



Maquinaria para la Ejecución de Obras Carreteras

INDICE

Maquinaria para la Ejecución de Obras Carreteras

1. Introducción	3
2. Movimientos de tierra	4
2.1. Los materiales y sus propiedades.	4
2.2. El terreno y sus características.	9
3. Firmes flexibles	20
3.1. Compactación de tierras	22*
3.2. Compactación de Mezclas asfálticas	30*
4. Pavimentos rígidos	33*
4.1. Tipos	33*
4.2. Ventajas y limitaciones	37*

*Contenido Guía Profesional #1: Maquinaria para la ejecución de obras de Carreteras

1. Introducción

Maquinaria para la Ejecución de Obras Carreteras

En esta guía profesional veremos las labores (limpieza y desbroce, excavación, etc.) que debemos llevar a cabo en la construcción de carreteras así como la maquinaria (excavadoras, palas cargadoras, dúmperes, etc.) disponible para realizar estas labores. Ver ejemplo en la fig. 1.

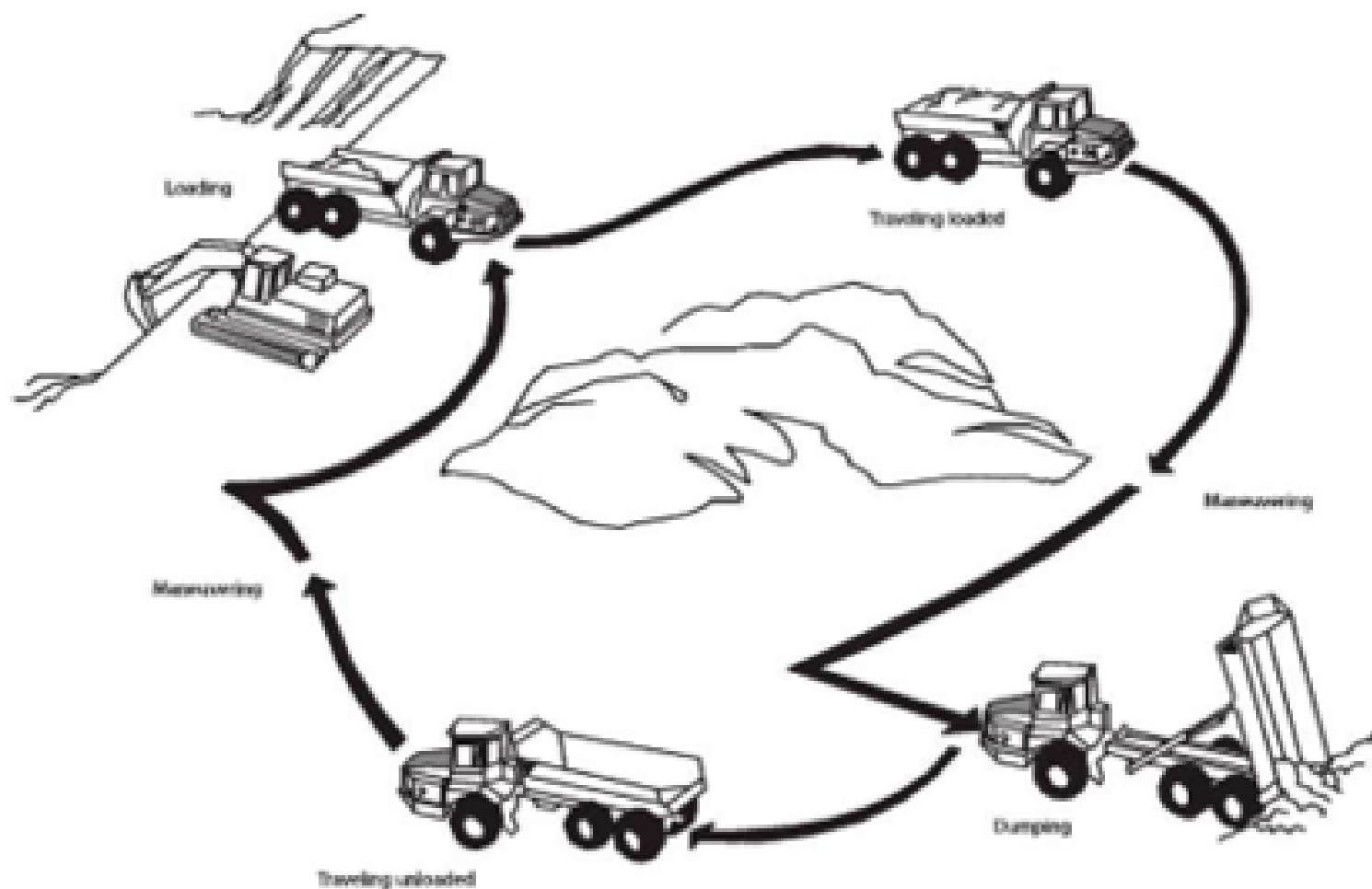


Figura 1. Excavación con excavadoras y dúmperes articulados

Pero antes de entrar en las labores y la maquinaria, resulta conveniente repasar algunas nociones básicas sobre movimiento de tierras, extendido y compactación que nos servirán para determinar qué equipos son los más adecuados en cada situación y la producción que cabe esperar de éstos.

2. Movimiento de tierras

En el movimiento de tierras es fundamental conocer las propiedades más relevantes de los materiales que se manipulará en la excavación, la carga y el transporte. También es importante conocer las características del terreno por el que transitarán la maquinaria y los medios de transporte que realizarán las distintas labores del movimiento de tierras. Estos parámetros, que enumeramos a continuación, definirán la maquinaria y los medios que se deben utilizar.

2.1. Los materiales y sus propiedades

2.1.1. Densidad

Una propiedad fundamental de los materiales, que se debe tener en cuenta en el movimiento de tierras es la densidad.

La densidad es la relación entre el peso de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupa:

$$\text{Densidad} = \text{Peso} / \text{Volumen}$$

Normalmente se expresa en toneladas por metro cúbico (t/m³) o kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

La densidad de un material varía según se encuentre en su estado natural (densidad en banco), suelto del banco natural (densidad suelta) o compactado.

Cuando una cantidad de material es separada del banco natural donde se encuentra, ésta se expande aumentando su volumen. Este incremento de volumen se llama esponjamiento. La relación entre el volumen de una cantidad de material suelto y el volumen de esa misma cantidad de material en banco se denomina **factor de esponjamiento**.

$$\text{Factor de esponjamiento} = \text{volumen suelto} / \text{volumen en banco}$$

En la fig. 2 se aprecia como varía la densidad de una determinada cantidad de material (peso fijo) cuando pasa de su condición natural en banco a suelto y a compactado. De banco a suelto se incrementa el volumen y por tanto disminuye la densidad. De suelto a compactado se vuelve a reducir el volumen y por tanto incrementa la densidad de nuevo.

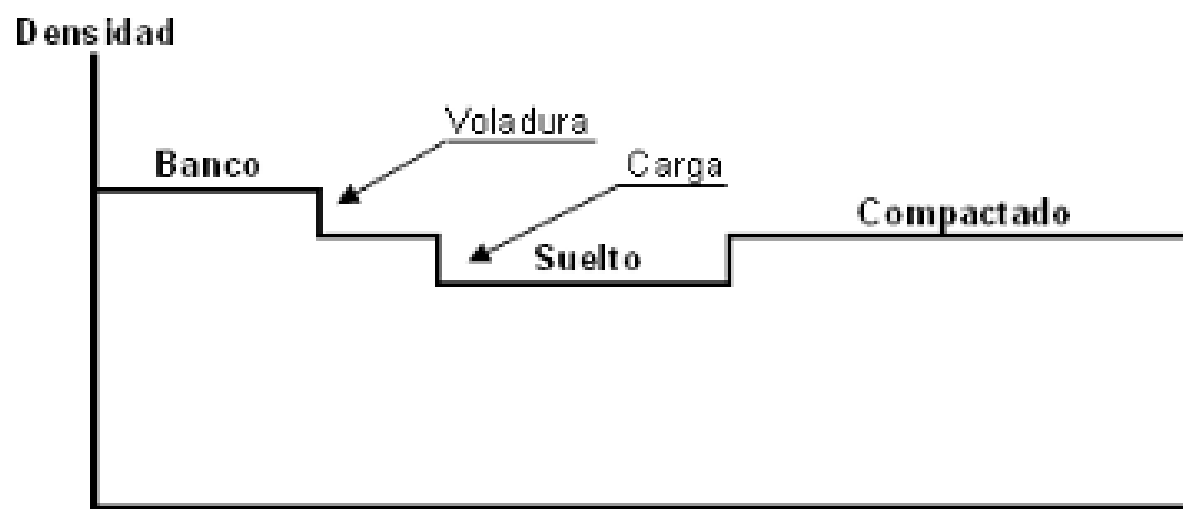


Figura 2. Variación de la densidad

La densidad y el esponjamiento varían en función del tamaño del grano del material y de su contenido de humedad. Para saber con exactitud la densidad y esponjamiento de un materiales preciso hacer mediciones in situ, pero existen tablas como la de la fig. 3 que nos dan estimaciones para diferentes tipos demateriales.

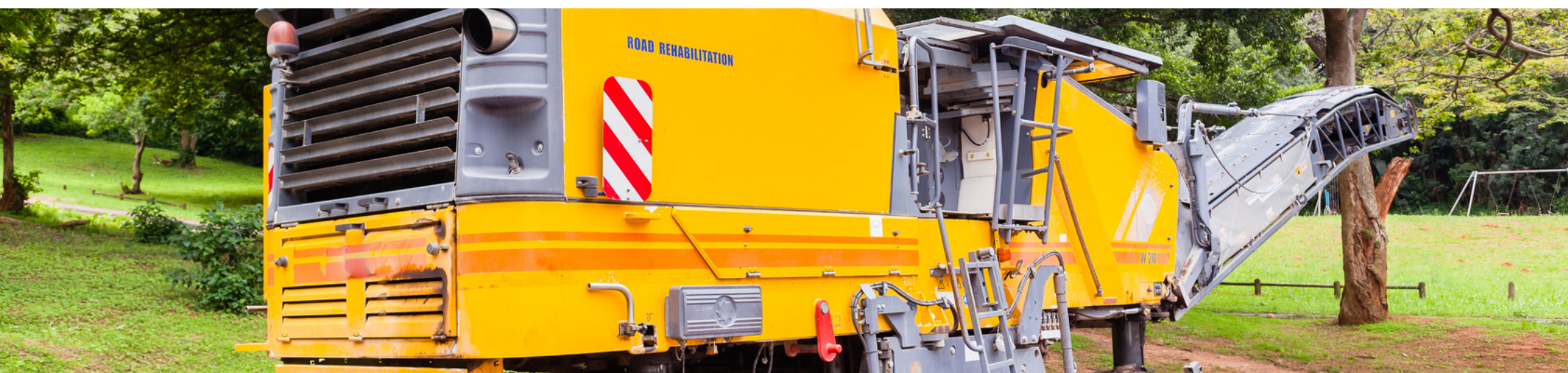


Material	Volumen solido kg/m ³	Volumen suelto kg/m ³	Factor de esponjamiento
Arcilla			
seca	1640	1170	1.4
húmeda	2100	1500	1.4
seca con grava	1660	1424	1.2
húmeda con grava	1840	1660	1.2
compacta	2017	1660	1.2
Tierra			
seca	1100	960	1.2
húmeda	2100	1680	1.3
mezclada con arena/grava	1660	1420	1.2
pedregosa (25% piedras)	1960	1570	1.3
Arena			
seca	1600	1420	1.1
húmeda	2070	1840	1.1
seca con grava	1930	1720	1.1
húmeda con grava	2230	2020	1.1
Grava			
seca	1470	1330	1.1
húmeda	2340	2130	1.1
Rocas y minerales			
granito	2970	1980	1.5
pedra caliza	2640	1590	1.7
arenisca	2400	1440	1.7
pedra triturada	2670	1620	1.7
yaso	2580	1980	1.3
Minerales			
mineral de hierro	2760	2340	1.2
mineral de cobre	2600	2200	1.2
mineral de zinc	3000	2500	1.2
Otros materiales			
escoria	1700	1020	1.7
cemento	1540	1400	1.1

Figura 3. Densidad en banco y suelta de varios materiales

A la hora de seleccionar el equipo de carga y/o transporte en función de la densidad del material, se usa como referencia la densidad suelta.

Como ya veremos en el módulo correspondiente, este dato es imprescindible a la hora de decidir, por ejemplo, el tamaño que debe tener la cuchara de una determinada pala cargadora en función del material a cargar o el número de paladas que podemos descargar sobre un dúmper antes de sobrepasar su carga máxima.



2.1.2. Clase de excavación

La segunda propiedad que se debe tener en cuenta es la clase de excavación del material. Según su clase de excavación, un material puede ofrecer una mayor o menor resistencia a ser excavado y por tanto requerirá la aplicación de una mayor o menor fuerza de arranque y tiempo para romperlo y hacerlo adecuado para su carga.

En la fig. 4 se aprecia una clasificación de las clases de excavación propuesta por un fabricante de referencia. Los materiales de clase 1 ofrecen poca resistencia, pudiendo ser excavados directamente con **palas cargadoras** o incluso **retrocargadoras**.

Los materiales de clase 5 por el contrario ofrecen una gran resistencia y para poder excavarlos tendrán que ser previamente ripados (desgarrados) con motoniveladoras o buldózeres o incluso requerirán de voladura.

Clase	Capacidad para excavar	Ejemplos de materiales
1	Fácil	Barro, tierra blanda, arena con grava
2	Media	Tierra compacta, arcilla dura, grava Menos del 25% piedras
3	Media a dura	Suelo apretado, grava pétreo con hasta un 50% de piedras
4	Dura	Sedimentos de grava apretada, desde grava hasta suelo apretado con hasta un 75% de piedras y cantos rodados
5	Muy dura	Grava densa, roca fragmentada, piedra caliza, caliche, pizarra

Figura 4. Clases de excavación de los materiales

2.1.3. Factor de llenado

Por último hay que considerar el factor de llenado. Este ratio característico de los materiales indica como un determinado material colma la cuchara / cazo de una pala cargadora o una excavadora hidráulica.

Las capacidades de las cucharas / cazos de palas y excavadoras por norma general se especifican por los fabricantes según la norma SAE con colmo (heaped). Esto significa que se tiene en cuenta de antemano que el material va a formar un colmo al ser cargado aumentando

así la capacidad al ras (struck) de la cuchara / cazo. En el caso de las palas se considera un colmo de pendiente 2:1 y en el caso de las excavadoras algo más, 1:1 según se ve en la fig. 5.

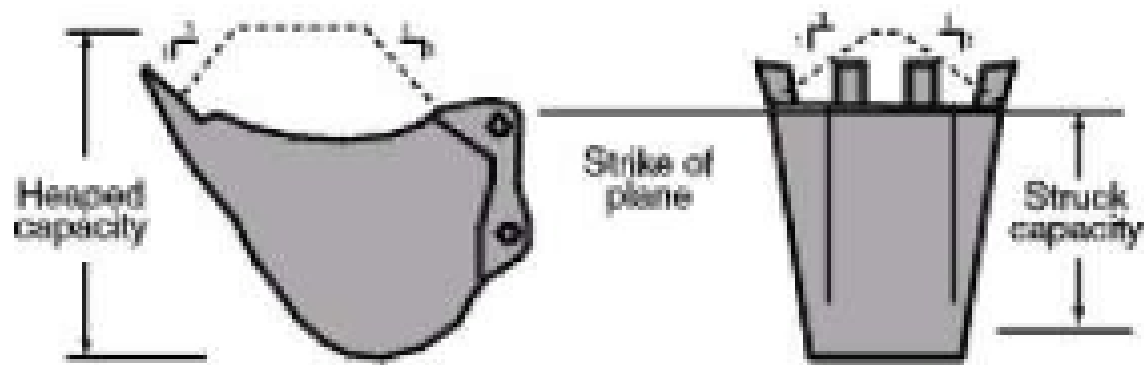


Figura 5. Capacidad cazos /cucharas al ras y con colmo

El factor de llenado del material "corrige" la capacidad indicada por los fabricantes de maquinaria al alza o a la baja según colme más o menos de lo previsto. Así la capacidad real con colmo de una cuchara/cazo se obtiene multiplicando la capacidad SAE con colmo indicada por el fabricante por el factor de llenado del material en cuestión.

Capacidad real = capacidad SAE x factor de llenado

El factor de llenado del material "corrige" la capacidad indicada por los fabricantes de maquinaria al alza o a la baja según colme más o menos de lo previsto. Así la capacidad real con colmo de una cuchara/cazo se obtiene multiplicando la capacidad SAE con colmo indicada por el fabricante por el factor de llenado del material en cuestión.



2.2. El terreno y sus características

El terreno tiene unas determinadas características que delimitan el tipo de máquina más adecuada para realizar el transporte del material una vez hemos realizado su excavación. Estas características van a establecer la velocidad a la que puede moverse el equipo de transporte y por tanto van a afectar a la producción.

2.2.1. Resistencia

La resistencia a la rodadura (R_r) es la fuerza que un determinado terreno ejerce sobre la máquina en sentido contrario a su avance. Ésta varía en función del material del que esté compuesto el citado terreno, su estado de conservación, su contenido de agua, etc.

La resistencia a la rodadura (R_r) se puede calcular por medio de un ratio, el Coeficiente de rodadura, aplicado sobre el peso total (P_t) de la máquina.

$$R_r \text{ (kgf)} = P_t \text{ (kg)} \times C_r \text{ (\%)}$$

En la Tabla 1 se ofrecen los coeficientes de rodadura (C_r) para distintos tipos de superficie.

Tipo de superficie	Coeficiente de rodadura, C_r (%)	Coeficiente de tracción, C_t
Hormigón, seco	2	0,8 – 1,0
Asfalto, seco	2	0,7 – 0,9
Macadam	3	0,5 – 0,7
Camino de grava, compactado	3	0,5 – 0,7
Camino de tierra, compactado	3	0,4 – 0,6
Camino de tierra, firme y algo marcado	5	0,3 – 0,6
Tierra labrada, firme y seca	6	0,6 – 0,8
Tierra de relleno, blanda	8	0,4 – 0,5
Tierra labrada, suelta y seca	12	0,4 – 0,5
Pastos, bancos de siembra	12 – 15	0,6 – 0,7
Arena o grava suelta	15 – 30	0,2 – 0,4
Camino de tierra, poroso muy marcado	16	0,1 – 0,2
Tierra labrada, mojada y pegajosa	10 – 20	0,1 – 0,4
Arcilla suelta, mojada	35	0,1 – 0,2
Hielo	2	0,1 – 0,2

Tabla 1. Coeficientes de resistencia a la rodadura y de tracción

Si además el terreno no es horizontal y presenta pendientes, intervienen otras fuerzas, pues una parte del peso de la máquina contribuye a frenarla o a empujarla por acción de la gravedad. Es la resistencia de gradiente (Rg) que resulta positiva cuando la pendiente es ascendente - aumenta la resistencia - y negativa cuando la pendiente es descendente - disminuye la resistencia -.

La resistencia de gradiente (Rg) es la componente paralela al terreno del peso total (Pt) de la máquina y se puede representar como un tanto por ciento de este peso. Este tanto por ciento es función del ángulo de la pendiente o gradiente (g).

$$Rg(\text{kgf}) = Pt (\text{kg}) \times g (\%)$$

El vector o flecha blanca de la fig. 6 representa la componente horizontal del peso y por tanto la resistencia a la gradiente (Rg) en el caso de un dúmper ascendiendo por una pendiente.

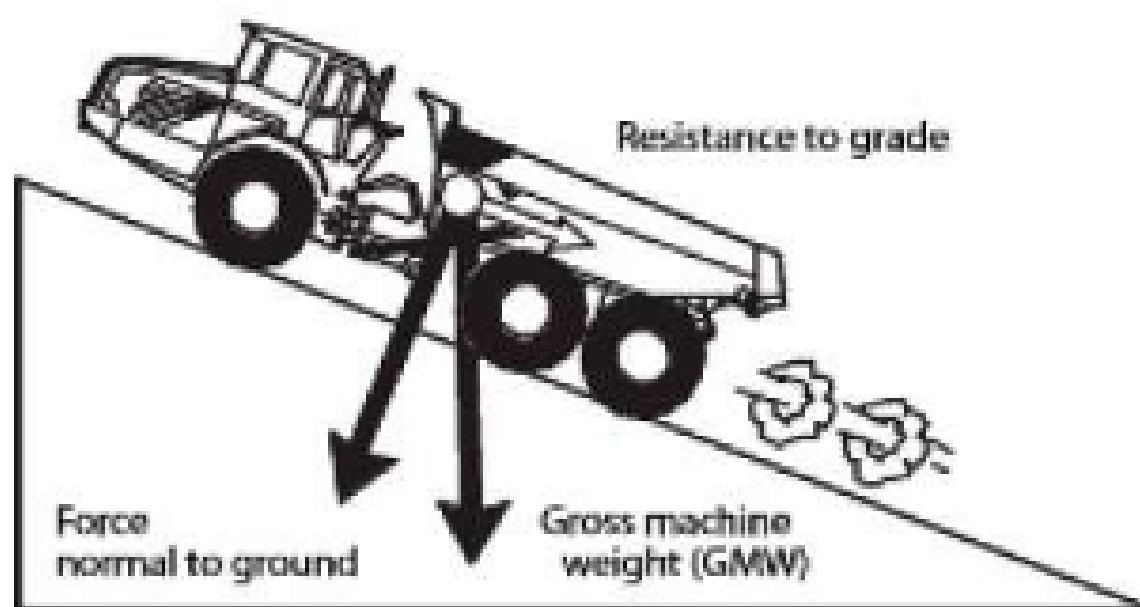


Figura 6. Resistencia de gradiente

La resistencia total (Rt) del terreno será la suma de las dos resistencias mencionadas

$$Rt = Rr + Rg \quad \text{o} \quad Rt = Pt \times (Cr + g)$$

En contraposición, el terreno también ofrece la fuerza de tracción necesaria a una máquina para que ésta pueda transmitir su fuerza al mismo y así desplazarse.

La tracción (T) o empuje máximo teórico de una máquina es siempre una fracción de la componente normal al terreno del peso y se puede calcular usando los coeficientes de tracción de la Tabla I como sigue.

$$T(\text{kgf}) = Pt (\text{kg}) \times Ct$$

Es evidente que para que una máquina pueda desplazarse por un determinado terreno, su fuerza de tracción debe superar la resistencia total del terreno.

$$T \geq R_t$$

En el caso de la resistencia a la rodadura —y en el de gradiente— los coeficientes se aplican sobre el total del peso del vehículo. Pero en el caso del coeficiente de tracción, este sólo se aplica sobre la parte (peso) de la máquina que tiene tracción.

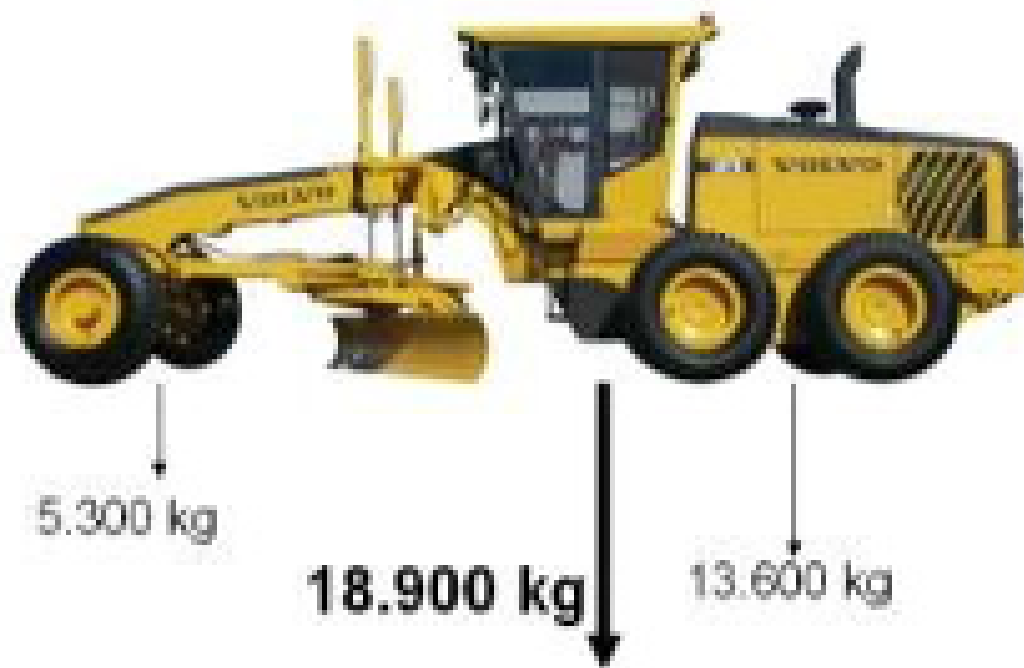


Figura 7. Ejemplo para el cálculo de tracción y resistencia

Ejemplo (fig. 7): Una motoniveladora de tracción sólo al tandem trasero tiene un peso total de 18.900 kg (5.300 kg sobre el eje delantero y 13.600 kg sobre el tandem trasero). Si el terreno sobre el que está trabajando es un camino de tierra compactada llano, ¿cuál será la resistencia total que ofrece el terreno y cuál la tracción o empuje máximo que puede realizar la motoniveladora? ¿Y si la motoniveladora fuera de tracción total? Usar datos de la tabla de la fig. 4.



1. Motoniveladora con tracción tandem:

a. $R_t = P_t \times (C_r + g) = 18.900 \text{ kg} \times (3\%+0\%) = 567 \text{ kgf}$

b. $T = P \text{ tandem} \times C_t = 13.600\text{kg} \times 0,5 = 6.800 \text{ kgf}$

2. Motoniveladora de tracción total: La resistencia total no varía.

a. $R_t = P_t \times (C_r + g) \% = 18.900 \text{ kg} \times (3\%+0\%) = 567 \text{ kgf}$

Pero la tracción sí, ya que las ruedas delanteras también traccionan en este caso.

$$T = (P \text{ tandem} + P \text{ delantero}) \times C_t$$

$$= (13.600 + 5.300) \text{ kg} \times 0,5 = 9.450\text{kgf} \quad 39\% \text{ más empuje}$$

Es evidente que en terrenos con poca tracción y/o que ofrezcan una gran resistencia (rodadura / gradiente), resulta beneficioso contar con máquinas de tracción total que nos permitan conseguir el máximo empuje y así superar la resistencia del terreno y sus pendientes.

2.2.2. Capacidad portante

Otra característica del terreno a tener en cuenta es su capacidad portante o lo que es lo mismo, la presión que puede soportar antes de hundirse.

La presión sobre el terreno que ejercen las máquinas varía en función de su peso y la superficie de contacto con el mismo.

El cuadro de la fig. 8, elaborado por un fabricante de referencia, nos indica qué máquina es la más adecuada según la capacidad portante del terreno.

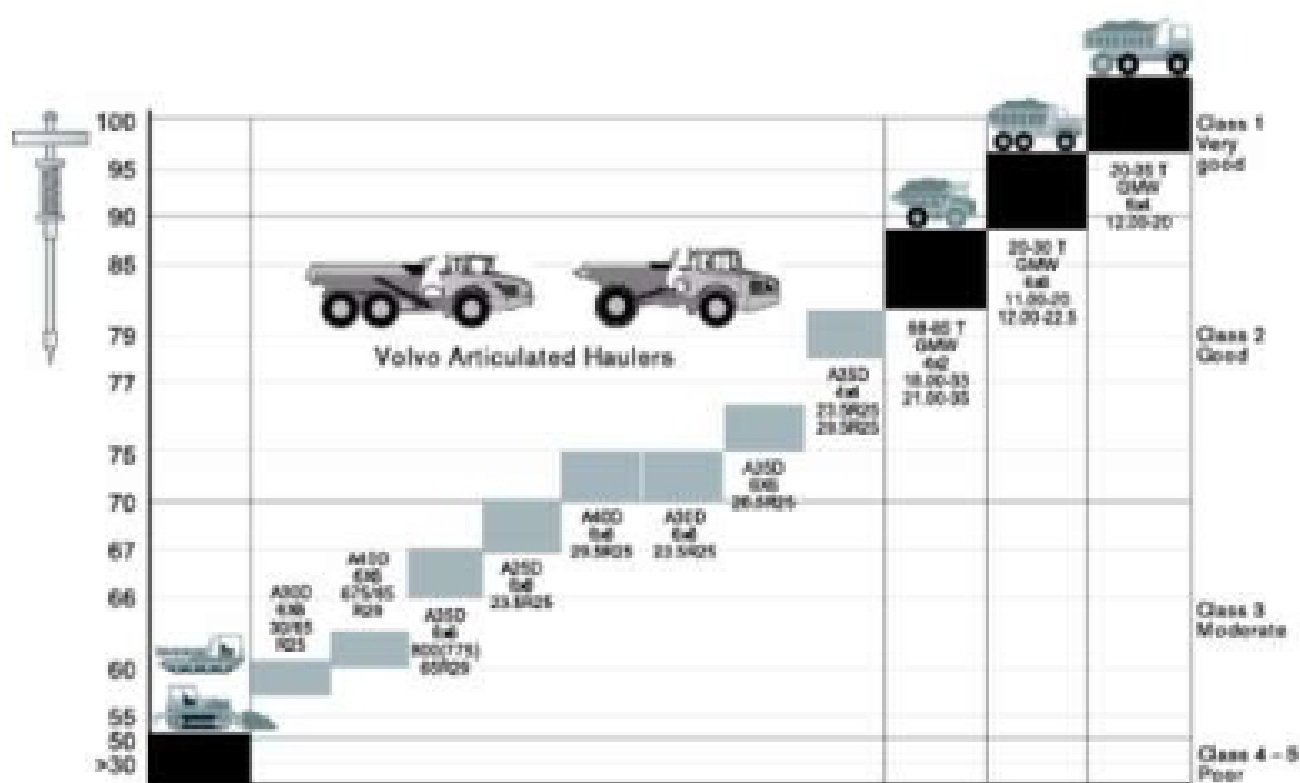


Figura 8. Mínima capacidad portante del terreno

En el eje de abscisas izquierdo viene reflejado el índice de penetración (I_p) del terreno. Este índice se obtiene con un penetrómetro (ilustrado en la fig. 8) y sus valores varían desde < 30 hasta 100. Según el valor de este índice, los terrenos se pueden clasificar desde la clase 1 ($I_p > 90$) hasta la clase 5 ($I_p < 30$).

La clase 5 corresponde a terrenos muy deficientes que ofrecen muy poca capacidad portante y por los cuales sólo pueden transitar máquinas como buldózers para pantanos con cadenas muy anchas y de un diseño especial que disminuyen considerablemente su presión sobre el terreno.

Por el contrario, los correspondientes a la clase 1 son terrenos muy buenos con gran capacidad portante. Son los terrenos que necesita, por ejemplo, un camión con tracción a dos ejes.

Entre medias tenemos la clase 3 ($50 < I_p < 70$). Son terrenos de capacidad portante moderada por los cuales se desenvuelven sin problemas los dúmperes articulados.



3. FIRMES FLEXIBLES

Los firmes flexibles en carretera son los asfálticos. La estructura de una carretera de asfalto se compone de cuatro capas superpuestas:

- la explanada mejorada, suelo original con ligante (cemento o cal) y agua, modificado durante la fase del movimiento de tierras,
- la sub-base, compuesta de áridos, cemento y agua,
- la base, compuesta de áridos seleccionados y betún, y
- el firme final o capa de rodadura compuesta de áridos seleccionados y betún (mezcla asfáltica o aglomerado).

Cada una de estas capas tiene una función principal según se indica en la fig. 9.

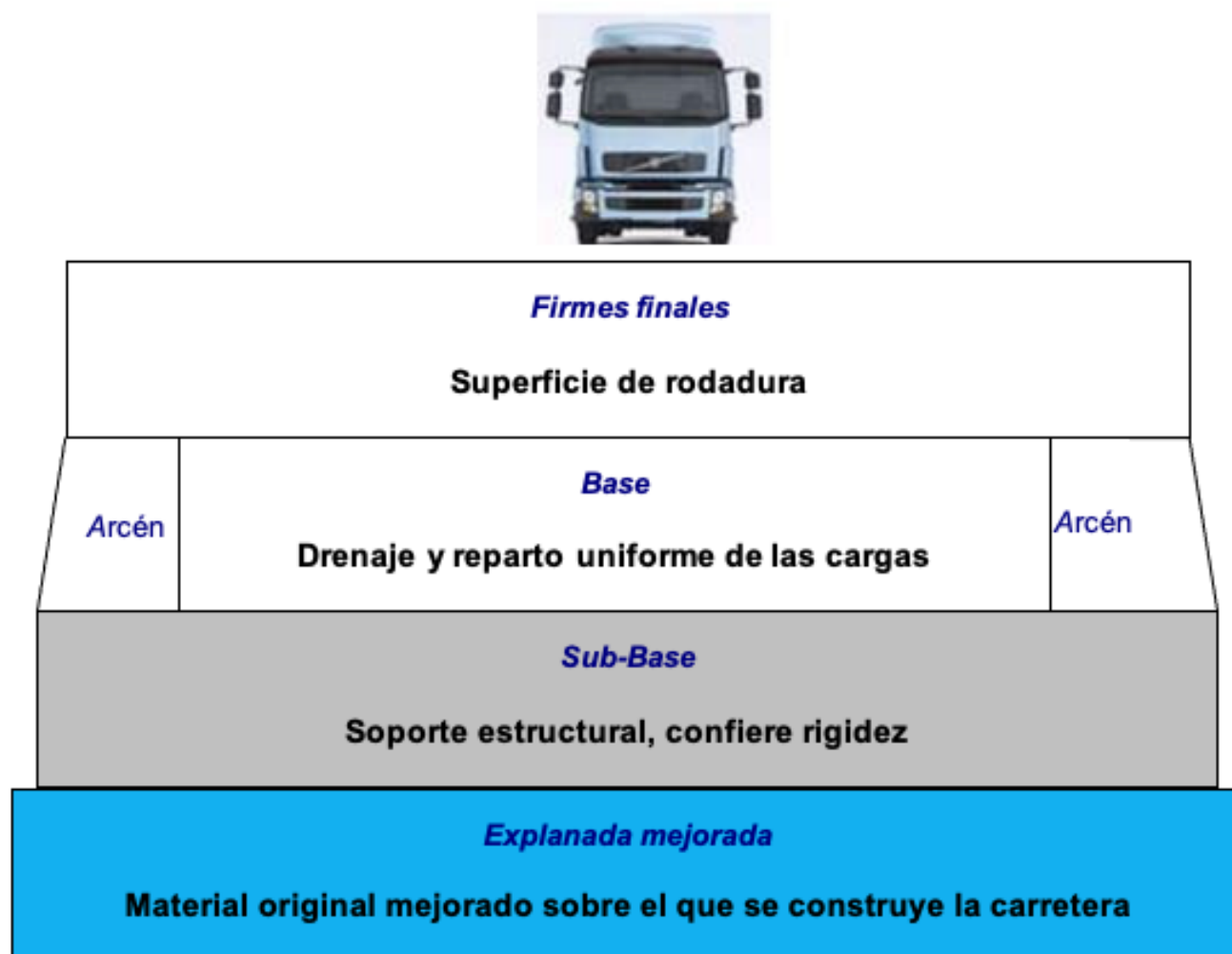


Figura 9. Estructura de una carretera de asfalto

Cada una de las capas está formada por los materiales citados con un determinado acabado. Las capas inferiores precisan una compactación y material que confiera cierta rigidez para repartir al terreno la carga. Las capas superiores deben ser de un material que confiera flexibilidad para absorber la variación de las cargas y porosidad para drenar el agua. La capa de rodadura debe tener una superficie uniforme con los parámetros para una rodadura óptima.

La idoneidad de los materiales se encargará en las plantas de machaqueo (áridos) y plantas asfálticas (aglomerados), pero para alcanzar la densidad requerida en obra, debemos contar con distintos tipos de maquinaria que durante el extendido y la compactación se encargarán de eliminarlos huecos de aire y el exceso de agua.

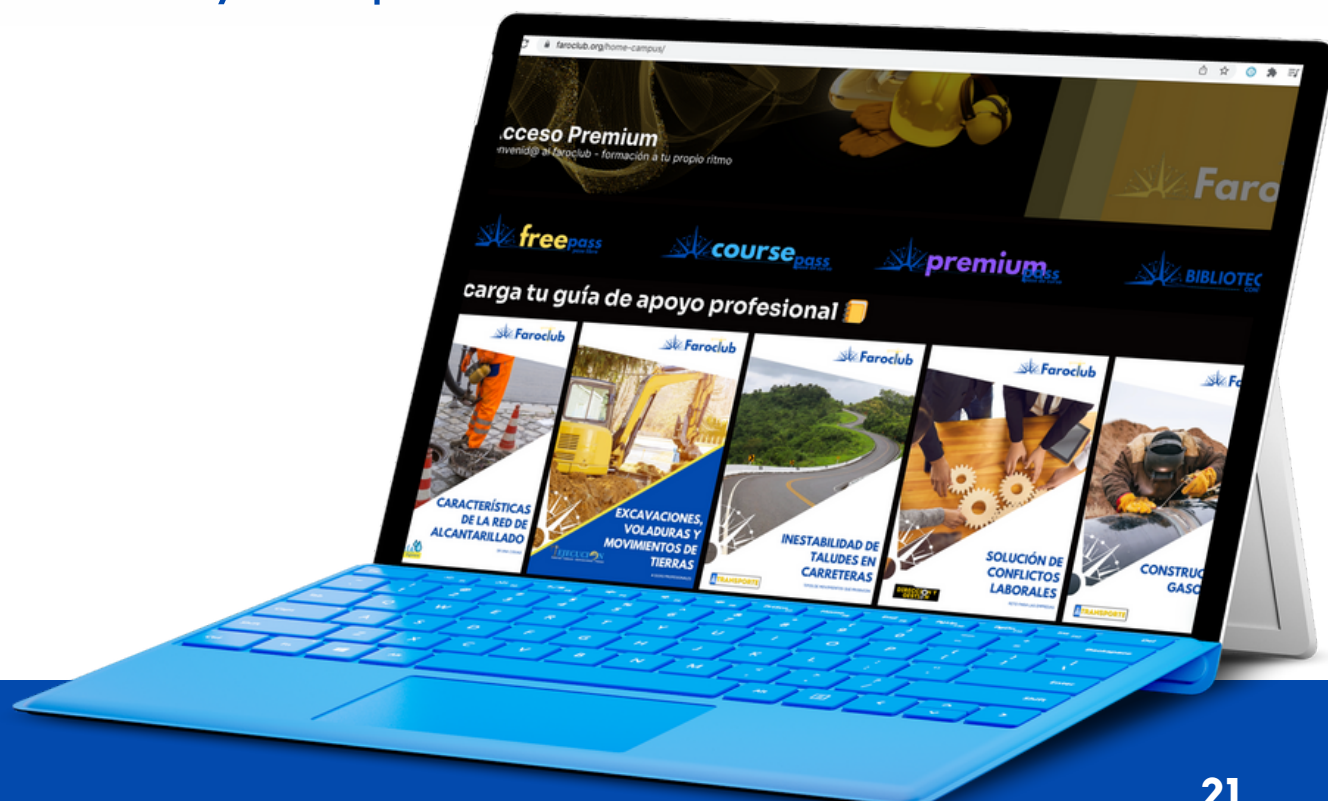
En la fig.10 se indican las máquinas comúnmente empleadas en la compactación y extendido según las capas.

¿Deseas seguir especializándote en el tema?

PRUEBA NUESTRO CONTENIDO PROFESIONAL DESCARGABLE

Guías Profesionales: Maquinaria para la Ejecución de Obras Carreteras (Pack 1)

1. Guía #1: Nociones Básicas sobre movimiento de tierras, extendido y compactación
2. Guía #2: Limpieza y Desbroce
3. Guía #3: Excavación, desmonte y terraplanado





faroclub.org

