Administración de maquinaria agrícola

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
DEPTO. DE BIBLIOTECAS
BIBLIOTECA GOMEZ

Alberto Álvarez Cardona

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
DEPTO. DE BIBLIOTECAS

Administración de maquinaria agrícola

Universidad Nacional de Colombia
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES
POSGRADO EN GESTIÓN AGROAMBIENTAL
SEDE MEDELLÍN

© Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Ciencias Forestales
Posgrado en Gestión Agroambiental
Sede Medellín

© Alberto Álvarez Cardona

Primera edición, 2004
Bogotá, Colombia

UNIBIBLOS
Dirección general
Margarita Valencia

Coordinación editorial
Dora Inés Perilla Castillo

Revisión editorial
Liliana Ortiz F.

Preparación editorial e impresión:
Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos
dirunibiblo_bog@unal.edu.co

Carátula
Camilo Umaña Caro

Diseño y diagramación
Alejandro Medina

ISBN 958-701-460-x
ISBN 958-701-138-4
(obra completa)

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Álvarez Cardona, Alberto
Administración de maquinaria agrícola / Alberto Álvarez Cardona. -- Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2004.
258 p. il. - (Colección sede)

ISBN : 958-701-460-x

1. Maquinaria agrícola - Costo de operación 2. Maquinaría agrícola - Industria y comercio - Innovaciones tecnológicas I. Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Posgrado en Gestión Agroambiental

CDD-21 338.16 /2004- LEA

I
2-2-16
A21

Contenido

Prefacio 11

CAPÍTULO 1
Información técnica básica 13
1.1 Potencia 13
1.2 Prueba de tractores 24
1.3 Potencia en los motores de combustión interna (MCI) 27
1.4 Desempeño de los motores de combustión interna 27
1.5 Tiempo 36
1.6 Capacidad (C) 42
1.7 Tamaño de las máquinas 48
1.8 Sistemas de trabajo 51

CAPÍTULO 2
Costos 55
2.1 Introducción 55
2.2 Clasificación 55
2.3 Etapas de la estimación del costo de un producto o de un proceso 64
2.4 Técnicas de costeo 69

CAPÍTULO 3
Costos operativos en maquinaria 79
3.1 Definición 79
3.2 Formas de calcular el costo operativo de máquinas 79
3.3 Elementos que conforman un costo operativo 81
3.4 Costo operativo de implementos y máquinas auxiliares 101
3.5 Aplicación de los costos 101

CAPÍTULO 4
Planificación 117
4.1 Importancia de la planificación 118

4.2 Nomenclatura 120
4.3 Metodología 127
4.4 Requerimientos de maquinaria 141
4.5 Presupuesto de la planificación 148

CAPÍTULO 5
Financiación de maquinaria 153
Introducción 153
5.1. Aspectos básicos 153
5.2. Sistemas de análisis de inversiones 169
5.3. Etapas de un análisis de inversión en maquinaria 172

CAPÍTULO 6
Mantenimiento de maquinaria 179
Introducción 179
a. ¿Qué debe hacerse? 179
b. ¿Cuándo se debe hacer? 179
c. ¿Quién debe hacerlo? 180
d. ¿Cómo hacerlo? 180
e. ¿Cuánto cuesta hacerlo? 180
6.1. Mantenimiento periódico 180
6.2. Mantenimiento curativo 185
6.3. Registros 189

Bibliografía 205
Anexos 207

Prefacio

Los aspectos económico-administrativos derivados del uso agropecuario de la maquinaria agroindustrial constituyen el complemento necesario para la cabal comprensión y proyección de la operación de las máquinas, hasta el punto que se considera ilógico establecer proyectos técnicamente factibles sin una base económica-administrativa que sustente y justifique la gran inversión que se requiere. Por tanto, no puede existir un desarrollo tecnológico equilibrado y rentable si no se apoya en análisis adecuados de costos, así como en la planificación, la financiación y el mantenimiento, entre otros aspectos.

Con estas notas se ha realizado un primer intento por reunir en un solo texto los conocimientos básicos de economía, finanzas, administración y tecnología mecánica, que permitan orientar y facultar a los profesionales de las diversas disciplinas agropecuarias para establecer sistemas de aplicación tecnológica apoyados sobre las bases reales y adecuadas, que no sólo justifiquen la inversión sino que, además, permitan lograr un éxito operativo.

Agradezco profundamente a todas aquellas personas de quienes he aprendido y que con su ayuda han hecho posible realizar esta primera edición. Deseo sinceramente recibir críticas y correcciones que permitan mejorar el presente texto.

El libro se ha dividido en cinco capítulos. El Capítulo 1, contiene las generalidades técnicas y operativas que tienen incidencia en los Capítulos posteriores, con lo cual se facilita el uso del texto por administradores no expertos en terminología y conocimientos técnicos de maquinaria. El Capitulo 2, comprende la teoría básica de costos y sus métodos de cálculo. El Capítulo 3, aplica la teoría de los costos de operación de las máquinas, para calcular los costos operativos. El Capítulo 4, contiene un método de planificación de maquinaria básica de campo que responde dos preguntas: a. Con una maquinaria y actividades mecanizadas especificas, ¿qué área se puede atender?, y b. Para un área y actividades mecanizadas determinadas, ¿qué cantidad y tipo de maquinaria se requiere? El Capítulo 5, analiza la financiación de las inversiones en maquinaria. Por último, el Capítulo 6 plantea la metodología para establecer y operar un sistema de mantenimiento.

CAPÍTULO 1

Información Técnica básica

DEBIDO A LA CIRCUNSTANCIA DE QUE ESTE LIBRO pretende servir tanto a los estudiantes de Ingeniería Agrícola, Agronomía y Zootecnia, quienes reciben dentro de su formación asignaturas del área de maquinaria, como a los economistas y administradores, se ha considerado conveniente incluir este capítulo, en el cual se resumen los aspectos técnicos que se consideran necesarios para enfrentar el estudio de los temas económicos y administrativos.

1.1 Potencia

Se denomina potencia (hp) al trabajo realizado por una máquina en la unidad de tiempo (t). Dentro del Sistema Internacional de medidas, la unidad de potencia es el Joule (J) que equivale a 1 Nm (Newton-metro) donde el Newton es un kgf m/s^2 (kilogramo fuerza x m/s^2).

Sin embargo, en el lenguaje técnico de maquinaria son utilizadas, además, las siguientes unidades:

Kilovatio	(kw)
Caballo inglés	(hp)
Caballo métrico	(Cv)

Para conocer sus equivalencias debe consultarse la Tabla A3 (Factores de Conversión).

1.1.1 Potencia en el toma de fuerza hp (tdf)

El toma de fuerza (tdf) es un eje generalmente localizado en la parte trasera del tractor, que gira a unas revoluciones por minuto (rpm) que varían en función de las rpm del motor y entrega una potencia, también variable, dentro de ciertos rangos específicos para cada tractor. En las pruebas de tractores, normalmente estas potencias aparecen catalogadas así:

A. Máxima hp a la velocidad de prueba (rpm) del motor, en hp o kw y rpm del toma de fuerza.

B. Máxima hp a velocidad estándar (rpm) del toma de fuerza, en hp o kw y rpm del motor.

Lo anterior significa que existen dos potencias diferentes para el tdf: la potencia A, cuando el motor del tractor gira a las rpm de prueba; esta potencia es generalmente mayor que la B, pero tiene el inconveniente de que el tdf no siempre girará a las rpm estándar que son de 540 ± 10 para los tdf lentos y de 1.000 ± 25 para los rápidos. La potencia tipo A se utiliza para acoplar máquinas y equipos que no requieren unas rpm estandarizadas para el tdf.

La potencia B, a diferencia de la A, se produce cuando el tdf gira a sus rpm estándar (540 ± 10 ó 1000 ± 25), es generalmente menor que la A y se usa para acoplar máquinas y equipos que requieren unas rpm estandarizadas para el tdf. En el ámbito de los cálculos es posible establecer una relación promedio entre la bhp (potencia al freno en la rueda volante) del motor y la hp del tdf de un tractor:

$$\text{hp (tdf)} = \text{bhp motor} \times C_1 \qquad (1.1)$$

Donde:

C_1 = factor adimensional que varía entre 0.87 y 0.90

1.1.2 Potencia en la barra de tiro (hp b de t)

Es la potencia que se desarrolla a través de las ruedas motrices o carriles y el suelo, según el tipo de tractor; se utiliza para mover el tractor y los implementos acoplados a él.

La potencia en la b de t es la potencia más variable que genera el tractor, pues su valor depende de múltiples factores como:

- Tipo de suelo: textura, estructura, humedad y cobertura.
- Tipo de tractor: 2 ó 4 llantas de tracción neumáticas o de carriles.
- Lastre sobre las llantas motrices.
- Velocidad de desplazamiento.
- Tipo de implemento acoplado al tractor y otros más.

En vista de lo anterior, la hp (b de t) no es una constante tan fácil de calcular como la hp (tdf) o hidráulica. Entonces, es necesario calcular la hp (b de t) para cada conjunto de condiciones específicas, por considerar de gran utilidad su conocimiento para cualquier administrador de maquinarias que trabaje con el tractor como fuente de potencia. A continuación se presentan dos sistemas de cálculo de la hp (b de t) y de la fuerza de tiro: uno mediante el uso del dinamómetro y otro mediante el uso de gráficos.

Cálculo de la potencia en la b de t mediante un dinamómetro: el dinamómetro es un aparato que mide las fuerzas de tracción o compresión al intercalarse entre la barra de tiro del tractor y el implemento de tiro; mide la

fuerza de tracción requerida por el implemento, tanto la máxima (F_{TM}) como la promedia (F_T). La potencia desarrollada por el tractor en su b de t, teóricamente, será igual a la requerida por el implemento, o sea que se establece:

$$\text{hp (b de t)} = \frac{F_T \times V_r}{C_4} \qquad (1.2)$$

Donde:

F_{TM} = fuerza de tracción máxima

F_T = fuerza de tiro promedia, medida por el dinamómetro (kgf, lbf)[1].

Vr = velocidad real o velocidad de viaje del tractor en (km/h) o (m/s).

C_4 = factor de conversión de unidades que será:

$C_4 = 76$ cuando F_T (kg) y Vr (m/s).

$C_4 = 273.6$ cuando F_T (kg) y Vr (km/h).

Sin embargo, en la práctica es necesario que la hp (b de t) del tractor sea superior a la requerida por el implemento para poder afrontar los incrementos de potencia debidos a endurecimientos del suelo, obstáculos y pendientes.

En la ecuación (1.2) hp (b de t) es la potencia en (hp, kw) requerida por el implemento e igual a la entregada por el tractor. Esta potencia no debe confundirse con la máxima hp (b de t) que un tractor puede desarrollar, pues debe entenderse que éste sólo entrega la potencia que requiere el implemento.

Cálculo de la potencia en b de t mediante gráficos: este sistema fue establecido por la ASAE (Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas de EEUU) y se opera mediante el gráfico de la Figura 1.1 que aparece en la página 18, el cual permite calcular los siguientes parámetros para un tractor de dos llantas traseras de tracción neumática:

- Velocidad real de viaje (V_r).
- Fuerza de tiro máximo (F_T máx).
- Máxima potencia en la b de t (hp máx b de t).

Como datos básicos para operar con este sistema se deben conocer los siguientes:

- Peso en las llantas traseras del tractor (W_{at}) en lb, en kg o en N.
- Velocidad teórica de viaje (V_T) en millas/h o en km/h.
- Potencia en el eje de las llantas propulsoras (hpe) en hp o en kw.

[1] El dinamómetro marca simultáneamente dos fuerzas: F_{TM} máxima y F_T promedio, que es la utilizada en la fórmula 1.2 para los cálculos de hp (b de t).

- Clase de suelo en el que se desplazará (blando, labrado, firme, concreto o asfaltado).
- Tipo de implemento que se acoplará al tractor: integral (I), semi-integral (S) o tiro (T).

Los datos anteriores se pueden conocer de la siguiente forma:

Peso en las llantas traseras del tractor (Wat): este dato en kg, en N o en lb se puede obtener de las pruebas realizadas al tractor como las de Nebraska, las de OCDE o en los catálogos técnicos del tractor. Para efectos de cálculo, cuando no se tiene acceso a la información anterior, se pueden asumir los siguientes promedios:

$$W_{at} = (0.60 - 0.75)\, W_T \qquad (1.3)$$

Donde:

W_T = peso total del tractor.

La amplitud de este rango se debe a las varias posibilidades de lastre que tiene todo tractor, tanto adelante como atrás, las cuales vienen especificadas en su manual técnico.

Velocidad teórica de viaje (V_T): esta velocidad es seleccionada por el operario en función del engranaje de la caja de cambios usado y de las rpm del motor. Debe ser escogida como V teórica (V_T), una velocidad mayor que la velocidad requerida por el trabajo a realizar, ya que siempre habrá patinaje (P) que afectará el desempeño reduciendo la velocidad, pues la relación entre V_T, V_r y P es:

$$V_r = V_T\,(1 - P) \qquad (1.4)$$

Donde:

V_r = velocidad real de desplazamiento o viaje (km/h, m/s).

V_T = velocidad teórica de desplazamiento o viaje (km/h, m/s).

P = patinaje expresado como decimal.

Potencia en el eje (hpe): es la potencia que se genera en el eje propulsor de las llantas motrices. Para su cálculo existen factores variables según el tipo de tractor y su sistema de transmisión y caja. Para efectos de cálculo se puede usar la siguiente relación entre bhp del motor, hp (tdf) y hpe:

$$hpe = (0.82 - 0.86)\ bhp \qquad (1.5)$$

$$hpe = (0.94 - 0.96)\ hp\ tdf \qquad (1.6)$$

Donde:

bhp = potencia al freno o al volante del motor.

hp tdf = potencia en la toma de fuerza.

Clase de suelo en el que se desplazará: los suelos se clasifican en tres categorías básicas: blando, labrado y firme. Adicionalmente se encontrará un cuarto tipo, concreto o asfalto.

- **Blando:** en esta categoría se podrán agrupar los suelos arenosos y los suelos orgánicos muy sueltos, arcillo-limosos blandos, en los que la llanta del tractor deje una huella profunda.
- **Labrado:** suelo que ha sido trabajado o disturbado con fines agrícolas, mediante operaciones como arada, rastrillada, entre otras.
- **Firme:** suelos agrícolas sin disturbar recientemente o carreteras destapadas con piso firme pero sin asfaltar.

Tipo de implemento acoplado al tractor: el implemento o máquina que se acople al tractor se clasificará en una de las siguientes categorías:

- **I:** integral, es decir acoplado a los tres puntos de enganche del sistema hidráulico.
- S: semi-integral, es decir acoplado a dos puntos laterales del sistema hidráulico y/o al sistema hidráulico de control remoto.
- T: de tiro, es decir enganchado a la barra de tiro o a una barra transversal en los dos puntos de enganche lateral del sistema hidráulico, pero sólo recibe tracción del tractor; no se usa el sistema hidráulico para mover o sostener el implemento.

Una vez conocidos los parámetros anteriores se procederá a calcular los valores ya enunciados mediante el uso de la Figura 1.1, guiándonos por el ejemplo allí resuelto.

Explicación sobre el uso de la barra de tiro, Figura 1.1.

Su uso se limita a tractores de dos llantas neumáticas.

Se asume un peso en las llantas traseras del 75% del peso total del tractor para implementos del tipo T, 70% para los de tipo S y 65% para los **I**.

El coeficiente de transferencia dinámica de peso del implemento al suelo es de 0.65 para **I**, 0.45 para S y 0.2 para T.

La relación entre hpe/hp tdf usada fue de 0.96.

Como ejemplo se va a determinar la potencia en la b de t hp (b de t), la fuerza de tiro (F_T), el porcentaje de patinaje (P) y la velocidad real de viaje del tractor (V_r), para las siguientes condiciones:

Implemento de tipo semi-integral (S)

Suelo firme

Tractor que según las pruebas de Nebraska tiene las siguientes características técnicas:

Peso total (W_T): 90 kN

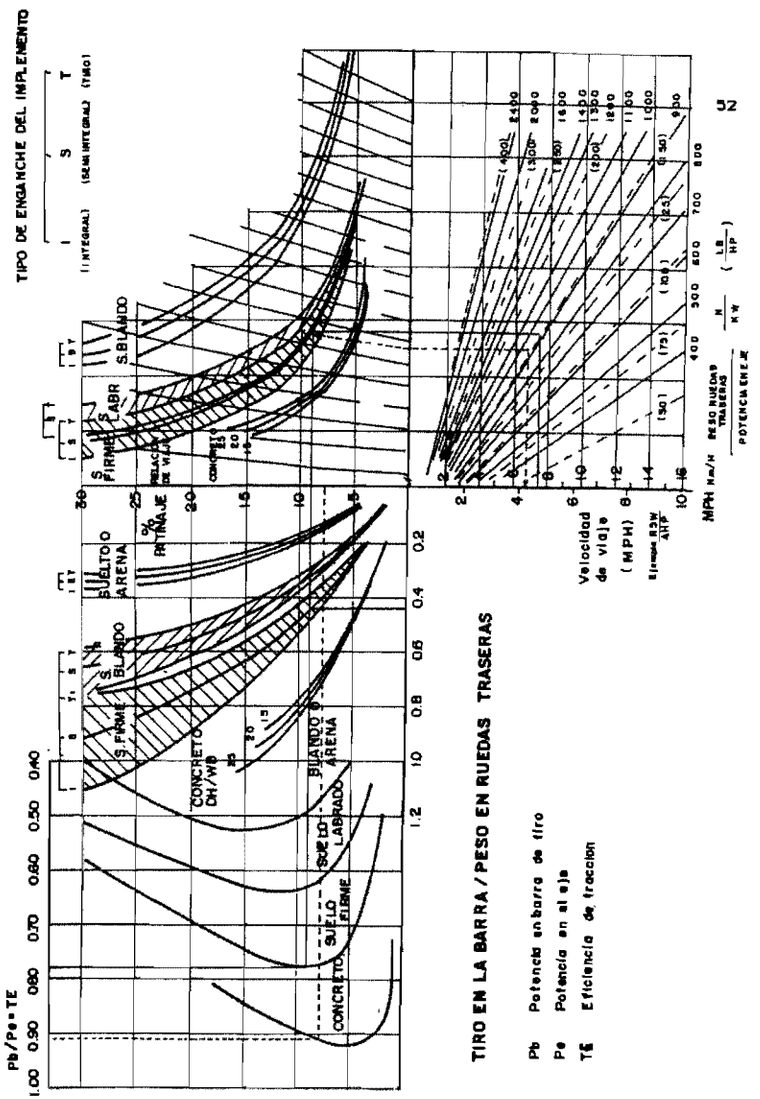


Figura 1.1 Desempeño de la b de t de un tractor con dos llantas de tracción neumática.
Fuente: *Agricultural Engineers Year Book*, 1982.

Peso de las llantas traseras (W_{at}): 70 kN

Potencia en el tdf (hp tdf): 77.26 kw (tomándose aquí la potencia A, ver potencia en el tdf).

Procedimiento a seguir:

a. Determine la potencia en el eje de las llantas propulsoras del tractor, hp(e), calculada mediante la ecuación 1.6:

$$hp(e) = 0.96 \times 77.26 \text{ kw} = 74.17 \text{ kw}$$

b. Determine el cociente entre W_{at} (N)/hp(e)(kw):

$$W_{at}/hp(e) = \frac{70 \text{ kN}}{74.17 \text{ kw}} = \frac{70.000 \text{ N}}{74.17 \text{ kw}} = 944 \text{ N/kw}$$

c. Ingrese a la Figura 1.1 marcando en el eje vertical del cuadrante IV la velocidad teórica seleccionada; recuerde que siempre la V_r será menor que la V_T, debido al patinaje. Para seleccionar V_T debe tener presentes los rangos de las velocidades (V_T) que el tractor en estudio ofrece en diferentes cambios de la caja y a determinadas rpm del motor; además, que la V_T sea mayor en un porcentaje igual al porcentaje de patinaje esperado. Como este último dato no se conoce aún, la V_T asumida será por tanteo hasta cuando resulte una V_r deseada según el implemento que se va a trabajar con el tractor. Ver paso d. En este caso, V_T se seleccionó de 7.43 km/h. Con la V_T marcada, trace una línea horizontal en el cuadrante IV hasta que corte la recta oblicua marcada con el valor calculado en el paso b (944 en este caso). En caso de no encontrar exactamente la recta con el valor calculado en el paso b, puede interpolar linealmente entre dos valores próximos por encima y debajo del valor calculado.

d. A partir del punto de corte hallado en el paso c, trace una línea vertical hasta que en el cuadrante I esta línea corte a la curva del suelo e implemento seleccionada (en este caso suelo firme a implemento S).

e. En este paso debe chequearse la V_r de la siguiente manera: a partir del punto encontrado en el paso d, descienda hasta cortar el eje horizontal que separa los cuadrantes I y IV haciéndolo paralelamente a las líneas oblicuas del cuadrante I. A partir de ese punto trace una línea recta vertical descendente en el cuadrante IV hasta que corte la línea W_{at}/hp (e) (944 en este caso) y a par-

tir de ese punto trace una línea recta horizontal hasta cortar el eje de entrada. El valor encontrado será V_r del tractor en el terreno (6.85 km/h en este caso). Si dicha V_r satisface el requerimiento de velocidad del implemento, continúe con el paso f; en caso contrario, debe iniciar nuevamente con el paso c aumentando o disminuyendo la V_T según la V_r encontrada sea menor o mayor que la requerida para el trabajo adecuado del implemento.

f. Por el punto encontrado en el paso d, trace una recta horizontal hasta cortar el eje que separa los cuadrantes I y II, lea en este punto de corte el porcentaje de patinaje que el tractor tendrá bajo las condiciones planteadas (9% en este caso). Si es satisfactorio, continúe con el paso g.
   Si el patinaje encontrado es excesivamente alto, 16% o más, deben revisarse los siguientes aspectos antes de continuar:
   - V_T posiblemente muy baja; trate con un valor mayor sin que se afecte la V_r requerida para el implemento.
   - El lastre atrás debe aumentarse hasta donde lo permita el diseño del tractor, con esto se obtendrá un cociente W_{at}/hp (e) mayor, lo que disminuirá el porcentaje de patinaje.

g. A partir del punto encontrado en el paso f, trace una recta horizontal hasta cortar el suelo e implementos seleccionados (firme y S en este caso).

h. Por el punto hallado en g trace una recta vertical hasta cortar el eje inferior del cuadrante II y lea el valor encontrado (0.45 en este caso). Este valor es el cociente entre F_T en la barra de tiro/W_{at}, o sea:

$$0.45 = \frac{F_T\,(\text{b de t})}{W_{at}} \quad \therefore \quad F_T\,(\text{b de t}) = 0.45\,W_{at}\,(N)$$

En nuestro ejemplo $F_T = 0.45 \times 70$ kN = 31.5 kN

i. Continúe la recta trazada en el paso g hasta cortar en el extremo izquierdo del cuadrante II el suelo seleccionado (S firme en este caso); a partir del punto de corte trace una recta vertical ascendente hasta cortar el eje encima del cuadrante II y lea el valor encontrado (0,78 en este caso); este valor es el cociente entre hpn (potencia neta en la b de t)/potencia en el eje (hpe), o sea:

$$\text{hpn} = 0.78 \times \text{hpe} \qquad 0.78 = \frac{\text{hpn}}{\text{hpe}}$$

$$\text{hpn} = 0.78 \times 74.17 = 57.85 \text{ kw}$$

Nota: por definición la hpn (b de t) es la potencia útil que el tractor tiene en la b de t para halar implementos acoplados a ella, después de deducir las pérdidas por patinaje y por otros aspectos.

Existe, como en el caso anterior de la toma de fuerza, una relación que liga la bhp del motor y la máxima hpn de la b de t bajo condiciones específicas:

$$\text{Máx. hpn (b de t)} = \text{bhp} \times C_2 \qquad (1.7)$$

Donde:

Máx. hpn (b de t) = la hpn máxima en la barra de tiro.
bhp = potencia al freno en la rueda volante del motor.
C_2 = factor adimensional que varía entre 0.75 y 0.81.

Para poder usar el valor obtenido para hpn b de t de la ecuación 1.2 deben tenerse presentes las condiciones específicas bajo las cuales fue calculada; por tanto, sólo cuando las condiciones sean similares podrá usarse. En caso contrario debe calcularse por el método de gráficas descrito anteriormente. Las condiciones específicas son:

- Es para tractores de dos llantas neumáticas traseras de tracción.
- Es para pista plana y de piso en concreto.
- El patinaje (P) óptimo para esta prueba está entre 4 y 8%, calculado de la siguiente forma:

$$P(\%) = \left(\frac{a_1 - a_2}{a_1}\right) \times 100 \qquad (1.8)$$

Donde:

P (%) = patinaje de las llantas del tractor en porcentaje (%).
a_1 = distancia recorrida en una vuelta de la llanta motriz cuando el tractor está sin carga e impulsado.
a_2 = distancia recorrida cuando el tractor está sometido a carga e impulsado.

Como información adicional se pueden establecer los patinajes óptimos para otros tipos de suelo y para tractores de dos llantas traseras de tracción, así:

8 a 10% para suelos firmes.
11 a 13% para suelos trabajados y removidos.
14 a 16% para suelos muy sueltos o arenosos.

Es de anotar que para alcanzar esos porcentajes óptimos, deberá operarse el tractor en condiciones de lastre, velocidad, presión y tipo de llantas adecuadas.

1.1.3 Potencia en el sistema hidráulico $(hp)_h$

Es la potencia del fluido hidráulico que requieren los implementos acoplados en forma integral o semi-integral al sistema hidráulico del tractor, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$(hp)_h = \frac{Q \times P}{C_3} \qquad (1.9)$$

Donde:

$(hp)_h$ = potencia entregada por el sistema hidráulico medida en kw o hp hidráulicos.

Q = caudal o flujo que entrega la bomba del sistema hidráulico, medido en lb o gal/min.

C_3 = factor adimensional de conversión de unidades. Cuando $(hp)_h$ en (kw), Q en (L/S), P en (ka), $C_3 = 1000$.

Cuando $(hp)_h$ en caballos hidráulicos (hph), Q en gal/min y P (lb/pulgadas^2), entonces $C_3 = 1714$.

P = presión suministrada al fluido (lb/pulgadas^2) o (ka).

1.1.4 Potencia total del tractor (hp_T)

La potencia total de un tractor en su toma de fuerza es igual a la suma de:

Potencia en el tdf (hp tdf) +

Potencia en el sistema hidráulico $(hp)_h$ +

Potencia b de t equivalente en el tdf. hp (b de t)

Para obtener la potencia en la b de t equivalente en el tdf, se usa el siguiente método:

Se calcula la potencia neta en la b de t (hpn b de t) para las condiciones específicas mediante la Figura 1.1. o mediante la fórmula 1.7 cuando es posible. Con este dato se calcula la potencia en la b de t equivalente en el tdf (hp b de t).

$$\text{Así: (hp b de t)} = \frac{hp_n \text{ b de t}}{0.96 \times Te} \qquad (1.10)$$

Donde:

hp_n b de t = potencia neta en la b de t.

Te = coeficiente de tracción efectiva, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Te = (1 - P)\left(\frac{\frac{1.2}{Cn} + 0.04}{0.75\,(1 - e^{-0.3\,Cnp})}\right) \qquad (1.11)$$

Donde:

P = patinaje de las llantas motrices (en decimal).

Cn = coeficiente adimensional cuyos valores son los siguientes:

Tipo de suelo	Cn
Suelo duro	50
Suelo firme	30
Suelo labrado	20
Suelo suelto, arena	10

e = base de los logaritmos naturales = 2.71828

Donde se concluye que:

$$hp_T = hp\ tdf + (hp)_h + \frac{Hpn\ b\ de\ t}{0.96 \times Te} \qquad (1.12)$$

Es decir que la potencia total generada en un tractor con funcionamiento simultáneo de su toma de fuerza, su sistema hidráulico y su barra de tiro, será igual a la hp_T expresada en la ecuación 1.12.

Esta potencia, a su vez, es entregada por el motor y transmitida a estos tres sistemas, ocasionándose en su recorrido desde el motor hasta la toma de fuerza una pérdida que fluctúa entre 10 y 13% de la bhp entregada por su motor en la rueda volante, o sea:

$$\frac{hp_T}{0.87 \text{ ó } 0.90} = bhp \qquad (1.13)$$

Además debe tenerse presente que la hp_T será la potencia que el tractor podrá entregar al implemento o máquina acoplado a su sistema hidráulico, de barra de tiro y de toma de fuerza, cuando los tres trabajan simultáneamente; debiendo ser la hp_T mayor que la potencia requerida por el implemento para poder sobrepasar los cambios de topografía o incrementos debidos a obstáculos o crecimiento de resistencia al corte del suelo.

1.2 Prueba de tractores

La información sobre las características técnicas más importantes de un tractor pueden ser obtenidas tanto en los catálogos técnicos que provee el distribuidor como en los informes de pruebas que se le hacen a estas máquinas en sitios como Nebraska (EEUU), Manitoba (Canadá) y otros. A continuación se analizará el reporte de una prueba típica de Nebraska para un tractor, con notas aclaratorias a los principales datos contenidos en ella.

Prueba de Nebraska para tractor	
Marca	XX
Modelo	0000 Dsl
Transmisión	8 velocidades
N° prueba (año)	00 (XY)
Motor:	
Diámetro y carrera (mm)	111.8 x 111.8
Número de cilindros	3
Desplazamiento en ml	3289
rpm de régimen (prueba)	2200
Razón de compresión	16.3:1
Chasis:	
Tipo	Estándar
Llantas - tamaño: lonas adelante	7.50 - 16: 6
atrás	16.9 - 30: 6
Peso para la prueba (kg)	3728
Desempeño del tdf:	
Máx. hp a rpm régimen motor kw	39.11 a 2199
tdf (rpm)	660
Consumo combustible l/h	14.032
kw h/l	2.787
Máx. hp a rpm estándar de tdf kw	34.53 a 540
rpm del motor	1799
Consumo de combustible l/h	12.012
kw h/l	2.875
Desempeño de la barra de tiro:	
Máx. kw (corto tiempo) a km/h	33.98 a 8.43
100% carga (2 horas) kw a km/h	32.12 a 6.91
Consumo combustible (l/h)	13.792
kw h/l	2.329
75% carga (10 horas) kw a km/h	27.01 a 7.51
Consumo combustible l/h	1.574
kw h/l	2.334
50% carga (2 horas) kw a km/h	18.93 a 7.83
Consumo combustible l/h	8.924
kw h/l	2.121
50% carga (2 horas) kw a km/h	19.03 a 7.84
rpm motor (baja aceleración)	1594
Consumo combustible l/h	7.301
kw h/l	2.606
Tiro máx. kN a km/h	28.21 a 2.88
Porcentaje patinaje	14.80
Capacidad de sobrecarga (porcentaje incremento de tiro a 80% rpm de régimen motor)	11

Notas explicatorias de las pruebas de Nebraska:

Marca: la marca comercial del tractor.
Modelo: se refiere al modelo con el cual se conoce comercialmente este tractor.
Transmisión: se refiere al tipo de caja de cambios que tiene el tractor. Aquí aparecerán los datos relativos al número de cambios y al sistema de cajas automáticas, si lo tiene.
Número y año de la prueba: contiene la numeración que se asigna a la prueba y el año en que se realizó la misma.
Diámetro y carrera: son las medidas del diámetro y la carrera del pistón del motor del tractor.
Número de cilindros: el número de cilindros que el motor posee.
Desplazamiento: volumen que desplaza el pistón al descender en la carrera de admisión; no incluye el volumen de la cámara de compresión.
rpm régimen o prueba: es la aceleración en rpm del motor que el fabricante del motor considera ideal para realizar la prueba. Es un dato muy importante desde los puntos de vista técnico y administrativo, pues se considera como la aceleración con la cual el motor está en condiciones técnicas óptimas y es la base para calcular las horas horómetro para control de tiempos de trabajo del tractor. Además, teniendo en cuenta el tipo de motor de los tractores, son las rpm ideales para trabajo pesado y continuo.

Razón de compresión: es una medida técnica que indica la relación adimensional entre el volumen total de un cilindro al fin de la carrera de admisión y el volumen al final de la carrera de compresión. Para motores de gasolina es baja (hasta 1:8.5); para motores diesel es alta (hasta 1:23).
Chasis: se refiere a la clase de tractor que se prueba; en nuestro medio se conocen básicamente dos clases: el estándar y el de cuatro ruedas de tracción. El estándar es el tractor de dos llantas traseras de tracción y neumáticas, robusto, de gran peso, bajo centro de gravedad, para uso especialmente en trabajo pesado agrícola: tirar remolques, rastrillar, arar y subsolar, entre otros. Las llantas delanteras no tienen estrías de tracción y son de menor diámetro y ancho que las traseras. El tractor de cuatro ruedas de tracción es el tractor agrícola con tracción en las llantas delanteras y traseras, las llantas delanteras son de igual (doble tracción) o algo menor (tracción auxiliar) diámetro, pero con estrías de agarre como las traseras. Son tractores de las mismas características y usos que el anterior, pero con mayor estabilidad en suelos pendientes y con mayor capacidad de tracción y flotación en suelos sueltos o fangosos y a bajas velocidades.
Llantas, tamaño, lonas: especifica el tamaño de la llanta y el número de lonas que deben poseer tanto las delanteras como las traseras. Este último dato es índice de la capacidad de carga que posee la llanta.
Peso para la prueba: es el peso total en kg, lb o kN que tiene el tractor en el momento de la prueba. Incluye el lastre delantero y trasero que le haya sido instalado.
Desempeño de la b de t: especifica la máxima potencia en la b de t encontrada en no más de 12 velocidades o cambios de la caja del tractor y a velocidades de viaje que no excedan las limitaciones de seguridad establecidas para la vía o los equipos en prueba; además, tabula otras potencias en la b de t diferentes a la máxima, las cuales se consiguen cuando el tractor es operado con varios porcentajes de tiro obtenidos a la potencia máxima (estos porcentajes son 75% y 50%). Además, para cada medida de potencia se tabulan los correspondientes consumos de combustible.

Las principales condiciones impuestas para que esta prueba sea válida son:
- El porcentaje de patinaje no debe exceder de 15% para tractores de llantas neumáticas o de 7% para tractores de carriles.
- El tractor debe estar adecuadamente lastrado[2]. La máxima velocidad de viaje no debe exceder las 15 millas/h (24.14 km/h).

[2] Mediante agua en las llantas traseras y pesas de hierro fundido en los rines de las llantas y/o en la parte delantera del tractor.

Tiro máximo: especifica el máximo tiro (kN) y la velocidad (km/h) en la cual fue hallado este tiro, así como el porcentaje de patinaje que mostró el tractor en esa medición.
Capacidad de sobrecarga: expresada en el porcentaje del tiro que tiene el tractor cuando las rpm del motor son el 80% de las rpm de régimen. Indica la capacidad de sobrecarga que soporta el motor cuando hay variaciones en las condiciones del suelo, cambio de la topografía u otras. Este valor es muy importante pues indica la capacidad de sobrecarga que soporta el motor sin sufrir deterioro y sin detener su marcha (calarse).

1.3 Potencia en los motores de combustión interna (MCI)

Se definen como motores de combustión interna (MCI) todos aquellos que realizan internamente, en su propia estructura, la transformación de la energía química contenida en el combustible y del oxígeno en energía mecánica (rotación de un eje o volante a unas rpm y un torque). Estos motores se dividen en dos grandes grupos usados en nuestro medio:

1.3.1 Motores de ignición por chispa

Dentro de este grupo están los motores que usan un combustible líquido (gasolina y alcohol etílico) o gaseoso (gas propano, gas metano) y producen la combustión de este combustible con el oxígeno del aire mediante una chispa eléctrica que se genera en una bujía.

1.3.2 Motores de ignición por compresión

En estos motores la ignición de la mezcla carburante y del aire se produce al alcanzar la temperatura de ignición por compresión, sin la intervención de chispa. Los combustibles más comunes que se utilizan son el ACPM (aceite combustible para motores) y el Fuel Oil (derivado poco refinado del petróleo).

1.4 Desempeño de los motores de combustión interna

Antes de entrar al estudio del desempeño de un MCI, es conveniente definir alguna terminología utilizada:
Potencia nominal (bhp): llamada también potencia útil, efectiva, al freno o a la rueda volante. Bajo este concepto se entiende como aquella potencia útil en la que el motor trabaja en condiciones ideales, tanto desde el punto de vista del desempeño de sus sistemas básicos (refrigeración, eléctrico, de combustible y lubri-

cación) como también desde la capacidad de soportar carga plena durante tiempos prolongados de trabajo. Normalmente esta potencia genera el consumo específico de combustible más bajo y su valor es menor que el de la potencia máxima, entre 15 y 25%, excepto para motores de vehículos de transporte donde coinciden en su valor ambas potencias.

Potencia máxima: como su nombre lo indica, es la máxima potencia que desarrolla un motor. A partir de este punto, si la aceleración (rpm) se incrementa, la potencia disminuye debido a factores limitantes de diseño; excepto en motores para vehículos de transporte, no es recomendable utilizar la potencia máxima en intervalos largos de tiempo a plena carga.

Potencia intermitente: es una potencia que supera en 10 o 15% a la potencia nominal, pero a pesar de que el motor la puede generar, no es recomendable usarla sino en intervalos de tiempo muy definidos (generalmente 1 hora cada 12 horas de trabajo o 2 horas por cada 24).

Potencia con accesorios: en algunos catálogos o publicaciones técnicas aparece este tipo de potencia para los motores, e indica la potencia en la rueda volante que genera el motor cuando trabaja con todos los accesorios propios de él (alternador, ventilador, bomba de agua, motor de arranque, radiador, exhosto, filtro de aire, volante, bomba de combustible y bomba de aceite). Es por tanto, la potencia útil para mover cargas acopladas al motor.

Potencia sin accesorios: mide la potencia que genera el motor en su volante cuando es operado con solo tres accesorios propios (volante, bomba de combustible y bomba de lubricante); los demás accesorios son operados durante la prueba con una fuente de potencia diferente al motor analizado. Esta potencia no es útil para mover cargas acopladas al motor.

Potencia indicada (hpi): es la potencia interna (en los pistones) que genera el motor. Es mayor que la potencia al freno debido a que se produce un desgaste ocasionado por la fricción de las piezas en movimiento entre los pistones y la rueda volante. Esta potencia es medida mediante un aparato llamado indicador.

Presión media indicada (pmi): es la presión generada dentro de los cilindros del motor y que, al actuar sobre la cabeza del pistón, genera la fuerza que lo mueve en su carrera de trabajo; pero en las otras tres carreras la cabeza del pistón debe efectuar una presión para poder realizarlas, por lo tanto se presentarán presiones diferentes en cada carrera. Esta presión variable se puede graficar mediante un diagrama indicador que se puede obtener del promedio de todas las presiones en las cuatro carreras o ciclos; este valor recibe el nombre de 'presión media indicada'.

Presión media efectiva (pme): llamada también presión media efectiva al freno o en la rueda volante; se define como la presión teórica constante que se ejerce durante las carreras del motor y que genera una potencia de salida en la rueda volante igual a la potencia al freno.

Cálculo de potencias indicada y al freno: la potencia (hp), en general, puede expresarse como:

$$hp = \frac{\text{Fuerza(F) (lb kg N)} \times \text{Distancia (D) (pies m)}}{\text{Tiempo (minuto)} \times K} \qquad (1.14)$$

Donde:

F = fuerza que actúa en el sentido del movimiento.
D = distancia que recorre el cuerpo sometido a la fuerza.
K = factor conversión unidades.
K = 33.000 cuando se usan lb/pie.
K = 4.563 cuando se usan kg/m.

Ahora bien, en motores, el cálculo de potencia indicada (hpi) se hace mediante la ecuación:

$$hpi = \frac{pmi \times L \times A \times N \times n}{33.000 \times 12 \times X} \qquad (1.15)$$

Donde:

hpi = potencia indicada (hp).
pmi = presión media indicada (lb/pulg^2).
L = longitud de la carrera del pistón (pulg.).
A = área de la cabeza del pistón (pulg^2).
N = rpm del motor.
n = número de cilindros del motor.
X = número de revoluciones del cigüeñal requeridas para que el motor genere una carrera de trabajo.
X = 2 para motores de 4 ciclos (tiempo).
X = 1 para motores de 2 ciclos (tiempo).

Por similitud, la bHp se calcula así:

$$bhp = \frac{pme \times L \times A \times N \times n}{33.000 \times 12 \times X} \qquad (1.16)$$

Donde:
pme = presión media efectiva.
33.000 x 12 = factores de conversión de unidades.
bhp = potencia al freno (hp).

Factores de corrección de la potencia: la potencia generada por un MCI depende de sus características de diseño y, además, en los motores de aspiración natural (no turbocargados), de los factores climáticos (presión atmosférica y temperatura ambiental). Por tanto, cuando éstos varían fuera de un rango determinado dan lugar a pérdidas de potencia, por lo cual debe ajustarse a la potencia obtenida en condiciones estándar (temperatura 20°C, 60°F, presión atmosférica 29.92 pulgadas de mercurio o 14.696 lb/pulg²) mediante el siguiente factor de corrección (FC).

$$FC = \frac{29.92}{Pa} \times \left[\frac{Ta}{520}\right]^{1/2} \qquad (1.16)$$

Donde:
FC = factor de corrección que multiplica a la potencia obtenida en condiciones estándar.
Pa = presión atmosférica del sitio donde trabajará el motor, en pulgadas de Hg.
Ta = temperatura absoluta del sitio del trabajo del motor, se calcula así:
Ta = temperatura en °F del sitio de trabajo + 460. Para obtener °F a partir de °C, finalmente, para obtener la bhp corregida (bhpc) se aplicará la siguiente ecuación:

$$bhpc = bhps \times FC \qquad (1.17)$$

Donde:
bhpc = potencia corregida, es decir, en bhp real que nos dará el motor en el sitio de trabajo, en condiciones diferentes a las estándar.
bhps = potencia a condiciones estándar (es la que normalmente traen los catálogos y las pruebas de los motores).
FC = factor de corrección obtenido mediante la ecuación 1.17.

Torque: es la fuerza o esfuerzo de torsión. Se mide en función de la fuerza (f) que hace o se le hace a un cuerpo y de la palanca o brazo (D) sobre el cual actúa la fuerza. Existe aunque no haya movimiento y esto a diferencia del trabajo. Basándonos en la ecuación 1.14 tenemos:

$$hp = \frac{F \times D}{t \times k} \qquad (1.18)$$

Donde, para un eje o polea en rotación tenemos que:
D se puede reemplazar por rpm x $2\pi L$
Siendo rpm = revoluciones por minuto del eje motriz
L = radio del eje, polea o el brazo que hace la fuerza. Reemplazando en 1.18 tenemos:

$$hp = \frac{F \times rpm \times L}{K} \qquad (1.19)$$

Donde:
K = 5252 cuando F (lb f) y L = (pies)

$$hp = \frac{F \times rpm \times L}{5.252} \qquad (1.20)$$

Como por definición F x L = T (torque) , en la ecuación 1.20 queda así:

$$hp = \frac{T \times rpm}{5.252} \qquad (1.21)$$

Donde:
hp = potencia en (hp) del eje o polea.
T = torque en (lb/pie) del eje o polea.

Eficiencia en un MCI: las principales eficiencias que deben analizarse en un MCI son: la eficiencia mecánica (Nm), la eficiencia volumétrica (Nv) y la eficiencia térmica (Nt).

Eficiencia mecánica (Nm): se define como la relación en porcentaje (%) que existe entre la bhp y la ihp de un motor, y se expresa asi:

$$(\%)\ Nm = \frac{bhp \times 100}{ihp} \qquad (1.22)$$

o sea:

$$(\%)\,Nm = \frac{ihp - fhp}{ihp} = 1 - \frac{fhp}{ihp} \times 100 \qquad (1.23)$$

Siendo fhp la potencia que se usa dentro del motor para vencer los efectos de la fricción entre las piezas móviles, la cual es denominada 'potencia de fricción'.

La Nm en los motores alcanza en la actualidad valores muy altos (0.80 o más) debido al gran desarrollo que en materia de lubricantes se ha alcanzado, ya que estos son los encargados de disminuir las pérdidas de potencia por fricción.

- **Eficiencia volumétrica** (Nv): se define como la relación en porcentaje (%) que existe entre el volumen que realmente aspira un cilindro en su carrera de admisión y el volumen total de su cilindrada.

$$\%\,Nv = \frac{Va}{Vc} \times 100 = \frac{\text{vol. aspirado}}{\text{vol. de la cilindrada}} \times 100 \qquad (1.24)$$

Esta eficiencia es inferior a 1.0 en los motores de aspiración natural.

- **Eficiencia térmica (Nt)**: es la relación entre la bhp entregada por un motor en su volante y la potencia que genera el combustible que consume ese motor.

$$(\%)\,Nt = \frac{bHp}{Q/t} \times 100 \qquad (1.25)$$

Donde:

Q = calor de combustión suministrado por el combustible al quemarse dentro del motor en (BTU o calorías); para calcular Q basta utilizar la siguiente ecuación:

$$Q\,BTU\ o\ cal = m \times Cc \qquad (1.26)$$

Donde:

Q BTU = calor generado en la combustión en BTU o cal.

m = volumen o masa de combustible quemado en un tiempo t.

Cc = calor de combustión del combustible en:

$$\frac{\text{BTU o calorías}}{\text{unidad de masa o volumen}}$$

t = tiempo en el cual se quema la cantidad de combustible que genera el calor Q (en segundos, horas, etc.).

Para transformar el calor Q en unidades de potencia se utiliza la equivalencia:

$$1\ hp\text{-}h = 2.545\ BTU\ ó\ 1\ hp = 2.545\left(\frac{BTU}{h}\right)$$

El consumo de combustible en MCI es uno de los aspectos técnicos más investigados en los últimos años por el alto costo del combustible.

A continuación se darán algunos promedios de consumo específico (ce) para MCI que lógicamente deben usarse con precaución, pues varían según el estado mecánico, las condiciones ambientales, el combustible y el porcentaje de la potencia que esté generando el motor en un momento determinado. Estos consumos específicos son:

Para motores a gasolina

$$Ce_1\,(l/kw\text{-}h) = 2.74\ X + 3.15 - 0.2\sqrt{697\ X} \qquad (1.27)$$

$$Ce_1\,(gal/hp\text{-}h) = 0.54\ X + 0.62 - 0.04\sqrt{697X} \qquad (1.28)$$

Para motores diesel:

$$Ce_2\,(l/kw\text{-}h) = 2.64\ X + 3.91 - 0.2\sqrt{738X + 173} \qquad (1.29)$$

$$Ce_2\,(gal/hp\text{-}h) = 0.52\ X + 0.77 - 0.04\sqrt{738X + 173} \qquad (1.30)$$

Para motores de gas propano:

$$Ce_3\,(l/kw\text{-}h) = 2.69\ X + 3.14 - 0.2\sqrt{646X} \qquad (1.31)$$

$$Ce_3\,(gal/hp\text{-}h) = 0.53x + 0.62 - 0.04\sqrt{646X} \qquad (1.32)$$

Donde:

l = litros.

gal = galones.

kw = kilowatts

Ce_1 = Consumo específico de combustible para motores de gasolina.

Ce_2 = Consumo específico de combustible para motores diesel.

Ce_3 = Consumo específico de combustible para motores de gas propano.

X, en tractores, es igual a la relación existente entre la hp equivalente en el tdf que el motor esté desarrollando y la máxima hp en el tdf del tractor.

Un ejemplo aclarará más este concepto.

Al tractor que aparece en la pruebas de Nebraska, en páginas anteriores, cuya máxima hp a rpm de régimen del motor es 39.11 hp, trabajando en una operación cuyo requerimiento de potencia es del 65% de los 39.11 hp, calcularle su consumo específico de combustible en gal/hp - h.

Solución:

Por tratarse de un motor que trabaja con ACPM (es decir diesel) se usará la ecuación 1.30, y X será 0.65:

$$Ce_2(\text{gal/hp - h}) = 0.52 \times 0.65 + 077 - 0.04 \sqrt{738\ (0.65) + 173}$$

$$Ce_2\ (\text{gal/hp - h}) = 0.086$$

o sea,

$$0.086\ (\text{gal/hp - h}) \times 39.11\ \text{hp} = 3.36\ \text{gal/h}$$

Valor de consumo inferior al tabulado en la prueba de Nebraska para el 100% de la máxima hp a rpm régimen del motor que es de 14.032 l/h o sea 3.712 gal/h; la diferencia es debida a que en nuestro ejemplo sólo se trabaja a un 65% de la máxima hp del tdf. Es importante advertir aquí que no existe una relación lineal (directamente proporcional) entre la potencia utilizada de un motor y su consumo de combustible, ya que en nuestro ejemplo tenemos que:

Para 100% Hp del tdf (39.11 hp) el consumo es de 3.712 gal/h y para el 65% hp del tdf (25.42 hp) el consumo es de 3.36 gal/h., es decir que para una disminución de potencia del 35% sólo se obtuvo una disminución de combustible de

$$\frac{3.712 - 3{,}36}{3.71} = 0{,}09 \text{ o sea del } 9\%$$

Este hecho es debido a que por diseño los motores tienen puntos (potencia) donde son más económicos en consumo de combustibles que en otros. Los consumos específicos de combustible se tabulan en una curva que será analizada en la parte correspondiente a curvas características de los motores, la cual presentamos a continuación:

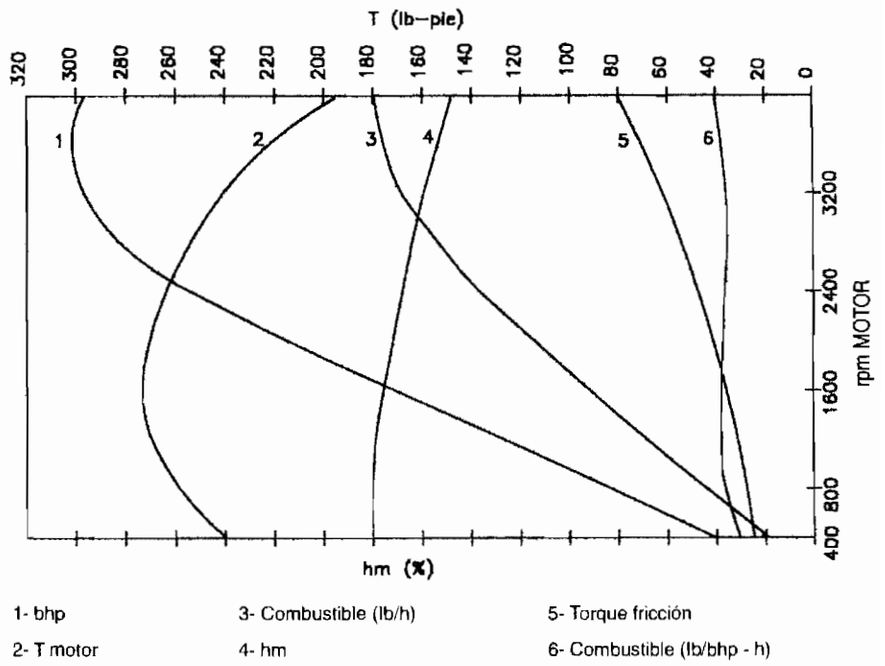


Figura 1.2 Curvas características de un motor de combustión interna

Análisis de la Figura 1.2:

Curva 1. (bhp):

Se nota que para 0 rpm del motor la bhp será 0; a medida que aumentan las rpm, aumenta la bhp, pero no lo hace a gradiente continuo sino en un incremento gradual hasta que la curva alcanza el punto máximo (máx. bhp). A partir de este punto un incremento en las rpm del motor (aceleración) produce un descenso en la curva de bhp debido a dos factores: el tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape es tan corto que no se alcanzan a admitir completamente los gases nuevos (baja eficiencia de admisión) y, además, no se pueden evacuar completamente los gases ya quemados; es decir, el motor trabaja con una mezcla de gases quemados y gases sin quemar. El segundo factor es que la potencia gastada en fricción de las piezas móviles (fhp) aumenta excesivamente debido a la alta velocidad (rpm) del motor y los lubricantes que el motor tiene calculados para más bajas rpm no pueden evitar esta fricción tan alta.

En esta curva existe otro punto notable, la bhp de régimen (de prueba) es menor que la bhp máxima en un 10% a 20%. Por tanto, esta es la potencia que se debe buscar al seleccionar un motor y no la potencia máxima como erróneamente se puede creer.

Curva 2. Torque (T):

Muestra el desempeño del torque del motor cuando varían las rpm (aceleración); se ve que cuando las rpm son bajas, el T también es bajo y es el suficiente para mover el motor sin carga alguna; a medida que las rpm del motor aumentan el T también lo hace, pero no en una forma directamente proporcional hasta alcanzar el punto máximo de T a unas rpm menores que para la bhp máxima, esto es para que cuando el motor se sobrecarge súbitamente y sus rpm disminuyan, su torque aumente y pueda así vencer la sobrecarga.

Curva de consumo de combustible:

Existen en algunos catálogos de motores dos curvas: la de consumo específico de combustible (l/hp - h), (gal/hp - h) y la de consumo total de combustible (gal/h, lb/h, g/h). La más importante de analizar es la curva de consumo específico que muestra una trayectoria curva y presenta su mínimo absoluto en unas rpm que deben estar muy cercanas a las de la velocidad de régimen; se ve, además, que a menores rpm o a más rpm que las de este punto la curva asciende, siendo por tanto menos eficiente el motor en su consumo específico de combustible.

Curva de la potencia de fricción:

Esta potencia es generada por la fricción de las piezas móviles del motor y se incrementa a un ritmo normal al aumentar las rpm; no obstante, cuando la velocidad del motor supera las rpm en que se adquiere la bhp máxima, la curva de potencia de fricción se incrementa a un ritmo muy grande siendo causante en gran parte del descenso en la curva de bhp, debido al incremento de la fricción interna dentro del mismo lubricante. Esto es un argumento más que refuerza el concepto básico: un motor debe operarse en trabajo continuo y plena carga a unas rpm inferiores a la velocidad máxima y nunca superar ésta, pues además de que se le puede causar daño físico al motor, la potencia generada desciende.

1.5 Tiempo

En la administración de la maquinaria el tiempo tiene una gran importancia por su incidencia en la mayoría de los aspectos, tales como: planificación,

mantenimiento, capacidad, costos y otros; por tanto, el conocimiento y control del tiempo son fundamentales para el administrador de maquinaria, especialmente en la maquinaria de campo. A continuación se definirán los diferentes tiempos utilizados en la administración de maquinaria y sus relaciones más importantes desde el punto de vista administrativo.

1.5.1 Tiempo total disponible (ttd en meses, días, horas)

Es el tiempo total calendario disponible en un semestre o en un año para realizar un trabajo determinado. Por ejemplo: dos meses para la preparación y siembra de 500 ha, 1 mes para la recolección de 180 ha de maíz, etc. El conocimiento exacto del tiempo total disponible es necesario pues es la base de la planificación; sin embargo en nuestro medio tropical, las variaciones inesperadas del clima lo hacen muy difícil de calcular y de conocer con anticipación.

1.5.2 Tiempo total de trabajo (ttt en horas)

Es el tiempo total que una máquina requiere o el que se le debe asignar en la planificación para que realice un trabajo determinado; por lo anterior, se le denomina también tiempo de planificación de una máquina. Comprende a su vez los siguientes tiempos:

Tiempo de preparación de la máquina (t_1): es el tiempo en horas que se requiere para la puesta a punto de una máquina desde el momento inicial hasta que esté lista para ser transportada hasta al sitio de trabajo. Aquí se incluyen los tiempos requeridos para actividades como: limpieza, mantenimiento periódico, calentamiento, acople de implementos, abastecimiento de combustible y otros.

Desde el punto de vista administrativo, este tiempo debe reducirse al mínimo posible (pues incide en los costos y en los ingresos) mediante sistemas rápidos para abastecer combustible, agua, aceite y aire para las llantas; además a través del acople y desacople rápidos de implementos, de preparación y dotación de herramientas y equipo adecuado al personal encargado del mantenimiento periódico.

Tiempo de transporte (t_2): como su nombre lo indica, es el tiempo gastado por la máquina en su transporte, bien sea por su propia cuenta o en otro vehículo. Este tiempo que se mide en horas, incide en los costos y en los ingresos, por tanto debe disminuirse hasta donde sea posible. Una de las formas administrativas de lograr esta disminución consiste en suministrar a las máquinas principales, en el sitio de trabajo, aquellos elementos que requieren para su normal desempeño, tales como: implementos, combustible,

lubricantes y otros materiales requeridos (semillas, fertilizantes, etc.), disminuyendo así los viajes de la máquina principal y, por tanto, el tiempo de transporte.

Tiempo operativo (to): es el tiempo que la máquina tiene disponible para realizar un trabajo, comprende desde el momento en el que llega al sitio de trabajo hasta cuando lo termina y está disponible para el viaje de regreso. A su vez, el tiempo operativo se divide en cuatro tiempos:

a. **Tiempo de preparación para el trabajo** (tp): incluye normalmente el tiempo que se gasta en operaciones de preparación para el trabajo, después de terminado el transporte y antes de iniciar el trabajo, tales como: carga de semillas, insecticidas, calibraciones, ajuste de implementos, entre otras. Como los tiempos anteriores, es conveniente reducirlo al mínimo pues ocasiona un costo.

b. **Tiempo para revisiones y calibraciones** (tr): es el tiempo gastado en estas operaciones, durante el tiempo de trabajo, tales como: ajustes y calibraciones de la máquina e implementos, daños mecánicos reparables en el campo, atascamientos, descansos de los operarios, mantenimiento de la máquina e implementos en el campo (lubricación, agua, etc.).

c. **Tiempo de trabajo en vacío** (tv): comprende aquel tiempo que la máquina durante su trabajo normal gasta en vueltas y recorridos por sitios donde no realiza trabajo efectivo, pero que es necesario hacerlo para ejecutar el verdadero trabajo (ver sistema de trabajo).

d. **Tiempo efectivo** (te): es el utilizado para realizar el verdadero trabajo efectivo.

Resumiendo lo anterior tenemos:

$$(ttt) = t_1 + t_2 + to \qquad (1.33)$$

Donde:

ttt = tiempo total de trabajo de una máquina.
t_1 = tiempo de preparación de la máquina.
t_2 = tiempo de transporte.
to = tiempo operativo, que a su vez es igual a:

$$to = tp + tr + tv + te \qquad (1.34)$$

Donde:

tp = tiempo de preparación para el trabajo.
tr = tiempo de revisiones y calibraciones.
tv = tiempo de trabajo en vacío.
te = tiempo efectivo.

1.5.3 Relaciones entre los tiempos

Las principales relaciones entre los tiempos son:

Eficiencia de campo (nc): se define como la relación adimensional entre el tiempo efectivo (te) y el tiempo operativo (to).

$$(\%)\,nc = \frac{te}{to} \times 100 \qquad (1.35)$$

Esta eficiencia es de gran utilidad en los análisis administrativos de maquinaria de campo, pues establece la relación entre el tiempo efectivamente trabajado y el tiempo operativo. Su mayor valor es 1.00 ó 100%, es muy variable según las circunstancias del trabajo; disminuye cuando por mala administración se incrementan tp, tr y tv (ver ecuación 1.34), aumentando así los costos de producción de un trabajo determinado; para disminuir hasta su mínimo posible los valores de tp y tr, se debe efectuar un mantenimiento de máquinas e implementos adecuados y una organización eficiente del trabajo a realizar. Para controlar tv es necesario utilizar el sistema de trabajo más adecuado según la forma, topografía y extensión del terreno a trabajar (ver sistema de trabajo).

Métodos de cálculo de la eficiencia de campo (nc): en vista de la importancia que tiene lograr mejores nc, analizaremos algunos aspectos que se deben considerar en trabajos con maquinaria de campo y que afectan el valor de nc.

El sistema de trabajo: algunos sistemas en redondo producen menores pérdidas de tiempo en vacío (tv), pero no siempre es recomendable efectuarlas.

La forma del terreno: las formas irregulares ocasionan mayores pérdidas de tiempo de vacío (tv) que las regulares, de forma rectangular, que son las que menores pérdidas de tiempo (tv) ocasionan.

El tamaño del terreno en su longitud: en general, a mayor longitud menores pérdidas de tv. Las parcelas cortas ocasionan tv muy alto, debido al gran número de vueltas en la cabecera del lote.

El ancho efectivo de trabajo de la máquina: a mayor ancho efectivo de trabajo menor será la nc, permaneciendo igual las demás circunstancias en máquinas cuyos elementos de trabajo deben ser reaprovisionados (sembradoras, aspersoras, fertilizadoras, entre otros).

La capacidad de los sistemas de almacenamiento de las máquinas: mientras mayor sea la capacidad de almacenamiento (semillas, fertilizantes, herbicidas, etc.) más alta será nc.

Las condiciones del terreno: los residuos de cosechas, piedras, raíces y restos de follaje afectan la nc, disminuyéndola, pues motivan un incremento de tr al aumentar las operaciones de limpieza de los arados, rastrillos, sembradoras, entre otros.

Las condiciones del cultivo: el volcamiento del cultivo, la excesiva presencia de maleza, la densidad de siembra, la producción por planta y otras características propias del cultivo pueden modificar la nc.

La medida de la nc, en el campo, es dispendiosa pero posible, y se puede realizar en dos formas:

a. Midiendo el tiempo perdido en el trabajo (tp + tr + tv) mediante observaciones suficientemente prolongadas en áreas que se puedan considerar representativas de todo el trabajo y luego deduciendo del to la suma de tiempos perdidos para obtener te, que al reemplazarlo en la ecuación 1.35 nos permitirá calcular la nc.
b. Usando la relación entre la capacidad efectiva (ce) y la capacidad teórica (ct) mediante la fórmula:

$$(\%)\,nc = \frac{ce}{ct} \times 100 \qquad (1.36)$$

Donde:

ct = capacidad teórica de la máquina; que a su vez se define así:

$$ct = (a \times v)\,K \qquad (1.37)$$

Donde:

a = ancho teórico o comercial del implemento (m).
v = velocidad teórica de desplazamiento (km/h).
K = 0.1 cuando se desea ct en ha/h.
K = 1.000, cuando se desea ct en m²/h.

Capacidad efectiva de campo (ce): para determinar su valor debe calcularse directamente en el campo, con mediciones de área (ha, m²) trabajada por la máquina en un tiempo específico (te) (h). Es el sistema más acertado para determinar la ce, pero deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que las mediciones de área y tiempo sean representativas, tanto en magnitud como en el tipo de trabajo y de las condiciones del terreno (extensión, forma, topografía, cobertura, entre otras).
- Que la máquina e implementos con los cuales se determina la ce sean representativos de aquellos con los cuales se va a realizar el trabajo. Es de anotar que diferentes potencias y tamaños dan diferentes ce.

Una vez determinadas las extensiones (ha, m²) y tiempos respectivos, que en este caso es un tiempo operativo (to), basta aplicar la siguiente ecuación para determinar la ce.

$$ce = \frac{\text{Área trabajada (has, m}^2)}{t_o\,(h)} \qquad (1.38)$$

Ahora bien, con este valor de ce y el de ct de la ecuación 1.38 podemos obtener nc (%) usando la ecuación 1.36.

Cuando se calcula este valor observando las consideraciones antes anotadas, es muy ajustado a la realidad de una situación específica. Por último, existe otra alternativa para conocer nc (%) y es utilizando tablas donde aparecen coeficientes promedios de nc para diferentes implementos. La utilización de estas tablas debe hacerse con mucho cuidado, teniendo siempre presente que los valores allí anotados corresponden a promedios obtenidos en condiciones que pueden ser muy diferentes a las que se presentan en el trabajo por realizar; por tanto su uso debe ser muy restringido y sólo cuando no exista la posibilidad de calcular nc por el método directo antes anotado.

Los anteriores valores de nc son válidos cuando se usa una sola máquina y/o un solo implemento acoplado a ella. Debido a que existen otras posibilidades (n máquinas en serie o n máquinas en paralelo) a continuación analizaremos las nc para estos casos (nc_1 y nc_2).

- nc_1 para n máquinas iguales en paralelo, movidas simultáneamente por el mismo tractor. En este caso, el valor de nc_1 será:

$$nc_1 = (nc)^n \qquad (1.39)$$

Donde:

nc_1 = es la eficiencia de campo de las n máquinas.
nc = es la eficiencia de campo de cada una de las n máquinas.
n = es el número de máquinas que simultáneamente trabajan en paralelo.

- nc_2 para n máquinas diferentes trabajando simultáneamente en serie y movidas por un solo tractor; se calcula así:

$$nc_2 = nc_a \times nc_b \times nc_c \times \ldots\ nc_n \qquad (1.40)$$

Donde:

nc_a... etc.: es la eficiencia de campo de cada una de la máquinas diferentes.

nc_2 es la eficiencia del conjunto conformado por las n máquinas que trabajan simultáneamente en serie, impulsadas por un mismo tractor.

1.6 Capacidad (C)

La capacidad se define como la relación existente entre el trabajo realizado por una máquina y el tiempo gastado en dicho trabajo. De acuerdo con las unidades utilizadas para medir el trabajo, variarán las unidades en que se exprese la capacidad. La fórmula general para calcularla es:

$$C = T/t \qquad (1.41)$$

Donde:

t = tiempo medio en (h, s, min, días, etc.).

C = capacidad en general de una máquina (las unidades dependen de las usadas para T).

T = cantidad de trabajo realizado por la máquina, medido en área (ha o m^2), cuando son máquinas de trabajo sobre superficies tales como un tractor con arado, rastrillo, cortamalezas, rotavator, entre otras.

Distancia (km): cuando son máquinas móviles para transporte a distancia como: remolques.

Peso (kg, t): cuando se trata de máquinas procesadoras de productos, tales como: trilladoras, molinos, despulpadoras, secadoras, etc.

Volumen (m^3, l, etc.): cuando son máquinas que procesan productos medidos en volumen, tales como: bombas, envasadoras, pasteurizadoras, entre otras.

Unidades: cuando se trata de máquinas que realizan procesos de producción de elementos individuales de características definidas: empacadoras, clasificadoras de huevos, etc.

1.6.1 Capacidad teórica

Se define como la relación entre el trabajo teórico Tt que una máquina puede desarrollar según sus características de diseño, es decir trabajando a un 100% de sus posibilidades de diseño y en el tiempo teórico (tt) que requiere para efectuarlo si no existieran pérdidas de tiempo en su desempeño.

En la operación real de una máquina existen pérdidas tanto en la cantidad de trabajo esperado, desde el punto de vista del trabajo teórico, como en el tiempo teórico. Estas pérdidas pueden ser debidas a:

Pérdida en la cantidad de trabajo teórico: ésta sucede cuando hay pérdida de la cantidad de trabajo, a pesar de que la máquina trabaja normalmente,

debido a necesidades del mismo trabajo, tales como sobrecruces entre dos franjas sucesivas en la rastrillada, en la aspersión, en la siembra en hileras y en otras. En otros casos esta pérdida en la cantidad de trabajo puede deberse a condiciones diversas: cambios en la calidad del material a procesar, deficiencias en el suministro del material a procesar. Por lo anterior, en operación de una máquina existirá un trabajo real (Tr) menor que el Tt y desde el punto de vista administrativo es importante conocer la relación en porcentaje entre Tr/Tt, o sea la eficiencia de trabajo (nT) para tratar de adoptar medidas que aumenten la nT hasta su máximo posible.

Pérdidas en el tiempo teórico (tt): el tiempo teórico (tt) asignado a una máquina para la realización de un trabajo (Tt) se ve disminuido en la gran mayoría de las máquinas debido a factores tales como:

- Detenciones del trabajo por varadas leves, calibraciones, desatascadas y otros.
- Descanso de los operarios con trabajos en vacío de la máquina.

Nota: en maquinaria de campo el tt se asimila al tiempo operativo (to).

Por lo anterior, tanto el trabajo teórico (Tt) como el tiempo teórico (tt) se ven normalmente reducidos a una fracción de sus valores y quedan convertidos en Tr y tr, así:

$$Tr = (Tt) \times nT \qquad (1.42)$$

$$tr = tt \times nc \qquad (1.43)$$

Donde:

nc = eficiencia de campo.

nt = eficiencia del trabajo.

ó sea:

nc(%) = te/to × 100, según la ecuación (1.35).

En las ecuaciones anteriores el tr de trabajo es muy difícil de medir, pues exigirá múltiples observaciones que a la larga producirían errores; no obstante, el tt se puede determinar fácilmente midiendo áreas, longitudes, volúmenes, pesos, etc.; para obtener los valores de tr debe procederse así:

a. Medir el tt asignado.
b. Medir el Tr obtenido.
c. Obtener el Tt (mediante tablas, catálogos, etc.).
d. Establecer la siguiente relación:

$$Cr = Tr/tt \qquad (1.44)$$

Esta ecuación, cuando se analiza maquinaria de campo, se convierte en la ecuación 1.38, pues Tr se convierte en el área trabajada.

Donde:

Cr = capacidad real de trabajo de la máquina.

Tr = trabajo real efectuado por la máquina en un tiempo teórico asignado (tt).

Por definición podemos obtener la capacidad teórica de la máquina mediante la siguiente ecuación:

$$Ct = Tt/tt \qquad (1.45)$$

Donde:

Tt se obtiene por observación directa del ancho teórico (at) de la máquina (en máquinas de superficie: arados, rastrillos, sembradoras, entre otras).

Capacidad de procesamiento teórico (ct en l/h, t/h, etc.).

Velocidad teórica de viaje (para máquinas móviles). Aquí es interesante recordar que el patinaje, sobre todo en terrenos agrícolas, afecta notoriamente la velocidad teórica, reduciéndola en un porcentaje variable (ver patinaje).

Cuando la determinación de Tt es muy difícil de obtener por observación directa, debe recurrirse a las tablas y catálogos de los fabricantes, teniendo siempre presentes las siguientes consideraciones:

- Los datos de Tt y/o Ct allí consignados son para máquinas trabajando en condiciones promedio de mantenimiento y tipo de trabajo. Por tanto, pueden variar significativamente para otras condiciones diferentes.
- Cuando existen datos reales (históricos) para máquinas iguales o muy similares en la misma empresa o en otras, deben preferirse estos a los datos de manuales y/o de tablas.
- La mejor forma de obtener la Cr o el Tr es por medición directa, estos datos deben primar sobre cualesquiera otros, siempre y cuando se observen durante su medición las mismas consideraciones anotadas anteriormente (ver capacidad efectiva de campo).

Cuando se trata de determinar Cr para maquinaria de campo, existen dos parámetros fundamentales que analizaremos a continuación:

Ancho de trabajo real (ar): se define como el ancho (m, cm) del trabajo que realiza el (los) elemento (s) de trabajo del equipo (discos, escardillos, cuchillas, etc.); por tanto, difiere del ancho comercial (mínimas medidas para usos de embalaje) y puede ser igual, mayor o menor que el ancho teórico, ya que el ancho teórico al trabajar efectua un trabajo que mide diferentes anchos (a) del elemento que lo realiza debido a sobrecruces, a trabajos en vacío, entre otros.

Para aclarar este aspecto veamos un ejemplo. Asumamos que se trata de una sembradora cuyas medidas comerciales son: ancho 3m; largo 2m; alto 1m. Estas medidas significan que el guacal o volumen que ocupa para fines de transporte o almacenamiento es a × l × h. Además, sabemos que tiene 4 elementos de siembra de separación variable en una barra de longitud 3m; con base en este dato podremos obtener el ancho de trabajo teórico máximo, así:

Ancho: 3 m

Largo: 2 m

Altura: 1 m

Hacemos máxima la separación entre elementos de siembra 2.70 m/3 espacios = 0.9 m entre elementos, y obtenemos el ancho de trabajo teórico máximo igual a 3 m. Para otras separaciones entre elementos de siembra, obtendremos otros anchos de trabajo teórico.

Ahora bien, supongamos que en el campo operaremos la máquina con un ancho teórico de trabajo de 3 m y 0.9 m de separación entre elementos. Ver Figura 1.3.

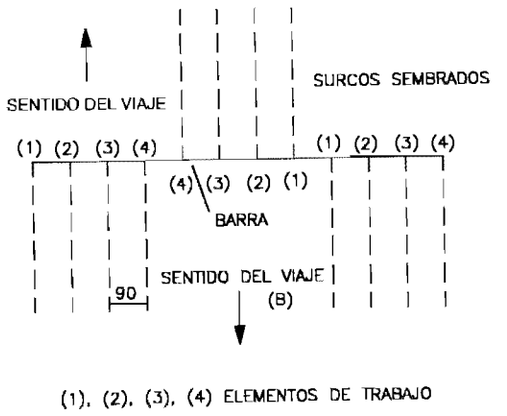


Figura 1.3 Ancho real de trabajo de una sembradora.

$$(m)\ ar = at + 2\,(0.45)\ (m) \therefore ar = 2.70 + 0.9 = 3.6m$$

Donde:

ar = ancho real.

at = ancho teórico.

Aquí se ve claramente que existen diferencias entre los anchos teóricos y los reales de algunas máquinas. En conclusión, esta máquina tendrá:

Ancho comercial: 3 m
Ancho teórico trabajo: 2.70 m
Ancho real trabajo: 3.60 m

Velocidad real de trabajo: en maquinaria de trabajo de campo este parámetro y su medición pueden ser muy importantes como base para cálculos económicos y administrativos.

Existe para cada implemento un rango de velocidad dentro del cual realiza su trabajo en óptimas condiciones; por tanto, cuando el implemento, o los elementos de trabajo tienen su propio motor (autopropulsado) o es tirado por otra fuente de potencia (tractor generalmente), el operario debe proporcionar la velocidad requerida por el implemento; las máquinas móviles traen en su manual de operación o en su tablero de instrumentos indicaciones concretas que relacionan las rpm del motor con el cambio en la caja de velocidades, para proporcionar una velocidad de desplazamiento determinada; por ejemplo: un tractor que a 2.200 rpm del motor y en un cambio de tercera alta (3a) desarrolla 6 km/h de velocidad teórica de viaje. Pues bien, cuando este tractor trabaja bajo estas condiciones en el campo, supongamos con un arado, la velocidad teórica de 6 km/h se ve afectada por el patinaje de sus llantas sobre el piso (ver patinaje ecuación 1.8 de este mismo capítulo) y este patinaje reduce la velocidad teórica convirtiéndola en una velocidad real de viaje menor, según la siguiente ecuación:

$$Vr = Vt\,(1-p) \qquad (1.46)$$

Donde:
Vr = velocidad real de viaje.
Vt = velocidad teórica de viaje.
p = patinaje (ver ecuación 1.8) en decimal.
Supongamos en nuestro ejemplo que:
Vt = 6 km/h
p = 20% - 0.20
Vr = (6 km/h) (1- 0.20) = 6 x 0.8 = 4.8 km/h

Como se puede ver en el ejemplo anterior, en condiciones de campo existen diferencias sensibles entre las velocidades teóricas y reales.

Para asumir y clarificar todos los conceptos anteriores sobre capacidad, a continuación dividiremos las máquinas en grupos, según la forma de calcular la capacidad, así:

1.6.2 Capacidad de máquinas móviles continuas

Se refiere a máquinas que se desplazan continuamente mientras realizan su trabajo. En este grupo están las que realizan trabajos sobre superficie: arados, rastrillos, sembradoras, cultivadoras, entre otras. Para éstas, el cálculo de la capacidad efectiva (Ce) se hace así:

$$Ce(ha/h) = ar\,(m) \times Vr\,(km/h) \times nc\,(decimal) \times 0.1 \qquad (1.47)$$

Donde:
Ce = capacidad efectiva de campo.
ar = ancho de trabajo real.
Vr = velocidad de viaje real.
nc = eficiencia de campo.
0.1 = factor de conversión de unidades.

1.6.3 Capacidad de elementos de transporte

Para analizar la capacidad de máquina cuya función básica es transportar carga, debemos definir algunos parámetros:

Eficiencia de ocupación (no): se define como la relación entre la distancia viajada con carga (dc), multiplicada por la relación entre la carga transportada y la carga máxima posible del vehículo (X), y la distancia total viajada (dt). Se calcula mediante la ecuación:

$$no\,(\%) = dc/dt \times X\,(decimal) \qquad (1.48)$$

Donde:
dc = distancia viajada con carga.
dt = distancia viajada sin carga.
X = relación entre carga transportada y carga máxima (en decimal).
La no total será la suma de no ida + no venida. Veamos un ejemplo:

Un tractor que tira remolques cañeros con una capacidad máxima de carga de 20 toneladas, viaja de ida 4 km con 18 t de carga, y regresa hasta el sitio inicial con sólo 5 t de carga.

Aplicando la ecuación 1.48 para el viaje de ida:

$$no\,(decimal)\ ida = \frac{4\ km}{8km} \times \frac{18\ t}{20\ t} = 0.45$$

$$no\,(decimal)\ venida = \frac{4\ km}{8\ km} \times \frac{5\ t}{10\ t} = 0.125$$

Por tanto, la no total será: 0.45 + 0.125 o sea el 57.5%.

Capacidad efectiva de máquinas de transporte (Cet): se define como la relación (decimal o porcentual) entre el peso de la carga transportada (Wc) por la distancia viajada (d) y el tiempo (t) usado en dicho transporte.

Matemáticamente se expresa así:

$$(\%)\ Cet = \frac{Wc \times d \times no \times 100}{t} \qquad (1.49)$$

Donde:

Cet = capacidad efectiva de transporte (%).

Wc = capacidad máxima de carga de la máquina (kg).

d = distancia viajada en el tiempo (t).

t = tiempo total de viaje (h), es decir, incluye el tiempo de las demoras, varadas, cargue y descargue.

no = eficiencia de ocupación.

La ecuación 1.49 puede modificarse así:

$$(\%)\ Cet = Wc \times Vp \times no \qquad (1.50)$$

Donde:

Vp = velocidad promedio de viaje. Es de anotar que en la mayoría de los casos la Vpc (con carga) es diferente a la velocidad sin carga (vacío) Vpv.

1.6.4 Capacidad de máquinas estacionarias

Estas máquinas, ampliamente usadas en el sector agropecuario y agroindustrial, tienen capacidades muy variables según las características de diseño, material que procesan y estado general de operación (mantenimiento, habilidad del operario, tiempo de duración de un ciclo de trabajo, edad de la máquina y otros); por tanto, los valores dados, por los fabricantes de la capacidad de estas máquinas, deben ser tomados con mucha precaución por los administradores; de ser posible, se deben realizar mediciones periódicas que permitan obtener las capacidades reales de trabajo, determinando la cantidad de trabajo real y el tiempo utilizado en dicha labor.

1.7 Tamaño de las máquinas

El tamaño de una máquina es la medida (en cualquier unidad adecuada de longitud, volumen o peso) que tiene el elemento que realiza el trabajo. Existe una relación entre capacidad y tamaño, pero no es directamente proporcional. Por ejemplo, un rastrillo de tiro excéntrico de 3m de ancho de trabajo teórico

(tamaño), con una capacidad teórica de campo de 2 ha/h o 0.5 h/ha no necesariamente tiene una capacidad correspondiente a la mitad de un rastrillo de tiro excéntrico de 6m de ancho. La razón es que la capacidad es una función del tamaño, pero además de otras variables (velocidad, sistemas de trabajo, entre otras). Sin embargo, en otros tipos de máquinas como los remolques, el tamaño (t) se puede confundir con la capacidad (t); en otro caso como en el de un tractor y un motor, la capacidad (hp) se confunde también con el tamaño (hp).

1.7.1 Tamaño mínimo

Se define como la menor dimensión del elemento de trabajo requerida por una máquina para poder realizar el trabajo asignado o planificado. El tamaño mínimo está relacionado con la capacidad de la máquina, por tanto para calcularlo debe despejarse de la ecuación que liga estas dos variables. Ejemplo:

Para una máquina móvil que trabaje en una superficie como un arado, con capacidad efectiva Ce (ha/h), que debe realizar un trabajo (X ha) en un tiempo operativo to (h), su tamaño mínimo se calculará así:

Planteamos la ecuación de Ce en función de V_T, at, nc.

$$Ce\ (ha/h) = Vt\ (km/h) \times at\ (m) \times K \times nc\ (decimal) \qquad (1.51)$$

Donde:

Ce (ha/h) = la capacidad efectiva de campo en ha/h que debe tener el arado. En este caso Ce será igual a X ha/t (h).

Vt (km/h) = la velocidad teórica de viaje. Recuerde que esta velocidad se selecciona con las rpm del motor y un cambio en la caja de velocidades.

at (m) = el ancho teórico del implemento, dato que se obtiene del manual técnico.

K = un factor de conversión de unidades. En este caso para convertir:

$$\frac{km}{h} \times m \quad a \quad \frac{ha}{h} \text{ su valor es } \frac{km}{h} \times \frac{1000m}{1\ km} \times m \times K$$

Despejamos el tamaño del implemento de la ecuación 1.51. En este tipo de máquina el tamaño será el ancho teórico del arado, o sea, at.

$$at\ (m) = \frac{Ce(ha/h)}{Vt(km/h) \times K \times nc} \qquad (1.52)$$

Reemplazando Ce por su valor, tenemos:

$$at\ (m) = \frac{X\ ha/to\ (h)}{Vt\ (km/h)(K)\ (nc)} \qquad (1.53)$$

Si en la ecuación 1.53 reemplazamos las variables por valores concretos para mayor claridad, tendremos:

X = 100ha
to = 300 h
Vt = 7 km/h
nc = 70%

$$at\ (m) = \frac{100ha/300h}{7km/h \times \frac{1}{10} \times 0.7} = 0.68m$$

Si analizamos este resultado podremos observar lo siguiente:

- El tamaño mínimo, o sea el ancho teórico mínimo del arado requerido es de 0.68 m.
- Si un disco cubre como ancho teórico 0.34 m, requeriremos de un arado de dos discos, pero si la cobertura es menor, digamos 0.32 m, requeriremos tres discos.
- Si por razones comerciales sólo encontramos un arado de tres discos con cobertura (ancho teórico/disco) de 0.30 m, tendríamos un ancho teórico total de 0.90 m y al reemplazar este valor en la ecuación 1.53, podríamos obtener un to menor o una Vt menor o una mezcla de ambos; pero reducir la Vt es ilógico desde el punto de vista técnico, pues el arado requiere una velocidad mínima para realizar bien su trabajo; por tanto, lo lógico será reducir el to que quedará así:

$$to\ (h) = \frac{X}{at \times Vt \times K \times nc} = \frac{100}{0.9 \times 7.0 \times \frac{1}{10} \times 0.7} = 226h$$

Aparentemente la solución encontrada es aceptable, pero debe tenerse presente que un implemento como el arado debe ser movido por un tractor, y por tanto, la potencia del tractor debe estar de acuerdo a la potencia requerida por el implemento seleccionado para evitar sobrecargas en el tractor o desperdicio de potencia.

$$\frac{ha}{h} \times \frac{10.000\ m^2}{ha} = \frac{1000\ m^2}{h} \times K = \frac{10.000\ m^2}{h} \quad K = \frac{1}{10}$$

1.8 Sistemas de trabajo

Al analizar la capacidad efectiva de una máquina móvil continua, cuyo trabajo es sobre el terreno, hemos establecido que dicha capacidad se representa como una función de (Vt, at, nc) la ecuación 1.51 pues bien, asumiendo como parámetros Vt y at, encontramos que nc es muy variable para una misma máquina, esta variación depende de muchos factores y entre ellos sobresale, por su importancia económica, el tiempo perdido en vueltas y en viajes en vacío; estos a su vez dependen de la forma como se desplace sobre el terreno la máquina al efectuar el trabajo.

A continuación analizaremos las formas más usuales de realizar este movimiento y lo denominaremos "sistema de trabajo". El sistema de trabajo para usar en un trabajo determinado depende de:

- La forma y tamaño de la parcela.
- El tipo y el tamaño de la máquina.
- La necesidad de adoptar métodos para proteger el suelo contra la erosión.
- El uso de riegos y drenajes que determinan ciertas formas de trabajo.
- La orientación de los cultivos.

Los principales sistemas de trabajo son: en amelgas y en recodo.

1.8.1 Trabajo en amelgas

Se denomina amelga a un área de terreno de forma rectangular y de dimensiones a (m) ancho y b (m) longitud; cuando la forma del terreno total a trabajar se presta, este es uno de los métodos de trabajo más comúnmente usado. En el sistema de trabajo en amelgas existen dos métodos que se denominan alomando y hendiendo.

Alomando. En este método el trabajo con máquina se inicia por el centro de la amelga y se gira siempre a la derecha. Al terminar el trabajo, en el centro de la amelga queda un surco (en la operación de la arada) que se denomina lomo de tierra o contrasurco (al colocarse un corte del arado sobre el terreno sin arar); esta irregularidad se disminuye posteriormente en las rastrilladas (Figura 1.4).

Hendiendo. Este método consiste en iniciar el trabajo de la amelga por un costado virando siempre hacia la izquierda, quedando al final del trabajo, en la parte central de la amelga, un surco hendido, es decir sin ser cubierto con la tierra arrojada por el surco contiguo (Figura 1.5).

Giros en la cabecera: en ambos métodos los giros en vacío se realizan en las cabeceras de la amelga, la cual debe tener la mínima dimensión posible (C) m, de acuerdo a las características de la máquina (tamaño y radio de giro).

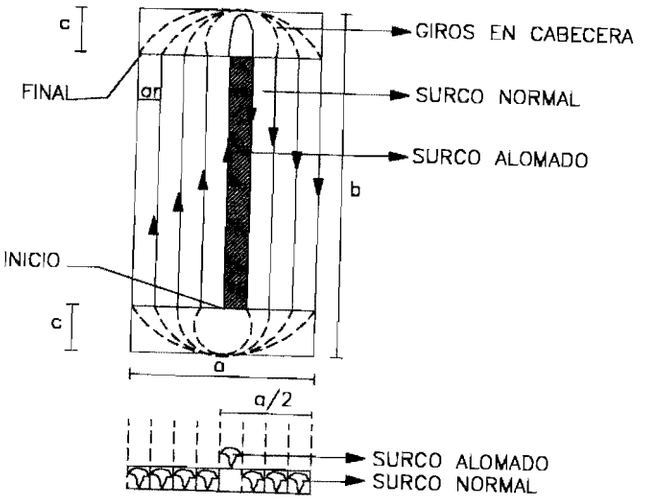


Figura 1.4 Sistema de trabajo en amelga (alomando).

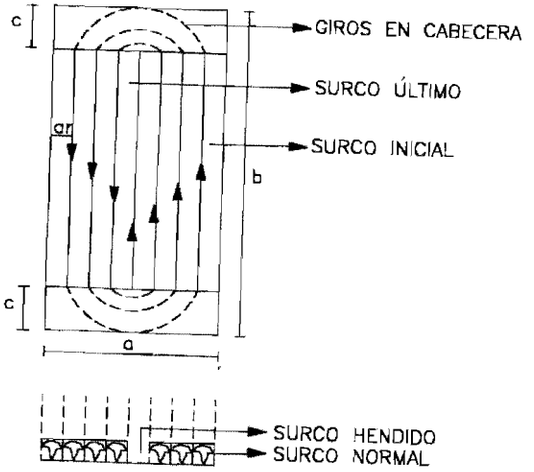


Figura 1.5 Sistema de trabajo en amelga (hendiendo).

Número óptimo de amelga (m): el número óptimo de amelgas que se pueden conformar en un terreno rectangular de a (m) de ancho x b (m) de longitud, será aquel que haga mínimo el tiempo operativo (to) para realizar el trabajo en ese terreno.

En una parcela en la cual se ara en amelgas sucesivas alomando, el número (m) óptimo se calcula así:

$$m = \frac{a}{(2 \times ar \times b)^{1/2}} \qquad (1.54)$$

Donde:

a = ancho total de la parcela (m).
ar = ancho real de trabajo de la máquina (m).
b = longitud de la amelga que se asume será recorrida en un solo pase por la máquina.

Cuando en la misma parcela se adopta el método de trabajar alternadamente amelgas, alomando y hendiendo, el número m, será:

$$m = 0.5 + 0.5 \frac{a}{(ar \times b)^{1/2}} \qquad (1.55)$$

Si analizamos las fórmulas 1.54 y 1.55 podremos deducir que:

- m es directamente proporcional al ancho total de la parcela a trabajar (a).
- m es inverso a la raíz cuadrada del ancho efectivo de la máquina (ar) y de la longitud (b) de la amelga, que en este caso es igual a la distancia recorrida por la máquina en un solo pase, es decir con una sola vuelta en vacío en la cabecera.
- Con relación a b, representa la longitud o distancia recorrida por la máquina con una sola vuelta en vacío en la cabecera; no siempre dicha longitud puede ser igual a la longitud de la parcela, esto especialmente cuando la máquina es cosechadora o tiene depósitos de semilla, fertilizante, herbicida, entre otros, en cuyo caso debe tenerse un cuidado especial para que la máquina no deba vaciar o llenar su depósito en la mitad del recorrido, lo cual la obligaría a desplazarse hasta el sitio de carga o descarga con trabajo en vacío.

Cuando existe la posibilidad de descargar y cargar en cualquier sitio mediante máquinas auxiliares, debe hacerse así y seleccionar b lo más larga posible, pues esta alternativa disminuye las vueltas en vacío de las cabeceras, lo que reduce el tiempo operativo.

– Al obtener m se podrá determinar a, simplemente dividiendo el ancho total de la parcela (a) por m:

$$ar = \frac{a}{m} \qquad (1.54)$$

Con relación a este valor a, en metros, se debe tener en cuenta que es necesario reajustarlo para que sea un múltiplo de ar y así evitar que se produzcan viajes de la máquina con cubrimiento parcial de ar.

1.8.2 Trabajo en recodo

Este sistema de trabajo consiste en dar vueltas con la máquina en forma paralela a los lados o al perímetro de la parcela. Cuando el terreno es rectangular, las vueltas se harán con giros en ángulos de 90°, lo cual trae como consecuencia franjas no trabajadas (meniscos) debido a la imposibilidad de muchas máquinas de hacer este tipo de giros; así secede en las cosechadoras que dejan estos meniscos sin cosechar o deben reversar para poder hacerlo y en los arados que no pueden trabajar durante el giro y, por lo tanto, deben interrumpir en estos sitios su labor; en este último caso, la zona formada por los meniscos debe realizarse al final del trabajo, por lo cual se asimila a la zona de cabecera del sistema de amelgas.

CAPÍTULO 2

Costos

2.1 Introducción

Los costos se definen como los recursos incurridos o sacrificados por parte de la empresa con el fin de alcanzar un objetivo; éstos, al ser cuantificados, se convierten en las unidades de valor económico por adquirir, bienes y/o servicios. Bajo este concepto se pueden encontrar múltiples sistemas o formas de calcular los costos de algo, por tanto se debe tener presente la subjetividad que un costo tiene, de acuerdo a la finalidad o uso que se requiera.

Desde el punto de vista práctico los costos se orientan para facilitar la toma de decisiones bien sean a corto, mediano o largo plazo. Como en la administración de maquinaria las decisiones son múltiples, se considera que la naturaleza de éstas señala la forma como debe estructurarse el costo respectivo.

Por la importancia que, para el análisis económico-administrativo, se le confieren a los costos en este texto, se recurrirá, donde sea posible, a recomendar la conformación de los "centros virtuales de costos", sistema que permite mucha claridad en el cálculo de los costos de la maquinaria, cuando esta es un elemento involucrado dentro del sistema productivo de una empresa, circunstancia que es muy común, buscando siempre que la maquinaria sea analizada no solamente como un origen de costos sino también como un origen de ingresos. De esta manera se pueden medir mejor las utilidades y la rentabilidad específicas de la maquinaria que le permitan al administrador tomar decisiones correctas sobre edad de reemplazo, capacidad óptima, utilización óptima y otras no menos importantes.

2.2 Clasificación

Se analizarán a continuación las principales clasificaciones que reciben los costos de maquinaria, para que una vez conocidas, podamos enfrentar los temas posteriores relativos a los métodos y técnicas de costeo.

2.2.1 Según la naturaleza de los recursos

Para analizar una actividad productiva se requieren, lo que podríamos denominar, 'elementos básicos', que son: materiales, mano de obra, capital y tierra, entre otros.

2.2.1.1 Materiales

Son todos los bienes utilizados por la empresa en la realización de la actividad productiva, sean materias primas o elementos ya procesados o terminados con los cuales se realiza un ensamblaje y se obtiene un producto final. Los materiales son un factor importante en el costo de producción; el mayor problema para cargarlos como costos directos de producción es la valoración cuando existen en depósito del almacén de la empresa y han sido comprados con precios diferentes; en este caso se recomiendan los siguientes sistemas para su valoración en el momento de ser utilizados:

Precios promedio: se obtienen al dividir el valor total de las existencias en una fecha determinada de todos los materiales del tipo requerido, entre la cantidad de unidades existentes en esa misma fecha. Este sistema se subdivide en: precios promedio constantes y precios promedio periódicos.

Precios promedio constantes: este método consiste en que cuando ingresa un lote de elementos al almacén de depósito se calcula su precio promedio por el método general antes descrito, en la fecha de entrada, y ese es el precio del elemento que sale entre esa fecha y la próxima de entrada de otro lote; en caso de que el precio de este último sea diferente al promedio, se calculará un nuevo precio de salida y así sucesivamente.

Precios promedio periódicos: en este caso, a diferencia del anterior, el precio promedio se mantiene fijo durante un período de tiempo determinado, fijado de acuerdo a criterios empresariales y al conocimiento de la variabilidad de precios de compra del artículo. Al finalizar dicho período se calculará y fijará un nuevo precio promedio, por el método general antes descrito, para un nuevo período, y así sucesivamente.

Precios según primeras entradas-primeras salidas (PEPS): este método consiste en aplicar precios a los artículos que salen, de acuerdo al orden de los artículos que primero entraron o se compraron, hasta cuando se agoten las existencias de ese primer lote; cuando esto suceda, se aplicará un precio a los que salen, igual al precio de compra del segundo lote y así sucesivamente.

Cuando se habla aquí de artículos que entran o salen de un lote, se hace referencia al precio, mas no a los artículos en sí; ya que el orden en que se consuman los artículos depende de factores tales como perecibilidad y otros; en el caso de artículos que no tengan limitaciones de almacenamiento, el orden de consumo lo determinará libremente el almacenista.

Precios según últimas entradas-primeras salidas (UEPS): consiste en valorar los artículos que salen del almacén de acuerdo con los precios de las últimas compras, hasta agotar las existencias; con este método se reinicia un ciclo, siempre valorando los artículos que sale con los precios de la última compra. Este sistema es muy adecuado para épocas de inflación de precios.

Precios fijos estándar: se aplica cuando las fluctuaciones de los precios de compra de los artículos son muy conocidas; consisten en fijar un precio único que más o menos coincida con dichas fluctuaciones; éste se aplica a todos los artículos que salen para uso en la empresa.

Precios de reposición: este sistema consiste en valorar todos los artículos que salen para uso en la empresa con valor de reemplazo de los mismos en el comercio en la fecha de salida, sin considerar para nada el precio en que fueron comprados. En caso de alta inflación de precios, y cuando se desea o requiere un costo de producción actualizado, es el mejor método de todos. La diferencia entre el valor de salida menos el de entrada, creará un fondo de reserva de capital para cubrir el incremento de los precios de los nuevos artículos por comprar. El mayor problema que muestra este sistema consiste en que fiscalmente no es aceptable la existencia de este fondo de reserva, debiéndose, por tanto, cargar al final del período dicha reserva a las utilidades obtenidas en el período.

2.2.1.2 Mano de obra

Es la medida (en unidades de trabajo o unidades de valor) del esfuerzo humano necesario para lograr la realización de la actividad productiva.

2.2.1.3 Otros

Comprende todos los elementos restantes de costos (que no sean materiales ni mano de obra) necesarios para lograr la realización de la actividad productiva y se conocen con el nombre de 'gastos de fabricación indirectos'; por ejemplo: servicios (agua, luz, teléfono, arriendo, impuestos, entre otros), depreciaciones de máquinas, equipos y edificios.

2.2.2 Según el tipo e identificación del costo

Los costos se clasifican en directos e indirectos.

2.2.2.1 Directos

Son los costos que se pueden identificar especialmente en su aspecto físico o en su valor con un producto, departamento o dependencia en particular; por tanto, existen materiales y mano de obra directos cuando para un producto o dependencia es posible registrar y cuantificar la cantidad y el valor de los materiales y de la mano de obra requeridos específicamente por el producto o la dependencia en análisis.

2.2.2.2 Indirectos

Estos costos se denominan genéricamente como 'gastos' y son los que no se pueden identificar específicamente con un producto o dependencia; tal es el caso del costo del trabajo del gerente de planta que, por relacionarse con múltiples productos, no se puede identificar con uno en particular y, por tanto, se clasificará como un costo de mano de obra indirecta o administrativa según el caso.

La mayoría de los costos indirectos se comportan como fijos; sin embargo algunos de ellos son variables. Los costos indirectos se dividen en tres clases: materiales indirectos, mano de obra indirecta y otros costos indirectos.

Materiales indirectos: son aquellos materiales o materias primas que se utilizan en forma común para varios productos y, por tanto, son de muy difícil o imposible identificación respecto de un producto en especial.

Mano de obra indirecta: son aquellos costos que se originan en salarios, sueldos, bonificaciones, entre otros, pagados al personal que no realiza una función específica atribuible a un producto en especial o a una dependencia, sino que la naturaleza de su actividad está relacionada con varios o todos los productos en un período, tal es el caso de los supervisores y auxiliares. La clasificación depende mucho de las características del trabajo de la persona y de la empresa. Por ejemplo, un jefe de mecánicos que tiene a su cargo los mecánicos de la sección de mantenimiento o servicio, esto bien puede clasificarse como mano de obra indirecta para los servicios que presta la sección o bien como personal administrativo de la sección. Lo único que cambia es la tabulación contable del gasto originado, pero de todas maneras este recurso erogación será un costo indirecto para los servicios del área, pues su trabajo no puede identificarse directamente con ningún producto en particular.

Otros costos indirectos: comprender aquellos recursos que siendo necesarios para la producción, no son posibles de cargar a un producto o dependencia en particular. En este gasto están comprendidas las depreciaciones de máquinas y equipos, las amortizaciones, la energía eléctrica, los combustibles para calderas, entre otros.

Desde la perspectiva contable, el conjunto formado por los costos indirectos de materiales, mano de obra y otros costos indirectos, se conoce como: gastos de producción, gastos de fabricación o gastos indirectos.

2.2.3 Según el comportamiento del costo

Los costos se pueden clasificar en variables, fijos y semivariables.

2.2.3.1 Variables

Son los costos que aumentan o disminuyen en relación con el volumen de producción; pero además, deben tener las siguientes características:

- Ocurrirán o se ocasionarán solamente cuando exista producción y no cuando, a pesar de estar establecida la empresa, no haya producción.
- La relación de variación entre el costo variable y la producción debe ser directamente proporcional.

Para poder clasificar un costo como variable, este debe reunir simultáneamente ambas características.

2.2.3.2 Fijos

Llamados costos constantes o de período, son los que permanecen constantes dentro de un período determinado, es decir, son independientes del nivel de producción (insensible al volumen). A su vez, dentro del costo fijo se pueden tener dos clasificaciones: fijos discrecionales, que son aquellos que pueden modificarse; y los fijos comprometidos o sumergidos que son los inmodificables en un lapso de tiempo. Este último concepto sobre la imposibilidad de modificar un costo en un tiempo limitado merece analizarse, pues es admitido como cierto que en un período de tiempo variable en magnitud, según las características propias de la empresa, todos los costos son variables y, además, sólo en períodos determinados los costos son inevitables (sumergidos). Es posible que un costo sea necesariamente fijo durante un año, pero al cabo de este tiempo puede disminuirse, aumentarse o eliminarse.

Estos costos fijos tienen una gran incidencia en los costos totales de la maquinaria de campo debido, fundamentalmente, al estrecho margen de

tiempo anual de uso de la maquinaria; por tanto, se recomienda que el administrador los aísle claramente para así poder analizarlos en forma continua y busque la forma de trabajarlos en períodos próximos o diluirlos con un mayor tiempo de uso anual.

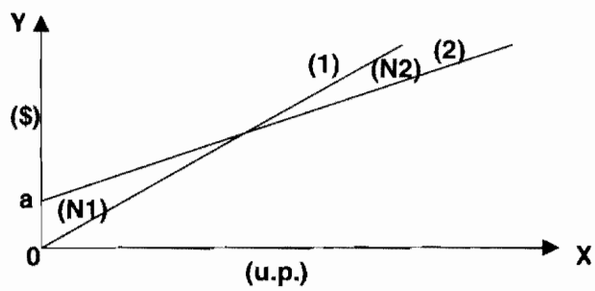
2.2.3.3 Semivariables

Son aquellos costos que contienen una parte fija y otra variable, en este caso están comprendidos ciertos salarios que contienen una base fija y otra variable en función de la producción generada y también ciertos servicios públicos, como el teléfono. Estos costos se denominan también costos MIXTOS y normalmente no son bien determinados por los analistas. Se dividen en lineales, por etapas y curvilineos, siendo los dos primeros los más comunes en maquinaria.

Lineales (ver Figura 2.1): se representan como rectas que cortan el eje vertical ($) en un valor fijo a, por tanto corresponden a la ecuación $Y = a + bX$, siendo:

a : costo fijo para producción = 0

b : pendiente de la recta (gradiente de variación entre costo ($) y producción (u.p.)).



(1) Costos variables

(2) $Y = a + bx$ (costos semivariables)

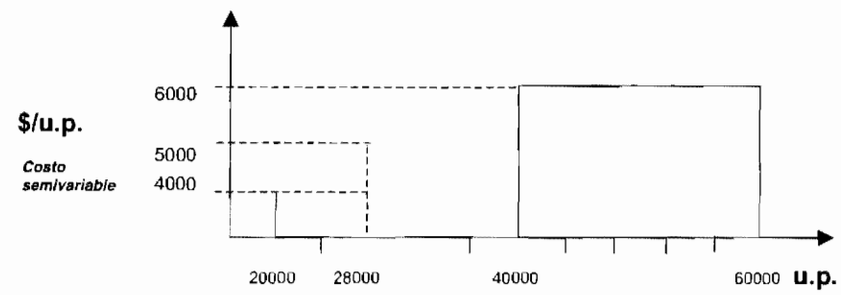
Figura 2.1. Costos semivariables lineales.

En la Figura 2.1 se observa que mientras los costos variables parten del origen, los semivariables parten de a (costo fijo correspondiente).

En la zona N_1 de baja producción, los costos variables son menores que los semivariables y en cambio en la N_2 de alta producción, los costos variables son mayores. Esta diferencia en función de la producción refuerza la necesidad de clasificar los costos semivariables y no confundirlos con costos variables.

Por etapas: se denominan costos semivariables por etapas aquellos que aumentan o disminuyen conforme aumenta o disminuye la producción (ver Figura 2.2).

Se puede observar en la Figura 2.2 que el costo permanece fijo para cierto intervalo de producción, pero cuando se sobrepasa este nivel el costo aumenta a otra escala y permanece fijo para un rango de producción, y así sucesivamente. La gran dificultad para determinar este costo está en definir con claridad dónde se inicia y dónde termina una etapa.



Unidades producidas	Costos semivariables $/u.p.
20.000 - 28.000	4.000
28.000 - 40.000	5.000
40.000 - 60.000	6.000

Figura 2.2 Costos semivariables por etapas.

2.2.4 Según la función

Esta clasificación de costos opera en aquellas empresas donde las diferentes divisiones administrativas son centros de costos. El criterio bajo el cual una empresa crea centros de costos es muy amplio obedeciendo, fundamentalmente, a las necesidades de organización y control empresarial. Sin embargo, las dependencias más comúnmente establecidas como centros de costos son: producción, servicios, distribución, ventas y administración.

2.2.4.1 Producción

Es la dependencia o división administrativa donde se concentra la elaboración de los productos que la empresa vende. Algunos ejemplos son:

En empresas pecuarias: los galpones de aves, cerdos, el establo, la sala de incubación, entre otras. En empresas agroindustriales: la planta donde se efectúa el procesamiento. En empresas agrícolas de campo: los terrenos donde se producen los cultivos y las áreas donde se transforman los productos.

2.2.4.2 Servicios

Esta división comprende a todos aquellos servicios que se prestan a la misma empresa, como mantenimiento de instalaciones, de máquinas y de edificios. Es fundamental para la maquinaria, pues allí se concentran los servicios de reparación, mantenimiento e instalación de nuevos servicios. Es generalmente un área de servicios técnicos para toda la empresa; debido a que externamente se pueden contratar servicios que reemplacen los de esta división, es ideal que esta sea un centro de costos para así poder comparar sus costos con los que se consiguen externamente.

A pesar de lo anterior, algunas empresas reúnen sus dependencias de producción y servicios en una sola, impidiendo así un análisis más profundo del área de servicios en lo relativo a sus costos; este análisis es deseable independientemente del tamaño de la empresa, ya que el valor que alcanza el servicio de mantenimiento específicamente en máquinas y equipos puede ser muy alto, por tanto debe estar sometido a continuo análisis por parte de la administración.

2.2.4.3 Ventas

Este centro de costos reúne los recursos que el producto origina por la acción de la venta del mismo, tales como propaganda, comisiones y sueldos, viáticos y gastos de viajes de los vendedores. Generalmente se puede encontrar asociado a la división administrativa de distribución que reúne los costos originados por transporte, almacenamiento y promoción del producto a vender.

2.2.4.4 Administración

En este centro de costos se reúnen los salarios, prestaciones, bonificaciones y otros del personal administrativo de la empresa que no haya sido incluido como mano de obra indirecta en los otros centros de costos, tales como: gerente, secretarias, celadores, aseadoras, mensajeros, almacenista general y personal de contabilidad.

Otros gastos administrativos son los recursos también denominados gastos generales, tales como: servicios, útiles de oficina, útiles de aseo, arriendo de oficinas y edificaciones no específicas de otro centro de costo; además de los impuestos, seguros y amortizaciones (tomando aquí el significado específico de las cuotas diferidas de amortización e inversiones para la instalación y puesta en marcha, estudios de prefactibilidad, factibilidad y otros). Por tanto, no se incluyen aquí las amortizaciones de capital invertido en máquinas y equipos.

2.2.5 Según el método de producción

Dependiendo del método de producción de la empresa, los costos se clasifican en costos con base en órdenes de producción y costos por procesos.

2.2.5.1 Costos con base en órdenes de producción

Se utilizan especialmente en empresas de transformación que, por medio del ensamblaje de partes, logran un producto final para la venta, tales como las industrias automotriz, del muebles y textiles, entre otras. Aquí también pueden agruparse las empresas que venden servicios, tales como las de alquiler de maquinaria en el sector agropecuario y empresas productivas de lotes discretos como las agroindustriales y de alimentos, particularmente, en los casos de producción de un lote de alimentos con características especiales.

2.2.5.2 Costo por procesos

Es útil para las empresas de transformación que modifican o adicionan con otros materiales una materia prima mediante un proceso continuo. Aquí pueden agruparse la mayoría, con pocas excepciones, de las empresas del sector agropecuario que requieren procesos productivos.

Como ejemplos podemos mencionar:

- Las empresas agroindustriales que usan maquinaria de procesos para transformar y adicionar sus materias primas, tales como plantas de lácteos, de cárnicos, de concentrados, beneficiaderos de café, trapiches paneleros y otros.
- Las empresas del sector pecuario que también usan diferentes máquinas para sus procesos transformativos, tales como: empresas de incubación, mataderos de aves, empresas productoras de cerdos, de vacunos, empresas de lechería mecanizadas y otras.
- Las empresas del sector agrícola de campo que utilizan diversas máquinas para preparación de suelos, siembra, mantenimiento, cosecha y procesos básicos de poscosecha.

Debido a la importancia que muestra para la maquinaria de las empresas agrícolas, pecuarias y agroindustriales, el método de costeos por procesos será estudiado en detalle en este texto.

En el método de costeo por proceso se cargan los elementos de costo que corresponden a un período dado al o a los procesos que en la empresa tengan lugar durante ese mismo período. Cuando al final del período analizado quedan en proceso algunos elementos, estos se deben convertir en equivalentes de productos terminados; por ejemplo, si 100 elementos quedan sin terminar y su costo de producción en el momento de terminar el período es de 0.25 del costo total, esos 100 elementos incompletos serán equivalentes a los 25 completos y como tal se deben tabular para efectos de los costos del proceso.

En las empresas que trabajan por procesos es muy difícil identificar, en cada unidad producida, sus elementos de costo primo (materiales y mano de obra directas), por tanto deben cargarse como costos primos del proceso, y al dividir el costo total del proceso entre las unidades producidas se obtiene el costo total unitario.

Cuando en una empresa existen varios procesos para un mismo producto en el período de tiempo analizado, el proceso de costeo es así:

Supongamos que para producir el artículo X se necesitan realizar tres procesos que son: proceso I, proceso II y proceso III; la contabilización del costo total del artículo será:

$$\text{Costo total artículo X} = \begin{array}{l} \text{costos totales proceso I} \\ + \text{ costos totales proceso II} \\ + \text{ costos totales proceso II} \end{array}$$

Es decir, el costo total del proceso I se acumula para el II y así sucesivamente hasta el proceso final.

Cualquiera que sea la clasificación o mezcla de clasificación que una empresa use para sus costos, la finalidad que se busca es conocer en forma oportuna y lo más exacto posible el costo de producción del (los) artículo(s) por vender.

2.3 Etapas de la estimación del costo de un producto o de un proceso

Antes de analizar las diferentes técnicas de costeo, se estudiarán las etapas que deben realizarse para la estimación del costo de un producto o proceso determinado. Estas etapas deben ser las siguientes:

2.3.1 Determinar claramente el artículo o proceso al que se de estima su costo

En general existen dos grandes alternativas a estimar:

- Costo - tiempo de trabajo ($/t).
- Costo - unidad producida ($/u.p.)

La selección de cuál de estas dos alternativas, dependerá de la necesidad del analista, pero no siendo excluyentes, se podrá calcular una a partir de la otra, haciendo uso de la capacidad de la máquina para producir un artículo determinado.

2.3.2 Desglosar la unidad o proceso a costear, seleccionada en la etapa I hasta llegar a la lista de partes que la conforman

Esto es válido, sobre todo, para el caso en el que el elemento a costear sea un producto y no un tiempo.

2.3.3 Determinar los costos de los materiales que lo constituyen

Estos costos parciales incluyen:

- Precio de compra de los productos componentes que se ensamblan en el producto final.
- Precio de los materiales directos que se compran para añadirles valor agregado.
- Precio de los materiales de empaque que necesita el producto final para su venta.

2.3.4 Determinar la secuencia de las operaciones parciales que se hacen para la obtención de la unidad costeada y con base en esta secuencia hacer una lista completa de éstas

Este análisis es más exacto cuando se basa en la observación del proceso real, que cuando se hace en los proyectos de ingeniería, pues debido a circunstancias propias de la empresa se pueden presentar desviaciones necesarias o aconsejables en el proceso.

2.3.5 Estimación de tiempos de preparación y operación

Es la base para determinar los costos de mano de obra; lo primero que debe hacerse es recurrir a estándares históricos y confiables de mano de obra en la misma empresa o, en su defecto, en empresas similares y en último caso debe hacerse una aproximación con base en observaciones del analista.

El tiempo medido debe incluir tanto el tiempo de preparación de operarios o máquinas antes de iniciar el proceso como el tiempo gastado en la propia ejecución del trabajo. Esta medida puede variar a través del tiempo,

pues la práctica disminuye el tiempo hasta ciertos límites, por tanto debe ser periódicamente determinado hasta obtener un dato confiable de horas-máquina y de horas-hombre por producto, que en muchos casos son diferentes, tales como cuando un operario trabaja simultáneamente con varias máquinas, en este caso se deben promediar las horas para cada producto o proceso.

Al valorar las horas-hombre deben considerarse tanto el salario básico como las prestaciones del trabajador.

Con base en los datos obtenidos en las etapas 2.3.1 a 2.3.5 es posible conocer la mano de obra directa, los materiales directos y otros costos directos del proceso o producto a costear. Muchas empresas costean de esta forma, o sea que sólo obtienen lo que se denomina costo primo o directo de producción del producto, proceso o centro de costos (ver Figura 2.2).

A partir de la etapa 2.3.6 se determinan los gastos o costos indirectos de producción, servicios, administración, ventas y distribución.

2.3.6 Determinación de los gastos de producción

Debido a que estos gastos de producción son costos indirectos, no deben cargarse a un producto o proceso con base solamente en los datos suministrados por contabilidad, ya que éstos son muy simplificados y no permiten hacer prorrateos a cada proceso o producto; un área de producción que trabaje con varios productos o procesos no puede cargar como gasto de producción un promedio, ya que normalmente cada proceso o producto tendrá sus propios requerimientos de máquinas, equipos, mano de obra indirecta, entre otros que hacen necesario seleccionar una tasa de absorción de gasto (TAG) y una unidad básica (u.b.) adecuada para que el prorrateo del gasto sea equitativo al producto o proceso costeado. En el numeral 2.4.1 de este mismo capítulo se estudiarán en forma más amplia los diferentes criterios para seleccionar y usar TAG y u.b. para productos o procesos.

Cuando al costo primo se le adiciona la parte correspondiente del gasto de producción calculado en esta etapa, se obtiene el costo de producción del producto o proceso (ver Figura 2.3).

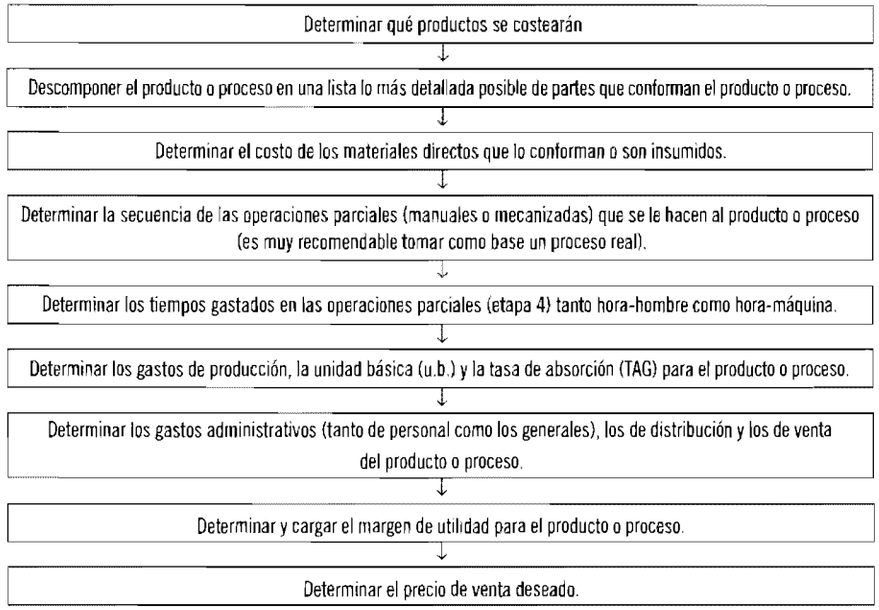


Figura 2.3 Etapas para la determinación de un costo total de producción y precio de venta de productos o proceso.

2.3.7 Determinación de los gastos administrativos, de ventas y de distribución

En esta etapa se determinan los otros costos indirectos (gastos) de administración, ventas y distribución, que al sumarse con el costo de producción nos da el costo total del producto o proceso. Sin embargo, muchas empresas no suman los gastos administrativos, de ventas y de distribución al costo de producción, sino que prefieren cargarlos al estado de pérdidas y ganancias al final del período. Solamente cuando la empresa requiere un costo total del producto o proceso se prorratean los gastos de administración, de distribución y de ventas con base en presupuestos (para costos proyectados) y/o en costos históricos (para costos reales). Debe anotarse una sobrevaloración de los inventarios, pues dichos gastos no han sido totalmente causados por el producto o proceso en análisis.

2.3.8 Determinar y cargar el margen de utilidad y elaborar el precio de venta deseable

Esta es la etapa final en la cual se asigna un margen de utilidad por quien (es) le corresponde en la empresa. Algunos criterios básicos para ello son:

- Se debe considerar como un porcentaje (%) sobre el costo total del artículo o proceso, pero en realidad quien determina este margen es la competencia o el precio del artículo o producto cuando éste es fijado por algún medio externo (fijación de precios de sustentación por el gobierno u otros).
- El margen de utilidad debe reflejar la inversión de capital (mano de obra, materiales, etc.) que se hizo para producirlo y por tanto, distintos productos podrán tener márgenes de utilidad diferentes. El precio de venta deseado se obtiene sumando al costo total el valor del margen de utilidad.

Las etapas anteriores se pueden representar mediante el diagrama de la Figura 2.4:

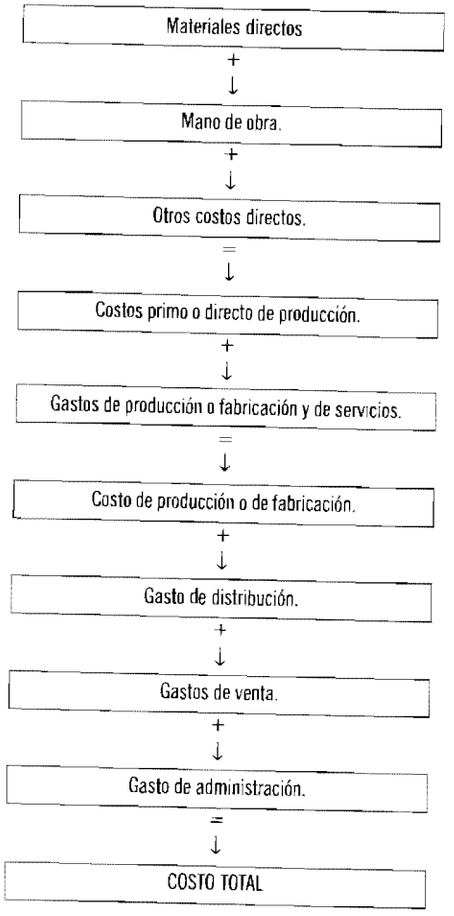


Figura 2.4 Estructuración del costo total por absorción total.

2.4 Técnicas de costeo

Existen diversas formas o técnicas de costeo según las necesidades que tenga el analista de costos, estas son: **costeo por absorción, costeo marginal o variable o directo y costeo estándar,** aquí sólo analizaremos las dos primeras por ser las de mayor utilidad en procesos o productos mecanizados.

2.4.1 Costeo por absorción total

Se denomina así a la técnica de costeo que incluye todos los costos y todos los gastos en la determinación del costo total de un producto o servicio. Con este sistema de costeo se busca encontrar un costo total en el momento que la administración de la empresa así lo requiera. La importancia y necesidad de lo anterior saltan a la vista y son requisito para fijar precios de venta adecuados. En la Figura 2.3 podremos analizar el flujo de los diferentes elementos que conforman el costo total por este sistema. Como se puede observar en la Figura 2.3, la estructuración del costo primo o directo de producción se obtiene sumando los materiales directos, más la mano de obra directa, más otros costos directos; es decir, otras erogaciones que no sean mano de obra ni materiales, pero que pueden identificarse plenamente con el producto final como electricidad, gas, arriendo, impuestos y otros.

El costo de producción (fabricación) se obtiene sumando el costo primo, los gastos de producción o fabricación y los de servicios. En este caso los gastos de producción son indirectos y por tanto, debe establecerse un sistema que permita prorratearlos de forma equitativa. Este sistema generalmente se hace en dos etapas:

Primera etapa: prorratearlos a los diferentes centros de costos de la empresa.

Segunda etapa: prorratearlos entre el total de artículos producidos en un período determinado.

Existirán, para cada centro de costos, costos indirectos de producción que son identificables plenamente con un centro en particular. En este caso deberá cargarse completamente el costo a dicho centro sin necesidad de prorrateo. Cuando esto no sucede, el costo indirecto deberá prorratearse entre todos los centros que hayan ocasionado el costo y para ello deberá seleccionarse una base adecuada de distribución del costo, como la que se propone a continuación:

Costo de producción indirectos	Base de distribución
Arriendo.	Área ocupada por el centro de costos.
Reparación y mantenimiento de edificios.	Área ocupada por el centro de costos.

Seguro de las edificaciones.	Área ocupada por el centro de costos.
Impuestos prediales y valorización.	Área ocupada por el centro de costos.
Gastos de restaurante.	Número de usuarios del centro de costos.
Aportes al ISS, SENA, ICBF.	Valor de la nómina del centro de costos.
Depreciación y seguros de maquinaria.	Valor de los activos en maquinaria y equipos del centro de costos.
Gastos de iluminación.	Número de lámparas en el centro de costos.
Gastos de energía (ACPM, gasolina, electricidad, gas, etc).	Potencia instalada (hp, kw) en el centro de costos.

Una vez calculado el valor de la parte del costo de producción indirecto que corresponde a cada centro de costos, se procederá a cargarlo a dicho centro. El valor así deberá en una segunda etapa prorratearse entre todos los elementos producidos por dicho centro mediante el cálculo de la tasa de absorción o recuperación del gasto (TAG), que se obtiene dividiendo el gasto del centro durante el período por una unidad básica apropiada para ese centro, o sea:

$$TAG = \frac{G}{u.b} \times \frac{\$}{u.b} \qquad (2.1)$$

Donde:

TAG = tasa de absorción del gasto para un centro de costo.

G = gasto total del centro en un período determinado.

u.b. = unidad básica seleccionada como adecuada para el centro.

Aparentemente el sistema resulta sencillo, una vez se seleccione en forma adecuada la u.b. para el centro de costos. La selección se hace de acuerdo con las características del centro, y existen los siguientes métodos:

Unidades de producción: las unidades de producción procesadas y/o ensambladas por un centro de costos pueden servir de u.b. en muchos centros, siempre y cuando sean homogéneos. En el caso de existir dos o más unidades diferentes se impide el uso de esta unidad como unidad básica (u.b.), pues existiría un cargo injusto de gastos al asignar valores de gastos iguales a unidades de bajo precio de venta y de alto precio. El problema que esto crea es no sólo lo

arbitrario de la asignación, sino también la distorsión que se crea en los costos de producción y por tanto en los precios de venta de los productos.

Horas de mano de obra directa: este sistema es adecuado para los centros de costos que producen varios artículos diferentes, siempre y cuando exista una relación directa entre el tiempo gastado en el proceso (mano de obra directa), el uso de los gastos de fabricación y el precio de venta del artículo.

El cálculo de la tasa de absorción de gastos (TAG) es:

$$TAG = G/h \qquad (2.2)$$

Donde:

G = gasto total ocasionado por el centro en el período ($).

h = horas de mano de obra directa trabajadas en el centro.

A partir de la obtención de la u.b. ($/hora), este valor se cargará por igual a todos y cada uno de los productos que procese el centro por cada hora de trabajo de mano de obra directa que haya requerido el artículo en dicho centro. El ejemplo siguiente aclarará más este concepto:

Supongamos que dos artículos, A y B, se procesan en un mismo centro de costos y que la tabulación correspondiente es:

Elemento de costo	Producto A	Producto B
1. Materiales directos	100	200
2. Mano de obra	300	700
3. Total horas de mano de obra directa gastadas en A y B = 10 horas	3	7
4. Total de gastos del centro durante el período de fabricación de A y B = $500	150	350

Cálculos:

1. TAG = G/u.b. según la ecuación (2.1):

TAG = 500/10 = 50

$$\frac{\$}{\text{h mano de obra directa.}}$$

Donde:

G = 500 ($)

u.b. = 10 horas (mano de obra directa).

2. Gastos del centro imputados a cada artículo:
   G.A. = 3 x 50 (mano de obra directa)($/h mano de obra directa) = 150
   G.B. = 7 x 50 (mano de obra directa)($/h mano de obra directa) = 350
3. Gasto de producción de los artículos A y B.
   G.P.A. = 150 + 100 + 300 = 550 ($)
   G.P.B. = 350 + 200 + 700 = 1250 ($)

Horas-máquina: en centros de costos donde el tiempo en horas-máquina es más significativo que las horas-hombre, a causa de la alta automatización del sistema de proceso del artículo, se prefiere seleccionar como u.b. las horas-máquina. Por tanto, la TAG en este caso será:

$$TAG = G/h.m \qquad (2.3)$$

Donde:

TAG = tasa de absorción gastos ($/hora-máquina).

G = gasto total del centro durante el período de proceso analizado.

h.m = horas-máquina gastadas o presupuestas en el proceso del (los) artículo(s).

Costo de los salarios: cuando se selecciona el costo de los salarios como u.b., la TAG se calcula así:

$$TAG = G/S \qquad (2.4)$$

Donde:

G = gasto total del centro durante el período.

S = monto total de los salarios por mano de obra directa presupuestada u ocasionada.

Materiales directos: cuando el costo de los materiales directos es seleccionado como u.b. por la importancia relativa que muestra este valor con respecto a los otros elementos de costo del producto procesado en este centro de costos, la TAG se calcula así:

$$TAG = G/M.D. \qquad (2.5)$$

Donde:

M.D = costo de los materiales directos.

Costo primo: existen casos en los cuales la importancia relativa de los materiales directos y de la mano de obra directa son muy similares en cuanto a su costo; caso en el cual se toma el costo primo como u.b. y la TAG se calcula así:

$$TAG = T/C.P \qquad (2.6)$$

Donde:

C.P = costo primo del producto procesado en dicho centro de costo.

Una vez determinada la TAG del (los) centro(s) de costo por donde fluye el producto en la empresa se unirán las TAG resultantes con el costo primo para obtener el costo de producción o fabricación.

La etapa que sigue dentro de la estructuración del costo total de un producto consiste en calcular y asignar los gastos de distribución, ventas y administración en una forma adecuada y equitativa.

Para calcular el monto del gasto por distribución, ventas y administración, se debe recurrir al presupuesto asignado, para el período, a dichas áreas, pues aún en el caso de estar calculando costos reales u ocasionados, los gastos de estas áreas, para un intervalo de período (supongamos un mes), pueden ser muy diferentes a la doceava parte del gasto total anual. Nuevamente, aquí es conveniente recalcar la importancia de un presupuesto adecuado y real como base indispensable para un buen cálculo de costos. Las formas de prorrateo de los gastos por los conceptos anteriores son muy variables, pues dependen de las características de la empresa y del producto, ya que cuando hay diferentes productos los gastos por distribución y ventas pueden ser muy variables para cada artículo, siendo en general más homogéneo el gasto administrativo correspondiente a cada artículo. En resumen, es difícil determinar la forma de prorrateo de los gastos administrativos, de distribución y ventas, dejando por tanto la decisión al analista quien debe basarse en un buen juicio y conocimiento del producto y de la empresa en general.

Cumplidas las etapas anteriores se obtiene el costo total de un producto que sumado con el margen de utilidad (generalmente expresado como un porcentaje sobre el costo total) conforma el precio de venta esperado del producto.

2.4.2 Costeo marginal

Llamado también costeo directo o variable; consiste básicamente en asignar como costos de producción (al elemento analizado) solamente los costos variables, tanto directos como indirectos, dejando todos los costos fijos (directos e indirectos) para cargarlos al período. Por tanto, al producto sólo se les cargarán los costos directos de mano de obra, de materiales y otros y los indirectos variables (variables de producción). Los costos indirectos fijos de producción y los gastos de distribución, ventas y administración se cargarán sólo al final del período en el Estado de Resultados de la empresa. Como se puede observar por

lo anterior, la técnica de costeo directo es más simple de calcular que el costeo por absorción, pero no permite obtener un costo total de producción.

La ventaja que tiene el sistema de costeo marginal al dividir los costos en fijos y variables es que le permite realizar a la administración análisis como la contribución marginal de un producto, de gran importancia en la fijación de un precio de venta como veremos más adelante.

2.4.2.1 Bases para el costeo variable

Antes de entrar a determinar la forma de realizar un costeo variable es conveniente repasar algunas bases o conceptos que ayudarán para la comprensión del sistema:

Costeo marginal (Cmg): se define como el costo de producción en el que se incurre para producir una unidad adicional de un producto. Matemáticamente se calcula como la primera derivada del costo total de producción.

$$Cmg = \frac{d\,(C.T.)}{d\,(u.p.)} \qquad (2.7)$$

Donde:
Cmg = costo marginal ($/u.p.)
C.T. = costo total de producción ($)
u.p. = unidades producidas.

Costo medio (CM): se define como el costo unitario y se obtiene al dividir la suma de los costos de producción de todas las unidades producidas, entre dichas unidades, o sea:

$$CM\ (\$/u.p.) = \frac{C.T.(\$)}{u.p.} \qquad (2.8)$$

Donde:
CM = costo medio de producción.
C.T. = costo de producción, suma de todos los costos de producción del período.
u.p. = total de unidades producidas durante el período.

Contribución marginal (cm): se define como la diferencia entre el precio de venta de un producto (p.v.) ($/u.p.) y sus costos variables (c.v.) ($/u.p.), es decir:

$$CM\ (\$/u.p.) = (p.v. - c.v.)\ (\$/u.p.) \qquad (2.9)$$

Esta cm es de gran utilidad, pues significa que al vender un producto por p.v. cuando el mismo ha tenido unos costos variables (c.v.), éste producto deja una cm que contribuye a cubrir los costos fijos del período en el que fue producido; por tanto, a medida que aumenta el número de unidades producidas (u.p.) en el período, las suma de sus cm ($/u.p.) podrán alcanzar a cubrir la totalidad de los costos fijos, y a partir de esa producción cualquier número de unidades que se produzcan aportarán sus cm como utilidad del período.

Ejemplo: si en un período se producen n(u.p), con un costo fijo para el período (CF) ($) y con un costo variable (c.v.) $/u.p. y un precio de venta (p.v.) $–u.p., tendremos:

Si CF = (p.v. - c.v.) n, tendremos utilidad igual a cero. En este caso la producción de la empresa estará en un punto de equilibrio.

Si CF > (p.v. - c.v.) n, tendremos pérdidas en el período.

Si CF < (p.v. - c.v.) n, tendremos utilidades en el período.

Estas utilidades serán:

$$U = (p.v. - c.v.)\ n - CF \qquad (2.10)$$

Una vez conocida la cm, los CF y el número n de productos a producir en un período, se podrán tomar decisiones administrativas tales como:

- Descuentos sobre precio de venta de los productos, basándose en las utilidades (U) que se esperan recibir en esos períodos.
- Número mínimo (n min) de unidades que bajo esas condiciones de p.v. y c.v. se deben producir para obtener la utilidad (U) en el período.

Este análisis será ampliado posteriormente en el tema "punto de equilibrio".

2.4.2.2 Cálculo del costo de producción por la técnica del costeo marginal

Para obtener el costo de producción mediante esta técnica de costeo, se procede de la siguiente manera:

- Se calculan los costos de producción de un producto o de un proceso según el caso, en costos fijos y costos variables. Algunas veces esta clasificación se dificulta por la presencia de costos semivariables, en cuyo caso debe separarse la parte fija de la variable y sumarse a los respectivos costos fijos y/o variables.
- Organizar los costos ya clasificados en la etapa anterior de la siguiente forma:

Costos variables de producción...($X_1+X_2+X_3+X_4$).

Costeo variable	- Materiales directos.	X_1
	- Mano de obra directa.	X_2
	- Otros costos directos de producción.	X_3
	- Indirectos variables de producción.	X_4

Costos fijos ...($X_5 + X_6 + X_7$)

- Indirectos fijos de producción.	X_5
- Distribución y ventas.	X_6
- Administración.	X_7

Analicemos en el ordenamiento la localización de algunos elementos de costo de la maquinaria:

Caso: maquinaria de campo propia de la empresa utilizada en un proceso productivo de cultivos de la misma empresa, donde el costo del cultivo se calcula por la técnica de costeo variable; lo que se cosecha del cultivo es lo que se vende.

- Materiales directos: normalmente los costos de maquinaria no intervienen en el costo de materiales directos, ya que aquí se incluyen los insumos (materia prima) que se consumen o gastan en el proceso productivo; la maquinaria es normalmente un activo fijo insumible en varios procesos productivos, y no en uno sólo.
- Mano de obra directa: aquí deben incluirse los salarios y prestaciones sociales legales y extralegales de los operarios y auxiliares de la maquinaria que intervienen en el proceso productivo: tractoristas, operarios del riego, operarios de las máquinas de cosecha, de transporte y procesamiento del producto (s) a vender, pero solamente en el caso de que la maquinaria operada por estos trabajadores sea exclusivamente para un solo proceso o producto, durante un tiempo conocido. En caso contrario, que es el más común por la gran versatilidad que normalmente tienen estas máquinas o por la multiplicidad de productos que estas empresas producen, lo más lógico será clasificar esta mano de obra como indirecta variable de producción, utilizando como sistema de unidad básica (u.b.) el de horas máquina.
- Otros costos directos de producción: son los costos de combustible y energía eléctrica en algunas máquinas cuando es determinable plenamente su consumo, mediante contadores o controles de otro tipo; a su vez, la máquina en su trabajo se identifica plenamente con un solo proceso o producto en particular durante un tiempo determinable. En el caso de que ambas condiciones se cumplan, dichos costos son clasificables como "otros costos directos de producción". En caso contrario, se debe clasificar como "costo indirecto de producción variable", utilizando como u.b. las horas-máquina.
- Indirectos variables de producción: analicemos los dos casos posibles:

Caso A: la maquinaria es específica para un solo producto o proceso. En este caso, los costos variables de producción serían:

- Depreciación: cuando el uso anual de la maquinaria supere el punto de igualación y por tanto, la cuota de amortización es un costo variable.
- Mantenimiento.

Caso B: la maquinaria es usada para varios procesos o productos en forma indiscriminada; en este caso, los costos variables de producción serán:

- Depreciación: usando como u.b. para prorrateo las horas-máquina en cada uno de los procesos o productos donde interviene la maquinaria.
- Mantenimiento.
- Indirectos fijos de producción.
- Mano de obra indirecta.
- Alojamiento.
- Seguros.
- Impuestos.

CAPÍTULO 3

Costos operativos en maquinaria

3.1 Definición

Se denomina costo operativo en maquinaria al valor de un determinado servicio de la máquina, considerándola en forma aislada del proceso productivo general de la empresa. En el capítulo anterior se demostró que la máquina forma parte integral de todo un proceso productivo y por tanto, sus costos hacen parte de los costos de producción de un elemento o producto empresarial; generalmente, son costos indirectos de producción. Esto es lo normal en toda empresa que use maquinaria, pero debido a la importancia relativa que el costo de maquinaria representa en el contexto del costo total de producción en la mayoría de las empresas, se considera conveniente aislar el costo operativo de la maquinaria de los demás costos de producción y analizar por separado los elementos que lo conforman, para poder ejercer un análisis y control más efectivo sobre ellos; y una vez calculado el costo operativo, usarlo como base en la toma de decisiones administrativas, tales como determinar tamaño óptimo, edad de reemplazo, valoración de máquinas usadas, alternativas de financiación y alternativas entre alquiler y compra, que son posibles de análisis acertado siempre y cuando se fundamenten en unos costos operativos reales, los cuales a su vez sólo se obtienen cuando la maquinaria, cualquiera que sea su función en la empresa, se constituye en un centro de costos y los elementos que conforman éste son correctamente analizados y cuantificados.

3.2 Formas de calcular el costo operativo de máquinas

Los costos operativos se pueden clasificar en costos operativos reales u ocasionados y costos operativos proyectados.

3.2.1 Costos operativos reales

Denominados también ocasionados o históricos. Como su nombre lo indica, corresponden a los costos en que realmente ha incurrido la maquinaria

durante un período determinado. Sin embargo, es interesante anotar que cuando el costo operativo se calcula por el método de absorción total y cuando se desea conocer su valor en un tiempo intermedio antes del fin de un período, lo cual es muy común, deberán algunos elementos del costo ser asumidos mediante presupuestos proyectados. Un ejemplo aclarará este concepto: deseamos conocer en febrero el costo operativo real de una máquina en una empresa, y para ello existen tabulaciones de todos los elementos. Al calcular el costo hasta febrero puede existir el siguiente problema: los gastos administrativos y de mano de obra indirecta tabulados como reales pueden que no equivalgan a la doceava parte del gasto anual para estos renglones, y por tanto existen dos alternativas:

a) Considerar los que hasta el momento hay tabulados, a sabiendas de su inexactitud.
b) Utilizar la proyección para todo el año, específicamente, en estos elementos y los que tengan similares características, prorratear para los dos meses (enero y febrero) y utilizar este promedio proyectado como real. En ambos casos podrán existir factores de inexactitud en el costo calculado.

3.2.2 Costos operativos proyectados

Son aquellos que se elaboran para un período de tiempo futuro, generalmente para tratar de determinar cómo será el posible comportamiento del costo de una máquina. Son muy difíciles de calcular especialmente en períodos de alta inflación y, para estructurarlos, el analista generalmente se basa en estándares históricos de máquinas similares en la misma empresa o de otras empresas que tengan características parecidas, en cuanto al tipo de máquinas y sus condiciones de trabajo y mantenimiento. Cualquiera que sea la información para proyectar costos, el analista enfrentará grandes incertidumbres para determinar su valor real, por tanto al usarse deben ser tomados con precaución e interpretarse más como un índice del futuro comportamiento del costo, que como valor real a obtener. Por todo lo anterior, es muy difícil establecer parámetros de comparación válidos entre el costo proyectado y el real que obtendrá la máquina en el mismo tiempo. Para proyectar costos se utilizan estándares tanto en mano de obra como en maquinaria, obtenidos por experiencia anterior en la empresa, lo cual puede ser muy exacto en algunos tipos de máquinas y operarios calificados en empresas como las agroindustriales y algunas pecuarias, pero en las que usan maquinaria de campo existen grandes problemas para cuantificar con exactitud dichos estándares debido básicamente a:

- Grandes variaciones en la capacidad real y en la eficiencia de una misma máquina de un terreno a otro, aún en la misma empresa.
- Gran variación en los métodos de trabajo de campo debido, a su vez, a la diversidad de las formas, topografía, clase y estado del suelo a trabajar, aun en una misma empresa.
- Deficientes y aun inexistentes sistemas de control de tiempos de la máquina y de los operarios en muchas empresas.
- Deficientes sistemas de mantenimiento de la maquinaria de campo que rebajan la confiabilidad de las mismas.
- Deficientes o inexistentes sistemas de incentivos o bonificaciones para operarios de las máquinas, a pesar de que es uno de los pocos métodos de autocontrol válido para las condiciones de trabajo de campo.
- Técnicas de planificación inadecuadas y la variabilidad de nuestro clima que afecta notablemente aun a las planificaciones bien elaboradas.
- Desconocimiento en muchos de nuestros profesionales y de los operarios sobre técnicas de calibraciones y velocidades de los implementos y máquinas de campo.

A pesar de todo lo anterior, las empresas que tienen registros organizados para tabular durante períodos largos los estándares de sus máquinas y operarios de campo pueden obtener promedios de tiempos, capacidades de campo y eficiencias reales, que les permiten bajo unas condiciones dadas calcular los costos proyectados con una buena exactitud.

3.3 Elementos que conforman un costo operativo

Un costo operativo, independiente de la forma de cálculo, lo conforman los siguientes elementos:

3.3.1. Depreciación

Se define como la pérdida de valor de un activo tangible, excepto la tierra, debido al deterioro físico y/o desgaste causado por su uso (abrasión, golpes, vibraciones y rupturas) o por su no uso (agentes externos como corrosión) en un período determinado; el deterioro trae como consecuencia la disminución de la capacidad física del activo para prestar los servicios y productos para los cuales fue diseñado y construido; además de lo anterior, existe otro tipo de depreciación no causada por deterioro sino por pérdida de capacidad funcional debido a obsolescencia tecnológica que la hace ineficiente y antieconómica; cuando por avances tecnológicos una máquina debe ser reemplazada sin terminar su vida económica, ésta pérdida súbita

de valor se considera como depreciación por obsolescencia. Por tanto, se podrá tener depreciación por uso, no uso y por obsolescencia.

La amortización se define como el valor de la depreciación de una máquina en un período determinado. Sin embargo, el término depreciación también es aceptado como valor monetario en los registros contables de una empresa.

En general, la depreciación es uno de los elementos del costo más complejo y variable de calcular, ya que existen muchos métodos y objetivos según la empresa y/o tipo de activo a depreciar.

Los objetivos que una empresa puede buscar al calcular la depreciación de los activos depreciables son:

Objetivos contables:

a) Transformar el valor de la inversión hecha en un activo tangible depreciable, en un costo o gasto de producción ocasionado por anticipado y que debe cargarse contra las ganancias o utilidades de la empresa durante la vida útil de la máquina.
b) Mostrar a través del tiempo el valor de uso, es decir el valor del capital aún invertido en la máquina o sea, el que no ha sido depreciado.
c) Mostrar a través del tiempo cómo el capital invertido en la máquina se ha gastado en el proceso productivo de los artículos y cómo se ha incorporado al costo del producto final y además, cómo se recupera a través de la venta de dicho producto.

Objetivo fiscal:

Es calcular cómo la depreciación afecta el flujo de fondos de la empresa y por tanto el pago de impuestos sobre la renta. La depreciación, como costo de producción que es, disminuye en el estado de pérdidas y ganancias las utilidades y, por tanto, el pago de impuestos.

Objetivo financiero:

Debido a que el valor monetario de la depreciación es un origen de fondos, es decir se puede acumular como capital para uso de la empresa, creará por tanto un fondo por depreciación que según el método de cálculo usado podrá o no ser equivalente al valor de reemplazo de una máquina nueva, cuando termine la vida económica de la que actualmente está en uso.

El sistema de depreciación usado en ingeniería económica que más adelante se analizará, permite el cálculo de una depreciación anual de tal forma que al sumarlas para toda la vida económica de la máquina iguale el valor de reemplazo de ésta; sin embargo, éste objetivo raramente es buscado por la empresas, ya que proyectar un reemplazo de una máquina por otra similar a largo plazo no es lógico en un medio tecnológico y económico tan cambiante como el que la mayoría de nuestras empresas enfrentan.

3.3.2 Métodos de cálculo de la depreciación

Depreciación por línea recta: este método asume que el valor depreciable de un activo disminuye una cantidad uniforme cada año de su vida económica. La mayor ventaja que este sistema tiene es su simplicidad de cálculo, pero al asumir valores de depreciación iguales para los años de vida económica, contradice la realidad de la pérdida de valor de una máquina o equipo, pues éste muestra pérdidas de valores mayores en los primeros años que en los últimos; por tanto, el valor en libros calculado mediante este sistema de depreciación no corresponde a la realidad, como ya se analizó.

A continuación se muestra la Tabla 3.1 en la cual se calcula la depreciación por el sistema de línea recta a un activo con los siguientes parámetros:

Vida económica (N_a) = 10 años.
Valor residual = F
Valor inicial = 100.000

Tabla 3.1 Depreciación por línea recta.

Final de período (i)	Cargo por depreciación durante el período (i)	Valor en libros al final del período (i)
1	100.000/10 = 10.000	100 000 - 10.000 = 90.000
2	= 10.000	90.000 - 10.000 = 80.000
3	= 10.000	80.000 - 10.000 = 70.000
4	= 10.000	70.000 - 10.000 = 60.000
5	= 10.000	60.000 - 10.000 = 50.000
6	= 10.000	50.000 - 10.000 = 40.000
9	= 10.000	20.000 - 10.000 = 10.000
10	= 10.000	10.000 - 10 000 = 0

Depreciación por el sistema de suma de dígitos: este sistema permite el cálculo de depreciación anual variable, mayor en los primeros años de la vida de la máquina y menor en los últimos. Para el cálculo de la partida anual por depreciación en este método se procede así:

Se calcula el factor variable (fv) para cada año de la vida económica así:

$$fv_i = \frac{Nu - i + 1}{\sum_{i=1}^{Nu} Ni} = \frac{Nu - i + 1}{\frac{Nu}{2}(Nu + 1)} \qquad (3.1)$$

Donde:

fv = factor adimensional que año tras año varía con la edad de la máquina.

Nu = vida económica de la máquina en años.

i = un año cualquiera de la vida económica de la máquina.

La Tabla 3.2 ilustra este método con el cálculo de la depreciación anual para la misma máquina analizada en el caso de la vida útil.

Tabla 3.2. Depreciación por suma de dígitos.

Final de período (i)	Cargo por depreciación durante el período (i)		Valor en libros al final del período (i)
	Vo	f(v)(i)	
1	100.000	10/55	100.000 - 100.000 x 10/55
2	100.000	9/55	$V_L(1)$ - 100.000 x 9/55
3	100.000	8/55	$V_L(2)$ - 100.000 x 8/55
4	100.000	7/55	$V_L(3)$ - 100.000 x 7/55
5	100.000	6/55	$V_L(4)$ - 100.000 x 6/55
.	.	.	. . .
.	.	.	. .
.	.	.	.
9	100.000	2/55	$V_L(8)$ - 100.000 x 2/55
10	100.000	1/55	$V_L(9)$ - 100.000 x 1/55

Depreciación por el método de reducción de saldos: este método, al igual que el anterior, asigna valores anuales o periódicos por depreciaciones mayores en los primeros años, que en los últimos de la vida económica de la máquina. Consiste en que el valor en libros del año anterior se multiplica por un factor fijo (f f) para obtener la cuota por depreciación del año en análisis. Por tanto, el valor de la cuota por depreciación disminuye al disminuir el valor en libros de la máquina. En la Tabla 3.3 aparece un caso de depreciación por este método para la misma máquina analizada en los métodos anteriores.

Tabla 3.3 Depreciación por el método de reducción en saldos

Final de período (i)	Cargo por depreciación durante el período (i) $D(i)=V_L(i-1)*f.f$	Valor en libros al final del período (i) $V_L(i)=V_0-SDi$	ff*
1	100.000 x 0.25 = 25.000	100.000 - 25.000 = 75 000	25%
2	75.000 x 0.25 = 18 000	75.000 - 18.750 = 56.250	25%
3	56.250 x 0.25 = 14.062.5	56.250 - 14.062 = 42.187	25%
4	42.187 x 0.25 = 10.546	42.187 - 10.546 = 21.641	25%
.			
.			
10			

Este método puede ofrecer valores en libros muy adecuados para maquinaria, pero conlleva en su cálculo dos problemas: la asignación correcta del factor fijo y que el valor residual (salvamento) nunca será igual a cero; por tanto, se acostumbra, antes de finalizar la vida económica, pasar al sistema de línea recta si se requiere o se desea obtener valores residuales nulos.

Respecto a la selección del factor fijo existen limitaciones impuestas por la División de Impuestos, ya que este método es muy usado para fines fiscales. El gobierno establece un límite máximo para el ff, de tal forma que el valor calculado por cuota anual a través de la depreciación por el método de reducción de saldos, no exceda al doble de la cuota calculada por el sistema de línea recta. En este caso toma el nombre de doble reducción de saldos.

Cuando se desea obtener un valor residual diferente de cero se puede determinar el ff mediante cálculo matemático de la siguiente forma:

$$V_L(i)=(1-ff)^i \times (Vo-Vr) \qquad (3.2)$$

$$ff=1-\left(\frac{V_L(i)}{(Vo-Vr)}\right)^{\frac{1}{i}} \qquad (3.3)$$

El valor máximo de ff está establecido por ley como:

$$ff\ mx = \frac{2}{Nu} \qquad (3.4)$$

Donde:

$V_L(i)$ = valor en libros al fin del período (i).

ff = factor fijo (decimal).

Vr = valor residual.

Vo = valor inicial del activo al principio del análisis.

Nu = vida económica del activo.

Método de depreciación según las unidades producidas: este método parte del supuesto cierto de que un activo depreciable tiene una vida económica medible en unidades de producción determinadas, según el tipo de trabajo del activo, su mantenimiento, la calidad y otros. Esta unidad de producción puede ser hora de trabajo, kilogramos de material procesado, litros o envases tapados, huevos incubados, toneladas de caña molida, arrobas de café secado, huevos clasificados, lechones destetos y litros de leche producida. Este método calcula la depreciación del activo por cada unidad producida. Supongamos que el activo que hemos venido analizando sea una desgranadora de maíz y que su vida económica se estime en 1.000 toneladas de maíz desgranado, por tanto la depreciación en $/tonelada desgranada será igual a:

$$D = (\$/t) = \frac{100.000}{1.000} = 100\ \$/t$$

Lógicamente, para calcular la depreciación en $/año bastará saber las toneladas de maíz que dicha máquina desgrana en el año analizado.

Método de depreciación basado en estimación: se basa en estimaciones o estándares y se usa para calcular costos proyectados; la gran limitación de este método consiste en acertar al estimar la duración de la vida del activo, parámetro que es muy variable en nuestro medio debido especialmente al tipo de mantenimiento, alimentación, raza, tipo de trabajo y calidad variable de los materiales de construcción y otros. Sin embargo, cuando no existen estándares históricos en la misma empresa para activos iguales, debe recurrirse a casos similares en otras empresas y por último a tablas donde se especifique la vida de los activos (ver Tabla A1 en el Anexo).

Es de observar, aquí, que la determinación de la vida útil de un activo en nuestro medio es un problema de difícil solución, ya que en la inmensa mayoría de los casos la duración de la vida no corresponde como debe ser a un problema económico, sino que es determinando por factores financieros o técnico-económicos muy variables de una empresa a otra; entre éstos, los que más influyen son el

acceso a las fuentes de financiación, la facilidad que se tenga de ofrecer mantenimiento adecuado y oportuno y las escalas de producción que puedan alcanzar la empresa durante la vida del activo. Se debe, por tanto, realizar un esfuerzo continuo en el país para tabular vidas económicas reales en nuestro medio.

Depreciación según método de ingeniería económica: este sistema, basado en principios de ingeniería económica, establece el valor del dinero a través del tiempo y del costo por intereses que la inversión de este dinero debe retribuir. El método más común se basa en determinar el costo anual de posesión (CAP) que transforma a la inversión inicial para la compra del activo (P) (este valor será igual a Vo del activo) en una serie uniforme anual (A) que equivale a la amortización del capital, más intereses devengados por el uso del capital invertido. La representación matemática es:

$$CAP = P\,(A/P,i,n) - VM\,(A/F,i,n) \tag{3.5}$$

Que transformada queda como:

$$CAP = (P - VM)(A/P,i,n) + VM \times i \tag{3.6}$$

Donde:

CAP = costo anual de posesión: es el monto de capital más el interés (i) que debe amortizar una inversión de P ($) hoy y cada año de la vida económica (n) del activo.

P = inversión de capital hecha hoy para comprar o construir el activo.

VM = valor en el mercado del activo después de n años de uso. Normalmente n es igual, en este caso, a la vida económica proyectada en el activo y, por tanto, VM será igual a su valor residual.

i = es la tasa de interés que se asume debe pagar o retribuir el capital invertido en la compra de la máquina; normalmente es el costo del capital para la empresa o inversionista o el índice de inflación proyectada a la vida útil relativa.

(A/P,i,n) = simbología usada en ingeniería económica; significa que dada una inversión inicial hoy de capital P a un interés i% anual, durante n años, se calcula A que será la cuota anual uniforme y equivalente.

Este método de cálculo de depreciación, llamado a veces depreciación económica, es más utilizado para análisis de proyectos de inversión en maquinaria y otros activos productivos y su uso es poco frecuente en el cálculo del costo operativo; sin embargo, cuando el objetivo que se ha fijado una empresa con la depreciación es que la acumulación de ésta durante la vida económica sea equivalente al valor de reemplazo del activo, puede este método ser más exacto que los anteriores, siempre y cuando se seleccione una i adecuada, similar a la tasa de pérdida de poder adquisitivo promedio del dinero con respecto a este tipo de activos.

Consideraciones de tipo administrativo acerca de la depreciación: como se ve, la depreciación puede calcularse por diferentes métodos y por tanto, se obtendrán valores diferentes. El mayor problema que enfrenta un analista de costos es determinar el método adecuado que proporcione el valor más correcto de depreciación. A este respecto pueden hacerse las siguientes consideraciones:

– Existen en una misma empresa tendencias a alcanzar con el cálculo de la depreciación: el contable busca normalmente usar el método más sencillo que generalmente es la línea recta; el fiscal busca disminuir el pago de impuestos sobre la renta hasta donde sea posible dentro de las leyes fiscales vigentes. A este respecto no sobra recordar que el valor de la depreciación de máquinas y equipos resta a las utilidades brutas, pues es reconocido como un costo de producción, resultando un menor ingreso neto gravable; por tanto la depreciación que se cargue en un período dado disminuirá los impuestos a pagar en una cantidad igual a:

$$D\ imp. = (\Sigma\ dep.)\ (1 - t) \qquad (3.7)$$

Donde:

D imp. = valor en que se disminuyen los impuestos sobre la renta por efecto de la depreciación en un período dado.

Σ dep. = valor total de las depreciaciones en un período fiscal dado.

t = tasa de impuestos sobre la renta (en decimal).

Por lo anterior, la tendencia de la empresa desde el punto de vista fiscal será cargar el mayor valor permitido por las leyes fiscales por concepto de depreciación; en cambio, el objetivo administrativo que se debe buscar con la depreciación es que su valor equilibre lo que realmente ha perdido de su valor inicial el activo durante el período analizado, ya que este valor por depreciación será cargado como costo de producción a los artículos o servicios que la empresa ha fabricado o prestado en el último período. Por tanto, hay administrativamente hablando dos objetivos básicos: el primero, que el valor de uso del activo sea similar, sino igual, al valor del mercado (recuérdese que el valor de uso es igual al

valor inicial menos depreciaciones acumuladas); y el segundo, que este valor de depreciación distribuido equitativamente a todos los productos o servicios procesados o prestados por el activo represente un costo real por este concepto.

Desde el punto de vista administrativo debe analizarse con mayor cuidado la vida económica del activo, su valor de salvamento y el método de cálculo de la depreciación, aun previendo que se creen posibles diferencias sobre estos parámetros con el contador y con la división de impuestos, pues son el administrador o sus asesores quienes mejor conocen la realidad del desempeño del activo; por tanto, este criterio debe prevalecer sobre el contable. Sobre este aspecto se pueden inclusive generar contradicciones como cuando un activo aparece con cero pesos en libros mientras presta sus servicios eficientemente en la empresa. Cuando esto sucede, se debe proceder de la siguiente forma:

a) Hacer una revaluación del activo por valores de mercado.
b) Asignar con buen criterio una nueva vida económica.
c) Calcular la nueva depreciación mediante un sistema y un valor residual adecuado. La razón que apoya lo anterior es que cuando por excelente calidad, mantenimiento o suave tipo de uso u otras razones, la vida económica real continúa cuando se acabó la vida propuesta inicialmente; no es lógico asumir que desaparece el costo por depreciación, pues la realidad es que el activo tiene un valor de mercado y por tanto, su uso tendrá un costo en función de la producción que aún genera y de su nuevo avalúo.

El valor calculado por depreciación para un período de tiempo, independiente del sistema usado, merece un análisis posterior para clasificarlo como costo fijo o variable. En la inmensa mayoría de los casos los analistas la clasifican como costo fijo, ya que consideran que la duración de la vida económica del activo es una constante en años, horas o cualquier otra unidad de producción; pero en algunos casos de activos de uso agropecuario sucede que la intensidad de trabajo anual puede superar los promedios normales proyectados y, por tanto, disminuir la vida económica medida en años; en este caso es posible clasificar la depreciación como un costo variable. Para aclarar este punto veamos un ejemplo: consideremos una máquina cuya vida económica esté asumida como cinco años o 5.000 horas de trabajo, esto significa que si la máquina trabaja un promedio de 1.000 h/año durará cinco años, pero si por alguna razón trabajara 2.000 h/año, entonces la vida en años pasará a ser de 2.5 años y la depreciación en esta caso se puede considerar un costo variable. El promedio de uso anual que se obtiene al dividir la vida en horas por la vida en años se denomina punto de igualación y su expresión matemática es:

$$Pi = (h/año) = \frac{Nu(horas)}{Nu(años)} \qquad (3.8)$$

Donde:

Pi = punto de igualación.

Nu= vida económica de la máquina.

Puede presentarse un tercer caso cuando la máquina alcanza una utilización (h/año) inferior al punto de igualación, en este caso teóricamente la vida en años aumenta, pero la realidad es que la subutilización que se presenta puede ocasionar un deterioro mecánico muy grande en la máquina sino se tiene un mantenimiento especial que denominamos "mantenimiento para no uso", además puede presentarse una obsolescencia que obligue a su reemplazo cuando todavía tenga por delante años de vida económica. En este caso es aconsejable reducir la vida a la estipulada en años para la máquina y no usar el alargamiento que ofrece la subutilización. Para la situación de uso igual o inferior al punto de igualación es evidente que la depreciación se debe clasificar como un costo fijo. La Figura 3.1, aclarará más este aspecto.

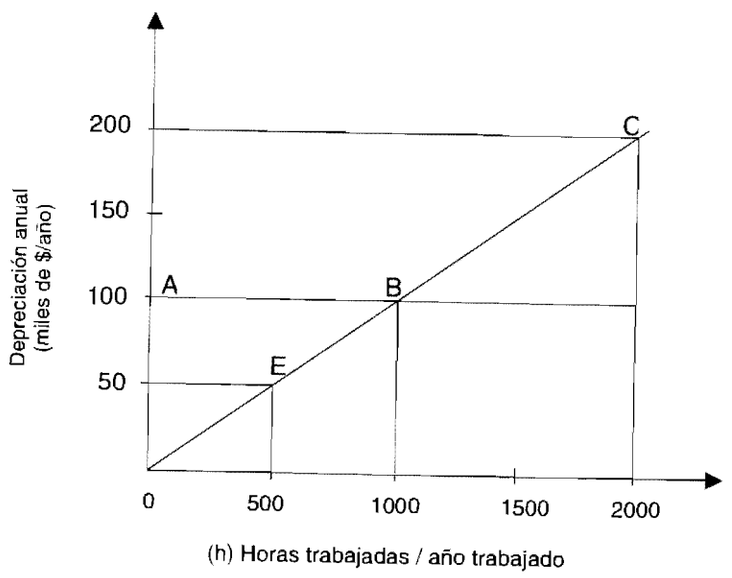


Figura 3.1 Clasificación de la depreciación en función del uso anual de una máquina.

En la Figura 3.1 analizamos la depreciación de una máquina con vida útil estimada de 5.000 horas (5 años) y con un valor inicial de $500.000, un valor residual al final de la vida nulo y una amortización anual calculada por línea recta igual a $100.000/año.

Caso A: la máquina trabaja sólo 500 horas/año, es decir, no alcanza el Pi. En este caso, el cargo por depreciación según el gráfico asciende sólo a $50.000/año, es decir se requerirán 10 años para amortizar el valor depreciable total de $500.000, pero no tiene lógica asumir que dicha máquina dure 10 años, pues su vida económica se ha establecido como de 5 años. La solución en este caso es cargar $100.000 por depreciación anual durante cinco años; asumiendo la depreciación en el ejemplo como un costo fijo, pues se comporta en forma independiente del trabajo o producción anual. Ver recta AB y punto E, Figura 3.1.

Caso B: la máquina trabaja 2.000 h/año superando el Pi. Aquí, la vida económica de la máquina (5.000 horas - 5 años) permanece igual en cuanto a las horas, pero los años de duración se rebajarán a 2.5. En este caso no es posible seguir cargando una depreciación constante de $100.000/año pues sólo amortizará $250.000 en toda su vida; por tanto, en situaciones como ésta, la depreciación anual se calcula con base en las horas de trabajo así:

$$D = \frac{VA}{Nu} \times H \qquad (3.9)$$

Donde:

D = la depreciación en $/año.

VA = valor amortizable de la máquina en ($).

Nu = vida económica en horas.

H = uso anual en horas.

Al observar la ecuación anterior apreciamos que la depreciación es un costo variable, pues su valor varía en forma directa con la utilización anual (H), tal como muestra la recta BC en la Figura 3.1.

Caso C: cuando (H/año) = Pi (h/año), la depreciación se asume como un costo fijo (punto B de la Figura 3.1). Por último, cualquiera que sea la forma de cálculo y la clasificación que se le dé a la depreciación de una activo en una empresa, ésta se cargará como un costo de producción y se distribuirá equitativamente entre todas las unidades producidas, procesadas o servidas por el activo en el período analizado, de forma similar tanto en los costos proyectados como en los reales.

Depreciación de activos en períodos de alta inflación: la disminución del poder adquisitivo de una moneda con respecto a un activo es uno de los fenómenos económicos que más distorsionan el cálculo de una depreciación. Para resolverlo se deben revaluar periódicamente los activos, tanto para efectos fiscales como administrativos. El reajuste es obligatorio hacerlo mediante los porcentajes de ajuste anual gravable (PAAG), pero la administración empresarial enfrenta un problema diferente, pues la pérdida de poder adquisitivo de la moneda respecto a un activo en particular puede y de hecho es diferente al PAAG que publica anualmente el gobierno para los ajustes por inflación de los activos y pasivos no monetarios. Ante esta situación el criterio administrativo nuevamente debe diferenciarse del criterio contable y fiscal, estructurando revaluaciones de los activos según los índices de precios obtenidos de los valores de reemplazo de máquinas similares (ver índices de precios y valor de reemplazo), como única forma ajustada a la realidad para actualizar los valores de depreciación y poder así estructurar costos ciertos que darán a su vez precios de venta, de utilidades y de rentabilidad correctos, en épocas de inflación.

Para mayor claridad, a continuación se muestra el sistema de cálculo de índice de precios con base en valores de reemplazo. Consideremos el caso de un activo adquirido en el año 0 por un valor de 100.000, con una Nu de 10 años y valor residual 0; al cual se aplica la depreciación por línea recta.

Debe notarse en la Tabla 3.4 la gran diferencia que a través de los años se va creando entre la Di (sin revaluación) y la Di revaluada por índices de precios.

La Di (sin revaluación) es un valor contable sin ningún apoyo en la realidad, mientras la Di (revaluada) es real y debe ser la base de los análisis de costos administrativos. Para efectos fiscales, las revaluaciones de activos deben ceñirse a los PAAG que el gobierno fija anualmente. Por tanto, no son aplicables en la mayoría de los casos y hacen necesario esperar la obtención de promedios reales para proyectar un presupuesto ajustado. Se hace entonces evidente la necesidad de registrar y tabular correctamente los consumos y costos de combustible para que con base en promedios históricos ciertos se logre un presupuesto adecuado.

Tabla 3.4 Depreciación de activos en períodos de alta inflación.

DATOS BÁSICOS	Año 0 ($000)	Año 1 ($000)	Año 2 ($000)	Año 3 ($000)	Año 4 ($000)	Año 5 ($000)	Año 6 ($000)	Año 7 ($000)	Año 8 ($000)	Año 9 ($000)	Año 10 ($000)	OBSERVACIONES
1 Valor inicial (Vo)	100	100	125	156.25	195.31	244.14	305.18	381.47	476.84	596.05	745.06	Vo (0) x (1 + PAAG)k-1
2 Ajuste Vo por PAAG	0	25	31.25	39.06	48.83	61.04	61.04	95.37	119.21	149.01	186.26	Vo (k) x (PAAG) = (2)k x PAAG
3 Vo (ajustado) = V´o	100	125	156.25	195.31	244.14	305.18	305.18	476.84	596.05	745.06	931.32	(1)k + (2)k
4 Depreciación anual	0	12.5	15.63	19.53	24.41	30.52	30.52	47.68	59.60	74.51	93.13	V´ok / Nu = (3)k / Nu
5 Ajuste dep. acumulado	0	0	3.13	7.81	14.65	24.41	24.41	57.22	83.45	119.21	167.64	(6)k – 1 x PAAG
6 Depreciación acumulada	0	12.5	31.25	58.59	97.66	152.59	152.59	333.79	476.84	670.55	931.32	(6)k – 1 + (4)k + (5)k
7 Valor en libros		112.5	125	136.72	146.48	152.29	152.59	143.05	119.21	74.51	0	V´o(k) – (6)k = (3)k – (6)k
EFECTOS TRIBUTARIOS												
8 Ingresos correc. monetaria		25	31.25	39.06	48.83	61.04	76.29	95.37	119.21	149.01	186.26	(2)k
9 Egresos por depreciación		(12.5)	(15.63)	19.53	24.41	30.52	38.15	47.68	59.60	74.51	93.13	(4)k
10 Egresos por dep. acumulada		0	(3.13)	7.81	14.65	24.41	38.15	57.22	83.45	119.21	167.64	(5)k
11 Efecto P y G * ajuste inflación		12.5	12.5	11.72	9.77	6.10	0	-9.54	-23.84	-44.7	-74.51	(8)k – (9)k – (10)k
12 Disminución impuestos (35%)		4.38	4.38	4.10	3.42	2.14	0	-3.34	-8.34	-15.65	-26.08	(11)k* t
13 VPN de 12 a 28.8%	-4.45											

3.3.3 Lubricantes y accesorios

Estos elementos del costo muestran un comportamiento muy similar al del combustible; es fácil de calcular pero variable a medida que aumenta la vida útil de la máquina. Este incremento se controla con buen mantenimiento, viscosidad requerida y calidad adecuada para el tipo de trabajo para realizar. A diferencia de ACPM existen gran número de marcas, viscosidad SAE y clasificaciones API; la selección adecuada de estas características es esencial no sólo para alargar la vida útil de la máquina, sino para disminuir el costo del lubricante y del mantenimiento de la máquina en general. No debe incurrirse en el error, muy difundido, de falsas economías en este renglón ya que generalmente ocasionan daños muy costosos, además del lucro cesante de la máquina mientras dura su reparación. Debe existir un control estricto en el cumplimiento de las normas de mantenimiento periódico y en la selección de la calidad del lubricante, tanto grasa como aceite y de accesorios como filtros.

3.3.4 Mantenimiento

Es uno de los elementos del costo operativo de una máquina que más valor tiene y que cuando es deficiente, inadecuado o inoportuno, produce enormes pérdidas de tiempo y altos incrementos de valor, además acorta la vida de la máquina y altera su desempeño normal al ocasionar una disminución en su potencia y capacidad e inseguridad para el operario y terceros. El manejo administrativo en este aspecto es delicado e importante por lo cual, deben tenerse en cuenta recomendaciones como las siguientes:

- Atender oportunamente las solicitudes de revisión de fallas que hagan los operarios (ver mantenimiento), pues una reparación a tiempo cuando se está iniciando el daño evita costos mayores y lucros cesantes, pues los daños en maquinaria son progresivos o sea que es juiciosa la determinación fundamentada de parar una máquina en caso de duda sobre la gravedad de la falla, por lo menos mientras se obtiene un concepto del mecánico.
- Hacer estudiar, por una persona capacitada, la factibilidad técnica del trabajo por realizar; la maquinaria en caso de no poderse deberá recurrirse al buen juicio del operario, pero nunca forzar o contradecir éste si no existe otra opinión más calificada.

  Este aspecto administrativo no se debe descuidar ya que las consecuencias son graves, pues exigir un trabajo inadecuado para una máquina afecta su estado mecánico, aumenta los costos por mantenimiento y pone en peligro la vida del operario.

- Ser estrictos en hacer cumplir el mantenimiento periódico por parte de los operarios y/o mecánicos. Estas operaciones sencillas evitan daños mayores.

Nota: la estructuración técnico-administrativa del mantenimiento se analiza en el capítulo de mantenimiento.

3.3.4.1 Cálculo de costos de mantenimiento

El mantenimiento de maquinaria se puede atender en los talleres propios con mecánicos y herramienta propia o en talleres particulares. Cuando el mantenimiento se presta en talleres propios hay necesidad de calcular dos tipos de costos:

- Los reales u ocasionados.
- Los proyectados.

Costos reales u ocasionados: son los costos históricos causados por el mantenimiento en un período de tiempo definido; su tabulación se hace en registros diferentes, según provengan del mantenimiento periódico o del mantenimiento curativo.

Costos proyectados de mantenimiento: los costos proyectados del mantenimiento propio tienen la finalidad de atender el renglón presupuestal por este concepto; su cálculo es difícil de determinar de forma ajustada cuando no existen costos históricos para condiciones y máquinas similares, que sería la forma más exacta. Al calcular el costo proyectado para mantenimiento, deben tenerse presente los siguientes aspectos:

a. Se debe partir de la base de que el mantenimiento real u ocasionado muestra un costo en pesos/horas variable a través de la vida de la máquina, siendo muy poco su valor cuando es nueva o recién reparada, e incrementándose a partir de estos momentos hasta un máximo que significa la terminación de su vida económicamente útil y que obliga muchas veces a su reemplazo como máquina. Por otra parte, es muy difícil proyectar un costo promedio de mantenimiento en ($/h) para toda la vida económica de una máquina, a menos de que se tengan registros de costos de mantenimiento históricos para máquinas similares, en condiciones de trabajo y mantenimiento similares también, de los cuales se pueden obtener un promedio que se ajuste a la realidad.
b. Cuando se logra obtener este costo/hora promedio se requiere la creación del "fondo de mantenimiento" donde deben asentarse contablemente los recursos presupuestados para este fin, hora tras hora de trabajo, con el objeto de tenerlos disponibles contablemente cuando la máquina necesite reparación; es decir, se deben cargar como costos reales los costos/hora

promedios proyectados y guardarlos en el fondo de mantenimiento para poder cubrir los gastos de reparaciones que se necesiten.

El costo-hora promedio para mantenimiento se calcula así:

- Se asume un porcentaje del valor original de la máquina para mantenimiento, que incluye mano de obra, repuestos y depreciación de herramientas, equipos y talleres, para toda la vida económicamente útil de la máquina. Este porcentaje, para un tractor agrícola, puede alcanzar los siguientes valores en pesos corrientes del valor original de compra (para otras máquinas e implementos debe consultarse la Tabla A1 del anexo).

Tabla 3.5 Valor del mantenimiento para tractor agrícola.

Maquinaria	Tipo de trabajo	Mantenimiento	% Vo. para mantenimiento durante su vida
Tractor agrícola	Normal	Bueno	100%
Tractor agrícola	Normal	Deficiente	150%
Tractor agrícola	Severo	Deficiente	Impredecible, puede alcanzar hasta el 250%.

El valor en $/hora calculado mediante este sistema se usará en las siguientes situaciones:

- Para determinar el monto periódico que deberá reservarse en el fondo del mantenimiento, para cubrir los costos totales de mantenimiento periódico y curativo que ocasione la máquina durante su vida económica. Es de anotar que para calcular el costo mensual de una máquina por mantenimiento, bastará multiplicar el costo en $/hora por las horas trabajadas ese mes.
- Para elaborar, con base en este costo/hora, los presupuestos anuales de mantenimiento de la máquina que se harán teniendo en cuenta las horas proyectadas para uso anual, reajustando el valor periódicamente según los índices de precios para maquinarias; pues, los repuestos siguen normalmente una tendencia similar a la de sus precios en los valores comerciales de las máquinas para las que se usan; aunque esto no siempre es cierto por el factor especulativo, es la única forma de hacerlo.

Debe tenerse en cuenta que el costo/hora real ocasionado por la máquina no debe tomarse como base de presupuesto ni de reserva en el fondo, ya que es muy variable y puede incrementarse súbitamente por reparaciones de gran valor previstas o no, y no puede hacerse ninguna comparación válida entre los costos reales y los proyectados sino al final de la vida de la máquina,

cuando la suma de ambos costos actualizados debidamente debe ser igual, si los costos proyectados fueron bien presupuestados. En caso contrario, se deberán reajustar los costos proyectados hasta hacerlos iguales a los reales, para que al fin de varios períodos la entidad posea unos costos históricos reales por mantenimiento, para toda la vida económica de las máquinas; estos costos a su vez servirán de base para elaborar presupuestos, que actualizados con los debidos reajustes por índices de precios, permitirán obtener costos de mantenimiento promedios en $/h, ajustados a las condiciones propias de la empresa.

Para resumir, debemos decir que a una máquina se le cargarán, por concepto de mantenimiento, sus costos proyectados, nunca sus costos históricos reales cuando se trate de calcular su costo de producción en $/hora o $/unidad de trabajo. Los costos reales históricos deberán tabularse cuidadosamente a medida que se van ocasionando, para que al sumarlos y actualizarlos al final de la vida económica de la máquina, o grupo de máquinas, sirvan como base de comparación y reajuste de los costos proyectados; pero nunca se deberán usar para calcular costos de producción de la máquina, pues su gran variación los hace inútiles para este objetivo.

3.3.4.2 Fondo de mantenimiento

Para el manejo adecuado de las partidas asignadas al mantenimiento proyectado y su relación con los costos reales, se hace necesaria la elaboración de uno o varios registros donde aparezcan tabulados los valores correspondientes, tanto del costo real como del promedio proyectado del mantenimiento de la máquina (ver capítulo 6, mantenimiento).

A continuación se estructura un modelo que puede servir de guía.

Tabla 3.6 Costo real y proyectado del mantenimiento.

Máquina	Horas iniciales	Horas finales	Horas trabajadas	Costo mantenimiento real	Costo mantenimiento proyectado	Diferencia

Fecha: aquí se anotará el período de tiempo del análisis; comprende dos fechas, ambas incluidas.

Valor para mantenimiento proyectado (en $/h): aquí se tabulará el precio en $/h que se proyectó para mantenimiento. Es de anotar que este valor es variable en el tiempo y debe actualizarse según lo exijan las condiciones

económicas. La mejor manera de actualizar el valor es mediante los índices de precios de la máquina.

Máquinas: aquí en esta columna aparecerán las placas o identificación de las diferentes máquinas en análisis.

Horas iniciales: se anotarán las horas de trabajo de las máquinas que corresponden al momento inicial del estudio.

Horas finales: las horas finales trabajadas por la máquina incluyen las horas de tiempo total de trabajo (ttt) en este período (ver tiempo, capítulo 1).

Horas trabajadas: son la diferencia entre el tiempo total de trabajo inicial (horas iniciales) y el tiempo total de trabajo final (horas finales).

Cuando existen dificultades para controlar o conocer las horas de trabajo pueden calcularse indirectamente mediante el consumo de combustible, dividiendo el consumo total por el consumo promedio horario de la máquina.

Costo mantenimiento real: aquí se anotará el costo histórico real del mantenimiento, tanto periódico como curativo que hayan ocasionado las máquinas en el período analizado.

Costo de mantenimiento proyectado: aquí se tabulará el producto de multiplicar la horas trabajadas por el valor en $/h asumido para el mantenimiento proyectado.

Diferencia: es el valor resultante de restar el costo de mantenimiento proyectado, menos el costo de mantenimiento real. Esta diferencia es positiva (a favor del mantenimiento proyectado) durante gran parte de la vida inicial de las máquinas, por tanto será una reserva contable que la maquinaria tendrá a su favor para cubrir los grandes costos que se le presentarán en la primera reparación general y al final de su vida útil, cuando los costos por mantenimiento real subirán por encima de los proyectados; por tanto, puede esperarse que exista un equilibrio entre los dos costos sólo al final de la vida económica de la máquina.

3.3.5 Mano de obra

El operario con la administración y la máquina, constituyen los tres elementos básicos del éxito o fracaso de un programa de maquinaria; la administración debe ser consciente del gran costo que el operario genera y además debe trazar políticas de incentivación que le permitan un buen desempeño en su trabajo. Estas políticas pueden contener aspectos tales como:

- Capacitación.
- Bonificaciones por trabajo y buen mantenimiento de la máquina.
- Proporcionar medios de trabajo adecuados a su labor.

- Darles participación en las decisiones sobre un tipo de trabajo que se puede o no realizar y sobre la posibilidad o no de usar una máquina con fallas mecánicas.

3.3.5.1 Cálculo del costo de la mano de obra en los costos reales

Cuando se trata de un operario de nómina, se calculan todos los valores que conforman el sueldo total en un período de tiempo dado incluyendo salario básico, prestaciones sociales legales y extralegales, bonificaciones, etc. El valor del sueldo total se divide por las horas totales trabajadas por la máquina en el mismo período de tiempo; el cociente será el costo correspondiente a operario en $/hora.

Como se puede ver, el costo/hora operario es inversamente proporcional al número de horas de trabajo de la máquina, es decir que se puede disminuir su costo unitario aumentando el trabajo de la máquina. Este aspecto es importante, un buen manejo administrativo deberá estar orientado hacia incrementar el trabajo real de la máquina reduciendo:

Horas de transporte: este aspecto debe analizarse a fondo, pues constituye uno de los orígenes de costos que no tienen retribución real ni en trabajo efectivo ni en ingresos para la entidad. Para disminuir estos tiempos en viajes es necesario estructurar un sistema de planificación de actividades, mediante el cual se pueden reducir al mínimo los viajes de las máquinas de campo principales (tractores, combinadas, etc.), utilizando máquinas auxiliares para llevar y traer los elementos necesarios para el normal trabajo de las máquinas principales.

Tiempos perdidos por daños: este aspecto de control administrativo tiene dos factores que inciden en él y por tanto deben evitarse, son:

a. Mantenimiento inoportuno: es el factor que mayor pérdida de tiempo causa (lucro cesante); lo constituyen las demoras ocasionadas en los trámites de solicitudes de reparación y demoras indebidas en las reparaciones, por la no preparación de los mecánicos o por las inadecuadas instalaciones y equipos.
b. Falta de incentivos en casos de alquiler de maquinaria: el control del trabajo del operario por la entidad dueña de la maquinaria no tiene prácticamente ningún control que sea efectivo, pues el total de horas trabajadas se establece y puede hacerse de común acuerdo entre el usuario y el operario, sin intervención de ningún otro funcionario de la empresa; esto puede ocasionar que aparezcan menos horas de las realmente trabajadas, especialmente cuando el sistema de la empresa no incentiva el máximo trabajo con máquina, pues el salario pagado sin trabajar con máquina (viajando, cuando el tractor está varado, etc.) es el mismo que se paga cuando si hay trabajo

real con la máquina. Por tanto, la única solución para incentivar el trabajo real con máquina es un extrasueldo o bonificación por cada hora trabajada y reportada que haga el operario con su máquina. Si esto es posible en la entidad, traería las siguientes ventajas:

- Disminución de los informes de horas trabajadas mal reportadas; pues si la tendencia es que aparezcan menos horas de las verdaderamente trabajadas, esto ya no le convendría al operario y por tanto disminuiría su ocurrencia.
- Estimulación de las solicitudes de revisión de fallas por parte del operario, quien estaría interesado en que la falla mecánica fuera atendida en su estado inicial para evitar daños mayores que no le permitirían trabajar con su máquina y le disminuirían sus ingresos.
- Disminución al máximo de los tiempos de transporte, mantenimiento, atascadas, varadas en el campo, etc., ya que éstas no son horas de trabajo con máquina y, por tanto, no originan bonificaciones en el salario.

3.3.5.2 Cálculo del costo de la mano de obra en costos proyectados

Para la elaboración del presupuesto es sencillo calcular los costos por operario cuando éstos corresponden a personal de nómina, pues basándose en los costos históricos será posible proyectar su valor para años futuros teniendo en cuenta los incrementos salariales normales en la entidad.

3.3.6 Costo de alojamientos, equipos y herramientas

Estos elementos constituyen un costo real de las máquinas y por tanto deben tabularse adecuadamente, en los balances de prueba que periódicamente se elaboren. Para su cálculo existen dos sistemas:

a. Calcular la depreciación promedio en el transcurso de tiempo corrido mediante un sistema de línea recta, sin incluir intereses sobre la inversión y asumiendo una vida económica promedio para ramadas, herramientas y equipos usados por las máquinas en el centro.
b. Calcular las partidas requeridas para un adecuado mantenimiento y/o reposición de estos elementos y repartitlas de forma proporcional al tiempo transcurrido.

Lo anterior es para el cálculo de costos reales causados o históricos, ya que si los costos proyectados para mantenimiento se hacen en la forma antes indicada (% del Vo. para toda la vida económica), este valor incluye el valor de depreciación y mantenimiento de herramientas, talleres y equipos usados en el mantenimiento.

3.4 Costo operativo de implementos y máquinas auxiliares

Las máquinas auxiliares y los implementos (éstos últimos se caracterizan por no ser autopropulsados) tienen un sistema diferente para el cálculo de sus costos; son conformados por los siguientes elementos:

3.4.1 Depreciación

Se calcula de forma similar a la de las máquinas, dividiéndose el valor depreciable por la vida económica del implemento, tomada en años si el uso anual es menor que el pi (punto de igualación); en caso contrario, o sea donde el uso anual es ≥ pi, el divisor será la vida en horas del implemento. Ver para obtener la vida útil de implementos y máquinas auxiliares la Tabla A1 del anexo.

3.4.2 Mantenimiento

Este costo se analiza de forma similar a como se vio para máquinas, es decir se tabulan los costos reales para poder tener datos históricos confiables; pero para calcular el costo/hora o costo/unidad de trabajo y para presupuestos se usarán los costos proyectados obtenidos en tablas (ver Tabla A1 del anexo) donde se expresa el mantenimiento para toda la vida útil en función o como porcentaje del valor de compra original.

Debe recordarse que para este caso es válida la misma observación que para las máquinas; si el uso anual es menor que el punto de igualación, el valor para mantenimiento se obtendrá dividiendo el porcentaje asignado en la vida útil en años; si es mayor, se usará como divisor la vida en horas. Estos valores se consignarán en el fondo de mantenimiento.

Para implementos no se calculan más elementos de costos que los antes descritos, ya que dentro del costo de mantenimiento está incluido el de lubricantes y el de accesorios de lubricación como graseras y retenedores.

3.5 Aplicación de los costos

Aquí, se analizan los principales usos que tienen los costos o algunos de sus elementos en la toma de decisiones administrativas como: valoraciones de maquinaria usada, reemplazo de maquinaria y selección de potencia unitaria en máquinas.

3.5.1 Valoración de maquinaria usada

Consiste en determinar el valor que aún posee una máquina que ya ha sido usada y por tanto depreciada, en un período de tiempo determinado desde nueva;

este valor puede variar mucho según apreciaciones subjetivas del evaluador y según la máquina. Para evitar estas distorsiones se establecerá un método mediante el cual los valores determinados son los más objetivos posibles y para ello definiremos varios parámetros.

Valor original (Vo): es el valor en pesos corrientes de una máquina al principio del período inicial de análisis, independiente de que la máquina sea nueva o no.

Capacidad original de trabajo (Co): medida en años u horas; significa la capacidad inicial de trabajo que tiene la máquina en el principio del período de análisis. Para el período de análisis Co representa el 100% o 1.0 de la capacidad de trabajo de la máquina entre el principio del período de análisis y el final de la vida total probable de la máquina (N).

Capacidad actual de trabajo (Cu): medida en porcentaje (%) o decimal; es la capacidad de trabajo que aún conserva la máquina después de trabajar m años, horas o unidades de producción, a partir del principio del período de análisis.

Capacidad perdida de trabajo (Cp): medida en porcentaje (%) o decimal; es la capacidad de trabajo que la máquina ha perdido debido al deterioro, desgaste, intemperismo y otros factores durante los m años u horas que ha trabajado, desde el inicio del período de análisis.

Vida total probable (N): medida en horas o en años; es la vida que, desde el punto de vista mecánico o de diseño, tiene una máquina, y durante la cual puede realizar el trabajo para el cual fue diseñada. La medida básica es horas y los años dependen de la utilización anual (H) en horas que tenga la máquina, o sea:

$$N\ (\text{años}) = \frac{N\ (\text{horas})}{H\ (\text{horas/años})} \qquad (3.10)$$

Por extensión, para algunas máquinas no se expresa la vida total probable en horas, sino en otras unidades más adecuadas (km, t, l, etc.). Cuando esto sucede, se aplica el mismo criterio expresado en la ecuación 3.10 para calcular N (años), cambiando las unidades de N y H.

La N no depende entonces de factores económicos como vida económica o vida útil de la máquina (Nu), sino solamente de factores físicos, técnicos y mecánicos. Ambos conceptos, vida económica y vida total probable de una máquina, son muy variables en maquinaria y aun cuando sus valores promedio aparecen tabulados (ver Tabla A1 del anexo) deben ser tomados por los analistas con mucha precaución, previa consideración de aspectos tales como:

- La vida total probable (N) de una máquina puede alargarse o acortarse de la vida promedio de máquinas similares, dependiendo del tipo de mantenimiento, del tipo de trabajo, del clima y la calidad de operario que haya tenido; aún más, la vida total puede variar también por circunstancias tales como la calidad técnica de construcción de la máquina.
- La vida económicamente útil (Nu) de una máquina depende de factores económicos y administrativos propios de la empresa donde esté; por tanto, es muy variable y pueden presentarse casos de máquinas que hayan cumplido su vida económica en una empresa y al ser vendidas puedan alargar su Nu en otra. La razón es la siguiente: partiendo de la definición de Nu como la duración en tiempo, km o unidades producidas que tiene una máquina y durante la cual muestra un rendimiento económico aceptable, tanto en sus costos operativos de mantenimiento, lubricantes, etc., como en su confiabilidad (probabilidad de que no presente fallas mecánicas imprevistas); podemos ver que ambas características: costos operativos y confiabilidad, son parámetros de medición muy subjetivos en diferentes empresas, pues los costos de mantenimiento pueden variar según la calidad y costo salario de los mecánicos, repuestos e instalaciones; además de que al variar el tipo de trabajo pueden cambiar las causas de fallas de una máquina. No debe perderse nunca de vista la importancia que tiene la calidad del operario, tanto en los costos operativos como en la confiabilidad.

Veamos entonces ¿qué se denomina rendimiento económico aceptable? Mientras para una empresa es aceptable un rendimiento económico representado en unos costos operativos de un valor predeterminado, para otra este valor puede no contar pues es posible rebajarlo mediante un adecuado y más barato mantenimiento, una mejor capacitación de los operarios y un trabajo más suave, o simplemente puede tener el mismo valor de costos operativos de otra empresa, pero bajando la máquina en un proceso productivo de más alta rentabilidad, que pueda absorber los costos operativos de esta máquina y aún así generar buenas o aceptables utilidades y rentabilidad.

Algo más, el aspecto financiero cuenta mucho en la duración de la Nu de una máquina, pues mientras en una empresa el acceso al capital de financiación es relativamente fácil y barato, para otro empresario puede costar más y ser de más difícil consecución; esta razón puede hacer variar sustancialmente el análisis de factibilidad de compra de una máquina nueva para reemplazar una vieja. Es, tal vez, por todo esto que en nuestro medio se alarga excesivamente la vida económica de máquinas de uso agropecuario.

Valor de uso (Vu): es el valor en unidades monetarias que aún tiene la máquina para una empresa después de que ha trabajado un tiempo determinado (u) en años, horas o unidades de producción.

La forma de calcular Vu es la siguiente:

- Se calcula o asume la N (en horas, años, etc.).
- Se calcula o asume la Cp en porcentaje o decimal según las horas, años, etc., (m) que ha trabajado la máquina desde el principio del período analizado (C), mediante la siguiente ecuación:

$$Cp(\text{decimal}) = \frac{U}{N} \qquad (3.11)$$

$$Cp(\%) = \frac{100U}{N} \qquad (3.12)$$

Donde:

Cp = es la capacidad de trabajo que ha perdido la máquina debido a su trabajo desde el principio del año hasta el año (*m*).

U = en unidades adecuadas (h, km, unidades producidas, etc) representa el número de esas unidades que la máquina ha trabajado o producido des de el principio del año C hasta el año *m*.

N = vida total probable de la máquina, medida en las mismas unidades que U.

Cu se calcula así:

$$Cu = (1 - Cp)\ \text{decimal} \qquad (3.13)$$

$$Cu(\%) = (100 - Cp\%) \qquad (3.14)$$

Vm se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = Vu \times (1 - Cp) \qquad (3.15)$$

$$Vm = Vu\ (Cu) \qquad (3.16)$$

Donde:

Cu y Cp deben expresarse en decimal.

Vu = valor de uso de la maquinaria que ha trabajado *m* (años, horas o unidades de producción), expresado en pesos del momento C.

Vu se actualiza mediante los índices de precios correspondientes:

$$V'u = Vu \times \frac{Im}{Ic} \qquad (3.17)$$

Donde:

V'u = el valor de uso actualizado al año *m*, es decir en pesos del momento *m*.

Im = índice de precios del año m para este tipo de máquina.

Ic = índice de precio del año C para este tipo de máquina.

Existe otra forma de calcular el Vu de una máquina, utilizando para ello la depreciación acumulada desde el momento C hasta el momento *m*, y consiste en lo siguiente:

- Se calcula o asume N.
- Se calcula la capacidad de trabajo que aún posee la máquina (Cu), expresada en porcentaje (%) o decimal.

$$Cu\ (\text{decimal}) = 1 - \frac{U}{N} \qquad (3.18)$$

O bien:

$$Cu(\%) = 100 - U / N \times 100 \qquad (3.19)$$

Ahora bien, como la Cu es un índice del valor de uso que aún tiene la máquina, establecemos la siguiente relación:

$$1\text{-}Cu = Vo - Dm \qquad (3.20)$$

Donde:

1 - Cu (decimal) = la capacidad perdida de trabajo o sea Cp.

Dm = la suma de las depreciaciones calculadas por un sistema adecuado debidas al uso entre C y *m*, expresada en pesos del año C.

Vo = valor inicial de la máquina en C, expresado en pesos del año C.

Por tanto, podemos concluir que Vo – Dm representa el Vu sin actualizar, es decir en pesos del año C.

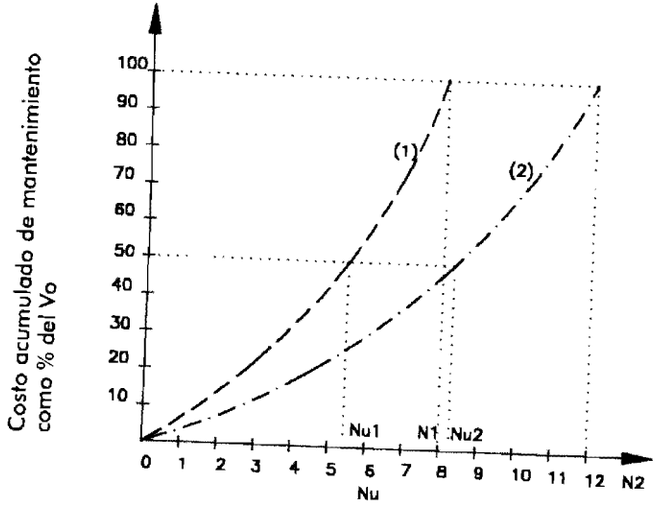
Por último se actualiza Vu mediante la fórmula (3.17)

Valor de mercado Vm: para finalizar este análisis de valoración es conveniente establecer que una cosa es el Vu o V'u que para una empresa tiene una máquina que sólo depende de: Vo, Cm, Cp, Dm, Im, Ic, los cuales son parámetros internos en la empresa; otra muy diferente es el valor de mercado (Vm) que depende de la oferta y la demanda; por tanto, existe normalmente diferencia entre estos dos valores, siendo mayor o menor el Vm al V'u.

3.5.2 Determinación de la vida económicamente útil de una máquina (Nu)

Como vimos anteriormente la Nu depende de múltiples factores subjetivos, por tanto debe existir un sistema que pueda determinar claramente su finalización en función de las condiciones de la empresa en el momento de realizar los análisis.

Cuando una máquina envejece aparecen síntomas claros que pueden relacionarse directamente con la edad; son entre otros la baja confiabilidad y los altos costos operativos debido a un incremento grande en el costo operativo de mantenimiento, lubricantes y combustibles; estos dos últimos ocasionados por el desgaste de los sistemas correspondientes, y el primero debido al mayor valor de los repuestos, a las adaptaciones necesarias por falta del repuesto original o a las fallas continuas a pesar del mantenimiento y a la baja confiabilidad por deterioro general de la máquina. En la Figura 3.2 se puede observar la relación entre los costos acumulados por mantenimiento periódico y curativo expresado en porcentaje del valor de compra de un tractor de llantas y otro de orugas con relación con su edad.



(1) Tractor de llantas. Uso anual (1200–1500 h/año)
(2) Tractor de orugas. Uso anual (2000–2500 h/año)

Figura 3.2 Relación entre la edad de una máquina y su costo acumulado por mantenimiento.

Al analizar la Figura 3.2 podemos observar lo siguiente:

- Para el tractor de llantas: en este caso se ha asumido una N (vida total probable) de 8 años o 9.600 a 12.000 horas, pues su uso anual es de 1.200 a 1.500 h/año. Para esta máquina el 50% de los costos totales de mantenimiento se acumula en los primeros 5.5 años de vida o sea, aproximadamente, el 70% de la vida total probable.
- Para el tractor de orugas: la vida total probable es de 16.000 a 20.000 horas o de 12 años, con un promedio de uso anual de 2.000 a 2.500 horas. El 50% de los costos totales de mantenimiento también se acumula en un tiempo equivalente al 70% de la vida total probable.

Basándose en lo anterior, muchos analistas han considerado que la Nu de las máquinas se puede asumir como el 70% de la vida total probable, pues es el tiempo durante el cual el costo de mantenimiento es más bajo y la máquina conserva una confiabilidad aceptable durante el mismo período.

El sistema anterior es aceptable para determinar la Nu de máquinas, siempre y cuando las condiciones de trabajo, mantenimiento y capacitación del operario sean normales; además, con este criterio se elaboran la mayoría de las tablas de Nu y N de las máquinas. Ahora bien, siendo consecuentes con las opiniones expresadas al analizar la Nu de una máquina, debemos insistir en la necesidad de tener en cuenta las condiciones específicas de la máquina y de la empresa, para decir cuándo termina realmente la Nu y por lo tanto considerar que la máquina ha entrado en la época de ser remplazada. Para estructurar un método que nos permita lo anterior debemos analizar varios conceptos de costos. Utilizaremos:

- Costo total (CT). Es el costo total operativo de una máquina; es la suma de los costos operativos durante un período determinado.
- Producción total (PT): es la suma de las producciones obtenidas por la máquina durante el mismo período de tiempo en el que se generan los costos totales. La producción total puede medirse en múltiples unidades según convenga más, así por ejemplo: 1.000 horas, 4.000 km, 10.000 kg etc.
- Costo medio (CM): es el costo operativo total (CT) acumulado hasta el año m, dividido por la PT acumulada hasta el año m; es por tanto un costo unitario ($/unidad producida (UP)).

Se calcula mediante la ecuación:

- Costo marginal (CMg): es el costo operativo que se origina al producir una unidad adicional de producción. Existen dos costos marginales: el marginal total (CMgt) y el marginal medio (CMgm), que se relacionan así:

$$CMgm_{(m)} = \frac{CMgt_{(m)}}{PMg_{(m)}} \qquad (3.21)$$

Donde:

CMgm = costo marginal medio en ($/UP) para el año (m).

$CMgt_m$ = costo marginal total ($/año) para el año (m).

PMg_m = producción marginal para el año m obtenida con el costo marginal total ($/UP).

Cabe resaltar que para el análisis de Nu de máquinas, el período de tiempo en el cual se calculan los CMgt y la PMg es un año, y por lo tanto el CMgt será el costo operativo en un año y la PMg serán las unidades de producción (ha, h, km, t, etc.)

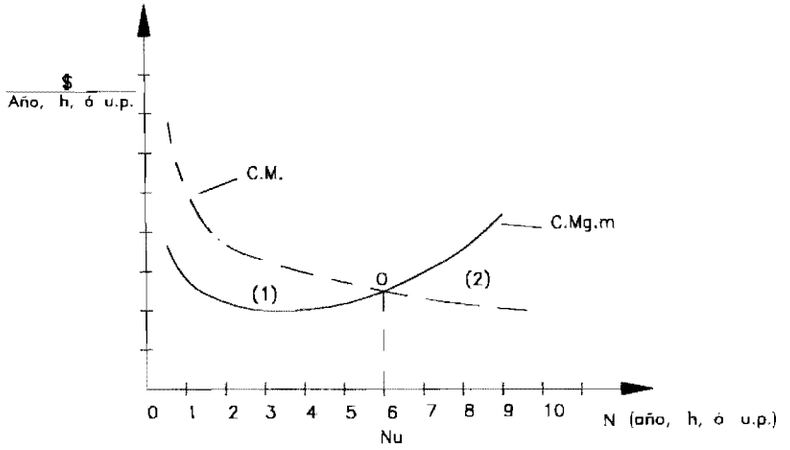


Figura 3.3 Comportamiento de los costos medios y marginal medio.

En la Figura 3.3 se observan los siguientes aspectos:

- Existe una zona 1 donde los costos medios (CM) superan en valor a los CMgm.
- Existe una zona 2 donde los CMgm superan al CM.
- Existe el punto de intersección O entre las curvas del CMgm y CM, punto que proyectado en el punto de N determina el punto donde termina la Nu de la máquina; analizando este punto O encontramos que a partir de ese momento el costo para producir un año más es mayor que el costo medio de producir todos los años anteriores, o sea que a partir de ese momento debe buscarse la oportunidad para desechar esta máquina.
- Para que estas curvas tengan significado en una economía inflacionaria deben trazarse en pesos deflactados (pesos constantes), para lo cual se tomarán en cuenta los índices de inflación general en el año.

Para calcular el valor deflactado de un peso corriente se procederá de la siguiente manera:

$$K = \frac{C}{1 + i_t} \qquad (3.22)$$

Donde:

K = pesos deflactados, es decir de valor constante.

C = pesos corrientes del año o período en análisis.

i_t = índice de inflación durante el año o períodos en análisis.

Por último, no sobra advertir que la ocurrencia del punto O, no significa la imperativa necesidad de eliminar la máquina; debe simplemente advertirse que económicamente hablando la máquina tendrá a partir de ese momento unos costos operativos anuales o periódicos mayores que los promedios de los años anteriores y, por lo tanto, siempre y cuando las circunstancias lo permitan, debe desecharse esa máquina en la primera oportunidad. Antes de producirse el descarte de la máquina debe estudiarse la posibilidad de remplazarla y albergar todos los datos necesarios para evaluar la financiación de una nueva, igual o diferente, según los requerimientos de la empresa y las posibilidades del mercado.

Cuando la maquinaria dentro de la organización de la empresa está constituida como un centro de ingresos y utilidades, es decir, no solamente se le tabulan los costos sino también los ingresos y utilidades provenientes de su trabajo (caso poco común en realidad, excepto en las empresas de alquiler de maquinaria), la determinación del fin de la Nu de la máquina será cuando los ingresos brutos sean máximos, y esto se produce cuando el CMgm iguala al ingreso marginal medio (Imgm), siendo este último el ingreso bruto percibido por la producción de una unidad de trabajo (año, h, u.p., etc.) adicional, o sea:

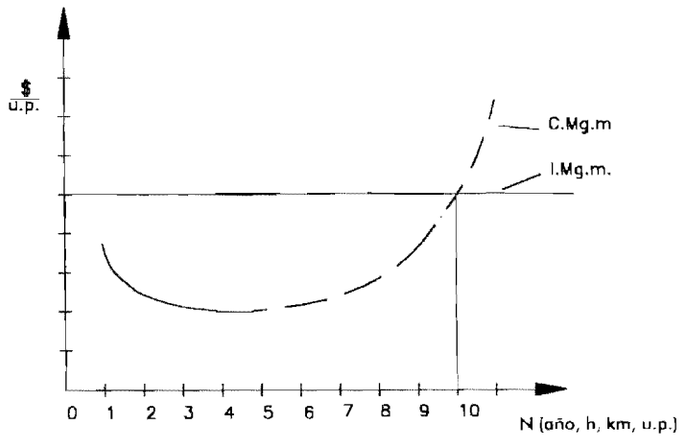


Figura 3.4 Relación entre el costo marginal medio e ingreso marginal medio.

También en este sistema, como en el anterior, es necesario trabajar las curvas con los valores en pesos constantes, deflactando los pesos corrientes según la ecuación 3.23.

3.5.3 Análisis de alternativas mediante el punto de equilibrio (Pe)

El punto de equilibrio, llamado también 'punto de indiferencia', determina la producción Q_e generada en un período de tiempo determinando, para la cual ambas alternativas son indiferentes para la empresa desde el punto de vista económico debido a que sus costos totales en el período analizado son iguales.

Frecuentemente en el análisis económico-administrativo de maquinaria se ofrecen dos alternativas técnicamente aceptables como solución a una necesidad o conveniencia de la empresa; entonces, es necesario evaluar cuál es la más ventajosa desde el punto de vista económico y para ello es común utilizar la técnica del punto de equilibrio, previa consideración de los diferentes limitantes:

a. Para que exista un punto de equilibrio entre dos alternativas A y B es necesario que los costos fijos totales anuales de A sean mayores que los de B y que los costos variables unitarios de A sean menores que los de B, o a la inversa; si esto no sucede no habrá punto de equilibrio.
b. Se puede utilizar solamente para análisis a corto plazo.
c. Supone que durante el período de tiempo analizado deben permanecer constantes los diferentes parámetros como:

- Los precios de los insumos y de los productos por vender.
- Los costos fijos totales.
- Los costos variables unitarios.
- La productividad.
- La escala de producción.

d. Que sea posible identificar claramente los costos como fijos y como variables; los semivariables se deben descomponer en su parte fija y en su parte variable y sumarlas respectivamente a los costos fijos y a los variables.
e. Que toda la producción sea vendida en el lapso de tiempo analizado, es decir que no hayan inventarios de producción.
f. En la Figura 3.5 aparece una representación gráfica de los elementos necesarios para obtener el punto de indiferencia.

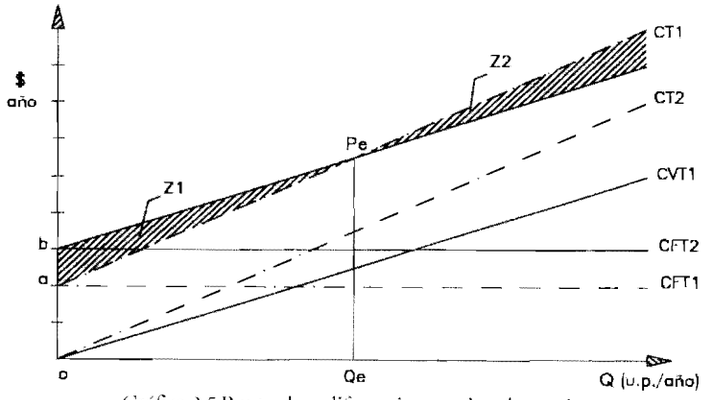


Gráfico 3.5 Punto de indiferencia para dos alternativas.

En la figura anterior se utilizó la siguiente simbología:

CFT_1 = costo fijo de la alternativa 1 en $/año, calculados para absorción total.

CFT_2 = costo fijo de la alternativa 2 en $/año.

CVT_1 = costo variable total de la alternativa I en $/año.

Se obtiene así:

$$CVT_I = CVU_I \times Q \qquad (3.23)$$

Donde:

Q = Producción Total (u.p/año)

CVU_I = en $/u.p. es el costo variable unitario de una unidad de producción (u.p.) que se proyecta producir en la alternativa I, dentro de la escala de producción escogida para el análisis.

Nota: Aquí se tomó como período de análisis un año, pero lógicamente puede ser diferente en otros casos, siempre y cuando sea de corto plazo, y los costos, tanto fijos como variables, se asuman calculados por el método de absorción total, excepto cuando se trate de dos o más alternativas que tengan iguales los gastos de distribución venta y administración, en cuyo caso se podrán asimilar a los costos de producción o fabricación (ver capítulo de costos).

CVT_2 ($/año), es el costo variable de la alternativa 2 y se obtiene utilizando los valores correspondientes en la fórmula 3.23.

CVT_1 es el costo total de la alternativa 1, se obtiene desplazando de forma paralela la recta de los CVT_1 desde el origen hasta el punto a de la Figura 3.5, que representa los CF_1.

CT_2 es el costo total de la alternativa 2. Se obtiene de forma similar a la anterior, pero con los valores correspondientes de CVT_2 y b.

Z_1 zona donde los CT_2 superan los CT_1, se produce cuando la producción Q(u.p./año) está entre 0 y Qe, por tanto cuando la producción de la máquina está entre este rango la alternativa 1 es preferible a la 2.

Z_2 es la zona donde los CT_1 superan los CT_2. Se produce cuando la producción anual supera a Qe, por tanto en este rango de producción la alternativa 2 es preferible a la 1 (Figura 3.5).

Pe es el punto de equilibrio o de indiferencia que sucede en la producción anual (Qe); en esta producción, ambas alternativas son indiferentes para la empresa, pues los costos anuales son iguales.

Cálculo matemático del punto de indiferencia: consiste en determinar las ecuaciones de las líneas rectas que representan los costos totales anuales de ambas alternativas y encontrar su punto de intersección que será:

Las ecuaciones son:

$$CT_1 = CFT_1 + CVU_1 \times Qe \qquad (3.24)$$

$$CT_2 = CFT_2 + CVU_2 \times Qe \qquad (3.25)$$

Igualamos CT_1 con CT_2, pues este es el supuesto básico del punto de equilibrio, y cuando esto sucede Q en ambas alternativas se convierte en Qe. Por tanto,

$$CFT_1 + CVU_1 \times Qe = CFT_2 + CVU_2 \times Qe \qquad (3.26)$$

Despejando Qe obtenemos:

$$Qe = \frac{CFT_2 - CFT_1}{CVU_1 - CVU_2} \qquad (3.27)$$

Al estudiar la ecuación 3.27 observamos que se obtendrá varios Qe si durante el tiempo analizado suceden variaciones en los costos fijos o variables unitarios. Cuando se prevé que esto pueda suceder, deben determinarse los valores máximos y mínimos de las variables y obtener así dos Qe. El rango de producción entre ellos se denomina zona de indiferencia.

Usos del puntode equilibrio: en general, el punto de equilibrio es una herramienta que se usa para seleccionar entre varias alternativas aquellas que muestran un menor costo total anual. Específicamente en maquinaria se utiliza en los siguientes casos:

a. Al elegir entre varios tamaños de una misma máquina para un trabajo determinado.
b. Al elegir entre varios tipos de máquinas que realizan el mismo trabajo.
c. Al elegir entre mecanización y mano de obra cuando esta sea factible desde el punto de vista técnico y administrativo.
d. Al determinar la producción mínima para períodos de corto plazo que debe tener una máquina. Para este caso, es necesario establecer lo siguiente:
   - El trabajo de la máquina (horas, ha, etc.) debe ser vendido directamente, tal como en el caso de las empresas de alquiler de maquinaria, o en las empresas donde el precio para la unidad de producción de sus propias máquinas se valora.
   - La alternativa 1 se conforma con los CFT_1 y CVT_1 de la máquina.
   - En la alternativa 2, los CT_2 se conformarán así:

$$CT = (pa)\,(Qe) \qquad (3.28)$$

Donde:

pa ($/u.p.) = será el precio de alquiler de una unidad de producción (h, ha, etc.).

Qe (u.p.) = serán las unidades de producción mínimas para lograr el punto de equilibrio.

Es de anotar que este CT se asimila al ingreso percibido por la venta de las u.p.

Con base en lo anterior podemos plantear el punto de equilibrio así:

$$CT_1 = CT_2$$

$$CFT_1 + CVU_1 \times Qe = pa \times Qe$$

o sea:

$$\frac{CFT_1}{pa - CVU_1} \qquad (3.29)$$

Si analizamos prácticamente el Pe, encontramos lo siguiente: (ver Figura 3.5)

Z_1 = para una producción de la máquina entre 0 y Qe; cuando esto sucede el CT_1 de la máquina es mayor que el CT_2 que será el ingreso bruto que por alquiler a otros o por uso propio se recibirá en el mismo período, por tanto la máquina estará generando pérdidas para la empresa.

Z_2 = En esta zona la producción supera a Qe y los CT_2 (ingresos) superan a los CT_1 de la máquina; es decir, la máquina le está generando utilidades a la empresa.

Punto de equivalencia (Pe): Cuando la máquina trabaja en este nivel de producción (Qe) los CT_1 igualan los CT_2 (ingresos por venta o uso de trabajo).

e. Al elegir entre realizar un trabajo con maquinaria propia o alquilarla. En este caso también es necesario realizar modificaciones al sistema básico del punto de equilibrio, así:
   - La alternativa 1 se conformará con los $CFT_{(1)}$ y $CVT_{(1)}$ de la máquina propia.
   - La alternativa 2 se conformará con CVT_2 solamente, pues no existen generalmente CFT_2 en un contrato de alquiler de maquinaria; entonces:

$$CT_2 = CVT_2 = pa(Q) \qquad (3.30)$$

$$\text{donde} \quad CT_2 = CVT_2$$

Donde:

CVT_2 = en \$ / u.p es el costo variable unitario de la unidad de producción (u.p.) que se proyecta producir en la alternativa 2, dentro de la escala de producción escogida para el análisis.

pa = el precio de alquiler de la máquina (\$/u.p.).

Q = las unidades de producción que debe realizar la máquina alquilada, expresadas en unidades concordantes con las del precio de alquiler; por tanto, si el precio de alquiler está establecido en \$/ha, Q se deberá representar en ha/año o por período de tiempo adecuado. Al representar gráficamente el caso anterior podemos observar lo siguiente (Figura 3.6):

Z_1 = zona comprendida entre una producción de cero y menor de Qe, donde los CT_1 son mayores que los CT_2; por tanto, cuando la máquina sólo tiene este rango de producción o la empresa estos requerimientos de trabajo, es mejor alquilar la maquinaria que comprarla, pues los costos totales de la maquinaria propia resultarían mayores que los que se pagan por alquiler.

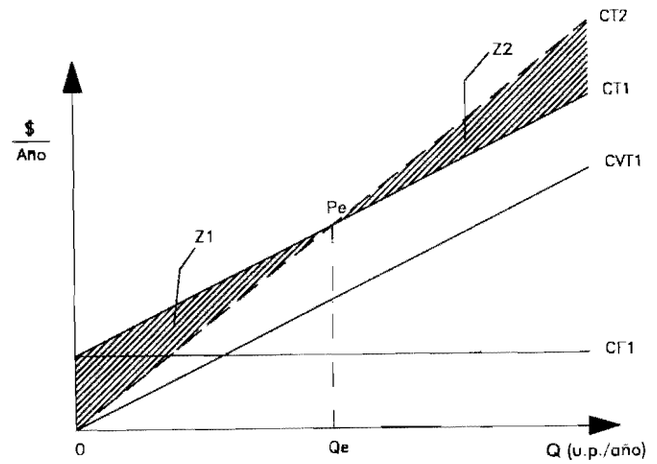


Figura 3.6 Punto de equilibrio entre maquinaria propia y alquilada.

Z_2 = se presenta para una producción mayor que Qe; el límite superior lo establece la capacidad máxima de trabajo de la máquina en el período determinando de tiempo y los requerimientos de trabajo por la empresa.

Aquí, los CT_2 son mayores que los CT_1, es decir que es mejor poseer maquinaria que alquilarla. Esta decisión debe ser analizada más a fondo pues sólo es válida para períodos de corto plazo y cuando no existan variaciones fundamentales en los parámetros que conforman este punto de equilibrio; como normalmente la maquinaria es una inversión a largo plazo, es necesario que cuando este sistema muestre la conveniencia de comprar maquinaria se proceda a realizar un análisis completo y adecuado de la inversión (ver financiación de maquinaria, capítulo 5).

CAPÍTULO 4

Planificación

PARA COMPRENDER LA IMPORTANCIA y la ubicación de la planificación de maquinaria de campo en una empresa del sector agropecuario es conveniente realizar una pequeña introducción que nos permita relacionarla con todo el contexto empresarial. Iniciaremos con la definición de algunos términos administrativos.

Empresa: es una organización social que mediante la utilización racional de recursos humanos, físicos y de capital busca el logro de la misión que se ha propuesto.

Misión: es la definición de la actividad básica en que se fundamenta la empresa. Responde, por tanto, a la definición del tipo de actividad en la cual estará la empresa en el futuro; es la respuesta a las siguientes preguntas: ¿En qué negocio estamos? ¿Qué actividad desarrollamos? ¿Cuáles son los principios y propósitos inmodificables que guiarán el quehacer de la empresa?

Meta: se puede definir como los grandes objetivos que normalmente pretende alcanzar de forma general toda empresa, y son: crecimiento, utilidades y supervivencia; sin embargo es el ámbito de planeación, las definen como los objetivos parciales que se desean alcanzar dentro del tiempo que abarca un plan o proyecto.

Objetivos: son los fines hacia los cuales se dirige la actividad empresarial en el futuro; deben poseer ciertas características esenciales: ser verificables mediante la cuantificación, tanto en logro alcanzado como en tiempo; ser factibles, es decir, que puedan realizarse dentro de las posibilidades de la empresa y puedan trazarse en cualquier nivel administrativo, pero siempre deben estar enmarcados dentro de la misión de la empresa.

Estrategias: conforman un plan general de acción que traza la empresa para buscar la consecución de sus objetivos frente a las condiciones externas del medio (entorno). Las estrategias comprometen para su realización a los recursos fundamentales de la empresa (capital, recurso humano, tecnología).

Políticas: son planes orientados hacia el interior de la empresa que contienen enunciados de acciones futuras y que permiten al personal encargado de realizarlas ciertos límites o rangos de acción; deben reunir dos características:

a. Ser específicas: es decir, deben enunciar con claridad y en forma comprensiva tanto el área de responsabilidad como las personas comprometidas en ella.
b. Ser flexibles: es decir, deben permitir el empleo de la iniciativa de las personas encargadas de llevarlas a cabo.

Premisas: son hechos presentes o acerca de los cuales hay certidumbre de que sucederán en el período de la planeación; deben considerarse, pues la afectarán. Pueden ser internas o externas, cuantitativas o cualitativas, controlables, incontrolables o semicontrolables. En la medida en que las personas encargadas de la planeación identifiquen las premisas, comprendan su incidencia en los objetivos y tracen planes coherentes con ellas, más efectiva será la planeación.

Planeación: existen múltiples definiciones de planeación, una de las cuales es: tratar de visualizar el futuro de la empresa y el medio externo que lo rodea y decidir con suficiente anticipación lo siguiente: a. ¿Qué hacer? b. ¿Por qué hacerlo? c. ¿Cómo realizarlo? d. ¿Cuándo hacerlo? e. ¿Qué o quiénes lo harán? f. ¿Qué se requiere para hacerlo?

La planeación es entonces un proceso administrativo que define objetivos, estrategias y políticas enmarcadas dentro de la misión empresarial y que considera las premisas y recursos presentes y futuros, internos o externos que puedan afectarla, limitándola o ayudándola.

Para estructurar la planeación se debe partir de un análisis completo de dónde se está en ese momento y a dónde se quiere llegar en un tiempo definido. Esto se denomina diagnóstico y es el punto de partida; luego se trazan los objetivos generales de la empresa y a partir de éstos, se originan en cada sección, departamento o área planes detallados que especifican los objetivos concretos de esa dependencia, apoyados en presupuestos parciales que, a su vez, servirán de base para el presupuesto general de la empresa.

Ahora bien, en el presente capítulo estudiaremos un sistema para elaborar planes en el ámbito de maquinaria de campo en una empresa, sistema que hemos denominado planificación de maquinaria de campo.

4.1 Importancia de la planificación

La maquinaria de uso agropecuario muestra aspectos que la diferencian de la de uso civil e industrial, que hacen que la planificación adquiera una mayor importancia para todos los tipos de maquinaria, pero especialmente para la de campo, razón por la cual se intensificará su análisis en este capítulo.

Las características especiales de la maquinaria agrícola de campo pueden resumirse en las siguientes:

4.1.1 En cuanto al tiempo

Las condiciones del clima hacen que las operaciones que se van a realizar con estas máquinas estén enmarcadas dentro de un tiempo muy definido con márgenes más estrechos y rígidos que para otros tipos de máquinas; éste se denomina tiempo disponible, y cuando las máquinas no pueden realizar el trabajo programado en ese tiempo se pueden presentar graves consecuencias que podemos resumir en las siguientes:

- Lucro cesante de aquellos terrenos en los que se realizó un trabajo incompleto.
- Pérdida de la inversión efectuada en las operaciones ya realizadas.
- Calidad deficiente del trabajo realizado extemporáneamente, debido a condiciones inadecuadas del terreno (humedad o sequedad excesiva).
- Consumo excesivo de potencia para realizar el mismo trabajo, debido a las condiciones anteriores.

4.1.2 En cuanto al consumo de potencia

La distribución de la potencia requerida para la realización del trabajo en maquinaria de campo es variable a través del año, debido principalmente a condiciones de clima y requerimientos del cultivo (Figura 4.1). Esto es muy notorio en empresas que poseen maquinaria propia para atender solamente sus propias necesidades de trabajo en cultivos semestrales; en estos casos el lucro cesante que se presenta en épocas de baja utilización de maquinaria debe ser tenido en cuenta al seleccionar la potencia total necesitada para las semanas de mayor requerimiento de potencia.

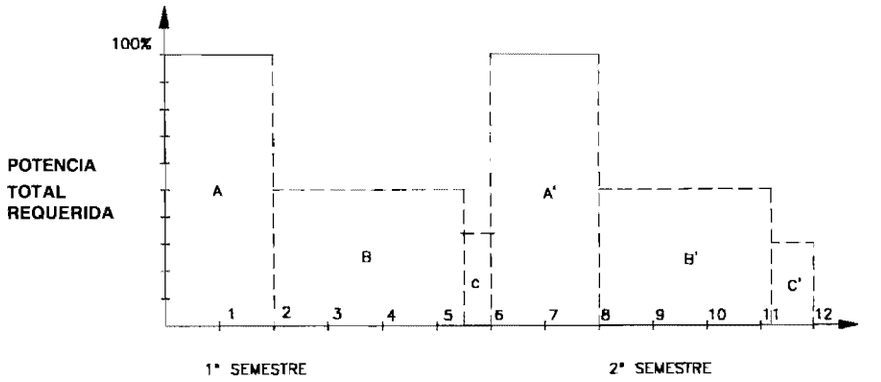


Figura 4.1 Requerimientos de potencia total durante un año.

Explicación de la Figura 4.1: Este gráfico no ha sido elaborado a escala y los requerimientos no deben ubicarse para meses específicos en un año, ya que las épocas de máximo y mínimo requerimiento de potencia varían en el tiempo según la región y el cultivo. Sólo debe interpretarse como un gráfico que muestra las posibles variaciones de la potencia requerida en un año para cultivos semestrales.

Las variaciones mostradas en la Figura 4.1 hacen necesario que en algunas planificaciones con maquinaria propia no puedan atenderse los requerimientos de potencia en los meses pico y deba procederse a alquilar en esas épocas, evitándose así un gran lucro cesante en los tiempos de mínimo requerimiento de potencia.

4.1.3 En cuanto a la intensidad de uso de la maquinaria

Existe para esta maquinaria un límite máximo de uso, como para todos los tipos de máquinas; sin embargo, este máximo no puede lograrse debido a que la maquinaria de campo se ve limitada en su trabajo por circunstancias tales como:

- Operaciones que no pueden realizarse en horas nocturnas: enfardada, siembra en hileras, cultivada en hileras, entre otras.
- Operaciones que deben espaciarse debido a los requerimientos de desarrollo de los ciclos naturales del cultivo, tales como cultivadas o aspersiones que deben efectuarse en un tiempo determinado después de la plantación.
- Condiciones de humedad o sequía excesiva en los suelos.

4.2 Nomenclatura

Antes de estructurar el método para efectuar una planificación es conveniente establecer algunos conceptos y definiciones que se usarán en el tema:

4.2.1 Parcela

Es una extensión de terreno, sin limitación en su extensión, en la que se implantará un solo tipo de cultivo, al cual se aplican 'en toda su extensión' las mismas operaciones mecanizadas.

4.2.2 Operaciones mecanizadas

Todas las actividades realizadas con máquinas en una parcela.

Grupo de operaciones: ante la dificultad de planificar para operaciones mecanizadas individuales se han agrupado éstas en cuatro grupos, buscando fundamentalmente que la interrupción de trabajo entre estos grupos cause los menores problemas técnicos posibles y, en algunos casos, sea beneficiosa y aún necesaria.

Operaciones básicas: comprenden todas aquellas operaciones mecanizadas para una parcela que vayan desde la cosecha anterior (en caso de terrenos sembrados anteriormente), hasta la operación que realice la primera pulverización de terreno; puede incluir una amplia gama o algunas pocas operaciones, dependiendo del sistema de preparación que se haya establecido. Esta variación es no sólo en el número sino también en el orden de las operaciones y aun en el tipo de estas.

Operaciones de siembra: comprenden todas aquellas operaciones mecanizadas que se van a realizar en la parcela, que van desde la posterior hasta la última de las operaciones básicas, hasta aquella con la cual se termina el proceso de siembra; es decir, hasta cuando la semilla quede lista en el campo para iniciar su ciclo de germinación.

Operaciones de conservación o mantenimiento: incluyen todas las operaciones que se efectúan desde la última del grupo de siembra, excepto la recolección o cosecha.

Operaciones de recolección y transporte: comprenden aquellas operaciones mecanizadas de cosecha o recolección del producto y la operación de transporte desde el sitio de cosecha hasta entregar el producto fuera de la parcela. Debe aclararse aquí que no incluye el transporte desde los límites de la parcela hasta los centros de acopio, por ser éste muy variable y particular para cada caso en especial. Por último, este grupo sólo comprende la cosecha y transporte que se efectúan con las mismas fuentes de potencia (tractores) con que se realizaron las operaciones básicas y de siembra. En caso contrario, como cuando la cosecha y transporte se efectúa con cosechadoras o máquinas especiales, no se tendrán en cuenta para la planificación en sí misma y sólo servirán de marco de control para determinar la intensidad del grupo de siembra, como se verá posteriormente.

4.2.3 Horas reales (hr)

Se definen como las cantidades en horas-reloj que serían necesarias para que una máquina, con una capacidad y eficiencia conocidas, realice un trabajo determinado, si no se presentan pérdidas de tiempo por lluvias que demoren su iniciación o interrumpan el desarrollo. Veamos un caso: una máquina A tiene una capacidad de campo de 3ha/h para realizar un determinando trabajo X; por tanto, si el trabajo total que se va a realizar es de 10 ha,

el tiempo medido en hr será de 10ha/3ha/h = 3.3h reales. Como normalmente, aún en estaciones llamadas de "verano" en nuestro medio, se presentan lluvias inesperadas, éstas interrumpen el trabajo de campo en algunas ocasiones (la magnitud de estas interrupciones depende de la intensidad de la lluvia, del tipo de suelo y del tipo de operación); además, pueden impedir la realización del trabajo por un tiempo variable (dependiendo de los mismos factores antes mencionados). Por esto es necesario en nuestro clima, que tiene un régimen e intensidad de lluvias muy variable, considerar como factor de seguridad en la planificación el denominado coeficiente de equivalencia (CE) que involucra los días que presumiblemente se perderán debido a las lluvias.

4.2.4 Coeficiente de equivalencia (CE)

Se define mediante el cociente entre los días totales disponibles en un mes (normalmente se calcula para este período) y el total de días que presumiblemente se perderán por lluvias en este mismo mes; es decir, los días que no podrá trabajar la máquina por las lluvias. Como se puede ver, es un factor de gran incertidumbre en nuestro clima tropical, pero debido a su importancia en el cálculo de la potencia total requerida para una planificación debe calcularse e incluirse en ella, pues no hacerlo representa resultados inexactos, inferiores a los reales.

Cálculo de CE. Para mayor claridad veamos un ejemplo: se presenta una planificación para el mes de enero de 1990 en una región X, donde los registros pluviométricos diarios del mes de enero durante los últimos diez años han sido los siguientes (Tabla 4.1):

Tabla 4.1 Régimen de lluvias diarias (mm, columna de agua por día).

Mes	Día→ Año↓	1	2	3	4	5	6	7	8	.....28 29 30 31
enero	98	0	1	2	4	10	2	6	4	0
"	97	2		9	4	10	8	10		
"	96	0	9		4	12		0		
"	95	0			4	8		4		
"	..									
enero	87	8		9	4	20		10	6	
Promedio diario para los diez años		2	1	2	2	6	1	3	1	0 para los días restantes del mes

Partiendo del conocimiento de lo que ha sido el régimen de lluvias de los años anteriores en el mismo mes (asumimos enero en este caso), datos que deben contener las lluvias diarias en mm por lo menos para diez años, se hace una tabulación similar a la mostrada aquí y se calcula el promedio aritmético para cada día del mes. A partir de estos promedios es posible obtener el número de días que presumiblemente se perderán en enero de 1999. Debemos anotar aquí, nuevamente, que este sistema involucra un factor de incertidumbre grande y que, a pesar de tener datos de varios años, es posible que el cálculo de días que se van a perder sea inexacto. Para usar el promedio obtenido se debe contar con una tabla que relacione este promedio con los días que dicho valor de lluvia hace perder en el trabajo de la máquina.

Como es fácil suponer, los días perdidos por unos milímetros determinados de lluvias dependen de varios factores: topografía del suelo, pendiente, cobertura, drenaje interno y externo, tipo de máquina, tipo de trabajo, textura del suelo y otros; por tanto, debe ser un dato que sólo la experiencia y el conocimiento de las características propias de la zona permitirán asumir con exactitud.

Como información, relacionamos a continuación en la Tabla 4.2, los días perdidos por lluvias para tractores estándar de llanta neumática y carriles (orugas), en operaciones básicas de preparación de suelos agrícolas (arada y rastrillada), de suelo franco, plano, con cobertura de residuos de cultivos semestrales y maleza.

Tabla 4.2 Días perdidos por lluvia (para suelo franco).

Precipitación	Tractor 2 llantas neumáticas	Tractor de orugas
0-2	0	0
3-5	1	0
6-10	2	0
11-30	3	1
más de 30	4	2

Tablas similares a la anterior deben ser elaboradas por cada empresa con sus propios datos para poder obtener resultados ciertos en sus planificaciones.

Una vez calculados los días perdidos en el mes, se procede a obtener el coeficiente de equivalencia (CE) de la siguiente forma:

$$CE = \frac{d_1}{d_1 - d_2} \qquad (4.1)$$

Donde:

d_1 = días totales del mes.

d_2 = días perdidos en ese mes por lluvias.

En el ejemplo en cuestión:

d_1 = 31 días.

d_2 = 3 días para un tractor de dos llantas neumáticas; tendríamos los valores de la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Días perdidos por lluvia (ejemplo).

Día	mes	lluvia (mm)[1]	Días perdidos
1	enero	2	0
2	enero	1	0
3	enero	2	0
4	enero	2	0
5	enero	6	2[2]
6	enero	1	0[3]
7	enero	3	1
8	enero	1	0
9 al 31	enero	0	0

[1] Obtenido de promediar los mm de lluvias caídas en años anteriores en el mismo día del mismo mes. Por ejemplo, si para el 1° de enero se ha proyectado una lluvia de 2 mm, esto se obtuvo de sumar las lluvias, en mm, que cayeron realmente en los días 1° de enero de los años anteriores, dividido por el número de años que se sumaron.

[2] Serán los días cinco y seis.

[3] El día seis está perdido por la lluvia del día cinco.

Como asumimos que para los restantes días la lluvia es cero mm, tendremos solamente tres días perdidos para enero del 99. Por tanto, el CE para enero del 99 será:

$$CE_{enero/99} = \frac{31}{31 - 3} = \frac{31}{28} = 1.1$$

Este valor del CE significa para un planificador que debe dejar disponible 1.1 horas para que una máquina pueda realizar un trabajo que sólo requiere 1.0 horas real o para su ejecución, pues se asume que el exceso de tiempo, en este caso un 10%, se perderá en algún día del mes de enero debido a la lluvia.

4.2.5 Horas equivalentes (he)

Son las resultantes de multiplicar las *h* por el CE; se deben por tanto calcular mensualmente, pues los CE, según se vio, son diferentes para cada mes, o sea he(mesX) = hr(mesX) x CE(mes X), (ver Tabla 4.2) y estas he son las horas que debe tener en cuenta para sus cálculos de planificador. De no hacerse así, los cálculos basados en *h* serán inexactos excepto cuando los CE de los meses planificados sean 1.0.

4.2.6 Unidades de tiempo

La unidad de tiempo empleada en la planificación depende de la complejidad y exactitud de la misma. Para planificaciones complejas y grandes en cantidad de trabajo, se usa la semana de siete días; además, un mes será siempre de cuatro de estas semanas, lo que significa que en casi la totalidad de los meses habrá unos días de holgura a favor del planificador. En cambio para planificaciones pequeñas, de fincas con poca extensión y solamente uno o dos cultivos diferentes, puede adoptarse una unidad de tiempo menor tal como el día.

4.2.7 Fecha

En el proceso de elaboración de una planificación deben conocerse, por parte del planificador, varias fechas que normalmente son suministradas por los asesores técnicos o que se obtienen mediante la experiencia y el conocimiento que se tenga de las características técnicas del cultivo, del clima, de la maquinaria por usar y del suelo, y que variarán para diferentes cultivos, climas e infraestructura de riego, ya que este último elemento puede permitir el adelanto de la fecha de iniciación de preparación.

Las principales fechas son:

- Fecha de iniciación de preparación.
- Fecha de iniciación de siembra.
- Fecha de terminación de siembra.
- Fecha de iniciación de cosecha.
- Fecha de terminación de cosecha.

A continuación se analizará cada una de estas fechas.

4.2.7.1 Iniciación de preparación

Es la fecha en que se inician las actividades mecanizadas del grupo de preparación. Su momento más próximo está limitado por la recolección de la cosecha anterior y, en varias zonas del país, por las primeras lluvias que son

necesarias para humedecer el suelo y poderlo trabajar con ciertos implementos, tales como arados y rastrillos. En terrenos con riego es posible adelantar esta fecha tanto como lo permita la ocupación de la parcela por el cultivo anterior.

Su fecha más remota está determinada por la capacidad de las máquinas para usar, ya que cuanto más tarde se inicie mayor será el gradiente de potencia requerida contra el tiempo, siendo la fecha más remota posible la de iniciación de siembra.

No se establece una posición en el tiempo para la terminación de preparación, ya que ésta es muy variable según la planificación que se haga y su límite más remoto es la fecha de terminación de siembra.

4.2.7.2 Iniciación de siembra

La posición más próxima para esta fecha está determinada, en terrenos sin riego, por factores climatológicos, ya que en esta actividad está incluida normalmente la plantación de la semilla y, por tanto, si se adelanta mucho la fecha de iniciación de la siembra se puede morir la semilla por falta de humedad, al existir un intervalo demasiado largo entre la fecha de plantación y la aparición de las primeras lluvias. Este problema no existe cuando se dispone de riego, pudiéndose adelantar la fecha de acuerdo al requerimiento de maquinaria que este adelanto ocasione.

Respecto a la posición más remota para esta fecha existe un límite que se origina cuando el gradiente de siembra contra tiempo es muy alto, pues ocasionará, en condiciones normales del ciclo vegetativo, un gradiente también alto en la cosecha del producto; en la gran mayoría de los casos existirá, a su vez, un alto requerimiento de máquinas cosechadoras, factor que debe ser tenido en cuenta por el planificador; su omisión puede ocasionar graves problemas, como incapacidad de atender oportunamente la cosecha generando pérdida o deterioro del producto.

4.2.7.3 Terminación de siembra

Es la fecha en que se deben haber terminado las operaciones de preparación y siembra. Debido a que siempre será precedente la preparación a la siembra, al terminar ésta ya debió terminar su preparación. La posición más próxima depende de dos factores: de la capacidad disponible de maquinaria y de las posibilidades de riego o lluvias que proporcionen el grado de humedad necesario para una buena germinación de las semillas; las posiciones más remotas deben tener en cuenta el régimen de lluvias, ya que si se presentan éstas sin terminar las operaciones de siembra pueden originarse problemas de alta pérdida de potencia por patinaje, daño de la estructura del suelo e inclusive, suspensión de labores con las graves consecuencias que esto conlleva.

Una vez cumplida la terminación de siembra se inicia el ciclo vegetativo de la planta; la duración del mismo, que depende de factores como el tipo de cultivo, el clima y otros, es un parámetro para unas condiciones dadas y por tanto, permite determinar con mucha exactitud el intervalo de tiempo entre la fecha de terminación de siembra y la de iniciación del grupo de cosecha. A partir de este momento se presentan dos fechas que son: la de iniciación y la de terminación de cosecha.

4.2.7.4 Iniciación de cosechas

Una vez cumplido el ciclo vegetativo se inicia esta fecha importante para el planificador, en especial porque, en la mayoría de los cultivos, la maquinaria que se va a usar es diferente de la que hasta este momento se ha requerido, y ello depende del gradiente de potencia contra tiempo o de la capacidad del gradiente con que se haya planificado el grupo de siembra. El tipo de cultivo determinará la fecha más próxima de iniciación de la cosecha, pero la más remota será determinada por condiciones múltiples: clima, uniformidad de madurez, etc. Es de anotar aquí la importancia económica que para algunos cultivos tiene poder iniciar y terminar la cosecha antes de que se produzca la máxima oferta de otros productores; sin embargo, es difícil hacerlo, pues para ello se requieren condiciones especiales, tales como riego, que permitan un desplazamiento de toda la planificación para fechas próximas.

Como se ha visto en todo lo expuesto antes, es posible mover, dentro de ciertos límites, todas las fechas importantes de la planificación, pero sin perder de vista las consecuencias que para el cultivo tienen estos desplazamientos; por tanto, es recomendable un análisis agronómico antes de cualquier movimiento de fechas.

4.3 Metodología

Se dividirá en dos partes: la primera analizará los datos que el planificador debe conocer para la planificación y la segunda se referirá a los cálculos que debe efectuar.

4.3.1 Datos básicos

Estos datos son: parcela, extensión, cultivo, labores mecanizadas, fechas y observaciones, que para mayor claridad están tabulados en la tabla 4.4, con los siguientes significados:

Parcela: se identifica con una letra mayúscula; es necesario conocer de ella lo referente a extensión, cultivo, tipo de suelo y topografía.

Cultivo: los datos necesarios del cultivo son:

- Labores mecanizadas que requerirá la parcela y la secuencia de las mismas: de la labor se deduce el tipo de máquina y el implemento que se necesita para efectuar la labor, por ejemplo arar requiere tractor y arado, rastrillo de tiro excéntrico y así sucesivamente.
  A cada labor se la ha asignado un número para facilitar su tabulación; cada número representa una labor diferente en una secuencia determinada por la parte técnica. Esta secuencia es muy variable según el método técnico usado.
- Período vegetativo: su duración, como se sabe, depende del cultivo, pero es fundamental para poder fijar las fechas de cosecha y para distribuir la labor del grupo de conservación y mantenimiento.
- Fecha de iniciación de preparación: iniciación de siembra, terminación de siembra e iniciación y terminación de cosecha.
- Características de la cosecha: aquí se debe especificar si es manual o mecanizada y el tipo de características técnicas de la maquinaria que cosechará.

Tabla 4.4 Datos básicos.

PARCELA	A (ha)	CULTIVO	LABORES MECANIZADAS													FECHAS					OBSERVACIÓN
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	I	II	III	IV	V	
A	45	SORGO	X	X	X			X						X	X	21/I	11/II	21/II			COSECHA CON COMBINADA
B	30	SORGO	X	X	X	X		X						X	X	21/I	11/II	21/II			COSECHA CON COMBINADA
C	150	ALGODÓN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	14/I	21/I	7/II			COSECHA MANUAL

Significado de las labores mecanizadas: a título de ejemplo haremos una lista del significado (Tabla 4.5) de las labores para la tabla anterior.

Tabla 4.5 Secuencia de labores.

Nº	Labor mecanizada	Implementos requeridos
1	Arada	Arado
2	1ª Rastrillada	Rastrillo de tiro
3	2ª Rastrillada	Rastrillo de tiro
4	3ª Rastrillada	Rastrillo pulidor y alce hidráulico
5	Aplicación de preemergente	Aspersora de tractor
6	Plantación y fertilización	Sembradora grano grueso
7	1ª. Cultivada	Cultivadora de discos y escardillos
8	1ª. Aspersión	Aspersora de tractor
9	2ª. Cultivada	Cultivadora de discos y escardillos
10	2ª Aspersión	Aspersora de tractor
11	3ª. Aspersión	Aspersora de tractor
12	Cosecha mecanizada	Variable según el cultivo
13	Transporte	Remolque

Nuevamente se debe insistir en que esta secuencia de labores no debe tomarse como una guía rígida, pues existen múltiples alternativas según el sistema técnico utilizado; pero una vez establecido el sistema es muy importante ordenar las labores en una secuencia de precedencia y consecuencia real, es decir que si para el sorgo de la parcela A existen las operaciones 1, 2, 3, 6, 12, 13, la operación 1 precede a la dos y ésta a la tres y así sucesivamente hasta la 13.

Fechas: el significado de las fechas es el siguiente:

Fecha I : iniciación de preparación.

Fecha II : iniciación de siembra.

Fecha III : terminación de siembra.

Fecha IV: iniciación de cosecha.

Fecha V : terminación de cosecha.

Debe tenerse presente que aquí sólo aparecen la I, la II y la III con fechas definidas, pues la IV es igual a la II más el período vegetativo del cultivo y la V igual a la III más el mismo período, pues inicialmente se asume que la duración de la cosecha es igual a la duración de la siembra; por tanto, no se pueden obviar como datos y se calcularán posteriormente cuando se determinen con claridad las fechas II y III que, como vimos antes, pueden sufrir variaciones dentro de ciertos límites.

4.3.2 Cálculos

A continuación se esbozará una guía de cálculos para efectuar por parte del planificador.

4.3.2.1 Agrupación

Se hará agrupación de parcelas para reunir varias parcelas pequeñas que tengan el mismo cultivo y las operaciones mecanizadas; además, que tengan iguales las fechas I, II y III; además de los anteriores requisitos debe existir proximidad física entre las parcelas ocupadas.

4.3.2.2 División de parcelas

Cuando son parcelas de mucha extensión (mayores de 50 ha) algunas veces es necesario dividirlas en varias pequeñas. La necesidad o no de hacerlo se manifiesta en el balance de horas para poder hacer movimiento de grupos de operación con pocas horas equivalentes y, así, lograr mejores balances.

Las parcelas resultantes de la división aparecerán con la misma letra de la parcela original y subíndices tales como A_1, A_2, A_3,.....A_n.

4.3.2.3 Determinación de los grupos de operaciones de cada parcela

Siguiendo los criterios esbozados al definir los grupos de operaciones se agruparán todas las actividades mecanizadas de cada parcela con los cuatro grupos definidos antes. Por ejemplo, para el algodón tendremos:

GRUPO DE OPERACIONES	LABORES MECANIZADAS
Grupo preparación	1 y 2
Grupo siembra	3, 4, 5 y 6
Grupo mantenimiento	7, 8, 9, 10 y 11
Grupo cosecha	13

4.3.2.4 Cálculo de horas reales (hr) por parcela y grupo de operaciones

Como las *h* que una máquina y su implemento gastan para realizar un trabajo dependen de la capacidad de campo real y ésta, a su vez, del tamaño, velocidad y eficiencia del equipo, es necesario para poder calcularlas asumir la capacidad promedio más conocida de la zona y que haya sido comprobada para circunstancias similares a las de la planificación, si es que no existen datos históricos en la misma área por planificar. Aquí, es necesario recalcar la amplia variación que existe para trabajos y máquinas similares en diferentes zonas del país, debido básicamente a diferencias de topografía (pendiente, contorno, etc.), capacitación de los operarios, cobertura del terreno y otras; así vemos como, para 1 ha, un tractor de potencia media (70-80 bhp) y arado de tres discos, en una zona plana y de forma regular, demora en promedio 3.3 horas; en algunas zonas puede demorarse hasta 14 horas, debido a que son muy pendientes y de forma irregular.

Lo anterior nos muestra la necesidad de asumir una capacidad que sea real en el área por planificar, pues si hay un error en este dato toda la planificación será falsa.

A título informativo, se darán en la Tabla 4.6 algunas capacidades promedio para dos zonas altamente mecanizadas del país, la Costa Atlántica y el Valle

del Cauca, para tractores estándar de potencia media entre 70-80 bhp y dos llantas de tracción. Tablas similares a la Tabla 4.6 deben ser elaboradas para la zona específica por planificar.

Con base en las capacidades establecidas se procede al cálculo de las *h* requeridas para máquinas e implementos para trabajar en cada parcela y cada grupo de operaciones.

Tabla 4.6 Capacidades promedias (h/ha).

LABOR	IMPLEMENTO	C. ATLÁNTICA	V. DEL CAUCA
1. Arada	Arado de tres discos	3.1	3.3
2. 1ª rastrillada	Rastrillo de tiro excéntrico	1.5	1.3
3. 2ª. rastrillada	Rastrillo de tiro excéntrico	1.0	1.2
4. 3ª. rastrillada	Rastrillo pulidor de alce hidráulico	0.9	1.0
5. Niveladora	Niveladora de alce hidráulico	1.0	1.0
6. Aplicación preemergente	Aspersora para tractor	1.0	1.0
7. Plantación	Sembradora grano	1.0	1.3
8. Cosecha	Combinada autopropulsada	1.0 [1]	1.0 [1]
9. Transporte	Remolque y tractor	1.0 [2]	1.0 [2]
10. Cultivada	Cultivadora alce hidráulico	0.8	0.7
11. Subsolada	Subsolador	3.1	3.3 [3]

1 Este dato es muy variable, pues el trabajo de ésta máquina debe medirse por la capacidad de cosecha y no por el área cubierta. Por tanto, es posible que para un cultivo de alta producción demore más tiempo en cosechar una ha que para el cultivo de baja producción.

2 Aquí sólo se expresa el tiempo promedio que necesita un tractor con un remolque de unas cuatro toneladas de capacidad, para transportar el producto cosechado en una ha hasta la vía circundante a la parcela. El otro tiempo requerido para llevar el producto hasta el sitio de acopio es muy variable y, por tanto, no se puede promediar aquí.

3 Depende de la separación entre dos subsoladas consecutivas. Para nuestro ejemplo tomaremos un tractor de potencia media (70-80 bhp) y capacidades promedio del Valle del Cauca, por tanto los tractores que se obtengan al final de la planificación serán de potencia media con implementos alistados en la tabla anterior; lógicamente, esta planificación será únicamente válida para estas circunstancias, pero no para otras. Este concepto no debe perderse de vista.