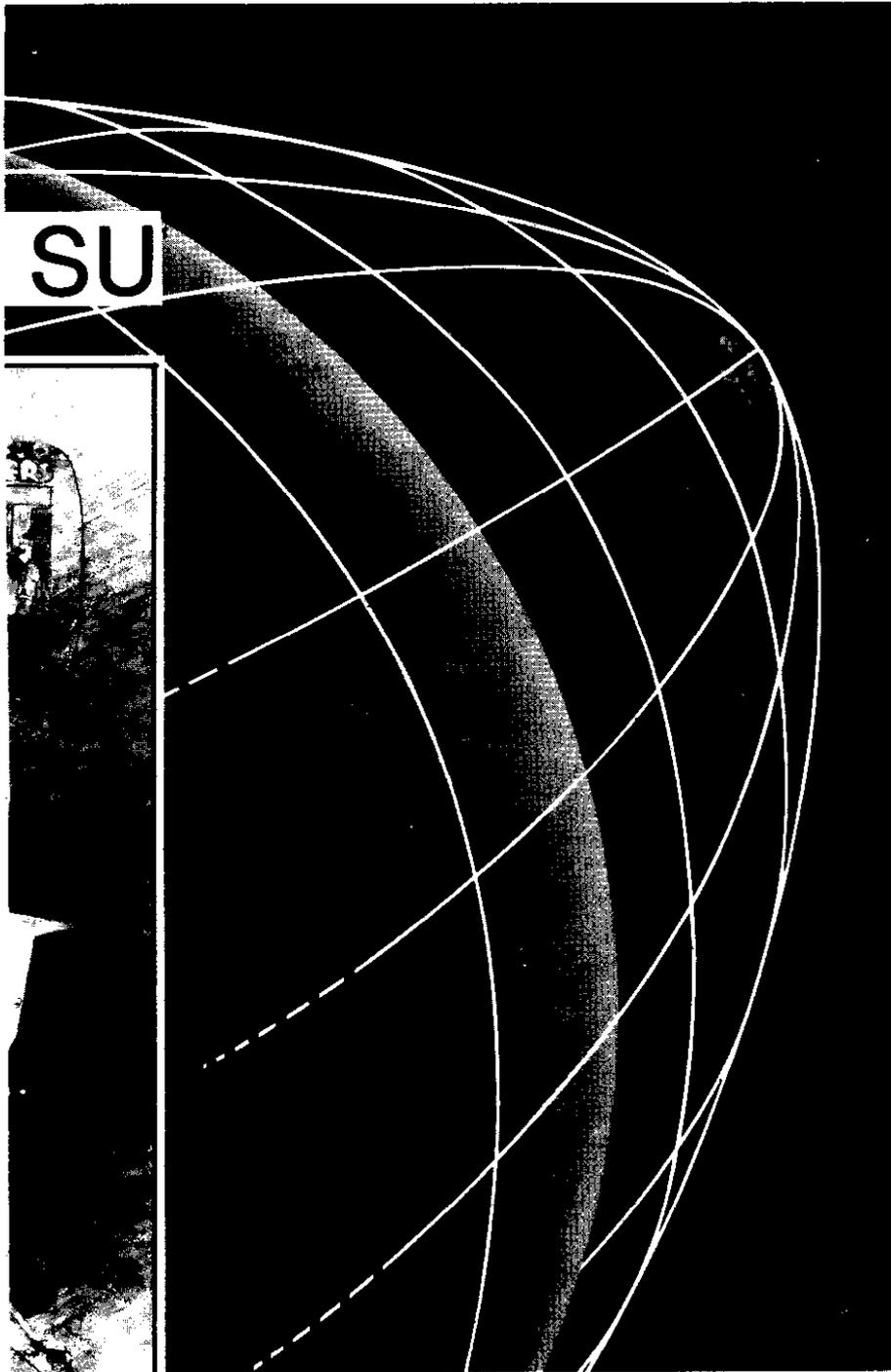


LA CURVA DEL APRENDIZAJE Y EMPLEO EN LA



JULIO ALFREDO BLACKALLER
RODRIGUEZ*

AL
LA



MINISTRACION DE PRODUCCION

COLABORACION EN
PROCESAMIENTO DE DATOS

MCA (c) José Fco. Aguilar R.

El propósito de este artículo es divulgar el conocimiento de una técnica cuantitativa empleada en la administración, denominada "Curva del aprendizaje", difundir las fórmulas para su cálculo, y señalar algunas alternativas para su empleo. Al final anexo una Tabla de datos que creo será de utilidad para los usuarios de este método.

El método cuantitativo a que se refiere este trabajo fue desarrollado en la industria bélica de los Estados Unidos, al igual que otras técnicas que integran la disciplina denominada "Investigación de Operaciones", y que en general consiste en la aplicación de diversos modelos matemáticos para la solución de problemas técnicos, no sólo de carácter administrativo, aunque son estos los que llaman mi atención.

Considero que la aplicación de la "Curva de aprendizaje" en la industria mexicana es muy amplia, toda vez que es utilizable en procesos productivos en los que se manufacturen ob-

Profesor-investigador de la Sección de Graduados de la Escuela Superior de Comercio y Administración del IPN.

jetos en serie y cuya construcción no implique la intervención de líneas automatizadas en la producción.

Tales características son inherentes a una gran cantidad de industrias de bienes de capital como son la de fabricación de barcos, industria de la construcción, la industria de equipo eléctrico, etc.

1. EFECTOS DEL APRENDIZAJE EN LA PRODUCCION

Cualquiera que haya construido dos o más objetos relativamente complejos y similares sabe bien que el tiempo requerido para construir el segundo, es menor que el requerido para construir el primero. Tal fenómeno es atribuido al aprendizaje que adquieren los operarios que construyen el objeto de referencia.

Después de algunos estudios desarrollados en la industria de armamentos norteamericana, fue posible cuantificar los efectos del aprendizaje en la producción y se determinaron las bases para el cálculo de la "tasa de aprendizaje".

Por "tasa de aprendizaje" (t.a.) entendemos el % del tiempo

promedio acumulado requerido para construir una unidad de una serie, en relación con el tiempo promedio acumulado requerido para construir otra unidad de una serie de la mitad del

tamaño de la primera.

Para explicar la anterior definición pasaré a proponer el siguiente ejemplo:

Si un barco camaronero se construye por primera vez en 200 días y dos barcos iguales se construyen en sólo 360 días podemos decir que el % del tiempo promedio acumulado requerido para terminar las dos unidades en relación con la primera, es del 90% para cada una, calculado de la siguiente manera:

a) Tiempo promedio requerido para construir una sola unidad = 100% (puesto que no hay otra unidad anterior).

b) Tiempo promedio requerido para construir 2 unidades en % del tiempo requerido para construir la primera:

$$\frac{200}{360} = \frac{100\%}{X}$$

$$X = \frac{100\% \times 360}{200}$$

$$X = 180\%$$

c) Tasa de aprendizaje = 90% porque $X/2 = 90\%$

Ahora bien, si consideramos una serie de 64 barcos podemos

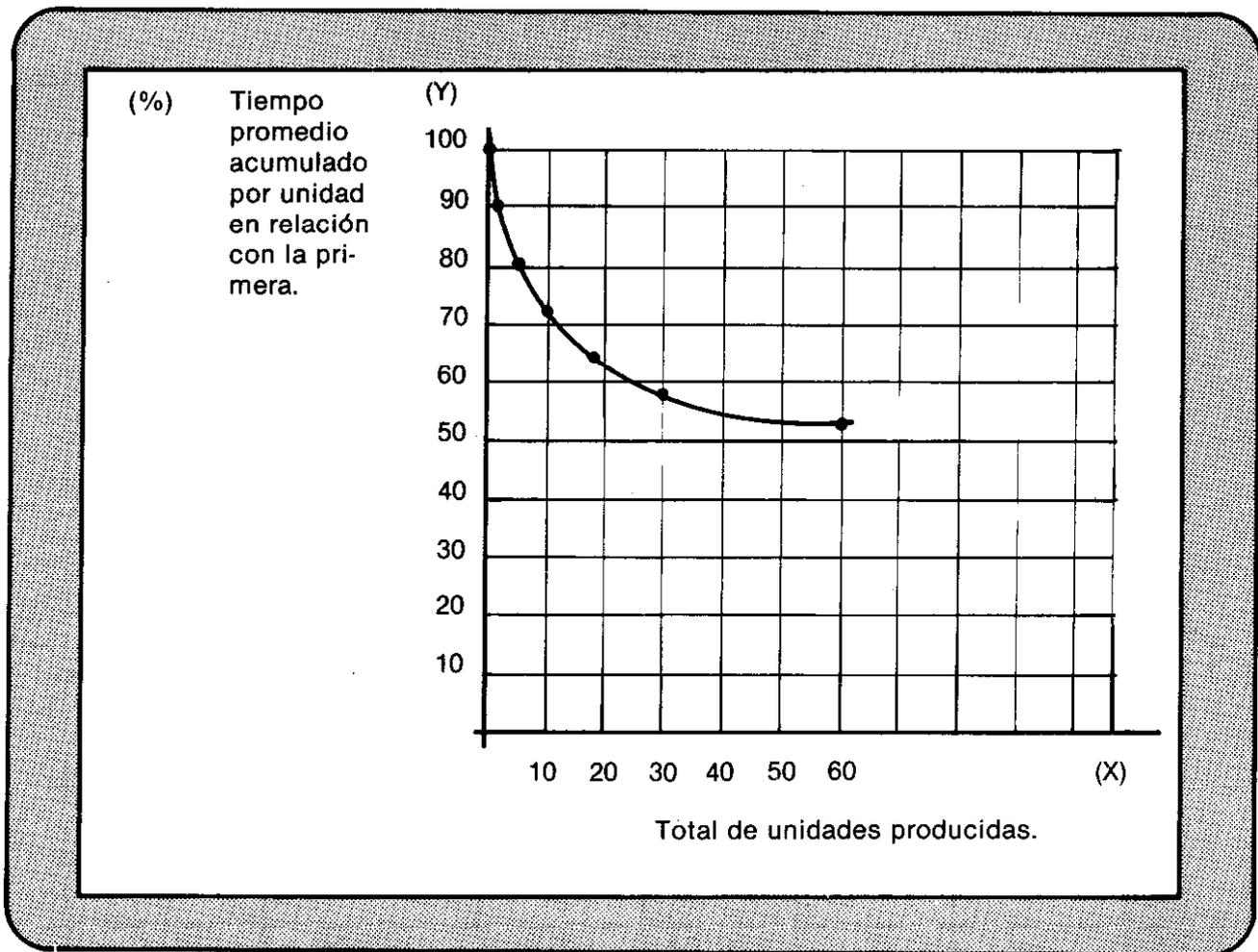
establecer la siguiente tabla: considerando una t.a. del 90%.

TABLA 1

1	2	3	4	5	6
Número de serie	Barcos producidos	Número de días para construir todos los barcos de la serie	Número de días para construir cada barco	Tiempo total acumulado en (%) en relación con la primera unidad	Tiempo promedio acumulado por unidad (%) en relación con la primera unidad
1a.	1	200	200	100	100
2a.	2	360	180	180	90
3a.	4	648	162	342	81
4a.	8	583.2	145.8	583.2	72.9
5a.	16	2,099.5	131.22	1,049.76	65.61
6a.	32	3,776.0	118.1	1,889.28	59.04
7a.	64	6,801.92	106.28	3,400.96	53.14

y la gráfica resultante será:

GRAFICA 1



Considerando que he podido explicar el concepto de "tasa de aprendizaje", quiero indicar dos particularidades de la técnica estudiada que creo importantes para su aplicación; la primera consiste en una limitación en cuanto a sus posibilidades de uso, ya que no es provechoso utilizarla en líneas de producción altamente automatizadas

toda vez que la velocidad de producción en las mismas depende más de la capacidad del equipo, que del aprendizaje de los operarios. Es decir que la técnica que se analiza debe limitarse en su uso a la fabricación en serie de unidades en las cuales el empleo de mano de obra sea abundante.

La otra característica se refiere a la determinación de los límites de medición entre los que se desplaza la tasa de aprendizaje.

Primero diremos que la tasa de aprendizaje más baja que se concibe para efectos prácticos es la del 100%, pues si un barco se construye en 200 días y dos

barcos en 400 días, quiere decir que no hubo aprendizaje alguno porque cada barco de una serie de dos se construye en el mismo tiempo que uno solo. Es preciso aclarar que lo anterior es para efectos prácticos porque teóricamente es concebible el desaprendizaje, aunque muy raro en

la práctica.

Ahora bien, en cuanto al límite superior de la tasa, debemos pensar que es del 50% y que es inalcanzable.

En efecto, para obtener tasas de aprendizaje tan elevadas se

requeriría que en la fabricación de la 2a. unidad de la serie, se lograra un aprendizaje tal alto, que el tiempo requerido para fabricarla se redujera hasta llegar a cero, lo cual parece imposible en las condiciones tecnológicas actuales.

$$\frac{100 + 0}{2} = 50$$

Así en teoría los límites de medición de la tasa de aprendizaje (t.a.) son:

Y (límite inferior) y 50% (límite superior).

Y en la práctica son:

100% (límite inferior) y t.a. 50% (límite superior).

Dicho lo anterior pasaremos a ver cómo se calcula la curva de aprendizaje.

2. CONSTRUCCION DE LA CURVA DE APRENDIZAJE

Si observamos la gráfica 1 veremos que la curva que la representa comienza arriba a la izquierda y cae rápidamente a medida que avanza a la derecha,

siendo su caída menos pronunciada ante más a la derecha nos encontremos. Ahora bien si "Y" es la altura vertical de cualquier punto de la curva; y representa el tiempo promedio acumulado por unidad, en una serie, en relación con la primera unidad de la misma "X" la distancia horizon-

tal al punto de origen marcado como 1 y representa el total de unidades de la serie y "A" es el % del tiempo promedio acumulado por unidad en cualquier punto de la curva, el primer punto de la curva estará representado por la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{A}{X} \quad \text{donde:} \quad Y = \frac{100}{1} = 100$$

lo cual coincide con la gráfica.

Para el siguiente punto tenemos:

$$T = \frac{A}{X} \quad \text{donde: } Y = \frac{100}{2} = 90$$

lo cual es falso, porque para que sea cierto es necesario que se haga un ajuste en la ecuación a fin de que proporcione los valo-

res observados de la tasa de aprendizaje, pero de tal modo que no altere la validez del punto 1, esto se puede hacer elevando

$$Y = \frac{A}{X^b}$$

donde "Y" es el % del tiempo promedio acumulado por unidad en relación con la primera unidad y "X" es el número de unida-

des de la serie. La única incógnita es "b" y su valor no altera la validez del cálculo del primer punto, porque cuando "X" valga

1, no importará cuanto valga "b" pues X^b siempre valdrá 1 porque 1 elevado a cualquier potencia siempre es 1.

des de la serie. La única incógnita es "b" y su valor no altera la validez del cálculo del primer punto, porque cuando "X" valga

Así para dos unidades tendremos:

$$Y = \frac{A}{X^b}; \quad Y = \frac{100}{2^b} = 90$$

$$\frac{100}{2^b} = 90$$

$$2^b = \frac{100}{90}$$

$$b \text{ LOG } 2 = \text{LOG } 1.111$$

$$b = \frac{\text{LOG } 1.111}{\text{LOG } 2}$$

$$b = \frac{0.04575}{0.30103} = 0.15200309$$

y para el cuatro unidades tendremos:

$$Y = \frac{A}{X^b}; \quad Y = \frac{100}{4^b} = 81$$

$$\frac{100}{4^b} = 81$$

$$4^b = \frac{100}{81}$$

$$4^b = 1.2345$$

$$b \text{ LOG } 4 = \text{LOG } 1.2345$$

$$b = \frac{\text{LOG } 1.2345}{\text{LOG } 4}$$

$$b = \frac{0.091491}{0.60206} = 0.15200309$$

Por lo tanto la ecuación representativa de la curva de aprendizaje del 90% de t.a. es la siguiente:

$$Y = \frac{A}{X^{0.15200309}}$$

Cualquier punto de la curva se puede calcular usando esa fórmula y si queremos saber por ejemplo el % del tiempo promedio acumulado por unidad en una serie de 20 unidades a la t.a. del 90%, basta sustituir el valor de "X" por el número 20, en la ecuación.

$$Y = \frac{100}{20^{0.15200309}}$$

$$Y = \frac{100}{1.57}$$

$$Y = 63.69$$

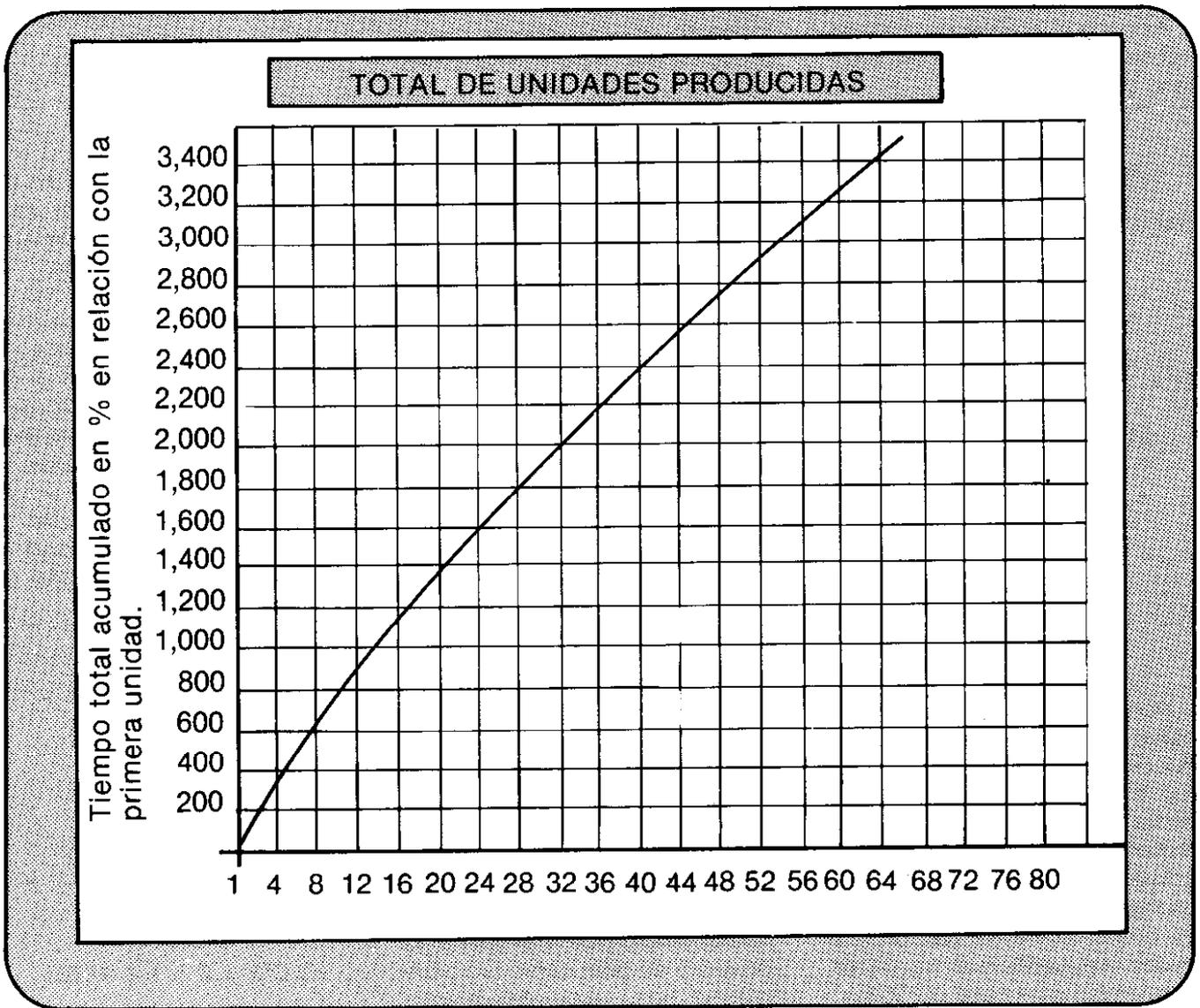
**3. CURVA DEL TIEMPO
TOTAL DE PRODUCCION**

Si lo que desea es determinar

el tiempo total de producción para un número dado de unidades, es necesario elaborar una gráfica y determinar una ecuación que la represente, lo cual haremos con propósito ilustrati-

vo para los datos de la tabla 1, es decir para el caso de una tasa de aprendizaje del 90%.

GRAFICA 2



Como la curva asciende a medida que avanza a la derecha, el modelo que la representa deberá ser:

$$Y = X^c$$

cuando X es = 1, Y será igual a A, es decir 100

Así que el problema es determinar el valor de C. lo cual haremos considerando a X = 2.

$$Y = A X^c$$

$$180 = 100 \times 2^c$$

$$2^c = \frac{180}{100}$$

$$2^c = 1.8$$

$$c \text{ LOG } 2 = \text{LOG } 1.8$$

$$c = \frac{\text{LOG } 1.8}{\text{LOG } 2}$$

$$c = \frac{0.255272}{0.30103}$$

$$c = 0.8480$$

Por lo tanto la ecuación de la curva del tiempo total de producción para una t.a. del 90% es: $Y = A X^{0.8480}$ y empleando dicha fórmula es posible determinar que % del tiempo requerido para fabricar la primera unidad es necesario para producir un número determinado de unidades, supuesta una t.a. determinada (en este caso del 90%).

4. CURVA DEL TIEMPO POR UNIDAD

En algunas ocasiones es necesario conocer cuál es el tiempo en que se contruye una unidad determinada de una serie en relación con la primera unidad de la misma, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$Y = A (X^c - (X - 1)^c)$$

donde Y es = % de tiempo en que se construye una unidad determinada de una serie, en relación con la primera unidad de la misma.

A = 100
X = Número de la unidad cuyo tiempo de fabricación queremos determinar.

5. APLICACION DE LA TECNICA DE LA CURVA DEL APRENDIZAJE

Esta técnica tiene múltiples aplicaciones en la industria, entre las que, sin duda, destaca la elaboración de presupuestos de mano de obra como lo podremos ver en el siguiente ejemplo:

Supongamos que nos solicitan un presupuesto para la elaboración de 15 tableros eléctricos para una planta industrial y sabemos que el primer tablero tiene los siguientes costos:

Materia prima	50,000.00
Mano de obra	<u>200,000.00</u>
	250,000.00

(40 días a razón de 5,000.00 el día).

Si se desea obtener una utilidad del 25%, el precio de un tablero será de \$312,500.00 sin considerar el aprendizaje.

Ahora bien, si se sabe que la t.a. en la industria eléctrica en el país es del 85%, será muy fácil determinar el precio de los 15 tableros, para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

- a) Determinación de la ecuación de la curva del aprendizaje; con una tasa del 85%

$$\frac{A}{X^b} = Y$$

$$\frac{100}{2^b} = 85$$

$$2^b = \frac{100}{85} = 1.1764$$

$$b \text{ LOG } = 2 = \log 1.1764$$

$b = \frac{0.070555}{0.30103}$ $b = 0.23437$ $85 = \frac{100}{X^{0.23437}}$	<p>b) Determinación del % del tiempo acumulado por unidad para 15 tableros.</p> $Y = \frac{100}{15^{0.23437}} = \frac{100}{1.886427}$ $Y = 53.01$	<p>c) Determinación de costo de mano de obra por unidad</p> $200,000 \times .5301 = \$106,020.00$ <p>d) Determinación de precio por tablero (cuando se venden 15 piezas).</p> <table border="0"> <tr> <td>mat. prima</td> <td>50,000.00</td> </tr> <tr> <td>mano de obra</td> <td>106,020.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="border-top: 1px solid black;">156,020.00</td> </tr> <tr> <td>sobre precio</td> <td>39,005.00</td> </tr> <tr> <td>Precio total</td> <td style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;">195,025.00</td> </tr> <tr> <td>por tablero:</td> <td>\$195,025.00</td> </tr> </table>	mat. prima	50,000.00	mano de obra	106,020.00		156,020.00	sobre precio	39,005.00	Precio total	195,025.00	por tablero:	\$195,025.00
mat. prima	50,000.00													
mano de obra	106,020.00													
	156,020.00													
sobre precio	39,005.00													
Precio total	195,025.00													
por tablero:	\$195,025.00													

Otras aplicaciones son: las relativas al control de operaciones en las empresas, determinación del lote económico de producción en términos del costo de mano de obra y en vista de un precio determinado en el mercado, toma de decisiones respecto a la compra o fabricación de un componente del producto elaborado en la empresa considerando el precio fijado por los proveedores, etc.

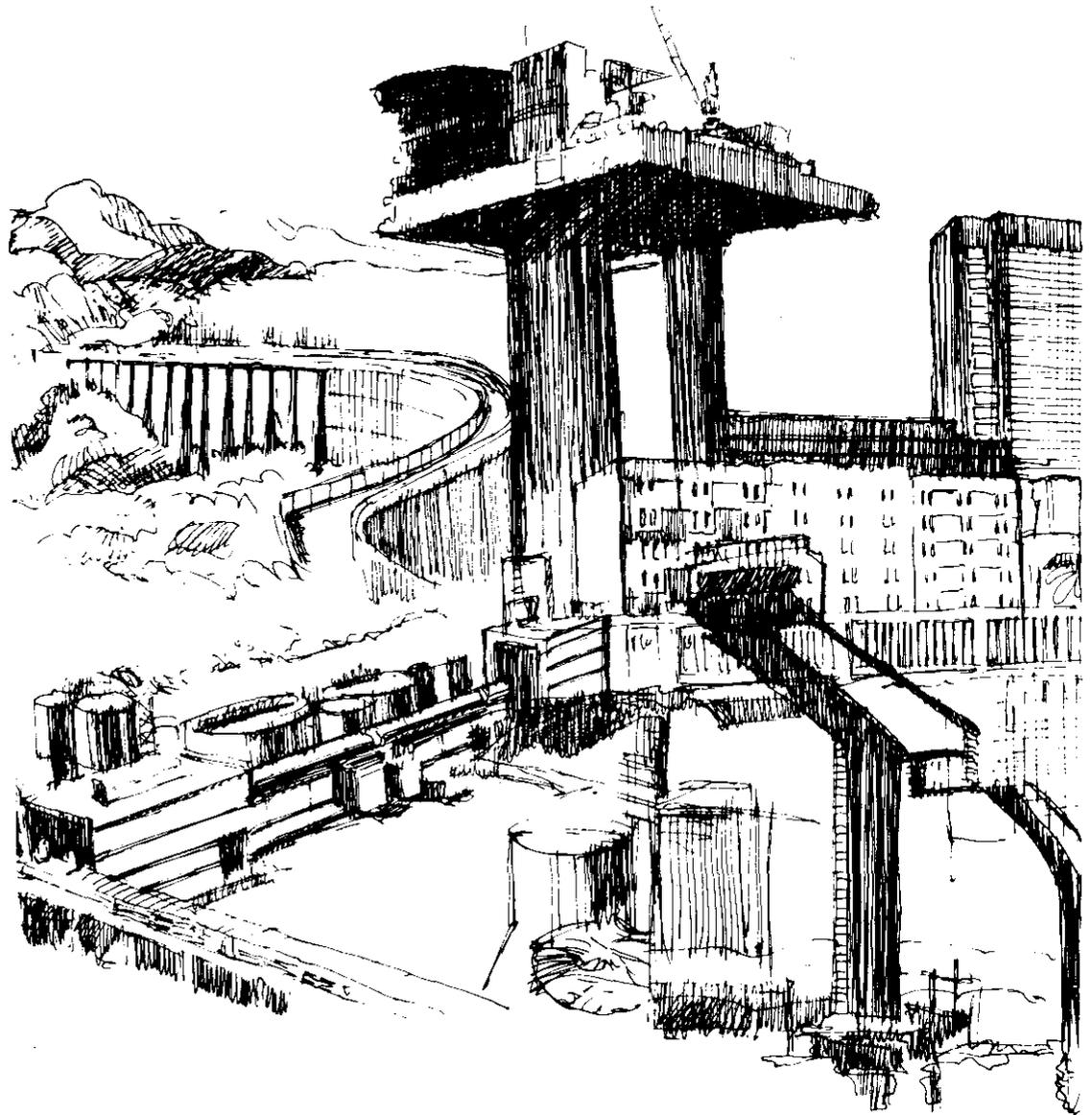
Desde luego que esta técnica como cualquier otra que se emplee, es sólo un método cuantitativo auxiliar del administrador, quien deberá emplearla complementada con el sentido común y la experiencia adquirida en el manejo del negocio, y puesto que la curva de aprendizaje es una línea de regresión, es necesario tomar en cuenta que por muy alto que sea el coeficiente de determina-

ción, las observaciones individuales caen alrededor de la línea más que sobre ella, por lo que a medida que se obtiene experiencia en su manejo, se puede ir determinando con mayor precisión la desviación estándar y los límites de confianza y así se irán mejorando los resultados de su empleo.



BIBLIOGRAFIA

<p>1. "THE LEARNING CURVE AS A PRODUCTION TOOL" ANDRESS, Frank J. Harvard Business Review (Enero-Febrero 1974) Pags. 87-93.</p>	<p>2. "THEORY OF THE LEARNING CURVE" Raborg, W.A. Jr. California CPA, (Abril 1955)</p>	<p>3. "EL ANALISIS CUANTITATIVO EN LA TOMA DE DECISIONES ADMINISTRATIVAS" Editorial Diana, México 3a. reimpresión en Español 1978, Traducido del original en Inglés editado en 1967 por Prentice Hall, Inc.</p>
---	--	---



I. INTRODUCCION

La humanización tiene dos aspectos: satisfacción y participación. La satisfacción es una medida del grado en que todo sale bien a los propósitos de las partes. La participación es el grado con que participan los individuos en la toma de decisiones

que afectan su satisfacción. En el contexto de la organización la participación comprende el auto-control o el control de aquéllos que controla. La participación por lo tanto es una fuente de satisfacción.

Hasta hace poco contratar a una persona comprendía un acuerdo de que a excepción de los salarios, ningún empleado esperaba que su patrón se preocupara por sus metas y objeti-

