UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS
POSGRADO

TECNICAS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES EN LA PLANEACION DE LA CAPACIDAD DE PLANTA

TESIS DE MAESTRIA EN
INVESTIGACION DE OPERACIONES
QUE PRESENTA:

ING. ENRIQUE GALVAN AREVALO

México, D.F. 1991

TECNICAS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

EN LA PLANEACION DE LA CAPACIDAD DE PLANTA

INDICE

PROLOGO

Desde su inicio la civilización ha requerido de "tomar decisiones" para su supervivencia y para el desarrollo de las organizaciones, la creciente complejidad actual de las organizaciones sociales, politicas y económicas ha aumentado la necesidad de correctas y oportunas decisiones.

Una de estas decisiones es la asignación a las diferentes actividades de los recursos disponibles de una manera eficaz y óptima. La planeación con modelos lógicos y matemáticos pueden ayudar en su determinación.

Esta planeación con modelos lógicos y matemáticos suministrará información alternativa, predictiva, de optimación y de control además de lo tradicional que es el elaborar informes y métodos para el mantenimiento de registros históricos y satisfacer las necesidades operativos y gubernamentales.

Se puede tomar decisiones sin método alguno, pero en la mayoría de los casos estas serán imprecisas, es por ello que existen en la actualidad gran variedad de herramientas que permiten incrementar la probabilidad de tomar correctas decisiones, como son: Los sistemas de información, la ingeniería de sistemas, los métodos estadísticos, la evaluación económica, la ingeniería industrial, la investigación de operaciones, etc.. Una de las razones por las que estas herramientas no se utilizan con frecuencia en la realidad es el desconocimiento de los beneficios que proporcionan y la otra es el desconocimiento de la metodología para su aplicación.

El objetivo de esta tesis es mostrar, al lector desconocedor de la Investigación de operaciones, los beneficios que pueden tener el aplicar algunas de sus técnicas y explicar en, forma sencilla, su metodología.

Para lograr este objetivo se pudieron haber utilizado cualquiera de las muchas aplicaciones que tiene la investigación de operaciones en la toma de decisiones en las organizaciones modernas, sin embargo se eligió la "planeación de la capacidad" por ser una de las primeras decisiones necesarias en la creación y operación de las organizaciones y por que se pueden construir infinidad de modelos matemáticos sencillos de mucha utilidad didáctica.

El primer modelo utilizado es el de PUNTO DE EQUILIBRIO: Modelo sumamente sencillo que permite determinar la cantidad mínima a fabricar para poder tener utilidades, utilizando para ello pocos datos, como son los costos fijos, los variables y el ingreso por ventas.

Sin embargo, podría suceder que la cantidad mínima a fabricar para compensar los costos no se pudiese vender, esto significa que es necesario investigar la demanda del mercado. Por ello, el segundo tema que se analiza es el de PRONOSTICOS DE DEMANDA

La mayoría de las organizaciones no producen un solo producto o servicio, se deberá entonces, además de conocer las demandas posibles de venta, determinar las cantidades que se deben de fabricar de cada uno de ellos para que a la vez de que alcancen los recurso de obtenga la mayor utilidad. En el capítulo III se resuelve este problema con ayuda de la PROGRAMACION LINEAL. Aunque, la programación lineal es la más versátil de las técnica de Investigación de operaciones, aqui sólo se muestra una de sus aplicaciones, la mezcla de productos.

Las técnicas tratadas en capítulos anteriores utilizan básicamente un modelo matemático donde el comportamiento de las variables es determinístico. En el capítulo IV, SIMULACION MONTECARLO, se trata con modelos lógico-matemáticos y variables de comportamiento aleatorio, con esta técnica se determinó la cantidad de máquinas de producción variable necesarias para satisfacer una demanda dada.

Cuando se requiere tomar varias decisiones a través del tiempo, no sólo una como el ejemplo de los capitulos anteriores, y que la siguiente decisión dependerá del como responde la naturaleza a la decisión anterior, se utiliza TEORIA DE DECISIONES. Esta técnica se utilizó para contestar a dos preguntas básicas: ¿qué fabricar y a qué precio vender?

Existen muchas otras técnicas de investigación de operaciones que ayudan en la determinación de la capacidad de planta, pero con las aquí mostradas y al nivel en el que se hizo, es suficiente para que el lector quede con una idea más clara de los beneficios de la investigación de operaciones y con lo que es más importante, la inquietud a profundizar más en el estudio de ella.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Planeación de la capacidad de planta

El término planta deberá de entenderse como las instalaciones de un sistema productivo, es decir, será el lugar donde se creen los biene o servicios. En esta tesis se trata el problema de la determinación del tamaño de las instalaciones de una planta manufacturera, pero, lo aqui expuesto fácilmente se puede extender a cualquier otro tipo de plantas.

La planeación de la capacidad de planta se puede apoyar de algunas técnicas de investigación de operaciones como "Pronósticos", modelos de "Punto de Equilibrio", "Programación Lineal", "Simulación", "Teoría de Decisiones", Antes de exponer estas técnicas se aclarará el concepto de capacidad de planta.

Una vez que con la investigación y desarrollo se determinó los productos que se producirán, es necesario planear la capacidad que deberán de tener la planta para satisfacer la demanda del mercado en forma económica.

La capacidad de planta (capacidad instalada) es la máxima producción por unidad de tiempo que se puede obtener de las instalaciones en un momento dado.

La capacidad deberá de ser suficiente para satisfacer no sólo la demanda actual del mercado sino también la futura; para permitir la operación eficiente, y para mantener bajos niveles de costos.

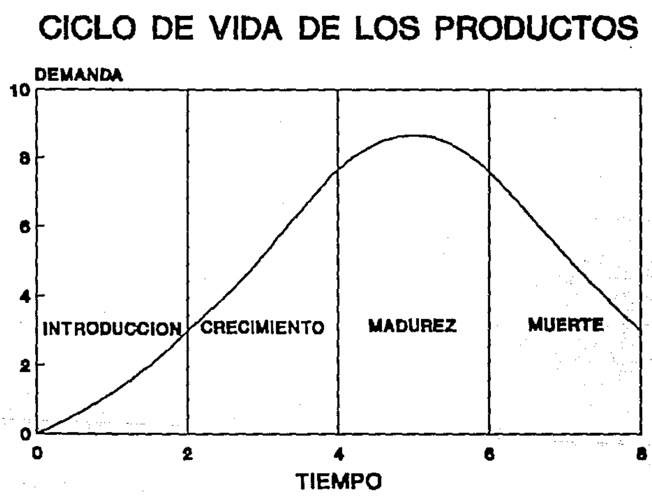
Si la velocidad de producción (tasa de producción) necesaria para satisfacer la demanda actual coincide con la capacidad instalada (o máxima) no se podrá hacer frente al crecimiento del mercado, y además los costos por unidad producida (variables) pueden aumentar debido a: tiempos extras, descomposturas, e ineficiencias en la operación; pero por otro lado, si la tasa de producción necesaria está muy por debajo de la capacidad instalada también crecerán los costos por unidad producida debido a la subutilización.

En la mayoría de los sistemas productivos no se produce un solo artículo, por lo que no es fácil determinar la capacidad que se debe de emplear, ni tampoco el medirla.

El concepto "planeación de la capacidad" involucra: Evaluación de la capacidad existente, estimación de la capacidad necesaria a lo largo del horizonte de planeación, e identificación, evaluación y selección de las alternativas que permitan modificar la capacidad en un momento dado.

La capacidad de planta para un plazo corto (un año, en la mayoría de las empresas manufactureras) es fija, pero es posible lograr algunos ajustes. En sistemas altamente automatizados podrá variarse la capacidad operando los equipos a diferentes velocidades, y en sistemas intensivos en mano de obra se puede lograr lo mismo contratando o despidiendo personal.

En la planeación a largo plazo de la capacidad de planta se tiene como alternativa el cierre de las operaciones, pero, casi siempre antes de reducir la capacidad será preferible buscar nuevos mercados o usos complementarios de nuestro producto y si esto no es posible se deberá de encontrar nuevos usos para la capacidad existentea (a medida que un producto va saturando el mercado, fig 1.1,



ciclo tipico de la vida de los productos
figura 1.1

se debe de iniciar la producción de otros, fig. 1.2.)

Aparte de la expansión y contracción permanente de la capacidad existen alternativas para modificar temporalmente la capacidad éstas son: Tiempos extras, turnos adicionales, contratación y despido de personal, subcontratación y renta de instalaciones, acumulación de inventarios y dilatación en fechas de entrega. También se puede en lugar de ajustar la capacidad de planta a la demanda modificar esta última con ayuda de técnicas de mercadotecnia.

CICLOS DE VIDA DE VARIOS PRODUCTOS

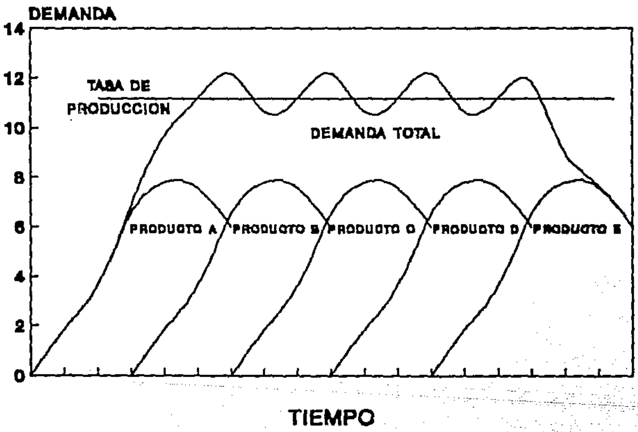


figura 1.2

CAPITULO II

GRAFICA DE PUNTO DE EQUILIBRIO

Una gráfica útil para tomar decisiones sobre la capacidad de planta es la de punto de equilibrio, también conocida como gráfica de costo-volumen-utilidad, en ella se relacionan el volumen de producción contra los costos en los que se incurren (fijos, variables, y totales), visualizando de esta forma los volúmenes en los que se pierde, en los que se tiene utilidad, y en los que ni se gana ni se pierde (punto de equilibrio).

Con la gráfica de punto de equilibrio podemos analizar el efecto que se tendría en las utilidades si variaran los precios, los costos fijos, los costos variables, o el volumen producido (y vendido).

La gráfica de punto de equilibrio se construye dibujando un eje horizontal que representará el volumen ha producir, uno vertical para unidades monetarias y cuatro rectas para representar: los costos fijos, los costos variables, los costos totales (la suma de los dos anteriores) y el ingreso por ventas. Con el cruce de la recta de los costos totales y la del ingreso por ventas obtendremos el punto de equilibrio, es decir, el volumen para el cual ni se pierde ni se gana y el costo total o el ingreso de dicho volumen .

Los diferentes volúmenes posibles de producir se visualizarán en el eje horizontal, y se usará la variable independiente "X" para representarlos, obviamente, solo valores positivos.

Los costos en los que se incurre (mayores o iguales a cero), o los ingresos que se obtienen son anotados en el eje vertical, y se representarán con variable dependiente "Y".

Los costos para producir un volumen determinado deberán de agruparse en cualquiera de dos categorías: costos fijos y costos variables.

Pertenecen a los costos fijos todos aquellos que sean necesarios para producir y que su monto no dependa del volumen que se produzca, como por ejemplo, costo de adquisición del equipo, el costo de la iluminación, refrigeración y calefacción, y los gastos administrativos. En la gráfica los costos fijos estarán representados por una recta paralela al eje horizontal, porque el costo será el mismo no importando el volumen que se produzca (CF). La ecuación para el total de los costos fijos por volumen producido es:

Y = CF...2.1

Los costos que no son fijos pertenecerán a los variables, que como su nombre lo indica, varían de acuerdo al volumen que se produce, como por ejemplo, el costo de los materiales y el de mano de obra. Los costos variables estarán representados en la gráfica por una recta que parte de cero (si no se produce no se gasta) y tendrá una pendiente que representa el monto del costo por unidad producida (CV). La ecuación para el total de los costos variables es:

Y = CV * X.....................................2.2

Los costos totales son la suma de los costos variables y los costos fijos. En la gráfica será una recta con la misma pendiente que la de los costos variables pero no partirá del origen, sino del monto del costo fijo. La ecuación para el costo total de un determinado volumen de producción es:

Y = (CV * X) + CF............................2.3

El ingreso por ventas en la gráfica también partirá del origen (si no se produce no se vende, y si no se vende no se gana) y tendrá una pendiente correspondiente al ingreso percibido por cada unidad producida y vendida denotado por I. La ecuación para el ingreso total es:

Y = I * X....................................2.4ü

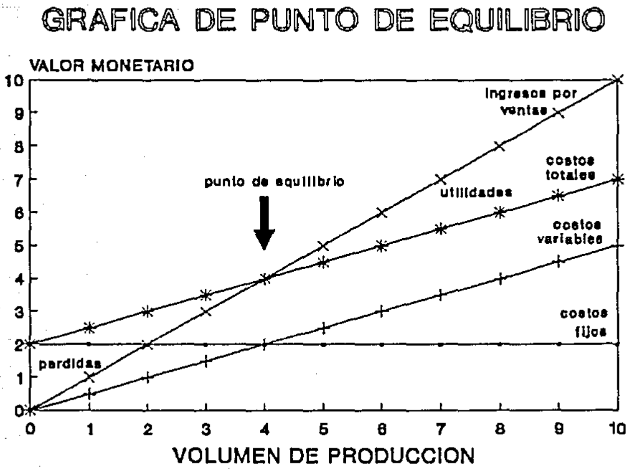


figura 2.1

Solo existirá punto de equilibrio si el ingreso por ventas (I) es mayor que los costos variables, es decir, si el ingreso obtenido por la venta de una unidad es mayor que el costo en el que se incurre al producirla, obviamente que si no fuera así, fabricar cualquier cantidad representaría un pérdida.

Si no se produce (vende), se pierde, debido a los costos fijos, conforme se produce y vende se ira contribuyendo con el margen de utilidad (ingresos por ventas menos costos variables, I * X - CV * X) para alcanzar a los costos fijos (CF), habrá un punto en el que se deje de incurrir en pérdidas para empezar a obtener ganancias. éste punto es el punto de equilibrio, y se determina matemáticamente despejando el volumen X de la ecuación:

$$CF = I * X - CV * X \quad \ldots\ldots 2.5$$

Así el punto de equilibrio (PE) esta dado por:

$$X = PE = \frac{CF}{I - CV} \quad \ldots\ldots 2.6$$

El ingreso por ventas del volumen del punto de equilibrio es igual a su costo total y su valor (VPE) estará determinado por:

$$VPE = \frac{CF}{I - CV} * I \quad \ldots\ldots 2.7$$

$$\text{ó } VPE = CF + \frac{CF}{I - CV} * CV$$

Para el análisis de punto de equilibrio mostrado se supuso que existe proporcionalidad (linealidad) para cualquier volumen, tanto el los costos como en el ingreso, pero no siempre es cierto eso, puede existir descuentos por la venta de grandes volúmenes, por lo que la pendiente del ingreso por ventas sería menor a partir de algún volumen, o puede ser que si el volumen que se ha de fabricar rebasa de cierta cantidad sea necesario hacer ajustes en los equipos aumentando así el costo fijo a partir de ese volumen.

Cuando sucede lo anterior se pueden encontrar que existen diferentes puntos de equilibrio, es decir, habrá varios rangos de producción en los que se pierda y varios en los que se gane.

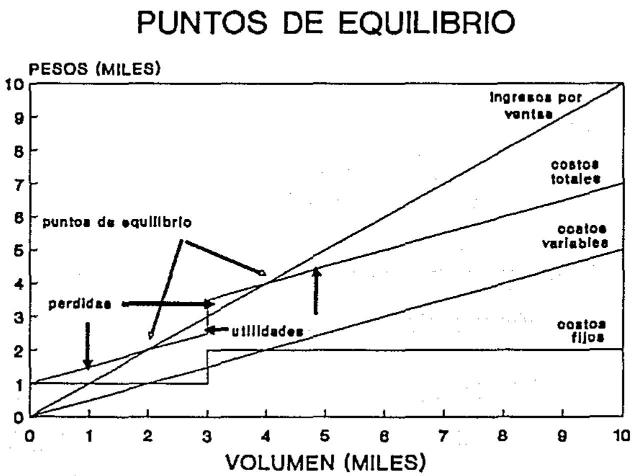


figura 2.2

También se supuso que los costos y el ingreso se pueden representar por líneas rectas, es decir, que las relaciones entre el volumen producido y los costos o el ingreso son lineales. Cuando algunas de las relaciones o todas representan curvas en lugar de líneas rectas se puede intentar también el análisis gráfico o bien se puede intentar linealizar la curvas (ajustar a líneas rectas) pero teniendo presente en éste último caso que los resultados solamente serán una aproximación.

Como ejemplo: Supóngase que con la investigación se determinó que para comenzar la producción se requiere gastar 2000 dolares y que por cada unidad que se produce se gasta 0.50 de dolar; que se venderá todo lo que se produce, y que el ingreso de cada unida vendida es de 1 dolar.

analizando el enunciado del problema encontramos que:

CF = 2000
CV = 0.5
I = 1

Gráficamente tendremos: un recta horizontal al eje de las "X" a una altura de 2,000 en el eje de las "Y" (costo fijos totales); una recta con pendiente de 0.50 comenzando en el origen (costos variables totales); una recta con pendiente de 0.50 comenzando en 2,000 en el eje de las "Y" (total de costos totales), y una recta con pendiente de 1 comenzando en el origen (ingresos por ventas).

Observamos en la figura 2.3 que el punto donde se cruzan el total de los costos totales con la recta de ingresos por ventas corresponde a 4,000 unidades (eje "X") a un costo total de producción o ingreso por ventas igual a 4,000 dolares, el cual es el punto de equilibrio.

GRAFICA DE PUNTO DE EQUILIBRIO

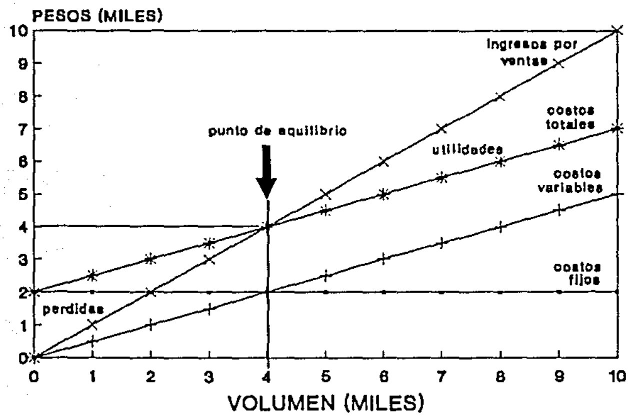


figura 2.3

Si en este ejemplo sí se producen menos de 4,000 unidades se tendrán pérdidas, obviamente más de 4,000 producirán ganancias. Con 4,000 unidades se obtienen 4,000 dolares que compensan los 2,000 de costos fijos y los 2,000 de costos variables, por lo que no se gana ni se pierde (punto de equilibrio).

Matemáticamente se tiene que el punto de equilibrio es:

$$PE = \frac{CF}{I - CV} = \frac{2000}{1 - .5} = 4000$$

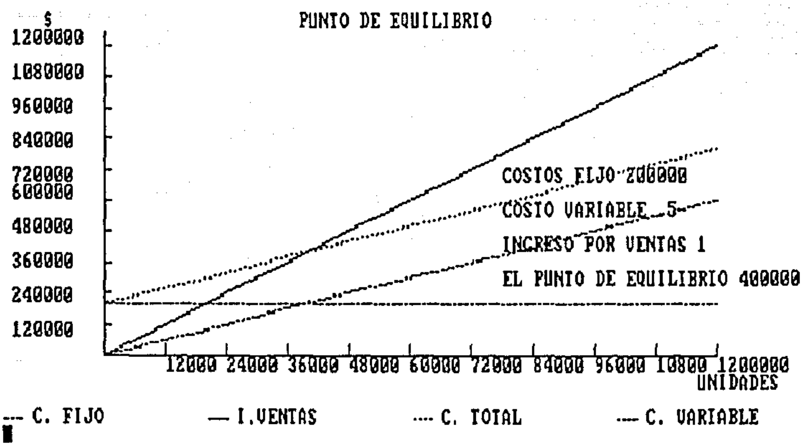
y su valor (costo de lo producido o ingreso obtenido) es:

$$VPE = \frac{CF * I}{I - CV} = \frac{2000 * 1}{1-.5} = 4000$$

Lo que coincide con los valores obtenidos gráficamente.

La siguiente grafica muestra la corrida de un programa elaborado en BASIC para determinar el punto de equilibrio.

```
PROGRAMA PARA DETERMINAR
EN BASE A COSTOS FIJOS Y VARIALES
EL PUNTO DE EQUILIBRIO


COSTOS FIJO? 200000
COSTO VARIABLE? .5
INGRESO POR VENTAS? 1
```



CAPITULO III

PRONOSTICOS DE DEMANDA

Con la investigación y desarrollo de productos se determinó que productos se podrán de producir y los pronósticos nos ayudarán a determinar que cantidad es necesaria para satisfacer la demanda del mercado.

Los pronósticos son requisitos indispensables para la planeación, pueden indicarnos que la demanda futura del producto será insuficiente para justificar la inversión o que pueden ser necesarias modificaciones en los procesos para lograr una producción de bajo costo (usando equipos de capacidad adecuada).

El futuro es incierto, los pronósticos son una adivinanza de él, con o sin bases científicas. El pronóstico trata de adivinar lo que sucederá y la planeación de que suceda lo que se desea. Lo que se necesita "adivinar" del futuro para la planeación de la producción es la demanda futura, y para ello se usan los "pronósticos de demanda".

Los pronósticos de demanda también se utilizan en: mercadotecnia, para fijar precios y promociones; en finanzas, para determinación de presupuestos; en los departamentos de ingeniería; para determinación del método, de la tec nología, la distribución de planta, y del equipo de manejo de materiales.

Aunque pronósticos y predicción pueden considerarse como sinónimos aquí no se manejaran así. El pronóstico es la proyección de la demanda pasada hacía el futuro, y la predicción es la anticipación de los cambios o de nuevos factores que afectarán a la demanda.

Si se acepta que es posible planear el futuro con base en el pasado, se deberá investigar los factores que generaron demanda en el pasado, y el grado en el que lo harán en el futuro. Al "adivinar" usando datos históricos se le denomina "pronosticar", donde se supone que el futuro se parecerá al pasado en mayor o menor grado.

Si no se usan datos históricos para "adivinar" el futuro, bien sea por no aceptar la premisa anterior o por que son nuevos los factores que afectarán a la demanda, se estará haciendo una "predicción". La predicción requiere de habilidad, buen juicio, y experiencia en lugar de datos numéricos del pasado.

Existen diferentes técnicas de pronósticos, desde las sencillas y económicas hasta las sofisticadas y costosas. Lo acertado que puede ser el pronóstico depende de que también se adapte la técnica empleada a las circunstancias.

La elección de la técnica depende del grado de precisión requerido, de la calidad y cantidad de datos históricos que se posean, así como del dinero y del tiempo del que se disponga. La técnica elegida deberá de minimizar, tanto el costo de su empleo, como los costos provocados por la inexactitud.

Las técnicas de pronósticos se pueden dividir: en cualitativas y cuantitativas, según, si lo que se pronosticará serán cantidades usando datos históricos o cualidades; en series de tiempo y causales, si se utilizarán datos históricos del producto objeto del pronóstico o si se utilizará su relación o semejanza con otros productos; en de corto mediano y largo plazo, según sea si se requieren para planear actividades a corto (menos de un año), a mediano (de uno a tres años) o largo plazo más de tres años).

Técnicas Cualitativas

Las técnicas cualitativas son populares desde los años cincuenta y se usan generalmente cuando no se dispone de datos históricos para pronosticar situaciones a largo plazo. Se basan en experiencias, corazonadas, presentimientos, y juicios de expertos, y aunque éstos últimos no usen modelos específicos se pueden apoyar en modelos matemáticos para desarrollar sus predicciones.

Las técnicas cualitativas más comunes son: El método Delphi, investigación de mercados, acuerdo de panel, pronóstico visionario y analogía histórica.

Método Delphi: Se interroga a un grupo de expertos en forma individual mediante una secuencia de cuestionarios, las respuestas de un cuestionario sirven para preparar el siguiente, todos los expertos deberán de tener la misma información, no existe comunicación directa entre los expertos, toda la información se transmite a todos mediante un coordinador.

Investigación de mercados: Se usa este método para desarrollar y probar hipótesis sobre mercados reales, por medio de al menos dos conjunto de informes a través del tiempo, informes que contendrán gran cantidad de datos sobre en mercado en forma de encuestas, cuestionarios, y análisis de series de tiempo de las variables de mercado.

Acuerdo de panel: Se reúnen a un grupos de expertos y se fomenta la comunicación para lograr el pronóstico del grupo, el pronóstico puede estar influenciado por factores sociales y no reflejar el consenso real.

Pronóstico visionario: Profecía basada en la imaginación, conjeturas, experiencias, juicios personales. Se requiere de diferentes escenarios posibles sobre el futuro, preparados por expertos a la luz de eventos del pasado.

Analogía histórica: se utiliza para el lanzamiento de nuevos productos, y el pronóstico se basa en la introducción y crecimiento de productos similares.

Técnicas Cuantitativas

Las técnicas cuantitativas utilizan datos históricos y modelos matemáticos para conocer el comportamiento típico de la demanda en el pasado y proyectarlo al futuro en forma de pronóstico. se basan en el hecho de que lo que ocurrió en el pasado seguirá sucediendo en el futuro, la exactitud del pronóstico dependerá de la similitud de las circunstancias del pasado con las del futuro.

Existen diferentes técnicas cuantitativas porque unas determinan mejor que otras los diferentes comportamientos de la demanda. es decir, la tendencia, la estacionalidad, y la ciclicidad.

La tendencia: Es el movimiento general que muestra la demanda a través del tiempo y puede ser de crecimiento, decremento o sin tendencia (estabilidad).

La ciclicidad: Son los cambios que presenta la demanda cada determinado número de años, en México la demanda de casi todos los productos baja cada seis años (por el cambio de gobierno).

La estacionalidad: Son los cambios que presenta la demanda siempre en algunos meses o estaciones determinadas, la demanda de juguetes y la de paraguas presentan este comportamiento, este también es un comportamiento cíclico pero de duración menor de un año.

Existe otro comportamiento típico, aleatoriedad o ruido: Se refiere a los movimientos de la demanda debido a causa inexplicables (aleatorias), pero como no tienen ninguna relación con el tiempo, más que tratarlo de descubrir con modelos matemáticos, lo deberemos de eliminar.

Las métodos más comunes para determinar estos comportamientos y pronosticar son los promedios (simples, ponderados, móviles, móviles ponderados y ponderados exponencialmente) y la regresión lineal

<u>Promedios simples:</u> Se usa este método cuando la demanda es estable (sin tendencia) y sin comportamientos cíclico, es decir, cuando sólo existe un comportamiento promedio y uno aleatorio. Se calcula la media aritmética de la demanda pasada y se pronostica el nivel promedio que tendrá la demanda futura.

$P_{t+1} = (D_1 + D_2 + D_3 + \ldots D_n) / n$ 3.1

donde:

t = subíndice del periodo actual
P_{t+1} = pronóstico para el periodo siguiente
n = número de datos históricos disponibles
D_i = demanda de periodo i

Como ejemplo supóngase la historia de ventas siguiente

año (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ventas (D)	10	11	12	13	12	13	13	14	14	15	16

El pronóstico de las ventas para el año 12 será de

$(10+11+12+13+12+13+13+14+14+15+16)/11 = 13$

Promedios ponderados: En el promedio simple todos los términos contribuyen en la misma proporción para determinar el pronóstico (1/n), pero es lógico pensar que las demandas más resientes deben de participar en mayor proporción porque sus circunstancias se parecerán más a las del futuro que la de las demandas antiguas. Para permitir mayor participación de algunas demandas podremos ponderarlas con un factor, los factores de ponderación deberán estar comprendido entre 0 y 1 y su suma deberá ser igual a uno.

$$P_{t+1} = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \ldots \alpha_n D_n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.2$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \ldots \alpha_n = 1$$

$$\alpha_i \geq 0,\ \alpha_i \leq 1 \quad \text{para toda } i$$

donde:

t = subíndice del periodo actual
n = número de datos históricos disponibles
P_{t+1} = pronóstico para el periodo siguiente
D_i = demanda de periodo i
α_i = factor de ponderación del periodo i

Como ejemplo supóngase la historia de ventas del ejemplo anterior:

año	demanda D_i	factor de ponderación α_i	$\alpha_i x D_i$
1	10	0.01	0.10
2	11	0.02	0.22
3	12	0.03	0.36
4	13	0.05	0.65
5	12	0.07	0.84
6	13	0.09	1.17
7	13	0.11	1.43
8	14	0.13	1.82
9	14	0.15	2.10
10	15	0.17	2.55
11	15	0.17	2.55
	SUMA	1.00	13.79

El pronóstico de las ventas para el año 12 será de 13.79

<u>Promedios móviles:</u> Los métodos anteriores descuidan la tendencia que se observa en los datos y los factores cíclicos que pudiera haber. para seguir los movimientos de tendencia se utiliza el método de promedios móviles. Este método se usa cuando la demanda no presenta comportamientos cíclicos ni estacionales. Es la media aritmética de los últimos n datos (términos), cuando se dispone de un nuevo dato se incluye en el promedio pero se excluye el más antiguo, esto significa que el promedio de irá moviendo en el tiempo.

$P_{t+1} = (D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \ldots + D_{t-(N-1)}) / N$...........3.3

Donde:

t = subíndice del periodo actual
P_{t+1} = pronóstico para el periodo siguiente
D_t = demanda actual
D_{t-1} = demanda de un periodo anterior al actual
N = número de términos del promedio móvil

Por ejemplo si se elige promedios móviles de 3 términos con los datos del ejemplo anterior:

año	demanda	promedio	pronóstico
1	10		
2	11		
3	12	11.0	
4	13	12.0	11.0
5	12	12.3	12.0
6	13	12.7	12.3
7	13	12.7	12.7
8	14	13.3	12.7
9	14	13.7	13.3
10	15	14.3	13.7
11	15	14.7	14.3
12			14.7

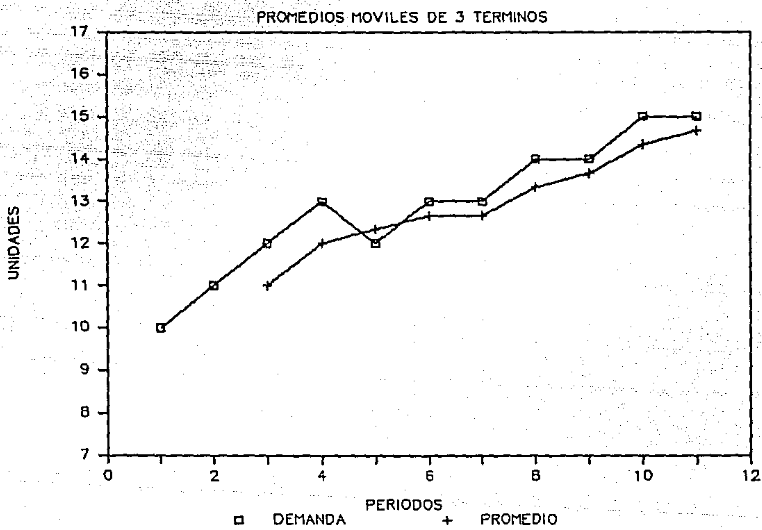


figura 3.1

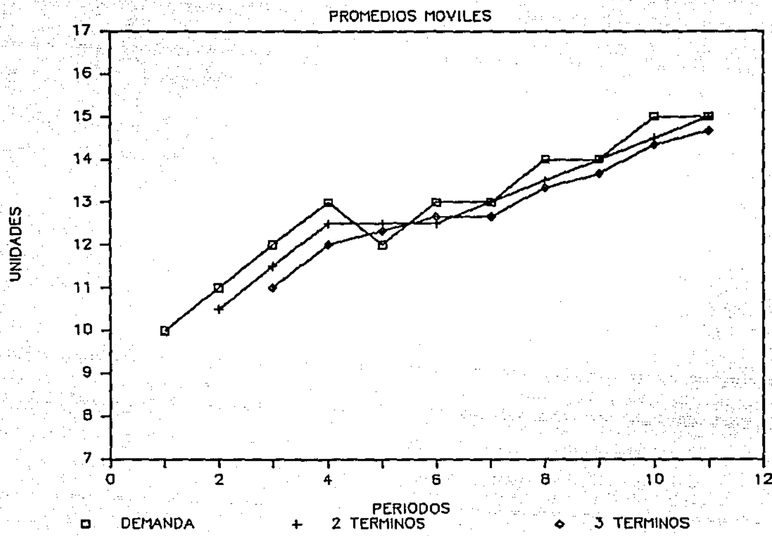
Como puede observarse en la gráfica de la figura 3.1 la serie formada por los promedios sigue al comportamiento de los datos (demanda) solo que atenuada (suavizada) y con un retraso con respecto al tiempo. La atenuación sirve para eliminar el comportamiento aleatorio, pero el retraso no es deseable. Entre mayor sea el número de términos la atenuación y el retraso son mayores.

Si N (número de términos considerados para el promedio) es igual a n (número de datos históricos conocidos) en realidad se tratará de un promedio simple (no se moverá), tendrá como ventaja que se estarán considerando todos los datos disponibles, sin embargo, no influirá la tendencia de los datos.

Si por el contrario, el número de términos (N) es el mínimo, es decir es igual a 1, el pronóstico será lo demandado el último periodo, se estará dando máxima importancia a la última tendencia (al último dato) pero no se estarán considerando todos los datos (sólo el último).

Lo anterior significa, que en éste método se deberá de seleccionar cuidadosamente el número de términos a considerar para obtener una combinación apropiada entre velocidad de respuesta y atenuación, entre mayor el número de términos menor posibilidad de error pero más retraso y entre menos términos mayor respuesta a la tendencia, pero menos atenuación.

Para poder observar la diferente atenuación que producen diferentes número de términos se calculará y graficarán los promedios móviles de 2 y 3 términos (figura 3.2).



Promedios móviles 2 y 3 términos

figura 3.2

<u>Promedios móviles ponderados:</u> Con los promedios móviles el pronóstico se obtiene con la media aritmética de los últimos N datos, es decir, el pronóstico es la suma de cada uno de los N término multiplicado por el factor 1/N, si se deseas diferente participación de cada término en el promedio se usa un factor diferente para cada uno de ellos, estos factores de ponderación deberán de estar ente 0 y 1, y la suma de todos ellos debe ser igual a uno.

$$P_{t+1} = (\alpha_1 D_t + \alpha_2 D_{t-1} + \alpha_3 D_{t-2} + \ldots + \alpha_N D_{t-(N-1)}) / N \quad ..3.4$$

$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \ldots \alpha_N = 1$

$\alpha_i \geq 0, \alpha_i \leq 1$ para toda i

donde:

t = subíndice del periodo actual
P_{t+1} = pronóstico para el periodo siguiente
D_i = demanda de periodo i
α_i = factor de ponderación
N = número de términos del promedio móvil ponderado.
n = número de datos históricos disponibles

Promedios ponderados exponencialmente: También conocido como atenuación o suavizamiento exponencial, este método toma las ventajas de los anteriores: del promedio, que se consideran todos los datos históricos disponibles; del promedio ponderado, que sigue la tendencia de los datos; del promedio móvil, que conociendo un nuevo dato se calcula el pronóstico siguiente haciendo pocas operaciones.

Los factores que ponderan la importancia de la demanda disminuyen en forma exponencial conforme la esta demanda se vuelve más antigua.

Para el calculo del pronóstico sólo se requiere de la demanda actual y del pronóstico que se había hecho de ésta.

$$P_{t+1} = P_t + \alpha (D_t - P_t) \quad \ldots\ldots 3.5$$

donde:

t = subíndice del periodo actual
P_{t+1} = pronósticos del periodo siguientes
P_t = pronósticos del periodo actual

α = constante de suavizamiento (factor de ponderación, cuyo valor estará entre cero y uno)
D_t = Demanda del periodo actual

La fórmula anterior nos dice que el pronóstico del periodo siguiente va a ser igual a lo que se pronosticó en este periodo más un porcentaje (α) del error que se cometió al pronosticar (D_t - P_t). sin embargo reduciendo términos semejantes se obtiene una fórmula más conveniente para trabajar.

$P_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha) P_t$ 3.6

En esta última fórmula se observa que efectivamente de trata de un promedio ponderado ya que sus factores α y $1-\alpha$ suman 1, y por ser alfa un porcentaje es mayor o igual a 0 y menor o igual a 1.

Como siempre para pronosticar con este método se requiere el pronóstico anterior, para comenzar el procedimiento el pronóstico será igual a la demanda actual ($P_1 = D_0$).

Para observar como se comportan los factores de ponderación se desarrolla la fórmula para encontrar P_{t+1} usando como datos las demandas (D_0, D_1, ... D_t)

$P_1=D_0$ 3.7

$P_2=\alpha D_1+(1-\alpha)P_1$ por 3.7
$P_2=\alpha D_1+(1-\alpha)D_0$ 3.8

$P_3=\alpha D_2+(1-\alpha)P_2$ por 3.8
$P_3=\alpha D_2+\alpha(1-\alpha)D_1+(1-\alpha)^2 D_0$ 3.9

$P_4=\alpha D_3+(1-\alpha)P_3$ por 3.9
$P_4=\alpha D_3+\alpha(1-\alpha)D_2+\alpha(1-\alpha)^2D_1+(1-\alpha)^3D_0$

.
.
.

$$P_t=\alpha D_{t-1}+\alpha(1-\alpha)^1D_{t-2}+\alpha(1-\alpha)^2D_{t-3}+\ldots(1-\alpha)^{t-1}D_0 \quad \ldots\ldots 3.10$$

En esta última fórmula se puede observar que efectivamente intervienen todas las demandas en el cálculo de un pronóstico, que los factores de ponderación son menores conforme son más antiguos y que disminuye su valor en forma exponencial.

La fórmula general es:

$$P_{t+1} = \sum_{i=0}^{i=t-1}[\ \alpha(1-\alpha)^iD_{t-i}\ ] + (1-\alpha)^{t-1}D_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 3.11$$

Se puede demostrar usando series finitas que la suma de factores de ponderación es igual a 1

$$\sum_{i=0}^{i=t-1}[\ \alpha(1-\alpha)^i\ ] + (1-\alpha)^{t-1} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.12$$

En la práctica no se usa la fórmula general sino a $p_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)P_t$ en forma continua, es decir, cuando se conoce la demanda real de un periodo se pronostica el siguiente.

Se observar en la fórmula $p_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)P_t$ que: si $\alpha = 0$ el pronóstico es igual al pronóstico anterior e igual a la primera demanda ($p_{t+1} = P_t$); si por el contrario $\alpha = 1$, el pronóstico no seria otra cosa que la ultima demanda ($p_{t+1} = D_t$). Si se grafica los pronósticos que se fueran teniendo para los dos casos, se vería que el primer caso sería una línea paralela al eje del tiempo partiendo de la primera demanda real (D_0), y en el segundo caso seria una serie igual que la de la demanda pero defasada un periodo. Con lo que se puede concluir que α es una constante de atenuación, $\alpha = 1$ no atenúa (la curva de la demanda) mientras que $\alpha = 0$ la atenúa tanto que la hace una línea recta. Se ha visto en la práctica que valores de α entre .3 y .5 dan buenos resultados.

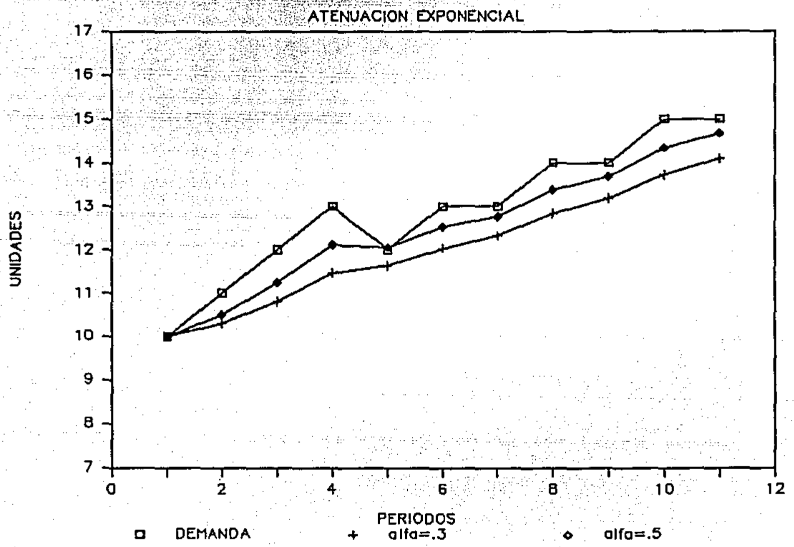
Como ejemplo se calculará los promedios ponderados exponencialmente con $\alpha = .3$

año		pronóstico	demanda
1			10
2	$P_2 = D_1 =$	10.0	11
3	.3x11+.7x10.0=	10.3	12
4	.3x12+.7x10.3=	10.8	13
5	.3x13+.7x10.8=	11.5	12
6	.3x12+.7x11.5=	11.6	13
7	.3x13+.7x11.6=	12.0	13
8	.3x13+.7x12.0=	12.3	14
9	.3x14+.7x12.3=	12.8	14
10	.3x14+.7x12.8=	13.2	15
11	.3x15+.7x13.2=	13.7	15
12	.3x15+.7x13.7=	14.1	

El pronóstico para el año 12 es de 14.1

Ahora se calculará y se graficarán los promedios ponderados exponencialmente con $\alpha = .5$, y $\alpha = .3$ para poder observar la diferente atenuación (figura 3.3).

año	demanda	pronósticos $\alpha = .3$	pronósticos $\alpha = .5$
1	10		
2	11	10.0	10.0
3	12	10.3	10.5
4	13	10.8	11.3
5	12	11.5	12.1
6	13	11.6	12.1
7	13	12.0	12.5
8	14	12.3	12.8
9	14	12.8	13.4
10	15	13.2	13.7
11	15	13.7	14.3
12		14.1	14.7



Promedios ponderados exponencialmente $\alpha = .3$ y $\alpha = .5$

figura 3.3

<u>Regresión lineal:</u> Consiste en la determinar usando los datos históricos, una ecuación donde la demanda este en función del tiempo y posteriormente sustituir en ella el tiempo para el que se quiera pronosticar la demanda. La ecuación debe de corresponder a la línea (curva) que

mejor se ajuste a los datos del pasado. Una de las formas de medir el ajuste es por medio de la suma de todos los errores (diferencias entre el dato real y el de la ecuación) elevados al cuadrado, el mejor ajuste se logra cuando esta sumatoria es la mínima, por ello este método también se conoce como ajuste por mínimos cuadrados.

Las calculadoras científicas modernas incluyen entre sus funciones la posibilidad de ajustar cuatro tipos de curvas a los datos, estas son: Línea recta, curva exponencial, curva de potencias, y curva logarítmica.

Ajuste a una línea recta:

$y = a + b\,x$ 3.13

donde:

y = demanda
x = periodo de tiempo
a = ordenada al origen, parámetro que se desea determinar
b = pendiente, parámetro que se desea determinar

Si se poseen n pares de valores x, y se denotarán como (x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3),...(x_n,y_n), donde y_i representará la iésima demanda observada, x_i el tiempo en el que ocurrió esta demanda y Y_i serán los puntos sobre la recta para el tiempo x_i dados por:

$Y_i = a + bx_i$ 3.14

para cada periodo de tiempo se tendrá un error, es decir, una diferencia entre el dato real y_i y el de la recta Y_i.

error = $y_i - Y_i = y_i - (a + bx_i)$

La sumatoria de todos los errores elevados al cuadrado, que es la varianza total esta dada por:

$$\Sigma(\text{error})^2 = \sum_{i=1}^{i=n} [y_i - (a + bx_i)]^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.15$$

Para encontrar los parámetros a y b que hagan mínima esta sumatoria, es decir, Para encontrar la ecuación de la recta que pase más cerca de todos los puntos, es necesario derivar parcialmente la ecuación 3.15 con respeto a "a" y a "b", igualar a cero las ecuaciones resultantes y resolverlas.

Derivando la ecuación 3.15 con respecto a "a" se obtiene:

$$na + b\sum_{i=1}^{i=n} x_i - \sum_{i=1}^{i=n} y_i = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.16$$

Derivando la ecuación 1 con respecto a "b" se obtiene:

$$a\sum_{i=1}^{i=n} x_i + b\sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{i=n} x_i y_i = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.17$$

Como todas las sumatorias de realizan desde que i=1 hasta que i=n se eliminan los índices de las sumatorias para mejor presentación, entonces el sistema de ecuaciones a resolver estará formado por:

$$na + b\Sigma x - \Sigma y = 0 \quad\ldots\ldots 3.18$$
$$a\Sigma x + b\Sigma x^2 - \Sigma xy = 0 \quad\ldots\ldots 3.19$$

resolviendo el sistema y despejando a y b se obtiene:

$$a = \frac{\Sigma x^2 \Sigma y - \Sigma x \Sigma xy}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad\ldots\ldots 3.20$$

$$b = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad\ldots\ldots 3.21$$

Determinados los valores de a y b se sustituyen en $Y_i = a + bx_i$ al igual que el valor de x_i para el que se desee el pronóstico.

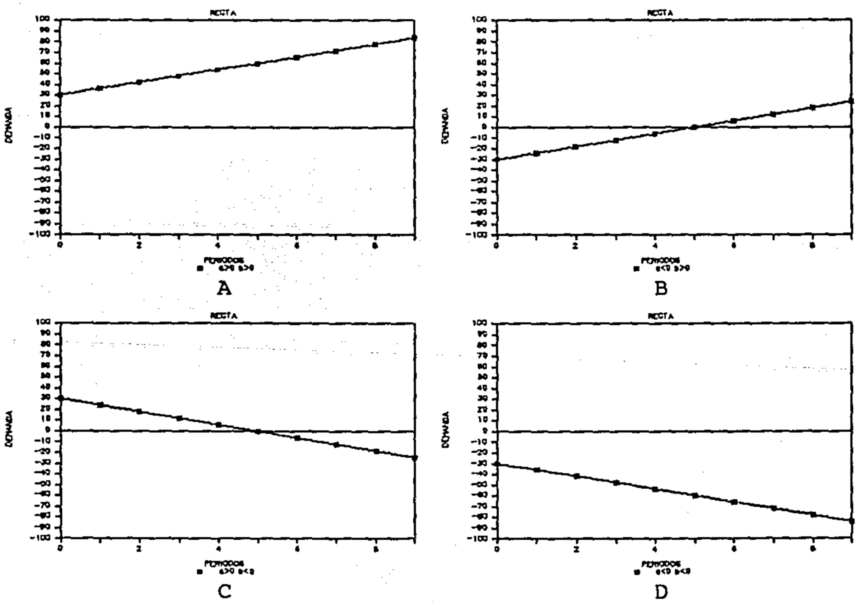
Para medir la "calidad" de ajuste de la línea a los datos se utiliza el coeficiente de determinación (r^2). éste toma valores entre 0 y 1, representando la porción de las variaciones de los datos "y" (variable dependiente) que son explicados por la ecuación de ajuste, por ejemplo, un coeficiente de determinación igual a .75 significa que el 75% de las variaciones de "y" se explican con la ecuación de la línea ajustada, y el 25% restante se deben a efectos aleatorios o independientes del comportamiento de los datos "x" esto significa que entre más cercano a 1 sea, es mejor.

La raiz cuadrada del coeficiente determinación se denomina coeficiente de correlación (r) y se calcula de la siguiente forma:

$$r = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x\Sigma y}{\sqrt{(n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2)(n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.22$$

El coeficiente de correlación (r) será positiva si la tendencia de los datos es creciente, y negativa si es decreciente, esto significa que se tienen "buen" ajuste si esta cercano a 1 o a -1

Según sean los valores de a y b que se obtenga se tendrá algunos de los casos mostrados en la figura 3.4.



Lineas rectas para diferentes valores de "a" y "b"

figura 3.4

Para ejemplificar este ajuste se usarán los 11 pares de datos históricos del ejemplo anterior.

punto	x	y
1	1	10
2	2	11
3	3	12
4	4	13
5	5	12
6	6	13
7	7	13
8	8	14
9	9	14
10	10	15
11	11	15

calculando las sumatorias se tendrá

LINEA RECTA

punto	x	y	xy	x^2	y^2
1	1	10	10.0	1	100.00
2	2	11	22.0	4	121.00
3	3	12	36.0	9	144.00
4	4	13	52.0	16	169.00
5	5	12	60.0	25	144.00
6	6	13	78.0	36	169.00
7	7	13	91.0	49	169.00
8	8	14	112.0	64	196.00
9	9	14	126.0	81	196.00
10	10	15	150.0	100	225.00
11	11	15	165.0	121	225.00
sumatorias	66	142	902	506	1858

sustituyendo:

$$a = \frac{\Sigma x^2 \Sigma y - \Sigma x \Sigma xy}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} = \frac{(506)(142)-(66)(902)}{(11)(506)-(66)^2} = 10.18181$$

$$b = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} = \frac{(11)(902)-(66)(142)}{(11)(506)-(66)^2} = 0.454545$$

La línea recta que mejor se ajusta a los datos es:

$Y_i = 10.18181 + 0.454545\ x_i$

el pronóstico del periodo 12 (x_{12}=12) es:

$Y_{12} = 10.18181 + (0.454545)(12) = 15.63$

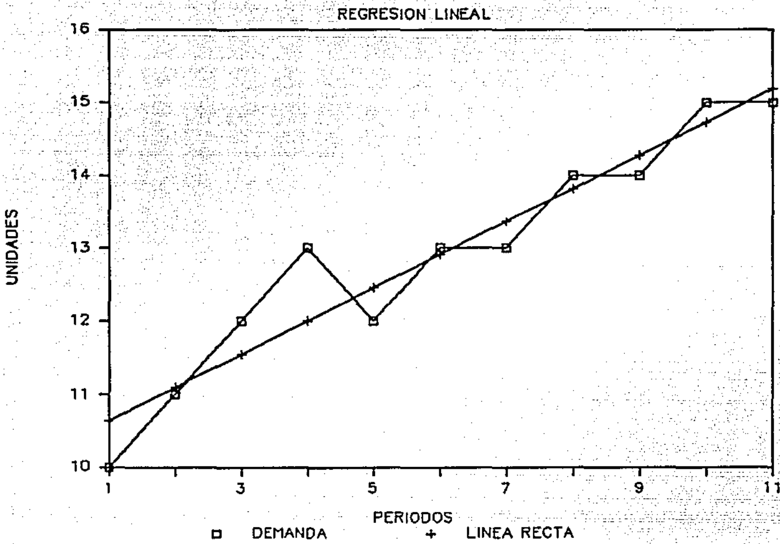
y el coeficiente de correlación es:

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

$$r = \frac{(11)(902)-(66)(142)}{\sqrt{((11)(506)-(66)^2)((11)(1858)-(142)^2)}} = .955200$$

Para observar el ajuste se calculará los puntos de esta recta y se graficará, también se calculará los errores al cuadrado y su sumatoria:

punto	recta	error^2
1	10.636	0.405
2	11.091	0.008
3	11.545	0.207
4	12.000	1.000
5	12.455	0.207
6	12.909	0.008
7	13.364	0.132
8	13.818	0.033
9	14.273	0.074
10	14.727	0.074
11	15.182	0.033
suma		2.181818



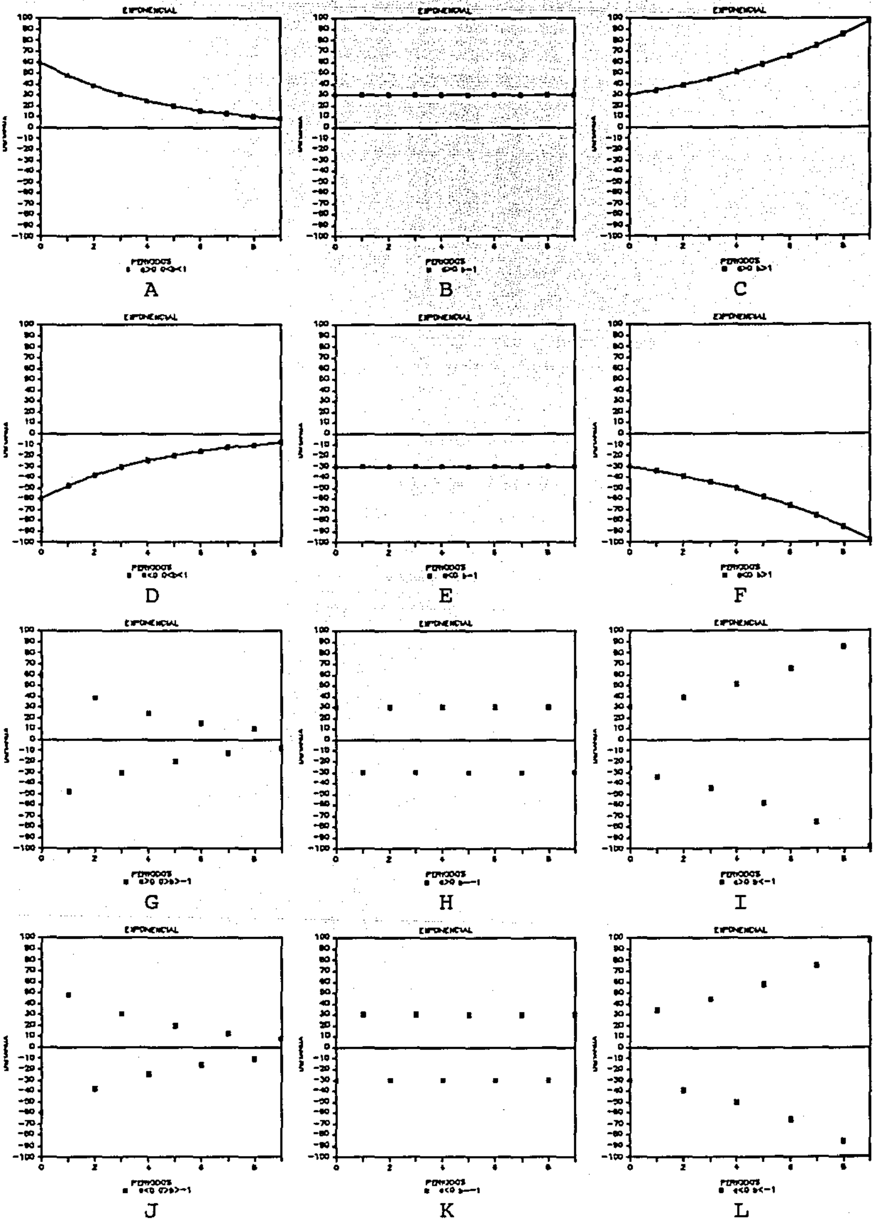
Ajuste a una línea recta

figura 3.5

<u>Ajuste a una línea exponencial</u>: Como el ajuste de mínimos cuadrados solo es para líneas rectas se tiene que utilizar un artificio para poder ajustar una curva del tipo exponencial dada por:

y = a * b^x..3.23

según sean los parámetros a y b la curva exponencial toma diferentes formas, como se puede observar en las gráficas siguientes:



Curvas exponenciales para diferentes valores de a y b
figura 3.6

sin embargo, si en lugar de graficar en un papel normal se hace en un papel semi-logarítmico (el eje "y" con escala logarítmicas), se obtiene líneas rectas, nótese que esto solo se podría realizar cuando todos los valores de las "y" son mayores que 0 (gráficas A, B, y C de la figura 3.6), esto es cuando a y b son simultáneamente mayores que 0, para pronosticar la demanda esto no ocasionará ningún problema debido a que tanto el tiempo (variable x) como la demanda (variable y) siempre tendrán valores positivos.

Para poder utilizar las ecuaciones correspondientes a la línea recta la curva exponencial se tendrá que "linealizar" la curva, esto es logra sacando logaritmos naturales de ambos lados de la ecuación y realizando algunos cambios de variables:

$$Ln(y) = Ln(a) + (Ln(b))x \qquad \text{3.24}$$

si $Ln(y)=Y$, $Ln(a)=A$ y $Ln(b)=B$ se tiene que $Y = A + Bx$, es decir, una línea recta. esto significa que para determinar A y B se usaran las ecuaciones de la línea recta pero en lugar de usar la variable "y" se usará el logaritmo de ella, esto es:

$$A = \frac{\Sigma x^2 \Sigma Ln(y) - \Sigma x \Sigma x Ln(y)}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \qquad \text{3.25}$$

$$B = \frac{n\Sigma x Ln(y) - \Sigma x \Sigma Ln(y)}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \qquad \text{3.26}$$

Para pronosticar se utilizan los valores A, B y el valor de x directamente en la curva "linealizada" (ecuación 3.24) y después se obtiene el antilogaritmo de Ln(y), o bien, primero de A y de B se calcula su antilogaritmo para obtener a y b y sustituirlos junto con el valor de x en la ecuación original (3.23).

Para ejemplificar este ajuste se usarán los 11 pares de datos históricos del ejemplo anterior, se calculará la sumatoria de error al cuadrado y se graficará.

CURVA EXPONENCIAL

punto	x	y	Ln(y)	xLn(y)	x^2
1	1	10	2.3	2.3	1
2	2	11	2.4	4.8	4
3	3	12	2.5	7.5	9
4	4	13	2.6	10.3	16
5	5	12	2.5	12.4	25
6	6	13	2.6	15.4	36
7	7	13	2.6	18.0	49
8	8	14	2.6	21.1	64
9	9	14	2.6	23.8	81
10	10	15	2.7	27.1	100
11	11	15	2.7	29.8	121
sumatorias	66		28.05935	172.3147	506

x	y	(Ln(y))^2	curva	error^2
1	10	5.30	10.707	0.500
2	11	5.75	11.099	0.010
3	12	6.17	11.506	0.244
4	13	6.58	11.928	1.150
5	12	6.17	12.365	0.133
6	13	6.58	12.818	0.033
7	13	6.58	13.288	0.083
8	14	6.96	13.775	0.051
9	14	6.96	14.279	0.078
10	15	7.33	14.803	0.039
11	15	7.33	15.345	0.119
66		71.73453		2.439201

sustituyendo:

$$A = \frac{\Sigma x^2 \Sigma Ln(y) - \Sigma x \Sigma x Ln(y)}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$A = \frac{(506)(28.05935)-(66)(172.3147)}{(11)(506)-(66)^2} = 2.334923$$

$$B = \frac{n\Sigma x Ln(y) - \Sigma x \Sigma Ln(y)}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$B = \frac{(11)(172.3147)-(66)(28.05935)}{(11)(506)-(66)^2} = = 0.035987$$

La curva "linealizada" que mejor se ajusta a los datos es:

$$Y_i = 2.334923 + 0.035987x_i$$

el pronóstico para el periodo 12 (x_{12}=12) es:

$$Y_{12} = 2.334923 + (0.035987)(12) = 2.7667736$$

tomando antilogaritmo, porque Ln(y)=Y:

$$y_{12} = 15.9$$

O bien tomando primero antilogaritmos (Ln(a)=A y Ln(b)=B):

$a = 10.328699$

$b = 1.036642$

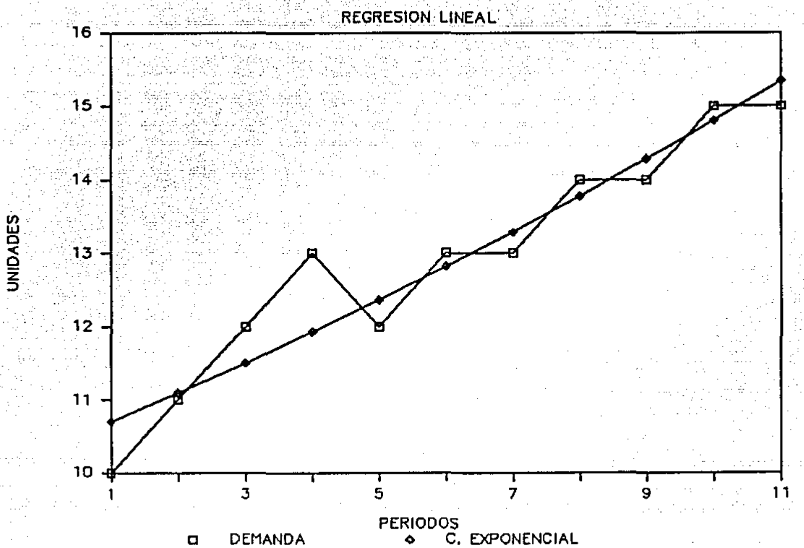
$$y_{12} = a * b\hat{}x = 10.328699 * (1.036642)^{12} = 15.9$$

y el coeficiente de correlación es:

$$r = \frac{n\Sigma x Ln(y) - \Sigma x \Sigma Ln(y)}{\sqrt{(n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2)(n\Sigma Ln(y)^2 - (\Sigma Ln(y))^2)}}$$

$$r = \frac{(11)(172.3147)-(66)(28.05935)}{\sqrt{((11)(506)-(66)^2)((11)(71.73453)-(28.05935)^2)}}$$

$r = .945652$



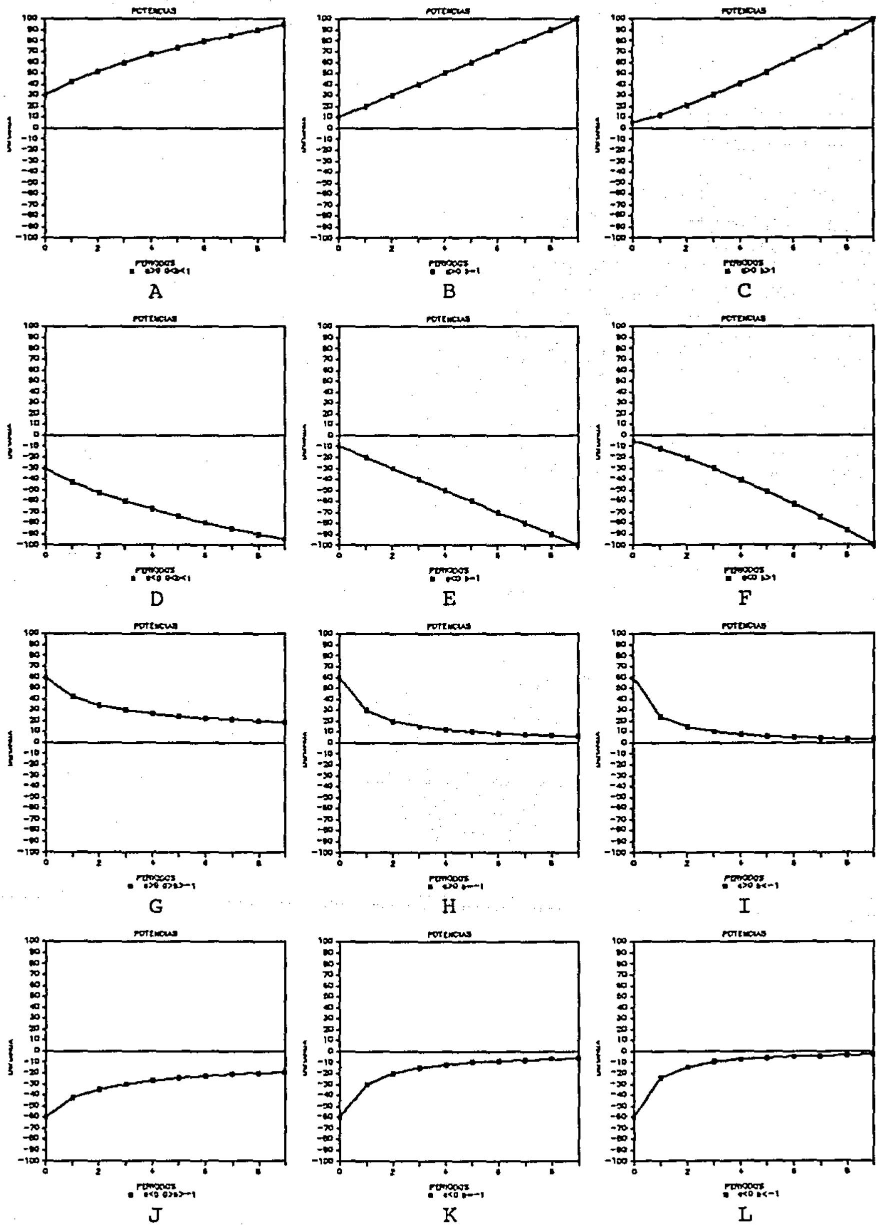
Ajuste de una curva exponencial

figura 3.7

<u>Ajuste a una línea de potencias</u>: La curva de potencias esta dada por:

$y = a * x^b$...................................3.27

según sean los parámetros a y b la curva de potencias toma diferentes formas, como se puede observar el las gráficas siguientes:



Curvas de potencias para diferentes valores de a y b
figura 3.8

en lugar de graficar en un papel normal se hace en un papel logarítmico (tanto el eje "x" como el eje "y" con escala logarítmica), se obtiene líneas rectas, sin embargo esto solo se podrá realizar cuando todos los valores tanto de las "y" como de las "x" son mayores que 0 (gráficas A, B, C, G, H, I de la figura 3.8), esto es, cuando a es mayor que 0, para pronosticar la demanda esto no ocasionará ningún problema debido a que, como el caso anterior, tanto el tiempo (variable x) como la demanda (variable y) siempre tendrán valores positivos.

Para poder utilizar las ecuaciones correspondientes a la línea recta la curva de potencias se tendrá que "linealizar", esto es logra sacando logaritmos naturales de ambos lados de la ecuación y realizando algunos cambios de variables:

$$Ln(y) = Ln(a) + (Ln(x))b \qquad \text{..........................3.28}$$

si $Ln(y)=Y$, $Ln(a)=A$ y $Ln(x)=X$ se tiene que $Y = A + bX$, es decir, una línea recta. esto significa que para determinar A y b se usaran las ecuaciones de la línea recta pero en lugar de usar la variable "y" y "x" se usarán sus logaritmos, esto es:

$$A = \frac{\Sigma(Ln(x))^2 \Sigma Ln(y) - \Sigma Ln(x) \Sigma Ln(x) Ln(y)}{n\Sigma(Ln(x))^2 - (\Sigma Ln(x))^2} \qquad \text{.........3.29}$$

$$b = \frac{n\Sigma Ln(x) Ln(y) - \Sigma Ln(x) \Sigma Ln(y)}{n\Sigma Ln(x)^2 - (\Sigma Ln(x))^2} \qquad \text{.................3.30}$$

Para pronosticar se utilizan los valores A, b y el logaritmo de x (Ln(x)=X) directamente en la curva "linealizada" y después se obtiene el antilogaritmo de Ln(y), o bien, primero se calcula el antilogaritmo de A para obtener a y sustituirlos junto con el valor de x en la ecuación original y = a * x^b.

También aquí, para ejemplificar el ajuste se usarán los 11 pares de datos históricos del ejemplo anterior, se calculará la sumatoria de error al cuadrado y se graficará.

CURVA DE POTENCIAS

punto	x	Ln(x)	y	Ln(y)	Ln(x)Ln(y
1	1	0	10	2.3	0.0
2	2	0.693147	11	2.4	1.7
3	3	1.098612	12	2.5	2.7
4	4	1.386294	13	2.6	3.6
5	5	1.609437	12	2.5	4.0
6	6	1.791759	13	2.6	4.6
7	7	1.945910	13	2.6	5.0
8	8	2.079441	14	2.6	5.5
9	9	2.197224	14	2.6	5.8
10	10	2.302585	15	2.7	6.2
11	11	2.397895	15	2.7	6.5
sumatorias		17.50230		28.05935	45.54955

x	y	(Ln(x))^2	(Ln(y))^2	curva	error^2
1	10	0	5.30	9.893	0.011
2	11	0.480453	5.75	11.075	0.006
3	12	1.206948	6.17	11.830	0.029
4	13	1.921812	6.58	12.398	0.363
5	12	2.590290	6.17	12.856	0.733
6	13	3.210401	6.58	13.244	0.059
7	13	3.786566	6.58	13.580	0.337
8	14	4.324077	6.96	13.879	0.015
9	14	4.827795	6.96	14.147	0.022
10	15	5.301898	7.33	14.392	0.370
11	15	5.749901	7.33	14.617	0.147
		33.40014	71.73453		2.090519

sustituyendo:

$$A = \frac{\Sigma(Ln(x))^2 \Sigma Ln(y) - \Sigma Ln(x) \Sigma Ln(x) Ln(y)}{n\Sigma(Ln(x))^2 - (\Sigma Ln(x))^2} =$$

$$A = \frac{(33.40014)(28.05935)-(17.50230)(45.54955)}{(11)(33.40014)-(17.50230)^2}$$

$$A = 2.291834$$

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

$$b = \frac{(11)(45.54955)-(17.50230)(28.05935)}{(11)(33.40014)-(17.50230)^2} =$$

$$b = 0.162788$$

La curva "linealizada" que mejor se ajusta a los datos es:

$$Y_i = 2.291834 + (0.162788)X_i$$

el pronóstico para el periodo 12 (x_{12}=12 $Ln(x_{12})$=2.4849) es:

$$Y_{12} = 2.291834 + (0.162788)(2.4849) = 2.696351$$

tomando antilogaritmo porque (Ln(y)=Y):

$y_{12} = 14.82$

O bien tomando primero antilogaritmo (Ln(a)=A):

$a = 9.893$

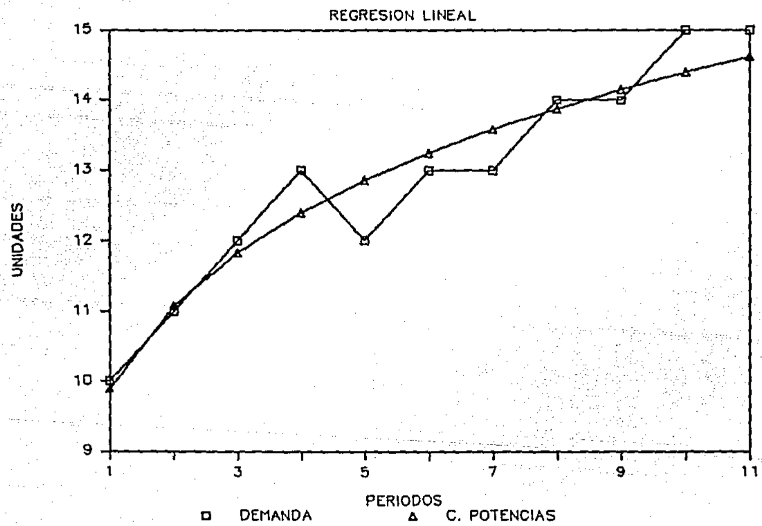
$y_{12} = a * x\hat{\ }b = 9.893 * (12)^{0.162788} = 14.82$

y el coeficiente de correlación es:

$$r = \frac{n\Sigma Ln(x)Ln(y) - \Sigma Ln(x)\Sigma Ln(y)}{\sqrt{(n\Sigma Ln(x)^2 - (\Sigma Ln(x))^2)(n\Sigma Ln(y)^2 - (\Sigma Ln(y))^2)}}$$

$$r = \frac{(11)(45.54955)-(17.50230)(28.05935)}{\sqrt{(11)(33.4)-(17.5023)^2)((11)(71.73453)-(28.05935)^2)}}$$

$r = .961003$



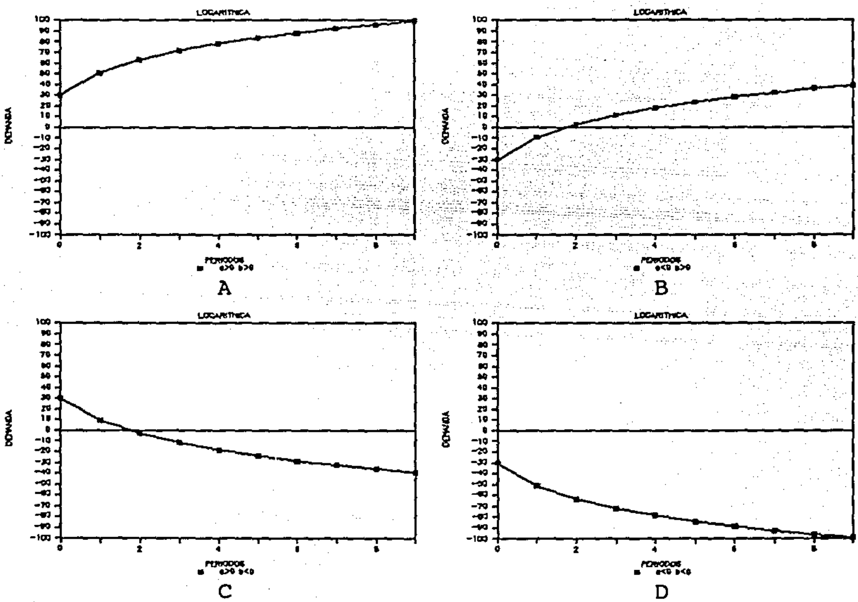
Ajuste con una curva de potencias

figura 3.9

Ajuste a una línea logarítmica: La curva logarítmica esta dada por:

$$y = a + bLn(x) \quad \text{.....................................3.31}$$

según sean los parámetros a y b la curva logarítmica toma diferentes formas, como se puede observar en las gráficas siguientes:



Curvas logaritmicas para diferentes valores de a y b

figura 3.10

Si en lugar de graficar en un papel normal se hace en un papel semi-logarítmico (el eje "x" con escala logarítmica), se obtiene líneas rectas, sin embargo esto solo se podrá realizar cuando todos los valores de las "x" son mayores que 0, para pronosticar la demanda esto no ocasionará ningún problema porque el tiempo representado por la variable x) siempre tendrán valores positivos.

Para poder utilizar las ecuaciones correspondientes a la línea recta la curva logarítmica se tendrá que "linealizar", esto es logra realizando un cambio de variable Ln(x)=X la ecuación 38 Se convierte en:

$$y = a + bX \quad \ldots\ldots 3.32$$

Una linea recta. esto significa que para determinar a y b se usaran las ecuaciones de la linea recta pero en lugar de usar la variable "x" se usará sus logaritmos, esto es:

$$a = \frac{\Sigma(Ln(x))^2\Sigma y - \Sigma Ln(x)\Sigma Ln(x)y}{n\Sigma(Ln(x))^2 - (\Sigma Ln(x))^2} \quad \ldots\ldots 3.33$$

$$b = \frac{n\Sigma Ln(x)y - \Sigma Ln(x)\Sigma y}{n\Sigma Ln(x)^2 - (\Sigma Ln(x))^2} \quad \ldots\ldots 3.34$$

Para pronosticar se utilizan los valores a, b y el logaritmo de x (Ln(x)=X) directamente en la ecuación 3.31.

Para ejemplificar este ajuste se usarán los 11 pares de datos históricos del ejemplo anterior, también se calculará la sumatoria de error al cuadrado y se graficará.

CURVA LOGARITMICA

punto	x	Ln(x)	y	yLn(x)	(Ln(x))^2
1	1	0.0	10	0.0	0
2	2	0.7	11	7.6	0.480453
3	3	1.1	12	13.2	1.206948
4	4	1.4	13	18.0	1.921812
5	5	1.6	12	19.3	2.590290
6	6	1.8	13	23.3	3.210401
7	7	1.9	13	25.3	3.786566
8	8	2.1	14	29.1	4.324077
9	9	2.2	14	30.8	4.827795
10	10	2.3	15	34.5	5.301898
11	11	2.4	15	36.0	5.749901
sumatorias		17.50230	142	237.1132	33.40014

x	y	y^2	curva	error^2
1	10	100.00	9.707	0.086
2	11	121.00	11.102	0.010
3	12	144.00	11.918	0.007
4	13	169.00	12.497	0.253
5	12	144.00	12.946	0.895
6	13	169.00	13.313	0.098
7	13	169.00	13.623	0.388
8	14	196.00	13.892	0.012
9	14	196.00	14.129	0.017
10	15	225.00	14.341	0.434
11	15	225.00	14.533	0.218
	142	1858		2.418159

sustituyendo:

$$a = \frac{\Sigma(Ln(x))^2\Sigma y - \Sigma Ln(x)\Sigma(yLn(x))}{n\Sigma(Ln(x))^2 - (\Sigma Ln(x))^2} =$$

$$a = \frac{(33.40014)(142)-(17.50230)(237.1132)}{(11)(33.40014)-(17.50230)^2} = 9.706615$$

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

$$b = \frac{(11)(237.1132)-(17.50230)(142)}{(11)(33.40014)-(17.50230)^2} = 2.012719$$

La curva logarítmica que mejor se ajusta a los datos es:

$$y_i = 9.706615 + (2.012719)\,Ln(x_i)$$

el pronóstico para el periodo 12 ($x_{12}=12$ $Ln(x_{12})=2.4849$) es:

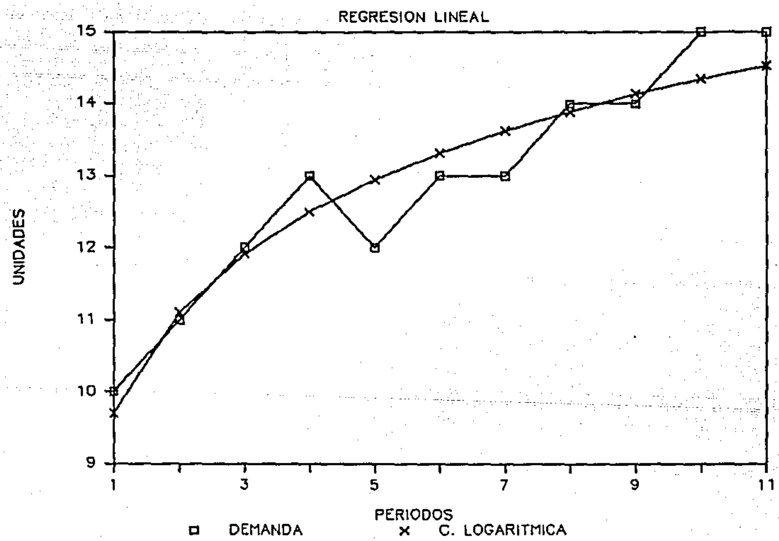
$$y_{12} = 9.706615 + (2.012719)(2.4849) = 14.708$$

y el coeficiente de correlación es:

$$r = \frac{n\Sigma yLn(x) - \Sigma Ln(x)\Sigma y}{\sqrt{(n\Sigma(Ln(x))^2-(\Sigma Ln(x))^2)(n\Sigma y^2-(\Sigma y)^2)}}$$

$$r = \frac{(11)(237.1132)-(17.50230)(142)}{\sqrt{((11)(33.40014)-(17.50230)^2)((11)(1858)-(142)^2)}}$$

$$r = .950221$$



Ajuste a una curva logarítmica

figura 3.11

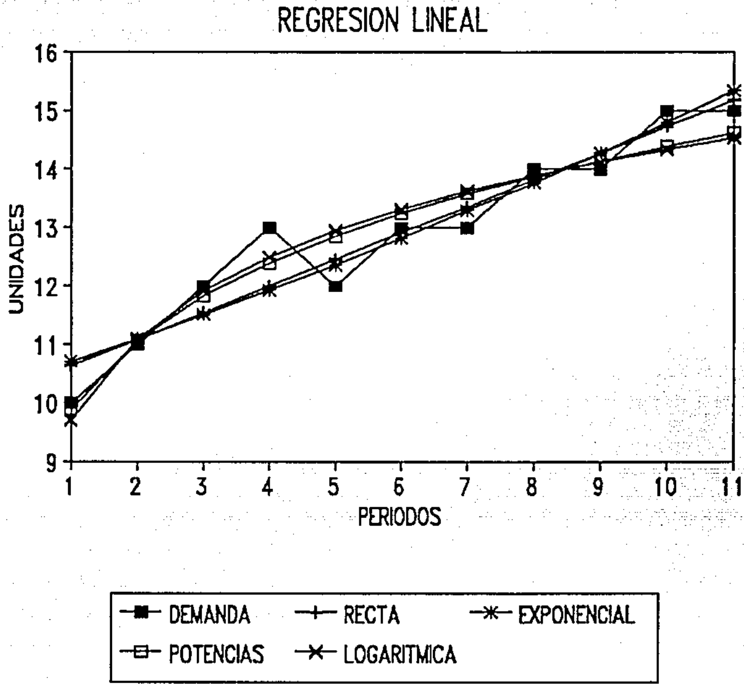
Como se puede observar en el resumen del ejemplo y en la gráfica simultanea de todas la curvas (figura 3.12) la línea recta y exponencial se asemejan, al igual que la de potencias y logarítmica, aunque las cuatro son muy semejantes. Los pronósticos para el periodo 12 con las diferentes curvas es muy parecido, pero más allá de este periodo la curva de potencias y la logarítmica dará pronósticos más conservadores, y la curva exponencial se "disparará".

Resumen del ajuste de curvas por mínimos cuadrados del ejemplo:

tipo	ecuación	"linealizada"
LINEA RECTA	y=a+bx	y=a+bx
C. EXPONENCIAL	y=a*b^x	Ln(y)=Ln(a)+(Ln(b))x
C. DE POTENCIAS	y=a*x^b	Ln(y)=Ln(a)+bLn(x)
C. LOGARITMICA	y=a+bLn(x)	y=a+bLn(x)

	b	a	coeficiente de correlación	promedio de error al cuadrado
LINEA RECTA	0.45	10.18	0.96	0.20
C. EXPONENCIAL	1.03	10.32	0.95	0.22
C. DE POTENCIAS	0.16	9.88	0.96	0.19
C. LOGARITMICA	2.01	9.71	0.95	0.22

	pronóstico para x=12
LINEA RECTA	15.63
C. EXPONENCIAL	15.90
C. DE POTENCIAS	14.82
C. LOGARITMICA	14.71



Ajuste por mínimos cuadrados de una línea recta, curva exponencial curva de potencias y curva logarítmica

figura 3.12

PROGRAMA PARA PRONOSTICAR

USANDO REGRESION LINEAL

PROMEDIOS MOVILES Y

ATENUACION EXPONENCIAL PONDERADA

```
5     KEY OFF
6     SCREEN 2
10    CLS: LOCATE 10,20: PRINT "PROGRAMA PARA DETERMINAR"
20    LOCATE 12,20: PRINT "EN BASE A DATOS HISTORICOS
30    LOCATE 14,20: PRINT "PRONOSTICOS DE DEMANDA"
40    LOCATE 18,20: INPUT "DE CUANTOS PERIODOS TIENES
      DATOS";N
50    LOCATE 22,20: INPUT "UNIDADES DE LOS DATOS (Y)";D$
60    DIM X(N), Y(N), XY(N), XX(N), A(6), B(6), CC(6),
      ES(6), SE(6), PS(N), SD(N), PD(N), DS(N), AJ(N),
      E(N), ED(N), EE(N), EA(N), MA(6), CU(N)
70    C$="PERIODO"
80    MA=0
90    CLS
100   FOR I=1 TO N
110        X(I)=I
120        LOCATE 23,20: PRINT "DEMANDA DEL PERIODO
           ";I;:INPUT   Y(I)
130        LOCATE 23,20: PRINT STRING$(50," ");
140        IF Y(I)>MA THEN MA=Y(I)
150   NEXT I
155   MM=MA
160   GOSUB 4000
330   '************** IMPRIME MENU PRINCIPAL ************
340   CLS
350   FOR I=1 TO N: CU(I)=0: NEXT I: MA=MM
355   LOCATE 6,20: PRINT "SE PUEDE:"
360   LOCATE 8,20: PRINT "1.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA
      LINEA RECTA"
370   LOCATE 10,20: PRINT "2.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA
      CURVA EXPONENCIAL"
380   LOCATE 12,20: PRINT "3.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA
      CURVA DE POTENCIAS"
390   LOCATE 14,20: PRINT "4.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA
      CURVA LOGARITMICA"
400   LOCATE 16,20: PRINT "5.- PRONOSTICAR CON PROMEDIOS
      MOVILES"
410   LOCATE 18,20: PRINT "6.- PRONOSTICAR CON ATENUACION
      EXPONENCIAL PONDERADA"
420   LOCATE 20,20: PRINT "7.- SUSPENDE LA EJECUCION DE
      ESTE PROGRAMA"
```

```
430  LOCATE 24,20: INPUT "QUE QUIERES HACER    (NUMERO)";C
440  IF C<>1 AND C<>2 AND C<>3 AND C<>4 AND C<>5 AND
        C<>6 AND C<>7 THEN: LOCATE 24,47: PRINT
        STRING$(13," "): GOTO 430
450  IF C=7 THEN CLS: SCREEN 0: END
460  ON C GOSUB 480, 820, 1160, 1520, 2010, 2560
470  GOTO 340
480 '*********** AJUSTE A LINEA RECTA  *********
490  X=0: Y=0: XY=0: XX=0: YY=0
500  CLS: PRINT "SE AJUSTARA UNA LINEA RECTA ( Y = A + BX
     )
510  PRINT
520  PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
530  PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y" TAB(20) "XY" TAB(30) "XX"
     TAB(40) "YY"
540  PRINT
550  FOR I=1 TO N
560       PRINT TAB(1) X(I);: X=X+X(I)
570       PRINT TAB(10) Y(I);: Y=Y+Y(I)
580       PRINT TAB(20) X(I)*Y(I);: XY=XY+X(I)*Y(I)
590       PRINT TAB(30) X(I)*X(I);: XX=XX+X(I)*X(I)
600       PRINT TAB(40) Y(I)*Y(I);: YY=YY+Y(I)*Y(I)
610  NEXT I
620  PRINT STRING$(50,"-")
630  PRINT TAB(1) X  TAB(10)  Y  TAB(20)  XY  TAB(30)  XX
     TAB(40) YY
640  I=1
650  GOSUB 1870
660  PRINT:PRINT "LA RECTA ES: Y = ";A(1);"+(";B(1);")X"
670  PRINT "COEFICIENTE DE CORRELACION.........";CC(1)
680  PRINT "ERROR ESTANDAR....................";ES(1)
690  PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(1)
691  IF MA(I)>MA THEN MA=MA(I)
692  LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
694  FOR I=1 TO N
696  CU(I)= A(1) + B(1)*I
698  NEXT I
699  GOSUB 4000
700  PRINT:PRINT:PRINT
720  INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
730  PRINT:PRINT:PRINT
740  PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
750  PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
760  PRINT
770  FOR I=N+1 TO N+C
780       PN= A(1) + B(1)*I
790       PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
800  NEXT I
805  LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
810  RETURN
820'*********** AJUSTE A CURVA EXPONENCIAL  *********
830  X=0: Y=0: XY=0: XX=0: YY=0
840  CLS: PRINT "SE AJUSTARA UNA CURVA EXPONENCIAL ( Y =
     A(B^X) )
```

```
850  PRINT:PRINT:PRINT
860  PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
870  PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y" TAB(20) "LN(Y)" TAB(30)
     "XLN(Y)" TAB(40) "XX" TAB(50) "LN(Y)LN(Y)"
880  PRINT
890  FOR I=1 TO N
900       PRINT TAB(1) X(I);: X=X+X(I)
910       PRINT TAB(10) Y(I);
920       PRINT TAB(20) LOG(Y(I));: Y=Y+LOG(Y(I))
930       PRINT TAB(30) X(I)*LOG(Y(I));:
          XY=XY+X(I)*LOG(Y(I))
940       PRINT TAB(40) X(I)*X(I);: XX=XX+X(I)*X(I)
950       PRINT TAB(50) LOG(Y(I))*LOG(Y(I));:
          YY=YY+LOG(Y(I))*LOG(Y(I))
960  NEXT I
970  PRINT STRING$(60,"-")
980  PRINT TAB(1) X  TAB(20)  Y  TAB(30)  XY  TAB(40)  XX
     TAB(50) YY
990  I=2
1000 GOSUB 1870
1010 PRINT:PRINT:PRINT "LA CURVA ES: Y =
     ";EXP(A(2));"(";EXP(B(2));"^X)"
1020 PRINT "COEFICIENTE DE CORRELACION..........";CC(2)
1030 PRINT "ERROR ESTANDAR......................";ES(2)
1040 PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(2)
1041 IF MA(I)>MA THEN MA=MA(I)
1042 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1044 FOR I=1 TO N
1046      CU(I)= EXP(A(2) + B(2)*I)
1048 NEXT I
1049 GOSUB 4000
1050 PRINT:PRINT:PRINT
1060 INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
1070 PRINT:PRINT:PRINT
1080 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
1090 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
1100 PRINT
1105 FOR I=N+1 TO N+C
1110      PN= EXP(A(2) + B(2)*I)
1120      PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
1130 NEXT I
1135 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1140 RETURN
1160 '*********** AJUSTE A CURVA DE POTENCIAS *********
1170 X=0: Y=0: XY=0: XX=0: YY=0
1180 CLS: PRINT "SE AJUSTARA UNA CURVA DE POTENCIAS ( Y =
     A(X^B) )
1190 PRINT:PRINT:PRINT
1200 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
1210 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "LN(X)" TAB(20) "Y" TAB(30)
     "LN(Y)" TAB(40) "LN(X)LN(Y)" TAB(50) "LN(X)LN(X)"
     TAB(60) "LN(Y)LN(Y)"
1220 PRINT
1230 FOR I=1 TO N
```

```
1240          PRINT TAB(1) X(I);
1250          PRINT TAB(10) LOG(X(I));:X=X+LOG(X(I))
1260          PRINT TAB(20) Y(I);
1270          PRINT TAB(30) LOG(Y(I));: Y=Y+LOG(Y(I))
1280          PRINT TAB(40) LOG(X(I))*LOG(Y(I));:
              XY=XY+LOG(X(I))*LOG(Y(I))
1290          PRINT TAB(50) LOG(X(I))*LOG(X(I));:
              XX=XX+LOG(X(I))*LOG(X(I))
1300          PRINT TAB(60) LOG(Y(I))*LOG(Y(I));:
              YY=YY+LOG(Y(I))*LOG(Y(I))
1310 NEXT I
1320 PRINT STRING$(70,"-")
1330 PRINT TAB(10) X  TAB(30)  Y  TAB(40)  XY  TAB(50)  XX
     TAB(60) YY
1340 I=3
1350 GOSUB 1870
1360 PRINT:PRINT:PRINT "LA CURVA ES: Y =
     ";EXP(A(3));"(X^";B(3);")"
1370 PRINT "COEFICIENTE DE CORRELACION..........";CC(3)
1380 PRINT "ERROR ESTANDAR.....................";ES(3)
1390 PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(3)
1391 IF MA(I)>MA THEN MA=MA(I)
1392 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1394 FOR I=1 TO N
1395          K=LOG(I)
1396          CU(I)= EXP(A(3) + B(3)*K)
1398 NEXT I
1399 GOSUB 4000
1400 PRINT:PRINT:PRINT
1410 INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
1420 PRINT:PRINT:PRINT
1430 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
1440 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
1450 PRINT
1460 FOR I=N+1 TO N+C
1470          K=LOG(I)
1480          PN= EXP(A(3) + B(3)*K)
1490          PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
1500 NEXT I
1505 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1510 RETURN
1520 '*********** AJUSTE A CURVA LOGARITMICA *********
1530 X=0: Y=0: XY=0: XX=0: YY=0
1540 CLS: PRINT "SE AJUSTARA UNA CURVA LOGARITMICA ( Y = A
     + B(LN(X)) )
1550 PRINT:PRINT:PRINT
1560 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
1570 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "LN(X)" TAB(20) "Y"  TAB(30)
     "YLN(X)" TAB(40) "LN(X)LN(X)" TAB(50) "YY"
1580 PRINT
1590 FOR I=1 TO N
1600          PRINT TAB(1) X(I);
1610          PRINT TAB(10) LOG(X(I));:X=X+LOG(X(I))
1620          PRINT TAB(20) Y(I);:Y=Y+Y(I)
```

```
1630       PRINT TAB(30) LOG(X(I))*Y(I);:
           XY=XY+LOG(X(I))*Y(I)
1640       PRINT TAB(40) LOG(X(I))*LOG(X(I));:
           XX=XX+LOG(X(I))*LOG(X(I))
1650       PRINT TAB(50) Y(I)*Y(I);: YY=YY+Y(I)*Y(I)
1660 NEXT I
1670 PRINT STRING$(70,"-")
1680 PRINT TAB(10) X  TAB(20)  Y  TAB(30)  XY  TAB(40)  XX
     TAB(50) YY
1690 I=4
1700 GOSUB 1870
1710 PRINT:PRINT:PRINT "LA CURVA ES: Y =
     ";A(4);"+(";B(4);")LN(X)"
1720 PRINT "COEFICIENTE DE CORRELACION..........";CC(4)
1730 PRINT "ERROR ESTANDAR......................";ES(4)
1740 PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(4)
1741 IF MA(I)>MA THEN MA=MA(I)
1742 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1744 FOR I=1 TO N
1745       K=LOG(I)
1746       CU(I)= A(4) + B(4)*K
1748 NEXT I
1749 GOSUB 4000
1750 PRINT:PRINT:PRINT
1760 INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
1770 PRINT:PRINT:PRINT
1780 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
1790 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
1800 PRINT
1810 FOR I=N+1 TO N+C
1820       K=LOG(I)
1830       PN= A(4) + B(4)*K
1840       PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
1850 NEXT I
1855 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
1860 RETURN
1870 '*********** CALCULO DE PARAMETROS *********
1880 A(I)=((Y*XX)-(X*XY))/((N*XX)-(X*X))
1890 B(I)=((N*XY)-(X*Y))/((N*XX)-(X*X))
1900 CC(I)=(N*XY-X*Y)/SQR((N*XX-X*X)*(N*YY-Y*Y))
1910 ES(I)=SQR((YY-A(I)*Y-B(I)*XY)/N)
1920 SE(I)=0
1922 FOR K=1 TO 4: MA(K)=-IE38: NEXT K
1930 FOR J=1 TO N
1940       IF I<>1 THEN 1950
1942            VA=A(I)+B(I)*J
1944            IF VA>MA(I) THEN MA(I)=VA
1946            SE(I)=SE(I)+(VA-Y(J))^2
1950       IF I<>2 THEN 1960
1952            VA=EXP(A(I)+B(I)*J)
1956            SE(I)=SE(I)+(VA-Y(J))^2
1960       IF I<>3 THEN 1970
1962            VA=EXP(A(I)+B(I)*LOG(J))
1964            IF VA>MA(I) THEN MA(I)=VA
```

```
1966            SE(I)=SE(I)+(VA-Y(J))^2
1970       IF I<>4 THEN 1980
1972            VA=A(I)+B(I)*LOG(J)
1974            IF VA>MA(I) THEN MA(I)=VA
1976            SE(I)=SE(I)+(VA-Y(J))^2
1980 NEXT J
1990 SE(I)=SE(I)/N
2000 RETURN
2010 '*********** PROMEDIOS MOVILES *********
2020 CLS: PRINT "SE PRONOSTICARA CON PROMEDIOS MOVILES"
2030 PRINT:PRINT:PRINT
2040 INPUT "DE CUANTOS TERMINOS QUIERES LOS PROMEDIOS
     MOVILES";N1
2050 PRINT:PRINT
2060 IF N<2*N1-1 THEN PRINT "NO ES POSIBLE" :GOTO 2010
2070 FOR I=1 TO N
2080      PS(I)=0: PD(I)=0: AJ(I)=0: DS(I)=0
2090 NEXT I
2100 SS=0: SD=0 :MA(5)=-9.999999E+37
2110 FOR I=1 TO N-N1+1
2120      FOR J=I TO I+N1-1
2130           SS=SS+Y(J)
2140      NEXT J
2150      PS(I+N1-1)=SS/N1
2155      IF PS(I+N1-1)>MA(5) THEN MA(5)=PS(I+N1-1)
2160      SS=0
2170 NEXT I
2180 FOR I=N1 TO N-N1+1
2190      FOR J=I TO I+N1-1
2200           SD=SD+PS(J)
2210      NEXT J
2220      PD(I+N1-1)=SD/N1
2225      IF PD(I+N1-1)>MA(5) THEN MA(5)=PD(I+N1-1)
2230      SD=0
2240 NEXT I
2250 SE(5)=0
2260 NT=0
2270 FOR I=2*N1-1 TO N
2280      DS(I)=PS(I)*2-PD(I)
2285      IF DS(I)>MA(5) THEN MA(5)=DS(I)
2290      AJ(I)=DS(I)+2*(PS(I)-PD(I))/(N1-1)
2295      IF AJ(I)>MA(5) THEN MA(5)=AJ(I)
2300 NEXT I
2310 IF 2*N1-1 > N-1 GOTO 2370
2320 FOR I=2*N1-1 TO N-1
2330      VA=AJ(I)
2334      SE(5)=SE(5)+(VA-Y(I+1))^2
2340      NT=NT+1
2350 NEXT I
2360 SE(5)=SE(5)/NT
2370 B(5)=2*(PS(N)-PD(N))/(N1-1)
2380 A(5)=DS(N)
```

```
2390 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$ TAB(20) "P.SIMPLE"
     TAB(30) "P.DOBLE" TAB(40) "P.S.+DIF" TAB(50)
     "P.AJUSTADO"
2400 PRINT
2410 FOR I=1 TO N
2420      PRINT TAB(1) X(I) TAB(10) Y(I) TAB(20) PS(I)
          TAB(30) PD(I) TAB(40) DS(I) TAB(50) AJ(I)
2430 NEXT I
2435 PRINT:PRINT
2440 PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(5)
2441 IF MA(5)>MA THEN MA=MA(5)
2442 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
2449 GOSUB 5000
2450 PRINT:PRINT:PRINT
2460 INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
2470 PRINT:PRINT:PRINT
2480 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
2490 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
2500 PRINT
2510 FOR I=N+1 TO N+C
2520      PN= A(5) + B(5)*(I-N)
2530      PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
2540 NEXT I
2545 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
2550 RETURN
2560 '*********** ATENUACION EXPONENCIAL *********
2570 CLS: PRINT "SE PRONOSTICARA CON ATENUACION
     EXPONENCIAL"
2580 PRINT:PRINT:PRINT
2590 INPUT "CONSTANTE DE ATENUACION EXPONENCIAL (ENTRE 0 Y
     1)";AL
2600 IF AL<0 OR AL>1 THEN PRINT "NO ES POSIBLE: GOTO 7070
2610 PRINT
2620 FOR I=1 TO N
2630      E(I)=0: ED(I)=0: EE(I)=0: AJ(I)=0
2640 NEXT I
2650 E(1)=Y(1): ED(1)=Y(1): EE(1)=Y(1): EA(1)=Y(1):
     MA(6)=-9.999999E+37
2660 FOR I=2 TO N
2670      E(I)=Y(I)*AL+(1-AL)*E(I-1)
2675      IF E(I)>MA(6) THEN MA(6)=E(I)
2680      ED(I)=E(I)*AL+(1-AL)*E(I-1)
2685      IF ED(I)>MA(6) THEN MA(6)=ED(I)
2690      EE(I)=E(I)*2-ED(I)
2700      A(I)=EE(I)+AL/(1-AL)*(E(I)-ED(I))
2705      IF EA(I)>MA(6) THEN MA(6)=EA(I)
2710 NEXT I
2720 SE(6)=0
2730 FOR I=1 TO N-1
2732      VA=EA(I)
2740      SE(6)=SE(6)+(VA-Y(I+1))^2
2750 NEXT I
2760 SE(6)=SE(6)/(N-1)
2770 B(6)=AL/(1-AL)*(E(N)-ED(N))
```

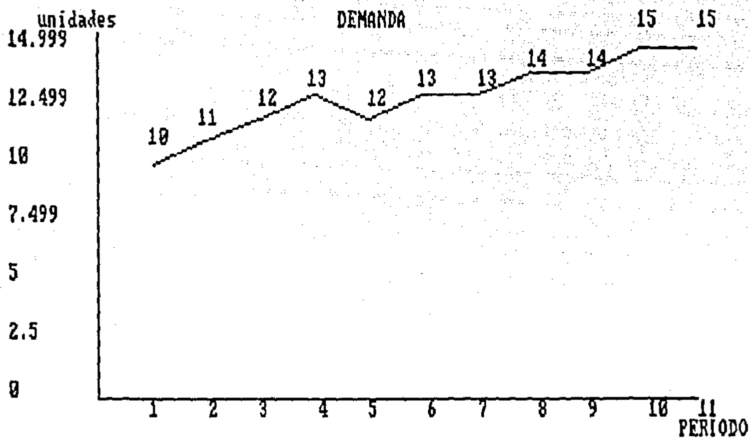
```
2780 A(6)=EE(N)
2790 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$ TAB(20) "P.SIMPLE" TAB(30)
     "P.DOBLE" TAB(40) "P.S.+DIF" TAB(50) "P.AJUSTADO"
2800 PRINT
2810 FOR I=1 TO N
2820      PRINT TAB(1) X(I) TAB(10) Y(I) TAB(20) E(I)
          TAB(30) ED(I) TAB(40) EE(I) TAB(50) EA(I)
2830 NEXT I
2835 PRINT:PRINT
2840 PRINT "SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO";SE(6)
2841 IF MA(6)>MA THEN MA=MA(6)
2842 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
2849 GOSUB 6000
2850 PRINT:PRINT:PRINT
2860 INPUT "CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR";C
2870 PRINT:PRINT:PRINT
2880 PRINT TAB(1) C$ TAB(10) D$
2890 PRINT TAB(1)"X" TAB(10) "Y"
2900 PRINT
2910 FOR I=N+1 TO N+C
2920      PN= A(6) + B(6)*(I-N)
2930      PRINT TAB(1) I TAB(10) PN
2940 NEXT I
2945 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
2950 RETURN
4000 '***GRAFICA DATOS Y AJUSTES POR MINIMOS CUADRADOS****
4010 CLS
4165 LOCATE 1,35: PRINT "DEMANDA"
4170 PSET (79,159)
4180 LINE -(559,159)
4190 LOCATE 22,69: PRINT C$
4200 LINE (79,159)-(79,9)
4210 LOCATE 1,5: PRINT D$
4220 EX=480/N: EY=144/MA
4230 FOR I=1 TO N: LOCATE 21,EX*I/8+10: PRINT I;: NEXT I
4240 FOR I=2 TO 20 STEP 3: LOCATE I,1: PRINT INT((20-I)*8
     /EY*1000)/1000: NEXT I
4250 PSET (EX+79,159-Y(1)*EY)
4255 LOCATE (159-Y(1)*EY)\8,(EX+80)\8: PRINT Y(1)
4260 FOR I=2 TO N
4270      LINE -(EX*I+79,159-Y(I)*EY)
4280      LOCATE (159-Y(I)*EY)\8,(EX*I+80)\8: PRINT Y(I)
4287 NEXT I
4289 FOR I=1 TO N-1
4290      IF CU(I)=-9.999999E+37 THEN 4294
4292           LINE (EX*I+79,159-CU(I)*EY)--(EX*(I+1)+79,
               159-CU(I+1)*EY),,,&H3333
4294 NEXT I
4300 FOR I=1 TO 1000: NEXT I
4310 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
4320 CLS
4330 RETURN
5000 '*****GRAFICA DATOS PARA PROMEDIOS MOVILES*****
5010 CLS
```

```
5165 LOCATE 1,35: PRINT "DEMANDA"
5170 PSET (79,159)
5180 LINE -(559,159)
5190 LOCATE 22,69: PRINT C$
5200 LINE (79,159)-(79,9)
5210 LOCATE 1,5: PRINT D$
5220 EX=480/N: EY=144/MA
5230 FOR I=1 TO N: LOCATE 21,EX*I/8+10: PRINT I;: NEXT I
5240 FOR I=2 TO 20 STEP 3: LOCATE I,1: PRINT INT((20-I)*8
     /EY*1000)/1000: NEXT I
5250 PSET (EX+79,159-Y(1)*EY)
5255 LOCATE (159-Y(1)*EY)\8,(EX+80)\8: PRINT Y(1)
5260 FOR I=2 TO N
5270       LINE -(EX*I+79,159-Y(I)*EY)
5280       LOCATE (159-Y(I)*EY)\8,(EX*I+80)\8: PRINT Y(I)
5287 NEXT I
5288 FOR I=1 TO N-1
5289       PSET (EX*I+79,159-PS(I)*EY)
5290       PSET (EX*(I+1)+79,159-PS(I+1)*EY)
5291       IF PS(I)=0 OR PS(I+1)=0 THEN 5294
5292             LINE (EX*I+79,159-PS(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,
                 159-PS(I+1)*EY),,,&HAAAA
5294 NEXT I
5295 FOR I=1 TO N-1
5296       PSET (EX*I+79,159-PD(I)*EY)
5297       PSET (EX*(I+1)+79,159-PD(I+1)*EY)
5298       IF PD(I)=0 OR PD(I+1)=0 THEN 5300
5299             LINE (EX*I+79,159-PD(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,
                 159-PD(I+1)*EY),,,&H3333
5300 NEXT I
5301 FOR I=1 TO N-1
5302       PSET (EX*I+79,159-AJ(I)*EY)
5303       PSET (EX*(I+1)+79,159-AJ(I+1)*EY)
5304       IF AJ(I)=0 OR AJ(I+1)=0 THEN 5306
5305             LINE (EX*I+79,159-AJ(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,
                 159-AJ(I+1)*EY),,,&H2222
5306 NEXT I
5307 FOR I=1 TO 1000: NEXT I
5310       LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA
           CONTINUAR";Z
5320 CLS
5330 RETURN
6000 '****GRAFICA DATOS PARA ATENUACION EXPONENCIAL*****
6010 CLS
6165 LOCATE 1,35: PRINT "DEMANDA"
6170 PSET (79,159)
6180 LINE -(559,159)
6190 LOCATE 22,69: PRINT C$
6200 LINE (79,159)-(79,9)
6210 LOCATE 1,5: PRINT D$
6220 EX=480/(N+1): EY=144/MA
6230 FOR I=1 TO N: LOCATE 21,EX*I/8+10: PRINT I;: NEXT I
6240 FOR I=2 TO 20 STEP 3: LOCATE I,1: PRINT INT((20-I)*8
     /EY*1000)/1000: NEXT I
```

```
6250 PSET (EX+79,159-Y(1)*EY)
6255 LOCATE (159-Y(1)*EY)\8,(EX+80)\8: PRINT Y(1)
6260 FOR I=2 TO N
6270      LINE -(EX*I+79,159-Y(I)*EY)
6280      LOCATE (159-Y(I)*EY)\8,(EX*I+80)\8: PRINT Y(I)
6287 NEXT I
6289 FOR I=1 TO N-1
6292      LINE (EX*I+79,159-E(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,159-
          E(I+1)*EY),,,&HAAAA
6294 NEXT I
6296 FOR I=1 TO N-1
6298      LINE (EX*I+79,159-ED(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,159-
          ED(I+1)*EY),,,&H3333
6299 NEXT I
6300 FOR I=1 TO N-1
6302      LINE (EX*I+79,159-EA(I)*EY)-(EX*(I+1)+79,159-
          EA(I+1)*EY),,,&H2222
6304 NEXT I
6305 FOR I=1 TO 1000: NEXT I
6310 LOCATE 24,20: INPUT "PULSA ENTER PARA CONTINUAR";Z
6320 CLS
6330 RETURN
```

CORRIDA

```
PROGRAMA PARA DETERMINAR
EN BASE A DATOS HISTORICOS
PRONOSTICOS DE DEMANDA

DE CUANTOS PERIODOS TIENES DATOS? 11

UNIDADES DE LOS DATOS (Y)? unidades█




DEMANDA DEL PERIODO  1 ? 10█
DEMANDA DEL PERIODO  2 ? 11█
DEMANDA DEL PERIODO  3 ? 12█
DEMANDA DEL PERIODO  4 ? 13█
DEMANDA DEL PERIODO  5 ? 12█
DEMANDA DEL PERIODO  6 ? 13█
DEMANDA DEL PERIODO  7 ? 13█
DEMANDA DEL PERIODO  8 ? 14█
DEMANDA DEL PERIODO  9 ? 14█
DEMANDA DEL PERIODO  10 ? 15█
DEMANDA DEL PERIODO  11 ? 15█
```



PULSA ENTER PARA CONTINUAR? ▮

SE PUEDE:

1.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA LINEA RECTA

2.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA CURVA EXPONENCIAL

3.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA CURVA DE POTENCIAS

4.- PRONOSTICAR AJUSTANDO UNA CURVA LOGARITMICA

5.- PRONOSTICAR CON PROMEDIOS MOVILES

6.- PRONOSTICAR CON ATENUACION EXPONENCIAL PONDERADA

7.- SUSPENDE LA EJECUCION DE ESTE PROGRAMA

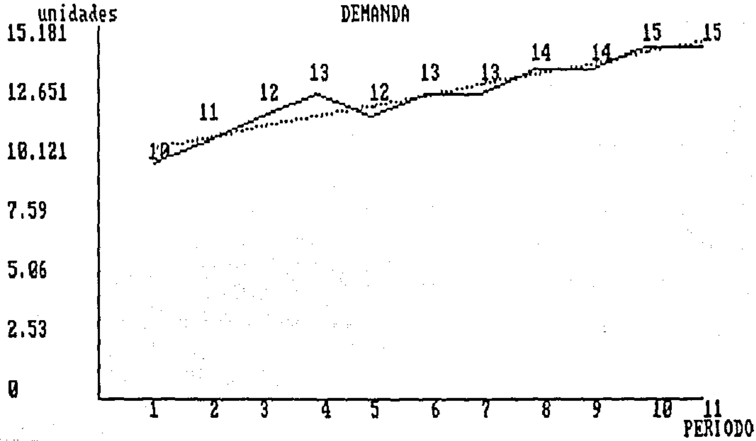
QUE QUIERES HACER (NUMERO)? ▮

Selecionando el ajuste de una línea recta:

SE AJUSTARA UNA LINEA RECTA (Y = A + BX)

PERIODO X	unidades Y	XY	XX	YY
1	10	10	1	100
2	11	22	4	121
3	12	36	9	144
4	13	52	16	169
5	12	60	25	144
6	13	78	36	169
7	13	91	49	169
8	14	112	64	196
9	14	126	81	196
10	15	150	100	225
11	15	165	121	225
66	142	902	506	1858

LA RECTA ES: Y = 10.18182 +(.4545455)X
COEFICIENTE DE CORRELACION.......... .9552009
ERROR ESTANDAR........................ .4453686
SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO .198347
PULSA ENTER PARA CONTINUAR?



PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

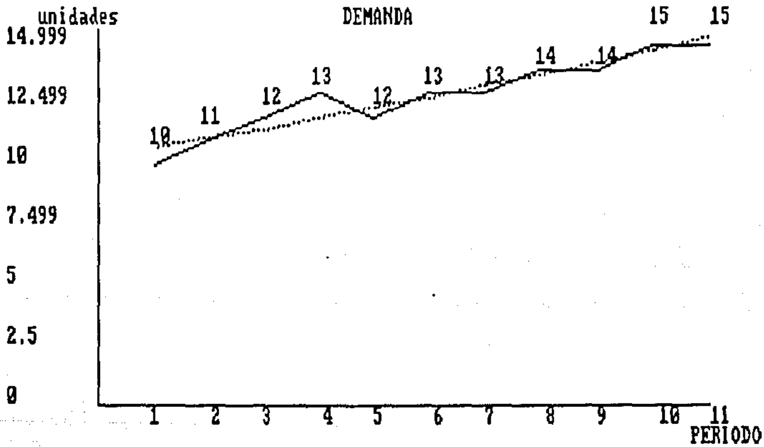
PERIODO X	unidades Y
12	15.63636
13	16.09091
14	16.54545

PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

Selecionando el ajuste de una curva exponencial:

PERIODO X	unidades Y	LN(Y)	XLN(Y)	XX	LN(Y)LN(Y)
1	10	2.302585	2.302585	1	5.301899
2	11	2.397895	4.795791	4	5.749902
3	12	2.484907	7.45472	9	6.174761
4	13	2.564949	10.2598	16	6.578965
5	12	2.484907	12.42453	25	6.174761
6	13	2.564949	15.3897	36	6.578965
7	13	2.564949	17.95465	49	6.578965
8	14	2.639057	21.11246	64	6.964624
9	14	2.639057	23.75152	81	6.964624
10	15	2.70805	27.0805	100	7.333536
11	15	2.70805	29.78855	121	7.333536
66		28.05935	172.3148	506	71.73454

LA CURVA ES: Y = 10.32866 (1.036644 ^X)
COEFICIENTE DE CORRELACION.......... .9456308
ERROR ESTANDAR...................... 3.914011E-02
SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO .221747
PULSA ENTER PARA CONTINUAR?



PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

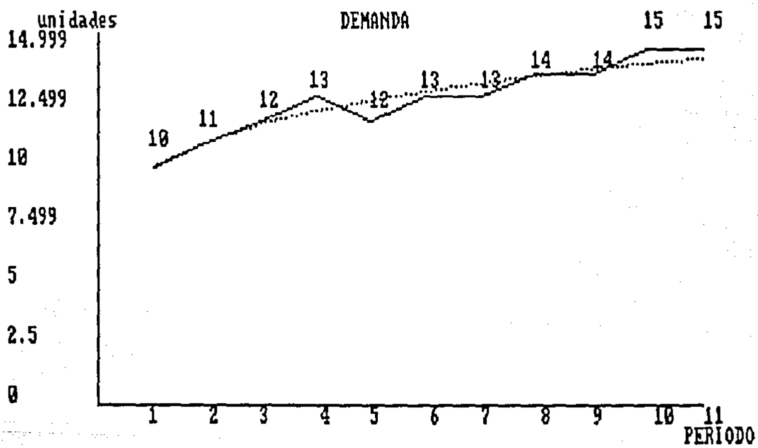
PERIODO X	unidades Y
12	15.90731
13	16.49021
14	17.09447

PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

Selecionando el ajuste de una curva de potencias

PERIODO X	unidades LN(X)	Y	LN(Y)	LN(X)LN(Y)	LN(X)LN(X)	LN(Y)LN(Y)
1	0	10	2.302585	0	0	5.301899
2	.6931472	11	2.397895	1.662094	.480453	5.749902
3	1.098612	12	2.484907	2.729949	1.206949	6.174761
4	1.386294	13	2.564949	3.555775	1.921812	6.578965
5	1.609438	12	2.484907	3.999303	2.590291	6.174761
6	1.791759	13	2.564949	4.595772	3.210402	6.578965
7	1.94591	13	2.564949	4.991161	3.786567	6.578965
8	2.079442	14	2.639057	5.487766	4.324077	6.964624
9	2.197225	14	2.639057	5.798602	4.827796	6.964624
10	2.302585	15	2.70805	6.235516	5.301899	7.333536
11	2.397895	15	2.70805	6.493621	5.749902	7.333536
	17.50231		28.05935	45.54956	33.40015	71.73454

LA CURVA ES: Y = 9.89306 (X^ .1627899)
COEFICIENTE DE CORRELACION.......... .9609813
ERROR ESTANDAR...................... 3.325335E-02
SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO .1900463
PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █



PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

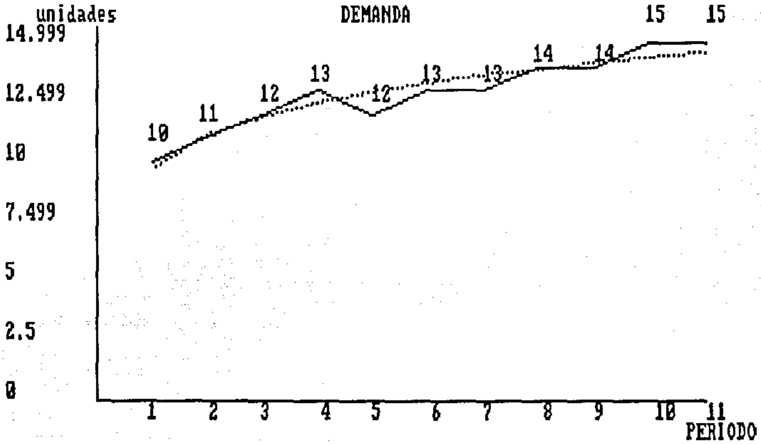
PERIODO X	unidades Y
12	14.82553
13	15.01998
14	15.20227

PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

Selecionando el ajuste de una curva logarítmica

PERIODO X	unidades LN(X)	Y	YLN(X)	LN(X)LN(X)	YY
1	0	10	0	0	100
2	.6931472	11	7.624619	.480453	121
3	1.098612	12	13.18335	1.206949	144
4	1.386294	13	18.02183	1.921812	169
5	1.609438	12	19.31326	2.590291	144
6	1.791759	13	23.29287	3.210402	169
7	1.94591	13	25.29683	3.786567	169
8	2.079442	14	29.11218	4.324077	196
9	2.197225	14	30.76114	4.827796	196
10	2.302585	15	34.53878	5.301899	225
11	2.397895	15	35.96843	5.749902	225
	17.50231	142	237.1133	33.40015	1858

LA CURVA ES: Y = 9.706615 +(2.01272)LN(X)
COEFICIENTE DE CORRELACION.......... .9502215
ERROR ESTANDAR...................... .4688684
SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO .2198327
PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █



PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

PERIODO X	unidades Y
12	14.70803
13	14.86914
14	15.0183

PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

Selecionando promedios móviles de 3 términos

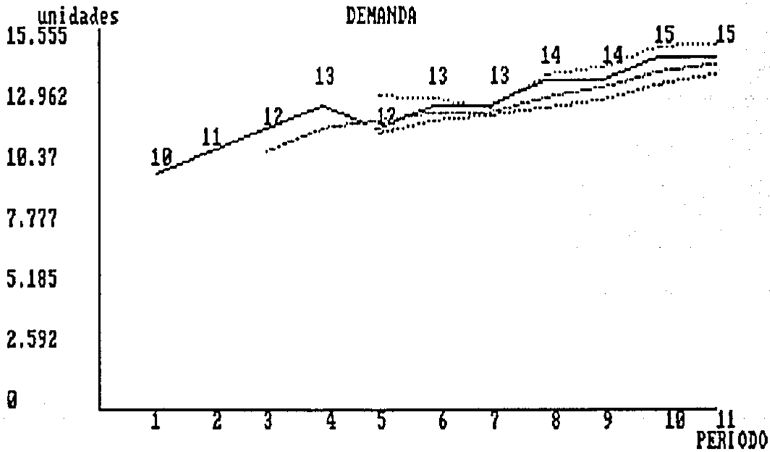
SE PRONOSTICARA CON PROMEDIOS MOVILES

DE_CUANTOS_TERMINOS_QUIERES_LOS_PROMEDIOS_MOVILES?_3_

PERIODO	unidades	P.SIMPLE	P.DOBLE	P.S.+DIF	P.AJUSTADO
1	10	0	0	0	0
2	11	0	0	0	0
3	12	11	0	0	0
4	13	12	0	0	0
5	12	12.33333	11.77778	12.88889	13.44444
6	13	12.66667	12.33333	13	13.33333
7	13	12.66667	12.55556	12.77778	12.88889
8	14	13.33333	12.88889	13.77778	14.22222
9	14	13.66667	13.22222	14.11111	14.55556
10	15	14.33333	13.77778	14.88889	15.44444
11	15	14.66667	14.22222	15.11111	15.55556

SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO .3312757

PULSA ENTER PARA CONTINUAR?



PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

PERIODO X	unidades Y
12	15.55556
13	16
14	16.44445

PULSA ENTER PARA CONTINUAR?

Selecionando atenuación exponencial ponderada α=.3:

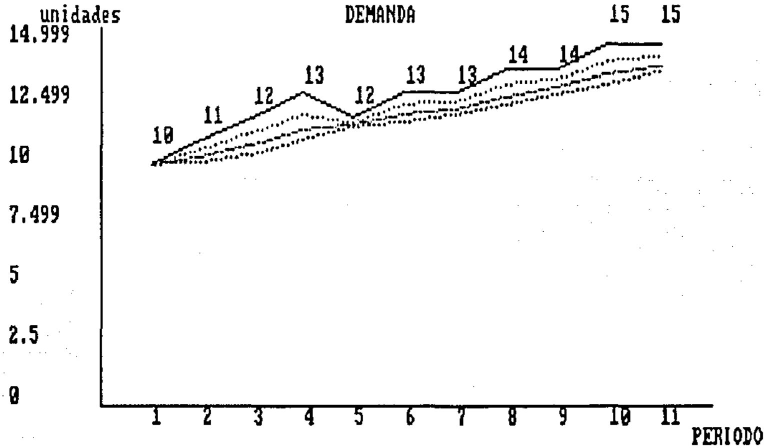
SE PRONOSTICARA CON ATENUACION EXPONENCIAL

CONSTANTE DE ATENUACION EXPONENCIAL (ENTRE 0 Y 1)? .3

PERIODO	unidades	P.SIMPLE	P.DOBLE	P.S.+DIF	P.AJUSTADO
1	10	10	10	10	10
2	11	10.3	10.09	10.51	10.6
3	12	10.81	10.453	11.167	11.32
4	13	11.467	11.0071	11.9269	12.124
5	12	11.6269	11.51497	11.73883	11.7868
6	13	12.03883	11.75048	12.32718	12.45076
7	13	12.32718	12.12533	12.52903	12.61553
8	14	12.82903	12.47773	13.18032	13.33087
9	14	13.18032	12.93441	13.42622	13.53161
10	15	13.72622	13.34409	14.10836	14.27213
11	15	14.10836	13.84086	14.37585	14.49049

SUMATORIA DE ERROR CUADRADO PROMEDIO 1.262174

PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █



PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

CUANTOS PERIODOS QUIERES PRONOSTICAR? 3

PERIODO X	unidades Y
12	14.49049
13	14.60513
14	14.71977

PULSA ENTER PARA CONTINUAR? █

CAPITULO IV

PROGRAMACION LINEAL

Programación lineal: En este título por "programación" debe de entenderse: una secuencia ordenada de operaciones que permiten la solución de un problema, y por "lineal, que el modelo matemático que representa el problema sólo contiene ecuaciones lineales (líneas rectas).

Se puede resolver por programación lineal aquellos problemas que involucran diferentes actividades que compiten por el uso de recursos escasos, y que existe una medida de efectividad para poder seleccionar entre las diferentes alternativas de combinaciones del nivel de las actividades.

Para la planeación de capacidad se puede usar programación lineal cuando sea necesario determinar las cantidades a producir de cada uno de los diferentes artículos con la capacidad existente de los departamentos, de tal forma que se maximice la utilidad, es decir, determinar que conviene producir con una capacidad dada.

Para usar programación lineal primero se debe se establecer el modelo matemático del problema a resolver:

El nivel de cada actividad serán las variables, lo que se puede decidir o controlar. Con ellas se debe de formular las ecuación del modelo.

A la ecuación que mide la efectividad de sus combinaciones se le llama "función objetivo".

También deberán formularse ecuaciones que midan el uso total de los recursos y determinarse los limites de éstos, éstas constituyen las restricciones del problema. Existe una restricción especial que se llama "de no negatividad", y que establece que los niveles de las actividades siempre deberán ser mayor o igual a cero, porque solamente se puede pensar que se realizará algo o nada de esa actividad.

Tanto en la función objetivo como en las restricciones existen parámetros impuestos por el sistema, es decir valores que no son controlables por el que toma decisiones.

<u>Ejemplo:</u> EL encargado de la investigación y el desarrollo de productos encontró que es factible producir mesas y sillas de madera, pero será necesario determinar las cantidades óptimas de producción que se puede lograr con las instalaciones existentes, para poder así, investigar las modificaciones que serían necesarias para satisfacer la demanda del mercado que se desea

cubrir. Por lo anterior se comunicaron al encargado de la planeación de capacidad los siguientes datos:

La producción se puede llevar a cabo con dos de los departamentos existentes: el de corte y el de ensamble (existe el equipo necesario).

Una mesa requiere de 10 horas-hombre para el corte y 5 para el ensamble y proporcionará una utilidad de 1,000 pesos, pero solo se podrán vender como máximo 10,000 unidades.

Una silla requiere de 5 horas-hombre para el corte y 10 para el ensamble y proporcionará una utilidad de 500 pesos, pero solo se podrán vender como máximo 40,000 unidades.

Actualmente el departamento de corte cuenta para la producción de estos artículos con 200,000 horas-hombre, y el de ensamble con 300,000.

El encargado de la planeación de capacidad decidió usar programación lineal para determinar la cantidad de mesas y sillas que se podrán de producir sin modificar las instalaciones actuales, y que además proporciones la máxima utilidad. Para ello modeló el problema de la siguiente forma:

Variables de decisión:

sea M la cantidad de mesas que se fabriquen.

sea S la cantidad de sillas que se fabriquen.

Función objetivo:

Maximizar la utilidad, la utilidad estará determinada por lo que obtenga de las mesas (1,000 pesos por cada mesa por la cantidad que fabrique) más lo que obtenga de las sillas (500 pesos por cada silla por la cantidad que fabrique). Matemáticamente se tiene:

$$\text{Max } (1000\ M + 500\ S)$$

Restricciones:

Departamento de corte:

La cantidad de horas-hombre que se requieren en el departamento de corte son las que se necesiten para cortar las mesas (10 horas-hombre por cada mesa por la cantidad que fabrique) más lo que se necesiten para cortar las sillas (5 horas-hombre por cada silla por la cantidad que fabrique). No se podrán usar más de 200,000 horas-hombre. Matemáticamente se tiene:

$$10\ M + 5\ S \leq 200000$$

Departamento de ensamble:

La cantidad de horas-hombre que se requieren en el departamento de ensamble son lo que se necesiten para ensamblar las mesas (5 horas-hombre por cada mesa por la cantidad que fabrique) más lo que se necesiten para ensamblar las sillas (10 horas-hombre por cada silla por la cantidad que fabrique). No se podrán usar más de 300,000 horas-hombre. Matemáticamente se tiene:

$5 M + 10 S \leq 300000$

Ventas máximas:

Mesas:

No se pueden vender más de 10,000 mesas. Matemáticamente se tiene:

$M \leq 10000$

Sillas:

No se pueden vender más de 40,000 sillas. Matemáticamente se tiene:

$S \leq 40000$

No negatividad:

Sí se habla de producir tanto M como S (cantidades) deben de ser mayor o igual a cero. Matemáticamente esto se expresa como:

$$M, S \leq 0$$

Resumiendo el modelo del problema para ser resuelto por programación lineal es:

$$\text{Max } 1000\,M + 500\,S$$

S.T. (sujeto a:)

$$\begin{aligned} 10\,M + 5\,S &\leq 200000 \\ 5\,M + 10\,S &\leq 300000 \\ M &\leq 10000 \\ S &\leq 40000 \end{aligned}$$

$$M, S \leq 0$$

Una vez que se ha establecido el modelo matemático del problema se puede proceder a resolverlo. Se podrá resolverlo gráficamente, con álgebra, o con el método "simplex", éste último método es el más indicado para resolver problemas reales, y los dos primeros se usan generalmente para resolver problemas con fines didácticos.

<u>Solución gráfica:</u> Se pueden resolver gráficamente problemas de programación lineal que involucren dos variables, aunque también se podría con los de tres variables, pero resultaría demasiado complicado para el fin que le daremos a este método, (el facilitar la

comprensión del método simplex para la resolución de problemas de programación lineal).

La solución gráfica consiste: en graficar cada una de las restricciones del problema en ejes coordenados que representen los niveles posibles de cada una de las dos actividades; en determinar la región factible que es el conjunto todas las alternativas de solución (puntos en los ejes coordenados); y en la elección de la alternativa mejor (punto óptimo) de acuerdo a la función objetivo.

Como ejemplo se resolverá el problema de mesas y sillas modelado anteriormente:

Max (1000 M + 500 S)

S.T. (sujeto a:)

$$\begin{array}{rcrl} 10\ M & + & 5\ S & \leq 200000 \\ 5\ M & + & 10\ S & \leq 300000 \\ M & & & \leq 10000 \\ & & S & \leq 40000 \end{array}$$

$$M,\ S\ \leq 0$$

Primero graficaremos las restricciones:

El eje horizontal representará la cantidad de mesas a fabricar y el vertical la de sillas. Esto significa que la distancia del eje vertical a un punto medirá la cantidad de mesas que se fabricarán, y la distancia del eje horizontal a ese punto representará la cantidad de sillas (figura 4.1).

La restricción de no negatividad (M, S $\leq$ 0) significa que no serán posibles cantidades negativas, esto es, solo serán válidos puntos del eje horizontal y por encima de él y puntos del eje vertical y a la derecha de él (figura 4.1).

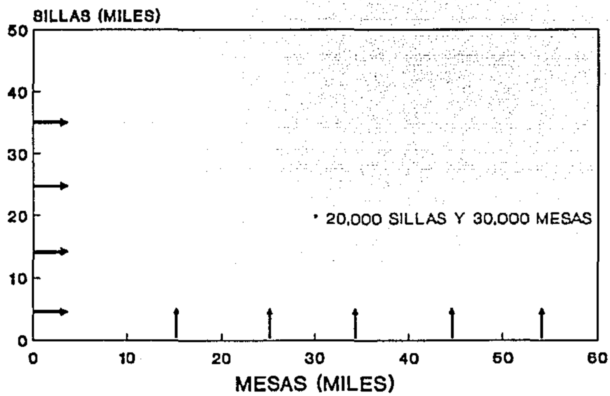


figura 4.1

La primera restricción (mano de obra del departamento de corte) $10\ M + 5\ S \leq 200{,}000$ nos dice que si sólo fabricamos mesas (S=0) podríamos hacer hasta 20,000 (punto a), y si sólo fabricamos sillas (M=0) podríamos hacer hasta 40,000 (punto b).

Todos los puntos de la recta que une "a" con "b" y los puntos y por debajo de ella corresponden a combinaciones posibles de fabricación de mesas y sillas sin requerir de mayor mano de obra del departamento de corte que la disponible (figura 4.2).

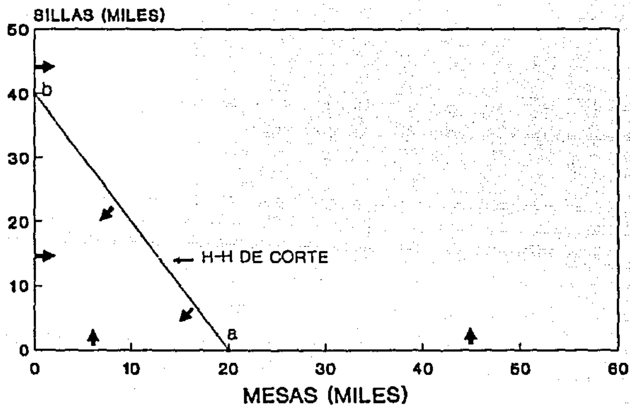


figura 4.2

La segunda restricción (mano de obra del departamento de ensamble 5 M + 10 S ≤ 300,000 nos dice que si sólo fabricamos mesas (S=0) podríamos hacer hasta 60,000 (punto c), y si sólo fabricamos sillas (M=0) podríamos hacer hasta 30,000 (punto d).

Igualmente, todos los puntos de la recta que une "c" con "d" y los puntos y por debajo de ella corresponden a combinaciones posibles de fabricación de mesas y sillas sin requerir de mayor mano de obra de ensamble que la disponible (figura 4.3).

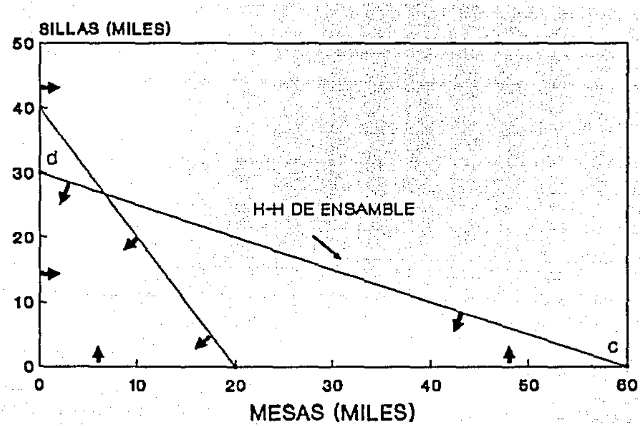


figura 4.3

La tercera restricción (ventas máximas de mesas) $M \leq 10,000$ nos dice que sólo podremos fabricar hasta 10,000 mesas (punto "e") sin importar cuantas sillas se fabriquen.

Esto significa que todos los puntos de una recta vertical que pase por el punto "e" y los puntos a la izquierda de ella corresponden a combinaciones posibles de fabricación de mesas y sillas sin exceder del máximo de ventas de mesas posible (figura 4.4).

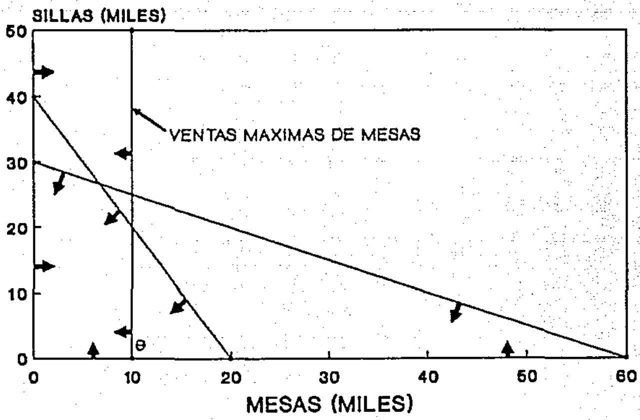


figura 4.4

La última restricción (ventas máximas de sillas) $S \leq 40,000$ nos dice que sólo podremos fabricar hasta 40,000 sillas (punto "f") sin importar cuantas mesas se fabriquen.

Esto significa que todos los puntos de una recta horizontal que pase por el punto "f" y los puntos por debajo de ella corresponden a combinaciones posibles de fabricación de mesas y sillas sin exceder del máximo de ventas de sillas posible (figura 4.5)

Determinación de la región factible:

La región factible es el conjunto de todos los puntos que representen combinaciones de fabricación de mesas y

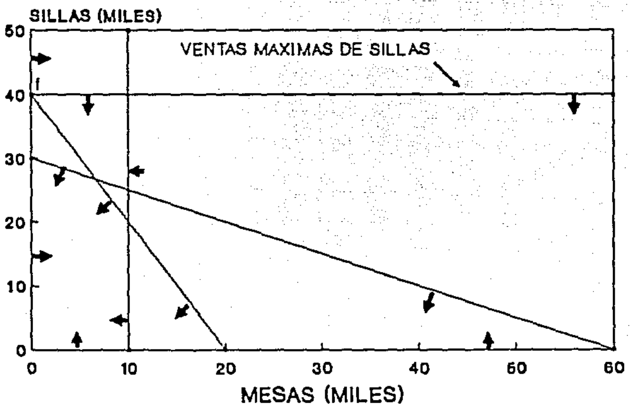


figura 4.5

sillas factibles de acuerdo a las restricciones. El área comprendida entre los puntos "o", "d", "g", "h", y "e" de la figura (4.6) siguiente representa la región factible.

Determinación de la solución óptima:

La primera forma que existe para determinar la solución óptima se apoya en un teorema que dice que si existe la solución óptima, ésta será algún punto extremo. En la gráfica los vértices puntos "o", "d", "g", "h", y "e" y los segmentos de recta que los unen definen a la de la región factible y también son todos los puntos extremos, esto significa que para encontrar la solución óptima basta con determinar las coordenadas de los vértice y evaluarlos con ayuda de la función objetivo.

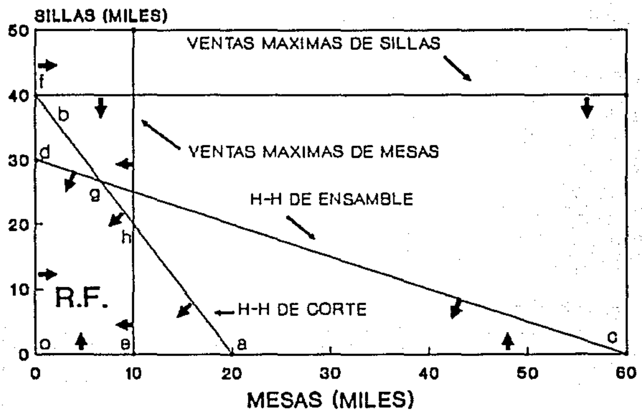


figura 4.6

Para determinar las coordenadas de los puntos se observan en la gráfica o se determinan matemáticamente resolviendo el sistema formado por las ecuaciones de las dos rectas cuyo cruce producen el punto.

Para el punto "g" se resuelve el siguiente sistema:

$$\begin{aligned} 10\ M + 5\ S &= 200000 \\ 5\ M + 10\ S &= 300000 \end{aligned}$$

y para el punto "h":

$$\begin{aligned} 10\ M + 5\ S &= 200000 \\ M &= 10000 \end{aligned}$$

Los resultados y la observación de los otros puntos en la gráfica se presentan el la siguiente tabla donde también se muestra su evaluación con la función objetivo (1000 M + 500 S)

Punto	Mesas	sillas	utilidad
o	0	0	0
d	0	30,000	15,000,000
g	6,666.66	26,666.66	20,000,000
h	10,000	20,000	20,000,000
e	10,000	0	10,000,00

En caso de que sean dos puntos los que tengan el mismo "mejor" valor de la función objetivo se dice que el problema tiene infinidad de soluciones óptimas y serán los dos puntos y todos los que pertenecen al segmento de recta que los unen.

Lo anterior sucede en este ejemplo (puntos "g" y "h"), Significa que el problema tiene infinidad de soluciones óptimas, en la tabla siguiente se presentan algunas.

Mesas	sillas	utilidad
6,666.66	26,666.66	20,000,000
7,000	26,000	20,000,000
8,000	24,000	20,000,000
9,000	22,000	20,000,000
10,000	20,000	20,000,000

La segunda forma que existe para determinar la solución óptima se apoya en el hecho que la función objetivo representa en la gráfica a una familia de rectas paralelas. Para determinar la solución se grafican dos rectas, una que represente los puntos para una utilidad determinada y que contenga al menos un punto de la región factible y otra correspondiente a una utilidad mayor, con esto se puede observar en que dirección crece la utilidad, por último con ayuda de una escuadra se determina la recta paralela de la utilidad mayor que contenga al menos un punto de la región factible, este último será el óptimo.

Para graficar la recta formada por todos los puntos con utilidad de 5,000,000 es decir 1000 M + 500 S = 5000000 se procede como se hizo con las restricciones:

Para tener una utilidad de 5,000,000, si sólo fabricáramos mesas (S=0) tendríamos que fabricar 5000 y sí sólo fabricamos sillas (M=0) sería necesario hacer 10,000 (puntos "k" y "l").

Para tener una utilidad de 10,000,000, si sólo fabricáramos mesas (S=0) tendríamos que fabricar 10000 y sí sólo fabricamos sillas (M=0) sería necesario hacer 20,000 (puntos "m" y "p").

En la gráfica siguiente se puede observar las rectas de la utilidad de 5,000,000 y la de 10,000,000, que la utilidad aumenta con rectas paralelas arriba y hacia la derecha y que la recta paralela de mayor utilidad es la que pasa por encima de los puntos "d" y "g". por lo que los puntos óptimos (infinidad de soluciones óptimas) son estos dos y todos los que están en el segmento de recta que los une. Las coordenadas del punto "d" se puede observar fácilmente en la gráfica, pero para el punto "g" se tendría que proceder matemáticamente (figura 4.7).

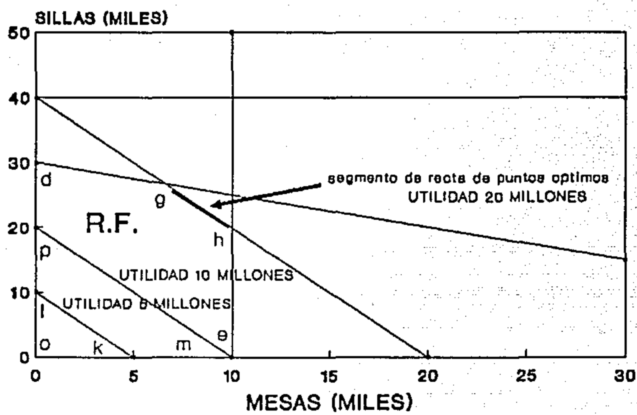


figura 4.7

Solución matemática: Para resolver problemas con más de dos variables de decisión (actividades) se podría usar un método matemático.

En forma similar al método gráfico para encontrar la solución se determinan los puntos extremos y se evalúan con la función objetivo, sólo que en este método se determinan los puntos extremos matemáticamente.

Para determinar los puntos extremos se convierten las inecuaciones (desigualdades) de las restricciones en ecuaciones por medio de variables de holgura, resultando de esta forma sistemas de ecuaciones indeterminados (más variables que ecuaciones), si damos el valor de cero al número de variables necesarias para hacer que el sistema deje de ser indeterminado (número de variables menos número de ecuaciones) obtendremos soluciones particulares que corresponderán a puntos vértices, si además, seleccionamos de todos ellos los que cumplen con la restricción de no negatividad, obtendremos los puntos extremos que definen la región factible, y evaluando todos ellos con ayuda de la función objetivo obtendremos el(los) punto(s) óptimo(s)

Ejemplo: Se pueden fabricar mesas, sillas y escritorios con los siguientes requerimientos de mano de obra de cada departamento, su capacidad máxima y la contribución a las utilidades:

	Departamento de: corte	ensamble	utilidad
mesas	1 H-H	2 H-H	50
sillas	2 H-H	2 H-H	20
escritorios	4 H-H	2 H-H	70
H-H máximas	48	20	

Las variables de decisión:

X1 = cantidad de mesas a fabricar

$X2$ = cantidad de sillas a fabricar

$X3$ = cantidad de escritorios a fabricar

Función objetivo:

max utilidad = max $(50\ X1 + 20\ X2 + 70\ X3)$

Restricciones:

$X1 + 2\ X2 + 4\ X3 \leq 48$ Horas máximas de corte

$2\ X1 + 2\ X2 + 2\ X3 \leq 20$ Horas máximas de ensamble

$X1, X2, X3 >= 0$ No negatividad

Agregando variables de Holgura:

sea $X4$ las H-H no utilizadas del departamento de corte

y $X5$ las H-H no utilizadas del departamento de ensamble

incluidas en sistema de desigualdades resulta el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} X1 + 2\ X2 + 4\ X3 + X4 \quad\quad &= 48 \\ 2\ X1 + 2\ X2 + 2\ X3 \quad\quad + X5 &= 20 \end{aligned}$$

$X1, X2, X3, X4, X5 >= 0$

Como el sistema tiene 2 ecuaciones y 5 incógnitas se necesita darle valor a tres variables para obtener sistemas determinados.

Primer punto extremo:

Si X2 = X3 = X4 = 0 es decir, no fabricar ni sillas ni escritorios, sólo mesas, pero utilizando todas la H-H de corte, se tiene:

$$\begin{aligned} X1 & & = 48 \\ 2\ X1 & + X5 & = 20 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema se tiene que para utilizar todas las H-H de corte fabricando sólo mesas se tendrían que hacer 48 (X1 = 48) pero se necesitarían de 76 H-H de ensamble extras (X5 = -76) lo que resulta imposible. Por lo tanto este punto extremo no es factible.

Segundo punto extremo:

Si X1 = X3 = X4 = 0 es decir, no fabricar ni mesas ni escritorios, sólo sillas y utilizando todas la H-H de corte, se tiene:

$$\begin{aligned} 2\ X2 & & = 48 \\ 2\ X2 & + X5 & = 20 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema se tiene como solución el hacer 24 sillas (X2 = 24) pero faltarían 28 H-H de ensamble (X5 = -28), por lo que representa una solución no factible.

Tercer punto extremo:

Si X1 = X2 = X4 = 0 es decir, no fabricar ni mesas ni sillas, sólo escritorios y utilizar todas la H-H de corte, se tiene:

$$\begin{aligned} 4\,X3 \quad\quad\quad &= 48 \\ 2\,X3 \quad + X5 &= 20 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema se tiene:

X3 = 12 y X5 = -4. Significa que para usar todas las H-H de corte se tendría que fabricar 12 escritorios pero se requerirían 4 H-H de ensamble extras, por lo que no es una solución factible.

Cuarto punto extremo:

Si X1 = X2 = X3 = 0 es decir, no fabricar nada, se tiene:

$$\begin{aligned} X4 \quad\quad &= 48 \\ X5 &= 20 \end{aligned}$$

esta solución es factible pero representa una utilidad de 0

Quinto punto extremo:

Si X2 = X3 = X5 = 0 es decir, no fabricar ni sillas ni escritorios, sólo mesas, pero utilizando todas la H-H de ensamble, se tiene:

$$\begin{aligned} X1 \quad + X4 &= 48 \\ 2\,X1 \quad\quad\quad &= 20 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema se tiene que para utilizar todas las H-H de ensamble fabricando sólo mesas se tendrían que hacer 10 (X1 = 10) y sobrarán 38 H-H de corte (X4 = 38) obteniéndose una utilidad de 500 (10*50).

Sexto punto extremo:

Si X1 = X3 = X5 = 0 es decir, no fabricar ni mesas ni escritorios, sólo sillas y utilizando todas la H-H de ensamble, se tiene:

$$
\begin{aligned}
2\,X2 \quad + X4 &= 48 \\
2\,X2 \qquad\quad &= 20
\end{aligned}
$$

Resolviendo el sistema se tiene como solución el hacer 10 sillas (X2 = 10) y sobrarán 28 H-H de corte (X4 = 28), que representaría una utilidad de 200 (10*20).

Séptimo punto extremo:

Si X1 = X2 = X5 = 0 es decir, no fabricar ni mesas ni sillas, sólo escritorios pero ahora utilizando todas la H-H de ensamble, se tiene:

$$
\begin{aligned}
4\,X3 + X4 &= 48 \\
2\,X3 \qquad &= 20
\end{aligned}
$$

Resolviendo el sistema se tiene como solución el hacer 10 escritorios (X3 = 10) y sobrarán 8 H-H de corte (X4 = 8), que representaría una utilidad de 700 (10*70).

Octavo punto extremo:

Si X2 = X4 = X5 = 0 es decir, no fabricar sillas, sólo mesas y escritorios, pero utilizando todas la H-H de ensamble y de corte, se tiene:

$$
\begin{aligned}
X1 + 4\,X3 &= 48 \\
2\,X1 + 2\,X3 &= 20
\end{aligned}
$$

Resolviendo el sistema se tiene que para utilizar todos los recursos, H-H de ensamble y de corte se tendrían que hacer 76/6 escritorios ($X3 = 76/6$) y -16/6 mesas ($X1 = -16/64$) lo que resulta imposible, no por las cantidades fraccionarias, porque estas pueden significar tasas de producción (promedios), sino por el signo negativo. Por lo tanto este punto extremo es no factible.

Noveno punto extremo:

Si $X1 = X4 = X5 = 0$ es decir, no fabricar mesas, sólo sillas y escritorios, pero utilizando todas la H-H de ensamble y de corte, se tiene:

$$
\begin{aligned}
2\ X2 + 4\ X3 &= 48 \\
2\ X2 + 2\ X3 &= 20
\end{aligned}
$$

Resolviendo el sistema se tiene que para utilizar todos los recursos, H-H de ensamble y de corte se tendrían que hacer 14 escritorios ($X3 = 14$) y -4 sillas ($X2 = -4$) lo que es imposible siendo este un punto extremo no factible.

Décimo punto extremo:

Si $X3 = X4 = X5 = 0$ es decir, no fabricar escritorios, sólo mesas y sillas, pero utilizando todas la H-H de ensamble y de corte, se tiene:

$$
\begin{aligned}
X1 + 2\ X2 &= 48 \\
2\ X1 + 2\ X2 &= 20
\end{aligned}
$$

Resolviendo el sistema se tiene que para utilizar todos los recursos, H-H de ensamble y de corte se tendrían que hacer 38 sillas (X2 = 38) y -28 mesas (X1 = -28) lo que resulta imposible. Por lo tanto este punto extremo no es factible.

Selección del punto óptimo:

como se pude observar en la tabla resumen siguiente, el la utilidad máxima (700) se alcanza fabricando únicamente 10 escritorios utilizando todas las H-H de ensamble y sobrando 8 H-H de corte (el departamento de ensamble limita la producción).

mesas	sillas	escri-torios	sobrante de H-H de corte	sobrante de H-H de ensamble	factibilidad	utilidad
48	--	--	--	-76	no	--
--	24	--	--	-28	no	--
--	--	12	--	-4	no	--
--	--	--	48	20	si	0
10	--	--	38	--	si	500
--	10	--	28	--	si	200
--	--	10	8	--	si	700
-8/3	38/3	--	--	--	no	--
--	-4	14	--	--	no	--
-28	--	38	--	--	no	--

Método Simplex: aunque el método matemático anteriormente descrito funciona, no lo hace en forma eficiente porque inspecciona todos los puntos extremos y en problemas reales esto podria significar una cantidad excesiva e innecesaria de cálculos. El método simplex comienza con un punto extremo (una solución inicial factible) e inspecciona si alguno de los puntos extremos adyacentes es mejor de acuerdo a la función objetivo, si no lo hay significa que es el óptimo; y si hay uno mejor se toma éste como nueva solución y se vuelve a inspeccionar los adyacentes, y así sucesivamente hasta encontrar el óptimo.

Solución inicial: Deberá escribirse ésta en una tabla especial para el método simplex (tableau), para hacerlo es necesario definir algunos términos, los que se ilustran con ayuda del modelo del ejemplo anterior:

Modelo:

max 50 X1 + 20 X2 + 70 X3 Utilidad

S.T.

X1 + 2 X2 + 4 X3 + X4 = 48 Horas de corte
2 X1 + 2 X2 + 2 X3 + X5 = 20 Horas de ensamble

X1, X2, X3, X4, X5 >= 0

Donde:

X1 = cantidad de mesas a fabricar
X2 = cantidad de sillas a fabricar
X3 = cantidad de escritorios a fabricar
X4 = cantidad de H-H no utilizadas del departamento de corte
X5 = cantidad de H-H no utilizadas del departamento de ensamble

El modelo puede escribirse en forma matricial:

$$\max \begin{bmatrix} 50 & 20 & 70 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \end{bmatrix}$$

S.T.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 48 \\ 20 \end{bmatrix}$$

X1, X2, X3, X4, X5 >= 0

Si a la variables que se les dará valor para encontrar el punto extremo inicial son X1, X2 y x3 el sistema se puede escribir de la siguiente forma:

$$\max \begin{bmatrix} 50 & 20 & 70 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X4 \\ X5 \end{bmatrix}$$

S.T.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X4 \\ X5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 48 \\ 20 \end{bmatrix}$$

X1, X2, X3, X4, X5 >= 0

Donde los nombres que tomarán los diferentes elementos serán:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \end{bmatrix} = \text{vector de variables no básicas} = Xn$$

$$\begin{bmatrix} X4 \\ X5 \end{bmatrix} = \text{vector de variables básicas} = Xb$$

$$\begin{bmatrix} 50 & 20 & 70 \end{bmatrix} = \text{costos no básicos} = Cn$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} = \text{costos básicos} = Cb$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \text{base} = B$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} = \text{no base} = N$$

$$\begin{bmatrix} 48 \\ 20 \end{bmatrix} = \text{vector del lado derecho} = b$$

El tablea se construye con las matrices y multiplicación de las matrices siguientes:

	Xn	Xb	L.D.
	$Cb\ B^{-1}N - Cn$	0s	0
Xb	$B^{-1}\ N$	I	$B^{-1}\ b$

L.D. significa lado derecho; B^{-1}, inversa de la base B; I, matriz identidad y 0s, vector de ceros.

Entonces, el tablea del ejemplo para la solución inicial es:

	X1	X2	X3	X4	X5	LD
	-50	-20	-70	0	0	0
X4	1	2	4	1	0	48
X5	2	2	2	0	1	20

Antes de continuar con la inspección de puntos adyacentes, se explicarán los elementos de la tabla:

	X1	X2	X3	X4	X5	LD
	-50	-20	-70	0	0	0
X4	1	2	4	1	0	48
X5	2	2	2	0	1	20

Con los extremos derechos e izquierdo de la tabla se obtiene la solución actual X4 = 48 y X5 = 20 y las demás variables X1, X2 y X3 son iguales a cero, por ser las variables no básicas a las que se les dio ese valor para obtener un punto extremo, es decir, la solución inicial es no fabricar ni mesas ni sillas ni escritorios con un sobrante de 48 H-H de corte y 20 H-H de ensamble (todas las disponibles), y ésta coincide con una de las obtenidas con el método anterior.

El 0 que se encuentra abajo de las siglas L.D. representa el valor de la función objetivo que se obtiene con la solución actual.

El 1 que se encuentra en el cruce de la columna de X1 con el renglón X4, significa que por cada mesa que se quiere hacer (X1) se tendría 1 H-H de corte menos de las 48 que se tienen (X4); el 2 que se encuentra en el cruce de la columna de X1 con el renglón X5 significa que por cada mesa que se quiere hacer (X1) se tendria 2 H-H de ensamble (X5) menos de las 20 que se tienen; y el -50 que se encuentra inmediatamente abajo de X1 representa el impacto global en las utilidades (el signo menos significa ganar); por un lado se haría una sillas más, con lo que se ganaría 50 y por otro, se perdería 1 H-H de sobrante de corte y 2 H-H de sobrante de ensamble, pero como no tiene costo el impacto global en las utilidades será de ganar 50 (-50).

En forma similar se explican las columnas de X2 y X3, bajo de X4 y X5 se encontrarán ceros en los impactos globales a las utilidades y la matriz identidad bajo de ellos, porque X4 y X5 en la solución actual tienen el más alto valor posible y no se puede obtener lo que si sucede con las otras variables (X1, X2 y X3)

Inspección de puntos adyacentes: en el primer renglón de la tabla podemos observar que lo que nos conviene hacer es escritorios (X3) por que se ganará 70 pesos más por cada uno que se fabrique, se dice que esta variable entrará a la base (será variable básica).

Una vez determinado lo que más conviene hacer (escritorios en este caso), tendremos que determinar cuánto hacer, y observando la columna de X3 de la tabla se piensa: por cada escritorio que se fabrique (X3) se pierde 4 H-H de corte (X4) de las 48 que se tienen, por lo tanto se podría hacer 12, Sin embargo, como también se pierden 2 H-H de ensamble (X5) de las 20 que se tienen, sólo se podrán fabricar 10. Esto significa que se usaran todas la H-H de ensamble, X5 será igual a cero será variable no básica; (variable que sale de la base).

Si se fabrica 10 escritorios (X3=10), ni mesas ni sillas (X1=X2=0, no básicas) no sobrará H-H de ensamble (X5=0) y sobrarán 8 H-H de corte (48 que se tenían menos 40 de las 4 que se pierde por cada uno de los 10 escritorios que se fabrican), y se tendrá una utilidad de 700 (70 por cada uno de los 10 escritorios).

La tabla de esta nueva solución se obtiene: Sustituyendo en los renglones de las variables básicas la variable que entra por la que sale de la base (X3 por X5), y haciendo transformaciones elementales de tal forma que con las columnas correspondientes a las nuevas variables básicas se tenga ceros y la matriz identidad (por así requerirlo la construcción del tableau como se mencionó anteriormente).

Sustituyendo X3 por X5:

	X1	X2	X3	X4	X5	LD
	-50	-20	-70	0	0	0
X4	1	2	4	1	0	48
X3	2	2	2	0	1	20

con las columnas de X4 $\begin{array}{c}0\\ \hline 1\\ 0\end{array}$ y X3 $\begin{array}{c}-70\\ \hline 4\\ 2\end{array}$ se debe formar $\begin{array}{cc}0 & 0\\ \hline 1 & 0\\ 0 & 1\end{array}$

por lo que habrá que hacer 1 el 2, y ceros arriba de él

Dicho en forma general, hay que hacer 1 el elemento (pivote) que se encuentra en el cruce de la columna de la variable que entró (columna pivote) con el renglón de la variable que salió (renglón pivote), y ceros los que estén por arriba o por debajo de este elemento.

En este ejemplo primero habrá que dividir el renglón de X3 entre 2:

	X1	X2	X3	X4	X5	LD
	-50	-20	-70	0	0	0
X4	1	2	4	1	0	48
X3	1	1	1	0	1/2	10

Sumar al renglón X4 por el renglón X3 multiplicado por -4, y sumar al renglón evaluador (primero) el renglón X3 multiplicado por 70.

	X1	X2	X3	X4	X5	LD
	20	50	0	0	35	700
X4	-3	-2	0	1	-2	8
X3	1	1	1	0	1/2	10

La solución como se indicó anteriormente es hacer 10 escritorios (X3=10) obteniendo un utilidad de 700, no hacer ni mesas ni sillas (X1=X2=0, variables no básicas), con lo que se utilizaría todas las horas-hombre de ensamble (X5=0, variable no básica) y sobrarían 8 H-H de corte (X3=8).

En esta tabla se puede observar que ya no es posible mejorar la solución, porque al hacer mesas perderíamos 20 por cada una; con las sillas perderíamos 50 por cada una, y al tener sobrante de horas de ensamble perderíamos 35 por cada H-H, por lo que esta solución es la óptima.

El método simplex en este problema encontró la solución en la primera iteración, es decir sólo inspeccionó otro punto extremo además de con el que inició, y no los 10 como se hizo con el método matemático.

SOLUCION DE LOS MODELOS

DEL CAPITULO

CON "LINDO"

```
MAX     1000 M + 500 S
SUBJECT TO
2)    10 M + 5 S ≤   200000
3)    5 M + 10 S ≤   300000
4)    M ≤   10000
5)    S ≤   40000
END
```

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	M	S	SLK 2	SLK 3	SLK 4	SLK 5	
1	ART	-1000.000	-500.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	SLK 2	10.000	5.000	1.000	.000	.000	.000	.20E+06
3	SLK 3	5.000	10.000	.000	1.000	.000	.000	.30E+06
4	SLK 4	1.000	.000	.000	.000	1.000	.000	10000.000
5	SLK 5	.000	1.000	.000	.000	.000	1.000	40000.000
ART	ART	-1000.000	-500.000	.000	.000	.000		

M ENTERS AT VALUE 10000. IN ROW 4 OBJ. VALUE= .10000E+08

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	M	S	SLK 2	SLK 3	SLK 4	SLK 5	
1	ART	.000	-500.000	.000	.000	1000.000	.000	.10E+08
2	SLK 2	.000	5.000	1.000	.000	-10.000	.000	*********
3	SLK 3	.000	10.000	.000	1.000	-5.000	.000	.25E+06
4	M	1.000	.000	.000	.000	1.000	.000	10000.000
5	SLK 5	.000	1.000	.000	.000	.000	1.000	40000.000

S ENTERS AT VALUE 20000. IN ROW 2 OBJ. VALUE= .20000E+08

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	M	S	SLK 2	SLK 3	SLK 4	SLK 5	
1	ART	.000	.000	100.000	.000	.000	.000	.20E+08
2	S	.000	1.000	.200	.000	-2.000	.000	20000.000
3	SLK 3	.000	.000	-2.000	1.000	15.000	.000	50000.000
4	M	1.000	.000	.000	.000	1.000	.000	10000.000
5	SLK 5	.000	.000	-.200	.000	2.000	1.000	20000.000

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 20000000.0

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
M	10000.000000	.000000
S	20000.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	.000000	100.000000
3)	50000.000000	.000000
4)	.000000	.000000
5)	20000.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 2

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
M	1000.000000	INFINITY	.000000
S	500.000000	.000000	500.000000

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	200000.000000	25000.000000	100000.000000
3	300000.000000	INFINITY	50000.000000
4	10000.000000	10000.000000	3333.333000
5	40000.000000	INFINITY	20000.000000

```
MAX      50 X1 + 20 X2 + 70 X3
SUBJECT TO
2)    X1 + 2 X2 + 4 X3 ≤   48
3)    2 X1 + 2 X2 + 2 X3 ≤   20
END
```

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	X1	X2	X3	SLK 2	SLK 3	
1	ART	-50.000	-20.000	-70.000	.000	.000	.000
2	SLK 2	1.000	2.000	4.000	1.000	.000	48.000
3	SLK 3	2.000	2.000	2.000	.000	1.000	20.000
ART	ART	-50.000	-20.000	-70.000	.000		

X1 ENTERS AT VALUE 10.000 IN ROW 3 OBJ. VALUE= 500.00

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	X1	X2	X3	SLK 2	SLK 3	
1	ART	.000	30.000	-20.000	.000	25.000	500.000
2	SLK 2	.000	1.000	3.000	1.000	-.500	38.000
3	X1	1.000	1.000	1.000	.000	.500	10.000

X3 ENTERS AT VALUE 10.000 IN ROW 3 OBJ. VALUE= 700.00

THE TABLEAU

ROW	(BASIS)	X1	X2	X3	SLK 2	SLK 3	
1	ART	20.000	50.000	.000	.000	35.000	700.000
2	SLK 2	-3.000	-2.000	.000	1.000	-2.000	8.000
3	X3	1.000	1.000	1.000	.000	.500	10.000

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 700.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	.000000	20.000000
X2	.000000	50.000000
X3	10.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	8.000000	.000000
3)	.000000	35.000000

NO. ITERATIONS= 2

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	50.000000	20.000000	INFINITY
X2	20.000000	50.000000	INFINITY
X3	70.000000	INFINITY	20.000000

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	48.000000	INFINITY	8.000000
3	20.000000	4.000000	20.000000

CAPITULO V

SIMULACION MONTE CARLO

La simulación y la computadora juntas forman una de las herramientas más importantes para el análisis y el diseño de complejos sistemas de operación. La solución de problemas con estos medios es más económica que la experimentación en la realidad y menos compleja que la solución matemática.

La simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora con el propósito de entender el comportamiento de un sistema o evaluar diferentes alternativas de su operación.

En la simulación se puede comenzar con un modelo simple y gradualmente aumentar su complejidad de tal forma que se pueda observar los efectos de los cambios, siendo así un instrumento valioso de análisis, diseño y aun pedagógico, sin embargo, no se puede olvidar que los resultados de la simulación depende de la exactitud del modelo y del número de iteraciones en la computadora, lo que significa tiempo y dinero, y que no necesariamente se encuentra la solución óptima.

La simulación Monte Carlo se utiliza cuando los eventos involucrados siguen un patrón de comportamiento que se pueden describir mediante distribuciones de probabilidades (teóricas o empíricas). El procedimiento para llevarla al cabo podría ser el siguiente:

Elaboración de un análisis preliminar del sistema que permita una descripción del sistema que se desea simular y que incluya las restricciones del sistema, su interacción con otros sistemas (variables exógenas), eventos internos del sistema (variables) y sus interrelaciones, así como también, las medidas de efectividad que se utilizarán para definir y estudiar al sistema y los resultados que se esperan obtener de la simulación.

Elaboración del modelo lógico-matemático con el que se puedan obtener eficientemente los resultados esperados de la simulación. Aquí deberán de aparecer la definición de todas las variables que intervienen, sus relaciones lógicas y las distribuciones que describan su comportamiento.

Probar el modelo realizando manualmente algunas iteraciones con ayuda de tablas de números aleatorios.

Implantación del modelo en la computadora con ayuda de algún lenguaje como BASIC, FORTRAN, etcétera, (existen paquetes para otros tipos de simulación).

Validación de las corridas por computadora con ayuda de la prueba manual, y/o con datos de prueba.

Ejecución de la simulación, corrida del programa con datos reales.

Validación de las corridas por computadora y análisis de resultados, y toma de decisiones.

La Simulación Monte Carlo nos pude ayudar en la determinación del número de máquinas de producción variable necesarias para satisfacer la demanda de acuerdo a un nivel de servicio deseado.

Ejemplo:

Descripción y análisis del sistema:

El gerente de una fábrica de cubiertos de plástico para fiestas desea determinar cuantas inyectoras tendría que destinar a la producción diaria de cuchillos para poder entregar 40,000 diariamente y cumplir con el pedido que le ha hecho el gobierno para los desayunos infantiles.

Se descarta la posibilidad de producción por lotes (acumulación de inventarios para obtener lotes óptimos de fabricación) por tener almacenes suficientes apenas para "stock de emergencias" y refacciones.

La producción de piezas "buenas" en las máquinas inyectoras de plástico es variable por parámetros no siempre controlables como son: humedad y temperatura tanto del medio ambiente como de la materia prima, limpieza, pureza de la materia prima, velocidad de inyección, otras causas imputables al operador y otras causas imputables a la dirección.

La producción diaria que se obtuvo de máquinas inyectoras de plástico en los 10 meses pasados sirvió para obtener los siguientes datos: en cada máquina se produjo 10,000 piezas por día el 30 % de las veces; 6,000 el 10 %; 8,000 el 20 %; 12,000 el 20 % y 14,000 el 20 % restante, figura 5.1.

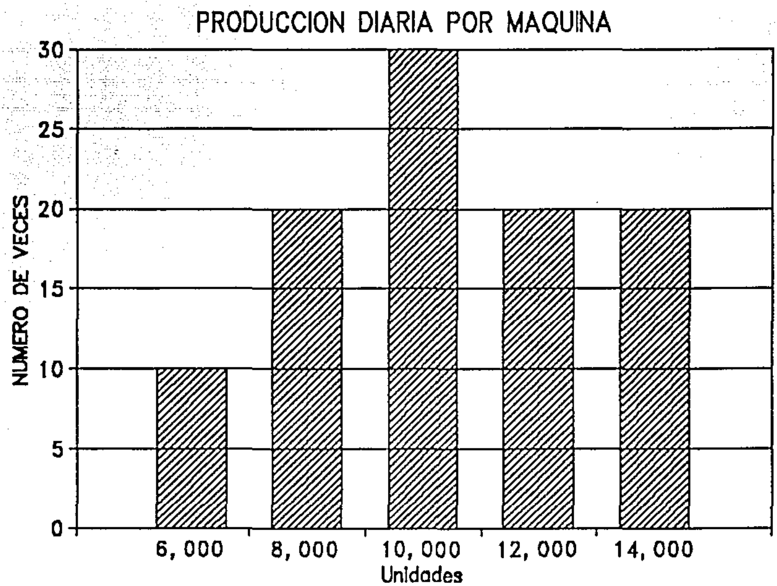


figura 5.1

Elaboración del modelo lógico-matemático:

Se determinará el número de máquinas que se hubieran necesitado para cubrir el pedido, simulando 1000 días se calculará la probabilidad de necesitar x número de máquinas, y con el histograma resultante poder tomar una decisión.
El procedimiento para la simulación será:

1.- Incrementar en uno el contador de días (iteración).

2.- Si el contador de días marca 1001 se terminará la simulación, si no, continuar con el paso 3.

3.- Incrementar en uno el contador de máquinas.

4.- Generar un número aleatorio y determinar con él y con el histograma de producción, la producción de la máquina actual (indicada por el contador de máquinas).

5.- Sumar la producción de la máquina actual a la acumulada del día.

6.- Si la producción acumulada pasa de 40,000 (pedido diario) continuar con el siguiente paso, si no regresar al paso 3.

7.- Anotar el número de máquinas (contador de máquinas) que fueron necesarias el día actual (contador de días, iteraciones).

8.- Poner el contador de máquinas en cero.

9.- Poner la producción acumulada en cero.

10.-Regresar al paso 1.

Al inicio todos los contadores y acumuladores deberán de estar a nivel cero.

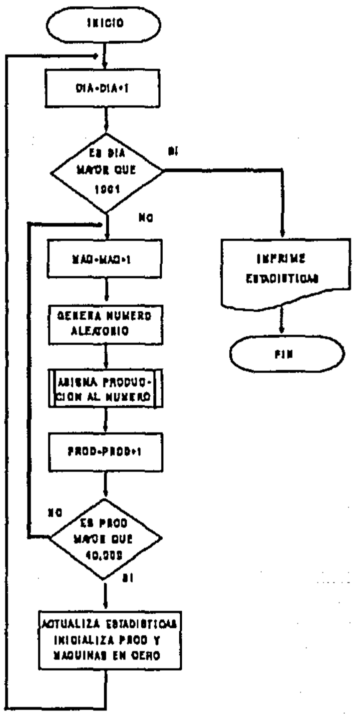


figura 5.2

Para la generación de números aleatorios mencionada en el punto 4 se utilizará la función RND del lenguaje BASIC. en los apéndices al final del trabajo se encontrará un programa y su corrida para imprimir 1000 números aleatorios.

Para determinar la producción de la máquina actual (punto 4) con el número aleatorio generado, se utilizará el método que caracteriza a la simulación Monte Carlo:

a) Construir el histograma de la distribución de frecuencias relativas acumuladas.

b) Asignar números índices para cada nivel de la distribución de frecuencias relativas acumuladas.

c) Analizar a que rango de números índices (producción) corresponde el número aleatorio generado .

Prueba manual del modelo:

Al inicio todos los contadores y acumuladores deberán de estar a nivel cero.

D (días) = 0
M (máquina) = 0
PD (producción acumulada) = 0

1.- Incrementar en uno el contador de días (iteración).

D = 1

2.- Como el contador de días no marca 1001 se continua con el paso 3.

3.- Incrementar en uno el contador de máquinas.

M = 1

4.- Generar un número aleatorio

El primer numero aleatorio es .12 de acuerdo con la tabla de números aleatorios que se muestra al final del capítulo.

a) Para determinar la producción de la máquina actual M = 1 con el número aleatorio generado:

Se calcula:

La distribución de frecuencias, figura 5.1

La distribución de frecuencias acumulada figura 5.3

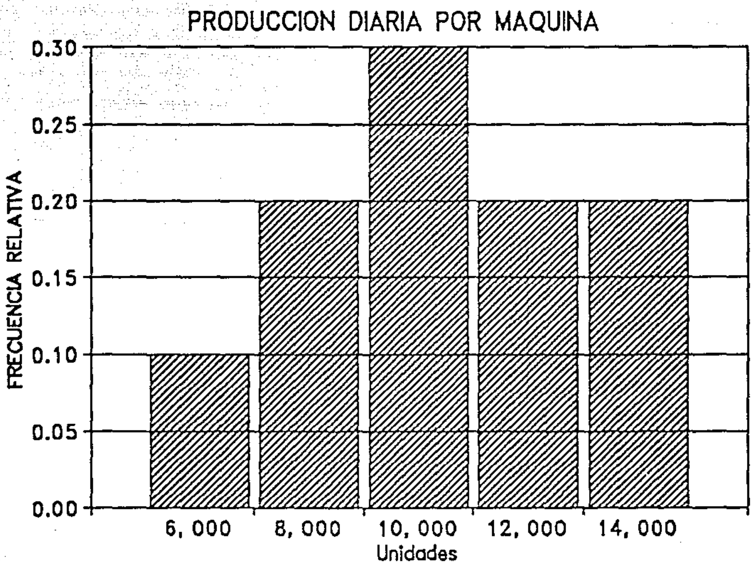


figura 5.3

La distribución de frecuencias relativas acumuladas figura 5.4

b) Asignar números indices para cada nivel de la distribución de frecuencias relativas acumuladas.

Si el número Indice esta en el rango	la producción de la máquina es:
.00 - .09	6000
.10 - .29	8000
.30 - .59	10000
.60 - .79	12000
.80 - .99	14000

c) Como el número aleatorio generado (.12) está en el rango .10 - .29 la producción que le corresponde es de 8000

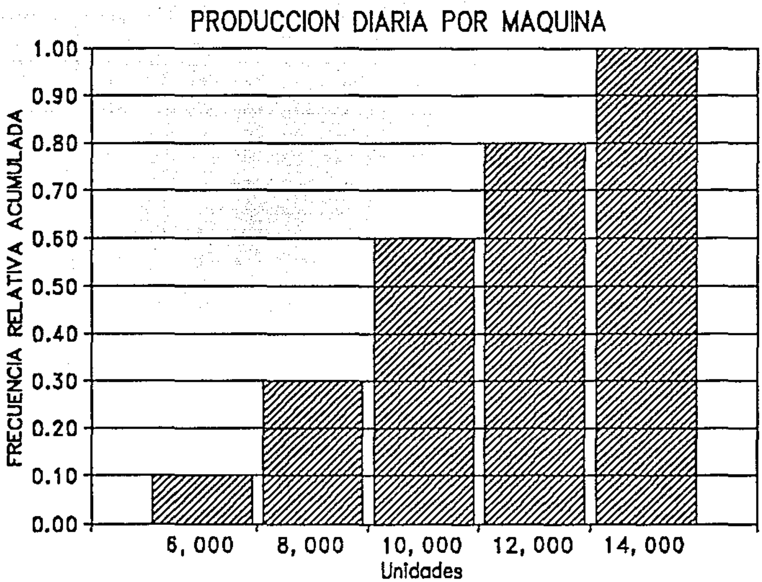


figura 5.4

5.- La producción acumulada es de:

PD = 0 + 8000 = 8000

6.- Como la producción acumulada no pasa de 40,000 se regresar al paso 3.

3.- Incrementar en uno el contador de máquinas.

M = 1 + 1 = 2

4.- El siguiente número aleatorio es .65

Como el número aleatorio generado está en el rango

.60 - .79 la producción que le corresponde a la máquina 2 es de 12000

5.- La producción acumulada es de:

PD = 8000 + 12000 = 20000

6.- Como la producción acumulada no pasa de 40,000 se regresar al paso 3.

3.- Incrementar en uno el contador de máquinas.

M = 2 + 1 = 3

4.- El siguiente número aleatorio es .86

Como el número aleatorio generado está en el rango .80 - .99 la producción que le corresponde a la máquina 3 es de 14000

5.- La producción acumulada es de:

PD = 20000 + 14000 = 34000

6.- Como la producción acumulada no pasa de 40,000 se regresar al paso 3.

3.- Incrementar en uno el contador de máquinas.

M = 3 + 1 = 4

4.- El siguiente número aleatorio es .72

Como el número aleatorio generado está en el rango .60 - .79 la producción que le corresponde a la máquina 4 es de 12000.

5.- La producción acumulada es de:

PD = 34000 + 12000 = 46000

6.- Como la producción acumulada pasa de 40,000 se continua con el siguiente paso.

7.- Se toma nota del que fueron necesarias 4 máquinas (M = 4) el día 1 (D = 1).

8.- Poner el contador de máquinas en cero, M = 0.

9.- Poner la producción acumulada en cero, PD = 0.

10.-Regresar al paso 1.

Con las notas tomadas en el punto 7 (número de máquinas necesarias por día) se puede construir un histograma que puede ser la base para la toma de decisiones.

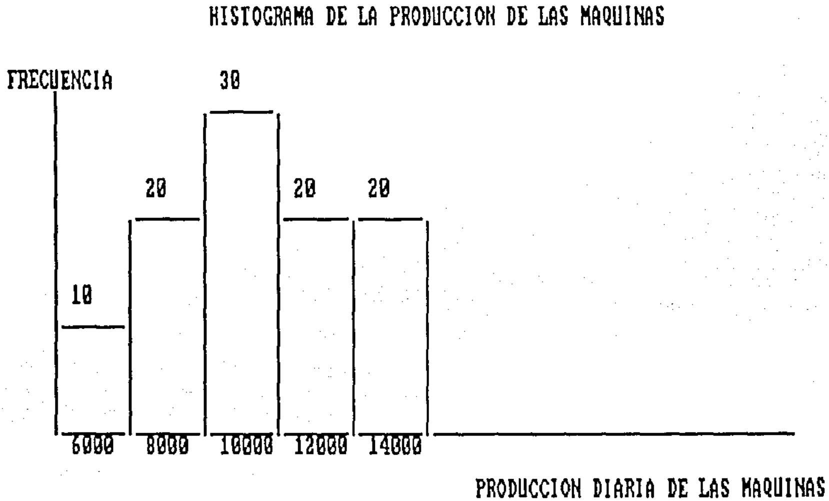
Implantación del modelo en la computadora:

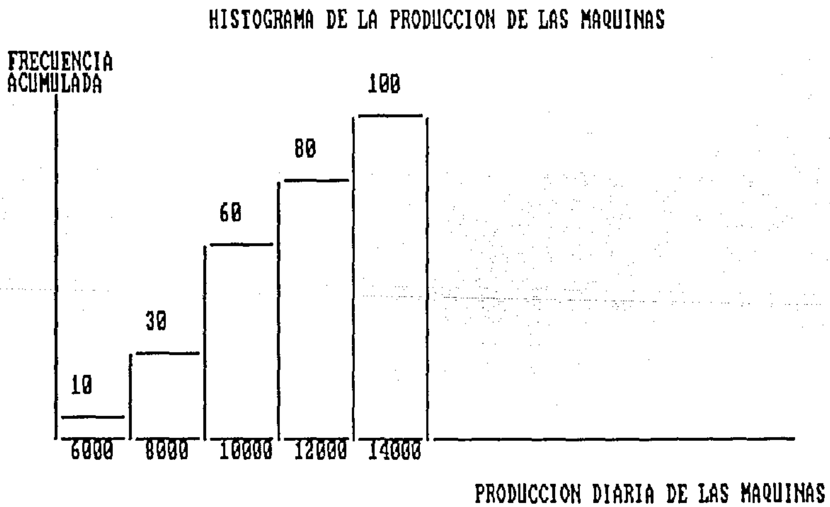
Tomando como base el algoritmo mostrado anteriormente se elaboró en BASIC el programa para esta simulación cuyo listado se puede observar al final de este capitulo.

El programa solicita como datos las piezas a producir diariamente para cubrir el pedido, y la producción diaria posible para las máquinas junto con su probabilidad.

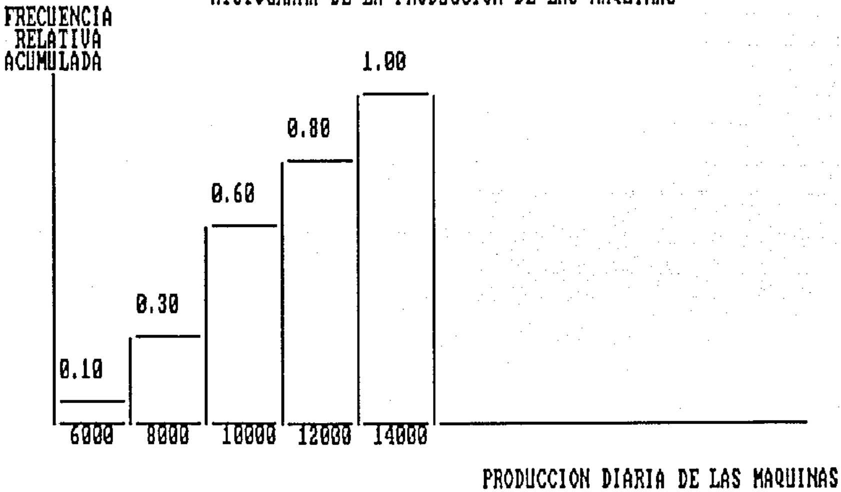
```
SIMULACION PARA DETERMINAR
EL NUMERO DE MAQUINAS
NECESARIAS PARA UN PEDIDO DADO

DE CUANTAS PIEZAS ES EL PEDIDO? 40000

CUANTAS ITERACIONES SE HARAN? 2


CUANTOS RANGOS DE PRODUCCION (DE 1 A 10 )? 5
PRODUCCION DEL RANGO  1 ? 6000
PRODUCCION DEL RANGO  2 ? 8000
PRODUCCION DEL RANGO  3 ? 10000
PRODUCCION DEL RANGO  4 ? 12000
PRODUCCION DEL RANGO  5 ? 14000
PRODUCCION DEL RANGO  5 ? 14000
        FRECUENCIA DEL RANGO 1 ? 10
        FRECUENCIA DEL RANGO 2 ? 20
        FRECUENCIA DEL RANGO 3 ? 30
        FRECUENCIA DEL RANGO 4 ? 20
        FRECUENCIA DEL RANGO 5 ? 20
```

El programa dibuja en la pantalla el histograma de frecuencias; de frecuencias acumuladas y de frecuencias acumuladas relativas.





HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE LAS MAQUINAS



También muestra para cada iteración los números aleatorios generados, la producción correspondiente para cada máquina y la producción acumulada.

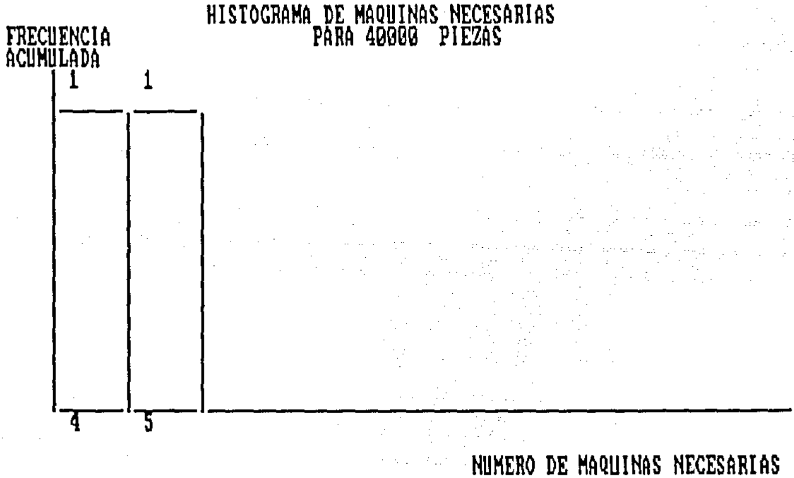
NUMERO DE ITERACION	NUMERO DE MAQUINA	NUMERO ALEATORIO	PIEZAS PRODUCIDAS	PRODUCCION ACUMULADA
1	1	0.12	8000	8000
1	2	0.65	12000	20000
1	3	0.86	14000	34000
1	4	0.72	12000	46000

NUMERO DE ITERACION	NUMERO DE MAQUINA	NUMERO ALEATORIO	PIEZAS PRODUCIDAS	PRODUCCION ACUMULADA
2	1	0.79	12000	12000
2	2	0.07	6000	18000
2	3	0.49	10000	28000
2	4	0.45	10000	38000
2	5	0.10	8000	46000

Pero el resultado más importantes que da el programa es la distribución de frecuencias de las máquinas necesarias para completar el pedido.

DE 2 DIAS

MAQUINAS NECESARIAS PARA 40000 PIEZAS	VECES
4	1
5	1



Validación de las corridas por computadora:

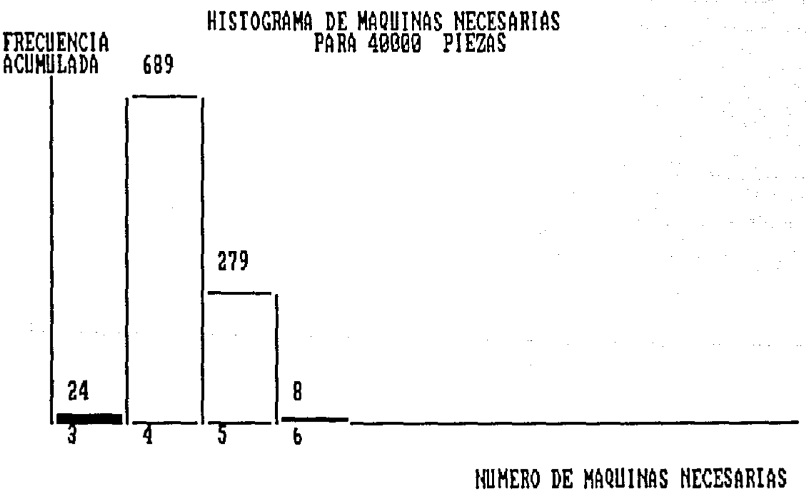
En las figuras anteriores se observa lo que aparece en pantalla cuando se corre el programa para dos iteraciones con los datos de la prueba; y que el programa funciona satisfactoriamente (la primera iteración concuerda con la manual, se detiene donde debe de hacerlo y los resultados finales totalizan adecuadamente todas la iteraciones).

Ejecución de la simulación (corrida del programa con datos reales).

A continuación se muestra los resultados de la corrida de 1000 iteraciones.

DE 1000 DIAS

MAQUINAS NECESARIAS PARA 40000 PIEZAS	VECES
3	24
4	689
5	279
6	8



Análisis y validación de resultados, y toma de decisiones.

De los resultados se puede sacar las siguientes conclusiones:

Si se desea siempre fabricar lo suficiente para cubrir el pedido deberán de asignarse 6 inyectoras, si se asignan 5 el .8% del tiempo no se cubrirá el pedido por que solo 8 veces de 1000 se necesitaron más de 5 máquinas; si se asignan 4, el 28.7% y si se asignan 3, el 97.6 % (menos de 3 es imposible).

PROGRAMA DE SIMULACION

PARA DETERMINAR

EL NUMERO NECESARIO DE MAQUINAS

```
5     KEY OFF
10    CLS: LOCATE 10,20: PRINT "  SIMULACION PARA
      DETERMINAR"
20    LOCATE 12,20: PRINT "    EL NUMERO DE MAQUINAS"
30    LOCATE 14,20: PRINT "NECESARIAS PARA UN PEDIDO
           DADO"
40    LOCATE 18,20: INPUT "DE CUANTAS PIEZAS ES EL
      PEDIDO";DI
50    LOCATE 22,20: INPUT "CUANTAS ITERACIONES SE HARAN";NI
51    Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 51
60 '************* RECIBE HISTOGRAMA ****************
70    CLS
80    LOCATE 1,20 :PRINT "HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE
      LAS MAQUINAS"
90    LOCATE 4,1 :PRINT "FRECUENCIA"
100   LOCATE 20,5: PRINT STRING$(70,"_")
110   FOR I=5 TO 20: LOCATE I,5: PRINT CHR$(179);: NEXT I
120   LOCATE 23,20: INPUT "CUANTOS RANGOS DE PRODUCCION (DE
      1 A 10 )";N
121   LOCATE 23,20: PRINT STRING$(50," ");
130   DIM L(N), FA(N), F(N), H(NI), ST(100)
150   FOR I=1 TO N
160        LOCATE 23,20: PRINT "PRODUCCION DEL RANGO
                ";I;:INPUT L(I)
170        LOCATE 23,20: PRINT STRING$(50," ");
180        LOCATE 21,(6+(I-1)*7): PRINT L(I)
190   NEXT I
200   MA=0
210   FOR I=1 TO N
220        LOCATE 23,20: PRINT "      FRECUENCIA DEL
                RANGO";I;:INPUT F(I)
230        LOCATE 23,20: PRINT STRING$(50," ");
240        IF F(I)>MA THEN MA=F(I)
250   NEXT I
260   ES=MA/15
270   FOR I=1 TO N
280        LOCATE 20-INT(F(I)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT
                STRING$(6,"_")
290        LOCATE 19-INT(F(I)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT F(I);
300        FOR J=21-INT(F(I)/ES) TO 20: LOCATE J,(5+(I-
                     1)*7): PRINT CHR$(179);:
           NEXT J
310        FOR J=21-INT(F(I)/ES) TO 20: LOCATE J,(5+I*7):
                     PRINT CHR$(179);:
           NEXT J
```

```
320  NEXT I
330  LOCATE 23,45: PRINT "PRODUCCION DIARIA DE LAS
     MAQUINAS"
340  FOR I=1 TO 1000:
     NEXT I
344  Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 344
360 '************** CALCULA FRECUENCIAS ACUMULADAS *******
370  S=0
380  FOR I=1 TO N
390       S=S+F(I)
400       FA(I)=S
410  NEXT I
420 '************** IMPRIME FRECUENCIAS ACUMULADAS *******
430  CLS
440  LOCATE 1,20 :PRINT "HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE
     LAS MAQUINAS"
450  LOCATE 3,1 :PRINT "FRECUENCIA"
455  LOCATE 4,1 :PRINT "ACUMULADA"
460  LOCATE 20,5: PRINT STRING$(70,"_")
470  FOR I=5 TO 20: LOCATE I,5: PRINT CHR$(179);:
     NEXT I
500  FOR I=1 TO N
510       LOCATE 21,(6+(I-1)*7): PRINT L(I)
520  NEXT I
530  MA=S
540  ES=MA/15
550  FOR I=1 TO N
560       LOCATE 20-INT(FA(I)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT
               STRING$(6,"_")
570       LOCATE 19-INT(FA(I)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT FA(I);
580       FOR J=21-INT(FA(I)/ES) TO 20: LOCATE J,(5+(I-
                    1)*7): PRINT CHR$(179);:
          NEXT J
590       FOR J=21-INT(FA(I)/ES) TO 20: LOCATE J,(5+I*7):
               PRINT CHR$(179);:
          NEXT J
600  NEXT I
610  LOCATE 23,45: PRINT "PRODUCCION DIARIA DE LAS
     MAQUINAS"
620  FOR I=1 TO 1000:
     NEXT I
621  Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 621
640 '************ CALCULA FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA **
650  FOR I=1 TO N
660       FA(I)=FA(I)/S
670  NEXT I
680 '************** IMPRIME FRECUENCIAS RELATIVA ACUMULADA
690  CLS
700  LOCATE 1,20 :PRINT "HISTOGRAMA DE LA PRODUCCION DE
     LAS MAQUINAS"
710  LOCATE 2,1 :PRINT "FRECUENCIA"
720  LOCATE 3,1 :PRINT " RELATIVA"
730  LOCATE 20,5: PRINT STRING$(70,"_")
```

```
740   FOR I=5 TO 20: LOCATE I,5: PRINT CHR$(179);:
      NEXT I
750   LOCATE 4,1 :PRINT "ACUMULADA"
770   FOR I=1 TO N
780         LOCATE 21,(6+(I-1)*7): PRINT L(I)
790   NEXT I
800   MA=S
810   ES=MA/15
820   FOR I=1 TO N
830         LOCATE 20-INT(FA(I)*S/ES),(6+(I-1)*7):PRINT
                 STRING$(6,"_")
840         LOCATE 19-INT(FA(I)*S/ES),(6+(I-1)*7):PRINT
                 USING "#.##";FA(I);
850         FOR J=21-INT(FA(I)*S/ES) TO 20: LOCATE J,(5+(I-
                      1)*7): PRINT CHR$(179);:
            NEXT J
860         FOR J=21-INT(FA(I)*S/ES) TO 20: LOCATE J,
                      (5+I*7) : PRINT CHR$(179);:
            NEXT J
870   NEXT I
880   LOCATE 23,45: PRINT "PRODUCCION DIARIA DE LAS
      MAQUINAS"
890   FOR I=1 TO 1000:
      NEXT I
891   Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 891
910 '*********** COMIENZAN LAS ITERACIONES  *********
1030 CH=999999!
1040 GH=0
1045 CLS
1050 FOR I=1 TO NI
1051        PRINT:PRINT:PRINT
1052        PRINT TAB(1)" NUMERO DE" TAB(13) " NUMERO DE"
                 TAB(26) "  NUMERO";
1053        PRINT TAB(39)  "PIEZAS PRO" TAB(52) "PRODUCCION"
1054        PRINT TAB(1) " ITERACION" TAB(13) "  MAQUINA"
                 TAB(26) " ALEATORIO";
1055        PRINT TAB(39) " DUCIDAS   " TAB(52) "ACUMULADA"
1056        PRINT: PRINT:PRINT
1060        DA=0
1070        H=0
1090        WHILE DA<DI
1100             H=H+1
1110             NA=RND
1120             FOR K=1 TO N
1130                  IF NA<=FA(K) THEN DU=L(K): GOTO 1150
1140             NEXT K
1150             DA=DA+DU
1160             PRINT TAB(1) I;
1170             PRINT TAB(13) H;
1180             PRINT TAB(26) USING "#.##";INT(NA*100)/100;
1190             PRINT TAB(39) DU;
1200             PRINT TAB(52) DA
1250        WEND
1270        IF H<CH THEN CH=H
```

```
1280       IF H>GH THEN GH=H
1290       H(I)=H
1300       ST(H)=ST(H)+1
1310 NEXT I
1311 Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 1311
1320 CLS: PRINT "DE ";NI; " DIAS ": PRINT
1330 PRINT " MAQUINAS"
1340 PRINT " NECESARIAS " TAB(20) "VECES"
1350 PRINT " PARA ";DI
1360 PRINT " PIEZAS"
1370 FOR K=CH TO GH
1380       PRINT K TAB(20) ST(K)
1390 NEXT K
1391 Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 1391
1420 '************** IMPRIME HISTOGRAMA FINAL ************
1435 NR=GH-CH+1
1436 IF NR >10 THEN 1620
1438 CLS
1440 LOCATE 2,20 :PRINT "HISTOGRAMA DE MAQUINAS
     NECESARIAS"
1442 LOCATE 3,30 :PRINT "PARA";DI; " PIEZAS"
1450 LOCATE 3,1 :PRINT "FRECUENCIA"
1455 LOCATE 4,1 :PRINT "ACUMULADA"
1460 LOCATE 20,5: PRINT STRING$(70,"_")
1470 FOR I=5 TO 20: LOCATE I,5: PRINT CHR$(179);:
     NEXT I
1495 S=0
1500 FOR J=CH TO GH
1505       I=J-CH+1
1510       LOCATE 21,(6+(I-1)*7): PRINT J
1515       IF ST(J)>S THEN S=ST(J)
1520 NEXT J
1530 MA=S
1540 ES=MA/15
1550 FOR J=CH TO GH
1555       I=J-CH+1
1560       LOCATE 20-INT(ST(J)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT
                STRING$(6,"_")
1570       LOCATE 19-INT(ST(J)/ES),(6+(I-1)*7):PRINT ST(J);
1580       FOR K=21-INT(ST(J)/ES) TO 20: LOCATE K,(5+(I-
                    1)*7): PRINT CHR$(179);:
           NEXT K
1590       FOR K=21-INT(ST(J)/ES) TO 20: LOCATE K,(5+I*7):
                PRINT     CHR$(179);:
           NEXT K
1600 NEXT J
1610 LOCATE 23,45: PRINT "NUMERO DE MAQUINAS NECESARIAS";
1611 Z$ = INKEY$ : IF Z$ = "" THEN 1611
1620 END
```

PROGRAMA PARA IMPRIMIR

1000 NUMEROS ALEATORIOS

GENERADOS CON LA FUNCION RND

```
10   KEY OFF
20 '** COMIENZAN LA GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS **
30   CLS
40   DA=0
50   WHILE DA<1000
60        NA=RND
70        PRINT " "; USING "#.##";INT(NA*100)/100,
80        DA = DA + 1
90   WEND
100  END
```

CORRIDA

```
GW-BASIC 2.01
(C) Copyright Microsoft 1983,1984

The TeleVideo Personal Computer Basic  V2.3
Copyright 1984 TeleVideo Systems, Inc.
62819 Bytes free

Ok

RUN "B:NUMALE

.12  .65  .86  .72  .79    .07  .49  .45  .10  .95
.70  .53  .97  .32  .95    .93  .53  .56  .67  .70
.74  .66  .45  .33  .15    .73  .54  .42  .05  .76
.51  .56  .74  .66  .23    .46  .12  .48  .05  .36
.57  .99  .29  .65  .93    .37  .89  .79  .94  .32

.41  .42  .73  .21  .22    .76  .68  .71  .93  .26
.51  .47  .13  .48  .60    .17  .32  .24  .56  .81
.12  .00  .07  .16  .71    .52  .93  .61  .55  .71
.43  .10  .34  .83  .91    .45  .19  .82  .57  .84
.11  .98  .58  .61  .69    .85  .38  .22  .06  .35

.27  .58  .10  .17  .26    .51  .87  .41  .10  .54
.35  .47  .65  .93  .36    .21  .43  .89  .78  .28
.48  .16  .99  .86  .40    .72  .59  .44  .71  .84
.35  .06  .41  .33  .40    .63  .81  .06  .69  .60
.62  .72  .70  .86  .26    .84  .38  .83  .46  .08
```

.38	.94	.07	.70	.46	.18	.14	.34	.23	.05
.26	.06	.09	.67	.12	.59	.41	.18	.36	.84
.05	.38	.62	.65	.99	.64	.92	.87	.31	.99
.15	.55	.42	.57	.00	.48	.45	.24	.96	.98
.03	.45	.68	.91	.18	.45	.57	.89	.56	.59
.57	.88	.88	.03	.28	.89	.64	.60	.27	.05
.06	.96	.65	.82	.28	.95	.91	.54	.85	.30
.00	.19	.38	.43	.64	.42	.55	.68	.91	.76
.25	.64	.10	.21	.08	.82	.75	.96	.05	.53
.99	.40	.52	.02	.12	.42	.38	.87	.48	.91
.57	.64	.43	.50	.70	.76	.78	.62	.08	.64
.31	.74	.87	.12	.61	.87	.55	.04	.18	.38
.63	.21	.71	.96	.61	.46	.72	.90	.13	.10
.34	.62	.52	.56	.40	.43	.40	.22	.76	.55
.70	.62	.90	.35	.84	.80	.75	.89	.20	.98
.73	.70	.79	.41	.11	.76	.22	.55	.61	.77
.93	.43	.17	.70	.60	.33	.06	.52	.87	.61
.24	.23	.30	.90	.86	.12	.57	.47	.17	.30
.94	.90	.55	.45	.93	.92	.84	.83	.28	.58
.93	.58	.19	.64	.60	.19	.72	.23	.58	.30
.52	.69	.87	.70	.79	.75	.34	.59	.46	.91
.54	.12	.67	.10	.80	.14	.45	.52	.54	.20
.68	.82	.85	.85	.31	.51	.32	.11	.78	.54
.11	.30	.76	.25	.32	.98	.07	.46	.49	.29
.91	.90	.51	.40	.30	.85	.65	.32	.76	.98
.89	.91	.33	.57	.52	.11	.70	.82	.96	.50
.70	.55	.81	.04	.00	.07	.23	.11	.07	.31
.47	.74	.34	.23	.74	.16	.73	.43	.24	.52
.28	.10	.53	.98	.14	.09	.10	.89	.77	.35
.18	.38	.38	.54	.83	.08	.64	.93	.26	.13
.67	.58	.44	.49	.15	.66	.87	.43	.87	.14
.73	.27	.40	.66	.12	.44	.01	.68	.75	.73
.91	.88	.64	.80	.72	.78	.32	.92	.10	.62
.08	.05	.78	.56	.55	.06	.74	.99	.58	.24
.64	.24	.27	.10	.53	.42	.32	.34	.85	.61
.61	.16	.55	.20	.01	.77	.63	.56	.46	.11
.76	.91	.33	.92	.32	.51	.96	.98	.52	.99
.51	.63	.92	.02	.03	.53	.08	.19	.79	.69
.56	.17	.85	.71	.08	.08	.92	.33	.01	.15
.38	.18	.05	.59	.67	.76	.19	.74	.82	.79
.90	.45	.32	.63	.64	.76	.16	.11	.46	.73
.17	.53	.06	.63	.63	.91	.92	.31	.04	.52
.78	.85	.25	.65	.36	.44	.76	.61	.29	.51
.30	.01	.29	.15	.67	.26	.69	.74	.81	.36
.07	.82	.13	.89	.24	.28	.10	.29	.46	.67

.03	.36	.84	.94	.23	.06	.11	.23	.25	.49
.53	.10	.54	.18	.09	.86	.21	.57	.98	.24
.15	.82	.31	.26	.33	.80	.02	.39	.41	.38
.11	.94	.54	.89	.10	.68	.46	.95	.70	.75
.81	.45	.82	.81	.71	.82	.70	.38	.60	.57
.42	.55	.32	.01	.60	.82	.41	.30	.29	.26
.72	.71	.28	.90	.23	.13	.45	.37	.11	.83
.54	.79	.08	.50	.06	.90	.96	.48	.53	.48
.50	.31	.92	.94	.49	.47	.33	.27	.04	.41
.98	.15	.19	.82	.38	.33	.75	.12	.82	.29
.34	.24	.03	.12	.73	.68	.16	.67	.45	.67
.00	.93	.56	.81	.38	.70	.81	.72	.92	.41
.87	.17	.98	.36	.98	.23	.81	.01	.77	.88
.10	.71	.29	.72	.57	.52	.41	.02	.03	.39
.32	.94	.50	.54	.44	.10	.71	.10	.43	.31
.78	.02	.55	.60	.19	.16	.24	.48	.98	.73
.93	.46	.20	.92	.13	.80	.59	.77	.77	.55
.57	.34	.75	.81	.44	.07	.80	.22	.81	.44
.52	.76	.30	.87	.75	.74	.53	.83	.13	.10
.30	.27	.89	.88	.02	.20	.01	.00	.47	.66
.47	.31	.69	.81	.88	.81	.23	.30	.28	.19
.59	.99	.23	.60	.90	.75	.13	.63	.90	.66
.79	.62	.16	.40	.31	.17	.48	.83	.08	.86
.63	.97	.17	.32	.29	.07	.88	.48	.27	.02
.56	.06	.95	.02	.71	.36	.97	.43	.32	.28
.22	.93	.40	.57	.99	.91	.85	.36	.48	.10
.51	.91	.47	.48	.53	.62	.29	.41	.89	.34
.98	.01	.27	.84	.81	.83	.13	.57	.94	.71
.00	.73	.37	.91	.11	.48	.17	.57	.16	.49
.93	.27	.45	.67	.41	.96	.20	.24	.58	.11
.07	.94	.75	.06	.09	.57	.07	.70	.63	.77
.19	.35	.82	.02	.27	.90	.06	.89	.13	.18
.90	.58	.72	.64	.06	.69	.84	.21	.83	.21
.07	.45	.59	.79	.99	.93	.66	.28	.63	.90
.38	.49	.15	.15	.44	.17	.83	.16	.43	.32
.26	.51	.72	.68	.78	.49	.49	.49	.17	.00
.09	.55	.68	.71	.59	.43	.12	.41	.65	.01
.40	.71	.53	.26	.21	.88	.50	.22	.96	.99
.36	.31	.98	.35	.28	.80	.99	.10	.90	.61
.82	.12	.63	.31	.30	.17	.24	.39	.52	.29

Ok

SYSTEM

CAPITULO VI

TEORIA DE DECISIONES

En los problemas resueltos en capítulos anteriores se dio por hecho que los datos suministrados fueron estimados de manera confiable, esta suposición fue necesaria para la correcta aplicación de las técnicas, por que en ellas no se toma en cuenta la incertidumbre.

Las técnicas mostradas en capítulos anteriores se puede decir que son "estáticas" porque trabajan con una fotografía de la realidad (datos tomados de un momento dado), y generan información para una toma de decisión, y las consecuencias que puedan suceder por causas inciertas al tomar una decisión determinada son motivos de estudios posteriores.

La Teoría de Decisiones resuelve los dos problemas anteriores, primero porque es una técnica que permite la toma de decisiones en secuencia, y segundo porque la idea fundamental de ella es de combinar las consecuencias asociadas a las decisiones y las probabilidades de los eventos inciertos para determinar la mejor estrategia de acción.

La importancia de la Teoría de Decisiones radica en el hecho de que aunque todos podemos tomar decisiones sin método alguno, en la mayoría de los casos estas son imprecisas, se puede demostrar que el hombre es terriblemente impreciso al procesar la información, La Teoría de Decisiones es un método para tomar decisiones bajo condiciones de incertidumbre.

El procedimiento para llevar al cabo un estudio con Teoría de Decisiones podría ser el siguiente:

1.- Descripción escrita del problema a resolver, que incluya el horizonte de planeación (periodo entre la fecha de inicio y la fecha de evaluación), los objetivos y el criterio de evaluación.

2.- Elaboración de un diagrama de decisión (árbol de decisión), que contenga todas las acciones entre las que el tomador de decisiones desea elegir, todos los eventos inciertos que se pudieran presentar, que afecten en la toma de decisiones y todos los beneficios y costos de las acciones.

    En el árbol de decisión un pequeño cuadro representará un punto de decisión y las ramas que salen de él serán las posibles acciones, un pequeño circulo representará un punto de incertidumbre y las ramas que salgan de él serán el conjunto de eventos mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos que puedan ocurrir, se dibujará de izquierda a derecha, esto significa que el extremo izquierdo corresponderá a la fecha de inicio y el extremo derecho a la fecha de evaluación.

3.- Evaluación del impacto económico en los puntos de decisión, con ayuda del criterio del valor esperado.

Para la evaluación del impacto económico en los puntos de decisión se procederá de derecha a izquierda sustituyendo los puntos de decisión por su correspondiente valor esperado.

4.- Selección de la mejor estrategia.

Una estrategia es la regla que indica exactamente que acciones deberán de ser tomadas en cada punto de decisión de acuerdo a los eventos que se presente, la mejor estrategia será la que tenga el mejor valor esperado.

A continuación se presentara un ejemplo para ilustrar el procedimiento.

Ejemplo:

Descripción escrita del problema

Para utilizar un excedente en la capacidad provocada por una contracción en el mercado del producto actual, se esta pensando en la fabricación de borradores para pizarrón ya sea de madera con fieltro o plástico con fieltro.

Los borradores de madera requieren un inversión para equipo adicional (costo fijo) de $30,000 y el costo variable sería de $15 por cada borrador; para los de plásticos se requeriría de mayor inversión inicial, $140,000 pero el costo variable sería de $11 únicamente.

Las ventas para los borradores de madera se han pronosticado confiablemente por tratarse de un producto muy conocido en 25,000 unidades vendiéndose a $20 cada uno. La demanda de los de plástico por ser un producto nuevo ha sido más difícil de pronosticar, se estima que si se venden en $18 existe el 50% de probabilidad de que se venda un promedio de 30,000 unidades y un 50% de que sea un promedio de 40,000; pero si se venden en $25 se venderán en promedio 25,000 con una probabilidad del 20%, 20,000 con el 50% y 10,000 con el 30% restante.

Para completar la descripción escrita del problema a resolver es necesario decir que el horizonte de planeación es de un año, los datos arriba mencionados son validos sólo para el siguiente año de operación y el objetivo que se persigue es el de obtener al mayor valor esperado.

Elaboración del árbol de decisión:

Lo primero que tiene que hacer el tomador de decisiones es elegir entre tres acciones: fabricar borradores de madera,

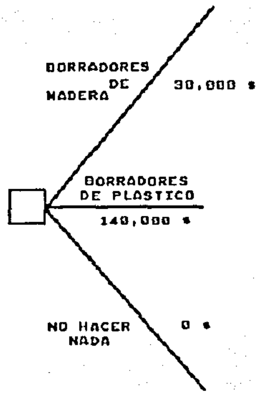


figura 6.1

de plástico o no hacer nada. Esto significa que se dibujará un cuadro del cual saldrán tres ramas, una para cada decisión posible. Figura 6.1.

Si se eligiera fabricar de madera no se tiene que decidir el precio de venta, ya que éste será de $25, pero sí se tomo la acción de hacer borradores de plástico habrá que decidir a que precio se venderá, a $18 o a $25. Entonces en la rama de la decisión de plástico habrá otro cuadro donde saldrán dos ramas, una para la decisión $18 y la otra para la de $25. Figura 6.2.

En este momento hay que tomar en cuenta los eventos inciertos que pueden suceder. Sí se fabrican de madera seguro las ventas serán de 25,000, nada incierto sucederá,

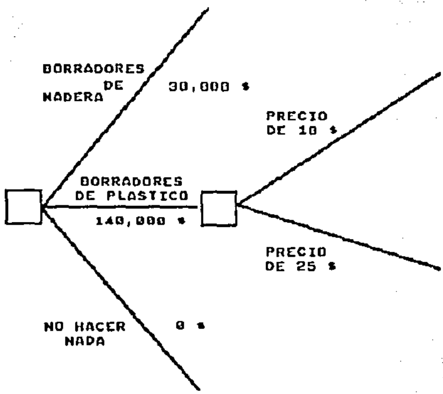


figura 6.2

al igual que si se decidiera no hacer nada, pero si son de plástico y se venden al precio de $18 las ventas pueden ser de 30,000 o 40,000 con el 50% de probabilidad cada una, lo que se representará por un circulo del que saldrán dos ramas para cada una de los dos posibilidades; y sí son de plástico pero al precio de 25 se venderán 10,000, 20,000 o 25,000 con probabilidades de 30%, 50% y 20% respectivamente, en este caso será un circulo con tres ramas. Figura 6.3.

Nótese que en cada una de las figuras anteriores se ha colocado en cada rama los costos o beneficios asociados a las decisiones o eventos que tienen lugar.

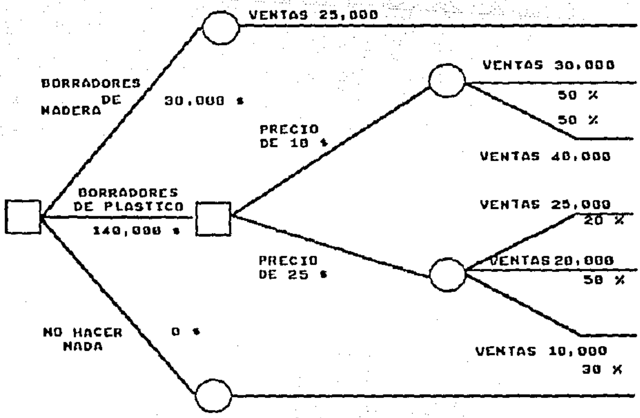


figura 6.3

Evaluación del impacto económico en los puntos de decisión, con ayuda del criterio del valor esperado.

Primero habrá que calcular la utilidad marginal de cada alternativa, para la rama de borradores de madera esta es: $20 (precio de venta) menos $15 (costo variable), es decir, $5 por borrador; para los de plástico vendidos a $18 la utilidad marginal es de $7 (18-11); y para los vendidos a $25 es de $14 (25-11).

Con lo anterior se puede calcular el valor monetario en cada uno de los puntos terminales, así, para la decisión de fabricar borradores de madera se tendrá un ingreso seguro de $125,000 (25,000 borradores con una utilidad de 5 por cada uno), pero como la inversión inicial de 30,000 el impacto global en ese punto terminal es de $95,000

Para los borradores de plástico vendidos a $18 existe un probabilidad de .5 de obtener $70,000 (30,000 borradores por $7 cada uno menos $140,000 de inversión inicial) y .5 de probabilidad de obtener $140,000 (40,000 por $7 menos $140,000)

Para los borradores de plástico vendidos a $25 existe un probabilidad de .2 de obtener $210,000 (25,000 borradores por $14 cada uno menos $140,000 de inversión inicial), .5 de probabilidad de obtener $140,000 (20,000 por $14 menos $140,000), y .3 de probabilidad de obtener nada (10,000 por $14 menos $140,000). En la figura 6.4 se puede observar estos cálculos.

Para la evaluación del impacto económico se procederá de derecha a izquierda, en los circulos (eventos) se sustituirán todas las ramas por el valor esperado y en los puntos de decisión se eligirá la mejor alternativa de acuerdo al criterio de evaluación, en este caso la utilidad. Para el evento A de la figura 6.4 el valor esperado es de $105,000 (.5 por $70,000 más .5 por $140,000); para el B de $112,000 (.2 por $210,000 más .5 por $140,000 más .3 por $0); Para el C, $95,000 ($95,000 por 1.0 'evento seguro') y para el evento D es de $0. Figura 6.5.

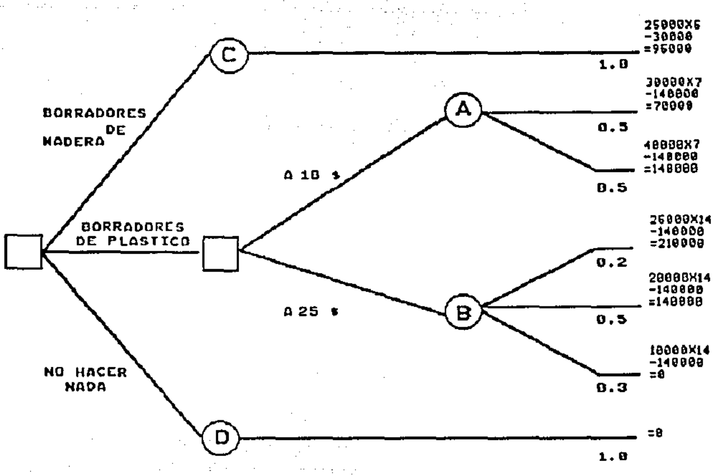


figura 6.4

En la figura 6.4 también observamos que de tener que tomar la decisión de a que precio vender los de borradores plás

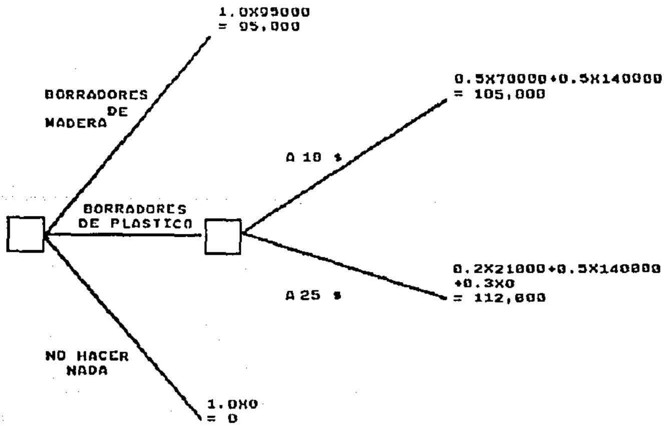


figura 6.5

tico, este deberá de ser de $25 (obtendríamos $112,000 en lugar de $105,000 si se vendieran a $18). Se sustituye esta última decisión por su impacto económico y se continua a la izquierda del árbol. Figura 6.5.

En la primera decisión (última del análisis) nos encontramos que lo mejor es fabricar borradores de plástico con una utilidad de $112,000 (mejor que $95,000 si se hicieran de madera y mejor que $0 de hacer nada). Figura 6.6.

Selección de la mejor estrategia.

Por lo tanto, como se observa en la figura 6.7, la mejor estratégica es la de fabricar borradores de plástico y venderlos a $25

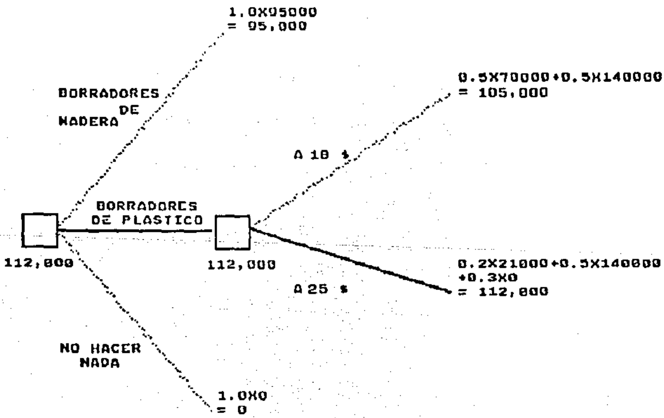


figura 6.6

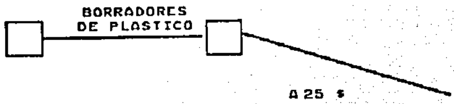


figura 6.7

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

La conclusión más importante de esta tesis es que cumple con su objetivo: El ayudar a los lectores con poco conocimientos de matemáticas en la comprensión de técnicas de Investigación de Operaciones que sirven para tomar decisiones en la planeación de la capacidad de planta.

En el capítulo I lo importante es observar en la grafica 1.2 que una alternativa exelente para nivelar la tasa de produción durante toda la vida de la empresa, es la introducción de nuevos productos, lamentablemente esta alternativa no es muy frecuente en la industria mexicana.

En el capítulo II se trató un modelo bastante sencillo pero se enriqueció con un programa en basic que ilustra perfectamente a los lectores (alumnos) en forma gráfica el punto de eqilibrio que él mismo calcula.

En el capítulo III se hizo una investigación completa sobre técnicas culitativas de pronósticos. y en cuanto a las técnicas cuantitativas varios fueron los logros, primero se llevó al lector "de la mano" a que comprendiera el modelo de atenuacion exponencial partiendo de un simple promedio, segundo, se desarrollaron fórmulas para el ajuste por mínimos cuadrados de curvas logarítmicas, exponenciales, y de potencias y se analizó su comportamiento para diferentes valores de los parametros, Porque no existe en ningun libro un análisis así de detallado, y por último, se elaboró un programa en basic y se hizo ejecutable para que lectores (alumnos) con escasos conocimientos en pronósticos y en computación, pudieran predecir la demanda. En éste también se incluyo el concepto de promedios moviles dobles, atenuación exponencial ponderada doble, y la sumatoria de error al cuadrado promedio para poder comparar justamente todos los modelos del programa.

En el capítulo IV es importante notar como el lector poco a poco va comprendiendo el tema de programación lineal, comenzando con el modelado, pasando por la solución gráafica, la solución matemática y llegando a la solución por el método simplex, con un lenguaje sencillo y poco matemático. Es importante también en este capítulo la explicacion de la interpretación de los elementos del tableau simplex, y la solución con computadora de los problemas (paquete LINDO).

En el capítulo V, se logro encontrar un ejemplo sencillo que ilustrará adecuadamente la metodología de la simulación montecarlo, y se elaboró un programa en basic para simular el problema de ejemplo.

En el capítulo VI, también se logro encontrar un ejemplo sencillo que ilustrará adecuadamente la metodología de la teoría de decisiones usando gráficas (arboles de decisión) y el criterio del valor esperado.

Pero este trabajo no es importante sólo por lo que se dice en el, sino también por lo que representa. Desde el punto de vista de edición lo que aquí se tiene es el final exitoso de la búsqueda.

Para los textos se comenzó con el WORDSTAR, se experimento con CHIWRITER, WORDPERFECT y otros y se terminó con el MICROSOFT WORD 5.0, por que en este paquete se encontraron varias ventajas que fueron necesarias en este trabajo: Es posible ligar al texto (link) las figuras elaboradas con paquetes especiales de dibujo, observarlas con la opción "preview" y colocarlas en el lugar correcto dentro del texto, gracias a que contabiliza el espacio que ocupa. Aunque se experimento también con el VENTURA PUBLISHER para la edición final no se utilizó por la incompatibilidad con los caracteres gráficos al recibirlos desde el procesador MICROSOFT WORD y por que éste último permitió un trabajo final de calidad.

Para graficar funciones se experimento con las posibilidades del LOTUS 123, las del QUATTRO, y las del HARVARD GRAPHICS, encontrándose que sólo las de la versión del LOTUS investigado no es apropiado para hacer anotaciones en las funciones graficadas, por lo que se uso sólo cuando no eran necesarias tales anotaciones.

Para los dibujos se investigaron varios paquetes: El DRHALO, DRHALO, HISTORY BOARD, PLUS, PBRUSH, HARVARD GRAPHICS, y PSPLUS encontrándose que los tres primeros no son adecuados por la compatibilidad con otros paquetes; el PSBRUS por el requerimiento de excesivo de memoria RAM para gráficas grandes (5.5" X 4.5"), y que el mejor para este trabajo fue el PAINTSHOW PLUS (de LOGITECH) por su software CATCH, que copia gráficas mostradas en pantalla con otros paquetes de dibujos a archivos editables por él, y además por la posibilidad de usar el SCANMAN (dispositivo para copiar y poder editar dibujos impresos).

Para los cálculos numéricos definitivamente lo mejor es el LOTUS 123 (dependiendo de la versión), el QUATTRO, o un programa elaborado en BASIC si la frecuencia de utilización o lo complicado de los cálculos lo justifica, sin embargo, antes de elaborar alguno es necesario investigar sí existen en el mercado algún paquete para ese uso especifico, lo que sucedió en este trabajo con Programación Lineal o con Simulación donde existen el "LINDO•", el MICROMANAGER, el GPSS y muchos otros paquetes de Investigación de Operaciones

Los problemas reales en la toma de decisiones sobre capacidad de planta son mucho más complejos que los que aquí se ejemplifican, pero la intención en este trabajo es sólo presentar las posibilidades de la Investigación de Operaciones a personas desconocedoras de este tema, definitivamente para aplicaciones reales se tendrán que profundizar en su estudio.

Es la intención publicar futuros trabajos, no tan generales, que permitan ver los beneficios de una técnicas determinada.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA FLORES, y José de Jesús
Teoría de decisiones en el sector público y en la empresa privada
México, Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. [1977] 159 pp.

ACOSTA F, Jesús, Francisco J. JAUFFRED M y Alberto MORENO BONETT
Métodos de optimización. Programación lineal - gráficas
México, Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. [1974] 720 pp. (Serie: "Métodos para el Análisis de Alta Sistemas de Ingeniería", vol 2: "Decisiones bajo Certeza")

ADAM JR, Everett y Ronald J, EBVERT
Administración de producción y las operaciones. Conceptos, modelos y comportamiento humano.
Trad. de Albero León Betancourt México, Editorial Prentice-Hall Internacional [1985]. 791 pp.

BAZARAA, Mokhtar S. y John J. JARVIS
Programación lineal y flujo en redes
[Trad. de Onésimo Hernández Lerma, rev. Marcia González Osuna] Editorial Limusa México [1981]. 539 pp.

COSS BU, Raul
Simulación un enfoque práctico
México, Editorial Limusa [1982] pp 158

DAVIS, K. Roscoe, y Patrick G MCKEOWN
Modelos cuantitativos para administración
Trad. Alfredo Diáz Mata, rev. María de Lourdes Fournier G. México, Grupo Editorial Iberoamérica [1986] 758 pp.

EPPEN, G. D. y GOULD,
Investigación de operaciones en la ciencia administrativa
Trad. Habacuc Pérez Castillo, rev. Técnica Pablo Cesar Rodríguez Mendoza. México, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. [1987] 782 pp.

GALLAGHER, Charles A. y Hugh J. WATSON
Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración
[Trad. de Marcia González Osuna, rev. técnica de Julio Alfonso Cruz] Editorial Mc Graw Hill [1984]. 612 pp.

GORDON, Geoffrey,
Simulación de sistemas
México, Editorial Diana [1982] 344 pp.

HOPEMAN, Richard J.
Administración de producción y operaciones. Planeación análisis y control
México, Compania Editorial Continental, S. A. [1986] 662 pp.

JONES, J. Morgan
Introducción a la teoría de decisiones
[Trad. de José de Jesús Acosta Flores].México, Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. [1979] 372 pp.

LEVIN, Richard I, y Charles A. KIRKPATRICK
Enfoques cuantitativos a la administración
México, Compania Editorial Continental, S. A. [1987] 724 pp.

MERIDITH, Jack R. y Thomas E. GIBBS
Administración de operaciones
México, Editorial Limusa [1986] pp 760

MILLER, Irwin R. y John E. FREUND
Probabilidad y estadistica para ingenieros
Trad. Francisco Javier Sánchez Bernabé, rev. técnica de Hugo Edgar Borras García. México, Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. [1986] 574 pp.

SCHROEDER, Roger G.
Administración de producción. Toma de decisiones en la función de operaciones.
Trad. de Jaime Goméz Mont Araiza, rev. técnica de Marcia Gonzalez Ozuna. México, Mc Graw-Hill [1983]. 734 pp.

SHAMBLIN, James E. y G. T. STEVENS, Jr.
Investigación de operaciones, un enfoque fundamental
Trad. de Alberto Duarte Torres y Alberto pontón, México, Mc Graw-Hill [1982]. 423 pp.