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 he-

cho 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 necesaria para dilatarlo de una magnitud l, se tendrá la siguiente fórmula: $P=E\times S\times\frac{l}{L}$ en la que S representa la superficie de la seccion transversal y L la longitud total de la pieza. Esta misma fórmula servirá para cuando el cuerpo esté sometido á la compresion y el esfuerzo no pueda doblar la pieza en sentido lateral: el valor de E será el mismo para ambos casos. Este valor se llama *coeficiente de elasticidad* y se ha determinado por cálculo tomando por base las pequeñas dilataciones producidas por esfuerzos dados y aplicados á prismas de dimensiones conocidas. La observacion directa no podrá conducirnos á esta determinacion á causa de la pequeñez de las cantidades en que se alargan ó acortan generalmente los cuerpos sólidos.

Algunos físicos dan para E los valores que se continúan, y que deberán servir siempre que se haga uso de la fórmula anterior.

Materias.	Coeficientes de elasticidad
Encina.	1,200.000,000
Abeto amarillo ó blanco.	1,300.000,000
Abeto rojo ó pino.	1,530.000,000
Hierro forjado.	20,000.000,000
Hierro colado.	11,000.000,000

Sustituyendo estos valores en la fórmula anterior, podrémos determinar cada una de las cuatro cantidades P, S, l y L cuando se conozcan las otras tres.

La cantidad que relativamente á su longitud se alargará una pieza dada, se expresa por la ecuacion: $l=\frac{P\times L}{E\times S}$.

Teniendo presente que P es la carga necesaria para producir el alargamiento l; L la longitud total de la pieza en metros; E el coeficiente de la elasticidad tomado en la última tabla, y S la superficie de la seccion transversal en metros cuadrados.

Resistencia á la traccion. La resistencia á la traccion es producida por la cohesion directa de la materia que se opone constantemente al rompimiento y separacion de las fibras en el sentido de su longitud; de que se sigue, que el esfuerzo de traccion y la cohesion directa son dos fuerzas directamente opuestas.

La resistencia de un cuerpo á la traccion es proporcional á la superficie de su seccion transversal, pero independiente de la longitud de la pieza.

El esfuerzo de traccion á que puede someterse un cuerpo con seguridad, se ha determinado por una série no interrumpida de experimentos averiguando la resistencia que ofrece la materia por cada centímetro cuadrado de su seccion transversal; y con los resultados obtenidos se ha formado la siguiente tabla:

TABLA DE LOS COEFICIENTES DE TRACCION Y COMPRESION CORRESPONDIENTES Á LOS CUERPOS DE USO MAS COMUN.

DESIGNACION DE LOS CUERPOS.		Coeficientes de traccion. Kg.	Coeficientes de compresion para cuando la longitud es menor que 12 veces el grueso. Kg.
Piedras.	Mármol muy duro.	»	100
	Id. blanco.	»	30
	Ladrillo muy duro.	2	15
	Id. ordinario.	»	4
	Yeso.	»	6
	Buen mortero de 18 meses.	»	4
	Mortero ordinario de id.	»	2'50
	Piedra calcárea dura.	»	50
	Granito duro.	»	70
	Id. ordinario.	»	40
Cuerdas y correas.	Cuerda de cáñamo seca.	325	»
	Id. embreada.	95	»
	Correa de cuero negro.	25	»
Maderas.	Encina fuerte.	80	30
	Id. floja.	60	19
	Abeto fuerte.	80	37'50
	Id. flojo.	80	10
	Fresno.	120	»
Metales.	Hierro forjado de pequeña dimension y alambre, primera calidad.	1000	1000
	Hierro forjado de ordinaria dimension.	650	»
	Id. id. de gran dimension.	400	»
	Cadena de eslabon largo.	400	»
	Id. de eslabon reforzado.	523	»
	Cuerda de alambre.	500	»
	Tiras de hierro dulce.	750	»
	Acero del mejor.	1500	»
	Id. del peor.	600	»
	Plancha en el sentido de sus láminas.	700	»
	Id. en sentido perpendicular á id.	600	»
	Bronce, en tubos.	383	»
	Hilo de cobre no recocido hasta un milímetro de diámetro.	1167	»
	Id. de 1 á 2 milimetros.	833	»
	Cobre rojo laminado.	350	»
	Id. fundido.	230	»
	Hierro colado, sin choque.	220	2000
	Zinc laminado.	83	»
	Plomo laminado.	22	»
	Estaño fundido.	50	»

Los coeficientes continuados en la precedente tabla expresan el número de kilógramos con que se puede cargar una pieza con seguridad por cada centímetro cuadrado de su seccion transversal; pero para obtener el esfuerzo capaz de producir la ruptura es preciso multiplicar los coeficientes de traccion por 10 si corresponden á las piedras, por 5 si se refieren á las maderas, y por 6 si son de los metales.

Para determinar la resistencia de una pieza á la traccion hállese la superficie de su seccion transversal expresada en centímetros cuadrados, y multiplíquese por el coeficiente de la tabla correspondiente á su naturaleza.

Ejemplos: Calcular la fuerza de traccion que ofrece un tirante de encina fuerte cuya seccion rectangular tiene 20 centímetros de ancho y 16 de grueso.

El coeficiente será segun la tabla 80 kg.

La superficie de la seccion$=20\times16=320$ centímetros cuadrados.

La resistencia$=320\times80$ kg.$=25,600$ kilógramos.

Es decir, que la citada pieza podrá resistir sin ser alterada un esfuerzo de 25,600 kg. tirando en el sentido de su longitud. Pero para obtener el esfuerzo que determina la ruptura debe multiplicarse el resultado hallado por 5.

Hallar el peso que podrá sostener una varilla cilíndrica de hierro forjado, sin ser alterada, siendo su diámetro de 3 centímetros.

El coeficiente, segun la tabla, es de 650 kg.

La superficie de la seccion$=0'7854\times(3)^2=7'0686$ centímetros cuadrados.

El peso será: $7'0686\times650=4594'59$ kilógramos.

De modo, que la varilla citada podrá sostener sin alteracion particular 4595 kilógramos próximamente, y para la ruptura se multiplicará este resultado por 6.

Para determinar la seccion transversal de una pieza, conociendo el esfuerzo á la traccion que debe suportar, se dividirá el esfuerzo dado por el coeficiente de la tabla.

Ejemplos: Hallar la seccion transversal correspondiente á una barra de hierro forjado que debe resistir sin alterarse un esfuerzo á la traccion de 9750 kg.

El coeficiente será 650 kg.

La superficie de la seccion$=9750 \diagdown 650=15$ cents. cuadrados.

Si la seccion ha de ser rectangular con 3 centímetros de grueso tendrá 5 cents. de ancho.

Si la seccion debe ser cuadrada su lado será: . . . .
$\sqrt{15}=3'873$ cent.

Si la pieza fuese cilíndrica su diámetro daria: . . . .
$\sqrt{15 \diagdown 0{\cdot}7854}=\sqrt{19{\cdot}0983}=4'37$ centímetros.

Sabiendo que la tapa de un cilindro de vapor sufre una presion de 17,000 kg., se desea saber cuál será el diámetro de cada uno de los cuatro pernos que la sujetan:

Á cada perno corresponde $17,000 \diagdown 4=4250$ kg.

La superficie de la seccion será: $4250 \diagdown 650=6'5384$ cents. cuadrados.

El diámetro del perno$=\sqrt{6'5384 \diagdown 0{\cdot}7854}=\sqrt{8'325}=2'88$ cents.

De modo, que el diámetro de cada perno deberá tener 2 centímetros y 88 centésimos.

Resistencia á la compresion. La resistencia á la compresion es proporcional á la superficie de la seccion transversal, pero disminuye á medida que la longitud de la pieza aumenta con relacion á la mas pequeña dimension de la base. Por esto en la última columna de la tabla anterior se han puesto los coeficientes de compresion suponiendo que la longitud de la pieza no excede á doce veces

el lado menor de su base, y en la que continuamos se expresan los que corresponden á mayores longitudes.

TABLA DE LOS COEFICIENTES DE COMPRESION MODIFICADOS SEGUN LA LONGITUD DE LAS PIEZAS CON RELACION Á LA MAS PEQUEÑA DIMENSION TRANSVERSAL.

DESIGNACION DE LOS CUERPOS.	Si la longitud de la pieza es con relacion á su grueso.			
	12 veces.	24 veces.	48 veces.	60 veces.
	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
Encina fuerte.. . . . . . . ,	25	15	5	2'5
Id. floja..	8'4	5'6	»	»
Abeto fuerte.	31	18'7	7'5	»
Id. flojo..	8'2	4'9	»	»
Hierro forjado de dimension reducida.	835	500	167	84
Hierro colado..	1670	1000	333	167

Para determinar el peso que podrá sostener una pieza sometida al esfuerzo de compresion, se multiplica la superficie de su seccion transversal, expresada en centímetros cuadrados, por el coeficiente de la tabla modificado segun la longitud de la pieza.

Ejemplos: Cuál será el peso que podrá sostener sin ser alterada una columna cilíndrica de hierro colado que tiene 9 cents. de diámetro y su longitud no excede de 24 veces este diámetro.

El coeficiente en la tabla anterior es 1000 kg.

La superficie de la seccion$=0'7854\times(9)^2=63'6174$ cents. cuadrados.

El esfuerzo$=63'6174\times1000=63617'4$ kg.

De modo, que la columna en cuestion, siendo maciza, podrá sostener con seguridad una carga de 63,617 kilógramos próximamente.

Hallar la carga que puede suportar, sin ser alterada, una pilastra de abeto fuerte cuya seccion transversal tiene 25 cents. de ancho y 20 de grueso, siendo su altura muy cerca de 48 veces la menor dimension.

El coeficiente en la tabla última da 7'5 kg.

La superficie de la seccion $= 25 \times 20 = 500$ cents. cuadrados.

El esfuerzo ó carga $= 500 \times 7'5 = 3750$ kg.

Es decir, que podrá sostener con seguridad una carga de 3750 kilógramos.

Para determinar la carga que descompone ó aplasta los cuerpos sometidos á la compresion deben multiplicarse los coeficientes respectivos por 10 si son piedras, por 5 si son maderas, y por 4 si se trata de metales.

Cuando se conoce la carga que debe soportar una pieza sometida á la compresion *se determina la superficie de su seccion transversal dividiendo la total carga por el coeficiente modificado que da la tabla.*

Ejemplos: Hallar el diámetro que debe tener una columna maciza de hierro colado cuya longitud no puede exceder de 48 veces su grueso, sabiendo que debe sostener una carga de 21,312 kg.

El coeficiente segun la tabla es de 333 kg.

La superficie de la seccion $= 21{,}312 \backslash 333 = 64$ centésimos cuadrados.

El diámetro $= \sqrt{64 \backslash 0'7854} = \sqrt{81'49} = 9'03$ cents.

Es decir, que el diámetro será de 9 centímetros próximamente.

Si la seccion fuese cuadrada el lado seria $= \sqrt{64} = 8$ centésimos.

Calcular la seccion transversal de una columna de hierro colado que debe sostener un peso de 21,185 kg. siendo su altura de 4'32 ms.

Si la relacion del diámetro á la altura es de 1 á 48, el coeficiente será segun la tabla, 333 kg.

La superficie de la seccion $= 21{,}185 \backslash 333 = 63'618$ cents. cuadrados.

El diámetro dará : $D = \sqrt{\dfrac{63'618}{0'7854}} = \sqrt{81} = 9$ cents.

Esta columna pesará: $0'7854 \times (0'9)^2 \times 43'2 \times 7'207 =$ 198 kilógramos. Es decir, que el peso de la columna en cuestion será de 198 kg. próximamente.

Si en lugar de una columna maciza se adopta una de hueca con 18 cents. de diámetro para sostener la misma carga, se logrará disminuir notablemente el peso que ha resultado para aquella.

En efecto, siendo el diámetro doble del anterior corresponderá al veinte y cuatro avo de la altura, y el coeficiente en vez de 333, será 1000 segun la tabla.

Para la superficie de la seccion dará $21{,}185 \backslash 1000 = 21'185$ cent. cuadrados.

La seccion de la columna hueca $= 0'7854 \times (18)^2 = 254'470$ cents. cuadrados.

Si de la seccion total 254'470 cents. cuadrados se rebaja la que corresponde á la parte maciza, que es 21'185 cents. cuadrados resultará la superficie de la seccion en la parte hueca. Así, $254'470 - 21'185 = 233'285$ cents. cuadrados será la parte hueca, para cuyo diámetro se tiene : $d = \sqrt{\dfrac{233'285}{0'7854}} = 17$ cents. próximamente.

De modo, que siendo el diámetro total de 18 cent. y el de la parte hueca de 17 cent., resulta que el grueso de la parte llena en la columna bastará que sea de un centímetro. En este caso su peso será :

$$\text{Peso}=021'185 \times 432 \times 7'207 \setminus 1000 = 65'958 \text{ kg.}$$

Este peso de cerca 66 kilógramos, comparado con el de 198 kg. deducido para la columna maciza, es cási la tercera parte, y sin embargo, la columna hueca producirá el mismo efecto en cuanto á resistir la presion dada, y estará menos sujeta á doblarse en razon de su mayor diámetro.

En este cálculo no se ha tenido en consideracion el aumento de diámetro hácia la base de la columna, ni las molduras que le sirven de adorno, por lo que puede añadirse al peso una décima parte del que ha dado el cálculo.

Paredes. Las paredes están sujetas á la presion y muchas veces al empuje lateral. Por esta razon debe procurarse que su peso quede bien repartido entre los puntos de su base, que la vertical de su centro de gravedad caiga dentro de la misma, y que el terreno sobre que descansan sea compacto y no se deje comprimir. La profundidad y espesor de los cimientos, y el hallarse en terreno resistente asegura la estabilidad de las paredes.

El grueso de los cimientos excede por lo general de un sexto á una mitad al espesor de las paredes, y en muchos casos para asegurar mejor la estabilidad de estas se les da un lijero taluz de 16 á 20 milésimos de su altura.

La resistencia de una pared disminuye á medida que aumenta su elevacion, porque el esfuerzo á que debe resistir es el de las vigas y cuchillos de armadura que obra en sentido lateral, regularmente de dentro á fuera; de donde resulta, que el grueso ó espesor de las paredes dependerá de la altura que se les quiera dar.

Segun Rondelet, para determinar el grueso ó espesor mínimo que debe darse á las paredes de piedra, de mampostería ó de ladrillo, ó en los edificios ordinarios, deben usarse las siguientes fórmulas:

Pared de fachada para edificios simples ó de una sola crujía. $E=\dfrac{D+\frac{1}{2}A}{24}$.

Pared de distribucion interior $E=\dfrac{d+\frac{1}{2}a}{36}$.

Pared de fachada para edificios de doble crujía $E=\dfrac{D+A}{48}$.

En estas fórmulas E es el espesor, A representa la altura total de la pared, D la anchura ó longitud del edificio medida desde el eje de una pared al eje de su paralela y opuesta: a y d no tienen ninguna relacion con la anchura y altura total del edificio sino que representan la altura y distancia respectiva entre las paredes intermediarias ó de distribucion en el interior del mismo.

Debe observarse que el espesor de las paredes principales puede disminuir en cada estancia ó piso, en razon de que la altura de la carga disminuye á proporcion que el edificio se eleva; así, para la primera estancia ó bajos se hará entrar en el cálculo toda la altura del edificio; para la segunda estancia ó primer piso, se contará con la misma altura disminuida de la parte correspondiente á los bajos, etc.

Ejemplo: Determinar el espesor ó grueso de las paredes exteriores ó de fachada para un edificio de doble crujía con tres pisos, siendo su ancho de 12 metros y su altura total de 13'5 metros.

Altura del cuarto bajo.	5 ms.
Id. del primer piso.	3
Id. del segundo.	3
Id del tercero.	2'5
Altura total.	13'5 ms.

Las paredes exteriores en el cuarto bajo tendrán de grueso ó espesor................ $E=\dfrac{12+13'5}{48}=0'531$ m.

Las paredes del primer piso : $E=\dfrac{12+8'5}{48}=0'427$ m.

Las paredes del segundo id. $E=\dfrac{12+5'5}{48}=0'365$ m.

Las paredes del tercero...... $E=\dfrac{12+2'5}{48}=0'302$ m.

Estos resultados manifiestan la razon en que el grueso de las paredes exteriores y de fachada podrá disminuir sin que por esto dejen de conservar la resistencia apetecida.

El mismo Rondelet dice, que el espesor de las paredes aisladas debe estar comprendido entre $^1/_{11}$ y $^1/_{16}$ de su total altura, y que para las habitaciones nunca debe bajar el grueso de las paredes de $^1/_{24}$ de su distancia de eje á eje.

Varios constructores han dado fórmulas y métodos gráficos para determinar el espesor que debe darse á los muros y paredes á fin de que resistan con ventaja la presion ó empuje á que estén sujetos. Mr. Rondelet es entre ellos el que mas ha estudiado, pues ha analizado y comparado entre sí mas de doscientos ochenta edificios pudiendo deducir resultados muy aproximados, y habiendo conseguido dar reglas y fórmulas generales que han sido admitidas por Clodel, Demané y Esganset: por esta razon conti-

nuamos el resultado de algunas de sus acertadas deducciones.

La estabilidad de un muro depende de su posicion y disposicion, de su mayor ó menor altura, de su base de sustentacion, de que esté aislado ó enlazado con otros y de que deba resistir presiones verticales ó laterales. El mismo autor deduce que un muro goza de una gran estabilidad si su espesor es el octavo de su altura; que el décimo le da mediana estabilidad, y cuado el muro tiene de grueso el doce avo de su altura la estabilidad es la mínima que puede tener. Estos preceptos deberán modificarse segun las circunstancias, pues en los edificios los muros se consolidan mútuamente, y por el enlace que produce la carpintería de los techos ó suelos, con menos espesor podrán tener la suficiente estabilidad.

Los muros circulares pueden considerarse como formados por una infinidad de muros planos, de longitud infinitamente pequeña, apoyándose mútuamente unos con otros, en cuyo caso deberán sostenerse por insignificante que sea su espesor, como lo prueba la experiencia; sin embargo, es preciso que gocen de la conveniente solidez, y por esto se determina su espesor calculando el de un muro recto sostenido por ambos extremos cuya longitud equivalga á la mitad del rádio correspondiente al muro circular.

El ya citado Rondelet nos da la siguiente tabla en que vienen calculados los espesores para los muros de edificios muy conformes con los usados hoy dia en la práctica.

Muros.	De fachada.	Medianeros.	Traviesas.
Para casas particulares.	de 18 á 28 pulg....	de 19 á 24 pulg....	de 14 á 21 pulg.
Para edificios de alguna consideracion.	de 28 á 42 pulg....	de 24 á 48 pulg....	de 18 á 24 pulg.
Para grandes edificios..	de 56 á 126 pulg..	de 0 á 0 pulg....	de 28 á 42 pulg.