

cas que se maneja desde el pescante, se aplican á las llantas, oprimiéndolas lo que convenga. Por último, el freno más poderoso es la *plancha*, placa de hierro que se coloca debajo de una de las ruedas, y que convierte por completo la rodadura en resbalamiento: este sistema tiene el inconveniente de que no permite la aplicación gradual como los anteriores; así es que sólo se utiliza para la bajada de pendientes de inclinación excepcional.

CAPÍTULO II.

MOTORES.

Motores que se emplean y modo de disponer el tiro.—Los animales que se emplean en la tracción de vehículos varían con las localidades. En España se usan bueyes para las carretas, y caballerías mayores y menores, esto es, caballos, mulas y asnos, para los demás carruajes.

Cuando se dispone el tiro con una sola caballería, se la coloca entre las varas: si son dos los motores, cada uno de ellos va de un lado de la lanza. Esta última disposición se adopta casi universalmente en las carretas, pues no hay costumbre de utilizar la fuerza de los bueyes más que por yuntas: estos animales ejercen su acción con la cabeza, unciéndolos á una pieza corta de madera ó *yugo*, perpendicular á la lanza en su extremo. Las caballerías mayores y menores tiran indistintamente de vehículos de lanza ó de limonera, desarrollan el esfuerzo de tracción con los músculos del pecho y llevan la cabeza libre, verificándose el enganche por intermedio de guarniciones de correas ó cuerdas, en cuya descripción no hay para qué entrar, bastando saber que se disponen de modo que molesten lo menos posible á los animales, y que permitan el mayor aprovechamiento del esfuerzo.

Cuando el peso de la carga lo requiere, se aumenta el tiro. En las carretas, por lo general, no se emplea más que una yunta; pero cuando es indispensable, se colocan otra ú otras delante de la primera. En los vehículos tirados por caballerías, las disposiciones son muy variadas. En los carruajes de varas pueden colocarse las caballerías una en pos de otra, constituyendo lo que se

llama *realta*, que es el sistema menos á propósito para utilizar su fuerza, pero que lo impone á menudo la estrechez de los caminos naturales; otras veces se coloca una caballería en bolea á cada lado de la que va en varas, y si se necesita aún mayor tiro, se enganchan delante dos ó tres más, como se ha practicado siempre en las diligencias francesas y se usa ya mucho en España. Si el vehículo es de lanza, se acostumbra disponer los motores pareados, aunque á menudo no va delante más que una caballería. Aparte de los enganches señalados, que son los comunes, hay otros muchos que sería prolijo reseñar: bastará decir que en vehículos de varas se ponen algunas veces los motores pareados ó en troncos.

Se dará ligera idea de las circunstancias que más influyen en el trabajo desarrollado por los motores, que son: 1.º, su peso; 2.º, la carga que arrastran; 3.º, la velocidad de marcha, y 4.º, el esfuerzo medio que de ellos puede exigirse. Las observaciones se referirán á los caballos y mulas, por ser los más usados: en nuestro país ofrecen mucho mayor interés las últimas; pero los estudios hechos en el extranjero versan casi exclusivamente sobre caballos, á causa de estar muy poco generalizados los tiros de mulas.

Peso de los motores.—Así como la alzada de los caballos oscila entre un metro y 1^m,80, el peso varía también entre límites bastante separados: 300 y 600 kilogramos. Del censo de la circulación efectuado en Francia en 1888, han resultado los pesos medios de 523 kilogramos para los caballos de carruajes de carga, de 462 para los de diligencias y ómnibus y de 428 para los de coches particulares.

El peso de las mulas usadas en la tracción de vehículos pesados en España está sujeto todavía á mayores divergencias: de las observaciones recogidas se desprende que se halla comprendido entre 150 y 575 kilogramos, aun cuando lo más común es que varíe de 200 á 350, excepto las mulas destinadas al arrastre de piezas de artillería, que suelen pesar de 400 á 500 kilogramos (1).

(1) Estos datos y los que más adelante se estampan relativos á mulas, están tomados de las noticias suministradas por oficiales de Artillería, por Ingenieros de las provincias de Cáceres, Córdoba, Coruña, Cuenca, Mála-

Cargas que pueden arrastrar.—Las cargas que arrastran los motores dependen principalmente de la naturaleza y número de éstos, de la superficie y perfil longitudinal del camino y de la manera de verificar el enganche.

La observación ha demostrado que el esfuerzo utilizable disminuye con bastante rapidez, á medida que aumenta el número de motores que constituyen el tiro. Según Durand-Claye, si en un tiro compuesto de uno ó dos caballos se representa por 1 el peso arrastrado por cada uno, redúcese sucesivamente á 0,91, 0,89 y 0,76 cuando en la tracción se aprovechan tres, cuatro ó cinco caballerías. Y es de advertir que sin duda supone aquel Ingeniero que éstas se dispongan en filas de dos ó tres, pues las reatas determinan disminuciones más acentuadas. En España puede admitirse, como término medio, que la carga individual se reduce, en reatas que pasen de cinco mulas, á poco más de la mitad de lo que correspondería á cada animal si tirase aisladamente. Sin embargo, con ganado muy escogido, excelentes guarniciones y bien guiado, se aminora bastante la pérdida: así, en los carros catalanes de la artillería de sitio, tirados por seis mulas en reata, se calcula que cada una produce una pérdida de 100 kilogramos de peso arrastrado, con relación á la que va detrás; de modo que, apreciándose en 900 kilogramos la carga para la mula de varas, la total no pasa nunca de 3.900, resultando, por tanto, una pérdida de 28 por 100 (1). El sistema de enganche ejerce también influencia marcada: si en el mismo caso que acaba de considerarse se dispusiesen las seis mulas pareadas, podrían arrastrar hasta 4.800 kilogramos, perdiéndose sólo 11 por 100. Sea como fuere, el menor aprovechamiento de la fuerza, á medida que aumentan los motores, no es difícil de explicar. En primer término, cuando los animales van colocados en varias filas, tienen que vencer, no sólo las resistencias á la rodadura, sino las que oponen las guarniciones que sirven de enlace; en segundo, los motores no tiran en la misma dirección, y sus esfuerzos se destruyen parcialmente, lo que se manifiesta sobre todo en las

ga, Murcia y Toledo, y por los Jefes de Sección del ferrocarril en construcción de Plasencia á Astorga.

(1) Guáu, *Prontuario de Artillería*.

reatas y en las alineaciones curvas de pequeño radio; por último, la vigilancia del mayoral ó carretero no puede ser tan activa cuando ha de repartir su atención entre varios animales á la vez.

Partiendo de estos hechos, ocurre la duda de si convendría proscribir para el transporte vehículos que exigiesen para su arrastre más de un motor, con la sola excepción del acarreo de pesos grandes é indivisibles. Muy lejos de eso: aunque se utilice peor el esfuerzo individual, los carruajes tirados por varios animales presentan, dentro de ciertos límites (que las leyes francesas fijan en ocho caballos y cinco filas, como máximo), irrecusables ventajas. Se comprenderá con sólo fijarse en que lo que se ha dicho se refiere al peso bruto transportado, y lo que en la industria conviene tener en cuenta es el peso útil, ó carga propiamente dicha, que crece con bastante más rapidez que el peso muerto, ó sea el del vehículo. Aparte de esta consideración, no deja de influir también en la economía que se obtiene con los grandes tiros, los menores gastos de adquisición y conservación de vehículos y de jornales de conductores, referidos, por supuesto, á un mismo peso transportado. Á pesar de todo, no hay necesidad de decir que los carros de una caballería encuentran excelente aplicación en multitud de casos.

Además de las circunstancias indicadas, en la carga total arrastrada por caminos bien conservados influyen los pesos de los motores y la inclinación y longitud de las rasantes. Los términos medios que han resultado en Francia del censo de 1888 son los siguientes:

NATURALEZA DE VEHÍCULOS.	Peso medio de cada caballo. — Kilogramos.	Carga por caballo. — Kilogramos.
Para transporte de mercancías (cargados)..	523	1.482
Diligencias y ómnibus.....	462	949
Coches particulares.....	428	493

Como se ve, llamando p al peso del caballo, los números de la última columna son aproximadamente $3p$, $2p$ y p .

En España, considerando tan sólo la tracción en galeras, carros y volquetes, cabe establecer que las cargas por cada mula varían entre vez y media y cuatro veces el peso de aquélla, correspondiendo el máximo á tiros de una ó dos caballerías y á caminos cuyas pendientes no rebasen el 3 por 100, y el mínimo á reatas de más de cinco motores, que tengan que salvar las cuestas ordinarias en carreteras. Como término medio general, la carga por motor viene á ser doble del peso de éste, regla usada también por el Cuerpo de Artillería. En suma, á igualdad de peso del tiro, la carga en España es menor en $\frac{1}{3}$ que la que resulta en Francia, lo que se debe, no á que las mulas sean menos á propósito que los caballos, sino á que en nuestro país se usan mucho más las reatas, y á que las carreteras, por razones que no son de este lugar, pero que se especificarán más adelante, no están conservadas con la perfección que las francesas.

Velocidades y duración de la marcha.—Las caballerías pueden marchar á tres *aires*: *paso*, *trote* y *galope*; mas las velocidades correspondientes dependen, no sólo de la clase á que pertenece el animal, sino de las condiciones del individuo y de las resistencias que tenga que vencer; así es que presentan diferencias notabilísimas. Aun no considerando más que los caballos, las velocidades varían entre 0^m,40 y 1^m,80 por segundo para el aire de paso; de 2 á 5 metros para el de trote, y con el de galope llegan á 15 y 16.

Para el transporte de mercancías se marcha siempre al paso; para el de personas y correspondencia se va generalmente al trote, y en ciertos casos á galope, reservando el paso para la subida de rampas algo acentuadas ó largas.

La duración de la marcha diaria depende de la velocidad y del esfuerzo que ha de desarrollar el motor. Un caballo al paso, con carga proporcionada y velocidad que varíe de 0^m,80 á un metro por segundo, puede trabajar diez horas diarias, con tal que se intercalen uno ó dos descansos. Los caballos de diligencias suelen trabajar tres horas por día, en dos períodos iguales, sepa-

rados por un largo descanso, con velocidad que oscila entre 8 y 12 kilómetros por hora ($2^m,22$ á $3^m,33$ por segundo). Un caballo á galope tendido no puede marchar arriba de media hora ó tres cuartos de hora. Los caballos de carrera, que salvan un kilómetro en un minuto, no resisten más de cuatro ó cinco minutos.

Á las mulas empleadas en tracción pueden aplicarse casi los mismos números que á los caballos. Cuando tiran de vehículos cargados y van al paso, trabajan sin dificultad diez horas diarias, y recorren en cada una de 3 á 4 kilómetros, ó sea de $0^m,83$ á $1^m,11$ por segundo.

Esfuerzo desarrollado (1).—El caballo, considerado como motor, es una máquina susceptible de transformar parte de su esfuerzo en trabajo útil, y que conserva por largo período esta facultad, siempre que esté bien alimentado, que se le den los descansos necesarios y que funcione en buenas condiciones. La potencia absoluta de esta máquina no se ha determinado; pero parece que puede admitirse que es proporcional á su peso, y que su valor aproximado es, como luego se verá, de un número de kilogramos diarios igual al producto del peso del caballo por 10.000.

El trabajo útil es más fácil de conocer, pues si E mide el esfuerzo en un momento dado, v la velocidad y t el tiempo, considerado como variable independiente, el trabajo elemental será $Evd t$, y el trabajo diario, relativo á una duración T , $\int_0^T Evd t$. En el caso de ser constantes la velocidad y el esfuerzo, claro es que el trabajo diario será $E v T$.

Se representará el rendimiento diario del caballo por Dp , siendo p el peso del animal, pues que debe ser, lo mismo que la potencia absoluta, proporcional á esta última cantidad. Este valor es susceptible de un máximo, correspondiente al mejor modo de utilizar la máquina viva; en efecto, cuando el esfuerzo es excesivo ó cuando se exageran la velocidad ó la duración del trabajo, los otros dos factores del producto $E v T$ bajan considerablemente, y el

(1) Casi todo lo que se dice en este párrafo se ha tomado de la obra de Durand-Claye.

rendimiento disminuye con rapidez. Para un motor determinado y una clase de trabajo determinada también, existen valores respectivos de E , de v y de T que hacen máximo el producto, y de los cuales no cabe separarse mucho, sin que decaiga el trabajo útil.

Se han hecho repetidos experimentos acerca de este particular; pero la mayor parte de los autores han omitido al publicar los resultados un elemento tan esencial como el peso del caballo, de suerte que han llegado á consecuencias completamente contradictorias en apariencia. La manera más sencilla y exacta de hacer los experimentos en el caso general, cuando no son constantes el esfuerzo ni la velocidad, es disponer entre el motor y el vehículo de que tira ó la máquina en que actúa, un dinamómetro de Morin, cuyo muelle lleva, como es sabido, un estilo ó punzón en contacto con una hoja de papel, que se desarrolla con velocidad proporcional á la del motor, mientras que la flexión del resorte mide la tracción: de este modo el área de la curva que queda marcada en el papel tiene el mismo valor que

$$\int_0^T E v dt, \text{ y representa, por tanto, el trabajo.}$$

Augusto de Gasparin es el que ha practicado experimentos más completos (1), cuidando de consignar el peso de los caballos. En el cuadro siguiente se especifican los datos relativos á algunas de sus observaciones:

Vehículos ó máquinas en que actuaban los caballos.	Esfuerzo de tracción E . — Kilogramos.	Distancia recorrida en un día. — Kilómetros.	Trabajo diario $Dp = EvT$. — Kilográmetros.	Peso de los caballos p . — Kilogramos.	Trabajo diario específico D .
Arado.....	98	16,2	1.620.000	320	5.063
Arado.....	53	34,2	1.832.000	340	5.389
Carreta.....	45	42,8	1.928.000	360	5.356
Noria.....	40	43,2	1.728.000	320	5.400

(1) Gasparin, *Cours d'Agriculture*, tercera edición: París, 1863.

En estos experimentos la duración del trabajo diario fué siempre de diez horas. De ellos se desprende que el valor de D varía, en condiciones normales, entre 5.350 y 5.400, pues si es bastante menor en la primera observación, proviene de que á un caballo pequeño se le hacía desarrollar un esfuerzo muy grande (98 kilos), lo que lleva consigo, como ya se ha indicado, una disminución notable en el trabajo.

Se admite generalmente en la práctica que, según expresó Navier, un caballo enganchado puede recorrer en diez horas de trabajo, á la velocidad de $0^m,90$ por segundo, una distancia de 32.400 metros. Con tales hipótesis el esfuerzo de tracción se determinará por la expresión $32.400 E = 5.400 p$, de donde se deduce $E = \frac{P}{6}$. Para un caballo de 320 kilos de peso, el esfuerzo será, por consiguiente, de 53 kilos, y el trabajo diario de 1.728.000 kilográmetros. No conviene contar con un esfuerzo medio superior, á menos que se trate de un animal corpulento; pero téngase muy presente, y ésta es una consideración de la mayor importancia para lo sucesivo, que si en buenas condiciones no debe exigirse mayor esfuerzo continuo, no quiere decir que los motores animales no puedan desarrollar y no desarrollen en efecto, por corto espacio de tiempo, potencia muy superior á la normal.

El caballo, como todos los motores animados, tiene que producir, aparte del esfuerzo de tracción, el indispensable para vencer las resistencias pasivas que presenta su organismo; este último puede racionalmente suponerse proporcional á su peso y representarse por Kp , siendo K un coeficiente, que no será constante para cada clase de animal, sino que dependerá de la velocidad. El trabajo total, esto es, el necesario para vencer el debido á las resistencias orgánicas y á la tracción, se llama *fatiga* del caballo, y su expresión en el tiempo T será $\int_0^T (E + Kp) v dt$.

La fatiga específica, ó sea la referida al peso del caballo, es $\int_0^T \left(\frac{E}{P} + K \right) v dt$. En el caso de que el esfuerzo y la velocidad sean constantes, las dos fórmulas se reducen respectivamente á $(E + Kp) v T$ y $\left(\frac{E}{P} + K \right) v T$.

No se han efectuado experimentos para obtener los valores de K á diferentes velocidades. Si se admite: 1.º, que dicho coeficiente permanezca próximamente constante cuando el caballo anda al paso, ya tire de un vehículo, ya camine suelto; 2.º, que en estas últimas condiciones, recorra el animal 70 kilómetros al día, según resulta de los experimentos de Tredgold; y 3.º, que los caballos empleados en éstos sean análogos á los que usó Navier, podría establecerse la ecuación:

$$70.000 Kp = 5.400 p + 32.400 Kp,$$

de la que se deduce $K = \frac{1}{7}$. Sin embargo, ninguna confianza puede inspirar este número, que se ha obtenido partiendo de hipótesis muy aventuradas y combinando guarismos que han resultado de observaciones hechas con miras diversas, por personas diferentes y en circunstancias que, según todas las probabilidades, estarán muy lejos de ser comparables entre sí. No debe perderse de vista esta consideración, que es común á casi todos los valores numéricos relativos á motores animados.

Lo que sí es seguro que K aumentará con la velocidad: Durand-Claye propone que se tome igual á $\frac{1}{5}$ para los caballos al trote.

Admitiendo, á falta de otros mejores, los números precedentes, claro es que si al paso, $K = \frac{1}{7}$, y si el trabajo total, según Tredgold, es 70.000 Kp kilográmetros, la potencia total del caballo será 10.000 p , como antes se indicó (pág. 31). Por otra parte, el trabajo útil que se puede alcanzar, en buenas condiciones, es 5.400 p , lo que justifica el dicho de que el caballo es una máquina, cuyo rendimiento al paso es de 54 por 100.

Si se carece de estudios referentes al caballo, respecto á los otros animales la falta es mucho mayor. El cuadro que sigue se ha tomado de la obra de Charpentier de Cossigny (1), y debe acogerse con bastante reserva, pues, aparte de que los datos relativos

(1) Charpentier de Cossigny, *Hydraulique agricole*, segunda edición: París, 1889.

al caballo difieren algún tanto de los que se dejan consignados, llama la atención el poco esfuerzo que se asigna á la mula. No se expresa el peso de los animales, y quizá este elemento explicase la anomalía.

CLASE DE ANIMALES.	Esfuerzo medio. — Kilogramos.	Velocidad por segundo. — Metras.	Trabajo útil en ocho horas de trabajo. — Kilogrametros.
Caballo.....	45	0,90	1.166.400
Buey.....	60	0,60	1.036.800
Mula.....	30	0,90	777.600
Asno.....	14	0,80	322.560

Conviene fijarse en la poca velocidad á que caminan los bueyes: en cambio, el esfuerzo medio que desarrollan es considerable. Estas circunstancias justifican que encuentren ventajosa aplicación en el acarreo de grandes pesos, y que no se utilicen para el transporte de viajeros, á no ser como *refuerzos* para hacer subir á los vehículos por rampas muy inclinadas. Respecto de lo tardío de su marcha, hay quien asegura que es sólo efecto de la costumbre: parece que en el siglo pasado había un buey en Francia que se enganchaba á diligencias, y superaba en velocidad á las caballerías (1).

Respecto á esfuerzos ejercidos por mulas, se han hecho experimentos en España en 1886 por los alumnos de la Academia de Artillería (2), empleando el dinamómetro de Morin y una ó dos parejas de mulas, y haciendo variar las pendientes hasta algo más del 7 por 100. Los esfuerzos medios oscilaron entre 151 y 38 kilogramos; la media general en un trayecto largo por carre-

(1) *Autografías de la Escuela*, 1873.

(2) Aranz, *Los mecanismos*: Madrid, 1889.

tera no pasaría seguramente de 75 kilogramos, que es el esfuerzo que se deduce de la fórmula $E = \frac{P}{6}$, suponiendo $\dot{p} = 450$.

Las nociones que anteceden, aunque muy incompletas por lo atrasado que se halla el estudio de motores animados, bastan, sin embargo, para que se comprendan los desarrollos en que habrá que entrar en la sección IV de esta obra.