse en el libro de Richard Muther. Se observa que el valor base, no es directamente proporcional al volumen, dado que es relativamente más fácil transportar un material a medida que el volumen aumenta.

Al medir el volumen para usar este gráfico, debe tomarse las dimensiones exteriores y no restar los contornos irregulares o cavidades.

Para cualquier elemento, el número de MAGS, se calcula por la fórmula :

$$MAGS = A + 0.25A\ (B + C + D + E + F)$$

Los valores B, C, D, E, se encuentran tabulados. El factor F, no se incluye en la tabla dado que en general no lleva variaciones de transportabilidad dentro de la fábrica. No obstante si la situación requiriese considerarlo, bastaría -- con fijarse un valor cero y desarrollar la escala.

Cuando se transportan elementos planos en una pila, la unidad es la pila y

no la pieza individual. Entonces se aplicarán los seis factores a la pila : debe notarse que la cantidad de MAGS puede variar mucho de una operación a la otra a pesar de que la cantidad de material no lo haga, como en operaciones de pintura, estampado, Etc.

Ejemplo : A fin de planear una nueva disposición de talleres metalúrgicos, se trató de establecer, entre otras cosas, la intensidad de movimiento de materiales. Uno de los productos, es un tapón para ruedas de automóviles. El análisis del producto es :

Def: Tapón metálico de 12 cúbicas de volumen.

Operaciones :

1.- Corte de lámina en tiras. 2.- Estampado en prensa.

3.- Recorte. 4.- Baños galvánicos.

Producción : 200,000 piezas/año.

Determinar el número de MAGS para el movimiento de estampado a recortado (op. 2 a 3).

Del gráfico, entrando con 12 pulgadas cúbicas, obtenemos A = 3.

De la tabla : B = - 2 C = - 1 D = 0 E = + 1

MAGS = A + 0.25 A (B + C + D + E)

= 3 + (0.25) (3) (-2 - 1 + 1) = 3 - 1.5 = 1.5 MAGS/pza.

= 1.5 M/pieza y 200,000 piezas año.

Intensidad de movimiento :

= 300 000 MAGS/año.

...//

UNIDAD 4GE.

GRADO	B. DENSIDAD	C. FORMA	D. RIESGO	E. CONDICION
-3	-------	Muy delgado y apilable o completamente anidable (lámina de hierro, hojas de papel, madera terciada)	----------	----------
-2	Muy liviano y vacío (láminas metálicas voluminosas)	Fácilmente apilable o anidable (Bloque de papel, cacerola)	No susceptible a ningún riesgo (Chatarra)	---------
-1	Liviano y voluminoso (Cartón corrugado plegado)	Bastante apilable o ligeramente apilable (Libro, tapón)	Susceptible a muy escaso riesgo (Fundición compacta)	---------
0	Razonablemente sólido (Bloque de madera seca)	Básicamente cúbico y apilable (Bloque de madera)	Ligeramente susceptible a algún daño (Madera cortada a medida)	Limpio, firme y estable (Bloque de madera)
+1	Bastante pesado y denso (Fundición gris con cavidades)	Largo, redondo o algo irregular (Bolsa de cereal, barra corta)	Susceptible de daño por aplastamiento, rotura o raspadura (Piezas pintadas)	Aceitoso, resbaloso, inestable o incómodo de tomar (Virutas aceitadas)
+2	Pesado y denso (Fundición sólida)	Muy largo, esférico o irregular (Teléfono)	Muy susceptible a daño (Tubo de TV)	Cubierto de grasa, caliente, resbaloso o difícil de tomar
+3	Muy pesado y denso (Plomo, matriz metálica)	Muy largo, curvado, o muy irregular (Viga de acero larga)	Altamente susceptible a daños (cristales de vidriera)	(Superficies con adhesivos frescos)
+4	------	Muy largo, muy curvado o particularmente irregular (Estructura de tubos, silla de madera)	Altamente susceptible a grandes daños (Acidos en vidrio, explosivos, material radioactivo)	(Acero fundido)

LA GERENCIA DE MATERIALES.

Controlar existencias y movimientos de materiales con miras a su eficiencia global, ha sido de particular interés en las grandes compañías, y adquirió jerarquía científica, con la introducción de la Investigación de Operaciones y el Procesamiento Electrónico de datos. Con relación a esas actividades, una interesante innovación se ha registrado en los últimos años. Se trata de la Gerencia de Materiales, una nueva función básica, cuyo objetivo es incrementar la rentabilidad de los capitales invertidos en materia prima, artículos en proceso y productos terminados.

Tradicionalmente la administración de materiales es confiada en forma fragmentada a diferentes áreas de la empresa, que separadamente los controlan en cantidad y calidad, organizan sus movimientos y almacenajes, Etc.

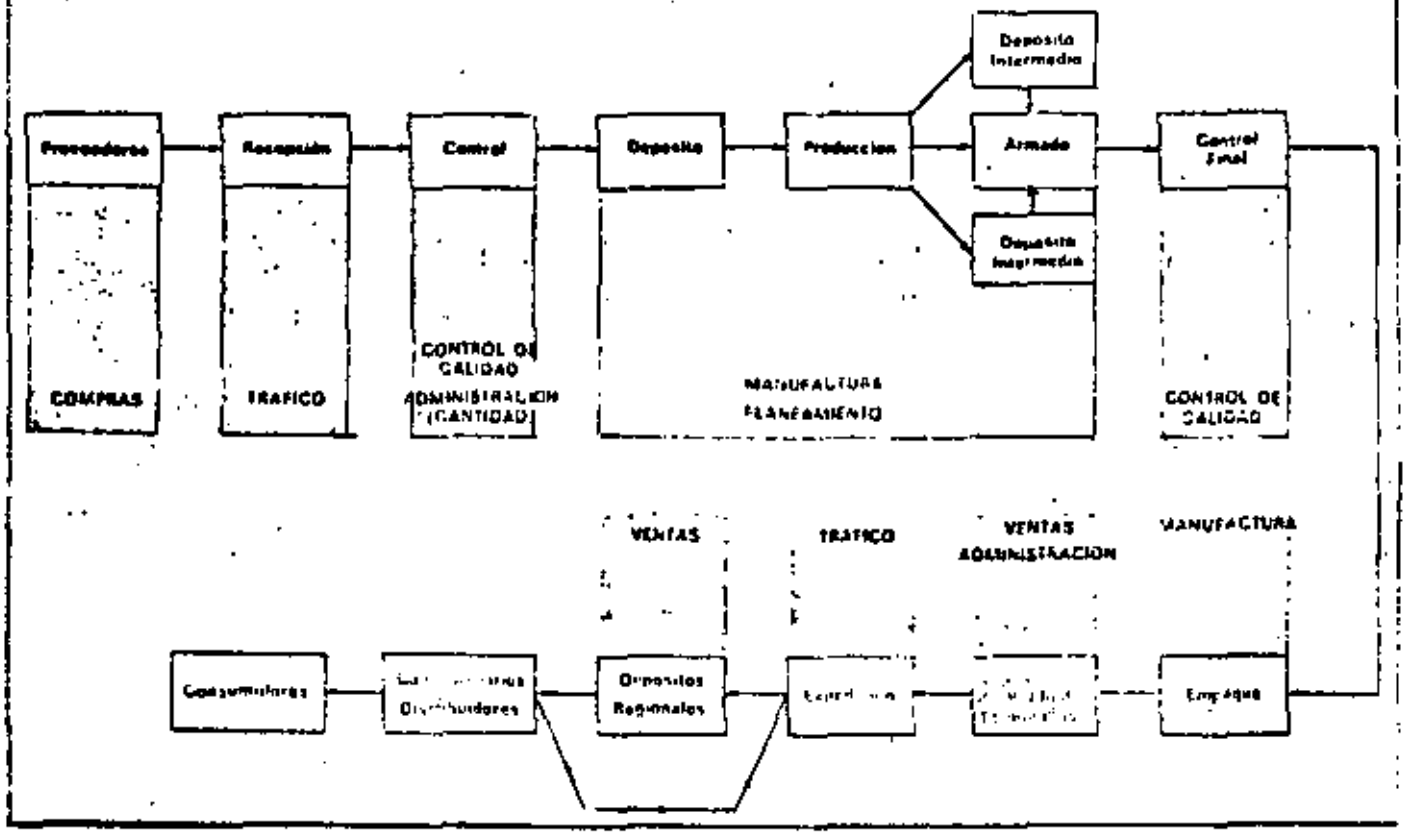
La Gerencia de Materiales, en cambio, centraliza las subfunciones y personas que planean, programan, compran y controlan materiales desde la provisión de materia prima hasta su distribución física, bajo la autoridad y responsabilidad de un ejecutivo que actúa al mismo nivel que los gerentes de producción, compras, ventas, Etc.

Ejemplo : Si se considera el desplazamiento de los materiales y las responsabilidades pertinentes en una empresa integrada de producción y distribución, tendríamos un esquema como el siguiente :

A7.- 111

Figura 1

DESPLAZAMIENTO DE MATERIALES
EN UNA EMPRESA DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION



Se observa que la responsabilidad sobre los materiales y sus costos asociados, está dividido en varios departamentos sin la suficiente coordinación sobre la rentabilidad total. Dado la diversidad de funciones, sub-funciones y Departamentos de la Empresa que pueden tomar decisiones, que afectan el movimiento de materiales, es necesario CONCENTRAR la responsabilidad y autoridad bajo un gerente único que puede planear, ejecutar y controlar las operaciones en su totalidad, independientemente de los intereses particulares de áreas específicas.

ASPECTOS ECONOMICOS. Dado el peso decisivo que sobre los costos del producto terminado, y el costo de inventarios, tienen los materiales, se considera actualmente, que el capital inmovilizado en ellos, debe ser objeto de un

...//

análisis científico.

El control de inventarios, consiste en mantener los lotes óptimos que resulten de la aplicación de la Investigación de Operaciones, estableciendo -- los límites económicos para órdenes de compra, transporte, producción y de-- pósitos.

Una de las primeras empresas que concretó la idea de la Gerencia de Materiales fue la GOODYEAR TIRE AND RUBBER Co. que hizo una descripción - de 5 puntos principales para la función :

1.- Asumir plena responsabilidad por toda la inversión en materiales a fin de satisfacer a ventas sin ser dominado por él.

2.- Coordinar con producción los lotes económicos que impidan inventarios inaceptables.

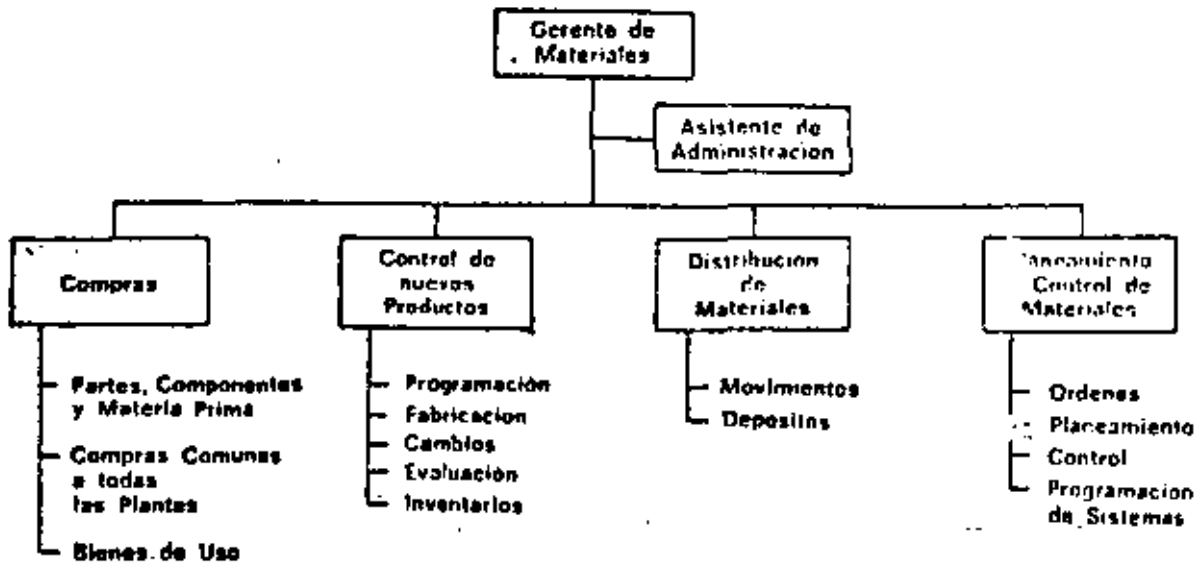
3.- Implementar las directivas financieras con respecto a los inventa-- rios.

4.- Preparar pronósticos a corto plazo para control de Producción e inventarios.

5.- Considerar todos los factores estacionales y de obsolescencia refe-- rentes a los productos de la Empresa.

Posteriormente la IBM hizo una exposición más detallada de la función. - Su organigrama toma la siguiente forma :

Figura 3 LA GERENCIA DE MATERIALES EN LA DATA SYSTEM DE IBM



La oficina de movimientos cubre desde la recepción hasta la expedición y distribución geográfica.

Publican una serie de resultados con este organigrama :

1.- Rotación de materiales en proceso : Aumento 55% del 60/62.

2.- Demoras en despacho de máquinas : NINGUNA.

3.- Ordenes de compra procesadas por día/hombre : Aumento 16%.

4.- Se ampliaron las metas fijadas en compras.

Otras empresas como CHAMPION, ALLIS CHALMERS, RCA, muestran cifras cuyo promedio es :

Reducción de Inventarios : 40%

Productividad por hombre : Aumento 28%

Rotación de Inversiones : Aumento 50%

... //

TECNICAS UTILIZADAS. Aparte del cambio que se produce en la organización formal, la Gerencia de Materiales no implica ninguna novedad ya que su dinámica participa de la aplicación de técnicas conocidas y que han sido gradualmente convalidadas con la experiencia y la práctica industrial.

Dado que el campo es muy amplio, muchas son las técnicas, de eficiencia y organización que pueden aplicarse.

Dentro de ellas mencionaremos :

1o. Para Inventarios — Regla 20/80, ABC, Lote Económico.
Lo que entra primero sale primero.
Lo que entra primero sale último, Etc.

2o. Costos de movimientos y almacenaje

Estudios de tiempos y métodos.
Muestreos
Programación Lineal.

3o. Análisis y Comunicaciones.

Estadísti. a, Inv. de Operaciones, (colas, Etc..).- Análisis Marginal.

Computación, Etc.

...//

CRITERIOS EUROPEOS

Algunas empresas han aceptado la idea de la Gerencia de materiales, aunque no todas aceptan sus consecuencias estructurales. En general se ha tratado de desarrollar y centralizar funcionalmente los aspectos tecnológicos relativos al movimiento y almacenaje de materiales más que a promover una integración económico financiera del control de los materiales. El criterio general en Europa parte de una definición de objetivos un poco diversa a la norteamericana : se considera como meta de la gerencia de materiales la reducción de costos en la recepción, almacenaje y movimiento de materiales durante el proceso y expedición. Se excluyen en casi todos los casos las actividades de compras y programación.

Iniciación de un Programa.

Dado que una reestructuración con vista a la administración integral de los materiales exige una redistribución de funciones y personas, no puede iniciarse fácilmente desde niveles inferiores de la organización. En las empresas que lo han experimentado en los últimos años, la nueva función ha debido contar con el apoyo firme de la dirección y fueron gradualmente afectando a los gerentes.

Un punto clave del nuevo esquema es la selección del ejecutivo máximo que ha de dirigirlo. De acuerdo a la experiencia, no hay una especialidad que habilite más que las otras. Hay en la actualidad gerentes de materiales que anteriormente se desempeñaban en compras, ingeniería, administración, Etc.

No obstante, y dado el nivel en que actuará, es evidente que la persona seleccionada además de ser un ejecutivo capaz, con relevantes condiciones de organización, deberá poseer experiencia o haber recibido instrucción en los siguientes campos :

1.- Movimientos de materiales.

2.- Programación y control de la producción.

3.- Compras y control de inventarios.

4.- Control de calidad.

5.- Conocimientos básicos de Ingeniería Industrial y Procesamiento -- Electrónico de datos.

Posibilidades en México. Si bien cada caso en particular indicará en qué medida las empresas puedan asimilar las experiencias extranjeras, podemos afirmar que, en general, una estructura tal como la tratada puede brindar a las empresas mexicanas considerables ventajas. Es de hacer notar, que el solo hecho de dibujar un organigrama no basta, y que los beneficios económicos financieros han de ser consecuencia de la aplicación inteligente de las técnicas de administración.

Se observa sobre todo en fábricas medianas y chicas que este tema se halla muy descuidado. La causa más frecuente es la falta de análisis por desconocimiento de las técnicas y la idea infundada de que toda racionalización exige grandes inversiones.

... "

En las empresas grandes que cuentan con una sólida infraestructura económica y humana, el cambio de estructura hacia la gerencia de materiales debe repetir las experiencias de las empresas norteamericanas con probabilidades de obtener importantes beneficios.

Bibliografía sobre Mov. de Materiales.

1.- Immer. Movimiento de Materiales.

2.- Material Handling Handbook. (The Ronald Press Co.)

3.- Apple James M. Material Handling System Design, Ronald, 1972.

4.- Maynard, H.B., "Industrial Engineering Handbook", Mc Graw Hill.

Relación de Alumnos del curso: " PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION" 1980.

Empresa	Domicilio Particular
1. Rubén Alcántar González Industrias Xorográficas S A Juan Fdz. Albarrán 41 Tlalnepantla, Edo. de Méx. Tel. 392 04 88	Convento Tepozotlan 53 Los Reyes, Iztacala Tlalnepantla, Edo. de Méx.
2. Felipe Alonso Toledo Roder S.A. Gmo. Barroso 14 Fracc Ind Armas Tlalnepantla, Edo de Méx. Tel.572.75.66	Coquimbo 709-1 Lindavista Z P 14
3. Sergio Arrieto Díaz Trigo Industrializado Conasupo Triconsa Eduardo Molina 1720 México 14, D.F. Tel. 577.36.00	Calle 51 No. 41 Ignacio Zaragoza México 9, D.F. Tel. 7.62.05.38
4. Marco Aurelio Contreras Industrias Unidas S.A. Ote. 171 No.292 Inguaran Aragón México DF Tel.760.60.00	Huichapan 23 Col Michoacán México DF Tel.526.67.70
5. Marcelino Cortés Macías SHCP Lorenzo Bouturini 52 1° México 1 DF Tel 578 78 96	Mar Cantábrico 26 B 9 México 17 D.F. Tel. 399 85 10
6. Ludovico Dávila Aguilera SHCP Lorenzo Boturini 52 1° México 8 DF Tel. 588 49 08	Valle Sn Juan 45 Valle de Aragón Edo de Méx.
7. Germán Díaz Pico SHCP Dir Gral de Recaudación Izazága 89 11° México 1 DF Tel 585 12 25	Av Damián Carmona 60 Lomas Avila Camacho México 10 DF Te 589 54 23

8	Margarita de Coreaga. Luminarios Especiales S A de C V. Olmeca 9 Parque Ind Naucalpan Edo de Méx. Tel 358 28 91	Fresnos 76 Palo Alto Z P 10 Tel 570 38 88
9	Jaime Fernández Lozano Deiman S A de C V Acatl 320 Fracc Ind Sn Antonio Tel 561 42 00	Colina de la Quebrada 89 Col Boulevares Naucalpan Edo de Méx. Tel. 60 72 59
10	Santiago García Meza SHCP Lorenzo Boturini 52 1° México 8 D F Tel 588 49 08	Rép de Brasil 82-302 México 1 DF Tel 526 22 94
11	José Roque García Olivo Industrias Xerográficas S A de CV Juan Fdz Albarrán 42 Sn Pablo Xalpa Tlalnepantla Edo de Méx. Tel. 392 04 88	Oaxaca 65 Valle Ceylán Tlalnepantla Edo de Méx. Tel 565 89 97
12	Gustavo M González Gutiérrez Resortes y Partes S A Guizar y Valencia 14 Naucalpan Edo de Méx. Tel 576 22 95	Edif 18 A 202 U . Cuitlahuac Z P 16 Tel 556 04 97
13	Benjamín González Jiménez Grupo Técnico S A Río Becerra 26 Sn Pedro de los Pinos 19 Z P 19 Tel 2 77 05 22	Acueducto de Zempoala Lote 73 Mza 128 Col Vista del Valle Edo de Méx. Tel. 561 56 26
14	Daniel Hernández Espinosa C-1, Gpe. Mgña L t-11 Mzana VII, Sup. Mzna. VII UV. Guerrero Z. P 13 Tel 691 76 57	
15	Ignacio Hernández Velázquez SHCP Izazága 89 México 1 DF Tel. 585 12 25	Sur 112 # 54 COVE Z P 18 Tel 5 15 67 20

15	Felipe Mena Gómez Consorcio Industrial, S.A. Km 1.8 Carr Tlalnepantla a Cuaucitlán Edo de México Tel 565. 02 55	Turquesa 61 Col Estrella Z P 14 Tel 537 47 96
16	Luis Mendoza Morales Laboratorios Scheramex S A de CV 16 de Sep # 350 México 22 D F Tel. 676 30 11	
17	Regina Mintz UNAM México 20 D F	F. Villanueva 97 A Gpe. Inn México 20 D F Tel 651 22 40
18	Francisco Morales Monzón Cocoas y Chocolates la Corona SA Nicolás Bravo 16 México 8 DF Tel 552 88 33	Nattier 26 Depto 1 Ins. Mixcoac México 19 D F Tel 598 57 25
19	Julio A. Montier Avila SHCP Lorenzo Boturini 52 1° México 8 D F Tel .578. 78 96	Edif 58-302 Rinconada del Sur ZP 23
20	Luis Antonio Peredo Coss Industrias Xorográficas S A Av Industria 43 Sn Pablo Xalpa Edo. de Méx Tel 392 04 88	Bosque 117 Col Los Pastores Edo de Méx Tel 393 17 47
21	Juan Quintero Gutiérrez Industrias Xoroggráficas SA Juan Fdz Albarrán 43 Sn Pablo Xalpa Edo de Méx. Tel. 392 04. 88	Mar Blanco 30 Col Popotla ZP 17 Tel 527 44 73

22	Víctor A Ramos Juárez Scheremex SA 16 de Sep 350 Xochimilco ZP 22 Tel 676 30 11	La Gavita And 15 # 38-2 Villa Coapa ZP 22 Tel 594 13 30
23	José Luis Reyes López Laboratorios Vidar SA Cefeo 70 ZP 13 Tel 582 63 43	Edif 5 # 104 Villa Coapa ZP 22
24	Gabriela Melina Rodríguez Silva Cía Mex Aerofoto 11 de Abril 338 México 18 DF Tel 516 07 40	Teotihuacán 20 Hipódromo C. ZP 11 Tel 574 05 75
25	Ernesto Ruiz Vega Shatterproof de Méx SA Pte 116 # 611 Ind Vallejo ZP 15 Tel 567 25 66 Ext 45	Cumbres de Maltrata 310 ZP 12 Tel 519 71 00
26	A Carlos Saldivar Cruz Industrias Xorográficas SA Juan Fdz Albarrán 41 Sn Pablo Xalpa Edo de Méx. Tel. 392. 04 88	Edif 10-4-1302 Tlaltelolco ZP 3 Tel 597 47 02 .
27	Rubén Salyano Jaramillo Montidison Farmacéuticos SA Av M A de Quevedo 555 ZP 21 Tel 554 12 11	Av de los Maestros 600 Nva. Sta Ma ZP 16 Tel 556 42 14
28	Julio Torres de la Vega Dir. Gral de Dragado Av B California 255 México DF Tel 574 43 47	Roque Velasco 33 Col Cirsto Rey ZP 18 Tel 277 22 43
29	José Luis Torres Fuentes Muelles Imex SA Prol Ciprés 3998 Col Arenal México D.F Tel 355 30 55	Elsa 187-5 Gpe Tepeyac México 14 DF Tel 517 37 06

30 Ernesto Valderrama Tapia
Chysler de Méx SA
Lago Alberto 320
ZP 17
Tel 250 99 88

Fernández Leal 137-5
Coyoacán
ZP 21
Tel 554 45 75

31 José María Valdez López
Comercial Rocaly SA
Guerrero y Estrella 107
Z P 3
Tel 5 29 58 19

Nte 67 # 2941 - 3
O. Popular
ZP 16
Tel 5 56 24 32

32 José Antonio Vega Rangel
PEMEX
Marina Nal 329
ZP 17
Tel 5 31 57 56

Ignacio Mariscal 119 - 6
Col Tabacalera
ZP 1
Tel 5 66 31 62

33 Víctor Manuel Villarreal Arroyo
Mexicana de Bienes de Capital
Juan de la Barrera 2
Tlalnepantla, Edo de Méx.
Tel 565 60 22

Cerro de Chapultepec 21
Pirules Edo de Méx.
Tel 379 87 46

34 Benito Jesús Villegas Serrano
Calzada Sn Mateo 57
Sn Lorenzo Tepatitlán
Toluca, Méx.
Tel 4 30 00