

Apuntes de mecánica agrícola ⁽¹⁾

Nociones de mecánica general aplicada a las máquinas agrícolas

POR EL INGENIERO AGRÓNOMO MARCELO CONTI

Profesor de mecánica agrícola

Empezaremos por dejar asentadas las definiciones de las distintas ramas que abarca la mecánica como ciencia y como aplicación.

La mecánica pura estudia el movimiento de los cuerpos (cinemática) y las causas (fuerzas) que los determinan (dinámica).

La mecánica racional hace dichos estudios en base a consideraciones matemáticas sin preocuparse de los cuerpos en sentido material.

La mecánica aplicada aplica las leyes de los movimientos y de las fuerzas a los cuerpos materiales que, en nuestro caso, serían las máquinas agrícolas.

La mecánica experimental demuestra experimentalmente esas leyes y saca deducciones prácticas para el mayor rendimiento de las máquinas.

La mecánica agrícola se dedica al estudio experimental de las máquinas agrícolas con el objeto de sacar deducciones respecto a la elección y al mejor empleo de las mismas.

(1) El actual plan de estudios asigna dos años para la enseñanza de la mecánica agrícola, a fin de que pueda desarrollarse, como corresponde, esta materia de suma importancia para el ingeniero agrónomo.

Para que su estudio resulte provechoso es indispensable dominar los fundamentos de la mecánica general.

Consideramos difícil, para los alumnos, encontrar reunidos en forma sintética, en un sólo libro, estas nociones básicas con especial referencia a las aplicaciones que nos interesan; hemos creído útil, por lo tanto, reunir en estas páginas algunos apuntes que abarcan los dos capítulos con que empieza el programa de estudio de nuestra materia.

Desarrollamos tan solo lo que tiene afinencia y aplicación inmediata con la materia, dejando de entrar en argumentaciones de orden puramente teórico que tanto abundan en estos dos capítulos importantísimos de la mecánica general.

CAPÍTULO I

APLICACIONES AL ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS (CINEMÁTICA)

Los movimientos pueden clasificarse bajo distintos puntos de vista, según aparece en el cuadro sinóptico adjunto :

Movimientos en las máquinas	Según su continuidad ...	{ ¹ Continuo, ² alternado, ³ periódico.
	Según su trayectoria ...	{ ⁴ Rectilíneo, ⁵ circular, ⁶ parabólico, ⁷ cícloidal, ⁸ helicoidal, ⁹ de trayectoria indefinida.
	Según su velocidad ..	{ ¹⁰ Uniforme, ¹¹ variado, ¹² simultáneo.

Damos a continuación la explicación sintética de cada uno de estos movimientos con los ejemplos e ilustraciones relativas.

1. *Movimiento continuo* es el que imprime a los cuerpos o máquina un movimiento siempre en el mismo sentido, es decir, siguiendo la misma trayectoria. *Ejemplos* : un volante que gira, un tractor que arrastra un arado, etcétera.

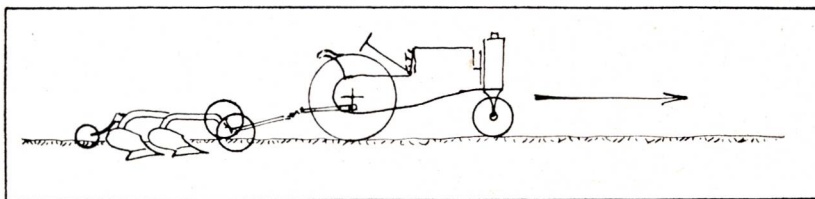


Fig. 1. — Un tractor arrastrando un arado : ejemplo de movimiento continuo rectilíneo

2. *Movimiento alternativo* es el que hace mover los cuerpos o piezas de máquinas siguiendo dos trayectorias o caminos opuestos. *Ejemplos* : el movimiento de los pistones, el de la sierra de las guadañadoras.

3. *Movimiento periódico* : se verifica este caso cuando la pieza de máquina efectúa su movimiento en modo intermitente, alternándose con períodos de reposo. *Ejemplos* : el aparato atador de las atadoras de trigo que funciona sólo cuando, habiéndose formado la gavilla, debe realizarse la atadura ; el levante de los dientes de los rastrillos de pasto que se produce cuando se apriete el pedal del embrague, etc.

4. *Movimiento rectilíneo* : constituye éste el caso más común de movimiento, pudiendo distinguirse, a su vez, en movimiento *continuo* o *alternativo*. *Ejemplos* : los mismos que hemos referido en los números uno y dos de esta rápida enumeración.

5. *Movimiento circular o rotativo*. Sus aplicaciones son también muy numerosas en la mayor parte de las máquinas agrícolas donde actúan ejes

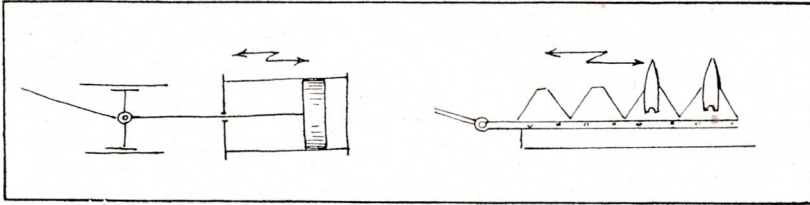


Fig. 2. — Movimiento de un pistón de motor a vapor y de una sierra de guadañadora
ejemplo de movimientos alternativos

animados de movimiento rotatorio. *Ejemplos* : las poleas, engranajes, volantes, ruedas, etc.

6. *Movimiento parabólico* es el que imprime a los cuerpos una trayectoria equivalente a una parábola (curva cuyos puntos son equidistantes entre el foco y una línea llamada directriz). *Ejemplos* : el movimiento de los filetes líquidos que salen de un orificio, el de un cuerpo lanzado inclinado hacia arriba, etc.

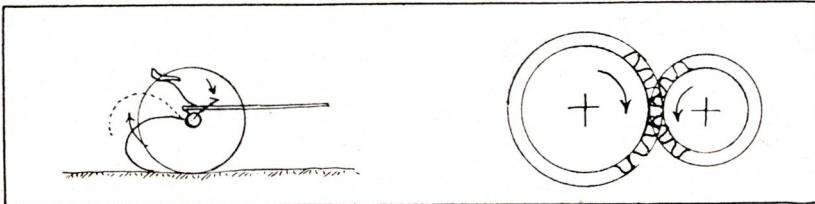


Fig. 3. — Un rastrillo para pasto en el momento de la descarga: ejemplo de movimiento periódico
Un par de engranajes: ejemplo de movimiento circular

7. *Movimiento cicloidal*. Cicloide es la línea curva engendrada por un punto de una circunferencia, la cual marcha según una recta (por ejemplo una rueda). Se trata de un movimiento muy común en las máquinas agrícolas. La cicloide tiene propiedades interesantes : a) arcos iguales son recorridos en tiempos iguales ; b) es la curva de más rápido descenso (por esto se aplica en la curvatura de los diques y otras construcciones hidráulicas). En realidad, este movimiento se podría considerar como la combinación de dos movimientos simultáneos que trataremos más adelante. *Ejemplos* :

de este movimiento los tenemos en las ruedas en general, discos de arados, rodillos, etc. Prácticamente la rueda de una máquina al rodar sobre el suelo puede producir una cicloide normal donde: $L = 2\pi R$; pero puede, si patina, producir una cicloide alargada, o bien, si gira loca sobre el eje, producirla en un espacio más corto. Estas determinaciones

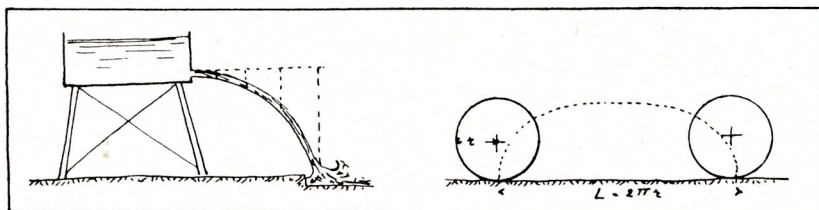


Fig. 4. — El agua que sale libremente de un orificio constituye un ejemplo de movimiento parabólico. Un punto cualquiera de una rueda de carro que gira rodando sobre el suelo describe una curva característica del movimiento cicloidal.

pueden servir de guía en el estudio de tractores y otras máquinas, como se tendrá la oportunidad de ver más adelante.

8. *Movimiento helicoidal.* En este caso la trayectoria es una hélice, o sea una línea trazada sobre un cilindro con inclinación uniforme. Puede considerarse como resultante de dos movimientos, uno de traslación uniforme y rectilíneo en el sentido de la generatriz del cilindro, otro de rotación del

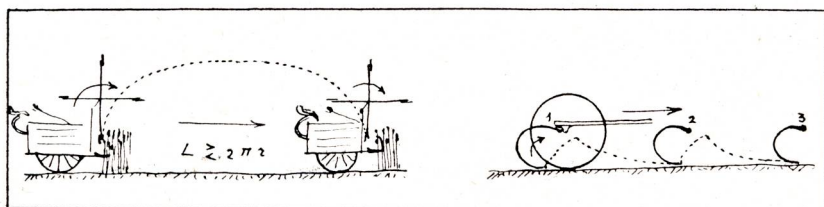


Fig. 5. — El molinete de una máquina segadora de trigo describe con sus puntos extremos una cicloide de longitud más o menos grande de la normal. Los dientes de un rastrillo cargador de pasto al producir la descarga describen una trayectoria indefinida y característica reproducida en la figura.

mismo cilindro en modo también uniforme. *Ejemplos* de estos movimientos los ofrecen los tornillos aplicados a las prensas, las vertederas de arados, etcétera.

9. *Movimientos de trayectoria indefinida.* Llamamos así todos aquellos cuya trayectoria es distinta de las enunciadas; ellos son muy frecuentes en las máquinas agrícolas. *Ejemplo:* los dientes de los rastrillos de juntar pasto en el momento de volcar el pasto, las horquillas de las heneadoras, de movimiento alternativo, etc.

10. *Movimiento uniforme* es el que, en tiempos iguales, recorre espacios iguales: siendo t la unidad de tiempo (en segundos) y siendo v la velocidad, el espacio e recorrido en el tiempo t será $e = vt$. A su vez el movimiento uniforme puede dividirse en rectilíneo y circular.

El *movimiento uniforme rectilíneo* es el que más comúnmente encontramos en las máquinas agrícolas. De la expresión $e = vt$ puede despejarse uno de los valores conociendo los otros dos. *Ejemplo*: dos caballos atados a un arado recorren 12 metros en 10": la velocidad de la marcha será entonces:

$$v = \frac{e}{t} = \frac{12}{10} = 1^m 20.$$

El *movimiento uniforme circular*, o de rotación, se halla aplicado en los ejes, volantes, poleas, etc. Siendo, por lo tanto, también muy común en las máquinas agrícolas. En el movimiento circular hay que distinguir una velocidad llamada angular y otra tangencial.

La *velocidad tangencial*, o periférica, es el camino recorrido por segundo por cada uno de los puntos situados en la periferia de la polea o volante, y se expresa por la fórmula:

$$v = \frac{n \cdot 2\pi r}{60}$$

donde n es el número de vueltas por segundo y r el radio de la polea.

La *velocidad angular* es, en cambio, el camino recorrido por los puntos que distaran la unidad (un metro) del eje y se expresa por la fórmula:

$$w = \frac{n \cdot 2\pi}{60} = \frac{n}{10} \text{ (aproximadamente),}$$

donde n es también el número de revoluciones por minuto.

En el movimiento circular lo que se denomina *velocidad de rotación*, indica el número de revoluciones por minuto del eje, volante, rueda, etc.

Ejemplo: Un cilindro de trilladoras de 60 centímetros de diámetro gira con 1100 revoluciones por minuto. ¿Cuál es la velocidad tangencial y angular que corresponde?

La velocidad tangencial será:

$$v_t = \frac{1100 \times 6.28 \times 0.60}{60} = m. 34.5.$$

La velocidad angular será:

$$w = \frac{1100}{10} = m. 110, \text{ aproximadamente.}$$

Algunos datos prácticos sobre *velocidades en metros por segundo*:

	Metros
Hombre al paso ordinario.....	1, 10-1, 15
Caballo al paso ordinario.....	1, 10-1, 20
Viento ordinario.....	4 a 6
Viento huracanado.....	30 a 40
Velocidad tangencial de un volante de locomóvil....	50 a 52
Velocidad de proyectiles.....	300 a 500
Velocidad del sonido.....	333
Velocidad de la electricidad.....	5 a 15 millones
Velocidad de la luz.....	300 millones

II. *Movimiento variado* es el que se verifica cuando la velocidad no es constante ; si aumenta es *acelerado*, si disminuye es *retardado*. El movi-

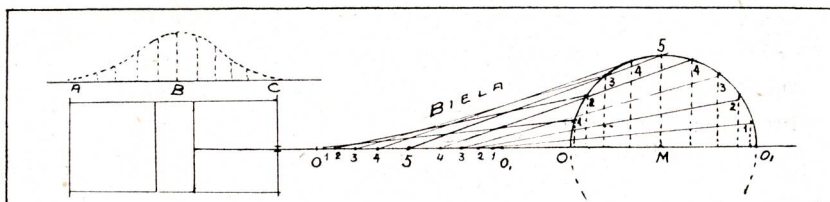


Fig. 6. — Transformación del movimiento rectilíneo de un pistón en movimiento circular sobre el eje M. Las velocidades uniformemente aceleradas y retardadas del pistón se vuelven uniformes sobre la circunferencia según indican los espacios de t a 5.

miento se llama uniformemente variado si experimenta en cada segundo el mismo incremento o disminución lo que se llama *aceleración*.

Del movimiento uniformemente acelerado encontramos ejemplos en la caída libre de los cuerpos, en la puesta en marcha de los motores, mientras del movimiento uniformemente retardado hay ejemplos en los cuerpos lanzados hacia arriba, en la parada de un motor, etc.

Pero un caso particular interesante de combinación de estas dos clases de movimientos lo ofrece la *transformación del movimiento rectilíneo en movimiento circular* del cual tenemos un ejemplo clásico en los motores. La figura adjunta explica claramente cómo se pasa de una velocidad mínima igual a cero en los puntos muertos A y C a una velocidad máxima en el punto B; el movimiento es transmitido por medio de la biela y del platillo manivela M. Mientras un extremo de la biela sufre las alternativas de un movimiento uniformemente acelerado y uniformemente retardado, el otro extremo recorre la circunferencia del platillo manivela con velocidad siem-

pre uniforme. En todos estos casos de transformación de movimientos juega un papel muy importante el volante cuya función consiste en almacenar fuerza viva en los puntos de mayor velocidad para devolverla en los puntos de velocidad reducida rindiendo más uniforme la marcha del motor o máquina en que se halla aplicado.

El estudio mecánico del volante se hará en el próximo capítulo.

12. *Movimientos simultáneos.* Toda máquina agrícola que se traslade sobre el campo y tenga uno o varios de sus órganos en movimiento, nos ofrece ejemplos de movimientos simultáneos. Algunos de los tipos de mo-

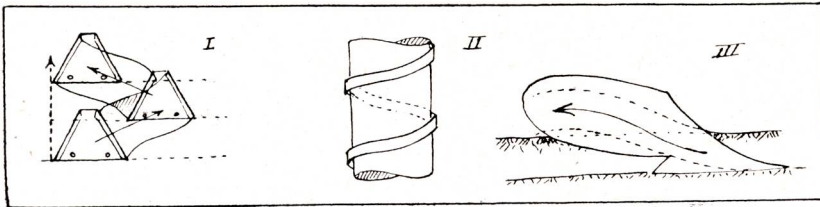


Fig. 7. — Ejemplos de movimientos simultáneos: I, el movimiento de los dientes de una guadañadora. El mismo diente en tres posiciones distintas sucesivas. Cada punto del borde cortante describe curvas senosoidales. II, el movimiento de un punto del filete de un tornillo describe una línea helicoidal. III, la banda de tierra sobre la vertedura de un arado describe también un movimiento helicoidal.

vimientos estudiados anteriormente pueden ser clasificados también como movimientos simultáneos, tales son el movimiento parabólico, el cicloidal, el helicoidal.

De la combinación de los dos movimientos que se realizan con velocidades distintas deriva una determinada trayectoria que puede ser estudiada, caso por caso, pudiéndose de este estudio sacar deducciones de gran interés práctico.

Sin detenernos en consideraciones o detalles que se explicarán estudiando en su debido tiempo, las respectivas máquinas, reproducimos en una figura tres casos típicos de movimientos simultáneos, agregando al pie de la misma la explicación que corresponde.

CAPÍTULO II

APLICACIONES AL ESTUDIO DE LAS FUERZAS (DINÁMICA APLICADA A LAS MÁQUINAS AGRÍCOLAS)

Trabajo de las fuerzas y resistencias pasivas

Fuerza o esfuerzo (definición aprobada por el Congreso de mecánica, 1889) es la causa capaz de producir o modificar el movimiento de los cuerpos o conseguir el equilibrio de los mismos.

La *dinámica* estudia las fuerzas que producen movimiento.

La *estática* estudia las fuerzas que producen equilibrio.

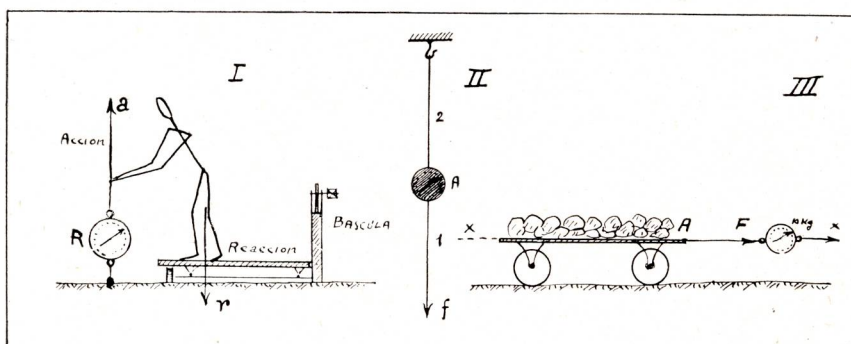


Fig. 8. — I. Demostración gráfica y experimental de la acción y reacción. El hombre que tira hacia arriba (acción) actuando sobre la romana R produce una reacción sobre la báscula siendo r igual y contraria de a .

II. La actuación de una fuerza brusca en f produce la rotura del hilo en el tramo 1 inmediato al cuerpo o máquina intermediaria. En cambio, actuando con lentitud, el hilo se romperá siempre en el tramo 2.

III. Representación gráfica de una fuerza: A, punto de aplicación, dirección horizontal sentido Ax (podría tener sentido opuesto), intensidad 10 Kg. registrados en el dinamómetro que se halla aplicado al tiro.

Toda *fuerza* o *acción* sobre un cuerpo en reposo determina una *reacción* igual y opuesta a la acción.

Ejemplo: un peso colgado a un resorte; cortando el hilo, el peso (acción) cae, el resorte vuelve a su sitio (reacción). Un hombre que haga presión sobre una báscula (elevando un peso); la báscula acusa un aumento de peso equivalente al peso levantado. Véase figuras.

Representación de las fuerzas. — Las fuerzas se caracterizan por su *punto aplicación*, *dirección*, *sentido* e *intensidad*. *Ejemplo*: la fuerza representada en la figura tiene en A el punto de aplicación, dirección: horizontal, sentido: a la derecha, intensidad: 10 kilos.

La influencia de cada uno de estos factores se pone de manifiesto en modo distinto según los casos. Se necesita cierto tiempo para que la fuerza pueda actuar. *Ejemplo* : tirando el hilo f bruscamente o lentamente; el hilo se romperá, en el primer caso, abajo, y en el segundo caso, arriba del cuerpo A; este hecho puede tener consecuencias en los enganches de las máquinas, en las transmisiones por correa, cadenas, tiros, balancines, etc.

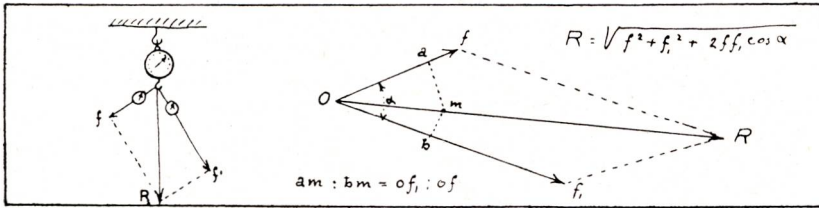


Fig. 9. — Comprobación experimental de la resultante de dos fuerzas que actúan formando ángulo entre sí. Las dos romanas pequeñas indican las fuerzas f y f_1 ; la romana grande indica el valor de la resultante R . El cálculo de la resultante puede también hacerse por fórmula según indica la figura de la derecha.

Cuando actúan dos o más fuerzas sobre un cuerpo o máquina se produce un estado de equilibrio entre las mismas formándose una *resultante* que tendrá una intensidad, sentido y punto de aplicación distinto según los casos. (Véanse figuras.)

Los dos dispositivos representados con las figuras pueden permitir la

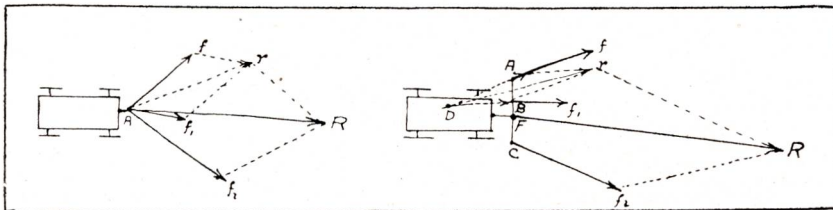


Fig. 10. — A la izquierda : composición de varias fuerzas a ángulo aplicados en un mismo punto para la tracción de un carro. A la derecha : composición de varias fuerzas a ángulo aplicados en puntos distintos (caso de los tiros no paralelos en la tracción de carros o máquinas agrícolas).

comprobación experimental de cómo se verifica la composición de dos fuerzas. En efecto, se verá que nunca la fuerza o peso resultante será igual a la suma de las otras dos.

El *paralelogramo de las fuerzas* así trazado ofrecerá una resultante tanto menor cuanto más amplio sea el ángulo formado entre las dos fuerzas.

La resultante de dos fuerzas posee esta propiedad demostrada por Varignon : « La distancia de un punto de la resultante a las componentes está en

razón inversa a la intensidad de estas últimas.» Estas distancias (que son las perpendiculares) multiplicadas por las respectivas fuerzas, dan lo que se llama el *momento de la fuerza*, así que podría enunciarse el mismo teorema de Varignon en esta otra forma: «los momentos de las componentes, respecto a la resultante son iguales».

$$of \times am = of' \times bm.$$

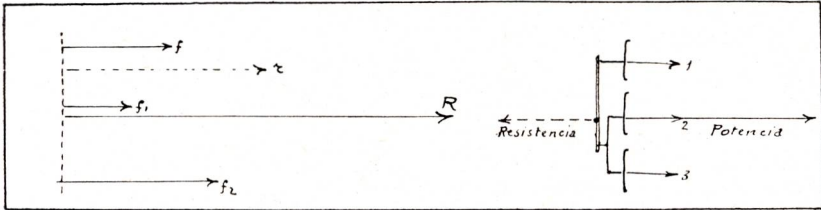


Fig. 11. — Composición de varias fuerzas paralelas; caso de fuerzas en sentido contrario la potencia y la resistencia de un tiro exactamente equilibrado

Momento de una fuerza respecto a un punto, a una recta, a un plano es por lo tanto el producto de la intensidad de la fuerza por la distancia al punto, a la recta o al plano respectivamente.

Composición de varias fuerzas angulares aplicadas a un mismo punto.

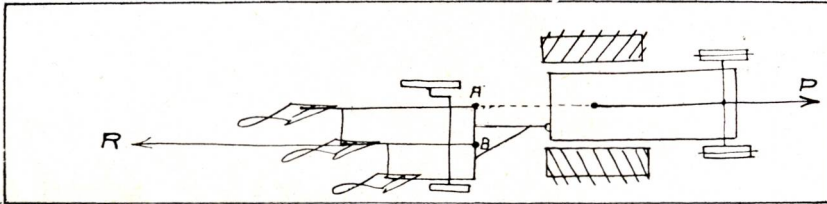


Fig. 12. — Caso de dos fuerzas en sentido contrario que no coinciden en su punto de aplicación. Se forma en tal caso un par de fuerza (*couple*) que tiende a producir un movimiento de torsión o rotación del conjunto perjudicando el equilibrio del tiro.

Puede seguirse el sistema de los paralelogramos sucesivos o bien el sistema del polígono de las fuerzas.

En el *primer caso*, según indica la figura, se construye el paralelogramo sucesivamente con las fuerzas f y f' y con la resultante r y la f'' consiguiéndose la resultante final R ; en el segundo caso se toma un punto O y se trazan sucesivamente las fuerzas f , f' y f'' una a continuación de la otra y paralelas a las originarias; la O, f'' representa la resultante deseada.

En caso de *fuerzas concurrentes* se prolongan hasta hacerlas convergir en el punto O desde el cual se reproducen construyendo el polígono como en

el caso anterior. Un ejemplo de esta forma de aplicación de las fuerzas lo tenemos en los carros o en máquinas cuando los tiros no resultan paralelos.

Tratándose de *fuerzas paralelas* pueden presentarse dos casos : a) que todas se dirijan en el mismo sentido ; b) que se dirijan en sentido contrario.

De las fuerzas paralelas en el mismo sentido tenemos un ejemplo en los *balancines* usados para la tracción de las máquinas agrícolas.

La resultante de varias fuerzas paralelas es igual a la suma de todas las fuerzas y el punto de aplicación se determina con arreglo al teorema de Varignon ; véase figura. En realidad no es la suma de las fuerzas la que se consigue prácticamente, porque debido a la no simultaneidad de los esfuerzos y a falta de paralelismo en ciertos momentos se verifican pérdidas

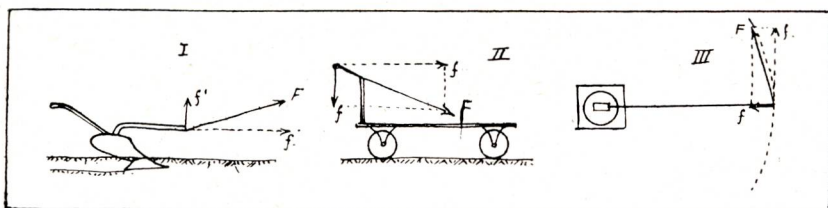


Fig. 13. — Casos prácticos de descomposición de fuerzas con pérdidas parciales de las mismas, F representa la fuerza que actúa en cada caso, f_1 la fuerza perdida y f la utilizada : I, el caso de la tracción de los arados y máquinas con tiros inclinados. II, el caso de un carrito empujado hacia abajo. III, el caso de un animal que tira a la extremidad de una lanza de malacate.

más o menos grandes de las cuales nos ocuparemos más detalladamente al tratar de la tracción animal.

De *fuerzas paralelas en sentido contrario* puede darse como ejemplo, la potencia y la resistencia de la tracción de una máquina que no se hallen sobre la misma dirección con el tiro. En este caso se produce un *par (couple)* de fuerzas que produce efectos especiales de torsión, y para cuya estabilidad debe necesariamente emplearse una fuerza adicional. También sobre este particular nos ocuparemos en otra oportunidad.

La *descomposición* de las fuerzas es también un fenómeno muy común en las máquinas agrícolas debido a lo cual en la mayor parte de los casos se pierde una parte de la misma fuerza o ésta actúa en forma distinta a la que aparece a primera vista.

En la tracción de arados, rastras, etc., debido a la inclinación del tiro, en los malacates, planos inclinados y en muchos otros casos que mencionaremos, se verifica descomposición de fuerza ; la que se utiliza se llama *componente dinámica* y la que produce efecto de presión o elevación, se llama *componente estática*.

En los tres casos representados en la figura, la fuerza F que actúa sufre una descomposición por efecto de la cual se origina una fuerza f que se utiliza y una f' que se pierde actuando en modo distinto en cada caso. La entidad de esta fuerza perdida, que es la que por lo general conviene conocer, es proporcional a la fuerza F y al ángulo α que ésta forma con la fuerza aprovechada f que es la horizontal en los dos primeros casos y la tangente a la circunferencia en el tercero.

$$f' = F \text{ sen } \alpha.$$

Damos algunos de los *valores de sen α* ; para ángulos distintos que pueden consultarse en cualquier manual de ingenieros.

Valores numéricos del sen para ángulos de 10° a 90°

10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	90°
0.17	0.25	0.34	0.42	0.50	0.57	0.64	0.70	0.77	0.87	0.94	1

TRABAJO DE LAS FUERZAS Y RESISTENCIAS PASIVAS

Las fuerzas producen trabajo todas las veces que ellas determinan un movimiento. Elevando un peso, tirando una máquina, se desarrolla una fuerza F a lo largo de un espacio e por cuya razón la expresión del trabajo T será

$$T = Fe$$

La fuerza se mide en kilos, el espacio en metros; resulta, por lo tanto, que la *unidad del trabajo es el kilográmetro*.

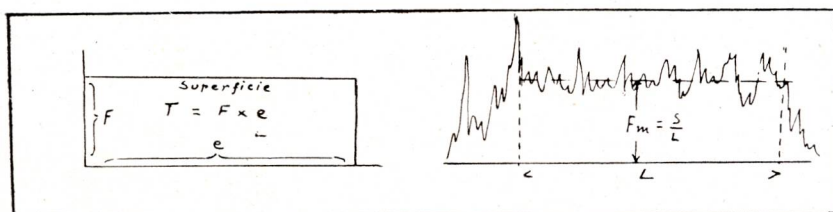


Fig. 14. — A la izquierda: diagrama teórico del trabajo; la vertical indica la fuerza, la horizontal el espacio; se supone que la fuerza F actúe uniformemente a lo largo de todo el recorrido. A la derecha: diagrama práctico del trabajo efectuado durante la tracción de una máquina agrícola, obtenido por medio de un dinamómetro registrador. La línea quebrada indica las oscilaciones de los esfuerzos; la línea de puntos horizontal nos indica la fuerza media. (Véase capítulo dinamómetros.)

El trabajo puede representarse gráficamente como indica la figura 14; los mismos diagramas que nos entregan los dinamómetros nos dan la medida del trabajo siendo éste proporcional a la superficie de los mismos diagramas.

Ejemplo: Un caballo que tira un carro desarrollando una fuerza media de 50 kilos y recorre 3000 metros, realiza un trabajo total de 150.000 kilográmetros; un hombre que levanta 200 bolsas de trigo de 70 kilogramos cada una a la altura de 12 metros mediante un aparejo, durante el día realiza un trabajo total de 168.000 kilográmetros.

Prácticamente debe tenerse en cuenta también el tiempo en que se realiza el trabajo, siendo la unidad de tiempo, en mecánica, el segundo. La cantidad de trabajo desarrollado por segundo recibe entonces el nombre de *potencia*. La unidad de potencia es el *kilográmetro-segundo*. Para los motores inanimados, sin embargo, la unidad práctica de potencia es el *caballo-vapor*, que corresponde a 75 kilográmetros por segundo.

Si el caballo del ejemplo anterior demora para realizar ese recorrido 40 minutos, o sea 2400 segundos, la potencia desarrollada corresponderá a 150.000 kilográmetros divididos por los 2400 segundos, resultando ser igual a 62 kilográmetros-segundo o sea menos de un caballo-vapor, lo que en realidad es así, pues nunca un caballo de sangre debería desarrollar normalmente un caballo-vapor. Del mismo modo si el hombre demora 4 horas en trabajo efectivo en realizar su tarea de levantar las 200 bolsas, en cada segundo realiza un trabajo por segundo de 12 kilográmetros, lo que resulta dividiendo el trabajo total de 168.000 kilográmetros por el número de segundos de las 4 horas.

El caballo-vapor se expresa en las letras HP; el caballo-vapor inglés siendo de 550 pies-libras-segundo resulta ser de 76 kilográmetros en lugar de 75 como el que corresponde al sistema métrico decimal (ver Moulan, pág. 226, *Historia del HP*).

Ejemplo: ¿Qué potencia en HP deberá tener el motor que debemos emplear para elevar con una grúa en medio minuto (30") una tonelada de trigo a la altura de 15 metros?

El trabajo a realizar en cada viaje es 1000 por 15 o sea 15.000 kilográmetros; ahora debiéndose realizar en 30", la potencia del motor deberá ser de 15.000 dividido por 30 o sea 500 kilográmetros por segundo lo que dividido por 75 corresponde a 6,6 HP (a esa potencia puramente teórica va agregada naturalmente la que se pierde en las transmisiones, rozamientos, etc., calculando ésta en un 25 por ciento resultará necesario un motor de unos 8 HP).

Continuando con el ejemplo anterior, si quisiéramos levantar esa misma carga a igual altura en 10" en lugar de 30" necesitaríamos un motor con potencia tres veces mayor o sea de unos 24 HP lo que demuestra cómo la misma cantidad de trabajo podrá realizarse con máquinas de potencia muy distinta según el tiempo que se quiera emplear. Asimismo para transportar una carga con carro necesitaremos un motor más o menos poderoso según la velocidad con que se quiera marchar.

Los cuerpos en movimiento tienen la capacidad de desarrollar trabajo porque tienen almacenada cierta cantidad de energía que se llama con el nombre de FUERZA VIVA, que más propiamente debería llamarse *potencia* o

trabajo vivo. El agua que corre en el cauce de un río, por ejemplo, encierra una determinada cantidad de energía o fuerza viva que puede ser utilizada; asimismo se puede utilizar la fuerza viva del aire en movimiento por medio de los motores a viento.

Pueden, sin embargo, distinguirse tres casos típicos distintos en la manifestación de la fuerza viva:

1° El cuerpo *pierde totalmente su velocidad*, por ejemplo, un peso que cae; en este caso si la velocidad inicial es nula, el cuerpo cae siguiendo la ley de gravedad y la cantidad de energía que produce con la caída es igual al producto de su peso por la altura de caída; ejemplo, un martinete de 50 kilogramos que cae de una altura de 8 metros realiza en cada golpe un trabajo de 400 kilográmetros; ese trabajo no es más que la fuerza viva almacenada por el peso al levantarlo después de cada golpe a la altura de 8 metros;

2° El cuerpo o máquina *se detiene bruscamente en su marcha en sentido horizontal, circular, etc.* La cantidad de fuerza viva que el cuerpo o máquina lleva almacenada podrá expresarse por la fórmula muy conocida.

$$F_v = \frac{mv^2}{2}$$

donde m representa la masa del cuerpo que es igual al peso del mismo dividido por el valor de la gravedad,

$$m = \frac{p}{g}$$

Ejemplos: 1° Un tractor que ara pesa 2000 kilogramos y marcha a metro 1.20 por segundo, el arado encuentra un obstáculo y para su marcha. ¿Qué fuerza viva se suma en ese momento al esfuerzo de tracción que el tractor desarrolla normalmente?

$$F_v = \frac{mv^2}{2} \quad m = \frac{2000}{9.8} = 204 \quad v^2 = 1.44$$

$$F_v = 204 \times 1.44 = 293 \text{ kgm.}$$

2° Un volante pesa 110 kilogramos, tiene el diámetro de 1 metro al centro de gravedad y marcha a 200 rev. por minuto. ¿Cuál es la fuerza viva que almacena?

$$v = \frac{3.14 \times 200}{60} = 10 \text{ m.}$$

$$m = \frac{110}{10} = 11$$

$$F_v = \frac{11 \times 10^2}{2} = \frac{1100}{2} = 550 \text{ kgm.}$$

3° *El cuerpo animado de movimiento reduce simplemente su velocidad cediendo una parte de su fuerza viva almacenada.* Es este el caso más común en las máquinas y motores en general. En efecto, un tractor arando o un volante nunca detienen por completo su marcha al encontrar un obstáculo, ceden, una parte de la fuerza viva almacenada y siguen su marcha. En las ruedas de los motores a viento se va almacenando energía durante la marcha en vacío que corresponde a la bajada del pistón de las bombas, devolviendo dicha energía al realizar la bomba su marcha activa. En los motores a vapor y a explosión los volantes almacenan energía en los puntos vivos, para cederla en parte en los puntos muertos, volviendo más uniforme la velocidad de los mismos, según hemos tenido oportunidad de demostrar al tratar de la transformación de los movimientos.

En todos estos casos la parte de fuerza viva cedida corresponde a la que resulta de la fórmula anterior en la cual la velocidad V resultante es igual a la diferencia entre la máxima y la mínima.

RESISTENCIAS O FUERZAS PASIVAS. — Estas que algunos llaman también *fuerzas parasitarias* son las distintas causas que determinan la pérdida de una parte del trabajo mecánico; recordamos entre las principales: los *cambios de velocidad* de los órganos de una máquina, caso muy frecuente en la transformación de los movimientos circulares en rectilíneos y viceversa: las *vibraciones* que resultan sumamente perjudiciales, especialmente en las grandes velocidades; en los vehículos, por ejemplo, la disminución de las vibraciones por medio de suspensiones elásticas producen economías en la tracción que pueden llegar hasta un 30 por ciento (según Rigelmann); la *rigidez* de las correas, cadenas, cables, etc., que trabajan en combinación con poleas o ruedas dentadas de pequeño diámetro; pero sobre todas las resistencias pasivas la que adquiere mayor valor es siempre el *rozamiento* del cual debemos ocuparnos con mayor detención.

Podemos distinguir dos clases de rozamiento:

- 1° El rozamiento opuesto al resbalamiento;
- 2° El rozamiento opuesto a la rodadura.

Rozamiento por resbalamiento. — Pueden establecerse los principios o leyes siguientes: 1° el rozamiento por resbalamiento depende de la naturaleza de las superficies rozantes; 2° depende también de la presión que uno de los cuerpos ejerce sobre el otro; 3° el rozamiento es independiente de la extensión de la superficie de contacto; quiere decir que un mismo cuerpo que se desliza sobre otro ofrecerá la misma resistencia al movimiento aun aumentando la superficie de contacto porque a medida que aumen-

ta dicha superficie la presión sobre cada unidad de superficie disminuye por el hecho que resulta repartida sobre una superficie mayor. Prácticamente esta ley no se verifica en absoluto porque intervienen otros fenómenos relativamente poco estudiados y conocidos, entre otros la *adherencia* que desempeña un papel importantísimo en todos los órganos en movimiento de las máquinas.

La magnitud del rozamiento que produce un cuerpo en contacto con una superficie horizontal se determina experimentalmente ya sea midiendo la fuerza F necesaria para el arrastre del cuerpo ya sea haciéndolo deslizar

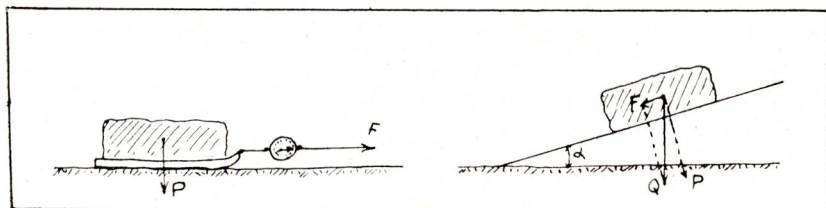


Fig. 15. — Determinación experimental del coeficiente de rozamiento de un cuerpo sobre una superficie. A la izquierda : mediante la tracción con un dinamómetro. A la derecha : mediante la determinación del ángulo de deslizamiento llamado también ángulo de rozamiento.

a lo largo de un plano aumentando su inclinación hasta conseguir su movimiento; se determina en este último caso el ángulo α de rozamiento.

En uno y otro caso puede llegarse a conocer lo que se llama el *coeficiente de rozamiento* R que no es otra cosa sino la relación entre el peso del cuerpo y la fuerza que lo hace mover :

$$R = \frac{F}{P}.$$

Realizando el ensayo mediante el plano inclinado; siendo $F = Q \sin \alpha$ y $P = Q \cos \alpha$ puede tenerse el valor del coeficiente con esta relación :

$$R = \frac{F}{P} = \frac{Q \sin \alpha}{Q \cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tang. } \alpha.$$

El valor de R en las dos determinaciones debe ser igual; si se tratara de hacer subir por deslizamiento el cuerpo sobre un plano inclinado, hay que neutralizar ante todo la fuerza F que trata de hacerlo descender y agregar una fuerza tanto mayor cuanto más amplio es el ángulo y cuanto más grande sea la marcha o velocidad que se quiere imprimir al cuerpo.

Cuando la presión del cuerpo pasa de ciertos límites y se produce una especie de hundimiento durante su marcha, los valores que acabamos de

estudiar sufren aumentos, no siempre proporcionales, de modo que se alteran en algo las leyes enunciadas.

Coefficientes de rozamiento

Metal sobre metal sin engrasar.....	R=0.17-0.18
Metal sobre metal engrasado.....	0.07-0.12
Correa cuero sobre madera.....	0.27-0.47
Correa cuero sobre fierro (seco).....	0.28-0.96
Cuero sobre fierro (pistones engrasados).....	0.12-0.23
Hierro sobre piedra o tierra.....	0.30-0.70
Madera sobre piedra o tierra.....	0.25-0.60
Madera sobre madera seca.....	0.36-0.50
Madera sobre madera lubricada.....	0.16-0.44

Ejemplo: Se quiere conocer la fuerza para el arrastre de un trínco de madera en un camino de tierra siendo el peso del trínco y relativa carga de 800 kilogramos y el coeficiente de roce, deducido en la tabla (madera sobre tierra) término medio 0.4.

$$F = RP = 0.4 \times 800 = 320.$$

La fuerza deberá ser de 320 kilos.

Rozamiento de los ejes. — Un caso particular del rozamiento es el que se verifica en los ejes animados de movimiento rotatorio. La cantidad de fuerza necesaria para vencer el roce depende de la distancia a la cual dicha fuerza se aplica; esta distancia se llama *momento de rotación*. La fuerza necesaria para vencer el rozamiento R, llamada también *momento de rozamiento* en los dos casos indicados en la figura puede expresarse así:

Para ejes verticales:

$$R' = \frac{1}{2} R \times P \times r.$$

Para ejes horizontales:

$$R' = \frac{4}{\pi} R \times P \times r.$$

En los dos casos representa R el coeficiente de roce ya indicado, P la presión que ejerce el eje contra los soportes y *r* el radio del eje.

Para árboles o ejes comunes en las transmisiones, el valor de $\frac{4}{\pi} R$ varía entre 0.005 y 0.03 si bien engrasado llegando a 0.08 y 0.10 mal engrasados.

Rozamiento opuesto a la rodadura. — Este caso se presenta todas las veces que la carga se mueve sobre rodillos o sobre ruedas.

Este particular ha sido estudiado experimentalmente por primera vez en Francia, por Morin, que indicó una serie de *coeficientes de rodamiento*, según las clases de caminos.

El diámetro de las ruedas tiene influencia sobre el valor de estos coeficientes; en efecto, debe admitirse que las asperezas que el camino o superficie de contacto presenta, tienen que ser vencidas como si la rueda tuviera que desplazarse sobre un plano inclinado tangente a su punto de

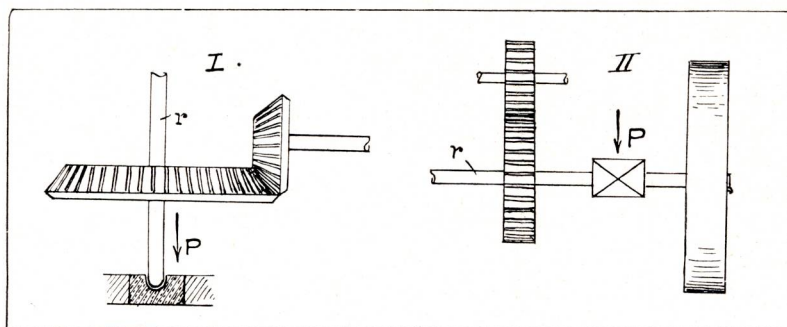


Fig. 16. — Casos prácticos de rozamiento de los ejes sobre los soportes.

I. Apoyo de un eje vertical sobre un cojinete de pie.

II. Apoyo de un eje horizontal sobre un cojinete.

contacto con la rueda como indica la figura adjunta; en el caso especial de las ruedas que marchan en caminos blandos existe también la compresión del piso que provoca la formación del mismo ángulo; en uno u otro caso ese ángulo es tanto mayor cuanto menor es el diámetro de las ruedas.

La deducción práctica de estos fenómenos es que las ruedas de diáme-

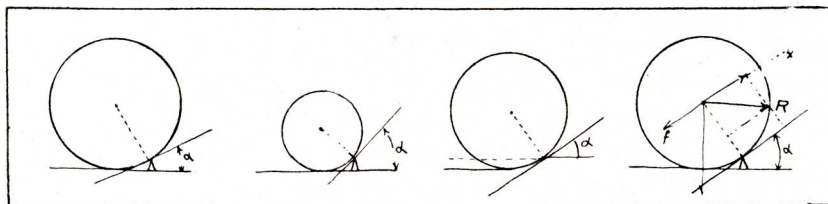


Fig. 17. — Demostración gráfica de la influencia del diámetro sobre los coeficientes de rodadura. Las primeras dos ruedas indican la influencia del diámetro sobre el ángulo que produce un obstáculo de la misma entidad. La tercera figura indica la influencia del hundimiento de la rueda en pisos blandos. La cuarta representa el juego de las fuerzas y la determinación de la resultante para conseguir el equilibrio.

tro grande ofrecen menor resistencia al rodamiento y deben por lo tanto ser preferidas.

Intervienen también en variar ese coeficiente de rodamiento el ancho de la llanta, siendo también este fenómeno variable según la naturaleza de los caminos, pero como este asunto se halla íntimamente ligado al problema de los transportes con carros, dejamos el estudio más amplio y detallado de este asunto para el capítulo correspondiente a máquinas para transportes.