

# MÁQUINAS PARA TRACCIÓN, EXCAVACIÓN Y TRANSPORTE

Dionisio Félix Salas Pinto





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

PH.D. ENRIQUE RICARDO FLORES MARIAZZA  
*Rector*

PH.D. JORGE ALFONSO ALARCÓN NOVOA  
*Vicerrector Académico*

DRA. CARMEN ELOISA VELEZMORO SÁNCHEZ  
*Vicerrectora de Investigación*

DR. JOSÉ CARLOS VILCAPOMA  
*Jefe del Fondo Editorial*

---

DIONISIO FÉLIX SALAS PINTO

Máquinas para tracción, excavación y transporte

Lima: 2020; 264 p.

---

© Dionisio Salas Pinto

© Universidad Nacional Agraria La Molina  
Av. La Molina s/n La Molina

Derechos reservados

ISBN: N° 978-612-4387-39-5

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-00038

Primera edición: Enero 2020 - Tiraje: 500 ejemplares

Impreso en Perú - Printed in Perú

Diseño y diagramación:  
Daniella Luna Barrios

Se terminó de imprimir en enero del 2020 en:

QyP Impresores srl.

Av. Ignacio Merino 1546 - Lince

E-mail: qypimpresores2005@yahoo.com

Queda terminantemente prohibida por la Ley del Perú la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización escrita del autor.

Todos los conceptos expresados en la presente obra son responsabilidad de los autores.

## Índice

PRÓLOGO	11
I. Introducción	13
1.1 Equipo y acción que ejecuta	13
1.2 Selección de equipo	15
1.2.1 Equipo para acarreo (transporte)	15
1.2.2 Equipo para excavación y carguío	16
1.3 Protección del operador y de la máquina	18
1.3.1 Capacitación del operador y prácticas de protección.	19
1.3.2 Modificaciones a las máquinas	20
1.3.3 Opciones del equipo relacionadas con el operador	20
1.3.4 Protección de la máquina	21
1.3.5 Prevención de incendios	21
1.3.6 Normas de seguridad	21
1.3.7 Reducción de ruidos.	22
1.4 Operación en pendientes pronunciadas	22
II Fuerza motriz en las máquinas para acarreo	25
2.1 Fuerza motriz disponible	25
2.1.1 Transmisión directa	26
2.1.2 Transmisión hidromecánica	29
2.1.3 Transmisión hidrostática	31
2.2 Fuerza motriz utilizable	31
2.2.1 Adherencia entre el tren de rodaje y la superficie del camino.	32
2.2.2 Tracción crítica y pendiente	37
2.2.3 Altitud	38
2.2.4 Altura del centro de gravedad de la máquina	41
2.2.5 Altura de la barra de tiro	44
2.3 Fuerza motriz requerida para operaciones de acarreo	44
2.3.1 Resistencia a la rodadura. ( R )	45
2.3.2 Resistencia a la pendiente (P)	49
2.3.3 Resistencia debida a la inercia	50

2.3.4	Resistencia del aire ( $\mathbb{A}$ )	51
2.3.5	Resistencia total (Ft) o fuerza motriz requerida (fmr)	52
2.3.6	Pendiente compensada	54
2.3.7	Capacidad para superar pendientes o inclinación de la cuesta trepable.	54
2.4	Resumen del capítulo	55
2.5	Transitabilidad o capacidad de tráfico	67
III.	Calculo de la produccion en obra de las máquinas (capacidad de operación)	71
3.1.	Método	71
3.2	Eficiencia de trabajo	72
3.3	Clasificación del suelo para operaciones de movimiento de tierras	74
3.3.1	Orígenes geológicos del suelo	76
3.3.2	Otras propiedades del suelo	79
3.4	Factor de conversión del volumen de tierras	82
3.4.1	Material en banco	82
3.4.2	Material suelto o pay load	82
3.4.3	Material compactado	82
3.4.4	Gravedad específica	84
3.5	Conceptos introductorios a la teoría de excavación y acarreo	87
3.5.1	Camino de macadam – según Rogers y Wallace	87
3.5.2	Macadam asfáltico	88
3.5.3	Detalles de algunas obras	88
3.5.4	Fases en la construcción de un canal	89
IV.	Tractores y hojas topadoras	93
4.1	Tractores de orugas	93
4.1.1	Tractores para obras de construcción	94
4.1.2	Tractores de aplicación especial o rurales	95
4.2	Tractores de ruedas	95
4.2.1	Criterios de selección	96
4.3	Hojas topadoras	99
4.3.1	Selección de hojas	99
4.4	Tractor con hoja topadora recta o bulldozer	106
4.5	Tractor con hoja topadora angulable o angledozer.	111
4.6	Ciclos de trabajo de la topadora.	115

4.6.1	Excavación y terraplenado en llano	116
4.6.2	Excavación y terraplenado en ladera, en tramos muy cortos	117
4.6.3	Relleno de una zanja	118
4.7	Producción del tractor con hoja topadora recta o bulldozer	120
4.7.1	Producción por ciclo: $q$ ( $m^3$ )	120
4.7.2	Eficiencia de trabajo	120
4.7.3	Condiciones para el cálculo de la producción $(LH)^2$ de la topadora	121
4.7.4	Correcciones de la producción horaria de las hojas empujadoras	122
4.8	Desgarrador	135
V.	Cargador frontal	147
5.1	Cargador de neumáticos	147
5.2	Cargador sobre orugas	148
5.3.	(E) Altura de descarga	149
5.4.	Alcance de descarga	149
5.5	Definiciones SAE para cargadores frontales	150
5.5.1	Fuerza de desprendimiento o de rotura	151
5.5.2	Carga límite de equilibrio estático o carga estática de vuelco	153
5.5.3.	Carga de operación	155
5.5.4.	Posición de acarreo	155
5.5.5.	Capacidad máxima de levante hidráulico	156
5.6	Cálculo de la producción de un cargador de orugas y de un cargador de ruedas	157
5.6.1.	Producción por ciclo ( $q$ )	158
5.6.2.	Capacidad SAE del cucharón	159
5.6.3	Ciclos de trabajo del cargador frontal	160
5.6	Eficiencia del trabajo (E)	163
5.7	Para calcular la productividad normal se dan las condiciones y cifras siguientes	163
5.8	Ejemplo de cálculo	163
VI.	Volquete para fuera de camino	167
6.1	Cálculo de la producción de un volquete	168
6.2	Estimación de la duración del ciclo de un volquete ( $C_v$ )	168
6.3	Estimación del número de volquetes necesarios	175
6.4	Estimación de la producción de una flota de volquetes.	176

6.5	Número de volquetes y cargadores requeridos en reserva	177
5.6	Capacidad SAE de volquetes	178
6.7	Ejemplo de cálculo	178
VII.	Trailla o escrepa	183
7.1	Traíllas de tiro	184
7.2	Traíllas autopropulsadas con tolva estándar	185
7.3	Traílla autocargadora	186
7.4	Traílla de potencia tándem con tolva estándar	186
7.5	Traílla autocargadora de potencia tándem	187
7.6	Cálculo de la producción de una mototraílla	188
7.7	Factor de velocidad	192
VIII.	Motoniveladora	195
8.1	Tren delantero	196
8.2	Motoniveladora de bastidor articulado	196
8.3	Dirección con bastidor recto	197
8.4	Bastidor y ruedas en pleno giro	197
8.5	Posición acodillada	198
8.5.1	Nivelación paralela	198
8.5.2	Nivelando en laderas	198
8.5.3	Cortando el talud con las ruedas frontales en posición paralela	199
8.5.4	Excavando en suelo compacto	199
8.5.5	Rellenando	199
8.6	Cálculo de la producción horaria de una motoniveladora: P (m <sup>2</sup> /hr.)	199
8.7	Ancho de trabajo de una motoniveladora	200
IX.	Excavadoras	209
9.1	Excavadora hidráulica	212
9.1.1	Partes	212
9.1.2	Tipos	213
9.2	Capacidad de levantamiento de las excavadoras	215
9.3	Carga de elevación nominal	217
9.4	Recomendaciones para levantamiento sobre el suelo	217
9.5	Capacidades de levantamiento a nivel del suelo	218
9.6	Recomendaciones para levantamiento por debajo del nivel del suelo	218
9.7	Altura del banco y distancia al camión ideales	219
9.8	Zona de trabajo y ángulo de giro óptimos	219

9.9	Distancia ideal del borde	219
9.10	Capacidades del cucharón retroexcavador	220
9.11	Fuerza de plegado y de ataque	220
9.12	Selección de cucharones según la fuerza de plegado del cucharón y la fuerza de ataque del brazo	222
9.13	Carga útil del cucharón	223
9.14	Pesos de trabajo - cucharón y carga útil	224
9.15	Combinaciones aceptables de brazo y cucharón	225
9.16	Selección de zapatas para excavadoras	226
9.17	Sistema de acoplador rápido	227
9.18	Las excavadoras para limpieza de zanjas	229
9.19	Desgarramiento y carga en canteras	231
9.20	Comparación de facilidad de desgarramiento entre excavadoras y tractores	232
X.	Láser	239
10.1	Sistemas laser de control de máquinas para construcción y agricultura	240
10.2	Los sistemas laser de nivelación	242
10.3	Componentes de sistema láser de nivelación diseñados para la industria de la construcción robustos y confiables	244
10.4	Instalación de drenes	247
XI.	Compactación y compactadores	249
11.1	Introducción	249
11.2	Máquinas de compactación de presión estática	250
11.3	Máquinas de compactación por impacto	252
11.4	Máquinas de compactación por vibración	253
11.5	Fundamentos de compactación	256
11.6	Cálculo de la producción de un compactador	258
11.7	Expresión de la producción por el área compactada	260
11.8	Ejemplo de cálculo por volumen	261
XII.	Bibliografía	263

## PRÓLOGO

La presente obra se gestó en el deseo de dar al lector los conocimientos necesarios que le permitan participar en trabajos de equipo cuyo objetivo sea la formulación de proyectos o la ejecución de obras de pequeña, mediana o gran envergadura; ya sea en Irrigación, colonización, urbanización, reconstrucción o en la empresa agrícola. Obras como represas, bocatomas, canales, partidores caminos, puentes, sifones, alcantarillas, defensas ribereñas, nivelación de campos y otras que exigen la aplicación de varias disciplinas, tanto para proyectar la obra, como para ejecutarla; para estimar tiempos, costos y volúmenes; como para dirigir las acciones de movimiento de tierras o para administrar maquinaria. Es necesario por ello que el discípulo conozca las máquinas que pueden aplicarse en la construcción, mantenimiento o reconstrucción de obras.

Su lectura permitirá que el alumno sea capaz de identificar y describir las máquinas y herramientas que se usan en obras de movimiento de tierras; excavación, carguío, transporte, nivelación, compactación, desmonte, explotación forestal, drenaje, y otros. Se dará a conocer al estudiante las partes operativas, accesorios, especificaciones, alcances y limitaciones de estas máquinas. Aprenderá a calcular volúmenes de excavación y relleno, estimar la producción horaria, el avance diario, y el tiempo de ejecución. Seleccionar las máquinas necesarias para conformar un equipo eficiente en la ejecución de una obra o proyecto.

Gran parte de este texto es copia resumida a veces de los manuales de especificaciones de Caterpillar, Komatsu, Hitachi, y otros autores que son citados en la bibliografía. Sumado a la experiencia del autor, ya sea como operador, observador, evaluador o proyectista.



## **I. INTRODUCCIÓN**

En este texto se describe las principales máquinas que se utilizan en la construcción de canales, carreteras, drenes, trabajos de desbosque, defensas ribereñas y trabajos agrícolas como nivelación, construcción de terrazas, acequias y caminos de servicio. Obras que consisten en modificar el relieve terrestre, para darle las formas específicas que convienen a las diferentes actividades humanas de explotación de recursos mineros y energéticos, transporte, comunicación, recreación, urbanización, irrigación y colonización.

Se analiza las fuerzas que desarrollan los tractores en operaciones de tracción y empuje, se definen por su origen y tamaño de partícula a los materiales (tierra) con los que se trabaja, y cómo varían su volumen y peso al ser intervenidos; además de describir las máquinas se define el ciclo de operación de cada una y el método para calcular su productividad. Con la intención de capacitar al futuro ingeniero para seleccionar máquinas, organizar el equipo, estimar costos y productividad, y dirigir los trabajos.

### **1.1 EQUIPO Y ACCIÓN QUE EJECUTA**

Las operaciones de movimiento de tierras consisten básicamente en cinco fases: excavación o corte del terreno, carguío, transporte, nivelación y compactación. Por ejemplo, en la construcción de un terraplén con la ayuda de un bulldozer; la máquina excava terreno en una longitud de 15 a 20 m, continúa empujando la hoja llena hasta llegar a la zona de depósito, en donde lo distribuye uniformemente ejecutando así el relleno, seguidamente retrocede para empezar otra operación de corte, y así sucesivamente, avanza excavando, transportando y distribuyendo, luego retrocede para empezar otro ciclo.

Máquina	Excava	Carga	TRANSPORTA			Nivela	Compacta
			Dist. Corta	Dist. Media	Dist. Larga		
Hoja Topadora	X		0 a 150 m			X	
Cargador de ruedas	X	X	10 a 200 m				
Cargador de orugas	X	X					
Excavador	X	X					
Volquete					0,2 a 9 km		
Trailla	X			0,1 a 3 km		X	
Motoniveladora	X					X	
Compactador							X

**Tabla 1-1.- Equipo y fases de las operaciones**

Para la ejecución de las operaciones de movimiento de tierras se usan las máquinas generalmente en equipo, y la selección y combinación de éstas (tamaño y número) debe hacerse teniendo en cuenta lo siguiente:

- Magnitud de la obra
- Operaciones a realizar, fases
- Cronograma de actividades
- Volúmenes de material a mover
- Clases de material a mover
- Distancias de acarreo
- Caminos a utilizar, pendientes, baches, etc.
- Máquinas necesarias
- Máquinas disponibles

Se cuidará que las capacidades de las máquinas a seleccionar sean las adecuadas para las operaciones a ejecutar; por ejemplo, si se va a cargar grava en volquetes, se utilizará el tamaño adecuado de cargador, en lo posible los volquetes serán de tamaño semejante, y el número de volquetes será tal que mantengan al cargador siempre ocupado. Estos y otros temas serán tratados en las páginas siguientes.

## 1.2 SELECCIÓN DE EQUIPO

Se presenta a continuación una breve descripción de los variados tipos o clases de máquinas disponibles y que son las más apropiadas a cada trabajo. Fiat (11).

### 1.2.1 Equipo para acarreo (transporte)

#### a. Traíllas o Escrepas.

En trabajos donde la distancia de acarreo (transporte) es menor que 2,5 km. y el material es granular, tierra con poca o nada de piedras pequeñas, la traílla ofrece generalmente la solución más económica para trabajos de excavación-carguío-transporte y descarga. Para levantar su carga hace un corte a semejanza de un cepillo de carpintero, al descargar esparce su contenido mientras se desplaza.



#### b. Volquetes fuera de camino, de descarga posterior

Se recomiendan para material pesado como roca quebrada, y cuando se dispone adecuados caminos. Se dispone máquinas con capacidades desde 20 a 200 t.

Estos volquetes también son capaces de descargar sobre el borde de un terraplén o en tolvas.



#### c. Volquetes articulados (fuera de camino)

Estos tienen cada vez mayor demanda para operar en condiciones de caminos húmedos o fangosos debido a su excelente tracción. Esto significa que estos volquetes se tomarían en cuenta en situaciones donde no es económico construir un camino adecuado (trayecto muy largo o trabajos de corta duración). No obstante, la maniobrabilidad es usualmente menor que la de un volquete rígido de similar tamaño.



d. Remolques para tractores de traíllas.

Ambos remolques, el de descarga posterior y el de descarga por el fondo pueden ser tirados por la unidad motriz de una traílla autopropulsada.

La maniobrabilidad es excelente debido a que la articulación puede girar 180° y cada unidad puede operar fácilmente en condiciones muy restringidas como la excavación de un túnel.



e. Camiones de descarga por el fondo. Estos pueden ser usados para transportar materiales que fluyen fácilmente, recorriendo rutas largas y rápidas. El material puede ser descargado sobre un embudo o ser distribuido en camellones.

f. Camiones de carretera (volquetes)

Son una opción para transporte sobre vías de servicio público.

Ellos son a veces usados en condiciones de fuera de camino. Pero esto no se recomienda, salvo que la superficie del camino tenga muy buen mantenimiento.

g. Equipo especial

Banda transportadora, cablecarril (andarivel) y otros equipos especializados pueden usarse en grandes proyectos de larga duración.

## 1.2.2 Equipo para excavación y carguío

a. Topadora (hoja de empuje frontal)

La máquina más adaptable y fundamentalmente más usada en la etapa inicial de excavación es el bulldozer (tractor con hoja topadora) que puede ser de orugas o de ruedas.



b. Traíllas.

Es una unidad que excava, levanta su carga, transporta y descarga nivelando groseramente, trabaja bien con material granular. En la etapa de excavación y carguío puede necesitar la ayuda de un tractor empujador.



## c. Cargadores de ruedas.

Corrientemente son la solución más popular para cargar todo tipo de volquete y camión. En proyectos de pequeña o media dimensión, se pueden movilizar rápidamente de un área de trabajo a otra. Ellos pueden acarrear material económicamente, recorriendo distancias hasta de 200 metros, eliminando la necesidad de unidades de transporte en esos casos.



## d. Cargador de orugas.

Estas máquinas son relativamente más difíciles de operar que los de ruedas; debido al hecho particular de que las orugas dañan al pavimento, y a que no son aptos para recorrer distancias largas ya que no superan los 12 km/h si se desplazaran a esa velocidad por mucho tiempo sus orugas recalentarían, por ese detalle los cargadores de orugas han perdido popularidad, se les ha comparado con el cargador de ruedas en aplicaciones de carguío de volquetes. Por tanto, se tiende a usarlos mayormente en aplicaciones severas como corte y excavación difícil o remoción de escorias en fundiciones. También pueden trabajar en condiciones de relativamente mayor confinamiento que los cargadores de ruedas.



## e. Excavadores hidráulicos.

Para la excavación de zanjas estrechas y pozos; un excavador, o posiblemente un brazo de retro excavación montado en la parte posterior de un tractor, es realmente la única alternativa.

Para excavación de gran volumen y aplicaciones en carguío de volquetes, casi siempre, la recomendación se inclina por el uso de un excavador, en cualquiera de



las dos configuraciones retroexcavador o excavador frontal.

El desgaste del tren de rodadura (carriles o ruedas) puede ser considerablemente menor, así como el consumo de combustible en comparación con un cargador capaz de un rendimiento semejante.

f. Equipo especial

Las excavadoras sobre ruedas son un ejemplo de la maquinaria especializada que se usa en grandes proyectos y en minería a tajo abierto. Palas operadas a cable y dragalinas son también usadas en este contexto. Pero en trabajos de construcción, el excavador hidráulico generalmente es el más conveniente.



### 1.3 PROTECCIÓN DEL OPERADOR Y DE LA MÁQUINA

El empleador tiene la obligación de proporcionar un ambiente de trabajo seguro para sus empleados. Si este empleador es también propietario de una o más máquinas, debe revisar su aplicación en el lugar donde se va a utilizar la máquina para identificar posibles peligros relacionados con la aplicación, con el trabajo o con el relieve; para seleccionar los accesorios de seguridad necesarios para proteger al operador y a la máquina. Al proteger y dar buen mantenimiento a la máquina se reduce la posibilidad de que sufra una avería prematura y brinda al operador la confianza y seguridad necesarias para realizar mejor su trabajo. Caterpillar (7)

La adecuada capacitación también protege al binomio operador-máquina. El entrenamiento del operador no es completo si este no lee, comprende y decide seguir las instrucciones contenidas en el manual de operación y mantenimiento de la máquina que maneja.

Un operador con experiencia, trabajando en condiciones apropiadas y utilizando una máquina moderna y bien equipada constituye un equipo de operador-máquina que puede ofrecer la máxima producción. Estos factores junto con una normativa adecuada en el sitio de trabajo y procedimientos adecuados de comunicación son esenciales para coordinar el trabajo de máquinas y operadores.

### 1.3.1 Capacitación del operador y prácticas de protección

Cualquier máquina puede ser peligrosa si no se le mantiene en buenas condiciones, si es manejada por un operador falto de capacitación o poco cuidadoso, o si se hace funcionar de forma irresponsable.

En atención a lo expresado se recomienda lo siguiente:

1. Entrenar a los operadores para el trabajo que van a realizar, asegurándose de que cumplen los siguientes requisitos antes de asignarle una tarea:
  - a) Ha completado la capacitación y comprende la importancia del cinturón de seguridad.
  - b) Ha leído y comprendido el manual de operación y mantenimiento de la máquina que va a operar.
  - c) Conoce y comprende las normas de operación de máquinas, seguridad e identificación de peligros.
  - d) Tiene equipo de seguridad individual (casco, guantes, gafas, zapatos, orejeras) y sabe usarlo.
  - e) Conoce el ambiente de trabajo sabe que hay otras máquinas y sabe dónde hay peligro.
2. Asegurarse que los operadores estén en condiciones físicas y mentales apropiadas para trabajar seguros.
3. Mantener condiciones de la obra y procedimientos de trabajo adecuados.
  - a) Examinar el lugar de trabajo ver si es seguro el piso.
  - b) Inspeccionar las posibles fuentes de peligro: Taludes, pendientes escarpadas, posibles sobrecargas, restricciones de tráfico, visibilidad obstruida, etc.
  - c) Corregir o señalar las condiciones peligrosas.
4. Proporcionar la máquina apropiada para el trabajo de que se trate, y con el equipo de protección necesario.
  - a) Compruebe que se cumplen las normas aplicables al caso.
  - b) Propietario y operador deben conocer y cumplir leyes normas y reglamentos aplicables a la obra.

5. Asegurarse que la máquina recibe mantenimiento adecuado.
  - Hacer una inspección alrededor de la máquina antes de empezar cada jornada y antes de que funcione, verificando:
  - Escalones o asideros flojos, doblados o faltantes.
  - Cinturón de seguridad gastado o faltante (vida útil. 3 años).
  - Ventanas dañadas.
  - Aislantes eléctricos o mangueras desgastados.
  - Fugas de líquidos.
  - Protectores dañados o faltantes.

Si durante la inspección se descubre un problema que afecte a la seguridad del operador y o de la máquina, se le debe corregir antes de operar. Caterpillar (7)

### **1.3.2 Modificaciones a las máquinas**

No deben hacerse modificaciones que:

1. Interfieran con la visibilidad del operador.
2. Interfieran con la entrada o salida.
3. Excedan la carga útil nominal o el peso bruto, motivando que sobrecarguen frenos, sistema de dirección o la capacidad de la estructura ROPS.
4. No colocar objetos en la cabina que restrinjan el espacio del operador o que no estén firmemente sujetos.

### **1.3.3 Opciones del equipo relacionadas con el operador**

1. Cada trabajo presenta condiciones diferentes que deben observarse y tener en cuenta, cuando representan peligros directos al operador o son causas de distracciones que reducirían la eficiencia del operador y provocarían errores peligrosos y costosos.
2. Las fábricas disponen de cabinas a prueba de ruidos, con control de temperatura y con luces exteriores especiales.
3. Cualquier herramienta utilizada en operaciones peligrosas como demolición o arrastre de troncos puede crear la necesidad de protectores especiales para el operador.
4. Se dispone de protectores adicionales contra partículas despedidas por impactos, tensión, cizallamiento o barrido; como rejilla delantera, parabrisas gruesos de policarbonato, o un sistema de protección FOGS.



### 1.3.4 Protección de la máquina

1. Examinar la tarea a realizar por si existen condiciones que puedan causar averías prematuras o desgaste excesivo de los componentes de la máquina
2. Ver si es necesario utilizar dispositivos adicionales de protección como protectores de servicio pesado del radiador, de cárter, cubiertas de motor, protectores de rodillos y protectores de frenos.

### 1.3.5 Prevención de Incendios

Para reducir al mínimo el peligro de incendio se recomienda tomar las siguientes recomendaciones básicas:

1. Quite toda la basura (hojas, palitos, papeles, etc.) que pueda haberse acumulado delante del radiador y en cualquier compartimiento del motor.
2. No opere una maquina si nota una fuga de un fluido inflamable. Repare la fuga antes de continuar. Recuerde que casi todos los fluidos utilizados en una máquina son inflamables.
3. Mantenga el acceso a la máquina y a todos sus compartimentos en buen estado de funcionamiento para que permita aplicar el equipo contra incendios si es necesario.
4. Evite conectar cables eléctricos a mangueras o tuberías que contengan fluidos inflamables.
5. Reemplace cualquier conexión o manguera hidráulica que tenga fugas o esté dañada.
6. Siga prácticas seguras de reabastecimiento de combustible
7. Tenga a la mano un extintor de incendios de 4,5 kg como mínimo.

### 1.3.6 Normas de seguridad

Casi todos los países han desarrollado leyes normas y reglamentos locales para proteger a operador, espectadores y personal de mantenimiento.

En los EEUU, si la maquina se usa en actividades mineras, se aplican los reglamentos de la Mine Safety and Health Administration (**MSHA**). Otras actividades incluyendo construcción, están reguladas por la Occupational Safety and Health Administration (**OSHA**). Estas agencias federales exigen que los empleadores proporcionen un ambiente de trabajo seguro para los empleados.

**OSHA y MSHA** han adoptado criterios para las estructuras de protección **ROPS, FOPS y FOGS**. Cinturones de seguridad, bocinas de advertencia, alarmas de marcha atrás, niveles de ruido a que puede estar sometido el operador, sistemas de dirección y sistemas de frenos. Puede ser necesaria la instalación de protección adicional para el compartimiento del operador en operaciones forestales, de demolición y otras aplicaciones especiales.

Estructura **ROPS**: Es una estructura de protección contra volcaduras. **ROPS** es la sigla de **Roll Over Protective Structure**. ASAE (1).

Estructura **FOPS**: Es una estructura de protección contra objetos que caen. **FOPS** es la sigla de **Falling Object Protective Structure**.

Sistema de protección **FOGS**: Son dispositivos especiales para proteger al operador de partículas despedidas por impactos, cortes, cizallamiento o barrido que se producirían por ejemplo durante una demolición y en el arrastre de troncos, incluye protectores delanteros y superiores, parabrisas gruesos de policarbonato o combinación de ambos: **FOGS** es la sigla de **Falling Object Guarding System**. Caterpillar (7).

### 1.3.7 Reducción de ruidos

Las normas de reducción de ruido de **OSHA** y de **MSHA** establecen límites permisibles de exposición a ruidos para los operadores de máquinas y para otros empleados. La protección del operador contra ruidos debe conseguirse utilizando cabinas instaladas en fábrica. Estas cabinas, cuando están mantenidas adecuadamente y se operan correctamente con puertas y ventanas cerradas, reducen el nivel de ruido a que está sometido el operador durante una jornada de trabajo de ocho horas. Factores variables del lugar de trabajo, como otras fuentes de ruido en las cercanías o superficies que reflejan las ondas sonoras, pueden reducir el número de horas de trabajo permisible. Si esto ocurre, puede ser necesario utilizar protectores en los oídos. Caterpillar (7)

## 1.4 OPERACIÓN EN PENDIENTES PRONUNCIADAS

Cuando la inclinación de una ladera es superior a 25° (47%) se dice que es una pendiente pronunciada. Cualquier pendiente presenta cierto grado de peligro al tránsito y al trabajo con maquinaria, el peligro aumenta con el incremento de la pendiente. Al respecto los fabricantes únicamente garantizan que determinado motor y el tren de transmisión trabajarán

con la adecuada lubricación hasta pendientes por ejemplo de 25° o 45° (100%), si tiene el lubricante al nivel normal medido en suelo plano. Pero de estabilidad y seguridad solamente dicen que se debe tener precaución y cuidado.

Cuando se tenga que trabajar en pendientes debe tenerse presente lo siguiente:

- Las fuerzas de inercia son mayores a mayor velocidad; y pueden reducir la estabilidad del tractor.
- Si la superficie del terreno presenta desigualdades, se debe ser más cuidadoso.
- Los accesorios instalados en el tractor como hoja topadora, pluma lateral, cabrestante y cualquier otro equipo cambian de ubicación al centro de gravedad del tractor, afectando al equilibrio.
- Los implementos enganchados en la barra de tiro, tales como arcos para el arrastre de troncos y vagones de dos ruedas, reducen el peso sobre la oruga que está a nivel más alto.
- Una barra de tiro alta es menos estable que la barra de altura estándar.
- Analizar con cuidado la estabilidad y otras características de los implementos accionados por el tractor.
- Los rellenos recientes ceden bajo el peso del tractor, y en los suelos rocosos las cadenas resbalan.
- La oruga del lado más bajo suele clavarse en el suelo aumentando la inclinación del tractor.
- Con zapatas anchas el tractor es más estable.
- La máquina es más estable si se le conduce llevando los accesorios o cargas cerca del suelo. Caterpillar (7)

**Notas:**

- El acápite 1.2 fue extraído de FIAT (11)
- El acápite 1.3 y 1.4 es texto resumido de Caterpillar (6)
- Las siluetas de las máquinas se extrajeron de catálogos que Caterpillar distribuye.

## **II. FUERZA MOTRIZ EN LAS MÁQUINAS PARA ACARREO**

Para proyectar la ejecución de una obra de movimiento de tierras, seleccionar las máquinas apropiadas y estimar la duración y costo; es necesario entender los conceptos y elementos relacionados siguientes:

1. Fuerza motriz disponible (fmd).
2. Fuerza motriz requerida (fmr).
3. Fuerza motriz utilizable (fmu).

Fuerzas que están presentes en el fenómeno de la tracción o empuje de máquinas y equipo de excavación, carguío o transporte.

### **2.1 FUERZA MOTRIZ DISPONIBLE**

Es la fuerza de tracción en la barra de tiro de la máquina, depende directamente de la potencia nominal del motor y es afectada por la transmisión (engranajes, rodajes, embragues y otros). A la potencia del motor se le puede atribuir un valor constante. Está determinada por dos factores: Fuerza y Velocidad ( $\text{Potencia} = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad}$ ). La fuerza de empuje o tracción disponible cambia al cambiar la velocidad.

Las transmisiones de las máquinas de movimiento de tierras suministran combinaciones de velocidad y tracción de acuerdo con los requisitos de diversos trabajos. En la primera marcha se obtiene baja velocidad y alta tracción, mientras que las otras marchas proporcionan mayor velocidad y menos tracción.

### **OPCIÓN DE TRANSMISIONES**

1. Transmisión directa o mecánica
2. Transmisión hidromecánica
3. Transmisión hidrostática

### 2.1.1 Transmisión directa

Es el tipo de transmisión más antigua. Está en todos los vehículos de ruedas y tractores construidos antes de 1970. Se sigue usando en automóviles y camionetas, en maquinaria agrícola, en tractores de oruga para tiro de implementos de labranza, ver figuras 2-1 y 2-2, en motoniveladoras, camiones, buses, automóviles y otras máquinas. Las motoniveladoras modernas llevan embrague de discos múltiples en baño de aceite y caja de engranajes planetarios.

La transmisión directa está formada por: embrague de disco, caja de cambios, diferencial y reducción final. En máquinas con menos de 120 cv se usa embrague monodisco seco. En máquinas grandes se prefiere el embrague multidisco seco o en baño de aceite (embrague húmedo), porque protege a la transmisión de golpes en el instante del acople y porque distribuye el torque transmitido entre cada uno de los discos que conforman el paquete de embrague.

Esta transmisión presenta relación de tren constante, de volante a rueda motriz y para cada una de sus marchas debe satisfacer la ecuación:

$$\text{Potencia a la volante} = \text{Fuerza de tracción} \times \text{Velocidad de avance} \times Et \quad (1)$$

( Et = eficiencia de transmisión );-- (Et ≈ 81 a 87%)

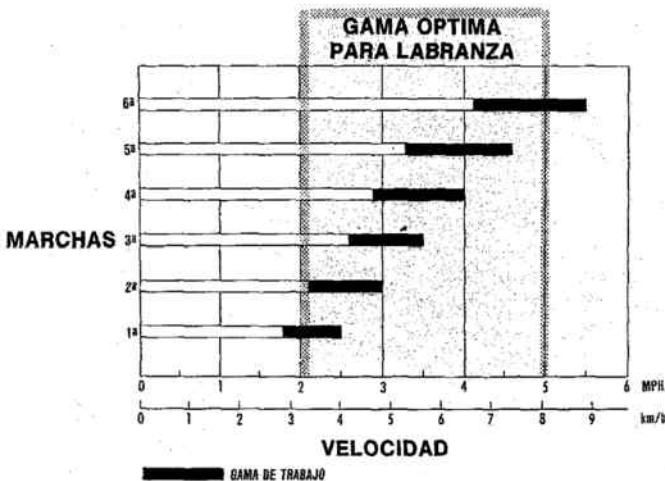


Fig. 2-1 Velocidades (km/h) para cada marcha de un tractor de oruga con transmisión directa