

se el de las resistencias, se iría retardando. Pero como, si el trabajo de la potencia es igual al de las resistencias, hay necesariamente equilibrio, cuando no ha empezado el movimiento, y no se continúa este en virtud de la inercia de las masas, se deduce, que cuando el movimiento de una máquina es uniforme la potencia y las resistencias tienen valores tales que producirían equilibrio si la máquina estuviese en reposo. Por esto se llama *equilibrio dinámico* al que corresponde á las máquinas en movimiento, y *equilibrio estático* al que produce el reposo absoluto.

La inercia sirve á veces para transformar el trabajo en fuerza viva y la fuerza viva en trabajo: en efecto, el trabajo de una fuerza para determinar el movimiento de una masa se acumula en esta y podrá á su tiempo comunicar movimiento á otros cuerpos y vencer otras resistencias. Por manera, que la inercia puede considerarse como un receptor de un trabajo que en seguida restituye.

En la industria se ofrecen muchas circunstancias en que estas transformaciones sucesivas tienen lugar por medio de los útiles y máquinas: en efecto, el vapor en la caldera representa una cantidad de acción ó de trabajo disponible que cambia en fuerza viva luego que se le facilita paso para el cilindro, en donde esta misma fuerza viva, en virtud de la elasticidad del vapor, se transforma en cierta cantidad de trabajo cuando obra contra el émbolo y este transmite su acción á las máquinas del taller ó fábrica.

ROZAMIENTO.

El rozamiento es la fuerza necesaria para vencer la resistencia que oponen los cuerpos en contacto cuando ha de resbalar ó deslizar el uno sobre el otro.

Esta resistencia proviene de que al colocar un cuerpo

sobre otro, las partes salientes del primero engranan en las entrantes del segundo, y si se quiere que el uno resbale sobre el otro, es preciso desprender estas desigualdades ó romperlas: á este rompimiento resistirán mas ó menos segun tengan mayor ó menor cohesión ó coherencia las partes de un mismo cuerpo y segun penetren mas las partes salientes del uno en las entrantes del otro en razon de la naturaleza de las superficies y de la presión que ejerce la una sobre la otra.

El rozamiento ó fracción puede ser de dos maneras: 1.^a cuando un cuerpo resbala sobre otro; y 2.^a cuando una superficie rueda sobre otra: la primera se llama *rozamiento por fricción ó frotación*, y la segunda *rozamiento por rotación*, y se deja conocer que este será siempre mucho menor que aquel, porque el movimiento de rotación contribuye bastante á desprender las partes entrantes de las salientes.

El rozamiento debe considerarse como una *fuerza pasiva* por ser incapaz de producir el movimiento; pero cuando se trate en general del equilibrio y movimiento de los cuerpos debe atenderse á la resistencia que opone, en cuya virtud destruye en parte el efecto de otras fuerzas.

De todos los cálculos y experiencias que se han hecho para determinar en distintas circunstancias el rozamiento de dos cuerpos en contacto, se han deducido los siguientes principios generales:

1.^o *El rozamiento que experimenta un cuerpo al resbalar sobre otro es independiente de la extensión de las superficies en contacto.* Porque, si la extensión de las superficies aumenta ó disminuye, sin que cambie la presión, la resistencia total será la misma; pues creciendo la superficie disminuirá la presión en cada molécula, por quedar

repartida entre el mayor número de estas en contacto; y al revés si disminuye.

2.º *El rozamiento es proporcional á la presion que el un cuerpo ejerce sobre el otro.* Porque, aumentando la presion sin cambiar la extension de la superficie en contacto, resulta que las partes salientes del uno penetran con mayor fuerza en las entrantes del otro, y la resistencia ofrecida al rompimiento lateral de dichas partes debe ser proporcionalmente mayor.

3.º *Si las superficies en contacto son de igual naturaleza el rozamiento sera mayor, y disminuirá notablemente cuando sean heterogéneas las superficies.* Porque en las superficies de igual naturaleza las partes salientes engranan perfectamente con las entrantes, en razon de su homogeneidad y de su igualdad natural.

Además, la intensidad del rozamiento depende de varias circunstancias que deben ser atendidas convenientemente para determinar su verdadero valor, tales son: el grado de pulimento en las superficies; la humedad de la atmósfera; la temperatura; la afinidad de las sustancias; la cohesion de sus partes; la velocidad del movimiento; el tiempo que las superficies han permanecido en contacto, y la calidad del unto que se use para endulzar ó disminuir la fuerza del rozamiento.

Como todas las circunstancias que se acaban de indicar no pueden ser comprendidas por el cálculo, en razon de no estar sujetas á él, se ha recurrido á la práctica, y por una série de experimentos se ha determinado la fuerza necesaria para vencer el rozamiento á una presion conocida, y el promedio de los resultados obtenidos por varios fisicos ha dado á conocer la relacion del rozamiento á la presion, que se continúa en la siguiente tabla:

TABLA DE LOS COEFICIENTES QUE EXPRESAN LA RELACION DEL ROZAMIENTO Á LA PRESION EN LAS SUPERFICIES QUE RESBALAN UNA SOBRE OTRA, PARA CUANDO ESTÁN EN MOVIMIENTO Y PARA DESPUES QUE HAN PERMANECIDO ALGUN TIEMPO EN CONTACTO.

CLASIFICACION DE LAS SUPERFICIES EN CONTACTO.	Despues de algun tiempo de contacto.	Cuando es- tán en movi- miento una sobre otra.
Encina sobre encina, fibras paralelas, sin unto.	0'60	0'48
Id. id. id. cruzadas, id.	0'54	0'34
Id. id. id. paralelas, jabon seco.	0'44	0'16
Id. id. id. cruzadas, mojadas de agua.	0'71	0'25
Id. id. id. paralelas, sebo ó grasa.	0'08	0'04
Id. sobre haya ó guayaco, sin unto.	0'52	0'35
Hierro forjado ó colado sobre encina, sin unto.	0'62	0'50
Id. id. id. con sebo ó grasa.	0'62	0'20
Id. id. id. mojado de agua.	0'63	0'26
Id. colado ó forjado sobre hierro colado, sin unto.	0'16	0'10
Id. id. id. con acei- te ó grasa.	0'12	0'08
Hierro colado, hierro forjado, encina, olmo, gua- yaco, bronce, resbalando uno sobre otro, con sebo, grasa, aceite, etc.	0'15	0'10
Correa sobre polea de hierro colado bien pulida, sin unto.	0'28	0'25
Correa sobre polea de hierro colado en bruto, sin unto.	0'34	0'34
Correa sobre un tambor de encina, sin unto.	0'47	0'27
Cuero de buey para el émbolo sobre hierro colado, mojado de agua.	0'62	0'36
Cuero de buey para el émbolo sobre hierro colado, con aceite ó sebo.	0'15	0'12
Cuerda de cáñamo sobre encina, sin unto.	0'80	0'52

Esta tabla en sus dos columnas de la derecha da los coeficientes del rozamiento ó frotamiento para las materias que se indican independientemente de la extension de las superficies en contacto. En la última columna se hallan los coeficientes para cuando las superficies están en movimiento, y en la anterior para cuando empieza, esto

es, para cuando las superficies han permanecido en contacto por algun tiempo.

Conocida la presion que ejerce un cuerpo sobre otro, se hallará el esfuerzo necesario para vencer el rozamiento multiplicando el peso ó presion por el coeficiente respectivo de la tabla, y si se quiere determinar el trabajo debido al rozamiento, se multiplicará el esfuerzo hallado por la velocidad del cuerpo por segundo.

Ejemplos: Hallar el esfuerzo necesario para vencer el rozamiento de una tabla de encina que ha de resbalar en unas ranuras de la misma materia sufriendo una presion por el agua, cuyo paso impide, de 400 kilogramos.

El coeficiente para la encina sobre encina mojada de agua despues de algun tiempo de contacto es 0'71 y el que corresponde para cuando está en movimiento es 0'25. Luego se tendrá, que el esfuerzo al principiar el movimiento estará expresado por $400 \times 0'71 = 284$ kg., y cuando este haya comenzado será $400 \times 0'25 = 100$ kg. Es decir, que para vencer el rozamiento será preciso emplear un esfuerzo de 284 kg. al principio, y solo de 100 kg. mientras dure el movimiento.

Suponiendo que la velocidad fuese de 0'30 resultaria para el principio $284 \times 0'30 = 85'2$ kilográmetros de trabajo, y para cuando hubiese empezado el movimiento $100 \times 0'30 = 30$ kilográmetros.

Determinar el trabajo absorbido por el frotamiento de un bastidor horizontal de hierro colado, contra un canal del mismo metal, suponiendo su peso de 65 kg. y que en un minuto recorre 120 veces un curso de 0'75 metros, y que el unto es de aceite ó grasa.

El coeficiente que corresponde al hierro colado sobre el mismo, segun la tabla es de 0'12 despues de algun tiempo de contacto, y 0'08 durante el movimiento, y se ten-

drá para empezar la marcha que el esfuerzo será $65 \times 0'12 = 7'8$ kg. y durante el movimiento $65 \times 0'08 = 5'2$ kg.

Para hallar la cantidad de trabajo se determina la velocidad del bastidor, que es $0'75 \times 120 \div 60 = 1'5$ m. Es decir, que la velocidad por segundo corresponderá á 1'5 metros y para el trabajo dará $5'2 \times 1'5 = 7'8$ kilográmetros mientras dure el movimiento, siendo al principiar de $7'8 \times 1'5 = 11'7$ kilográmetros.

ROZAMIENTO DE LOS MUÑONES CON SUS APOYOS. Los árboles ó ejes destinados á la transmision del movimiento en que se hallan montadas las ruedas, tambores, etc., son de seccion circular ó poligonal, y están provistos de trecho en trecho, y en sus extremos, de unas partes cilíndricas de menor diámetro, que constituyen los muñones (*tourillons*), los cuales ensamblan ó descansan sobre apoyos en forma de cilindros huecos que se llaman apoyos ó cojinetes (*coussinets*). Cuando la máquina está en marcha el rozamiento de los muñones con los apoyos absorbe una parte del trabajo transmitido, y por esto se han determinado por repetidas experiencias los coeficientes que proporcionan la relacion del frotamiento á la presion en este caso particular del rozamiento por rotacion.

El rozamiento por rotacion es menor que el de frotacion, como se ha indicado antes, y disminuye de un modo notable con la clase de unto que se emplea y renovándolo sin cesar. Por esta razon damos la siguiente tabla, que servirá para calcular la pérdida de trabajo en los casos que ocurren con mas frecuencia en la práctica.

TABLA DE LOS COEFICIENTES QUE DAN LA RELACION DEL ROZAMIENTO Á LA PRESION DE LOS MUÑONES Ó EJES CON SUS APOYOS Ó COJINETES.

	Si el unto se renueva como de ordinario.	Si el unto es sin cesar renovado.
Muñones de hierro forjado sobre cojinetes de bronce, con unto de aceite, grasa, sebo, etc.	0'075	0'054
Id. de bronce sobre bronce, con id.	0'097	0'078
Id. de id. sobre hierro colado, con id.	0'070	0'048
Id. de hierro forjado sobre hierro colado, con id.	0'075	0'054
Id. de id. sobre guayaco, con id.	0'125	0'095
Id. de hierro colado sobre hierro colado, con id.	0'075	0'054
Id. id. id. sobre bronce, con id.	0'075	0'054
Id. id. id. sobre guayaco, con id.	0'100	0'090
Id. id. id. sobre hierro colado ó forjado mojado en agua, con id.	0'140	>

Para calcular la pérdida de trabajo ocasionada por el rozamiento de los muñones en sus apoyos se multiplicará la carga ó presión real por el coeficiente de la tabla y el resultado por la velocidad.

Ejemplos: 1.º Hallar el trabajo absorbido por los muñones de un volante que da 30 vueltas por minuto, cuyo peso es de 5000 kg., sus muñones de hierro forjado tienen 0'15 m. de diámetro, los cojinetes son de bronce y el unto es renovado sin cesar.

El coeficiente del rozamiento es, según la tabla anterior, 0'054, y el rozamiento debido á la presión dará $5000 \times 0'054 = 270$ kg.

La velocidad por segundo á la circunferencia del muñon será $3'1416 \times 0'15 \times 30 \div 60 = 0'23562$ metros.

El trabajo absorbido por el frotamiento $= 270 \times 0'23562 = 63'6174$ kilográmetros. Es decir, de $63 \frac{1}{2}$ kilográmetros próximamente.

2.º Determinar el trabajo absorbido por el frotamiento de los muñones en una rueda hidráulica que pesa 35,000 kg., da 5 vueltas por minuto, gira en muñones de hierro colado de 0'14 m. de diámetro sobre apoyos del mismo metal, y el unto es renovado como de ordinario.

El coeficiente que corresponde al hierro colado mojado en agua es según la tabla 0'140, y el rozamiento debido á la presión será $= 35000 \times 0'140 = 4900$ kg.

La velocidad á la circunferencia del muñon $= 3'1416 \times 0'14 \times 5 \div 60 = 0'036652$ m.

El trabajo absorbido dará $4900 \times 0'036652 = 179'59$ kilográmetros; esto es, 179 kilográmetros 59 centésimos próximamente.

ROZAMIENTO DEL ESPIGON CONTRA LA RANGUA. Los ejes y árboles verticales terminan en su parte inferior por una espiga cilíndrica llamada quicio ó espigon (*pivot*), la cual descansa y gira en el hueco de otra pieza que se llama rangua (*crapaudine*), y su rozamiento absorbe naturalmente una parte del trabajo.

El trabajo absorbido en cada revolución del eje se hallará por la fórmula $T = c \times P \times \frac{4}{3} \times \pi \times r$, porque el rozamiento total del quicio debe considerarse concentrado en la circunferencia de círculo descrita á los dos tercios de su radio. Pero sustituyendo el valor 3'1416 en lugar de π y simplificando lo posible con el quebrado $\frac{4}{3}$, la fórmula se reduce á $T = 4'1888 \times P \times r \times c$, siendo T el trabajo en kilográmetros, P el peso ó presión en kilóg., r el radio en metros y c el coeficiente del rozamiento por fricción.

Ejemplo: Hallar la pérdida de trabajo correspondiente á cada revolución de un eje vertical sometido á una presión de 2500 kg., cuyo quicio de hierro forjado tiene 3

centímetros de radio y descansa en una rangua de bronce.

El coeficiente de frotacion para este caso es segun la tabla (pág. 139) de 0'10, y la fórmula dará:

$$T=4'1888 \times 2500 \times 0'03 \times 0'10 = 31'416 \text{ kilogr mets.}$$

De modo, que en cada revolucion del eje   árbol vertical se pierde un trabajo expresado por 31 kilográmetros 416 milésimos de otro.

Si se supone que el árbol da 50 revoluciones por minuto y se quiere determinar el trabajo absorbido por segundo, multipliquese el resultado hallado por 50 y dividase el producto por 60, y tendrémos:

$$\text{Trabajo por segundo} = 31'416 \times 50 \div 60 = 26'18 \text{ km.}$$

Pero si representamos por n el número de vueltas que da el eje por minuto, y modificamos la fórmula con el fin de obtener desde luego el trabajo absorbido por segundo, hechas las simplificaciones convenientes resultará:

$$T=0'06981 \times P \times r \times n \times c.$$

Esta fórmula dará inmediatamente el trabajo absorbido en un segundo por el rozamiento de un quicio   espigon de radio r , sometido   una presión P y dando n vueltas por minuto.

En las fórmulas anteriores se ve que el radio entra como factor, y por esto se dice que cuanto mayor es el radio de un espigon tanto mayor es el rozamiento y en consecuencia el trabajo perdido. Por esto es ventajoso disminuir el radio del espigon en cuanto sea posible, cuyo límite indicará la condicion de solidez   resistencia del mismo.   este objeto se termina generalmente el espigon en forma c nica   esférica, y en este caso para calcular el rozamiento

debe tomarse por r el radio del círculo en que se verifica el contacto.

Cuando el eje está fijo y no forma cuerpo con la rueda, como sucede en los carruajes, el radio del rozamiento es siempre mayor, porque en tal caso no debe considerarse el del eje   muón, sino el que corresponde al ojo de la rueda en que entra. De cuya observacion resulta, que la ventaja está en favor de los ejes fijos en las ruedas.

Hemos visto que la longitud del muón   del quicio no entra para nada en las fórmulas propuestas, y esto nos dice que cualquiera que sea dicha longitud el roce   frotamiento no varia.

Cuando un eje está sujeto   oscilaciones de corta extension, como en la balanza y en otras máquinas, se le da la forma de una cuña cuyo corte descansa sobre apoyos de acero   ágata, y en tal disposicion el rozamiento viene á ser c si nulo.

Los émbolos ejercen su tanto de rozamiento en el interior del cilindro   del cuerpo de bomba, y por esto ponemos   continuacion una fórmula que da á conocer la resistencia del rozamiento en kilógramos, producido por un émbolo contra las paredes del cilindro en que se mueve. Pero debe observarse que la resistencia debida al rozamiento depende naturalmente del grado de bru idez del cilindro, y cualquiera que sea la materia con que se cubra el émbolo, aquella resistencia será proporcional á su diámetro y   la carga   presión que sufra, y la fórmula será: $R=d \times p \times c$ en la que R representa la resistencia del rozamiento en kilógramos, d el diámetro del émbolo en metros, p la carga   presión que sufre, y c un coeficiente variable segun la materia y el grado de bru idez del cilindro. Los valores del coeficiente c son como sigue:

