



Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción

Víctor Yepes Piqueras



**EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Víctor Yepes Piqueras

Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita:

Yepes Piqueras, V. (2015). *Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción*.
Valencia: edUPV

© Víctor Yepes Piqueras

© 2015, edUPV

Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0402_04_01_09

ISBN: 978-84-9048-301-5

Impreso bajo demanda

edUPV se compromete con la ecoimpresión y utiliza papeles de proveedores que cumplen con los estándares de sostenibilidad medioambiental

Imprime: Byprint Percom, S. L.

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

Impreso en España

Índice

1 Mecanización de las obras	1
1.1 Clasificación de las máquinas empleadas en construcción	2
1.2 Adquisición y renovación de la maquinaria	4
1.2.1 Alquiler frente a la compra de maquinaria	5
1.2.2 El arrendamiento financiero o “leasing”	7
1.2.3 La venta a plazos	8
1.2.4 Contrato de arrendamiento ordinario o renting	8
1.3 La depreciación de los equipos y su cotización	8
1.4 La vida económica de la maquinaria	10
1.5 Selección de máquinas y equipos	13
1.5.1 Elementos condicionantes de la elección	13
1.5.2 Métodos de selección por rentabilidad económica	14
2 Costes de explotación de la maquinaria	17
2.1 Estructura del coste	17
2.1.1 Costes horarios fijos y variables	19
2.1.2 Coste intrínseco y complementario de una máquina	20

2.2 Costes de propiedad	21
2.2.1 Amortización.....	21
2.2.2 Cargas indirectas	29
2.3 Costes de operación	30
2.3.1 Lubricantes y combustibles.....	30
2.3.2 Averías y reparaciones.....	33
2.3.3 Costes de neumáticos.....	33
2.3.4 Costes de operador.....	34
3Disponibilidad, fiabilidad y mantenimiento de los equipos	37
3.1 Disponibilidad de los equipos	37
3.1.1 Distribución del tiempo de permanencia en obra.....	37
3.1.2 Disponibilidad de una máquina	39
3.1.3 Disponibilidad de un conjunto de máquinas trabajando en cadena	40
3.1.4 Disponibilidad de un conjunto de máquinas iguales trabajando en paralelo.....	41
3.1.5 Caso general: disponibilidad de varias máquinas principales trabajando en cadena con máquinas auxiliares.....	41
3.2 Fiabilidad de los equipos.....	42
3.2.1 Fiabilidad y avería.....	42
3.2.2 Curva de fiabilidad de una máquina	43
3.2.3 Fiabilidad de los sistemas.....	46
3.2.4 Tipos de ensayos de fiabilidad para la distribución exponencial.....	47
3.3 Mantenimiento y reparación de los equipos	49
3.3.1 Planificación y programación del mantenimiento	50
3.3.2 Reparaciones.....	52
3.3.3 Previsión de repuestos	53
3.3.4 Mantenimiento del motor.....	54

3.3.5 Engrase y limpieza	55
3.3.6 Conservación de neumáticos y orugas	55
3.4 Parques de maquinaria y gestión de inventarios.....	55
3.4.1 Componentes del coste de un sistema de inventarios.....	56
3.4.2 Modelos de demanda y gestión de existencias.....	56
3.4.3 La organización de la sección de maquinaria.....	59
4 Estudio del trabajo y producción de los equipos	63
4.1 Introducción a la productividad y el rendimiento	63
4.2 Estudio del trabajo.....	65
4.2.1 Estudio de métodos	66
4.2.2 Medición del trabajo	70
4.3 Producción de los equipos	80
4.3.1 Rendimiento y factores de producción	80
4.3.2 La producción tipo.....	81
4.3.3 Factores que determinan la producción de un equipo	82
4.3.4 Producción de un equipo de máquinas trabajando en cadena	86
4.3.5 Producción de un equipo de máquinas iguales trabajando en paralelo	87
Cuestiones de autoevaluación.....	89
Planteamiento de las cuestiones.....	89
Respuestas seleccionadas	97
Problemas	105
Problemas resueltos	105
Problemas propuestos	145
Tesaurus	147

Anejos	149
A.1 Tabla de distribución exponencial. Función de fiabilidad.....	149
A.2 Distribución de Poisson: probabilidad de “x” ocurrencias o menos.....	150
A.3 Factor de aprovechamiento en función de la disponibilidad intrínseca (columnas) y el índice de paralizaciones (filas).....	151
A.4 Factor de utilización en función de la disponibilidad intrínseca (columnas) y el índice de paralizaciones (filas).....	152
A.5 Factor de disponibilidad en función de la disponibilidad intrínseca (columnas) y el índice de paralizaciones (filas).....	153
Bibliografía	155

Capítulo 1

Mecanización de las obras

La mecanización del trabajo en cualquier obra civil o de edificación es totalmente necesaria desde la perspectiva técnica, económica, humana e incluso jurídica. Las máquinas, que nacieron con el propósito de liberar al hombre de las tareas más penosas, se han convertido en herramientas para producir más, más barato y con mejor calidad. Han permitido abreviar la realización de labores que en otros tiempos parecían imposibles y, por consiguiente, han conseguido acelerar la acción del hombre sobre su entorno más inmediato. La adjudicación de un contrato de obras suele requerir de la empresa constructora la disposición de la maquinaria adecuada que garantice los plazos, las calidades y la seguridad. Además, determinadas unidades de obra no pueden ejecutarse sin el uso de la maquinaria, tales como las inyecciones, el pilotaje, los dragados, cimentaciones por aire comprimido, etc. En otros casos, la fabricación manual de hormigones, compactaciones de tierras, etc., no podría satisfacer las elevadas exigencias de los pliegos de condiciones técnicas vigentes.

La maquinaria ha cambiado rápidamente con las innovaciones tecnológicas. Se ha derivado hacia la especialización, evolucionando unas hacia el gigantismo para obtener grandes producciones, mientras otras se han convertido en diminutas y versátiles. En otros casos se ha buscado la polivalencia del trabajo en equipos pequeños y medianos. Los medios informáticos han auxiliado y mejorado los sistemas de los equipos. La maquinaria va siendo cada vez más fiable, segura y cómoda para el operador, facilitándole las labores de conservación. En general se observa una preocupación creciente por la seguridad, el medio ambiente y la calidad.



Figura 1. Maquinaria de movimiento de tierras: dúmper articulado. Imagen: V. Yepes

Con todo, las máquinas suponen fuertes inversiones para las empresas constructoras que, si bien son menores en las obras de edificación, mayores en las obras de carreteras e hidráulicas, son importantísimas en las obras portuarias. El **índice de inversión** en maquinaria, calculado como la relación entre el valor anual de adquisición de la misma y la obra total anual, oscila entre el 3 y el 13%. Se estima entre el 13% y el 19% el **índice de mecanización** -valor del parque de maquinaria respecto a la producción anual- de las firmas constructoras.

1.1. Clasificación de las máquinas empleadas en construcción

Aunque existen múltiples criterios para clasificar las máquinas, en las Figuras 2 y 3 se presenta una ordenación de los distintos equipos empleados tanto en edificación como en obra civil.

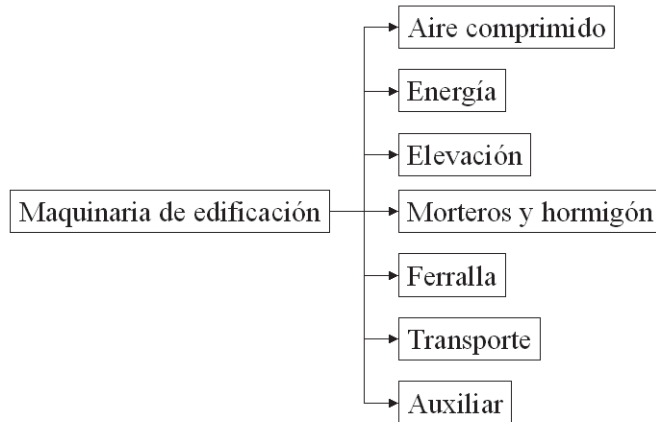


Figura 2. Clasificación de la maquinaria de edificación

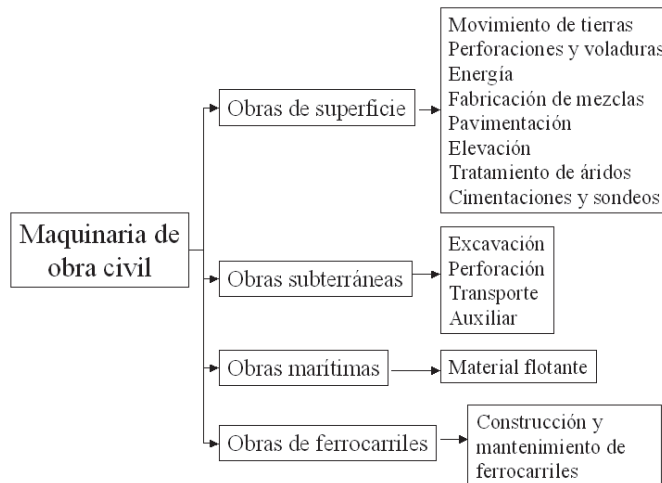


Figura 3. Clasificación de la maquinaria de obra civil

Otra posible agrupación de la maquinaria es la que utiliza la Hacienda Pública para la clasificación de contratistas:

- Grupo 1.- Material de bombeo, aire comprimido, sondeos y cimentaciones.
- Grupo 2.- Material de producción y transformación de energía.
- Grupo 3.- Maquinaria de movimiento de tierras.
- Grupo 4.- Maquinaria de transporte.
- Grupo 5.- Maquinaria de elevación.
- Grupo 6.- Maquinaria de construcción de firmes.

- Grupo 7.- Maquinaria de machaqueo y clasificación de áridos.
- Grupo 8.- Maquinaria de hormigonado y edificación.
- Grupo 9.- Maquinaria para construcción de ferrocarriles.
- Grupo 10.- Material flotante.

1.2. Adquisición y renovación de la maquinaria

La adquisición de maquinaria puede motivarse, bien por la implantación de un proceso nuevo, por la mejora de otro ya existente, por el incremento de la capacidad de producción, o simplemente por una sustitución periódica de otra máquina similar que llegó al término de su vida económica. El problema de la renovación de los equipos es independiente de la dimensión de las organizaciones. Las empresas pequeñas deben afrontar el reemplazamiento de los equipos con el mismo rigor que las grandes, so pena de soportar serios problemas de descapitalización y de incrementos en los costes de producción.

El conocimiento de las causas que provocan la pérdida de valor de las máquinas proporciona las pautas para su renovación, que dependerán, en gran medida, de las disponibilidades y circunstancias de la empresa. El envejecimiento de los equipos, una producción baja o unos costes elevados y el mercado de maquinaria nueva y usada son algunos de los criterios que deberían guiar a la empresa en la toma de decisiones cara a la adquisición de una máquina. Además, deben considerarse otros factores como el estado general de la economía, el futuro de la empresa y sus necesidades inmediatas, los objetivos a largo plazo y la selección de los medios adecuados para sus logros. Sin embargo, la realidad es que la necesidad concreta que surge en una obra es la que plantea la adquisición de una nueva máquina.

En las empresas no suele ser habitual la compra al contado de la maquinaria, utilizando este procedimiento cuando el cliente quiere la propiedad y presenta un excedente de tesorería. Las alternativas a la compra de un equipo nuevo son la gran reparación, el alquiler, el arrendamiento financiero y la compra de máquinas usadas. Siempre que la empresa pueda abordar la adquisición de un nuevo equipo, es la rentabilidad económica durante la vida útil la que decide la opción más adecuada en cada caso. Como variantes a la adquisición de equipos para grandes obras, en ocasiones se compran los equipos para una obra y se venden a terceros cuando se termina, o bien se adquieren con el compromiso de recompra por parte del vendedor. Con ello se evita que estos equipos graven al parque de maquinaria por su falta de empleo. Como se comprobará más adelante, una máquina parada supone pérdidas importantes para la empresa.

La maquinaria propia representa para la empresa un mayor potencial y prestigio. Sin embargo, supone un mayor capital inmovilizado, el riesgo de paralización si no existe suficiente obra, la necesidad de contar con un parque o servicio de maquinaria

y el riesgo de personal excedente cuando se paran las máquinas. La compra de maquinaria nueva puede realizarse al contado, si existe excedente de tesorería, o bien mediante financiación, que es lo habitual, con las ventajas de la deducibilidad fiscal parcial de los pagos y la conservación del capital circulante (no inmoviliza recursos). Una alternativa puede ser el alquiler o el arrendamiento financiero. Con todo, es la política de inversiones de la empresa la que en última instancia toma las decisiones, pues hay que tener en cuenta las oportunidades de contratación y el pleno empleo de los equipos, así como el plan de financiación de las inversiones.



Figura 4. Planta de aglomerado asfáltico en caliente. Imagen: V. Yepes

1.2.1. Alquiler frente a la compra de maquinaria

Una opción interesante frente a la compra de maquinaria consiste en alquilar aquellas máquinas más comunes y disponibles en el mercado. El alquiler permite laminar las puntas de trabajo en las obras y evita la posesión de máquinas paradas en momentos de recesión. Por otro lado, la competencia existente entre las empresas dedicadas al alquiler permite encontrar buenos precios.



Figura 5. Maquinaria auxiliar, habitual en alquiler: autovolquete. Imagen: V. Yepes

También existen otras motivaciones que aconsejan el alquiler frente a la compra: la carencia de suficientes recursos financieros en la empresa, una cartera escasa o heterogénea de obras, la dispersa geográfica de las obras, una baja utilización de las máquinas, la carencia de mano de obra cualificada o cuando la oferta de equipos en alquiler es alta. De forma similar al alquiler, existen pequeños subcontratistas que cuentan con máquinas y subcontratan una parte de la obra (voladura, movimiento y compactación de tierras, extensión de firme, etc.).

El alquiler puede realizarse con conductor (maquinaria de movimiento de tierras, compactación, etc.) o bien sin conductor (generadores eléctricos, compresores, etc.). El periodo de alquiler puede ser por horas o por varios meses. También se puede facturar por horas de funcionamiento o por horas de permanencia en obra.

En la Figura 6 se representa la influencia del coste de la maquinaria con su utilización. El alquiler resulta interesante siempre que los costes lo aconsejen, lo cual está relacionado con un bajo grado de utilización de la maquinaria. En empresas pequeñas o medias se puede considerar el alquiler de una máquina cuando no sobrepase las 1,000 horas de trabajo anuales.

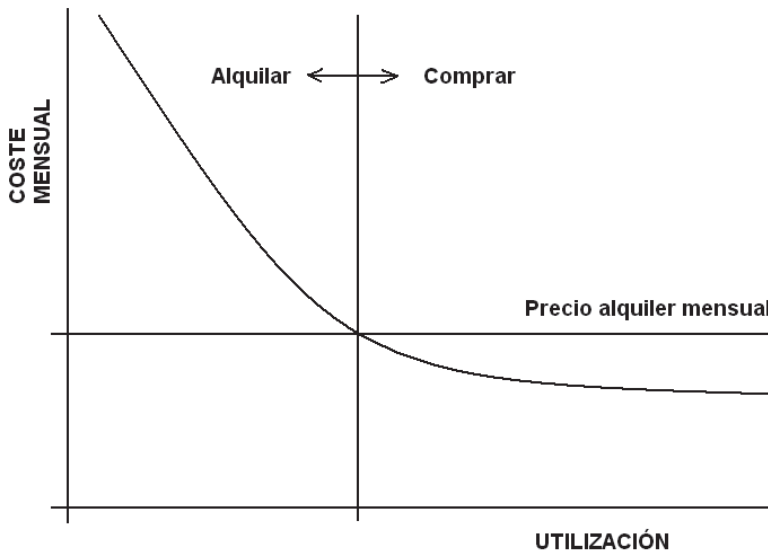


Figura 6. Conveniencia del alquiler frente a la compra

1.2.2. El arrendamiento financiero o “leasing”

El arrendamiento financiero o *leasing* es una operación mercantil financiera consistente en la adquisición por la compañía de *leasing* del equipo elegido por el cliente, y la simultánea cesión de uso de este bien durante un tiempo determinado por un precio distribuido en cuotas periódicas. La duración de la operación coincide generalmente con la vida económica del elemento patrimonial o con su período de amortización fiscal, sin que en ese plazo se pueda rescindir el contrato por ninguna de las partes. Al final del período, el cliente tiene una opción de compra por el precio convenido. También puede devolver a la empresa arrendadora el equipo ya viejo, o bien prorrogar el contrato, aunque entonces las cuotas se reducen considerablemente, pues el equipo está fiscalmente amortizado. Este plazo suele ser en bienes móviles entre dos y cinco años. Cuando el proveedor del equipo coincide con la sociedad que realiza la operación de *leasing*, se denomina *lease-back*. La operación consiste en que el propietario del equipo, lo vende a una sociedad de *leasing* para suscribir a continuación un contrato de arrendamiento financiero sobre el mismo.

El *leasing* puede ser neto o de mantenimiento. Si es **neto**, los gastos de mantenimiento y reparación, los seguros y los impuestos serán por cuenta del usuario del equipo. En cambio, si es de **mantenimiento**, dichos gastos corren por cuenta de la empresa arrendadora.

Existen dos tipos de *leasing*. En el **leasing financiero** el arrendador es una institución financiera y en el **operativo** suele ser un fabricante, un distribuidor o un importador de equipos. La diferencia radica en que el primero no es revocable y el segundo depende de la voluntad del arrendatario. El *leasing* operativo generalmente se basa en equipos estandarizados para evitar el riesgo de obsolescencia y pérdidas en caso de renovación por parte del arrendatario.

Existen ciertas ventajas de este tipo de operaciones frente a la compra:

- Ventajas económicas: la amortización acelerada que permite el leasing fomenta la renovación de los equipos, paliando su riesgo de obsolescencia.
- Ventajas financieras: No se inmovilizan recursos para comprar maquinaria ni sobrecarga de las líneas de crédito. Además, el préstamo tradicional no financia el activo al 100%.
- Ventajas fiscales: Las cuotas pagadas a la sociedad de leasing son gastos deducibles, lo que permite una amortización acelerada.

Entre los inconvenientes se puede citar el elevado coste, pues se incluye, entre otros conceptos, la amortización del equipo, el interés del capital invertido, los gastos de administración de la empresa arrendadora y una prima que cubra el riesgo de que a la empresa *leasing* le falle el cliente. Tampoco se dispone de un *leasing* para cualquier tipo de máquina, sino solo para unas determinadas.

1.2.3. La venta a plazos

Se trata de un préstamo que sirve a la empresa para comprar el equipo. En este caso, la propiedad es de la empresa, si bien existe cierta reserva a nombre de la entidad que financia el crédito hasta que termina la operación. El plazo suele ser entre 12 y 60 meses. Se genera un activo en la empresa, que es el inmovilizado material, y un pasivo, que registra el préstamo sin los intereses. Se puede deducir como gasto la totalidad de la carga financiera.

1.2.4. Contrato de arrendamiento ordinario o *renting*

El *renting* es un contrato de arrendamiento ordinario sin opción de compra. Se trata de un alquiler a largo plazo con pago de rentas fijas, con plazos entre 12 y 60 meses. No hay reflejo en el balance, lo cual significa una deducibilidad del 100% de los pagos como gasto del ejercicio.

1.3. La depreciación de los equipos y su cotización

La maquinaria, como bien de equipo que constituye el patrimonio de una empresa, pierde valor al colaborar en el proceso productivo y por el mero transcurso del tiempo. Esta merma de los activos de la empresa se denomina **depreciación**, y las causas pueden ser las siguientes:

1.- Depreciación material: la maquinaria pierde valor a medida que presta los servicios que le son propios, es la denominada depreciación funcional. El mero transcurso del tiempo también devalúa los bienes de equipo, a veces incluso más que si estuvieran trabajando con normalidad, es la depreciación física. Una adecuada política de mantenimiento reducirá o retrasará la desvalorización de las máquinas, pero nunca la eliminará.

2.- Depreciación por obsolescencia: es la merma que sufre una máquina cuando, incluso siendo nueva, queda anticuada por no ser competitiva frente a otras. Una de las principales causas es la competencia entre fabricantes. Esta pérdida puede deberse a:

- **Obsolescencia tecnológica:** La innovación y los avances técnicos motivan la aparición continua de nuevas máquinas que cumplen la misma función de las existentes, pero con mayor eficiencia, produciendo con costes más bajos, ofreciendo mayor seguridad, siendo de más fácil manejo, etc. Si el ahorro de costes es suficiente, a la empresa le convendrá renovar o cambiar el equipo anticuado antes de terminar su vida técnica.
- **Obsolescencia por variaciones en la demanda:** Una máquina excelente para un determinado nivel de producción, puede no ser rentable en otro nivel.
- **Obsolescencia por alteración en la retribución de algún factor productivo:** Ante subidas del precio de la mano de obra o de determinado tipo de combustible, puede ser rentable aumentar la automatización o cambiar el tipo de máquina.

3.- Depreciación por agotamiento, caducidad o siniestro: Determinadas empresas, como las mineras, pierden elementos de su activo al "agotarse" el recurso natural que están explotando. En otras puede extinguirse la autorización administrativa para la gestión de una infraestructura (autopista, túnel, etc.), con lo que ciertos bienes de producción se devaluarán. Otras máquinas construidas para un trabajo específico deben amortizarse al acabarlo. Asimismo, un siniestro deprecia de forma brusca el valor del equipo.

Si se conociera exactamente la depreciación de un equipo podríamos estimar en cada momento su **cotización** en el mercado o **valor de reventa**. Sin embargo, este valor fluctúa según las condiciones locales y circunstancias específicas de cada caso, de modo que el precio depende de lo que un comprador esté dispuesto a pagar. Un ciclo de recesión económica, por ejemplo, propicia el aumento del mercado de segunda mano de la maquinaria y equipos de obra.

La cotización del equipo depende del número de años de servicio, de las horas trabajadas hasta el momento, de las que le restan para llegar a su obsolescencia, de la naturaleza de las tareas realizadas y de las condiciones en que se ha usado. La antigüedad es, en numerosas ocasiones, el factor que más influye en la cotización del equipo, por ser el dato más fiable. El abandono de la fabricación de determinados modelos es una circunstancia que hace bajar la cotización de los equipos. Si la máquina pertenece a una gran firma internacional, se garantiza cierta confianza en su valor de reventa.

Bajo un punto de vista estadístico, y puesto que el valor de reventa es decreciente, entre otros, con los años de servicio n , y con las horas trabajadas H , cabe ajustar una curva por mínimos cuadrados a los valores de mercado V_n que relacionan dichos parámetros con el valor inicial del equipo V_0 y su cotización en el año n . Una función que se ajusta razonablemente a dichas cifras es la exponencial, donde K , a y b son constantes que deben determinarse:

$$\frac{V_n}{V_0} = K \cdot a^n \cdot b^H \quad (1)$$

Esta expresión generaliza la deducida al suponer que la velocidad de desvalorización de un equipo por su uso es proporcional, en cada momento dado, a su coste real.

El **valor de residual** o **de desecho**, es aquel que le queda a la máquina una vez se agota su vida útil o programada. Cuando la máquina está obsoleta, el valor de desecho es el de su chatarra. Puede alcanzar el 10-20% del valor de adquisición. No obstante, ello, no se aconseja excluir de la amortización este valor residual, pues es posible que pueda ayudar a suplir el sobrecoste de las novedades incorporadas a la nueva máquina. Si aun así se considera el valor de desecho, se ajustará éste de forma descendente para anular el efecto de la inflación.

1.4. La vida económica de la maquinaria

El cociente entre los gastos acumulados a origen respecto a las horas trabajadas por una máquina es elevado al principio, poco después de su adquisición. Al envejecer la máquina, los costes por reparaciones y sustituciones de piezas son cada vez mayores. Por tanto, existe un punto intermedio donde la relación de los costes acumulados respecto a las horas trabajadas es mínima. Dicho punto define la **vida económica** de un equipo, y es en ese momento cuando debería ser sustituido. La relación entre los costes horarios de una máquina a lo largo del tiempo se ha representado en la Figura 7.

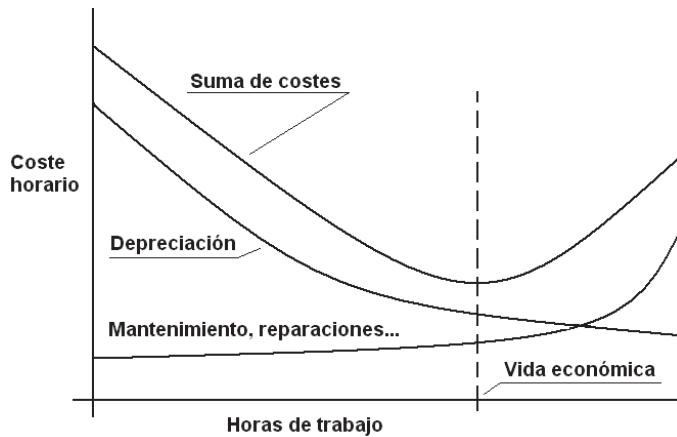


Figura 7. Variación del coste horario del equipo en función de sus horas de trabajo

Los contratistas que no registran los costes horarios pueden usar sus máquinas más allá de su vida económica, con lo que sus costes unitarios de producción serán mayores a los de su competencia. El reconocimiento y el tratamiento sistemático de la renovación de los bienes de equipo proporciona a las empresas amplias ventajas, reduciendo:

- Los costes de conservación.
- Los costes de producción, salvando la competencia.
- Las pérdidas por chatarra o retoques.
- Las demoras y tiempos perdidos.

La vida económica óptima varía con la máquina y su trabajo, y es independiente de su vida técnica o física. Así, un equipo puede superar la vida económica y seguir funcionando correctamente, o bien puede retirarse antes por obsolescencia. Ahora bien, es absurdo pretender que una máquina trabaje indefinidamente. Al cabo de cierto tiempo, los gastos de mantenimiento y de recuperación incrementan considerablemente el coste. Un cuidado concienzudo y las revisiones generales sistemáticas retrasan la fecha de su inutilización, pero invariablemente llega el día en que conviene desembarazarse de la máquina; sobre todo cuando el riesgo de fallo en alguna pieza esencial, por exceso de fatiga, se hace inadmisibles. A los equipos de obras públicas se les exige una fiabilidad elevada y si la empresa no quiere deshacerse de la máquina, se dispondrá ésta en reserva, después de revisarla a fondo.

Los **costos horarios de reparación** siguen una curva ascendente con las horas acumuladas de trabajo. Si se disponen de datos históricos sobre los costes totales de reparaciones R_H , para un número H de horas trabajadas, se pueden ajustar los coeficientes λ , μ y ρ de la siguiente parábola:

$$\frac{R_H}{H} = \lambda \cdot H^2 + \mu \cdot H + \rho \quad (2)$$

A los costes propios de la máquina, deberían sumarse los de otros equipos obligados a parar cuando el primero de ellos se detiene por una avería. Esta circunstancia evidencia cierto recorte de la vida económica de aquellas máquinas de las cuales dependen otras. También sugiere la duplicidad de estos equipos y su trabajo en paralelo.

Al representar la acumulación de los costes a origen en relación con el tiempo, aparece una línea quebrada tal y como queda representada en la Figura 8. La recta que desde el origen de coordenadas es tangente a la curva de los costes acumulados representa la mínima pendiente y por tanto el mínimo coste horario posible. En la Figura 8 el valor alcanza su mínimo para el ángulo BOX. El punto B señala el límite de la vida económica. Considerando que la mano de obra, los consumos y las reparaciones, se pagan a muy diferentes precios en los distintos países, se comprueba que el óptimo económico varía de unos a otros.

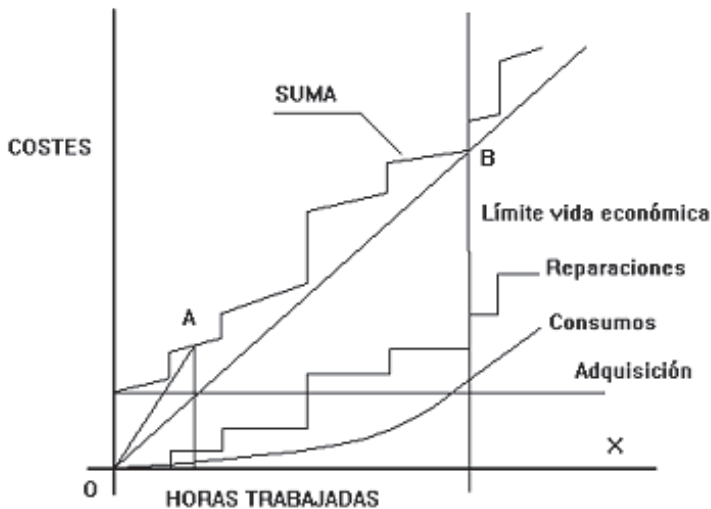


Figura 8. Método gráfico para determinar el coste horario mínimo

Cada máquina tiene su vida económica. 10,000 horas pueden ser adecuadas para un tractor sobre orugas, pero en una bomba de hormigón estacionaria dicha vida se reduce a la mitad. Algunos autores estiman una vida económica de 6,000, 10,000 o 16,000 horas de trabajo, según se trate de material, pesado o extraordinariamente pesado.

1.5. Selección de máquinas y equipos

La adquisición de la maquinaria en una empresa constructora constituye un aspecto de vital importancia en su rentabilidad económica actual y futura. La selección de los equipos, por tanto, deberá basarse en un estudio económico profundo. A continuación, se describen los elementos condicionantes y los criterios de la elección.

1.5.1. Elementos condicionantes de la elección

La situación económica y financiera de la empresa, el tipo de trabajos que realiza, la situación del parque de maquinaria, la política y estrategia empresarial, el escenario económico y las perspectivas de nuevas obras son factores que influyen en la selección de la maquinaria y su posible adquisición. Sin embargo, las condiciones y la tipología de los trabajos, la capacidad de producción necesaria, la flexibilidad al cambio en las condiciones, la fiabilidad y el servicio postventa son las condiciones de contorno del problema de la elección de la máquina más conveniente.

Tabla 1. Factores que influyen en la elección del tipo de máquina

Ubicación de la obra	Zona industrial Zona urbana	Zona periurbana Altitud
Forma y extensión de la obra	Reducida Extensa	Lineal Puntual
Tipología del terreno	Arenoso Arcilloso	Rocoso Anegado
Accesos	Facilidad de transporte Viales Carreteras	Caminos Puentes Túneles
Personal	Disponibilidad	Calificación
Topografía	Plana Pendiente	Irregular Abrupta
Climatología y microclima	Temperaturas extremas Vientos dominantes	Precipitación máxima Nieve
Consumos	Combustibles	Lubricantes
Calidad de ejecución	Trabajos de precisión	Trabajos de volumen
Otros	Energías a emplear Nivel freático Agua potable	Mantenimiento Plazo de ejecución

Para la selección se procurará la unificación de los equipos (mayor simplicidad para el manejo, conservación y reparación, menor inventario de repuestos, simplificación en la formación y en la documentación); se considerará la adecuación de máquinas que han de trabajar en equipo; se analizarán los costes de mantenimiento (consumos de combustibles, materiales de conservación y piezas de desgaste); se estimarán las producciones previsibles. Además, deben valorarse los costes de los transportes de ida y vuelta, el coste de los montajes y de los desmontajes, los gastos de matriculación y los seguros. La elección de la máquina idónea para una obra determinada depende de factores tales como la situación geográfica de la obra y la facilidad de sus accesos, de la climatología, de la tipología del terreno, del tipo de energía disponible, del plazo de ejecución, de la forma y extensión de las obras, etc.

Existen diversas marcas y modelos de máquinas capaces de satisfacer los condicionantes del trabajo requerido. La mejor opción depende del precio de la máquina, del rendimiento previsible y otros factores como la calidad del servicio postventa, el precio de los repuestos y la rapidez en su suministro, etc. El precio de lista de los catálogos de venta está sujeto a variaciones importantes en función de los descuentos, entrega de máquina usada, condiciones de pago e intereses. El rendimiento previsible supone el factor más importante en la elección de la máquina, sin embargo, su estimación es difícil salvo que se tenga experiencia anterior o se realicen demostraciones reales con el nuevo modelo. Por último, la adquisición de una máquina nueva es una opción tan válida como la compra de maquinaria usada, el alquiler u otros sistemas de financiación como el *leasing*.

1.5.2. Métodos de selección por rentabilidad económica

Para elegir la mejor opción de compra posible, se puede realizar un estudio que maximice la rentabilidad económica considerando o no la actualización monetaria de la inversión. Entre los métodos sin actualización económica destacamos los siguientes:

- **Recuperación de la inversión o periodo de retorno:** Se elige aquella máquina que minimiza el tiempo necesario para que los beneficios netos generados igualen al precio de adquisición de la inversión. En este método no importa la rentabilidad de la inversión.
- **Rentabilidad media de la inversión:** Se opta por aquella máquina que produce la tasa de rendimiento medio más alta, es decir, el mayor cociente entre la suma de todos los beneficios netos generados durante la vida de la inversión y el coste de adquisición.

Por otra parte, el valor del dinero depende del tiempo, puesto que los intereses gravan la disponibilidad del dinero prestado. Así, dada una tasa de interés i en tanto por uno, y n periodos de tiempo, una cantidad actual P y una futura S están relacionadas entre según la Expresión 3:

$$S = P \cdot (1 + i)^n \quad (3)$$

De esta forma, las comparaciones intertemporales de las unidades monetarias deben realizarse con los ingresos o gastos actualizados. En estos cálculos, además, debería considerarse las expectativas de inflación. Sin embargo, normalmente la inflación futura conlleva una elevación de los valores monetarios, con lo que los rendimientos y costes serían los mismos. Se pueden considerar los siguientes métodos con actualización monetaria:

- **Valor actual neto:** Se elige aquella máquina que maximiza la diferencia entre el valor actual de los ingresos netos y el coste de la inversión (*VAN*). Siendo e_j los ingresos netos en el año j , n el número de periodos e i la tasa de interés, el valor actual de los ingresos se calcula como:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{(1+i)^j} - V_a \quad (4)$$

- **Tasa interna de rentabilidad:** Se elige la máquina con mayor tasa interna de rentabilidad (*TIR*), definida como el valor de i que anula el *VAN*. Una de las ventajas es que no se necesita conocer i para su cálculo. La inversión será interesante si el *TIR* supera la tasa de interés del mercado.

Aunque el *TIR* no puede considerarse como una alternativa al *VAN*, es interesante calcular su valor como una información complementaria.

Capítulo 2

Costes de explotación de la maquinaria

Los gestores de la maquinaria deben ser capaces de predecir con precisión los costos. Esta tarea no solo ayuda a asegurar los resultados en las empresas constructoras, sino que también garantizan el cumplimiento de los plazos de entrega de las obras a los clientes. Por lo general, la maximización de beneficios o la minimización de costes es el objetivo principal de cualquier modelo económico que sirva para la gestión de los equipos. El resto de esta sección se centra en cómo calcular los costes de explotación, operación o funcionamiento de la maquinaria.

2.1. Estructura del coste

Se entiende por **coste** la valoración de los recursos empleados para la consecución de un objetivo definido. Se pueden agrupar de varias formas: en directos o indirectos si atendemos al objetivo del coste, en fijos o variables si es función del volumen del producto, en unitarios o totales dependiendo de la unidad de producto, y en históricos o futuros en relación a su dimensión temporal. El coste unitario sirve de referencia a las empresas constructoras frente a los precios de ejecución material de las unidades de obra que han servido como base de su oferta. Los costes horarios de las máquinas forman parte del coste de la unidad de obra correspondiente.

Se consideran como **costes directos** la mano de obra que interviene en la ejecución de la unidad de obra, los materiales, los gastos de personal, combustible, energía y otros que sean necesarios para el funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra, así como sus gastos de amortización

y conservación. Es decir, son aquellos costes que pueden atribuirse directamente a una unidad de obra.

Los **costes indirectos** generados dentro de la propia obra atienden a gastos del personal que dirige la misma, gastos de oficinas a pie de obra, locomoción, traslados de personal y sus familias, visitas de inspección, amortización de instalaciones comunes como laboratorios, talleres, almacenes, comedores, caminos de servicio y los costes imprevistos. Estos costes se repercuten proporcionalmente entre las distintas unidades de obra.

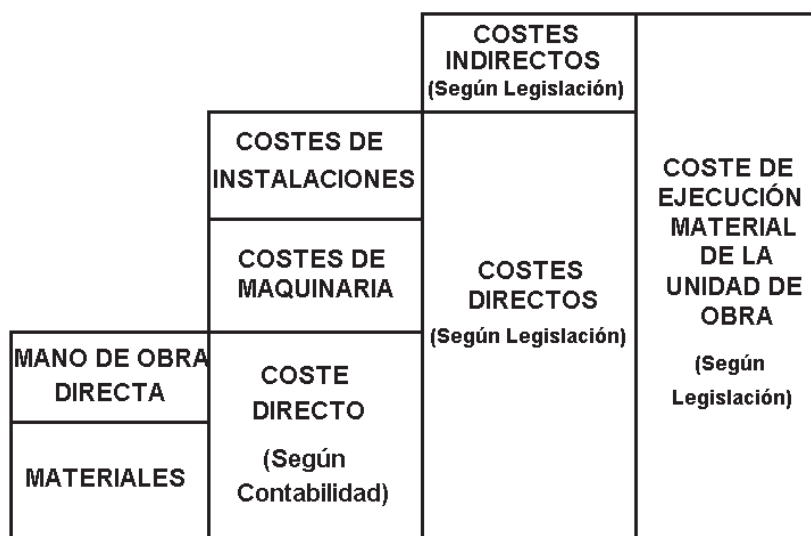


Figura 9. La formación del coste de la unidad de obra

Existen otros costes generados por el propio funcionamiento de la empresa, tales como gastos de financiación, amortizaciones de bienes generales, etc. Son los **gastos generales de empresa**, y se repercuten proporcionalmente a cada obra. Para el cálculo del precio de cada unidad de obra se debería considerar, por último, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

Tabla 2. Ejemplos de costes no directos en una obra y en la empresa constructora

COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN	GASTOS GENERALES E IMPUESTOS DE LA EMPRESA
Mano de obra indirecta: encargados, capataces, guardas, almaceneros, listeros.	Financieros: avales del contrato, aplazamiento del pago, retenciones, pago demorado de revisión de precios, etc.
Medios auxiliares indirectos: mano de obra auxiliar, materiales auxiliares, maquinaria, útiles y herramientas.	Tasas e impuestos de la administración: licencia de obras, impuestos sobre construcción, ocupación de vías públicas, permisos, inspección y vigilancia, etc.
Instalaciones y construcciones a pie de obra: red de agua, tomas de corriente, canales de evacuación de escombros, redes de recogida de agua, almacenes, talleres, oficinas, acometidas de agua y otros.	Otros costes derivados del contrato: gastos de anuncios en prensa, gastos de formalización del contrato, carteles, ensayos, policía y vigilancia durante la garantía, seguros, altas instalaciones, etc.
Personal técnico y administrativo: jefe de obra, personal de contabilidad, etc.	Estructura de la empresa: gerencia, dirección intermedia, administración, etc.
Varios: materiales fungibles, papel, fax, etc.	Fiscales: sobre la actividad económica y otros.
Seguridad e higiene: medicina preventiva, formación, personal de seguridad, material de seguridad, señalización, locales y servicios, etc.	Financieros: financiación básica, avales y otros.

2.1.1. Costes horarios fijos y variables

El coste horario de la maquinaria se puede dividir en dos componentes:

- Costes fijos o de posesión (amortización, gastos de inversión, seguros, conservación y limpieza). Son independientes del número de horas de utilización de la máquina.
- Costes variables o de utilización (reparaciones, mano de obra del operador, elementos fungibles, carburantes, lubricantes, mano de obra, transportes e instalaciones, cuando sean necesarios). Son inherentes al funcionamiento de la máquina.

Obsérvese que existen conceptos tales como la mano de obra que participa de los dos grupos (conductor que realiza la conservación y el mantenimiento estando la máquina parada).

El coste total de la inversión C_T , en una máquina a la cual se le estima una vida útil de N horas, es función de los gastos fijos unitarios G_f , y de los gastos variables unitarios G_v . Se calcula como:

$$C_T = A \cdot G_f + B \cdot (G_f + G_v) \quad (5)$$

siendo:

A = Horas de parada.

B = Horas de funcionamiento.

$A+B = N$ = Vida útil de la maquinaria en horas.

La relación entre las horas efectivas de trabajo y sus tiempos de parada influye en el coste horario de un equipo. El costo horario, C_h , se calcula fácilmente dividiendo el coste total por el número de horas de funcionamiento de la máquina:

$$C_h = \frac{C_T}{B} = \frac{N}{B} \cdot G_f + G_v \quad (6)$$

De la Expresión 6 se desprende fácilmente la preocupación que existe en las obras de que las máquinas estén el máximo de tiempo posible trabajando de forma productiva. Se estima estadísticamente un promedio de 130 días de trabajo al año en condiciones muy duras, mucho desgaste o trabajos muy especializados. Para trabajos de poco desgaste o máquinas muy versátiles, se puede estimar unos 230 días al año de días laborables de puesta a disposición del equipo.

2.1.2. Coste intrínseco y complementario de una máquina

El "*Manual de costes de maquinaria*" (SEOPAN, 2015), proporciona cuadros estadísticos para evaluar los costes de los equipos. Así, el coste directo se define como la suma del coste intrínseco, relacionado con el valor de la máquina, y el coste complementario, que depende del personal y los consumos. Este coste es estimativo, dependiendo de cada contratista y de parámetros que no se conocen hasta el mismo momento de la adquisición (intereses, seguros, amortización, etc.), así como de otros factores como, por ejemplo, el precio del combustible.

El coste intrínseco o de propiedad es proporcional al valor de la máquina y está formado por el interés, los seguros y otros gastos fijos, la reposición del capital invertido, las reparaciones generales y la conservación. Este coste, para un período de D días, durante los cuales se ha trabajado H horas, será:

$$C_{\text{int}} = (C_d \cdot D + C_h \cdot H) \cdot \frac{V_d}{100} \quad (7)$$

donde C_d y C_h se encuentran tabulados para cada máquina como valores estadísticos medios, y V_d es el valor de reposición de la máquina.

Existen equipos auxiliares, de pequeño precio, o bien de gran presencia en obra, tales como motobombas, martillos neumáticos manuales, etc., en los que se prefiere una tasa diaria de utilización, con independencia de su funcionamiento. En este caso,

se ha considerado una tasa diaria del 0,15% del valor de reposición, despreciándose C_h en dicho supuesto:

$$C_{\text{int}} = 0,15 \cdot D \cdot \frac{V_d}{100} \quad (8)$$

Por otra parte, el coste complementario o de operación depende de la mano de obra, del manejo y conservación de la máquina, y los consumos. No son proporcionales al valor de la máquina, aunque sí depende de la misma. Como ejemplo de ficha técnica de maquinaria, para una pala cargadora sobre orugas de 0,5-0,6 m³ de capacidad y 35-45 CV de potencia, tendríamos los parámetros estadísticos que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ejemplo de valores estadísticos para el cálculo de los costes horarios (SEOPAN, 2015)

E=240	Promedio anual estadístico de días de puesta a disposición de la máquina.
H _{ut} =9.000	Promedio de horas de funcionamiento económico, característico de cada máquina.
H _{ua} =1.500	Promedio anual estadístico de horas de funcionamiento de la máquina.
M+C=90	Porcentaje del valor de reposición debido a reparaciones generales y conservación ordinaria de la máquina.
A _d =40	Porcentaje de la amortización de la máquina que pesa sobre el coste de puesta a disposición.
C _d =0,05955	Coeficiente unitario de cálculo del coste intrínseco.
C _h =0,01667	Idem.

En estas tablas se considera un promedio anual estadística de los días laborables de puesta a disposición del equipo de E = 130 días/año si el trabajo es muy duro, con mucho desgaste o es un trabajo muy especializado. En cambio, E = 230 días/año cuando se considera que hay poco desgaste o las máquinas son muy versátiles.

2.2. Costes de propiedad

El coste de propiedad, también denominado coste financiero, es el relativo a los años de vida de la máquina, donde se contempla la amortización, los intereses, los seguros, etc.

2.2.1. Amortización

La **amortización** de la maquinaria es la cuantificación monetaria de la depreciación sufrida por las máquinas. El objetivo perseguido por la amortización se puede explicar de diversas formas:

- a) Crear un fondo para la renovación de la máquina.
- b) Reflejar contablemente la disminución del valor patrimonial de la empresa.
- c) Distribuir el coste de la maquinaria entre la producción.
- d) Recuperar el dinero desembolsado a lo largo de varios años en la compra de la máquina.

No obstante, factores como la inflación o el progreso técnico provocan discrepancias entre el fondo creado y el valor de adquisición. Además, el Fisco rechaza adoptar fondos suplementarios de reposición con la consideración de gasto. Es por ello que, a menudo, el valor residual de la máquina se une a la amortización para adquirir una nueva máquina.

Para calcular la amortización se precisa conocer la cantidad a amortizar, la clase de tiempo a utilizar y el periodo o plazo de amortización.

2.2.1.1. Cuantía a amortizar

El **valor de depreciación V_d** es la cantidad que se considera en la depreciación del equipo, equivalente a la diferencia entre el valor de compra y su valor residual o de reventa. Las ruedas no se amortizan con el resto del equipo por tener una vida útil menor a la de la propia máquina.

La **inversión inicial** o **coste de adquisición V_a** de la maquinaria es el precio en fábrica, incluyendo cargas, transportes, embalajes, seguros de transporte, aranceles, montaje y desmontaje en su caso, etc., hasta ponerla en la obra dispuesta para trabajar. El coste de los neumáticos de las máquinas se considera aparte del coste de adquisición, valorándose como un elemento fungible.

La cotización cambiante que tiene la máquina a lo largo de su vida obliga a buscar un valor representativo e invariable sobre el que operar. Llamaremos **valor medio de la inversión V_m** al cociente entre la suma de la valoración del equipo al comenzar cada anualidad, y el número de años de su vida útil. Sobre este valor se acostumbra a calcular el interés, los seguros, los impuestos y los derechos de almacenaje.

2.2.1.2. Clases de tiempo a emplear

Las cuotas de amortización se calculan habitualmente según periodos de tiempo (años u horas de trabajo), si bien podrían evaluarse en relación a las unidades de obra producidas. Sin embargo, éste último extremo es de difícil aplicación práctica pues la producción depende del rendimiento y éste varía con múltiples factores como las condiciones de trabajo o la organización de la obra.

Cabría preguntarse si se debe amortizar un activo cuando no trabaja. Todo apunta a que sí, pues la obsolescencia tecnológica es cada día más fuerte, provocando los nuevos equipos fuertes depreciaciones de los antiguos, aun cuando éstos estén en buenas condiciones. Por otro lado, la depreciación del equipo es inexorable

con el transcurso del tiempo, no solo por el desgaste de los elementos mecánicos, sino porque un posible comprador de "*segunda mano*" considera la incertidumbre del uso de la máquina.

2.2.1.3. Plazo de amortización

El período de depreciación será variable con las condiciones de operación del equipo. Es razonable pensar que, si bien la amortización es una práctica comercial dirigida a conservar o recuperar la inversión, su plazo debe coincidir con la vida útil de la máquina. Es el concepto de **amortización técnica**. Para establecer el número de horas de vida útil se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Uso que se le va a dar.
- b) Condiciones de trabajo.
- c) Rutinas de mantenimiento y conservación.
- d) Datos estadísticos de máquinas equivalentes.
- e) Calidad de manejo del operador.

A efectos de una primera estimación, un camión hormigonera presenta 8.500 horas de trabajo, una cargadora 9.500 horas, una motoniveladora 12.000 horas, un tractor de orugas 9.000 horas, una central hormigonera 7.500 horas y un carro perforador 7.000 horas. Sin embargo, algunas máquinas como los cables grúa (15.000 horas) se deben amortizar completamente en la primera obra, porque probablemente no se puedan emplear en otras.

Ahora bien, en muchas ocasiones prevalecen otros criterios de tipo fiscal o contable. Así, el empresario pretenderá amortizar cuanto antes la maquinaria, ello supone menores beneficios los primeros años al ser la amortización un gasto, y por tanto se diferirán los impuestos al Fisco. Es por ello que la **amortización fiscal o contable** se fija por ley.

2.2.1.4. Sistemas de amortización

Existen múltiples métodos para contabilizar la depreciación de la maquinaria. De hecho, es difícil ajustar la amortización a la pérdida real del valor de cada equipo con el tiempo, salvo que tengamos una extensa base de datos de casos reales. Los sistemas más utilizados son los proporcionales o lineales, y los de amortización variable y decreciente. Los métodos decrecientes se aproximan mejor a la realidad, pues la depreciación es mayor al principio, sin embargo, en la mayoría de los casos, se suele recurrir a la amortización lineal. En la Figura 10 se representa el valor de la maquinaria correspondiente a valores medios de depreciación en venta de máquinas usadas.

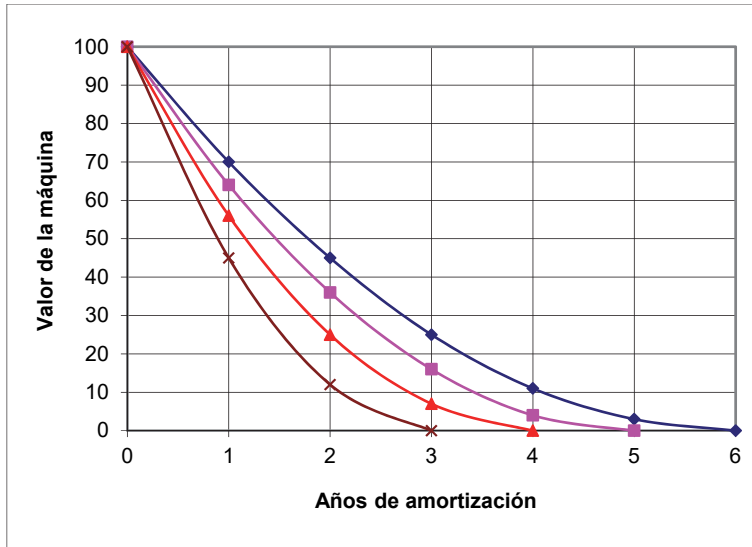


Figura 10. Valor medio de la maquinaria según datos de venta de máquinas usadas

2.2.1.4.1 Método lineal

Se supone que el costo de adquisición decrece uniformemente. La depreciación lineal es el cociente del valor de depreciación por el periodo de vida estimado. Este método permite distribuir las cuotas de amortización por años, meses o incluso días. Es el método adoptado por la Hacienda Pública, que permite que se amortice la totalidad de la máquina, quedando el valor residual como reserva adicional para la adquisición de una nueva máquina.

$$D = \frac{V_d}{N} \quad (9)$$

donde:

D = Depreciación.

V_d = Valor de depreciación.

N = Número de años de vida útil.

El valor medio V_m de una inversión V se puede expresar como (ver Problema 5):

$$V_m = \frac{1}{2N} (N + 1) \cdot V \quad (10)$$

En la Expresión 10 el valor de la inversión V coincidirá o no con el valor de depreciación V_d . Es posible, por ejemplo, que el valor residual no se quiera amortizar y, en cambio, deba contemplarse en el cálculo del valor medio a efectos de calcular intereses y otros conceptos similares. Una variante del procedimiento descrito considera

una doble anualidad de amortización el primer año. Así se aproxima mejor el valor residual al final de cada año al valor real de la máquina. En la Figura 11 se comparan los métodos lineales con los datos reales medios de Estados Unidos anteriormente representados en la Figura 10.

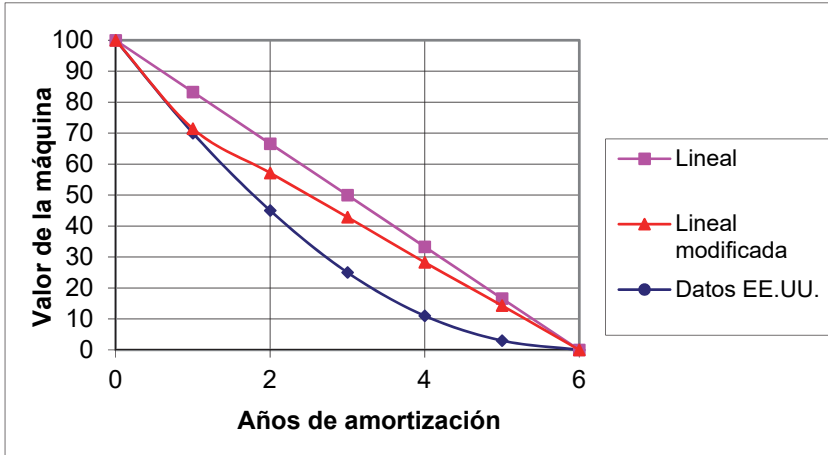


Figura 11. Comparación entre el sistema de amortización lineal, el lineal con doble anualidad el primer año y los datos medios, para 6 años de amortización

2.2.1.4.2. Método de la suma de dígitos

Cada año se depreciará con un coeficiente, cuyo denominador será la suma de los dígitos de los años de la vida de la máquina, y cuyo numerador será, para el primer año, el número de años; para el segundo, el número de años menos uno, y para el último año, la unidad.

Siguiendo la misma notación anterior, es fácil demostrar que el valor medio de la inversión es la suma de los valores que va teniendo al empezar cada uno de los años de amortización, dividido por el número de años N , en este caso:

$$V_m = \frac{(N+2)}{3N} \cdot V \quad (11)$$

El método es muy empleado en Estados Unidos, pues se ajusta suficientemente a la depreciación de los equipos. Es de cálculo sencillo, aunque no es posible utilizar fracciones de año.

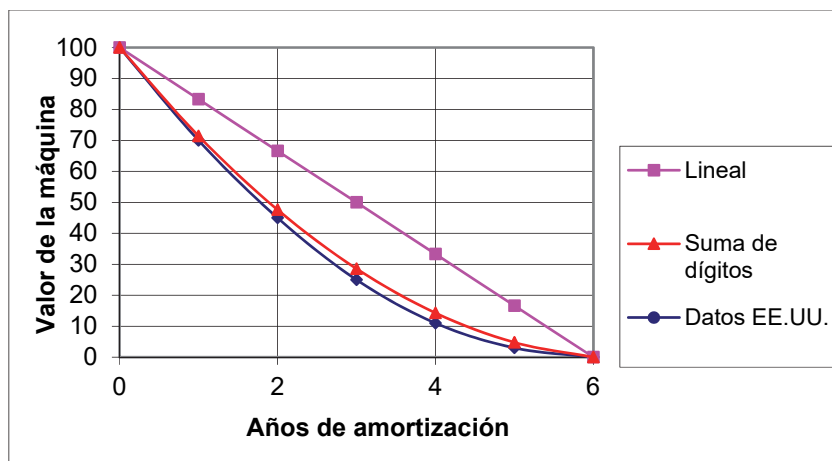


Figura 12. Comparación entre el sistema de amortización lineal, el de la suma de los dígitos y los datos medios para 6 años de amortización

2.2.1.4.3 Método del resto declinante o de los costes decrecientes

Este procedimiento es aplicable cuando se amortiza una máquina en pocos años (2 a 4 años). Se supone una depreciación doble a la lineal, aplicada al primer año. La del segundo año resulta de aplicar la misma depreciación doble a la diferencia entre el valor de adquisición y la depreciación del primer año, y así sucesivamente. En este caso el valor no llega a ser nulo el último año, pero es razonable considerarlo como valor residual.

El valor residual V_r sería:

$$V_r = V_a \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right)^N \quad (12)$$

Considerando que se amortiza el valor de depreciación (ver Problema 6), el valor medio de la inversión será la suma de los valores que va teniendo al iniciar cada uno de los años de amortización, dividido por el número de años N :

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{V_a}{2} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{N}\right)^N \right] = \frac{(V_a - V_r)}{2} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{N}\right)^N \right] \\ &= \frac{V_a}{2} \left[1 - 3 \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right)^N \right] \end{aligned} \quad (13)$$

**Para seguir leyendo, inicie el
proceso de compra, click aquí**