

98  
116



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

## "REEMPLAZO ECONOMICO DE EQUIPO"

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

**Víctor Manuel Martínez Hernández**

México, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AL Pasante señor VICTOR MANUEL MARTINEZ HERNANDEZ,  
P r e s e n t e .

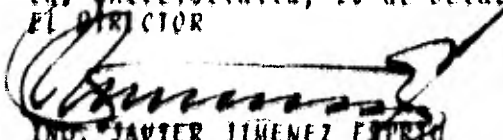
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Jorge H. de Alba Castañeda, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"REEMPLAZO ECONOMICO DE EQUIPO"

- Prólogo.
- I. Introducción.
- II. Costos.
- III. Métodos utilizados en el reemplazo de equipo.
  - III.1 Método de comparación simple.
  - III.2 Método de los costos promedios acumulados.
  - III.3 Método del valor actualizado.
- IV. Reconstrucción de equipo como alternativa de reemplazo.
- V. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 26 de octubre de 1961  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

# I N D I C E

## PROLOGO

	PAG.
I. INTRODUCCION . . . . .	5
II. COSTOS . . . . .	8
II.1 OPERACIÓN	
II.2 CONSUMOS	
II.3 MANTENIMIENTO MENOR	
II.4 LLANTAS	
II.5 TALLER MECÁNICO	
II.6 RENTAS	
III. METODOS UTILIZADOS EN EL REEMPLAZO DE EQUIPO	10
III.1 MÉTODO DE COMPARACIÓN SIMPLE	
III.2 MÉTODO DE LOS COSTOS PROMEDIOS ACUMULADOS	
III.3 MÉTODO DE VALOR ACTUALIZADO	
IV. RECONSTRUCCION DE EQUIPO COMO ALTERNATIVA DE REEMPLAZO . . . . .	70
IV.1 RECONSTRUCCIÓN DE EQUIPO	
IV.2 VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE RECONSTRUIR EQUIPO	
IV.3 OPERACIONES CARACTERÍSTICAS EN LA RECONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	
IV.4 ESTUDIO ECONÓMICO DE "SUSTITUCIÓN" CONTRA "RECONSTRUCCIÓN"	
V. CONCLUSIONES . . . . .	80

# PROLOGO

## PROLOGO

El rápido avance en la tecnología del equipo de construcción durante los últimos años, ha impuesto un serio obstáculo a los propietarios de equipo para la definición de políticas relacionadas con la adquisición, manejo y reemplazo del mismo.

El incremento en tamaño y costo, los impuestos implantados por el Gobierno y factores económicos diversos, relacionados con el equipo de construcción, tales como, la inflación, obsolescencia y tasas de interés, han complicado el análisis de decisión sobre problemas de reemplazo de equipo.

El propósito del presente trabajo, es el de introducir a estudiantes y profesionistas interesados, en el conocimiento de algunos de los principales métodos de reemplazo económico de equipo de construcción, así como de los principales factores que influyen para su determinación.

En el primer capítulo se introduce al lector en el planteamiento general del problema.

El capítulo segundo, se destina a realizar la explicación

detallada de los costos que inciden durante la utilización del equipo.

En el tercer capítulo se ilustran, a partir de ejemplos -- simplificados, los principales métodos de análisis.

Finalmente, en el capítulo cuarto, se trata la reconstrucción de equipo como una alternativa que, ante la situación económica actual, se esta desarrollando cada vez con mayor frecuencia.

I

# **INTRODUCCION**



## I. INTRODUCCION

La reposición o reemplazo de maquinaria en el momento económicamente oportuno, es uno de los problemas con que invariablemente se enfrentan las dependencias oficiales y empresas privadas poseedoras de equipo.

Sin lugar a dudas, la tendencia general de los propietarios de maquinaria, es reemplazarla en función de una serie de circunstancias que, la mayoría de la veces, nada tiene que ver con un estudio cuidadoso sobre la determinación del momento óptimo de reemplazo.

La iniciación de un nuevo trabajo, las oportunidades que se presentan en el mercado de maquinaria y el tener capital extra disponible, son algunos de los factores que pueden influir para que un propietario decida reemplazar el equipo que posee; esto ocasiona, la mayoría de los casos una pérdida en la inversión, por reemplazar el equipo antes de haber alcanzado la recuperación máxima. Por otra parte, una política contraria a la anterior, es decir retener la máquina por tiempo indefinido, evidentemente conllevará gastos excesivos de mantenimiento. El problema de reemplazo de equipo ante estas dos posibilidades, deberá enfocarse hacia la de-

terminación de un punto de equilibrio, donde los costos de depreciación más los costos de mantenimiento, acumulados -- ambos, sean mínimos ver fig. 1 . Así mismo, es necesario -- considerar la influencia que tienen otros factores tales como el costo de la inversión, la obsolescencia y el costo de máquina parada.

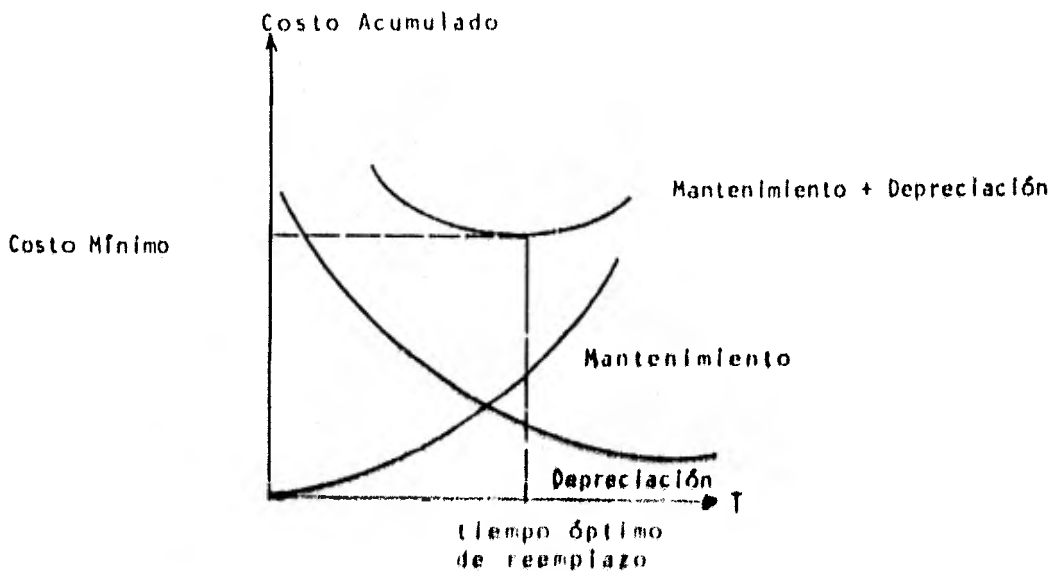


Fig. 1

||

**COSTOS**

## II. COSTOS

Si, como hemos señalado, la determinación del tiempo óptimo de reemplazo está en función de los costos que se van teniendo a lo largo de la vida útil del equipo, será fundamental - implementar un mecanismo mediante el cual podamos tener la - información relacionada con cada una de las máquinas, directamente de la obra. Estos costos, aunados a los que se integran a nivel de Empresa, nos permitirán aplicar los métodos de reemplazo.

El establecimiento de un sistema de información de costos, - adecuado al tamaño y tipo de la empresa, redundará en análisis de costos más provechosos: las bitácoras del equipo, el tener formatos estandarizados y fáciles de llenar, adecuados a cada uno de los niveles que manejan la información, desde su inicio hasta los niveles gerenciales y de dirección, son algunos de los elementos que coadyuvarán a tener un registro completo y fidedigno de los costos, asociados a cada una de las máquinas ó grupos de máquinas que la empresa posee.

Los costos que se generan en obra, conviene clasificarlos -- de la siguiente manera:

- II.1 OPERACIÓN
- II.2 CONSUMOS
- II.3 MANTENIMIENTO MENOR
- II.4 LLANTAS
- II.5 TALLER MECÁNICO
- II.6 RENTAS

II.1 OPERACIÓN. Es el costo total derivado de las erogaciones que se hacen por concepto de pago de salario al personal encargado de la operación de las máquinas. Se determina en base a la lista de raya, identificando a los operadores y ayudantes directamente encargados de cada máquina.

II.2 CONSUMOS. Son las erogaciones realizadas por concepto de combustibles, lubricantes, filtros y elementos de desgaste de sustitución frecuente como son cuchillas, gavilanes, tornillos, tuercas, etc. Se determina en base al reporte de cargos que acumula mensualmente el almacén en función de los valores de salida.

II.3 MANTENIMIENTO MENOR. Son los costos ocasionados por materiales, refacciones, mano de obra y equipo auxiliar, necesarios para llevar a cabo todas las operaciones de rutina, servicios y mantenimiento que se requieren para conservar en condiciones de

trabajo a las máquinas durante su vida útil, y que no están considerados en el punto anterior. Se determinan en la misma forma que los consumos, teniendo en la formulación de los vales, para asociarlos con la máquina correcta y evitar errores en los cargos.

II,4 LLANTAS. Es el costo debido a la disminución del valor original de las llantas como consecuencia del uso, más los cargos por las refacciones, materiales y equipo auxiliar necesario para hacer las reparaciones de las llantas (cámaras, válvulas, corbatas, birlos). Se determina de acuerdo al reporte de horas trabajadas mensualmente por cada equipo mayor, agregándosele los costos de operación, que se reciben como cargos en las pólizas del almacén que contabiliza los vales de salida correspondientes.

II,5 TALLER MECÁNICO. Los costos originados por éste concepto, conviene desglosarlos en: mano de obra, equipo auxiliar y herramientas y mantenimiento.

El costo de mano de obra incluye al personal que -- trabaja en el taller de maquinaria y cuyo sueldo no puede cargarse directamente a ninguna máquina.

Se determina en la misma forma que el costo de operación, y no incluye gastos generales como son salarios de Ingenieros mecánicos y auxiliares de maquinaria.

El segundo grupo, incluye los costos originados por rentas de equipo auxiliar, refacciones, materiales, combustibles y lubricantes necesarios para mantener en condiciones de trabajo el equipo auxiliar y veh[ic]ulos al servicio del taller mecánico, más la amortización de la herramienta al servicio del taller.

Finalmente, debemos tomar en cuenta el costo de los materiales diversos que no pueden cargarse a las -- máquinas y que son para el servicio del taller. Se obtienen directamente de los reportes de consumos -- utilizados por el taller de la obra.

Ante la dificultad de asignar con toda exactitud -- el costo del taller mecánico a cada una de las má-- quinas que atiende, debe buscarse la manera de prorratearlo; una manera de hacerlo es la siguiente: -- tomando como base de prorrateo el porcentaje del -- personal del taller mecánico que se encuentra al --

servicio de equipo menor y vehiculos, se divide el costo total en dos partes: una correspondiente a todo el equipo menor y vehiculos, y la restante a todo el equipo mayor. El costo aplicable a su vez al equipo mayor se prorratea entre cada máquina tomando como base su costo horario; esto es, se divide el costo horario de cada máquina entre la suma de los costos horarios de todas las máquinas mayores para obtener el factor de prorrteo. Este factor se multiplica en cada caso por el costo aplicable al mayor, obteniendo el costo mensual que por concepto de taller mecánico le corresponda a cada máquina. En forma similar, se debe asignar la parte proporcional que corresponde al equipo menor.

**II.6 RENTAS.** Son los costos derivados de los conceptos de depreciación, inversión, obsolescencia y reposición del equipo, más los correspondientes al mantenimiento mayor o correctivo, expresados como porcentaje de la depreciación. Se determinan en base a los cargos por rentas estimadas en las oficinas centrales, a las horas de trabajo reportadas para cada equipo mayor y en base al equipo menor y vehiculos existentes en obras, según inventario físico.

Estos, se integran de la siguiente manera:



- II.6.1 DEPRECIACIÓN Y REPOSICIÓN
- II.6.2 INVERSIÓN
- II.6.3 MANTENIMIENTO Y REPARACIONES
- II.6.4 OBSOLESCENCIA
- II.6.5 MÁQUINA PARADA

Los cuales se describen a continuación:

II.6.1 DEPRECIACIÓN Y REPOSICIÓN, Se considera como depreciación, a la disminución en el valor original del equipo por el trabajo realizado a través del tiempo o de otra manera, es la distribución en el tiempo de los valores activos del capital menos el rescate a través de su vida económica en una forma racional y sistemática.

Existen muchas definiciones de depreciación, de todas formas, el sistema que se elija para recuperar la inversión de equipo, dependerá de la política que defina la empresa que puede ser con mayor o menor ritmo, según se establezca una depreciación de tipo lineal o decreciente.

En el primer caso el cargo por depreciación será siempre la misma cantidad por unidad de tiempo, cuando se deprecie con un sistema declinable o decreciente, en los primeros años la máquina se amortizará

más rápidamente que al final de su vida económica.

(gráfica 1).

Así de esta manera tenemos los siguientes criterios de depreciación:

A) CARGOS DECRECIENTES:

Según este criterio, la maquinaria se deprecia --  
anualmente el 40% de su valor de rescate remanente.

Esto es, si consideramos como valor de adquisición el 100%, para el primer año, la depreciación será:

$$100 \times 0,40 = 40\%$$

y el valor de rescate igual a:

$$100 - 40 = 60\%$$

para el segundo año, la depreciación será:

$$60 \times 0,40 = 24\%$$

y el valor de rescate:

$$60 - 24 = 36\%$$

Procediendo en forma semejante:

AÑO	VALOR DE RESCATE %	DEPRECIACION %
0	100	--
1	60	40
2	36	24
3	22	14
4	12	9
5	7	5

B) SUMA DE LOS AÑOS DIGITOS

Si consideramos 5 años de vida económica, la suma de ellos es:

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$$

El criterio consiste en depreciar la maquinaria - como sigue:

1er. Año  $D = \frac{5}{15}$  Va = 33%

2do. Año  $D = \frac{4}{15}$  Va = 27%

3er. Año  $D = \frac{3}{15}$  Va = 20%

4º Año  $D = \frac{2}{15}$  Va = 13%

$$5^{\circ} \text{ Año} \quad D = \frac{1}{15} \text{ Va} = 7 \%$$

c) CUADRADOS DE DIGITOS

Es semejante al criterio de la suma de los años - dígitos, solo que en este caso se eleva al cuadrado cada uno de ellos.

$$\text{Esto es: } (1)^2 + (2)^2 + (3)^2 + (4)^2 + (5)^2 = 55$$

El criterio de depreciación será:

$$1^{\text{er.}} \text{ Año} \quad D = \frac{25}{55} = 45 \%$$

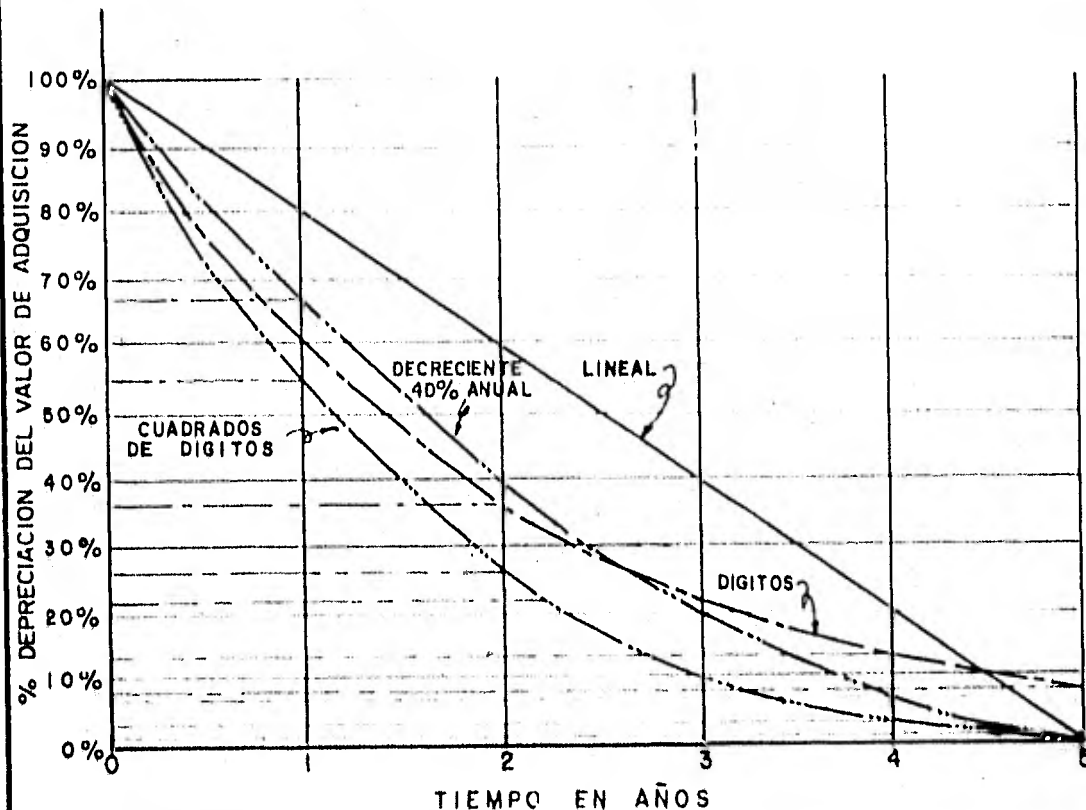
$$2^{\text{o.}} \text{ Año} \quad D = \frac{16}{55} = 29 \%$$

$$3^{\text{er.}} \text{ Año} \quad D = \frac{9}{55} = 16 \%$$

$$4^{\text{o.}} \text{ Año} \quad D = \frac{4}{55} = 7 \%$$

$$5^{\text{o.}} \text{ Año} \quad D = \frac{1}{55} = 2 \%$$

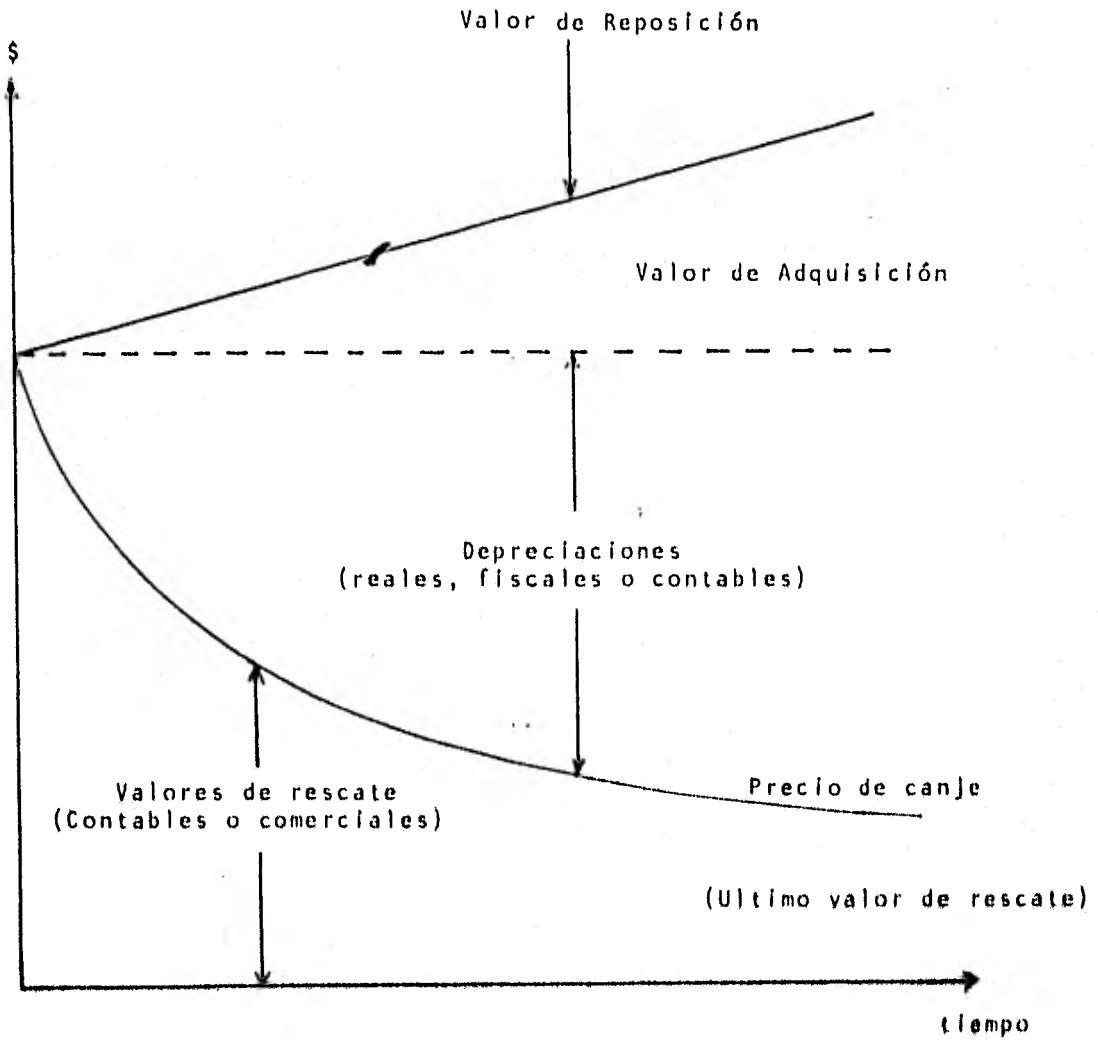
**PORCENTAJES DE DEPRECIACION ANUAL**



DEPRECIACION	AÑOS				
	1	2	3	4	5
LINEAL	20%	20%	20%	20%	20%
DECRECIENTE 40% SOBRE SALDOS ANUAL	40%	24%	14%	9%	5%
SUMA DE DIGITOS	33%	27%	20%	13%	7%
CUADRADOS DE DIGITOS	45%	29%	16%	7%	3%

El objeto de la depreciación es ir rescatando el capital invertido para que al final de esta recuperación podamos restituir el equipo que ya trabajó y que debe cambiarse. Con este fondo se va creando una reserva de amortización que servirá para el reemplazo, sin embargo siempre existirá una diferencia entre el fondo de amortización y el valor de la nueva máquina, que está en continuo ascenso, es decir, el costo de reposición, que es el resultado del aumento en precio de la nueva maquinaria. (gráfica 2).

11.6.2 COSTO DE INVERSIÓN. El costo por inversión se le llama también cargo por intereses, principalmente para definir la naturaleza de este factor que influye en el costo horario, lo que quiere decir, que toda inversión que se hace en bienes de producción tiene un costo que es el derivado del uso del dinero. Quizás una forma más clara de presentar este cargo sería señalando que si en lugar de invertir en maquinaria de construcción se ahorra la misma cantidad en una financiera, este capital redituaría un interés de acuerdo con las tasas oficialmente



GRAFICA 2

aceptadas, o de otra forma, si se tiene que recurrir a una institución financiera para comprar el equipo sería necesario pagar una cantidad en efectivo por el uso de dinero y que representa el interés que la Banca cobra por financiar la adquisición de bienes de producción.

Se calcula como el promedio del valor de adquisición más el valor de rescate, multiplicado por la tasa de interés considerada, entre el número de horas acumuladas.

$$I = \frac{V_A + V_R}{2 H_A} i$$

**11.6.3 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES.** Este costo corresponde a las reparaciones mayores y menores que se le hagan a la máquina durante toda su vida económica para mantenerla en condiciones eficientes de trabajo y comprenda reparaciones de campo y en talleres realizadas por el propietario del equipo o en talleres especializados. También es frecuente considerar el mantenimiento preventivo, que permitirá que la máquina siga trabajando sin pérdidas de tiempo evitando con esto el deterioro anticipado y quizás en algunos casos eliminar deficiencias en los procedimientos constructivos cuando trabaje en dependencia con otras máquinas.



El mantenimiento menor, regularmente, se hace en el campo y requiere de poco tiempo para efectuarlo, frecuentemente realizado por el mismo operador del equipo. El mantenimiento mayor, cuyo costo es más elevado, puede tomar varios días para efectuarse y casi siempre se lleva a cabo en talleres acondicionados para tal efecto. En todo este proceso, deberá llevarse un estricto control para determinar los gastos correspondientes.

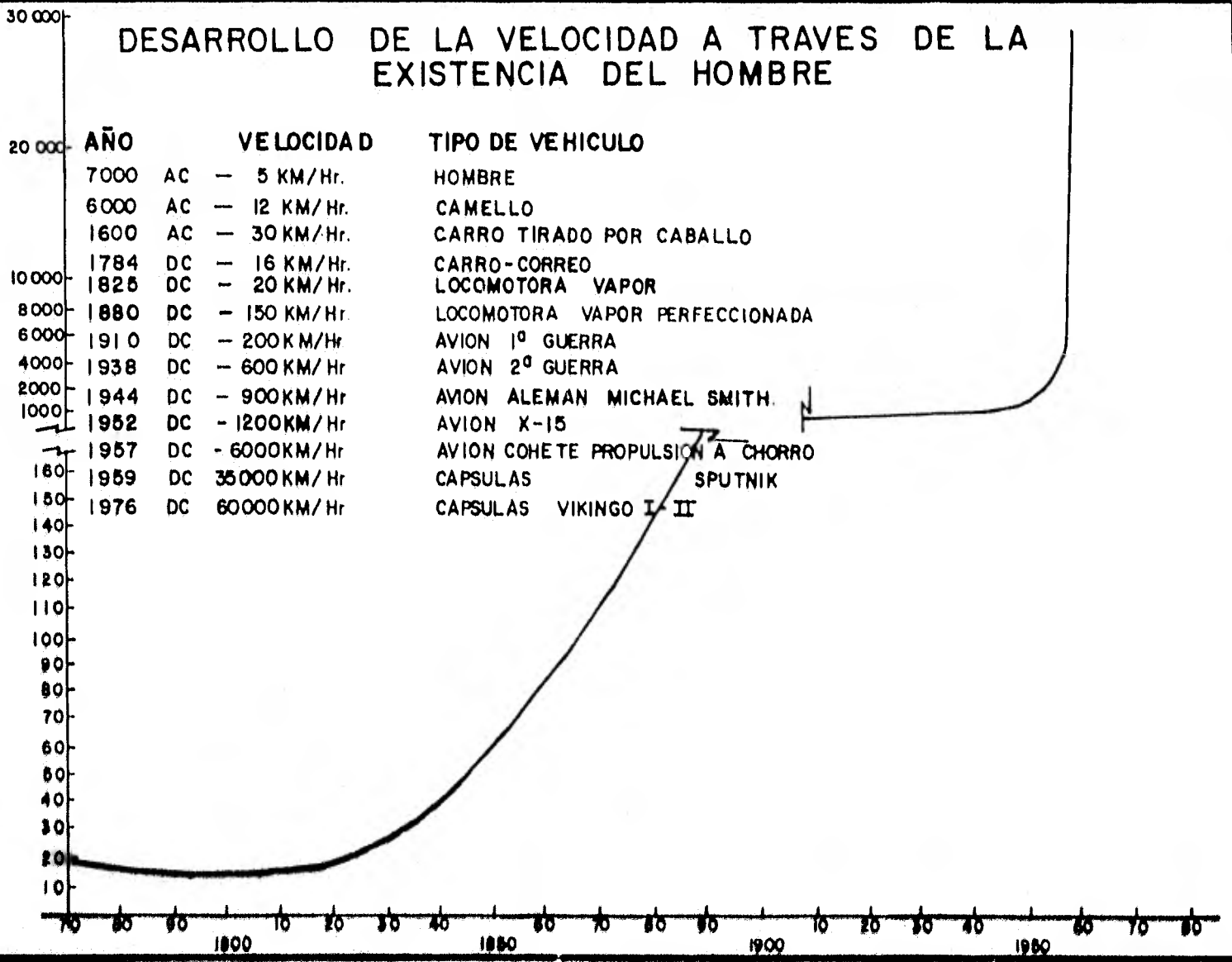
5

II.6.4 COSTO POR OBSOLESCENCIA. Se considera como obsolescencia, el efecto que producen las innovaciones tecnológicas en los equipos, con el consecuente incremento en la capacidad de producción. Los niveles de obsolescencia en las épocas presentes están continuamente creciendo en relación a las máquinas actuales, pues el avance tecnológico lleva un ritmo acelerado, es decir, los cambios se realizan a grandes velocidades. Citando el desarrollo de la velocidad a través de la existencia del hombre, la cual hasta el año de 1900 alcanzaba velocidades máximas del orden de 150 km/hr; en 1950 se lograron velocidades hasta de 1000 km/hr, y a la fecha el aceleramiento de la ciencia y la tecnología permite navegar en el espacio a 60,000 km/hr (gráfica 3).

1

# DESARROLLO DE LA VELOCIDAD A TRAVES DE LA EXISTENCIA DEL HOMBRE

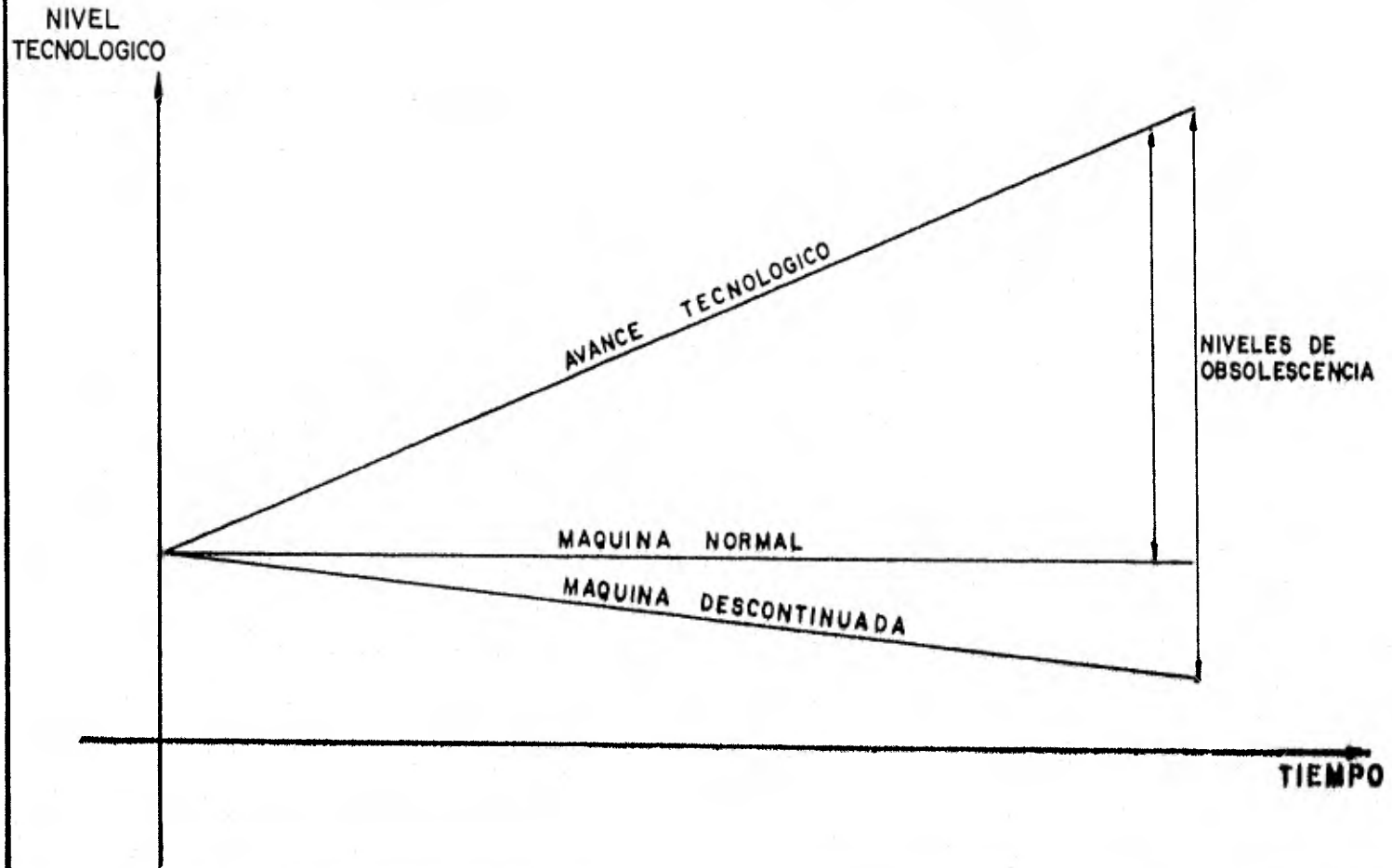
AÑO	VELOCIDAD	TIPO DE VEHICULO
7000	AC - 5 KM/Hr.	HOMBRE
6000	AC - 12 KM/Hr.	CAMELLO
1600	AC - 30 KM/Hr.	CARRO TIRADO POR CABALLO
1784	DC - 16 KM/Hr.	CARRO-CORREO
1825	DC - 20 KM/Hr.	LOCOMOTORA VAPOR
1880	DC - 150 KM/Hr.	LOCOMOTORA VAPOR PERFECCIONADA
1910	DC - 200 KM/Hr.	AVION 1ª GUERRA
1938	DC - 600 KM/Hr.	AVION 2ª GUERRA
1944	DC - 900 KM/Hr.	AVION ALEMAN MICHAEL SMITH.
1952	DC - 1200 KM/Hr.	AVION X-15
1957	DC - 6000 KM/Hr.	AVION COHETE PROPULSION A CHORRO
1959	DC 35000 KM/Hr.	CAPSULAS SPUTNIK
1976	DC 60000 KM/Hr.	CAPSULAS VIKINGO I - II



GRAFICA 3

En cuanto a equipos y procedimientos de construcción, se puede comentar que ha sucedido un fenómeno similar. Desde luego que esta participación - del uso intensivo del equipo en la construcción, - ha sido en detrimento de la utilización de mano de obra que en los últimos años y tomando en cuenta - el crecimiento de la población mundial, ha provocado serios problemas sociales. (gráfica 4).

# OBSOLESCENCIA DEL EQUIPO DE CONSTRUCCION EN EL TIEMPO



II.6.5 COSTO DE MÁQUINA PARADA, Conservadoramente, podemos considerar el valor de estos costos, como el -- equivalente al costo fijo de una máquina similar -- que sustituyera a la nuestra en caso de descompostura.

Decimos que es una manera conservadora, porque el - hecho de que la máquina se pare por fallas mecánicas, ocasiona la mayoría de los casos que otras máquinas u otros frentes de producción se vean afectados. Por otra parte, es inoperante tener una máquina ociosa, exclusivamente para sustituir a la nuestra cuando esta falle.

Asimismo, no deben considerarse en este concepto, - los tiempos en que la máquina se pare por factores ajenos a ella misma, como pueden ser la falta de -- tramo, o traslados de un frente a otro, o de una -- obra a otra.

En términos generales, se considera que la eficiencia de un equipo no es del 100%, y existe una regla empírica de considerar un 3% de diferencia para los dos primeros años y después una disminución del 2% durante seis años:

	1	2	3	4	5
Eficiencia o disponibilidad	97%	94%	92%	90%	88%
100% eficiencia	2000 hr	2000 hr	2000 hr	2000 hr	2000 hr
Disponibilidad	1940	1880	1840	1800	1760

Finalmente, los costos anteriormente descritos, tratados a nivel obra, se integran en la empresa para los efectos de análisis de reemplazo de equipo, de la siguiente manera:

COSTOS A NIVEL DE OBRA

COSTOS A NIVEL DE EMPRESA

OPERACION

CONSUMOS

MANTENIMIENTO MENOR

LLANTAS

TALLER MECANICO

MANTENIMIENTO TOTAL

MANTENIMIENTO MAYOR

DEPRECIACION

DEPRECIACION Y REPOSICION

RENTAS COSTO DE CAPITAL

INVERSION

INNOVACIONES TECNOLOGICAS

OBSOLESCENCIA

EQUIPO IMPRODUCTIVO PARADO

MAQUINA PARADA

III

**METODOS  
UTILIZADOS  
EN EL  
REEMPLAZO  
DE EQUIPO**

### III. METODOS UTILIZADOS EN EL REEMPLAZO DE EQUIPO

Se presentan a continuación los métodos de análisis frecuentemente utilizados, haciendo usos de ejemplos de aplicación; en ellos, por simplificar, utilizaremos exclusivamente los costos de depreciación y mantenimiento; involucrando, posteriormente, los factores restantes: inversión, obsolescencia y máquina parada.

III.1 MÉTODO DE COMPARACIÓN SIMPLE. Se utiliza en el caso, muy particular, que se presenta cuando nos enfrentamos a la alternativa de invertir una cantidad importante en mantenimiento correctivo para que una máquina siga trabajando, o venderla y adquirir una nueva que ejecute el trabajo.

Se ilustra a través del siguiente ejemplo:

DURACION DEL TRABAJO POR EJECUTAR	1 año
MAQUINA USADA	
Costos del mantenimiento mayor	\$ 200,000
Mantenimiento preventivo mensual	50,000
Valor de rescate actual	210,000
Valor de rescate al final de trabajo	130,000



MAQUINA NUEVA

Valor de adquisición	\$ 800,000
Mantenimiento preventivo mensual	35,000
Valor de rescate al final del trabajo	400,000

SOLUCION

ALTERNATIVA DE CONSERVAR LA MAQUINA USADA

$$\begin{aligned}\text{COSTO MAQUINA USADA} &= 200,000 + 50,000 \times 12 - 130,000 \\ &= 200,000 + 600,000 - 130,000 = 670,000\end{aligned}$$

ALTERNATIVA DE COMPRAR MAQUINA NUEVA

$$\begin{aligned}\text{COSTO MAQUINA NUEVA} &= (800,000 - 210,000) + 35,000 \times 12 - 400,000 \\ &= 590,000 + 420,000 - 400,000 = 610,000\end{aligned}$$

La alternativa de comprar una máquina nueva tiene costo menor y por lo tanto es la económicamente más adecuada; sin embargo, debemos observar que la diferencia entre una y otra alternativas es realmente poca, por lo que quizá fuesen otros factores, inherentes a la situación económica y políticas de la empresa ó del propietario, los que determinarán la decisión final.

**III.2 MÉTODO DE LOS COSTOS PROMEDIOS ACUMULADOS,** Supongamos que somos propietarios de un camión que costó \$ 800,000.00 y deseamos determinar el tiempo óptimo de reposición; o sea, al cabo de cuantos años habremos de venderlo para comprar uno nuevo.

Para encontrar la solución al problema consideraremos únicamente, como ya lo habíamos señalado, los costos de depreciación y mantenimiento.

Fijemos primeramente, como ritmo de depreciación, la consideración de que el camión pierde cada año la mitad de su valor, hasta llegar al quinto año en que se presenta un valor de rescate que permanecerá constante para cualquier momento subsecuente en que decidamos venderlo, inclusive como chatarra.

De acuerdo a lo anterior, la depreciación de nuestro camión en función del valor de rescate es:

ARO	Vr	D = Va - Vr
0	800,000	0
1	400,000	400,000
2	200,000	200,000
3	100,000	100,000
4	50,000	50,000
5	25,000	25,000
6	25,000	0

Por otra parte, necesitamos determinar los costos de mantenimiento esperados. Es aquí donde debemos utilizar los datos estadísticos correspondientes a los camiones que la empresa haya tenido anteriormente. En nuestro caso, de los reportes de utilización de camiones similares, obtenemos --

los siguientes costos de mantenimiento.

ARO	COSTO DE MANTENIMIENTO
1	130,000
2	160,000
3	187,000
4	240,000
5	307,000
6	373,000
7	450,000
8	530,000

Con la información anterior, preparamos la tabla 1, (valores en miles de pesos)

ARO	DEPRECIACION	MANTENIMIENTO	COSTO TOTAL ANUAL (4) = (2) + (3)	COSTO ACUMULADO (5)	COSTO ANUAL MEDIO (6) = (5) ÷ (1)
(1)	(2)	(3)		(5)	(6) = (5) ÷ (1)
1	400	130	530	530	530
2	200	160	360	890	445
3	100	187	287	1,177	392
4	50	240	290	1,467	367
5	25	307	332	1,799	360
6	0	373	373	2,172	362
7	0	450	450	2,622	375
8	0	530	530	3,152	394

TABLA 1

Observando la tabla 1, vemos que el costo anual medio mínimo se presenta en el quinto año; la política óptima de reemplazo en estas condiciones será reemplazar nuestro camión - cada cinco años.

No debemos referirnos al costo total mínimo (columna 4) para decidir sobre el reemplazo, ya que este valor corresponde exclusivamente al tercer año, y no toma en consideración la "Historia Completa" del camión.

Es interesante observar que en la solución del problema, -- estamos suponiendo que el costo de adquisición de un camión nuevo es constante en cualquier momento; si esto fuera cierto, en realidad nuestra política óptima de reemplazo estaría determinada por la combinación costo de adquisición-venta+costo de utilización; esto es, en el ejemplo: si compramos un camión con dos años de uso pagaríamos por él - - \$ 200,000.00 y lo podríamos vender al final de ese mismo -- año en \$ 100,000.00, teniendo un costo de mantenimiento de \$ 187,000.00. El costo anual sería.

$(200,000 - 100,000) + 187,000 = \$ 287,000.00$  valor que, además de ser el mínimo de la columna 4, es inferior a los - - \$ 360,000.00, obtenidos en la columna 6.

Lo recomendable sería comprar camiones usados de dos años - y venderlos después de un año de utilización.

Una segunda posibilidad, es la de estudiar, además del momento óptimo de reemplazo, la alternativa de reemplazar por otra máquina de diferentes características a la que se posee; Ilustremos lo anterior a través del siguiente ejemplo.

Supongamos que un contratista tiene la necesidad de estar utilizando continuamente, camiones de 10 toneladas de capacidad.

Los camiones tipo "A" que actualmente posee, tienen un costo de \$ 35,000 dls. cada uno y un año de uso.

Sus registros de trabajos anteriores le indican que el mantenimiento y operación anuales son de \$ 16,000 para el primer año, incrementándose después de \$ 2,000 por cada año subsecuente.

Un nuevo tipo de camiones "B", cuestan \$ 39,000 y sus costos de operación y mantenimiento son también de \$ 16,000 para el primer año, pero debido a mejoras tecnológicas, el incremento posterior es de \$ 1,200 por año.

Si los camiones se deprecian de acuerdo al criterio de cargos decrecientes; (recuérdese que, según el criterio de cargos decrecientes, el equipo se deprecia cada año el 40% de su valor remanente), planteemos las siguientes interrogantes:

- a. ¿Cuándo deben ser reemplazados los camiones tipo "A"?
- b. ¿Qué tipo de camión debemos utilizar en el reemplazo?

La información requerida para resolver el problema, está --  
contenida en las tablas 2 y 3, que muestran los costos anua  
les medios acumulados para los camiones tipo "A" y tipo "B"  
respectivamente.

CAMIONES TIPO "A" (1 AÑO DE USO)

ARO	AÑOS A PARTIR DEL PRIMERO	DEPRECIACION	RENTA Y OPERACION	COSTO ANUAL	COSTO ACUMULADO	COSTO ANUAL MEDIO
1	--	--	--	--	--	--
2	1	8,400	18,000	26,400	26,400	26,400
3	2	5,040	20,000	25,040	51,440	25,720
4	3	3,024	22,000	25,024	76,464	25,488
5	4	1,814	24,000	25,814	102,278	25,570
6	5	1,089	26,000	27,089	129,367	25,873
7	6	653	28,000	28,653	158,020	26,337

TABLA 2.

CAMIONES TIPO "B"

ARO	DEPRECIACION	MANTENIMIENTO Y OPERACION	COSTO ANUAL	COSTO ACUMULADO	COSTO ANUAL MEDIO
1	15,600	16,000	31,600	31,600	31,600
2	9,360	17,200	26,560	58,160	29,080
3	5,616	18,400	24,016	82,176	27,392
4	3,370	19,600	22,970	105,146	26,286
5	2,022	20,800	22,822	127,968	25,594
6	1,213	22,000	23,213	151,181	25,197
7	728	23,200	23,928	175,109	25,016
8	436	24,400	24,836	199,945	24,993
9	262	25,600	25,862	225,807	25,090

TABLA 3.

Del análisis de las tablas 2 y 3, y según las consideraciones que hasta aquí se han expuesto, se desprende que lo más conveniente es reemplazar los camiones tipo "A" a la edad de 4 años, empleando para el reemplazo los camiones tipo "B".

III.2.1 COSTO PROMEDIO ACUMULADO POR HORA. Para finalizar con la aplicación de este método, veamos un ejemplo donde intervengan los tres factores adicionales que hasta ahora no se han considerado: costo de inversión, máquina parada y obsolescencia, realizando además el análisis por hora acumulativa trabajada. En resumen, consideraremos cinco factores por separado y su influencia en el costo acumulativo por hora:

1. Costo de depreciación y reposición
2. Costo de Inversión
3. Costo de mantenimiento y reparación
4. Costo de máquina parada
5. Costo de obsolescencia

El criterio para determinar el tiempo de reposición más económico, consiste en saber si el costo acumulativo por hora se hace progresivamente mayor o menor, agregándole horas-máquina. (Fig. 2).



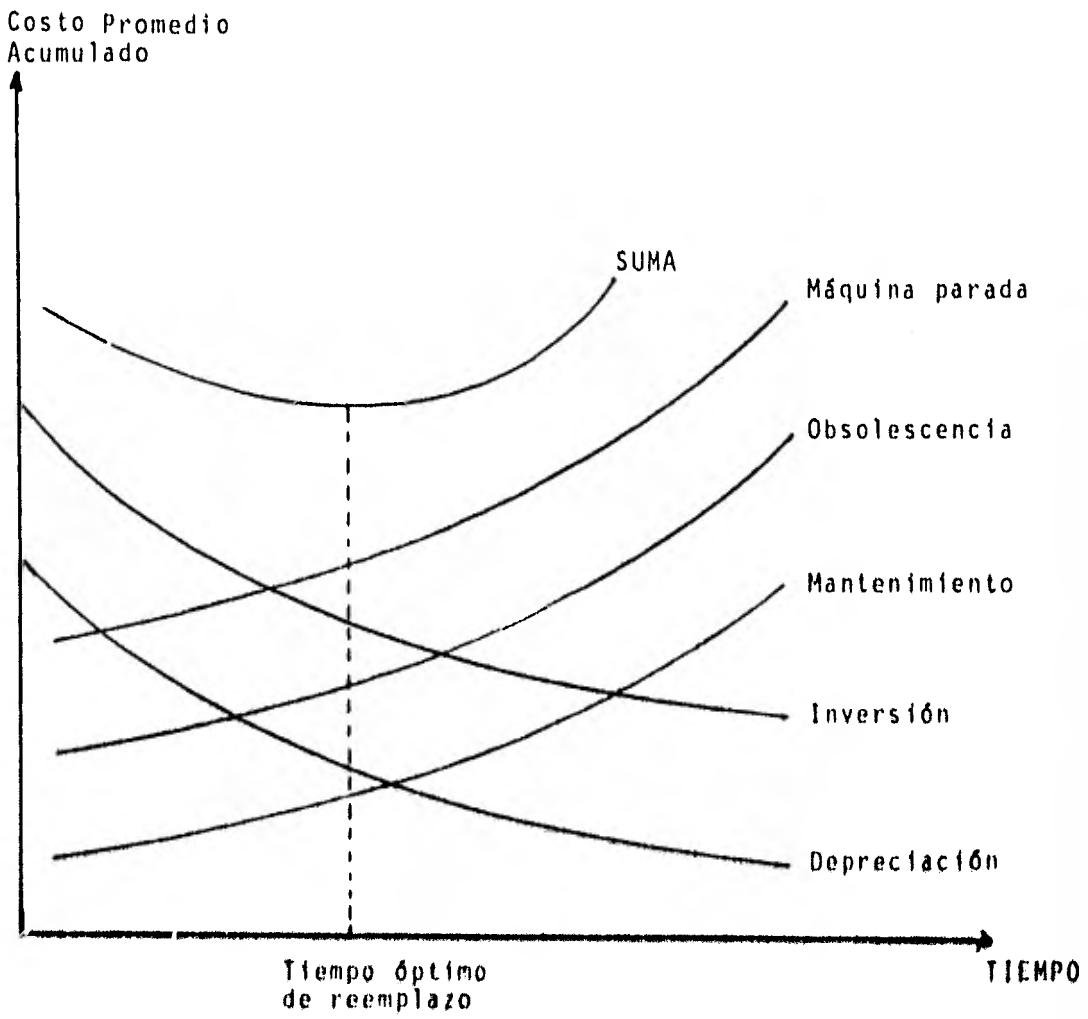


Figura 2

En el ejemplo a desarrollar, vamos a suponer una máquina -- con precio original de \$ 200,000 dólares y 2000 horas efectivas de trabajo al año.

Antes de iniciar el análisis recordemos que tanto costo como horas son acumulativas, ésto es, si el costo acumulativo por hora fuera de \$ 11.65 dólares en el cuarto año no significa que solamente las horas acumuladas durante el cuarto año han costado \$ 11.65, sino que todas las horas acumuladas durante el primero, segundo, tercero y cuarto años, han costado dicha cantidad por hora.

1. COSTO DE DEPRECIACION Y REPOSICION. Recordemos que el costo de depreciación es la pérdida debida a la baja del valor actual de una máquina causada por el uso y por su antigüedad. Es simplemente la diferencia entre el precio inicial de compra y el precio de reventa o canje.

El costo de reposición a su vez, es el resultado del aumento en precio de la nueva maquinaria.

Examinando el índice de precios de venta de equipo pesado de construcción, podemos determinar el porcentaje aproximado de incremento anual por este concepto, y extrapolar el resultado (en el ejemplo se tomó el 15% de incremento anual) El cálculo correspondiente a la obtención del costo de depreciación y reposición se muestra en la tabla 4.

### COSTO DE DEPRECIACION Y REPOSICION

(200,000 Costo Inicial de la Maquinaria, 2000 Horas de Trabajo Anuales)

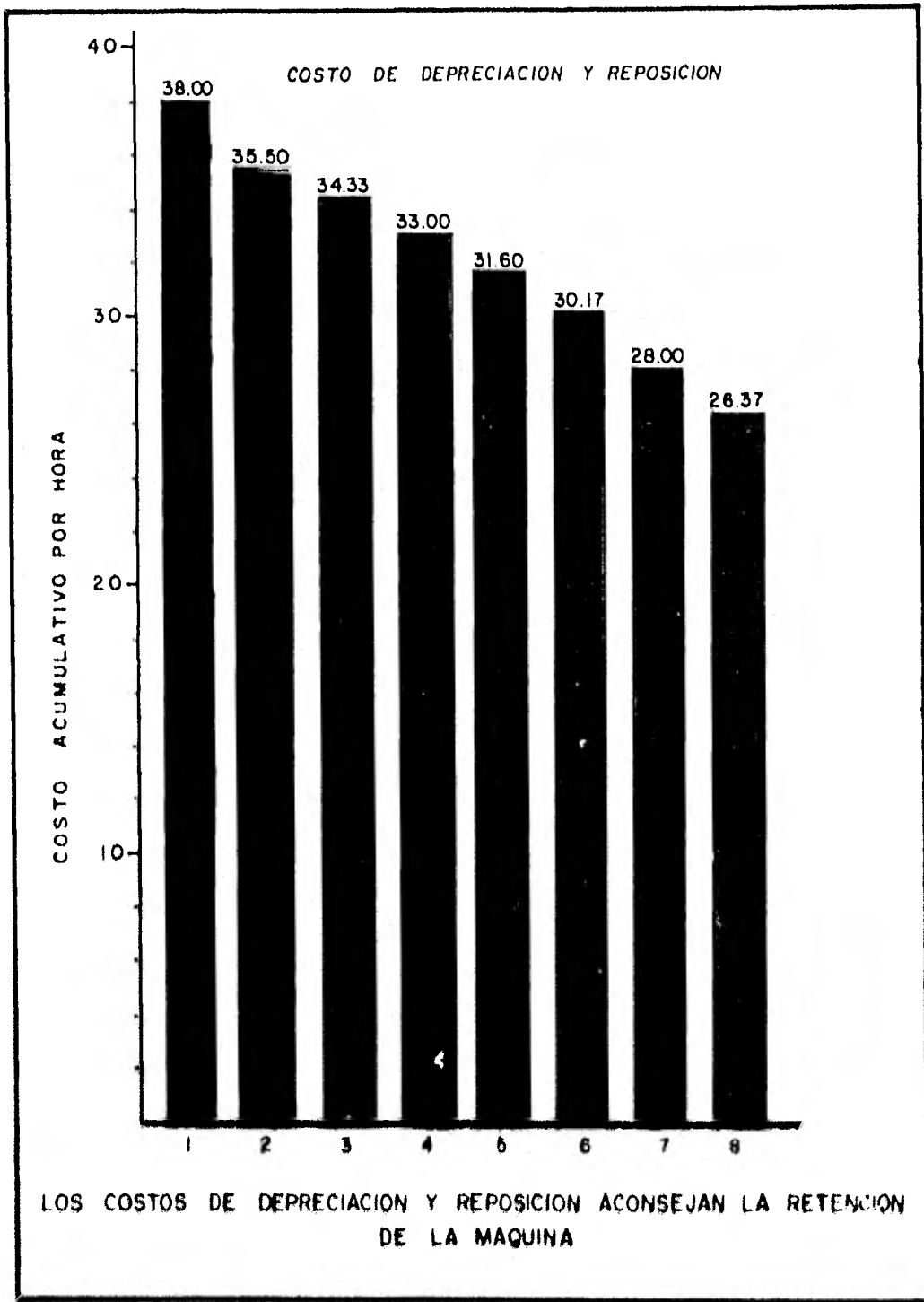
CONCEPTO	A N O							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VALOR DE RESCATE (% DEL PRECIO - ORIGINAL)	77%	59%	42%	28%	17%	9%	9%	9%
VALOR DE RESCATE DE UNA MAQUINA DE \$ 200,000 OLLS.	\$ 154,000	\$ 118,000	\$ 84,000	\$ 56,000	\$ 34,000	\$ 18,000	\$ 18,000	\$ 18,000
COSTO DE REPOSICION (15% AUMENTO POR AÑO)	\$ 230,000	\$ 260,000	\$ 290,000	\$ 320,000	\$ 350,000	\$ 380,000	\$ 410,000	\$ 440,000
PERDIDAS EN LA REPOSICION	\$ 76,000	\$ 142,000	\$ 206,000	\$ 264,000	\$ 316,000	\$ 362,000	\$ 392,000	\$ 422,000
HORAS DE TRABAJO ACUMULADAS	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000
COSTO DE DEPRECIACION Y REPOSICION POR HORA ACUMULADA	\$ 38.00	\$ 35.50	\$ 34.33	\$ 33.00	\$ 31.60	\$ 30.17	\$ 28.00	\$ 26.37

En el primer renglón se muestra el ritmo de depreciación - seleccionado (depreciación real), expresado como un porcentaje del valor de adquisición; este porcentaje aplicado a una máquina con valor de \$ 200,000 dólares, nos da los valores que aparecen en el segundo renglón.

Sobre la base de un 15% de incremento anual en los costos de reposición del equipo, obtenemos, a partir de los - - - \$100,000.00 actuales, el costo de reposición esperado en los próximos 8 años (renglón 3).

El costo de depreciación más reposición, será simplemente la diferencia de ordenadas entre el costo de reposición y el costo de depreciación, quedando el resultado en el renglón 4 ya acumulado; este resultado se divide entre las horas acumuladas del renglón 5, obteniéndose el costo de reposición y depreciación por hora acumulada (renglón 6).

Graficando los resultados observamos que si los únicos costos a considerar fueran los de depreciación y reposición, la política a seguir sería retener indefinidamente la máquina (gráfica 5).



GRAFICA 5

2. COSTO DE INVERSION. Como se vio anteriormente, este costo se interpreta como el costo del capital; es decir, es el cargo equivalente a los intereses que ocasiona el capital invertido en la compra de equipo, calculándose, como el promedio del valor de adquisición más el valor de rescate, multiplicado por la tasa de interés considerado, entre el número de horas acumuladas.

$$I = \frac{V_a + V_r}{2} \cdot \frac{i}{H_a}$$

Los cálculos correspondientes a este concepto, se muestran en la tabla 5.

En el primero y segundo renglones, se han obtenido los valores de la inversión al principio y al final de cada año respectivamente, a partir del ritmo de depreciación considerado.

Con estos valores calculamos la inversión promedio para cada año.

Sobre este valor, se consideró en el ejemplo una tasa de interés del 20%, dando por resultado los valores del renglón 4.

Finalmente, este costo de inversión se acumula y se divide entre las horas acumulativas de trabajo, para obtener el costo por inversión por hora acumuladas (renglón 7).

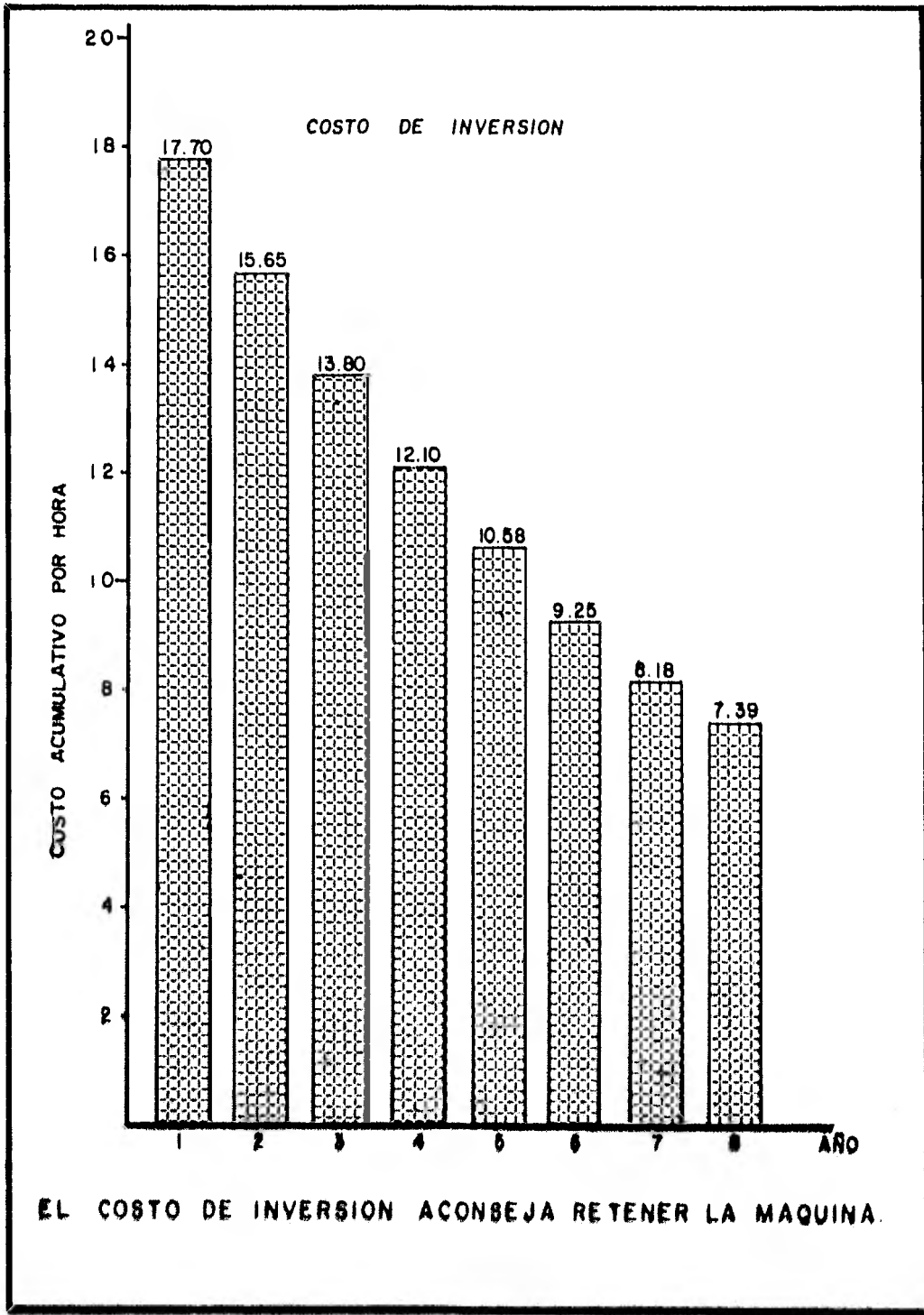
COSTO DE INVERSION

CONCEPTO	AÑO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
INVERSION AL PRINCIPIO DE AÑO	\$200,000	\$154,000	\$118,000	\$ 84,000	\$ 56,000	\$ 34,000	\$ 18,000	\$ 18,000
INVERSION AL FIN DE AÑO	154,000	118,000	84,000	56,000	34,000	18,000	18,000	18,000
PROMEDIO ANUAL DE INVERSION	177,000	136,000	101,000	70,000	45,000	26,000	18,000	18,000
COSTO DE INVERSION (20%)	35,400	27,200	20,200	14,000	9,000	5,200	3,600	3,600
COSTO ACUMULATIVO DE LA INVERSION	35,400	62,600	82,800	96,800	105,800	111,000	114,600	118,200
HORAS ACUMULATIVAS DE TRABAJO	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000
COSTO DE LA INVERSION POR HORA ACUMULADA	17.70	15.65	13.80	12.10	10.58	9.25	8.18	7.39

TABLA 5

Graficando los resultados (gráfica 6) observamos que el -- costo de inversión por hora acumulativa disminuye a medida que la máquina envejece, lo que aconseja también, retener indefinidamente la máquina.





GRAFICA 6

3. COSTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES. Constituyen uno de los costos más significativos; corresponden a las erogaciones realizadas para mantener la maquinaria en condiciones de trabajo.

A falta de información, podemos calcularlas aprovechando la estadística basada en promedios de cientos de máquinas; sin embargo, lo más conveniente es que cada propietario lleve sus propios registros de costos.

Los datos correspondientes a nuestro ejemplo se muestran en la tabla 6, en el renglón 1.

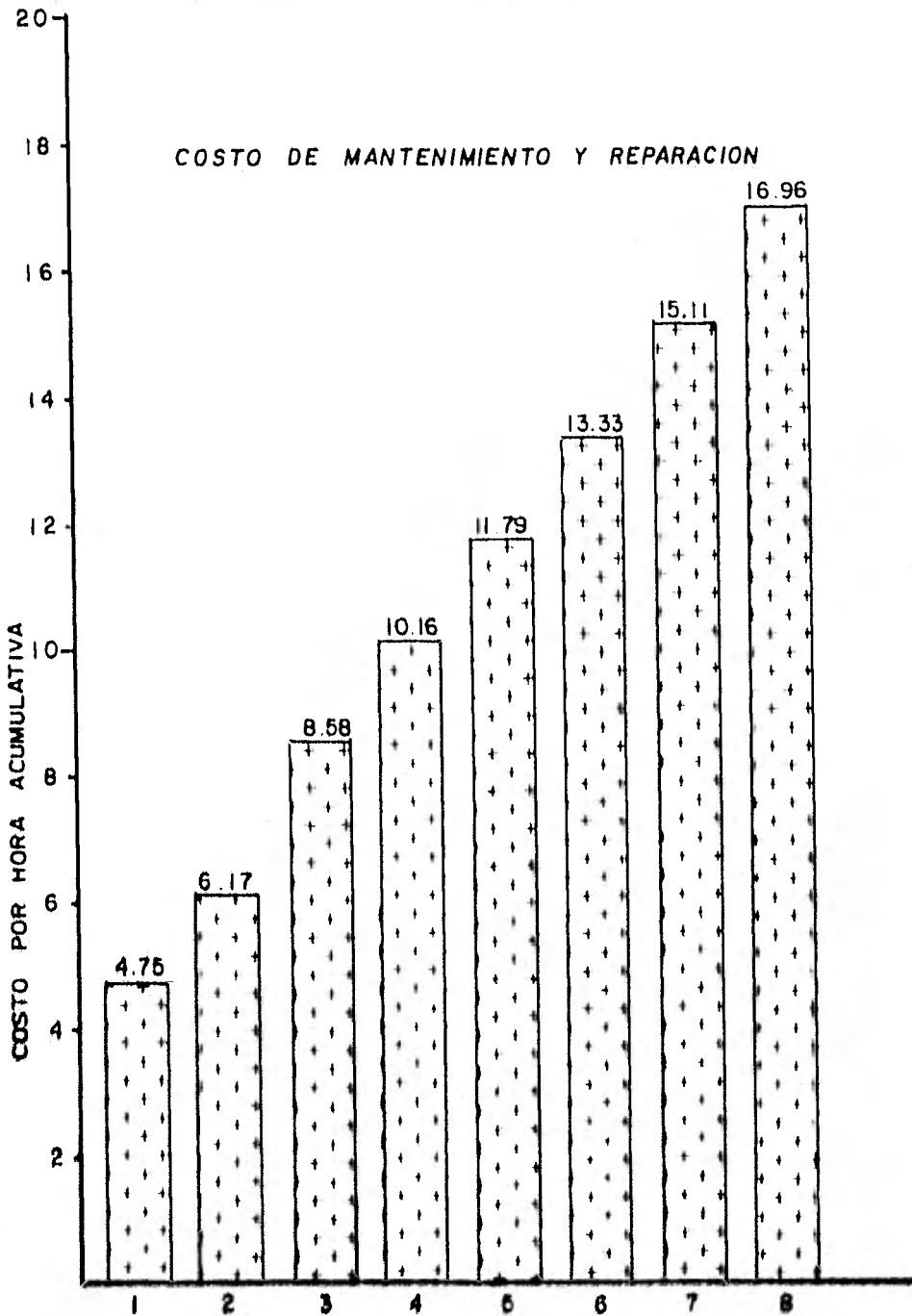
Estos valores se acumulan (renglón 2) y se dividen entre las horas acumulativas de trabajo (renglón 3), para obtener el costo de mantenimiento y reparación por hora acumulada.

Graficando los resultados vemos que si los únicos costos considerados fueran los de mantenimiento y reparaciones, habríamos de cambiar cada año nuestras máquinas (gráfica 7)

### COSTO DE MANTENIMIENTO Y REPARACION

CONCEPTO	AÑO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
COSTO DE MANTENIMIENTO Y REPARACION	9,500	17,600	24,400	29,800	36,600	42,100	51,600	55,700
COSTOS ACUMULATIVOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	9,500	27,100	51,500	81,300	117,900	160,000	211,600	271,300
HORAS ACUMULATIVAS DE TRABAJO	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000
COSTO DE MANTENIMIENTO Y REPARACION POR HORA ACUMULADA	4.75	6.77	8.58	10.16	11.79	13.33	15.11	16.96

TABLA 1



LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES ACCONSEJAN EL REEMPLAZO DE LA MAQUINA

4. COSTO DE MAQUINA PARADA. Los cálculos para la determinación del costo por máquina parada, se muestran en la tabla 7.

Considerando los porcentajes de disponibilidad descritos (renglón 1, de la tabla), se calculan las horas que tendríamos la necesidad de utilizar una máquina sustituto.

El costo de máquina parada, se calcula multiplicando las horas no trabajadas, por el costo de rentar una hora un equipo similar equivalente (renglón 4).

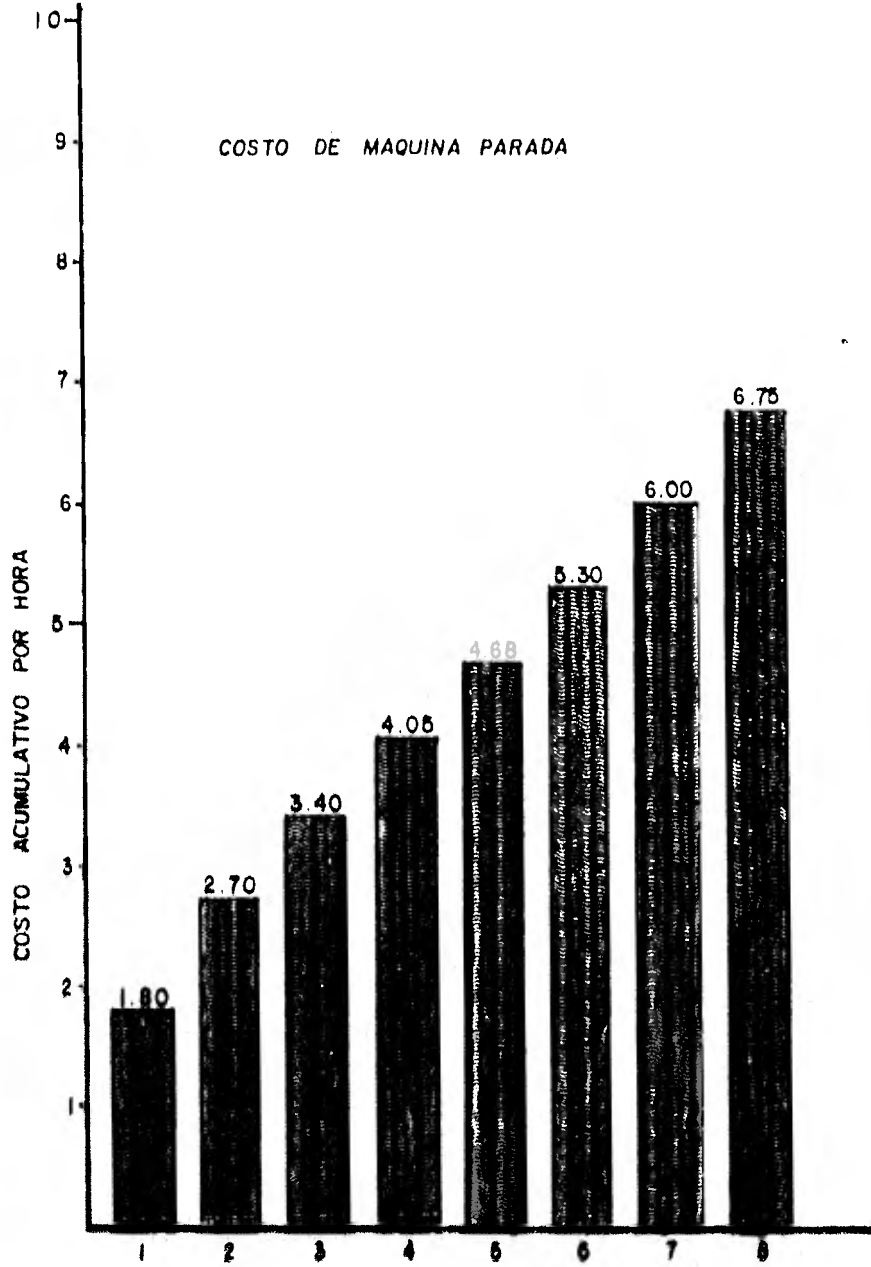
Estos costos se acumulan y se dividen entre las horas acumuladas, obteniendo el costo por hora acumulativa por concepto de máquina parada (renglón 7).

Al graficar los resultados, observamos que la recomendación sería cambiar la máquina cada año, si solamente tomásemos en cuenta este concepto (gráfica 8).

COSTO POR MAGUINARIA PARADA

CONCEPTO	A Ñ O							
	1	2	3	4	5	6	7	8
DISPONIBILIDAD	97%	94%	92%	90%	88%	86%	83%	80%
HORAS QUE SE - DEBEN RECOBRAR	60	120	160	200	240	280	340	400
COSTO POR CADA HORA	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00
COSTO DE TIEM- PO PERDIDO	\$3,600	\$7,200	\$9,600	\$12,000	\$14,400	\$16,800	\$20,400	\$24,000
COSTO ACUMULA- TIVO DE TIEMPO PERDIDO	\$3,600	10,800	20,400	32,400	46,800	63,600	84,000	108,000
HORAS ACUMULA- TIVAS DE TRABA- JO	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000
COSTO ACUMULA- TIVO POR HORA DE TIEMPO PER- DIDO	\$1.80	\$2.70	\$3.40	\$4.05	\$4.68	\$5.30	\$6.00	\$6.75

TABLA 7



EL COSTO POR MAQUINA PARADA ACONSEJA EL REEMPLAZO DE LA MAQUINA

GRAFICA B

5. COSTO POR OBSOLESCENCIA. Se considera en -- este factor, el efecto que producen las innovaciones tecnológicas; con el consecuente incremento en la capacidad de producción que pueden tener los equipos con mejoras de -- diseño.

La capacidad productiva del equipo, aumenta en términos generales en un promedio del 5% anual. Este aumento no es necesariamente una curva suave, sino que puede aumentar bruscamente con la introducción de un nuevo modelo.

Considerando que se introduce un nuevo modelo del equipo en cuestión cada tres años, con un 15% de aumento en el potencial productivo.

Las horas adicionales de operación requeridas con el equipo obsoleto para producir lo mismo que la máquina nueva, es lo que se considera como costo de obsolescencia (Tabla 8).

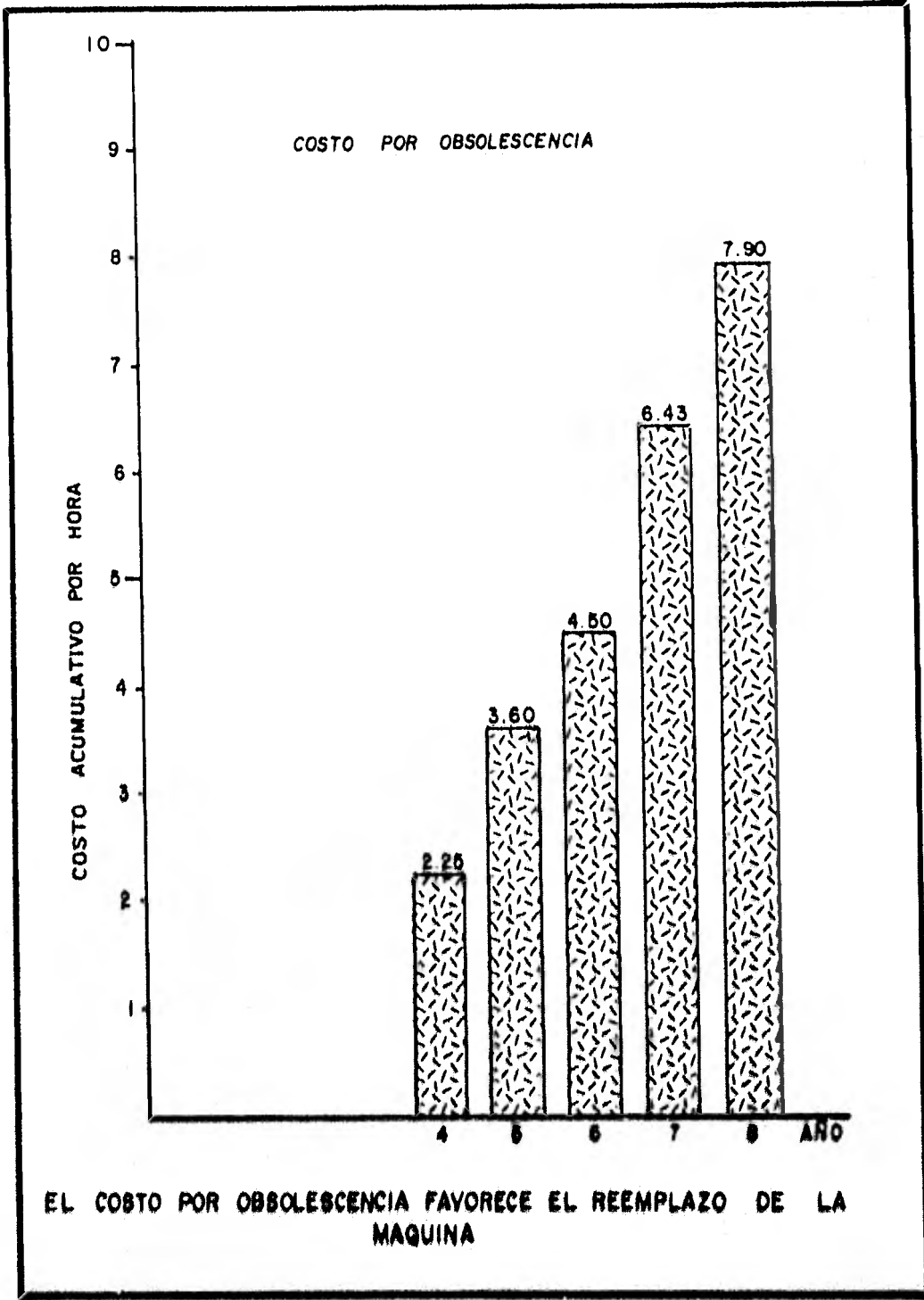
Los efectos adversos del equipo anticuado, son determinantes, como lo muestra la gráfica 9, que aconseja reemplazar el equipo año con año.



COSTO DE OBSOLESCENCIA

CONCEPTO	AÑO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
INCREMENTO DE LA PRODUCCION				15%	15%	15%	30%	30%
HORAS QUE NECESITA PARA IGUALAR LA PRODUCCION DE UNA MAQUINA ULTIMO MODELO				300	300	300	600	600
COSTO POR HORA	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00	\$60.00
COSTO DE OBSOLESCENCIA POR AÑO				18,000	18,000	18,000	36,000	36,000
COSTO ACUMULATIVO DE OBSOLESCENCIA				18,000	36,000	54,000	90,000	126,000
HORAS DE TRABAJO ACUMULADAS	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000
COSTO DE OBSOLESCENCIA POR HORA ACUMULATIVA				\$7.25	\$8.60	\$4.50	\$6.43	\$7.90

TABLA B



GRAFICA 9

## SUMARIO

Analizando el ejemplo, encontramos que algunos factores favorecen retener la máquina, mientras otros aconsejan reemplazarla cada año.

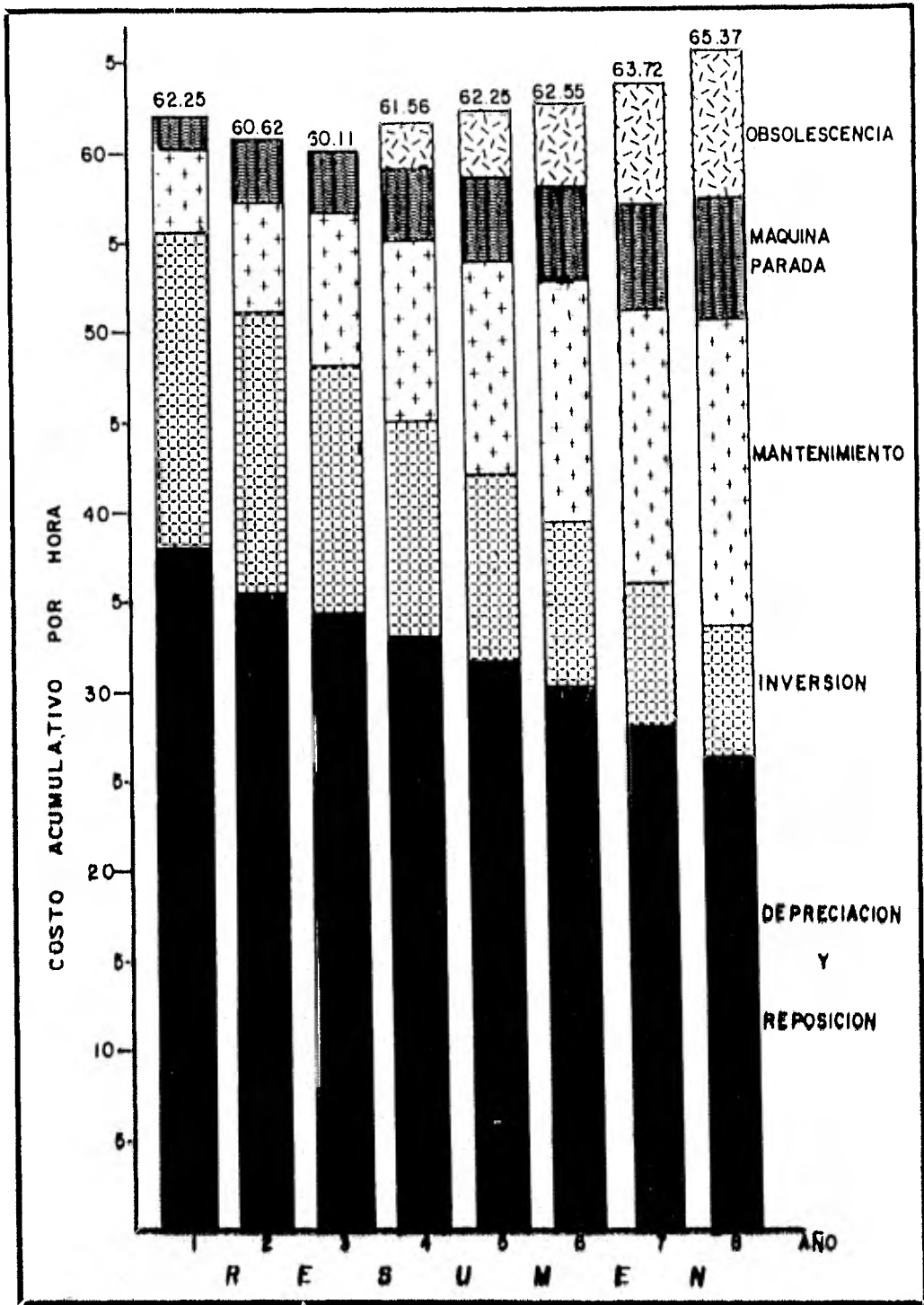
La tabla 9, muestra el resumen correspondiente a cada uno de los factores involucrados, mismos que se han graficado en la Gráfica 10 .

Del análisis de la gráfica, y el resumen correspondiente, se concluye que la máquina deberá ser reemplazada al final del tercer año. Esto no significa sino una guía en la política a seguir, pues habrá casos en que cambiar la máquina cada dos años sería más económico y otros en que el periodo pueda extenderse a más de tres.

S U M A R I O

CONCEPTO	A Ñ O							
	1	2	3	4	5	6	7	8
COSTO DE DEPRECIACION Y REPOSICION	\$38.00	\$35.50	\$34.33	\$33.00	\$31.60	\$30.17	\$28.00	\$26.37
COSTOS DE INVERSION	17.70	15.65	13.80	12.10	10.58	9.25	8.18	7.39
COSTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	4.75	6.77	8.58	10.16	11.79	13.33	15.11	16.96
COSTO DE TIEMPO PARADO DE LA MAQUINA	1.80	2.70	3.40	4.05	4.68	5.30	6.00	6.75
COSTOS DE OBSOLESCENCIA				2.25	3.40	4.50	6.43	7.90
TOTALES, COSTO ACUMULATIVO POR HORA	62.25	60.62	60.11	61.56	62.25	62.55	63.72	65.37

TABLA 9



GRAFICA 10

La tabla 10, muestra las pérdidas que ocasionaría el cambiar la máquina antes o después del año de reposición.

La diferencia en costo por hora de un año a otro puede parecer pequeña, pero debemos recordar que los costos obtenidos son acumulativos, y que se acumulan 2000 horas por cada año de operación; así que por ejemplo, los \$1.45 dls. por hora que se pierden al reemplazar un año más tarde la máquina, - en realidad significa una pérdida de \$1.45 dls, por 8000 - horas acumuladas, que nos dan \$8,700 dls. de pérdida.

Asimismo, es posible incurrir en pérdidas si se reemplaza - demasiado pronto, debido al efecto compuesto de los costos acumulativos por hora. Es importante hacer notar, que en - términos generales, el propietario de una máquina años más tarde que años antes. En conclusión, éstas pérdidas se pueden evitar, llevando un registro de los costos de cada máquina y aplicando los efectos de todos los factores ya descritos, correctamente.

AÑO DE REPOSICIÓN	HORAS ACUMULADAS	COSTO ACUMULATIVO POR HORA	DIFERENCIA	PERDIDA
1er. AÑO	2,000 Hrs.	\$ 62.25	\$ 2.14	\$ 4,280
2o. AÑO	4,000 Hrs.	60.62	0.51	2,040
3er. AÑO	6,000 Hrs.	60.11	AÑO MAS ECONOMICO PARA REPONER LA MAQUINA	
4o. AÑO	8,000 Hrs.	61.56	1.45	11,600
5o. AÑO	10,000 Hrs.	62.25	2.14	21,400
6o. AÑO	12,000 Hrs.	62.55	2.64	29,280
7o. AÑO	14,000 Hrs.	63.22	3.61	50,540
8o. AÑO	16,000 Hrs.	65.27	5.26	84,160

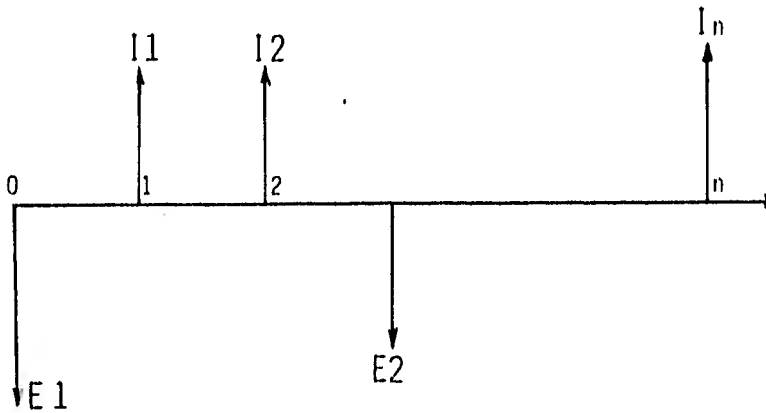
TABLA 10

III.3 METODO DEL VALOR ACTUALIZADO, En los ejemplos -- anteriores, hemos omitido tomar en cuenta el tiempo en que se gasta el dinero; lo cual no es correcto si pensamos que en algunas ocasiones habremos de pedirlo prestado y en otras nos abstendremos de utilizarlo en otro campo de actividad económica; - en ambos casos, es necesario considerar un interés que represente "el costo del dinero".

Con el propósito de aplicar el método del valor -- actualizado al problema de reemplazo de equipo, desarrollemos primeramente las fórmulas que nos permitan actualizar las cantidades que intervienen, - ya sea como ingresos o egresos, durante la vida -- útil del equipo de construcción que estamos analizando.

Es recomendable utilizar, en este tipo de análisis, un diagrama E-R (egresos y recuperaciones) sobre - el cual se señale el flujo de efectivos de una - - inversión propuesta, siguiendo la convención de -- asignar signo positivo o flecha ascendente a los - ingresos, y signo negativo o flecha descendente a los egresos, (esta consideración en algunos casos - puede, por comodidad, invertirse) según se indica.





Atendiendo a lo anterior, podemos plantear la siguiente interrogante. ¿Cuál será el valor futuro "F" de una cantidad presente "C", al final de "n" periodos, a interés compuesto "i"?



El valor cronológico de C, será:

$$\text{Para el primer año } C_1 = C + iC = C(1 + i)$$

$$\begin{aligned} \text{Para el segundo año } C_2 &= C_1 + iC_1 = C(1 + i) + iC(1 + i) \\ &= C + iC + iC + i^2C \\ &= C(1 + 2i + i^2) = C(1 + i)^2 \end{aligned}$$

Por inducción, al final del enésimo período

$$\begin{aligned} C_n &= C(1+i)^n, \text{ si } C_n = F \\ F &= C(1+i)^n \end{aligned} \quad (1)$$

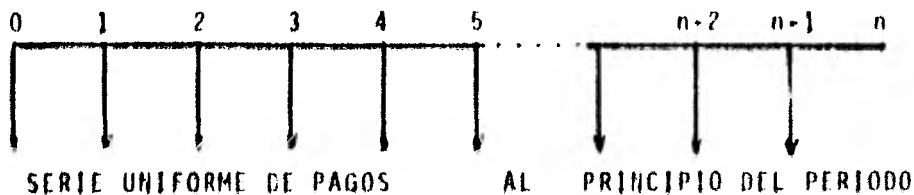
el factor  $(1+i)^n$  recibe el nombre de factor de valor futuro pago simple, y es el factor por el cual se multiplica un pago simple para obtener su monto capitalizado a una fecha futura específica.

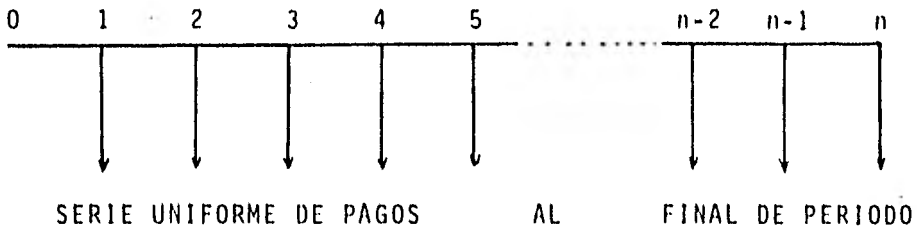
Si de la ecuación 1, despejamos C:

$$C = F \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2)$$

El factor  $\frac{1}{(1+i)^n}$  recibe el nombre de factor de valor presente pago simple, y es el factor por el cual hay que multiplicar un pago futuro para obtener su valor actual. Obsérvese que, para tasas de interés mayores de cero, el valor presente siempre será menor que el valor futuro.

En algunos casos, es frecuente considerar lo que se conoce como serie uniforme de pagos; esto es, pagos de la misma magnitud que se realizan regularmente, ya sea al principio, o al final de cada uno de los períodos considerados:





Como veremos adelante, los gastos debido a mantenimiento y operación de la maquinaria, que en realidad se efectúan de manera irregular, pueden considerarse para efectos del estudio que nos ocupa, como realizados al final de cada periodo. El valor actual de una serie uniforme de pagos de final de periodo es, de acuerdo con la ecuación 2:

$$VA = X \left[ \frac{1}{(1+i)} \right] + X \left[ \frac{1}{(1+i)^2} \right] + \dots + X \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Si llamamos  $f = \frac{1}{1+i}$

$$VA = X f + X f^2 + X f^3 + \dots + X f^n \quad (3)$$

Dividiendo la ecuación (3) entre  $f$

$$\frac{VA}{f} = X + X f + X f^2 + \dots + X f^{n-1} \quad (4)$$

Restando (4) de (3)

$$\frac{VA}{f} - VA = X - X f^n$$

$$VA \left( \frac{1}{f} - 1 \right) = X (1 - f^n)$$

$$VA \left( \frac{1-f}{f} \right) = X (1 - f^n)$$

$$VA = X \frac{f(1-f^n)}{1-f} \quad (5)$$

El factor  $\frac{f(1-f^n)}{1-f}$ , se llama factor de valor actual serie uniforme, y es el factor por el cual habrá de multiplicarse la serie uniforme de pagos para obtener su valor presente.

Aplicando las consideraciones anteriores al problema de --  
reemplazo de equipo, tenemos que si un equipo nuevo nos --  
cuesta C y sus costos totales de utilización al cabo de --  
1,2,3, ..., n años es U, el costo total acumulado es:

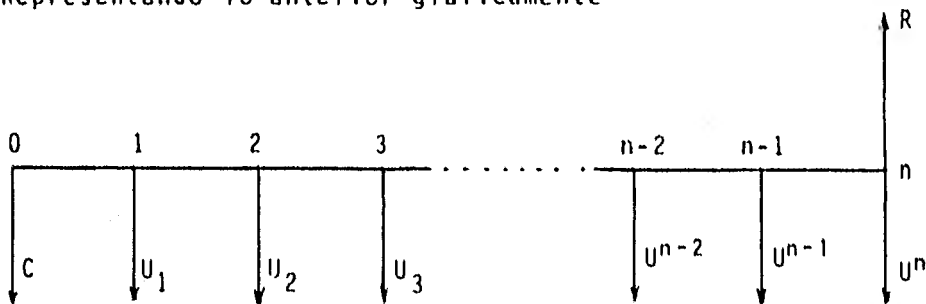
$$C + U_1 \quad \text{para el primer año}$$

$$C + U_1 + U_2 \quad \text{para el segundo año}$$

$$C + U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad \text{para el año n}$$

Si el equipo se vende al cabo de "n" años, obtendremos por él un valor de rescate al que designaremos con R.

Representando lo anterior gráficamente



El valor actualizado de estas cantidades es:

$$VA = C + U_1 r^1 + U_2 r^2 + \dots + U_n r^n - R r^n, \text{ o sea}$$

$$VA = C + \sum_{k=1}^n U_k r^k - R r^n$$

Por otra parte, una vez actualizado el costo total acumulado, el costo medio anual no se puede calcular como en el primer ejemplo, es decir, no se puede dividir el costo total acumulado entre el número de años, pues esto equivaldría a considerar las mismas condiciones para todos los años, situación contraria al principio de actualización que estamos involucrando.

Dado que los costos erogados no se efectúan regularmente durante todos los años, sino de una manera irregular, el costo anual medio está dado en realidad por una cantidad X que habría que erogar durante n años para financiar este cargo

VA, todo ello al final de cada período.

Esta cantidad X, será igual, según la fórmula (5) desarrollada anteriormente a:

$$X = VA \frac{1 - f}{f (1 - f^n)}$$

$$\text{Siendo } VA = C + \sum_{k=1}^n U_k f^k - R f^n$$

El valor mínimo de éste cargo anual X es el que nos dará la selección conveniente del año económico de reemplazo.

Una manera práctica de aplicar lo anterior, es tabulando los valores involucrados, lo cual se presenta en la tabla 11, en la cual se ha considerado un interés del 10%. Al analizar los resultados, vemos que aun cuando los datos del ejemplo son semejantes al primer caso presentado en estas notas, el año económico de reemplazo se corre del quinto al sexto. Esto se explica si nos referimos a la figura 1, ya que al aplicar el valor actual del dinero las curvas de depreciación y mantenimiento cambian desplazando el punto de costo mínimo hacia la derecha.

Extrapolando este razonamiento; si aumentamos la tasa de interés, encontraremos que el año económico de reemplazo o sea la vida económica del equipo, se va alargando. Esto se explica entre otras cosas, la situación que se está dando

actualmente: "Conservar casi indefinidamente la maquinaria de construcción".

METODO DE VALOR ACTUALIZADO

ARO	C	R	U	$F^k$	$R_F^N$	$F^k U$	$U F^k$	VP	$1-F$	$1-F^N$	$F(1-F^N)$	X
1	800	400	130	0.9091	364	118	118	554	0.0909	0.0909	0.0826	610
2	800	200	160	0.8264	165	132	250	885	0.0909	0.1736	0.1578	510
3	800	100	187	0.7513	75	140	390	1115	0.0909	0.2487	0.2261	448
4	800	50	240	0.6830	34	164	554	1320	0.0909	0.3170	0.2882	416
5	800	25	307	0.6209	15	191	745	1530	0.0909	0.3791	0.3446	403
6	800	25	373	0.5645	14	211	956	1742	0.0909	0.4355	0.3959	<u>400</u>
7	800	25	450	0.5132	13	231	1187	1974	0.0909	0.4868	0.4425	406
8	800	25	530	0.4665	12	247	1434	2222	0.0909	0.5335	0.4850	416

TABLA 11



**IV**

**RECONSTRUCCION  
DE EQUIPO  
COMO ALTERNATIVA  
DE REEMPLAZO**

#### IV. RECONSTRUCCION DE EQUIPO COMO ALTERNATIVA DE REEMPLAZO

El concepto de reemplazo o reposición del equipo es tan amplio, que no solo permite la selección de un equipo sustituido con las mismas características para la realización de un trabajo, sino que en algunos casos, como en operaciones de movimiento de tierras, pueden elegirse equipos que operen análogamente.

Para nuestro caso, hablaremos básicamente del reemplazo de un equipo al término de su vida útil, por uno nuevo de similares características.

En los capítulos anteriores, hemos analizado los principales factores que influyen en la determinación del período óptimo de reemplazo de equipo de construcción, de esta manera, si entendemos como definición de vida económica el tiempo durante el cual la maquinaria produce trabajo con un alto rendimiento a un bajo costo, los conceptos de reemplazo y vida económica, serán paralelos, ya que al obtener el período óptimo de reemplazo, estaremos obteniendo el período en el cual es consecuente reemplazar una máquina que ha llegado al término del tiempo durante el

cual ofrezca los beneficios esperados. Llegado este momento, se adquiere maquinaria o equipo nuevos o se "reconstruye", - iniciando así un nuevo ciclo de vida.

IV.1 RECONSTRUCCIÓN DE EQUIPO. La reconstrucción de equipo, se aplica a partes, conjuntos, sub-conjuntos y a unidades completas. El logro de una buena reconstrucción, requiere de un alto grado de especialización, así como la aplicación de - diversas tecnologías de aplicación general en - reconstrucción de equipo. De esta manera, la - reconstrucción puede dividirse en tres niveles, el último de los cuales, lleva implícitos a los dos primeros.

1) RECONSTRUCCION DE PARTES. Como paso inicial - a la reconstrucción, en esencia, se puede decir que significa devolver a dichas partes mediante procesos específicos, sus características originales de diseño, o bien por experiencia superarlas.

2) RECONSTRUCCION DE MECANISMOS. Una vez reconstruidas las partes que forman los mecanismos, podemos a través del desensamble, devolver a éstos sus especificaciones originales de dise-

ño, e inclusive poder mejorarlas, sustituyendo sus partes, ya sea reconstruidas o nuevas.

- 3) RECONSTRUCCION DE UNIDADES. Finalmente, realizada la reconstrucción de partes y mecanismos, podemos ya, mediante el desensamble de toda una máquina, devolver a dichas unidades sus especificaciones originales de diseño u operación.

#### IV,2 VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE RECONSTRUIR EQUIPO,

- 1) VENTAJAS TECNICAS. Dentro de las ventajas técnicas que podemos obtener mediante la reconstrucción de equipo, podemos mencionar las siguientes.
- A) Recuperación de las características y especificaciones originales de diseño, con las que el fabricante colocó su producto en el mercado.
  - B) Recuperación de equipo obsoleto, al poder modificar sus especificaciones originales de diseño, incorporando innovaciones tecnológicas durante el proceso de reconstrucción.
  - C) Recuperación de partes y mecanismos, devol-

viendo a éstos, sus especificaciones originales de diseño, o bien mejorándolos.

D) Obtención de una Tecnología propia, ya que la demanda de un conocimiento mayor sobre las particularidades de diseño y características de los materiales de que están hechos los equipos, el comportamiento bajo los procesos de recuperación, los tratamientos térmicos y la sustitución de sus características originales por otras, es un camino natural hacia la determinación tecnológica.

2)

VENTAJAS ECONOMICAS. Siendo uno de los objetivos de la reconstrucción de equipo, el obtener ventajas económicas, podemos apuntar como ejemplos las siguientes.

A) Recuperación de la vida económica de las máquinas a un costo más bajo, estadísticamente un 40% del valor de adquisición de una máquina nueva.

B) Incremento de la vida útil del equipo, y como consecuencia el aumento de los períodos de reemplazo.

- C) Disminución de la salida de divisas del país por reducción en importaciones:
- De equipo, al tener la alternativa de reconstruir en lugar de reemplazarlo.
  - De partes, mecanismos y componentes de las máquinas, por la recuperación y fabricación de los mismos, durante el proceso de reconstrucción.
  - De equipo, al tener posibilidad de comprar equipo usado a bajo costo, reconstruirlo y después venderlo.

#### IV.3 OPERACIONES CARACTERÍSTICAS EN LA RECONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO.

- Lavado y desengrasado de la unidad.
- Desmontaje de mecanismos.
- Movimiento de mecanismos a sus áreas de proceso.
- Lavado y desengrasado de mecanismos.
- Desarmado total de mecanismos.
- Lavado y desengrasado de las partes de los mecanismos.
- Revisión, medición y selección de piezas de los mecanismos.
- Solicitud de recursos:

- . Piezas de reemplazo
- . Ordenes de trabajo para los diferentes departamentos que intervienen en la -- recuperación o reconstrucción de partes.
- Lavado y preparación de piezas para ensamble de mecanismos.
- Armado de mecanismos
- Montaje de mecanismos en la unidad con sus ajustes respectivos.
- Prueba de la unidad
- Lavado y pintura de la unidad
- Pruebas de control de calidad.

#### IV.4 ESTUDIO ECONÓMICO DE "SUSTITUCIÓN" CONTRA "RECONSTRUCCIÓN".

Por último, y con objeto de hacer más ilustrativa la alternativa de reconstruir el equipo, se presenta el siguiente ejemplo de "sustitución" contra "reconstrucción".

Inicialmente tenemos las siguientes consideraciones:

1. El análisis se enfoca básicamente a la alternativa de sustituir o reconstruir las unidades.
2. Los costos de reconstrucción se toman como por-

centaje del valor de sustitución de las unidades.

CASO A. 35% DEL VALOR DE SUSTITUCIÓN  
(PROMEDIO NORMAL)

CASO B. 40% DEL VALOR DE SUSTITUCIÓN

CASO C. 45% DEL VALOR DE SUSTITUCIÓN

3. Se considera que la vida útil de una máquina - -  
reconstruída en promedio, es de 80% al 90% de la  
vida útil de una máquina nueva.
4. Los valores de rescate del equipo usado por pos\_i  
ble venta son del 10% al 15% del valor de susti-  
tución.
5. Generalmente a mayor costo de reconstrucción, --  
corresponderá un menor valor de rescate por pos\_i  
ble venta del equipo antes de reconstruírse.
6. Se consideran 10 unidades.

### EQUIPO:

MOTOCONFORMADORA

MARCA, HUBER,

MODELO, CH 17



	<u>UNITARIO</u>	<u>TOTAL</u>
PRECIO DE LISTA (PL)	\$ 2 691,000.00	\$ 26 910,000.00
VALOR DE RESCATE (VR)		
Al 10% de PL	269,100.00	\$ 2 691,000.00
Al 15% de PL	403,650.00	4 036,500.00
RECONSTRUCCION (RC)		
Al 35% de PL	941,850.00	9 418,500.00
Al 40% de PL	1 076,400.00	10 764,000.00
Al 45% de PL	1 210,950.00	12 109,500.00

### CASO "A" 35% DEL VALOR DE SUSTITUCION (PROMEDIO NORMAL)

- Valor de rescate por posible venta de la unidad al 15% del precio de lista.

$$VR = 15\% PL$$

- Costo de reconstrucción al 35% del precio de lista

$$RC = 35\% PL$$

### COSTO DE SUSTITUCION DE 10 UNIDADES

$$VS = PLT - VRT = \$ 26,910,000.00 - 4 036,500.00 = 22 873,500.00$$

### COSTO DE RECONSTRUCCION DE 10 UNIDADES

$$RC = 35\% PL$$

$$= 9 418,500.00$$

## DIFERENCIA COSTO DE SUSTITUCION

COSTO DE RECONSTRUCCION = 13 455,000.00

Dado que se ha considerado que la máquina reconstruída únicamente alcanza el 80% de la vida útil de máquina nueva, la diferencia en favor de la reconstrucción será:

$$\$ 13 455,000.00 \times 0.80 = \$ 10 764,000.00$$

La cual refleja un ahorro del 47%, además de realizar por la misma cantidad de costo de sustituir 10 unidades, reconstruir 10 unidades y además adquirir 4 unidades nuevas.

Para los casos "A" y "C" el procedimiento es similar, ya que al incrementarse el costo de reconstrucción al 40% o al 45% del precio de lista, disminuirá el valor de rescate.

**V**

**CONCLUSIONES**

## V. CONCLUSIONES

Dentro del desarrollo acelerado que vive nuestro país, es --  
Inobjetable el progreso de la Industria de la Construcción -  
Mexicana, razón fundamental que hace necesaria la aplicación  
de nuevas técnicas y reformas que renueven todo aquello que  
de alguna manera, tienda a menoscabar la estabilidad econó--  
mica que conlleva este desenvolvimiento.

El análisis de los problemas de reemplazo de equipo, puede -  
llevarse a cabo a partir de múltiples enfoques. En el estu-  
dio que se presenta, se establece como política económica --  
la determinación del período óptimo de reemplazo, partiendo  
de los costos de depreciación más los costos de mantenimien-  
to; mediante el método conocido como "Método de Comparación  
Simple".

Establecida ésta, se establece el "Método de los Costos Pro-  
medios Acumulados", en el cual se hacen intervenir además de  
los costos de depreciación y mantenimiento, los costos de --  
Inversión, de máquina parada y de obsolescencia.

En los métodos anteriormente señalados se omite el costo del dinero, lo cual no es correcto en una situación como la que se presenta actualmente; por tal razón se plantea el "Método del Valor Actualizado" en el cual los valores obtenidos mediante el método de los costos promedios acumulados, se refieren a valor presente aplicando las fórmulas de interés compuesto, obteniéndose que el período óptimo de reemplazo se prolongue del tercero al sexto año.

Finalmente y debido al auge que esta cobrando en nuestro país, se presenta la reconstrucción de equipo como alternativa de reemplazo, en donde se describe la justificación de la reconstrucción de equipos a partir de la definición de vida económica y las operaciones fundamentales de reconstrucción, así como sus Ventajas Técnicas y Económicas; Apoyándose en lo anterior se ilustra dicha alternativa con un estudio económico de "sustitución" contra "reconstrucción",

El objetivo primordial de este trabajo es proporcionar aspectos fundamentales en el reemplazo de equipo y que sólo representan una parte de lo que aún se puede hacer. En estudios futuros deberá partirse de datos cualitativos y cuantitativamente confiables; pues desafortunadamente en nuestro país son pocas las empresas constructoras que llevan una estadística amplia y confiable de su maquinaria agravando el problema de reemplazo.

Por todo lo anterior, la inquietud llevada hasta este momento no deberá permanecer estática; sino servir de fundamento para la realización de estudios más profundos y sobre todo - congruentes con las realidades de nuestra industria constructiva.