

1. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para comprender y poder calcular el trabajo a efectuar por un equipo dado, en el presente capítulo, se hablará sobre la naturaleza de los materiales de construcción, algunas de las formas en que se encuentran los materiales y las diversas maneras en que se manejan para un trabajo de construcción. Debe comprenderse también la forma en que puede aplicarse la potencia de un equipo para trabajar en el material y vencer las fuerzas de la naturaleza.

1.1 Fuentes de potencia para la construcción

El equipo de construcción que se usaba hace un siglo, se accionaba por fuerza animal y por la potencia del vapor de agua. El uso de la fuerza animal ha persistido hasta nuestros días en algunos países subdesarrollados. Esta forma de potencia para el equipo de construcción desapareció en los Estados Unidos y en otras naciones industrializadas al quedar en desuso la escrepa de tipo Fresno, lo cual ocurrió a principios del siglo XX.

Las diversas formas de potencia generada para los equipos de construcción, evolucionaron pasando de la potencia de vapor a la potencia eléctrica, luego a la potencia de los motores de combustión interna, posteriormente, a la potencia del aire comprimido y a la potencia hidráulica, y puede pasar, antes de que transcurran muchos años, a la potencia nuclear.

Aun cuando la fuerza animal no se use más en la construcción, su recuerdo nos permite comprender que la necesidad que representó el animal fue la obtención de energía para ejecutar un trabajo, así tenemos que, *trabajo = fuerza x distancia*. La rapidez con la que se ejecuta un trabajo dado, se define como potencia. La rapidez con la que un grupo de caballos ejecuta un trabajo dio pie a la expresión *caballo de potencia* o *caballo de fuerza*. La definición moderna dice:

$$\text{Un caballo fuerza (1 HP)} = 33,000 \frac{\text{ft lb}}{\text{min}}$$

$$\text{Un caballo fuerza (1 HP)} = 746 \text{ watts}$$

$$\text{Un caballo fuerza (1 HP)} = 76 \frac{\text{kg}_f \text{ m}}{\text{s}}$$

$$\text{Un caballo vapor (1 CV)} = 75 \frac{\text{kg}_f \text{ m}}{\text{s}}$$

Las fuentes de potencia que se estudiarán con respecto a su aplicación al equipo construcción en uso, transmiten su potencia por rotación o por acción recíprocamente. De esta manera, es posible tener una unidad motriz compacta que ejecuta el trabajo necesario.

La potencia necesaria para hacer un trabajo, puede expresarse simplemente como la relación que existe entre la energía por unidad de tiempo.

Si pudiera existir una relación de uno a uno, esta potencia P sería la potencia de entrega, potencia al freno, requerida por la unidad motriz para hacer este trabajo. Sin embargo, ocurren ciertas pérdidas por deslizamiento, por generación de calor y otros por efectos, entre la toma de potencia y lo que realmente se aprovecha en forma de trabajo efectuado.

La capacidad de potencia de una unidad generadora, radica en la energía existente en el combustible, la cual ha de ser transformada en potencia útil. Esta energía puede estar en forma de:

1. **Energía química** como un trozo de carbón mineral o un litro de gasolina o diesel.
2. **Energía térmica** como en el vapor de agua almacenado en una caldera o en los gases encendidos en una máquina de combustión interna.
3. **Energía eléctrica** como la entregada en las terminales de un acumulador.
4. **Energía mecánica** como la entregada en la flecha motriz de un motor.
5. **Energía atómica** como la existente en los materiales nucleares, de alta energía y de reacción en cadena.

La mayoría de las unidades motrices para equipo de construcción representa una combinación de varias de estas formas de cambio de la energía. Si la unidad trabaja con algún combustible, tiene un potencial definido para hacer trabajo, de acuerdo con lo indicado por los valores mostrados en la tabla 1.1.

Combustible	Poder calorífico medio	Datos adicionales
Madera	2,780 K-Cal /kg _f	
Carbón mineral	6,940 K-Cal /kg _f	
Combustible diesel	10,690 K-Cal /kg _f	0.88 kg _f / litro
Petróleo diáfano	11,000 K-Cal /kg _f	0.82 kg _f / litro
Gasolina	11,390 K-Cal /kg _f	0.74 kg _f / litro

Tabla 1.1 Poder calorífico de los materiales mas comunes empleados en la construcción.

En donde 1 K-Cal es igual a 427 kg_fm .

La potencia generada en el punto de conservación (en la cámara de fuego de una caldera de vapor o en el cilindro de un motor de combustión interna) es menor que el potencial del combustible. Las diferencias ocurren debido a la combustión imperfecta en la cámara de combustión; a las pérdidas caloríficas hacia las partes del equipo que no reciben directamente la energía térmica para ejecutar trabajo útil; a fugas y a otras causas similares. A la relación de la conversión de la energía efectiva cinética, se le puede llamar eficiencia o rendimiento del combustible η_1 . Sí se trata de un motor de combustión interna, el siguiente cambio de energía, se produce cuando sucede, la explosión en la cámara del cilindro, para luego mover el pistón. También habrá pérdidas caloríficas y fugas en este

caso, y la eficiencia resultante será η_2 . A continuación, el pistón o émbolo actúa sobre la leva, la cual hace girar al eje del motor.

En este cambio ocurren ciertas pérdidas debidas al deslizamiento y al calor perdido por rozamiento, las cuales conducen a la eficiencia η_3 . Podrían hacerse consideraciones semejantes en la junta universal y en las demás reducciones de engranaje y puntos de cambio o traspaso de potencia. Las eficiencias de estos cambios pueden agruparse como η_n . El resultado neto de todas estas eficiencias, puede utilizarse para determinar la entrega de la unidad motriz dada. Así:

$$P_0 = (\eta_1)(\eta_2) \dots (\eta_n)(P_v) \quad 1.1$$

Donde

- P_0 Potencia entregada
- P_v Potencia alimentada o potencial.

Las eficiencias descritas anteriormente no se conocen ni pueden determinarse fácilmente. Lo que se ha determinado por pruebas de funcionamiento general, son las eficiencias de conjunto de las máquinas para las unidades motrices representativas de uso común. Las eficiencias de las máquinas, es decir, las relaciones de la energía alimentada a ésta, expresadas en porcentajes, son:

Máquinas de vapor	6-10%
Motores de gasolina	20-30%
Motores diesel	30-40%
Motores eléctricos	75-95%

Para ver lo que pueden significar estos valores trabajando con tales unidades motrices, se harán algunas comparaciones de costo del combustible necesario para desarrollar una entrega de 100 HP. Para hacerlo, será conveniente tener a mano algunas equivalencias de potencia y energía.

$$1HP = 76 \frac{kg_f m}{s} \quad 1 kcal = 427 kg_f m$$

$$1HP = 10.68 \frac{kcal}{min} \quad 1kwh = 860 kcal$$

$$1HP = 746 watts \quad 1 kwh = 1.34 HPh$$

Suponiendo que para una máquina de vapor que utilice carbón mineral como combustible, la eficiencia de conjunto es de 8%. La cantidad de carbón, X_c , en kilogramos por hora, necesaria para desarrollar la entrega de 100 HP, puede calcularse como sigue (utilizando la tabla 1.):

$$0.08 X_c (6,940) = 100 (10.68) (60) \quad 1.2$$

Despejando

$$X_c = \frac{64,080}{0.08(6,940)} = 115.4 \quad kg_f / h \quad 1.3$$

Y si el carbón cuesta \$75 dólares por tonelada, el combustible necesario para generar estos 100 HP, costará:

$$C_c = \frac{115.4}{1000}(75) = 8.65 \text{ dolares / h} \quad 1.4$$

Suponga que para un motor de diesel la eficiencia de conjunto es de 25%. La cantidad de diesel, X_g , en litros por hora, puede calcularse como:

$$0.25X_g(0.88)10,690 = 100(10.68)(60) \quad 1.5$$

$$X_g = \frac{64,080}{0.25(0.88)(10,690)} = 27.25 \text{ litros / h} \quad 1.6$$

Y si la gasolina cuesta 60 centavos de dólar por litro, el combustible necesario para generar estos 100 HP, costará:

$$C_g = 0.60(27.25) = 16.35 \text{ dolares / h} \quad 1.7$$

Suponga que para un motor eléctrico, la eficiencia de conjunto desde la toma de la línea de fuerza hasta el eje del motor de entrega, es de 85%. La energía alimentada desde una fuente de corriente alterna trifásica, daría los kilowatts (*kw*). La potencia alimentada, X_e , en *kwh*, necesaria para desarrollar la entrega de 100 HP, se determina por:

$$0.85X_e(1.34) = 100 \text{ HP por hora} \quad 1.8$$

$$X_e = \frac{100}{0.85(1.34)} = 87.8 \text{ kwh} \quad 1.9$$

Sí la energía eléctrica cuesta 4.8 centavos de dólar/ *kwh*, el costo de generación de 100 HP, por hora es:

$$C_e = 0.048(87.8) = 4.214 \text{ dolares por hora} \quad 1.10$$

1.1.1 Potencia del vapor de agua

La potencia del vapor de agua fue la primera forma de transmitir fuerza mecánicamente para accionar equipo de construcción, sin utilizar animales.

El vapor tenía algunas ventajas apreciables, pero también algunas desventajas importantes, entre ellas la voluminosidad del equipo y los peligros que representaba el sistema. Para generar y

entregar la potencia de vapor necesaria para equipos como palas de vapor y tractores, se requería una caldera muy voluminosa sólo para generar vapor.

Probablemente, la ventaja mas importante de la potencia del vapor es su capacidad para producir fuerza de impacto. Esta cualidad la hace aún útil para las operaciones de hincado de pilotes. En las otras aplicaciones de potencia a la construcción, el vapor ha cedido terreno desde los años treinta a otras formas que poseen algunas de sus ventajas y que no ofrecen sus desventajas.

1.1.2 Potencia de la combustión interna

Hacia 1930, en los países, industrializados del mundo el motor de combustión interna comenzó a reemplazar a la máquina de vapor en el equipo móvil para construcción. Esta máquina genera su potencia de la energía térmica contenida en la gasolina o en el combustible diesel. El primero que se desarrollo fue el motor de gasolina, que tomó como modelo el motor de gas construido en 1876 por Nicolás Augusto Otto. Al ciclo de cuatro tiempos se le conoce como el ciclo Otto. Posteriormente Gottlieb Daimler logró un mejoramiento notable, usando vapor de aceite con gas para formar gasolina como combustible. Con esto pudo fabricar un motor mucho más ligero, aventajando aún más la potencia del vapor, y logro obtener aparte, mayor número de revoluciones por minuto – de 800 a 1000 rpm.

Originalmente, los motores de combustión interna tenían relaciones de “compresión” de 4 a 1; es decir, la gasolina que servía de combustible se comprimía a una cuarta parte del volumen que tenía en la “admisión”. Con el advenimiento de combustibles mejores y más compresibles, de metales más resistentes para el cilindro y los pistones, de tolerancias más estrictas y diseños más eficientes, se han podido lograr relaciones mayores de 8 a 1 en los motores de gasolina, y de 16 a 1 en los motores de diesel.

Tales mejoras, junto con los componentes de diseño más compacto han llevado a relaciones más altas de potencia entre peso. Esto representa una gran ventaja para el equipo de construcción en el cual se requiere aplicar gran potencia sin tener un mecanismo y un bastidor demasiado grande que resulten difíciles de maniobrar. Hay sin embargo, una limitación para aumentar la relación de potencia a peso en el equipo móvil, que impone la condición de tracción. La potencia requerida en forma de fuerza (F) para aplicarse a los elementos motores, no puede ser mayor que el peso-fuerza perpendicular a la superficie (F_n) por el coeficiente de tracción (C_t). Si lo es, los elementos motores simplemente derraparán con rotación deslizante, mientras la potencia sobrepase al esfuerzo tractivo máximo (ET) que puede aplicarse bajo las condiciones dadas de trabajo. Lo anterior, se expresa como:

$$ET_{\text{máximo}} = C_t (F_n) \geq F \quad 1.11$$

La efectividad de un motor de combustión interna se mide generalmente en función de la potencia o del par de torsión, la potencia está directamente relacionada a la fuerza aplicada y a la velocidad de movimiento en dirección lineal, por la expresión

$$P = k_1 F(v) \quad 1.12$$

Donde

k_1	constante de proporcionalidad
F	fuerza aplicada
v	velocidad lineal

En el motor de combustión interna, la potencia se desarrolla en el eje del motor giratorio movido por los pistones desde los cilindros. En consecuencia, la potencia motriz procede de un par de torsión, que puede traducirse a una fuerza aplicada tangencialmente a la circunferencia del eje motor. Así se tiene que el par de torsión se calcula como:

$$T = F_t r \quad 1.13$$

Donde

F_t	fuerza tangencial
r	radio desde el centro de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza (generalmente, se considera el radio del eje motor). La potencia se calculará como:

$$P = \frac{2\pi NT}{4,500} \quad 1.14$$

Donde

P	Potencia en <i>HP</i>
N	velocidad del eje en <i>rpm</i>
T	par de torsión en <i>kgm</i>

La fuerza tangencial puede aplicarse mediante una banda al eje impulsor del motor, o puede ser una fuerza de rozamiento debida a la presión aplicada radialmente, por frenado, sobre el eje impulsor.

Si el motor trabajara exclusivamente contra el freno, se observaría que el rozamiento varía con la fuerza de aplicación del freno completamente, la velocidad se volvería infinita durante la operación del motor. Para impedir que esto ocurra, se diseña el motor con gobernador que sirve para limitar la velocidad de rotación del eje a una cierta velocidad (*rpm*) máxima predeterminada. La capacidad de un motor se especifica en función de su potencia (*HP*) a la velocidad (*rpm*) regulada. Por ejemplo, si un motor puede desarrollar un par de torsión de 68.24 *kgf m*, a la velocidad gobernada de 2100 *rpm*, de la ecuación 1.14, la potencia nominal del motor sería:

$$P = \frac{2\pi(2100)68.24}{4,500} = 200 \text{ HP} \quad 1.15$$

A esta cifra se le conoce como potencia al freno (*bhp*), es decir, la potencia disponible para efectuar trabajo en el extremo de entrega o de toma del eje impulsor. La capacidad de potencia de un motor de combustión interna se encuentra siempre en la hoja de especificaciones de éste.

Debe observarse que, el par de torsión entregado no es máximo a la velocidad controlada, aun cuando la potencia al freno sea un valor máximo está quizás a dos tercios de la velocidad gobernada. Este par de torsión es de 10 a 20% mayor que el par a la velocidad máxima. Tal característica del diseño del motor aporta una reserva para aceptar una sobrecarga momentánea e impedir que se pare el motor al ocurrir ésta. Por supuesto, si la carga es todavía demasiado grande para el motor, éste se para. Para impedir el paro, el operador debe actuar para cuidar la sobrecarga, cambiando su transmisión a un engranaje más potente.

El mecanismo que hace que la potencia al freno en el eje de entrega para vencer las fuerzas de la carga aplicada al equipo en el motor de combustión interna se hace a través de una transmisión de engranes que reduce la velocidad y aumenta la potencia entregada. Estos cambios se logran usando las relaciones apropiadas de reducción de los engranajes en el diseño. La potencia al freno del motor puede expresarse por la relación:

$$bhp = k_2 N_g T_g = k_3 N_g F_g \quad 1.16$$

Donde

N_g	velocidad gobernada
T_d	par torsión
F_g	fuerza tangencial aplicada en la circunferencia del eje motor
$K_2 k_3$	constantes de proporcionalidad considerando el radio del eje

Entonces, con la potencia transmitida mediante los engranes a un punto de entrega que es la rueda motriz, la fuerza entregada, F_o , que ha de vencer la carga está teóricamente relacionada por la expresión:

$$F_o N_o = N_g F_g \quad 1.17$$

Si se reordena esta expresión para dar relaciones de velocidades o fuerzas, dichas relaciones serían las de reducción total de los engranajes. La ecuación anterior, define que el par de torsión de entrega, T_o , será :

$$T_o = (F_o) r \quad 1.18$$

Donde

r	radio de la rueda motriz
F_o	fuerza aplicada a la rueda

La transmisión de potencia desde su origen hasta el punto en que debe efectuar trabajo, nunca es 100% efectiva. Ocurren pérdidas en el tren de engranes y en otras partes del mecanismo. La eficiencia mecánica del sistema puede ser de 60% al 80%, dependiendo de su diseño y del estado de conservación del mismo. Esta eficiencia, combinada con la efectividad de conversión del potencial del combustible a potencia útil en el motor de combustión interna, da la eficiencia total o eficiencia de conjunto de la máquina. Algunas especificaciones de motores incluyen un grupo de curvas de potencia en *HP* contra *rpm*.

Existen valores que deben tomarse en consideración para las diferentes necesidades de carga. Algunos de ellos son:

1. La potencia “máxima” o de pico, que puede entregar el motor durante unos cinco minutos sin que baje su velocidad; será una indicación de la potencia máxima del motor dentro de un 5%.
2. La potencia “intermitente”, que se refiere a las aplicaciones de carga variable, como excavadoras y malacates, en las que la duración de la entrega sostenida de potencia plena es de una hora o menor; es decir HP intermitentes = 90% de los HP máximos.
3. La potencia “nominal” o de servicio continuo, la cual se refiere a las aplicaciones de carga como trituradoras de roca y bombas, en las que la duración de la entrega sostenida de potencia plena es de 8 a 24 horas diarias; HP “nominales” = 80% de HP máximos.

1.1.3 Potencia eléctrica

La utilización de la potencia eléctrica para el equipo de construcción, depende del tipo de trabajos, de las necesidades de movilidad y de la disponibilidad de la energía eléctrica o posibilidad de generarla. Cuando se puede disponer fácilmente de esta forma de energía y los trabajos de construcción están concentrados en un solo sitio, la potencia eléctrica debe considerarse en primer término, bajo tales circunstancias, por ser la forma más económica. Su utilización debe preferirse para trabajos de construcción que han de realizarse en áreas pobladas, en las que ya existan líneas eléctricas, para llenar los requisitos de potencia de grúas y malacates para construcciones de gran altura, plantas mezcladoras de asfalto y de concreto, y otros usos similares. El costo que representa la conexión de toma eléctrica del equipo en un área urbana o marginal a una ciudad, es insignificante. Si se planea la selección con suficiente anticipación y se puede construir la instalación alimentadora como parte de la permanente, puede no haber cargo alguno de instalación para el contratista.

La potencia eléctrica suministrada desde líneas existentes o instaladas especialmente, se entrega en forma de amperes de corriente, (I) impulsados por el voltaje (E) o diferencia de potencial. Cada una de estas cantidades varía en forma regular en un sistema de corriente alterna. La potencia (P) disponible es proporcional al producto (E)(I), y se expresa en kilovolt-amperes (kva). El factor de potencia que se aplica a la corriente alterna, considera el hecho que la corriente y el voltaje no están, con frecuencia, en fase una con respecto al otro, es decir no alcanzan sus valores máximos, ni cualquier otro valor de sus ciclos, en los mismos instantes. El factor de potencia varía generalmente desde 1.0 hasta 0.7 para una operación razonable y se representa matemáticamente por $\cos \theta$, reflejando la naturaleza senoide de la corriente alterna y el voltaje alterno, e introduciendo el ángulo de fase, θ . Si todos los motores de los equipos que usan potencia eléctrica tienen factores de potencia (FP) en atraso, el costo resultante será cercano a la unidad. Es por esa razón que resulta ventajoso para la economía de la demanda de potencia total en el sistema, la selección de un motor eléctrico con FP , como un motor sincrónico, entre las distintas unidades del sistema.

La energía eléctrica disponible en forma comercial, es la corriente alterna, por sus mejores características de transmisión, en comparación con la corriente continua. Además, por lo general, es trifásica, por ser la forma más simple y efectiva de suministro polifásico, para eliminar los efectos notables de las variaciones senoidales. Este suministro polifásico de energía produce un amperaje y un voltaje razonablemente uniformes, que dan origen a la potencia:

$$P_a = \frac{EI \cos \theta \sqrt{3}}{1000} \quad 1.19$$

Donde

P_a está en *kva*

O bien;

$$P_a = \frac{EI \cos \theta \sqrt{3}}{746} \quad 1.20$$

P_a en *watts*

Un suministro monofásico dará la siguiente potencia máxima:

$$P_a = \frac{EI \cos \theta}{746} \quad 1.21$$

Donde

P_a en *watts*

La tarifa de demanda se basa en el promedio más alto de consumo en *kw*, en un intervalo de 15 minutos, durante el período de facturación, que es generalmente de un mes. Este cargo tiene un mínimo por los primeros 10 *kw*, por ejemplo que puede ser del orden de 25 dólares; sigue integrándose luego, por otra cantidad menor posiblemente de alrededor de 2 dólares por *kw*, por los siguientes 40 *kw*; y por cantidades reducidas sucesivas para otros incrementos de *kw*, hasta quizás 1.50 dólares por cada *kw* que sobrepase a los 400 *kw*. El cargo por consumo se integra en forma semejante, por cargos por *kwh*, sin tener un mínimo, siempre que el cargo por demanda arroje una cantidad mensual mínima. Los cargos por consumo pueden comenzar por un costo de dos centavos de dólar por los primeros 3000 *kwh* utilizados, y reducirse sucesivamente hasta menos de un centavo de dólar por *kwh*, para todos los consumos mayores de 300,000 *kwh*.

Las compañías eléctricas que suministran electricidad, desean que sus clientes mantengan un factor de potencia neto, lo más próximo a la unidad, en el punto de entrega de la empresa. Esta condición contribuye a la eficiencia del servicio de transmisión de energía eléctrica a la compañía. Por ello, las compañías eléctricas estimulan a sus clientes a esforzarse por tener un *FP* cercano a la unidad, haciendo un descuento en la tarifa de demanda cuando el *FP* neto es mayor del 90% en atraso, y si el consumo total de *kw*, sobrepasa a un mínimo, digamos de 100 *kw*. Por las mismas razones, las compañías eléctricas sancionan con un cargo extra al tener un *FP* menor del 80% en atraso.

1.1.3.1 Motores Eléctricos

Como sucede con otras formas de la potencia, la selección de motores eléctricos para usos de construcción, depende de factores como:

- (a) los pares de torsión de trabajo,
- (b) las necesidades de velocidad (constante o variable),
- (c) la necesidad de invertir o no el sentido de rotación, y
- (d) la tarifa de demanda de servicio continuo o intermitente.

Estos factores deben ser considerados independientemente del tipo general de motor, o sea, para motores de corriente alterna o continua.

Los motores de corriente alterna (*ca*), se fabrican en gran variedad de tamaños en sus dos tipos, monofásicos y trifásicos, siendo estos últimos los de uso más frecuente para equipos pesados. En general, se clasifican en motores de inducción y motores sincrónicos, y tienen características que se describen en la tabla 1.2.

Los motores de corriente continua (*cc*), también llamados de corriente directa (*cd*), no son de uso tan frecuente como los de corriente alterna, por la casi nula disponibilidad de energía en forma de corriente continua. Sin embargo, si se ha de generar energía eléctrica, especialmente para los usos de construcción, se preferiría la corriente continua. Esta preferencia se basa en ciertas ventajas que ofrecen los motores de *cc*. Estos se fabrican en los tipos de devanado en derivación, devanado en serie y devanado compuesto y en diversos tamaños. Sus características y factores de selección se presentan en la tabla 1.3

Clase	Factores de selección	Usos posibles
Motores de Inducción:		
A) De jaula de ardilla	-Velocidad constante -Arranque poco frecuente -Par de torsión moderado	-Sistema de bandas de transporte. -Plantas de agregados -Compresores, bombas
B) De motor devanado	-Arranque frecuente -Alto par de torsión para arranque y marcha -Baja corriente de alimentación -Velocidad (sincrónica) constante	-Malacates de torre -Palas motorizadas -Trituradoras de roca
Motores sincrónicos		
	-Factor de potencia en adelanto -Capacidad de arranque nula (requiere arrancador separado)	-Suministro de fuerza para alumbrado. -Corrección de factor de potencia -Herramientas de taller, etc. -Compresores o bombas para servicio continuo

Tabla 1.2 Factores generales de selección para motores de corriente alterna

Clase	Factores de selección	Usos posibles
Motor de derivación	-Velocidad constante para todas las condiciones de carga -Bajo par de arranque	-Sistema de bandas de transporte -Compresores -Bombas
Motor en serie	-Máximo par de arranque de los motores de cc -La velocidad disminuye al aumentar el par de trabajo	-Grúa o malacate -Pala motorizada -Elevador de materiales
Motor de devano compuesto	-Buen par de arranque -La velocidad varía uniformemente con el par de torsión.	-Planta de agregados, con trituradoras, etc. -Mezcladoras para concreto

Tabla 1.3 Factores generales de selección para motores de corriente continua

Por lo tanto la potencia se calcula con la ecuación:

$$P_d = \frac{\eta EI}{746} \quad 1.22$$

Donde:

η Eficiencia del motor

La eficiencia varía desde 75% a 90%.

Para proyectar la generación de energía eléctrica para una construcción que emplee una variedad de aplicaciones de la misma, debe considerar varios aspectos. La variedad y naturaleza intermitente de equipos de construcción origina severas demandas eléctricas. Pueden presentarse alzas de corta duración en la demanda, variaciones inevitables de la misma y cortos circuitos. Por lo tanto, la generación eléctrica debe proyectarse con amplitud de capacidad y dispositivos de protección adecuados.

En el mercado se obtienen generadores eléctricos pequeños, movibles, accionados por motores de gasolina.

En la actualidad es común la generación de potencia eléctrica para ciertas partes de equipo móvil. El uso principal de esta forma de energía en el equipo móvil de construcción, es en el sistema de control eléctrico. El sistema consta de un generador accionado por el motor de combustión interna, que provee de energía a la variedad de motores eléctricos estratégicamente situados en distintas partes del equipo. En los equipo de alta velocidad, los motores accionan la dirección hidráulica y los frenos hidráulicos, así como las luces y otros dispositivos pequeños. En un tractor de orugas un motor eléctrico puede accionar el mecanismo de elevación y descenso de la cuchilla, y ejecutar otros ajustes de la operación. Una motoescrota de hoja para movimiento de tierras, puede tener también motores eléctricos para accionar el faldón y la compuerta del depósito, y efectuar la acción elevadora de todo el depósito.

Estos motores eléctricos se sitúan estratégicamente para hacer su trabajo con el mínimo de transmisión de potencia.

1.1.4 Potencia hidráulica

El equipo móvil de construcción puede utilizar un sistema de potencia hidráulica, de manera similar al sistema de control eléctrico antes descrito. El sistema hidráulico utiliza una bomba hidráulica de diseño especial como generador de potencia, situada cerca del operador y un conjunto de cilindros hidráulicos situados en los puntos estratégicos para aplicar el trabajo. Un sistema de tuberías alimentadoras, generalmente paralelas, conduce el fluido hidráulico entre la bomba y los cilindros. Esta potencia hidráulica se acciona mediante simples palancas de mano o interruptores eléctricos situados al alcance del operador. Una palanca o un interruptor, correctamente accionado, hace funcionar válvulas del sistema para dirigir el fluido hidráulico a desempeñar su función en el mecanismo deseado.

La sencillez del mecanismo del tipo de válvula y émbolo, es una de las principales ventajas de esta forma de potencia. Otra ventaja, es que el fluido hidráulico es autolubricante y reduce el desgaste del sistema. La potencia hidráulica puede aplicarse para accionar los frenos y la dirección en los equipos de movimiento rápido. Puede usarse con igual ventaja para accionar diversos mecanismos de los equipos para movimientos de tierras.

1.1.5 Otras formas de la potencia para equipos de construcción

El aire comprimido es muy utilizado en la industria para accionar herramientas de mano, a causa de sus cualidades inherentes de seguridad. En los trabajos de construcción es empleado por su facilidad de manejo y seguridad. El aire comprimido se transmite desde un sitio de generación, por tuberías de aire, en forma similar al fluido eléctrico o hidráulico. El generador es, por supuesto, un compresor de aire. Un sistema de aire comprimido como éste no es tan eficiente, en su transmisión de energía, como lo es un sistema eléctrico similar. El costo de la potencia o energía del aire comprimido puede ser tres o cuatro veces mayor que el de la electricidad, para entregar la misma cantidad de trabajo. El motor de aire tiende a calentarse cuando se sobrecarga. La energía del aire comprimido no representa para el operador el peligro del choque eléctrico. En una atmósfera explosiva, el aire comprimido no representa el peligro de una chispa eléctrica ni el del calor de vapor o el del encendido del combustible. Por estas razones se utiliza el aire comprimido para accionar herramientas de mano, particularmente, en atmósferas cerradas y en las atmósferas cargadas de gases, que ocurren en los trabajos de excavación de túneles.

1.2 Transmisión del tipo convertidor del Par de Torsión

Si un motor de transmisión estándar se enfrenta a una sobrecarga mayor que su reserva, aproximadamente 10% arriba del par de torsión a la velocidad gobernada, es muy probable que el motor se pare. El operador del motor de transmisión estándar directa, debe hacer el cambio

oportuno a un engranaje lo suficientemente potente para vencer la sobrecarga excesiva. El convertidor de par de torsión realiza automáticamente la selección correcta de potencia, “cambiando” o deslizando la transmisión hacia la relación de reducción apropiada para tomar la carga aplicada. Es, en esencia, similar a las transmisiones hidráulicas o automáticas introducidas en los automóviles después de la segunda guerra mundial.

La transmisión del tipo de convertidor de par de torsión para los equipos de construcción, tiene algunas ventajas clave. Tales ventajas se aprovechan para describir el sistema, y son:

1. Transmite la potencia suavemente desde su fuente hasta la carga, por medios hidráulicos.
2. Mantiene la fuente de potencia constante en correspondencia correcta con la carga variable en todo momento, multiplicando el par de torsión en forma automática, condición que, a su vez, permite variar la velocidad de trabajo.
3. Impide que el motor se fuerce y se pare, dejando trabajar al motor en forma independiente de la variación de la carga. La conversión automática del par de torsión tiene lugar entre el punto de entrega del motor y la carga resistente.
4. Alarga la vida del motor y del equipo, amortiguando las cargas de choque.
5. Reduce la fatiga del operador, eliminando el cambio continuo de velocidades.

A la introducción de la transmisión del tipo convertidor de par de torsión, ocurrida en 1946, ha seguido un periodo de desarrollo evolutivo. Ha sido necesario concentrarse en el diseño de estas transmisiones de manera que combinen la entrega de potencial del motor lo más cercanamente posible con todas las velocidades del eje. Se ha desarrollado un embrague que permite hacer el cambio, a diferentes intervalos de pares de torsión y de velocidades, para lograr la operación óptima bajo condiciones de carga variable.

La variedad existente de transmisiones del tipo de convertidor de par de torsión, conduce a combinaciones de diversos números de intervalos de reducción, en marcha de avance y de retroceso. Una opción puede tener tres velocidades de avance y de retroceso, de iguales relaciones de reducción. Otra puede tener seis intervalos de velocidad para avance y una velocidad de retroceso.

Los diferentes números de intervalos de velocidad se justifican por los ciclos de trabajos de las diferentes aplicaciones en los equipos de construcción. Así:

1. Los tractores, los cargadores y las unidades motrices primarias pueden utilizar en forma óptima la combinación de 3 de avance y 3 de retroceso.
2. Los camiones de volteo, los motoescrepas y los vehículos para tránsito fuera de carretera, utilizan los intervalos de reducción de 4 de avance y 1 ó 2 de retroceso.

3. Los camiones de carretera para acarreos largos, pueden utilizar con mejor éxito la combinación de 6 de avance y 1 de retroceso.

La función principal y característica de un convertidor de par de torsión, es ajustar automáticamente la potencia entregada a la demanda de la carga. En consecuencia, el par de torsión varía a un número infinito de valores con la carga, dentro de la capacidad de un intervalo de reducción. La velocidad varía en razón inversa del par de torsión requerido. Si la demanda de carga pide valores del par de torsión, mayores que los que puede dar un intervalo dado, el operador debe hacer el cambio al intervalo inmediato más potente, y viceversa.

Una de las ventajas reales de la transmisión del tipo de convertidor de par de torsión, es su habilidad de hacer el cambio, estando aplicada la carga, sin vacilación alguna. Esto aporta un beneficio real y representa un ahorro de potencia en el equipo pesado, porque el operador puede cambiar la relación de reducción sin perder momentum, o impulso. Sin embargo, debe asentarse que, en el trabajo general, el equipo que tiene convertidor de par de torsión no trabaja con una eficiencia tan alta como el que tiene una transmisión directa, de engranajes deslizantes.

1.2.1 Comparación de la transmisión directa con el convertidor de par de torsión

Realizando una revisión general con el fin de comparar las unidades de transmisión básicas y sus ventajas, cuando se aplican con los motores de combustión interna a los equipos de construcción se tendrá:

- 1.- La transmisión directa, llamada también “transmisión de engranes”, ofrece bajo costo inicial con eficiencia general más alta.
- 2.- El convertidor de par de torsión, también conocido como “cambiador de poder”, ofrece la selección automática de la potencia correcta para la carga, elimina el paro y la pérdida de impulso durante los cambios, reduce la fatiga del operador y alarga la vida del motor y del equipo.

Con frecuencia, la razón por la que se elige un equipo con motor de combustión interna no es porque ese tipo de unidad motriz sea más barato que otro, sino por una o varias de las siguientes ventajas clave del motor de combustión interna:

1. Generación de potencia integrada para dar la máxima movilidad al equipo.
2. Mayor proporción de potencia a peso para combinar máxima potencia con buena maniobrabilidad.
3. Flexibilidad en la aplicación de la potencia y en la velocidad de trabajo, particularmente, con una transmisión del tipo de convertidor de par de torsión.

1.3 Fuerzas que rigen el movimiento del equipo

Un equipo móvil es accionado por su unidad motriz, que puede ser un motor eléctrico o uno de combustión interna, si se trata de un equipo de autopropulsión. O bien, la unidad motriz puede ser un tractor, con el motor necesario para mover también otros equipos. En cualquiera de los dos casos, la unidad motriz debe aplicar una fuerza a la superficie sobre la que esté trabajando el equipo en cuestión.

La fuerza que debe aplicar la unidad motriz, para mover al equipo, debe cubrir las fuerzas de inercia y las resistencias al movimiento.

El motor, de combustión interna o eléctrico, del equipo es la fuente de potencia para el movimiento. A la potencia entregada en las ruedas motrices o en las orugas, se la conoce como esfuerzo tractivo. Esta fuerza debe ser lo suficientemente grande para vencer la resistencia total que se opone al movimiento. Dos límites rigen la fuerza máxima que puede aplicar una unidad motriz en los órganos de propulsión para mover el equipo sobre el terreno, o sobre una superficie preparada. Uno de ellos, es la potencia máxima transmitida por la unidad motriz a los contactos de propulsión, en la superficie de soporte; y el otro, es el límite de tracción entre las superficies de contacto de los neumáticos u orugas, y la superficie de soporte. El menor de estos valores determina la fuerza máxima aplicable. Si rige la tracción, el esquema de la figura 1.1 enseña la relación existente entre las fuerzas involucradas.

La fuerza máxima que puede aplicar un tractor se calcula con la expresión:

$$F_T \leq F_t = W \tan \theta \geq F_R \quad 1.23$$

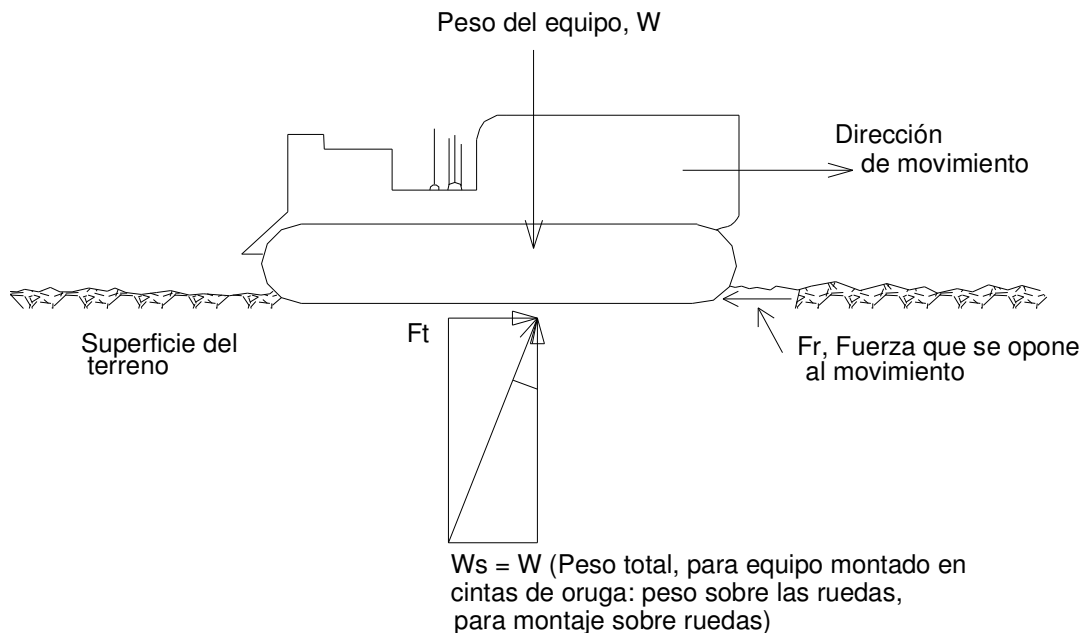


Figura 1.1 Representación de la fuerza de tracción.

El término “ $\tan \theta$ ” se le conoce como coeficiente de tracción (C_t), y varía, dependiendo del tipo y estado del material de sostén, en la mayoría de las superficies de soporte, al aumentar la humedad de la superficie, disminuye el coeficiente de tracción. Lo anterior, lo ilustra los valores de la tabla 1.4

Contacto del equipo sobre superficie de	C_t o $\tan \theta$	
	Orugas	Neumáticos de Caucho
Concreto Seco	0.45	0.90
Concreto Mojado	0.45	0.85
Macadam Mojado		0.70
Macadam Seco		0.65
Tierra firme o Limo arcilloso, secos	0.90	0.5-0.7
Tierra firme o Limo arcilloso, húmedo	0.7-0.85	0.4-0.5
Arena Suelta, Seca	0.30	0.2-0.3
Arena Mojada	0.35-0.5	0.35-0.4

Tabla 1.4 Valores del coeficiente de tracción (C_t o $\tan \theta$)

La humedad hace la superficie más resbalosa, en particular para los equipos montados en neumáticos. Sin embargo debe notarse que esto no sucede cuando el suelo es arenoso. Una cierta cantidad de humedad, da a la arena mayor cohesión aparente, debido a la tensión superficial del agua que recubre a los granos; y con ello, aumenta la estabilidad de la superficie. Al tener la arena suficiente agua para alcanzar la saturación, se pierde su cohesión aparente.

La ecuación 1.23 indica la aplicación del valor apropiado de C_t , para hallar la fuerza máxima, F_t , o esfuerzo tractivo. La fuerza F_t debe ser por lo menos, igual a la resistencia total al movimiento, F_R .

1.3.1 Principales Fuerzas de Resistencias

La resistencia principal que se opone al movimiento de un equipo sobre una superficie horizontal, se llama resistencia al rodamiento. Dicha resistencia es producida el rozamiento o el flexionamiento del mecanismo impulsor que suministra potencia para producir esfuerzo tractivo. Esta causa se presenta en cierto grado, para los sistemas de propulsión de orugas como para las ruedas motrices con neumáticos. La mayor resistencia al rodamiento se debe a que los impulsores tienen que empujar cruzando o pasando sobre la superficie de sostén. Tal efecto lo indica la fuerza F_R , en la figura 1.1.

La resistencia al rodamiento (RR), se expresa en kilogramos de esfuerzo tractivo requeridos para mover cada tonelada bruta, sobre una superficie horizontal de un tipo o condición específico. Aunque es imposible dar totalmente exactos los valores de las resistencias al rodamiento para todos los tipos de caminos y de elementos impulsores o ruedas, excepto mediante pruebas efectuadas en el lugar de las obras, los valores que se presentan en la tabla 1.5, son razonablemente precisos, y pueden usarse para fines de estimación.

La resistencia al rodamiento aumenta aproximadamente 6 kilogramos por tonelada de peso, por cada incremento de penetración de un *cm*. Por lo tanto, si las condiciones del tiempo mantienen la superficie del terreno húmeda y blanda, la resistencia al rodamiento puede ser apreciablemente mayor que para las condiciones de terreno seco y firme. Suponiendo una resistencia media al rodamiento de 75 kilogramos por tonelada, para una ruta de arrastre sobre terreno no preparado, una penetración adicional de 2.5 *cm*, debida a tiempo lluvioso, dará origen a un aumento de 20% en la resistencia del movimiento, sobre terreno horizontal. Debe reconocerse que, utilizando neumáticos, el aumento de penetración, puede reducirse desinflando un poco los neumáticos, para obtener mayor área de apoyo, y en consecuencia, mejor flotación. Sin embargo, al desinflar los neumáticos, se tiende a aumentar la parte de resistencia al rodamiento, causada por el flexionamiento de los neumáticos mismos.

Tipo de Superficie	Tractor de orugas sobre bandas	Llantas de acero, Cojinetes simples	Neumáticos de caucho, cojinetes de antifricción	
			Alta presión	Baja presión
Concreto Liso	27.5	20	17.5	22.5
Asfalto en buen estado	30-35	25-35	20-32.5	25-30
Tierra, compactada y bien conservada	30-40	30-50	20-35	25-35
Tierra, deficientemente conservada, canalada	40-55	50-75	50-70	35-50
Tierra acanalada, lodosa, sin conservación	70-90	100-125	90-110	75-100
Arena y gravas sueltas	80-100	140-160	130-145	110-130
Tierra, muy lodosa, acanalada, blanda	100-120	175-200	150-200	140-170

Tabla 1.5 Resistencias al rodamiento (*RR*), representativas para diversos tipos de contactos y superficies, en kilogramos por tonelada de carga bruta.

La fuerza real, necesaria para vencer la resistencia al rodamiento de la superficie de soporte es:

$$F_{RR} = RR \times W \quad 1.24$$

Donde:

F_{RR} en kg_f
 W peso total del equipo en ton .

1.3.2 Fuerza de resistencia en superficies inclinadas

Todo equipo que se desplaza sobre una superficie inclinada, trabaja contra otra forma de resistencia. A ésta se le llama resistencia por pendiente, y se debe al efecto del peso del equipo se aplica en una pendiente adversa. La figura 1.2 muestra tal efecto.

Se definirá como grado de inclinación, el desnivel que presenta la superficie con respecto a la horizontal, así:

$$G = V/H \times 100 \quad 1.25$$

Donde:

G	pendiente en %
V	distancia vertical
H	distancia horizontal

La pendiente puede hallarse, determinando la elevación vertical, V , en 100 metros de distancia horizontal. Por ejemplo, una pendiente de 5% ($G=5$) significa que la superficie inclinada se eleva 5 metros verticalmente en una distancia horizontal.

La resistencia de pendiente demanda una fuerza, F_{GR} , para mover el equipo hacia arriba de la superficie inclinada, contra el efecto del peso, W_G . Por la geometría de la figura 1.2, puede observarse que $W_G/W = V/L$. Por lo que la fuerza necesaria para vencer la resistencia por pendiente, estará dada por la fórmula:

Donde:

V	elevación
L	longitud del tramo recorrido
W_G	componente del peso paralelo al plano de inclinación

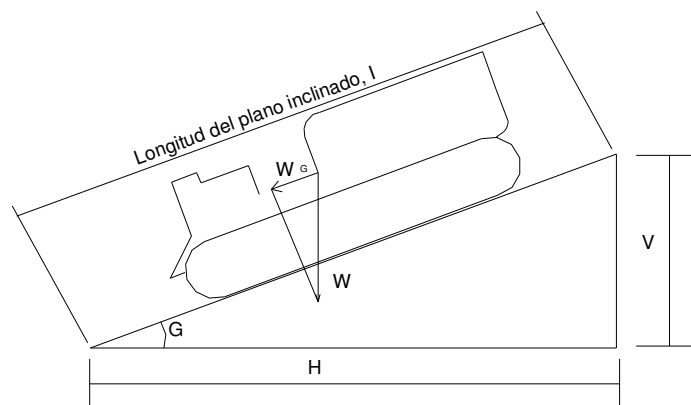


Figura 1.2. Resistencia por pendiente adversa.

$$F_{GR} = W_G = (V / L)W \quad 1.26$$

Pero, para las pendientes comunes, menores del 20%,

$$\frac{V}{L} = \text{sen } \phi \approx \tan \phi = \frac{V}{H} = \frac{G}{100} \quad 1.27$$

Sustituyendo la ecuación 1.27 en 1.26,

$$F_{GR} = W \tan \phi = W \left(\frac{G}{100} \right) \quad 1.28$$

Donde:

- F_{GR} en kg_f
- G Pendiente en %.
- W Peso del equipo en toneladas;

Debe observarse que tratándose de movimiento hacia abajo en una superficie inclinada, se tiene una pendiente negativa (-G), y se requiere una F_{GR} negativa, por lo que, en tal caso, habrá una ventaja de fuerza para el equipo.

La entrega máxima de potencia de un equipo del tipo de tractor, se expresa a veces como su capacidad para ascender pendientes. Esta es simplemente una forma de convertir su fuerza máxima disponible, F_T , a la resistencia total que puede vencer. La resistencia al rodamiento y la resistencia de pendiente, pueden combinarse como:

$$F_R = F_{RR} + F_{GR} = (RR) W + (G/100) W = (RR + G/100) W \quad 1.29$$

Al término entre paréntesis se le llama "capacidad para ascender pendientes", el valor de RR se tendrá que convertir a un valor de pendiente equivalente lo cual se logra dividiéndolo simplemente entre 10 kilogramos por tonelada por % de pendiente. Por ejemplo, si $RR = 70 \text{ kg}_f / \text{ton}$, su equivalente en valor de pendiente será: $70/10$ y si el tractor tiene que ascender por una superficie de 5% de inclinación. La capacidad para ascender pendientes será: $RR = 7 \text{ G}/100 = 5$ por lo tanto:

$$RR + G/100 = 7 + 5 = 12\%$$

1.3.3 Otras fuerzas de Resistencia al movimiento del equipo

Hay otros dos factores significativos que utilizan la potencia generada por un motor de combustión o eléctrico, para propulsión. Uno es de carácter interno al equipo en movimiento, y el otro que también actúa sobre el mismo, pero exteriormente.

La resistencia interna es una combinación de las pérdidas de potencia debidas a la rotación y movimiento de las partes de la unidad motriz, de sus ejes de transmisión y de impulsión, y al

rozamiento y vibraciones originadas por todos los movimientos. Esta pérdida de potencia es proporcional al peso total del equipo en movimiento y a la velocidad (revoluciones por minuto) de su unidad motriz. En general, la pérdida total asciende a menos del 10% de la potencia disponible. Los cálculos que se presentan en obra, evitarán la determinación directa de la pérdida, ya sea suponiendo una pérdida total interna de potencia, o usando la potencia de entrega disponible en las ruedas u orugas de propulsión.

La fuerza de resistencia externa al movimiento, la presenta el aire, y equivale a una fuerza que actúa contra un cuerpo en movimiento, similar a la resistencia al rodamiento. A las velocidades relativamente bajas de los equipos de construcción, la resistencia del aire no es, por lo general, un consumidor importante de potencia; sin embargo, para los equipos de acarreo de alta velocidad, debe considerarse. También para un equipo en movimiento contra un viento fuerte, la resistencia del aire es un factor significativo. La cantidad determinante es la diferencia proporcional entre la velocidad del equipo en movimiento y la velocidad del aire que se opone al movimiento, o está dirigido contra ese movimiento, es decir, la velocidad neta.

La fuerza de la resistencia del aire, depende de la velocidad neta y del área de sección transversal del equipo en movimiento. Esa área es la superficie del equipo en contacto con el aire. En el caso de un camión, el área es igual al ancho total por su altura. Por supuesto, la forma del cuerpo puede afectar a la resistencia del aire en esa área. En los vehículos de carreras de alta velocidad, las formas aerodinámicas ayudan a reducir la resistencia del aire. En consecuencia, el uso del área de la sección transversal conduce solamente a una aproximación.

La velocidad diferencial, o neta, es el factor primario en la resistencia del aire. Para dar una idea del efecto relativo de la velocidad, puede utilizarse la figura 1.3.

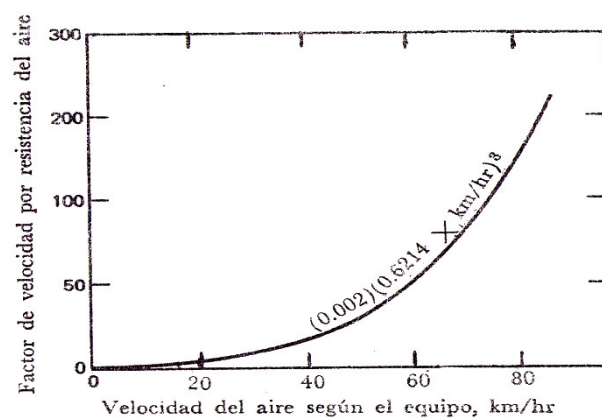


Figura 1.3 Comportamiento del aire al movimiento de un equipo.

La potencia necesaria para vencer la resistencia del aire, se halla por el producto del factor de velocidad y un factor de área. El factor de área es proporcional al área transversal del equipo, como se mencionó antes. Este factor es sólo 0.155 para un equipo de 2.40 m de altura por 2.40 m de ancho. La resistencia del aire se convierte en un factor significativo, cuando la velocidad neta del aire que se opone al movimiento es de 80 km/h o mayor.

1.4 Fuerzas que actúan en los tractores

Los equipos de tipo tractor se utilizan ampliamente en la construcción. Los tractores sirven como unidades motrices primarias para una gran variedad de equipos para movimiento de tierra. Se emplean con todas las variantes de cuchillas, arados, bloques de empuje, de motoescrepas, horquillas de elevación, cargadores y demás dispositivos auxiliares.

Los tractores se utilizan también como unidades motrices para equipos como escrepas, motoconformadoras y aplanadoras. Las aplanadoras se emplean para trabajos de compactación, y debe observarse que los tractores ordinarios de orugas o del tipo de ruedas, se usan con frecuencia, como equipos para compactación de suelos.

1.4.1 Fuerza tractiva en los tractores de ruedas.

Un tractor sirve de unidad motriz primaria, aplicando su potencia en la llanta de sus ruedas motrices o en las cintas de las orugas. En el caso de los tractores de ruedas, la potencia se aplica en forma de fuerza tangencial, a la cual se le conoce como fuerza de llanta. A ese tipo de fuerza en la llanta se le denomina tractivo (ET), si en su aplicación la fuerza no produce deslizamiento. Este tiro de la llanta, o ET del tractor, puede plantearse como

$$ET = \frac{4500\eta(bhp)}{v} \quad 1.30$$

Donde

v	velocidad del vehículo m/min .
η	eficiencia mecánica
bhp	potencia al freno

Si se conoce la velocidad de trabajo, no se necesita el radio de la rueda motriz. Sin embargo si se conoce esa velocidad, se puede determinar el tiro de la llanta, a partir de la entrega de potencia del motor del tractor y de las relaciones de reducción de la transmisión.

Si se considera que:

$$V = 2\pi N_0 r \quad 1.31$$

Entonces

$$ET = \frac{4500\eta(bhp)}{2\pi N_0 r} \quad 1.32$$

Donde

N_0	rpm del eje impulsor
r	radio de la rueda o del exterior del neumático en m

La velocidad del eje impulsor se conoce con la misma precisión que la velocidad v . Por lo tanto, para hallar el tiro de la llanta, únicamente a partir de los valores propios del tractor, es necesario trabajar con la entrega del motor y el sistema de transmisión. Se sabe que la entrega del motor a la velocidad gobernada (N_g) y el par de torsión (T_g), están relacionados a los valores comparables en el eje impulsor, por la expresión $N_g T_g = N_o T_o$, suponiendo que no ocurre deslizamiento en los engranes. La relación entre las velocidades (en rpm) o entre los pares de torsión, es igual a la relación total de los engranajes de la transmisión. Entonces, la ecuación 1.32 puede escribirse en la forma:

$$ET = \frac{716\eta(bhp)}{rN_g \frac{T_g}{T_o}} \quad 1.33$$

Donde:

N_g velocidad (rpm) gobernada del motor.

$\frac{T_g}{T_o}$ relación total de reducción de los engranajes, en la velocidad en cuestión.

Por ejemplo si en la hoja de especificaciones de un tractor se proporciona la siguiente información:

bhp	100 a la velocidad gobernada;
N_g	2,200 rpm .
Relación total de reducción	200:1 en la primera velocidad.
Relación total de reducción	20:1 en la velocidad más alta.
Velocidades:	primera = 2.6 km/h ;
	máxima = 26 km/h .
Radio exterior del neumático	$r = 24.5'' = 0.622 m$.
Peso del tractor	4,400 kg_f cuando está trabajando.

Suponiendo que la eficiencia mecánica, desde el eje de entrega del motor hasta la rueda motriz, es de 75%.

- a) Para la velocidad más alta, conociendo la velocidad del tractor y utilizando la ecuación 1.30 se obtiene

$$ET = \frac{4500(0.75)100}{26(16.67)} = 779 \text{ } kg_f$$

Lo mismo resulta, a partir de la transmisión de la potencia interna, utilizando la ecuación 1.32:

$$ET = \frac{716(0.75)100}{0.622\left(\frac{1}{20}\right)2200} = 779 \text{ } kg_f$$

Esta fuerza sería suficiente para vencer una resistencia total al movimiento de 181 Kg_f / ton , compuesta por la resistencia al rodamiento, la resistencia por pendiente, la aceleración y las de arrastre de la carga.

b) Para la primera velocidad, usando la ecuación 1.33

$$ET = \frac{716(0.75)100}{0.622\left(\frac{1}{200}\right)2200} = 7790 \text{ kg}_f$$

Esto no puede aplicarse al movimiento de un tractor por sí mismo, porque no habría suficiente tracción. Si el coeficiente de tracción (tabla 1.4), $C_t = 0.7$, el esfuerzo tractivo máximo que puede aplicarse al tractor trabajando, sólo es 0.7 (4,400) = 3,080 kg_f . La fuerza de tiro de la llanta de un tractor de ruedas, es la potencia total aplicable resultante en las ruedas motrices de la unidad motriz primaria. Esta fuerza varía por la velocidad en la que se trabajan los engranajes, y también puede estar limitado por la tracción.

1.4.2 Fuerza de tiro de la barra de tracción en los tractores de orugas.

Las mismas determinaciones que se han hecho para el tractor de ruedas, pueden hacerse para un tractor de orugas. Sin embargo, se ha especificado en forma consistente, un valor de utilidad más directa para la potencia de un tractor, al cual se le llama fuerza de tiro de la barra de tracción, y se abrevia *DBPP*. El tiro de la barra de tracción se define como la potencia o fuerza de tiro disponible en el perno de enganche de la barra, cuando el tractor y su carga arrastrada se desplazan sobre terreno horizontal. El uso de un valor *DBPP*, supone que ya ha sido cubierta la resistencia al rodamiento (*RR*) del tractor de orugas, y esta suposición significa que los valores de *DBPP* especificados, deben basarse en una *RR* específica para el tractor.

El empleo generalizado del *DBPP* y esta resistencia específica al rodamiento vienen evidentemente del procedimiento establecido para probar o medir la potencia de un tractor. Los tractores de orugas se han probado por años, en la universidad de Nebraska, mediante una simple determinación cuantitativa del tiro que cada uno da, horizontalmente. El lugar de pruebas es de tierra firme, modestamente conservada, que se considera que tiene una resistencia a las orugas del tractor de 55 kg_f / Ton . Como puede verse, por los valores de la tabla 1.5, los valores de la *RR* pueden variar considerablemente. Al considerar la potencia de un tractor de orugas, se aconseja decidir primero que valor de *RR* es apropiado, y en caso necesario, ajustar el valor *DBPP*.

En resumen el uso de la fuerza de tiro de la barra de tracción para los tractores de orugas. Los componentes de la resistencia, para un tractor que tira un carga (rodillo aplanador, hoja de empuje, etc.) a velocidad uniforme, son:

1. La resistencia al rodamiento del tractor, $F_{RR-T} = RR_T (W_T)$, el peso del tractor en toneladas.
2. La resistencia al rodamiento del tractor, $F_{RR-L} = RR_L (W_L)$, el peso de la carga que esta arrastrando en toneladas.

3. La resistencia de pendiente del tractor, $F_{GR-T} = GR(W_T)$;
4. La resistencia dependiente de la carga arrastrada, $F_{GR-T} = GR(W_L)$.
5. Fuerza para producir la aceleración $F_a = \left(\frac{W_T + W_L}{g}\right)a$, tanto para el tractor como para la carga. El régimen de aceleración a esta en m/s^2 , siendo $g = 9.81 m/s^2$. Estas fuerzas se muestran en la figura 1.4

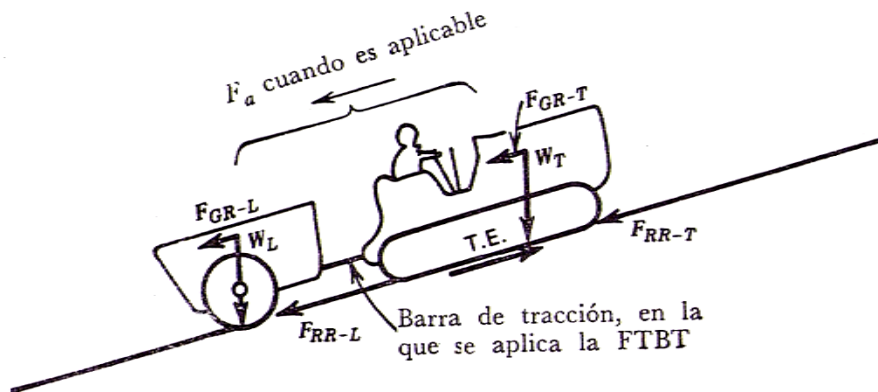


Figura 1.4 Componentes de la resistencia para un tractor moviendo una carga tirando de ella.

Debe notarse que los valores de la resistencia al rodamiento, pueden ser diferentes para un tractor de orugas (RR_T) y para su carga arrastrada (RR_L), que para cuando la carga esta montada sobre neumáticos. También, al arrastra una carga el tractor, generalmente acelera, hasta su velocidad de trabajo, antes de comenzar a subir una pendiente por lo que no se necesitará una F_a , cuando deban vencerse fuerzas de pendiente, F_{GR} . Por supuesto, la fuerza total que debe aplicar el tractor, no puede ser mayor que la tracción que puede lograr sobre la superficie. En consecuencia

$$ET = \sum F_{RR} + \sum F_{GR} \quad 1.34$$

En donde

$$ET \leq (C_T)W_T$$

Solamente se usa el peso del tractor porque los pernos de enganche de la barra de tracción no están diseñados para transmitir carga vertical desde la carga arrastrada, para conveniencia de los cambios de carga. Si $RR_T = 55 \text{ kg}_f/\text{ton}$, entonces :

$$DBPP = F_{RR-L} + F_{GR-L} + F_{GR-T} \quad 1.35$$

Por lo general, es más seguro utilizar la ecuación 1.34 para evitar las equivocaciones por olvido de ajustes, cuando RR_T no es igual a $55 \text{ kg}_f/\text{ton}$, y despreciar la resistencia de pendiente del tractor. Sin embargo, las especificaciones tienden a favorecer el uso de la ecuación 1.35.

1.5.- Determinación de rendimientos del equipo de Construcción.

En la industria de la construcción se utiliza la palabra producción con el mismo significado que “rendimiento”, que el diccionario define como “la cantidad o magnitud producida, en un campo determinado”, o dicho de otra manera “es el trabajo útil ejecutado durante las diferentes etapas de la obra”.

El rendimiento se puede expresar cuando menos de tres maneras, la primera es tomando como base los requisitos y programas de la obra, mientras que la segunda, es midiendo o estimando el rendimiento de una máquina cualquiera, para determinar el número necesario que de éstas se necesitarán para obtener la producción requerida.

La tercera manera de expresar la producción es en función del costo, aunque ésta es probable que no sea muy exacta, sino hasta después que se conozcan las características de la obra y el rendimiento del equipo.

En base a este criterio, el estudio de rendimientos, que se enfocará única y exclusivamente sobre maquinaria, podrá ser dividido en forma general y de acuerdo a la forma de trabajo de la máquina en:

- a) Ciclo intermitente
- b) Operación Continua
- c) Operación intermedia

A continuación se explicará brevemente cada una de ellas.

- a) CICLO INTERMITENTE. A este grupo pertenecen las máquinas más importantes que se usan en excavaciones primarias.- Todas ellas tienen un cucharón o caja, que se carga, se mueve y se vacía, para regresar nuevamente al punto de carga.

A cada grupo completo de operaciones se les llama ciclo de trabajo.

La magnitud del rendimiento de estas máquinas dependerá del tamaño y de la eficacia del órgano excavador, ya sea cucharón, caja o cuchilla, y del tiempo que dure su ciclo completo.- La duración del ciclo, a su vez, depende de la rapidez con lo que se carga el órgano de ataque, de la velocidad con que se mueve, se descarga y vuelve al punto de carga.

La distancia a la que se debe mover la carga puede variar desde unos cuantos metros en la mecánica, o varios kilómetros en los acarreos con camión, la distancia es con frecuencia el factor determinante del ciclo de producción.

- b) OPERACIÓN CONTINUA. Este tipo de operación de las máquinas, que principalmente se encuentra en los equipos que utilizan bandas, bombas y tubos como son las zanjadoras, los transportadores de cangilones, y otros aparatos que usan numerosos cangilones pequeños, tienen un rendimiento que es igual a multiplicar la capacidad de cada cangilón, por el número de cangilones por minuto. Dicho de otra manera el rendimiento de una máquina de banda se determina, tomando el promedio de varias medidas de la sección transversal de la carga que lleva la banda, y multiplicando esta cifra por la velocidad de la banda en pies por minuto en el sistema inglés. La sección transversal generalmente se mide en pies cuadrados, de manera que el resultado se divide entre 27 para obtener las yardas cúbicas de material suelto.
- c) OPERACIÓN INTERMEDIA. Las máquinas que pertenecen a este grupo, son aquellas que presentan una producción continua hasta que terminan de recorrer el tramo en que operan, para luego volver a atacar y convertir entonces su operación en un ciclo común de trabajo.

Por lo que estas máquinas que se consideran entre la producción continua y el ciclo de trabajo, son clasificados como de operación intermedia.

A continuación se presenta una clasificación general de las máquinas en base a los diferentes tipos de operación de éstas.

<i>Por ciclos</i>	<i>Operación intermedia</i>	<i>Operación Continua</i>
-Pala giratoria, con todos los aditamentos	-Perforadoras	-Bandas transportadoras
-Cargador	-Aplanadoras	-Cargadores de banda
-Buldozer	-Desgarradores	
-Escrepa	-Tolvas	-Cargadores de Cangilones
-Tractor empujador		
-Camión		-Trituradoras
-Piloteadora		-Cribadoras
-Excavadora de Cable		-Compresores
-Revolvedoras de Concreto		-Dragas

Tabla 1.6 Clasificación general de la maquinaria en función a su operación.

1.5.1 Factores que intervienen en el cálculo del rendimiento

Factor Volumétrico de Abundamiento (FV).- Es la propiedad física que presentan los materiales como la tierra de expandirse al ser removidos de su estado natural o de reposo por medios normales o mecánicos.

El porcentaje de expansión o abundamiento, que dependerá del tipo de material (tabla 1.7), podrá calcularse como:

$$\text{Factor volumétrico} = \frac{100\%}{100 + \% \text{ de abundamiento}} \quad 1.36$$

Por ejemplo para un material cuyo porcentaje de abundamiento es del 25% su *FV* será:

$$FV = \frac{1}{1 + 0.25} = 0.80$$

Clases de Tierra	% de Abundamiento
Arena o grava limpia	5-15
Suelo Artificial	10-25
Lama	10-35
Tierra común	20-45
Arcilla	30-60
Roca sólida	50-80

Tabla 1.7 Porcentaje de Abundamiento

Tiempo de un ciclo (t).- Este concepto principalmente está ligado a las diferentes máquinas que emplean varias operaciones para completar correctamente un trabajo, el cual determina el tiempo total en minutos de los ciclos de trabajo.

Por ejemplo para una escropa su ciclo de trabajo estará definido por:

- Tiempo de llegada al corte (Maniobras)
- Tiempo de espera
- Tiempo de carga Tiempo de demora (Maniobras)
- Tiempo de acarreo
- Tiempo de descarga
- Tiempo de retorno

Capacidad de los receptáculos (Q). Este concepto, es sólo un término general que se refiere a las cajas de los camiones, cucharones para excavar y transportar, cucharones de las palas y de las escrepas, y a las hoja o cuchillas del buldózer, angledozer y conformadoras.

La capacidad del receptáculo, que está dada directamente por el fabricante puede ser enrasada o colmada, pero siempre en yardas cúbicas.

Las yardas pueden ser de dos tipos:

Yardas en el banco.- Es la cantidad del material contenido en el receptáculo, que puede calcularse por medio de medidas cuidadosas y/o pesando varias cargas individuales o midiendo el banco o terraplén, para encontrar la cantidad de material movido en un número determinado de ciclos.

Yardas sueltas.- Es la cantidad de material medido en el banco, que se encuentra afectada por el coeficiente de abundamiento.

Factor de eficiencia del cucharón (K).- La proporción entre la cantidad de material en el receptáculo y la capacidad real en yardas sueltas, es decir:

$$K = \frac{\text{Material cargado por el receptáculo}}{\text{capacidad nominal del receptáculo}}$$

Factor de eficiencia de la máquina (E)- Concepto que se conoce también como Factor de rendimiento de trabajo o Eficiencia General.

Básicamente el factor de eficiencia representa las pérdidas del rendimiento en el equipo, las cuales están en función directa de las condiciones mismas de la máquina, de la adaptación que ésta tenga para un cierto trabajo y de las condiciones en que se encuentre la obra.

En general los factores de eficiencia pueden dividirse en dos tipos: de Condiciones de obra y de Administración.

Los de condiciones de obra, son aquellos que dependen de condiciones tales como superficie del suelo, topografía, estación del año y adaptabilidad de la máquina.

Los de administración son aquellos que depende de condiciones tales como coordinación entre máquinas, parado de circulación, calidad de mantenimiento de la máquina, etc.

En la tabla 1.8 se dan los factores de eficiencia en función de las condiciones de obra y de Administración así como los valores del rendimiento general en función de estos últimos.

Cuando la máquina depende única y exclusivamente de los tiempos ociosos, como son los retrasos en mover la máquina, preparaciones menores de ajuste, descansos, parados para pedir instrucciones o para mover las estacas de rasante, etc., no se promedian para determinar la duración del ciclo. Por lo que el cálculo del factor de eficiencia, llamada entonces rendimiento horario, es determinado considerando estas condiciones por separado.

El rendimiento horario es el valor promedio que se toma generalmente cuando la hora es de 50 minutos.

	Condiciones de la Obra	Coeficiente de Administración o Gestión			
		Excelente	Buena	Regular	Mala
Excelentes	1.00	0.84	0.81	0.76	0.70
Buenas	0.95	0.78	0.75	0.71	0.65
Regulares	0.85	0.72	0.69	0.65	0.60
Malas	0.75	0.63	0.61	0.57	0.52

Tabla 1.8 Factores de rendimiento de trabajo en función de la condición de obras y de la calidad de Administración.

1.5.2 Cálculo del rendimiento.

Una fórmula que se puede emplear para determinar el rendimiento de cualquier máquina con ciclo regular en m^3 sueltos por hora es:

$$R = \frac{(Q)(K)(E)(60)(FV)(0.764)}{C_m} \quad 1.37$$

Donde:

- Q Capacidad, enrasada o colmada (yd^3)
- K Factor de eficiencia del cucharón o caja
- E Factor de eficiencia de la máquina
- 60 minutos de una hora
- FV factor volumétrico del suelo
- C_m ciclos por minuto

Si el resultado se tiene que dar en metros cúbicos en el banco el FV tiene un valor que se determina del abudamiento observado, o de la tabla 1.6. Si el resultado se va a dar en metros sueltos, FV es igual a uno.

El factor K puede suprimirse cuando se toman cargas completas compactadas.

Si la eficiencia es aproximadamente de 0.80, se usan 50 *min* en lugar de 60, para la hora. Bajo éstas condiciones, se puede usar la siguiente fórmula simplificada en m^3 sueltos por hora:

$$R = \frac{(Q)(50)(E)(0.764)}{C_m} \quad 1.38$$

Si se usa una hora de 45 *min*. Esta fórmula se convierte en:

$$R = \frac{(Q)(45)(E)(0.764)}{C_m} \quad 1.39$$

Cuando se determinan las duraciones de las operaciones de las máquinas cuyo ciclo es menor de un minuto, es más cómodo tomarlas en segundos lo que se hace multiplicando el número de minutos por 60 y usando C_s (duración del ciclo en segundos) en lugar de C_m . Haciendo éstas sustituciones la fórmula se convierte en:

$$R = \frac{(Q)(K)(E)(3600)(FV)(0.764)}{C_s} \quad 1.40$$

Que simplificado para la hora de 50 minutos es:

$$R = \frac{(Q)(3000)(E)(0.764)}{C_s} \quad 1.41$$

Para la hora de 45 minutos sería:

$$R = \frac{(Q)(2700)(E)(0.764)}{C_s} \quad 1.42$$

1.5.3 Obtención del Rendimiento para las máquinas más usadas

1. Rendimiento del Bulldozer y Angledozer. Básicamente el rendimiento de estas máquinas está en función del tipo de la hoja y de su capacidad, así como de la eficiencia del operador y de la clase de material en que trabaja la máquina. Su cálculo se efectúa mediante la ecuación:

$$R = \frac{(60)(E)(Q)(K)(FV)}{t} \quad 1.43$$

Donde

R	Rendimiento en m^3 /hora
60	Hora de 60 minutos
E	Eficiencia general (tabla 1.8)
Q	Capacidad de carga de la cuchilla en m^3
K	Coefficiente de carga para material arrastrado
FV	Factor volumétrico del material
t	Tiempo de un ciclo

Para obtener la capacidad de carga de la cuchilla se puede utilizar la ecuación:

$$V = \frac{L h^2}{2 \tan \theta} \quad 1.44$$

Donde:

- L Longitud de la hoja en m .
- h altura de la hoja en m .
- θ ángulo de reposo del material.

Lo anterior es para terrenos planos, para terrenos inclinados el rendimiento se calcula de la siguiente manera:

- Pendiente hacia arriba se reduce de 2 a 4 % por cada 1 % de pendiente
- Pendiente hacia abajo se reduce de 2 a 8% por cada 1 % de pendiente según el material.

2. Rendimiento de los Cargadores. En función de la siguiente fórmula el rendimiento de los diferentes tipos de cargadores es:

$$R = \frac{(60)(Q) (K) (E)(0.764)(FV)}{t} \quad 1.45$$

Donde:

- R Rendimiento de la máquina (m^3/hr)
- 60 Minutos en una hora
- Q Capacidad nominal del cucharón (yd^3)
- K Factor de llenado del cucharón.
- E Factor de rendimiento de trabajo (concepto que incluye los tiempos perdidos).
- FV Factor volumétrico
- t Tiempo del ciclo (minutos).

Los valores de t y k se obtienen en las tablas 1.9 y 1.10 respectivamente.

Trabajo Ejecutado	Tipo de transmisión	
	Directa	Servo-Motores
<i>Pala equipada con orugas excavando en:</i>		
Material amontonada	0.35	0.25
Excavación en banco	0.60	0.45
<i>Pala equipada con Neumáticos en</i>		
Excavación de material amontonado		0.20

Tabla 1.9 Tiempo fijo del ciclo de trabajo de Palas cargadoras en *min*.

Material excavado	Capacidad nominal de cucharón yd³							
	3/4	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Arcilla húmeda o arenosa ligera	1.15	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.20	1.22
Arena o grava	0.93	0.93	0.96	0.96	0.96	0.98	1.02	1.02
Tierra común compactada	1.00	1.00	1.00	1.05	1.05	1.05	1.08	1.08
Arcilla dura y tenaz	1.10	1.10	1.10	1.12	1.12	1.12	1.16	1.18
Arcilla cohesiva húmeda	1.10	1.10	1.10	1.12	1.12	1.12	1.16	1.18
Roca bien tronada	0.60	0.70	0.70	0.80	0.80	0.90	0.95	0.95
Escombros con piedras y raíces	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95

Tabla 1.10 Factor de llenado para cucharones de palas Cargadoras K.

3. Rendimiento de las excavadoras. Únicamente se incluyen en éste estudio a los equipos que trabajan con cucharón como son:

- Palas de cucharón
- Draga de arrastre
- Cucharón de almeja
- Retroexcavadoras

Los factores que deben tomarse en cuenta para el cálculo del rendimiento son:

- a) Tipo de material
- b) Profundidad real del corte
- c) Ángulo de giro
- d) Dimensión del equipo frontal
- e) Eficiencia del operador
- f) Condiciones del equipo y obra
- g) Capacidad del vehículo y transporte

Por lo tanto la ecuación con que se calcula el rendimiento teórico de éstas máquinas es:

$$R = \frac{(3600)(Q)(E)(k)(0.764) \times (FV)}{t} \quad 1.46$$

Donde:

- R* Rendimiento en m³/hr
Q Capacidad o volumen del cucharón (yd³)
E Factor del rendimiento
K Factor de llenado del cucharón (depende de las dimensiones y capacidad del cucharón)
FV Factor volumétrico
t Tiempo empleado en efectuar un ciclo (en segundos)
 3600 Segundos en una hora.

Un ciclo de trabajo está compuesto por todas las maniobras que se tengan que hacer empleando diferentes tiempos que se pueden considerar de la siguiente manera:

- a) Tiempo en carga del cucharón.
- b) Tiempo empleado en elevar y efectuar un giro para poner el cucharón en posición de descarga.
- c) Tiempo de maniobras de descarga.
- d) Tiempo de regreso del cucharón para ponerse en su posición inicial o de ataque para efectuar la carga.

4. Rendimiento de las Escrepas. Para obtener su rendimiento será necesario calcular la velocidad con que se realiza el trabajo, ya que es diferente la velocidad cuando carga o descarga, que cuando transporta.

Una vez conocida la velocidad, la distancia de recorrido, el número de pasadas, y el factor de rendimiento, se podrá determinar el tiempo que tarda la escrepa en efectuar su trabajo.

Por lo tanto la siguiente fórmula y de acuerdo al criterio anterior el rendimiento será:

$$t = \frac{NS}{vE} \quad 1.47$$

Donde:

- t Tiempo en efectuar el trabajo
- N Número de pasadas hasta el término del trabajo
- S Distancia de recorrido por pasadas.
- v Velocidad durante el trabajo
- E Factor de rendimiento

$$R = \frac{(Q)(60)(E)}{t} \quad 1.48$$

Donde :

- R Rendimiento en $m^3/hr.$
- 60 Minutos en una hora
- Q Capacidad de la máquina en m^3 .

5. Rendimiento de los Transportes. El rendimiento de los transportes, que incluye en forma general a los camiones para dentro y fuera de las carreteras, puede ser calculado a través de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{Q \times 60 \times E}{t} \quad 1.49$$

Donde:

R	Rendimiento en m^3 / hr
Q	Capacidad de la máquina en m^3
60	Minutos en una hora
E	Factor de rendimiento de trabajo
t	Tiempo empleado en un ciclo completo.

El tiempo de un ciclo completo será:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad 1.50$$

Donde:

t_1	Tiempo empleado en maniobra de acomodo
t_2	Tiempo de carga
t_3	Tiempo empleado en acarrear el material
t_4	Tiempo empleado por la máquina vacía durante el regreso

6. Rendimiento de las Motoconformadoras. La forma general de calcular el rendimiento de éstas máquinas se realiza en base al tiempo de trabajo y de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$T = \frac{D \times N}{v \times E} \quad 1.51$$

Donde:

T	Tiempo requerido para efectuar el trabajo
D	Distancia recorrida en cada pasada (km)
N	Número de pasadas que se requiera para realizar el trabajo
v	Velocidad de operación (km/hr)
E	Factor de rendimiento de trabajo

7. Rendimiento de los Compactadores. La obtención del rendimiento de estas máquinas en general, se mide a través de un promedio en el que se considera el número de pasadas que necesita hacer una máquina, para obtener la compactación deseada.

$$R = \frac{(A)(v)(e)(C)(10)}{N} \quad 1.52$$

Donde:

R	Rendimiento en m^3/hr
A	Ancho compactado por la máquina en m .
v	Velocidad en km/hr

<i>e</i>	Espesor de la capa en <i>cm</i>
<i>C</i>	Coefficiente de reducción (0.6 a 0.8)
10	Factor de conversión de unidades
<i>N</i>	Número de pasadas hasta obtener la compactación requerida

1.6 Operación económicamente óptima del equipo

En las operaciones de construcción descritas hasta este momento, hay fuerzas en acción, que deben aplicarse para mover el equipo. La fuerza necesaria la genera la unidad motriz del equipo, que suministra su energía al mecanismo de transmisión. El suministro de potencia puede medirse por la fuerza aplicada para producir una cierta velocidad de movimiento. En otras palabras, aplicar una fuerza para mover un cuerpo o peso a una velocidad dada, necesita de cierta cantidad de potencia. La fuerza requerida depende principalmente de la combinación de la resistencia al rodamiento, de la resistencia por pendiente y de las fuerzas de inercia que actúan sobre el equipo.

Como la potencia generada por la unidad motriz del equipo es un gasto de operación, debe considerarse cuidadosamente la potencia requerida. El costo de un motor, (su combustible, de la transmisión, etc.) es, por lo general, directamente proporcional a la potencia máxima requerida y a la potencia total consumida.

Hay cinco principios clave con respecto al equipo relativo a la potencia, cuando se planean trabajos de construcción. Si se siguen tales principios, el equipo que se seleccione y utilice, conducirá a la operación económicamente óptima.

Los principios para reducir al mínimo las necesidades de potencia generada, pueden resumirse de la siguiente manera:

- 1.- Aprovechamiento de la ventaja del movimiento por gravedad, o pendiente abajo (-*G*) para el movimiento de los pesos más grandes.
- 2.- Planeación del movimiento en línea recta y a velocidad constante, para reducir al mínimo la potencia requerida para vencer las fuerzas de inercia.
- 3.- Minimizar la elevación de materiales, tanto como sea posible, porque el movimiento vertical ascendente (contra la fuerza de la gravedad) es el que consume más potencia.
- 4.- Reducción al mínimo de las vueltas o cambios de dirección de los equipos, o de su carga, ya que cada vuelta o cambio requiere potencia para vencer la fuerza centrífuga.
- 5.- Reducción al mínimo de los arranques y paros de los equipos, o de su carga, ya que en cada uno debe vencerse una fuerza de inercia que consume energía y toma potencia.

Si se analizan los principios antes establecidos, en relación con otras operaciones comunes, pueden reconocerse como técnicas de líneas de ensamble. Estas se refieren a las operaciones perfeccionadas en la fabricación industrializada. El mejoramiento tendiente a la optimización de tales

operaciones se debe a la aplicación de los estudios de los tiempos y movimientos. La planeación en cuanto a equipo de construcción, puede mejorarse aplicando técnicas de las líneas de ensamble.

Las técnicas de las líneas de ensamble se han modernizado para eliminar todas las operaciones manuales innecesarias. Esto reduce los paros, arranques, vueltas y cambios de velocidad, que consumen energía y potencia cuando los hace el equipo. Cuando la operación no es sistemática, tales cambios se verifican mediante control manual. Si cada movimiento necesario puede ejecutarse “automáticamente” por hábito, por consiguiente habrá un mínimo de vacilación y de utilización de energía.

Esto es un objetivo importante en la eliminación de los controles manuales.

El medio empleado para reducir el control manual, ha sido la automatización lograda mediante controles eléctricos o hidráulicos aplicados a muchos de los pasos de cada operación. En los equipos de construcción ya se han aplicado los controles automáticos y muchos más podrán ser aplicados. La automatización contribuye a minimizar las necesidades de potencia de los equipos de construcción.