Para los cilindros de cobre ó laton bien bruñidos 7 kg.
Para los de hierro colado poco pulidos. . . . 15 »
Para los de madera bien lisa. . . . . 25 »
Para los de madera gastada por el uso. . . . 50 »

En el cálculo de las máquinas no siempre debe tenerse en cuenta el rozamiento de los dientes, pues en algunos casos se reduce cási á la nulidad. Si los rádios de dos ruedas que engranan son próximamente iguales, la parte curva de los dientes de la primera es cási igual al flanco ó parte recta de los de la segunda, y estas dos partes ruedan la una sobre la otra sin resbalar en ningun caso, y por esto el rozamiento que ofrecen es el de rotacion que por ser muy poco sensible puede prescindirse de él. Al contrario, si se trata de las alas que levantan un gran martillo, martinete ó pilon, entonces el rozamiento es mas considerable, en razon de que un punto del ala de la rueda resbala en una extension mas ó menos grande de la parte que hace subir ó bajar.

Entre los dos casos que acabamos de considerar hay muchos otros intermedios en que los dientes de una rueda contra los de la otra participan mas ó menos del rozamiento por frotacion ó por rotacion, segun el diámetro de la rueda conducida, sea mayor ó menor que el de la que conduce.

El frotamiento de los dientes no podrá considerarse, por lo que se acaba de indicar, como el de las superficies planas ni como el de los ejes, y para calcularlo se podrá emplear la siguiente fórmula:

$$T = c \times \pi \times p \times \frac{n+n'}{n \times n'} \times v$$

en la cual T expresa el trabajo debido al rozamiento de

los dientes de dos ruedas en kilográmetros, c el coeficiente de frotacion, p la fuerza transmitida en kilógramos, n y n' el número de los dientes de las dos ruedas, y v la velocidad comun á ellas.

Ejemplo: Hallar el trabajo absorbido por el rozamiento de una rueda y un piñon de hierro colado con el unto conveniente, transmitiendo un esfuerzo de 240 kg. con una velocidad de 2'10 m. por segundo, y siendo 180 los dientes de la rueda y 45 los del piñon. Sustituyendo en la fórmula se tendrá:

$$T = 0'08 \times 3'1416 \times 240 \times \frac{180+45}{180 \times 45} \times 2'10 = 3'518 \text{km.}$$

Es decir, que el trabajo absorbido será de 3 kilográmetros y 518 milésimos.

Cuando dos superficies giran ó ruedan la una sobre la otra, sus partes se separan entre sí en la direccion del movimiento ó de la tangente comun, y en este caso puede decirse que no existe rozamiento ó que en caso de existir es tan pequeño que puede despreciarse.

Si se hace rodar un cilindro sobre un plano fijo, se verifica el movimiento como si la superficie del cilindro se desarrollara sobre el plano, y suponiendo el cilindro bien pulido y la superficie del plano muy unida, el rozamiento no tendrá valor apreciable. No obstante, si una rueda de 60 á 70 centímetros de diámetro gira sobre un plano con una carga de 100 kg., el rozamiento á que da lugar no excede del treinta avo de la presion; pero esta resistencia aumenta con la desigualdad de la superficie. Por esta razon se emplean los rodillos para disminuir la resistencia de los grandes pesos al ser trasladados de un punto á otro sobre un plano.

Rigidez de las cuerdas. En todo lo dicho hasta aquí se ha supuesto que las cuerdas son perfectamente flexibles, y esto no se verifica nunca, pues para hacer que una cuerda se doble y aplique exactamente al cilindro ó rueda de un torno, al carril ó cajera de una polea, etc., se necesita cierta presion ó grado de fuerza que debe tenerse en consideracion, y esto constituye lo que se llama rigidez de las cuerdas. Esta rigidez proviene del modo como se forman las cuerdas, y segun sea la naturaleza del bramante, el número de los que compongan un ramal ó hijuela, y el número de ramales de que conste la cuerda, maroma ó cable, resulta mas ó menos gruesa, y por la direccion encontrada en que se tuercen los hilos ofrece mas ó menos resistencia á ser plegada, y esto constituye su verdadera rigidez.

Cuando una cuerda se arrolla á una polea ó cilindro, la parte á que corresponde la resistencia ó cuerpo que se trata de mover tiende á separarse de la direccion de esta fuerza, y el rádio ó brazo de palanca correspondiente aumenta con el grueso de la cuerda y por la resistencia que opone á ser arrollada. Al contrario, la parte en que se aplica la potencia queda perfectamente ajustada en la direccion de esta misma fuerza por la tendencia natural de la cuerda á favorecer el desarrollo de ella.

La resistencia debida á la rigidez de las cuerdas, segun Coulomb, es proporcional á su diámetro y á la intensidad modificada de la fuerza correspondiente á la parte en que se arrolla, y la misma rigidez disminuye á medida que aumenta el diámetro de la polea ó cilindro en que se plega.

En la cuerda de una máquina debe tenerse en cuenta la tension natural que presenta, debida únicamente á la que corresponde á cada uno de los bramantes ó hilos de que está compuesta. Esta tension debe, por lo mismo, ser

considerada como natural é independiente del esfuerzo que hace la misma cuerda.

Para obtener el exceso de fuerza correspondiente á la rigidez de una cuerda blanca ordinaria, se empleará la fórmula siguiente: $R=\frac{1}{D}\times(r+kP)\times\left(\frac{d'}{d}\right)^m$. siendo R el aumento de fuerza debido á la rigidez, D el diámetro de la rueda ó cilindro en que se arrolla la cuerda, r la rigidez constante dada por la tabla, k la rigidez por cada kilógramo de carga, que tambien da la tabla, P el esfuerzo en kilógramos, d' el diámetro de la cuerda en metros, y d el diámetro correspondiente de la misma tabla. El exponente m valdrá 2 para las cuerdas nuevas y gruesas, 1 ½ para las que sean medio usadas y 1 para el bramante ó cuerdas delgadas y muy flexibles.

Si las cuerdas son embreadas, su rigidez es proporcional al número de hilos de que se componen, y el exponente no varia, por cuya razon la fórmula $R=\frac{1}{D}\times(r+kP)\times\frac{n'}{n}$ expresará el esfuerzo debido á la rigidez de estas cuerdas; representando por n' el número de bramantes ó hilos de acarreto de que se forman, y n el que corresponde á la cuerda de la tabla con la que se comparan.

Tambien se observa que la velocidad en el movimiento aumenta la rigidez; pero este aumento es poco sensible, y no merece ser tomado en consideracion para los casos que comunmente se ofrecen en la práctica.

De los repetidos experimentos hechos por Coulomb se ha formado la siguiente

TABLA DE LOS PESOS NECESARIOS PARA PLEGAR DIFERENTES CUERDAS EN UN ÁRBOL CILÍNDRICO DE UN METRO DE DIÁMETRO.

CLASE DE CUERDAS.	Peso de las cuerdas por cada metro de longitud.	Diámetro de la cuerda *d*.	Rigidez constante. *r*.	Rigidez por cada kg. de carga *k*.
	Kilóg.	Metros.	Kilóg.	Kilóg.
Cuerda blanca de 30 hilos de acarreto.	0'2834	0'0200	0'2225	0'00974
Id. id. de 15 id. de id. .	0'1448	0'0144	0'0635	0'00552
Id. id. de 6 id. de id. .	0'0522	0'0088	0'0106	0'00238
Cuerda embreada de 30 hilos de acarreto.	0'3326	0'0236	0'3496	0'01255
Id. id. de 15 id. de id. .	0'1632	0'0168	0'1059	0'00606
Id. id. de 6 id. de id. .	0'0693	0'0096	0'2121	0'00260

Es de advertir que las cuerdas blancas empapadas en agua ofrecen mayor rigidez que las secas, especialmente si son gruesas.

Para manifestar el uso de esta tabla nos propondrémos la resolucion de los siguientes ejemplos:

1.° Calcular el exceso de fuerza que ocasiona la rigidez de una cuerda nueva cuyo diámetro es de 4 céntimetros que se arrolla en un cilindro de 50 centímetros de diámetro subiendo un peso de 4000 kg.

Comparando esta cuerda con la primera de la tabla, tendrémos: $d=0'0200$, $d'=0'04$, $D=0'50$, $P=4000$ kg., $r=0'2225$, $k=0'00974$, $m=2$ por ser una cuerda nueva, y la fórmula dará:

$$R=\frac{1}{0'50}\times(0'2225+0'00974\times 4000)\times\left(\frac{0'04}{0'02}\right)^2=313'46\text{ kg.}$$

Es decir, que la resistencia debida á la rigidez ocasionará un exceso de fuerza al plegarla equivalente á 313 kilógramos próximamente.

2.° Hallar la rigidez de un cable de 125 hilos de acarreto que arrastra un peso de 3500 kg. arrollándose en un cilindro de 55 centímetros de diámetro.

Como el cable es una cuerda embreada, se tomarán los números correspondientes á la línea 4.ª de la tabla, y se tendrá: $D=0'55$ m., $r=0'3496$, $k=0'01255$, $P=3500$, $n=125$ hilos, y $n'=30$ hilos de la tabla.

La fórmula dará:

$$R=\frac{1}{0'55}\times(0'3496+0'01255\times 3500)\times\frac{125}{30}=335\text{ kg.}$$

De manera, que la rigidez correspondiente al cable en cuestion será de 335 kg. próximamente.

En la tabla hemos puesto tambien el peso correspondiente á cada metro de la respectiva cuerda con el fin de que se pueda calcular el peso total cuando se conozca su longitud.

La fuerza ó resistencia de las cuerdas depende de la calidad del cáñamo y de las circunstancias de su fabricacion. Pero en los casos mas comunes se puede admitir, que la tension necesaria para romper una cuerda blanca nueva de 8 centímetros de circunferencia es de dos á tres mil kilógramos; y como de las muchas experiencias hechas se deduce, que la resistencia á la traccion es proporcional al cuadrado de su diámetro y que aumenta con su peso y por el número de hilos de acarreto de que se compone, tendrémos que la fuerza necesaria para romper una cuerda vendrá representada por la fórmula $f=386\times d^2$ siendo f el número de kilógramos con que se debe cargar para la ruptura y d el diámetro de la cuerda expresado en centímetros.

Segun Coulomb una cuerda no debe cargarse sino á razon de 40 kg. por hilo de acarreto aunque pueda resistir sin romperse de 50 á 60 kg. Las cuerdas mojadas pierden cerca de la tercera parte de su fuerza; y en cuanto á las cuerdas embreadas su resistencia es proporcional á su diámetro, pero como la brea las debilita, esta resistencia, á igualdad de diámetro, es de los dos tercios á los tres cuartos de la que corresponde á las cuerdas blancas.

El peso de una cuerda se halla por la fórmula . . . . $p=0'00826 \times c^2$ kg. siendo p el peso en kilógramos por cada metro y c el valor de su circunferencia en centímetros.

Ejemplo: Hállese el peso de un metro de una cuerda cuyo diámetro es de 2 centímetros.

La circunferencia será$=3'1416\times2=6'2832$ cents. y la fórmula dará $p=0'00826\times(6'2832)^2=0'326$ kg. Es decir, que cada metro de esta cuerda pesará por término medio 326 gramos.

RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.

Cuando un cuerpo está sometido á una fuerza cualquiera que obra en algun punto de su exterior puede sufrir alteraciones mas ó menos notables segun sea la naturaleza y homogeneidad del cuerpo, la intensidad de la fuerza, su direccion y el punto en que esté aplicada.

La resistencia de las piezas á la ruptura y la que ofrecen naturalmente sin sufrir alteracion segun el esfuerzo á que se hallan sometidas, es uno de los problemas mas difíciles de la mecánica en razon de la poca homogeneidad que se nota en los cuerpos de la misma naturaleza.

Para determinar el límite de los esfuerzos á que pueden someterse las piezas sin alterar su solidez, se han hecho por los físicos repetidos experimentos, por cuyo medio han obtenido coeficientes numéricos que aplicados á ciertas fórmulas dan para cada caso particular el resultado que por término medio puede adoptarse sin que se separe notablemente de la exactitud.

El esfuerzo á que puede someterse un cuerpo es de cuatro clases: 1.ª *El esfuerzo de traccion* que obra tirando en sentidos opuestos y tiende á separar las moléculas. 2.ª *El esfuerzo de compresion* que tiende á descomponer y aplastar el cuerpo. 3.ª *El esfuerzo de flexion* que obra perpendicularmente á la longitud para doblar ó romper la pieza; y 4.ª *el esfuerzo de torsion* que tiende á descomponer un cuerpo torciéndolo.

Tratarémos de cada una de las cuatro clases de esfuerzo á que pueden estar sometidas las piezas, advirtiendo que en todas las fórmulas, tablas y cálculos nos propondrémos averiguar el máximo de la resistencia á que podrán ser sujetadas sin romperse ni sufrir alteracion.

Cuando el efecto de las fuerzas se reduce á alterar en algun modo la constitucion física de los cuerpos alargándolos ó acortándolos de una pequeña cantidad, la resistencia que oponen toma el nombre de resistencia elástica. Esta resistencia dará el medio de calcular la cantidad en que una pieza puede comprimirse, alargarse, doblarse ó torcerse.

La experiencia prueba que dentro de los límites en que la elasticidad no es alterada, la resistencia que un cuerpo opone á la traccion es proporcional á la superficie de su seccion transversal y á la cantidad que se alarga por cada unidad lineal.

Representando por E la carga necesaria para alargar de un metro un cubo de un metro de lado, admitiendo que esto pueda realizarse físicamente; por P la carga ne-