

ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Tornillos de Unión

Tornillos de Unión

Tipos de uniones.

Uniones fijas o Permanentes:

Remachado



Soldadura



Adhesivos

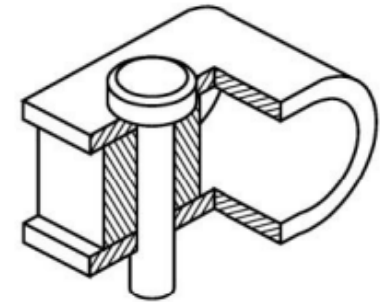


Tornillos de Unión

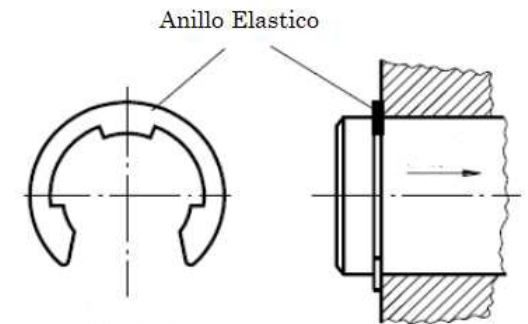
Tipos de uniones.

Uniones Desmontables:

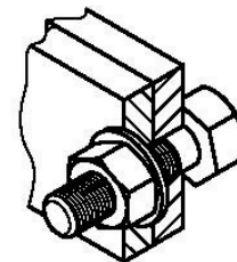
Pasadores



Anillos elásticos



Tornillos de unión



Tornillos de Unión



Tornillos de Unión

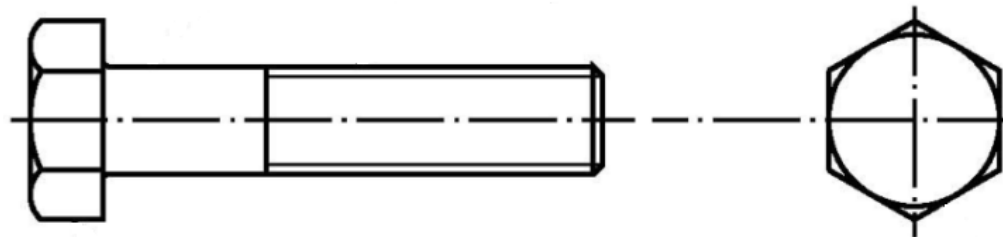
Los tornillos de unión son elementos de fijación mecánica que se utilizan para unir dos o más piezas de un conjunto de manera segura y permanente.



Cabeza

Cuerpo o vástago

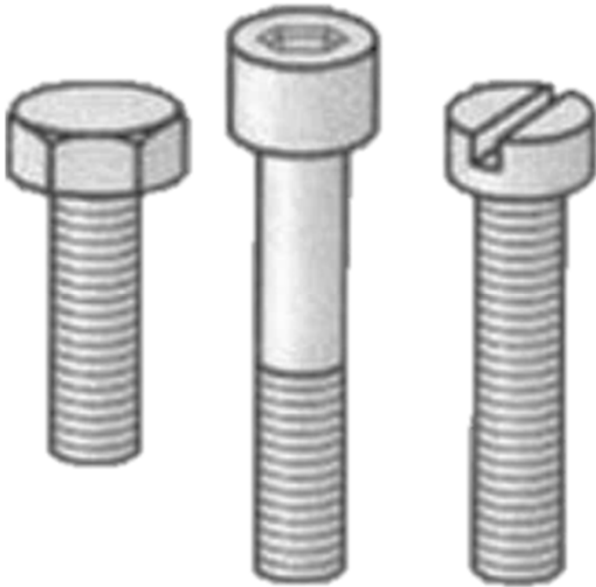
Rosca



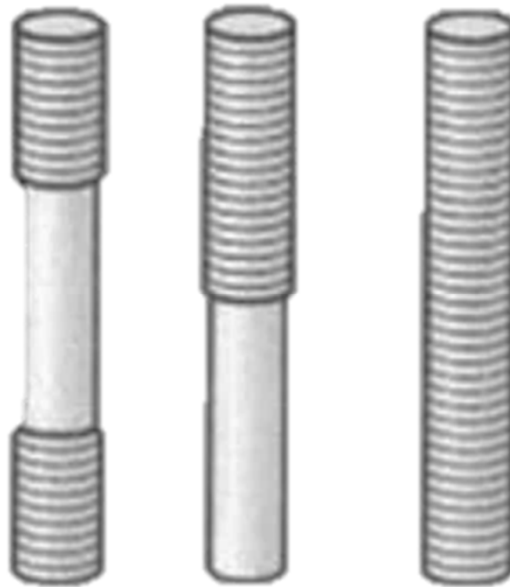
Tornillos de Unión

Clasificación según su forma

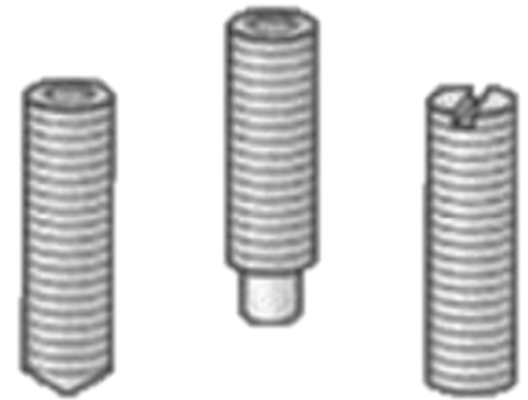
Tornillos



Espárragos

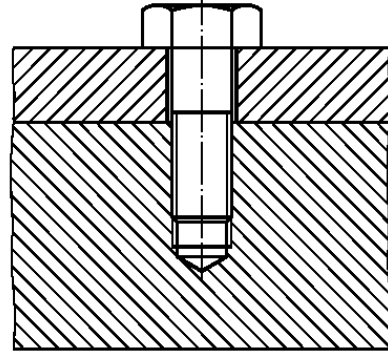


Prisioneros

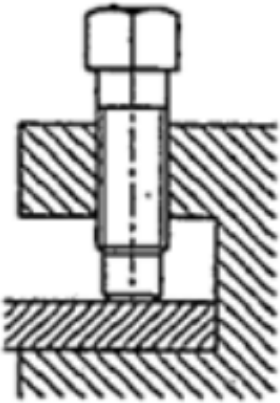


Tornillos de Unión

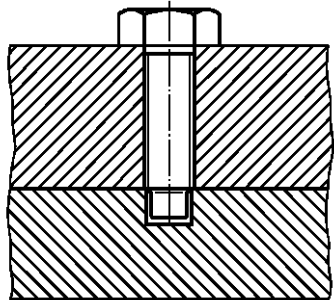
Funciones



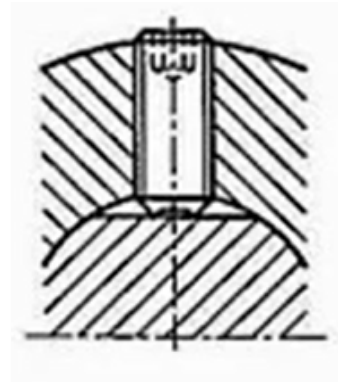
Montaje



Presión



Guía

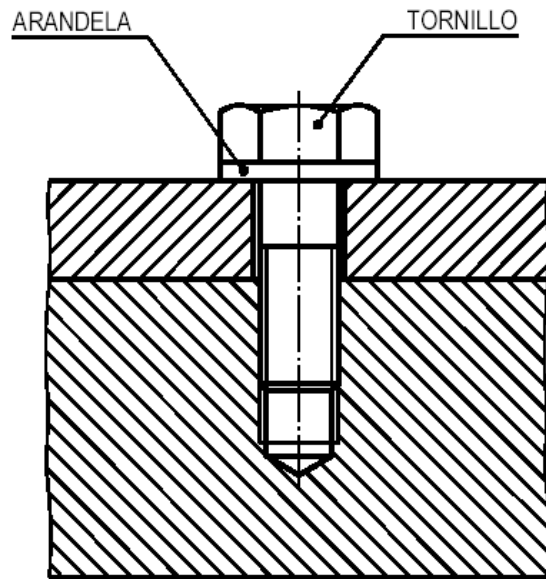


Fijación

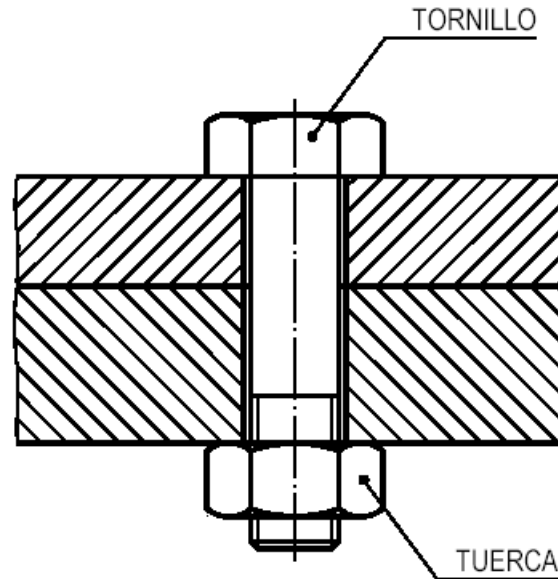
Tornillos de Unión

Tipos de Unión

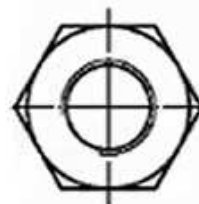
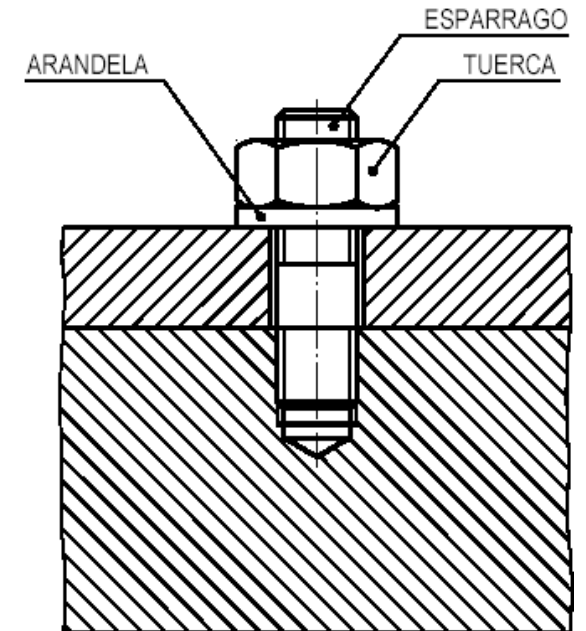
Tornillo



Perno



Esparrago



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

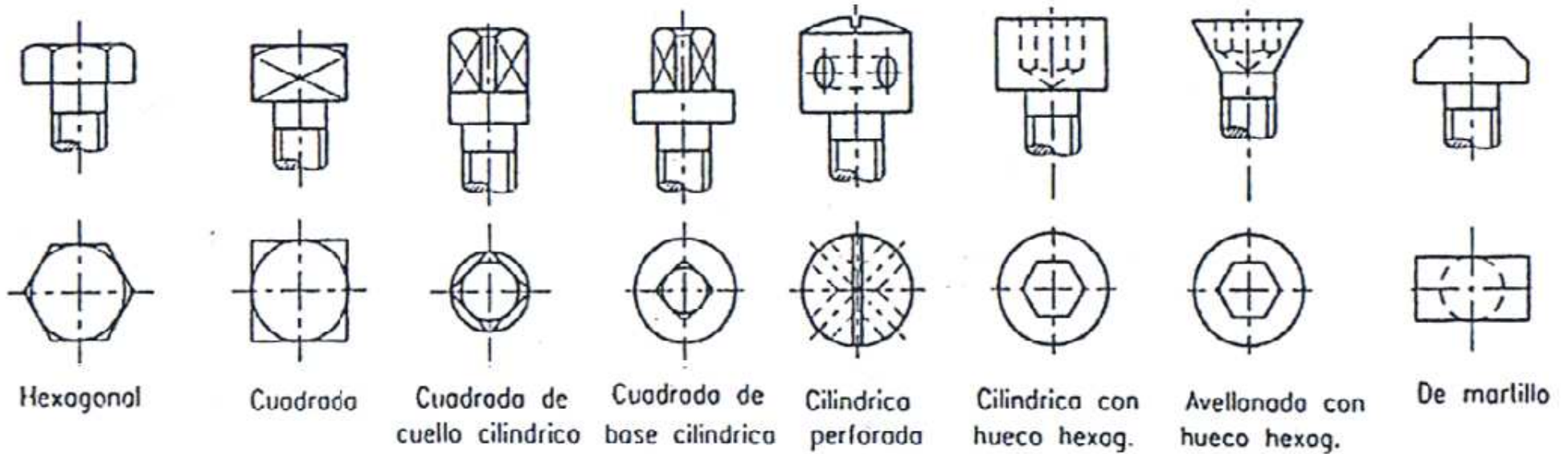
- Tipo de Cabeza
- Tipo de punta
- Diámetro y Paso
- Longitud
- Material
- Resistencia
- Terminación superficial



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

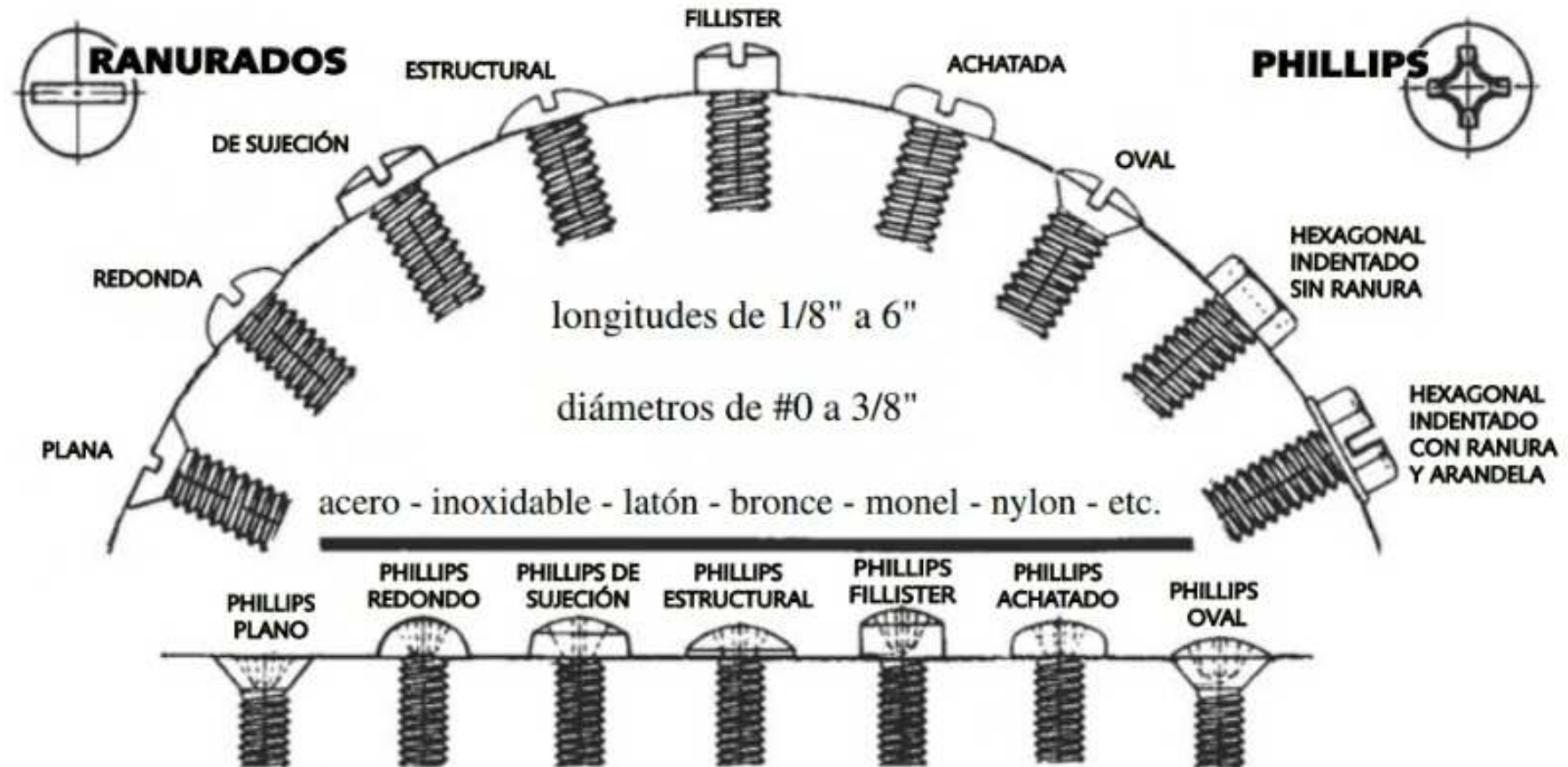
- Tipo de Cabeza



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Tipo de Cabeza



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

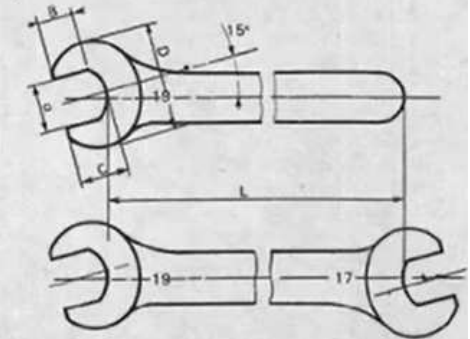
- Tipo de Cabeza



31m6 Dimensiones de las llaves para tuercas

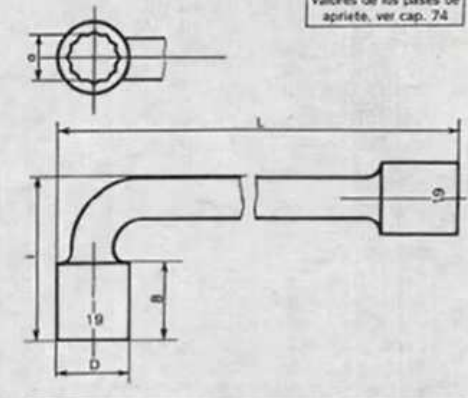
31m61 Llaves planas 8 613-82

n	D	B max.	C max.	L aprox.
6	16	3,0	5,4	100
7	18	4,2	6,3	100
8	19	4,8	7,2	105
10	23	6	9	115
11	27	6,6	9,8	120
13	32	7,8	11,7	125
14*	34	8,4	12,6	130
17	40	10,2	15,3	150
19	44	11,4	17,1	160
22	48	13,2	19,8	170
24	54	14,4	21,6	180
27	60	16,2	24,3	190
30	66	18	27	200
32	70	18,2	28,8	210
36	78	21,6	32,4	220



Llaves de pipa

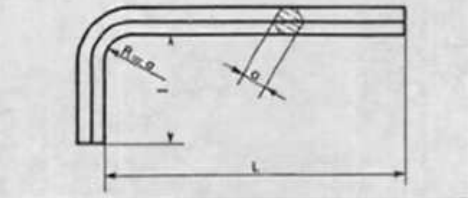
n	D max.	B aprox.	L aprox.	L aprox.
6	9	10	23	104
7	11	11	23	116
8	13	13	27	125
10	15	16	35	160
11	17	18	37	165
13	19	19	45	188
14*	21	21	45	208
17	25	24	52	255
19	27	29	60	285
22	31	31	70	314
24	34	34	75	342
27	38	40	80	375
30	42	43	85	400
32	45	45	90	420
36	50	52	95	440



Valores de los pasos de apriete, ver cap. 74

Llaves para tornillos con hexágono embutido 8513-04

n	L max.	l max.	a	L max.	l max.
1,3	40	12	5	80	28
1,5	45	14	6	90	32
2	50	16	8	100	36
2,5	56	18	10	112	40
3	63	20	12	125	45
4	71	25	14	140	50

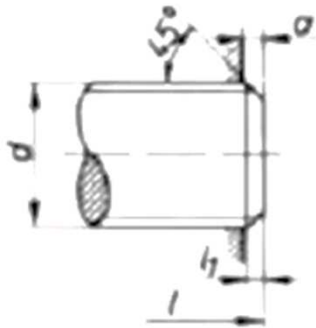


*No normalizado por ISO

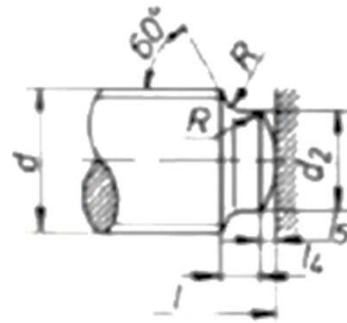
Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

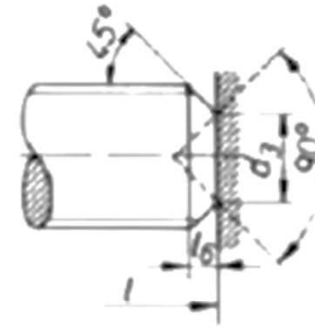
- Tipo de extremo



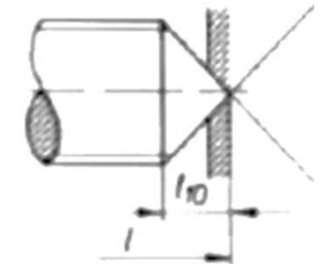
achaflanado



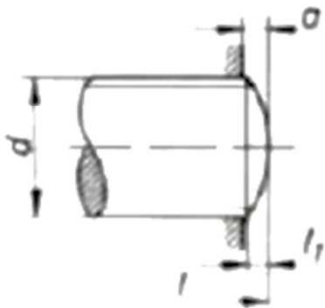
Con tetón corto abombado



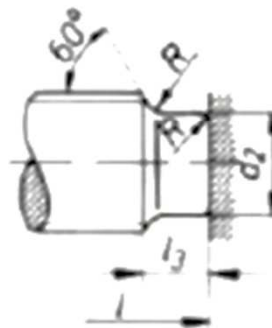
Achaflanado con cono embutido



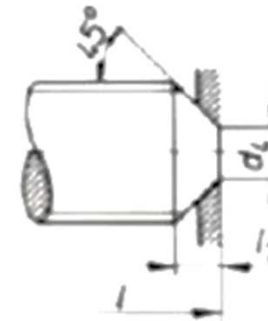
cónico



abombado



Con tetón largo

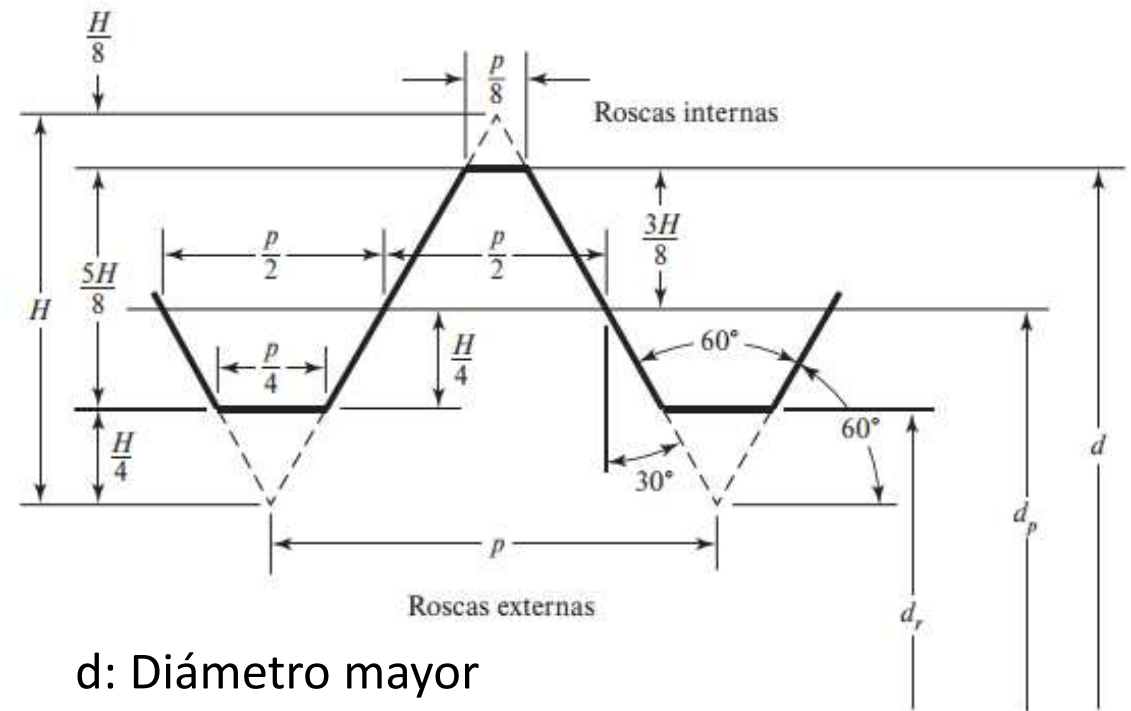
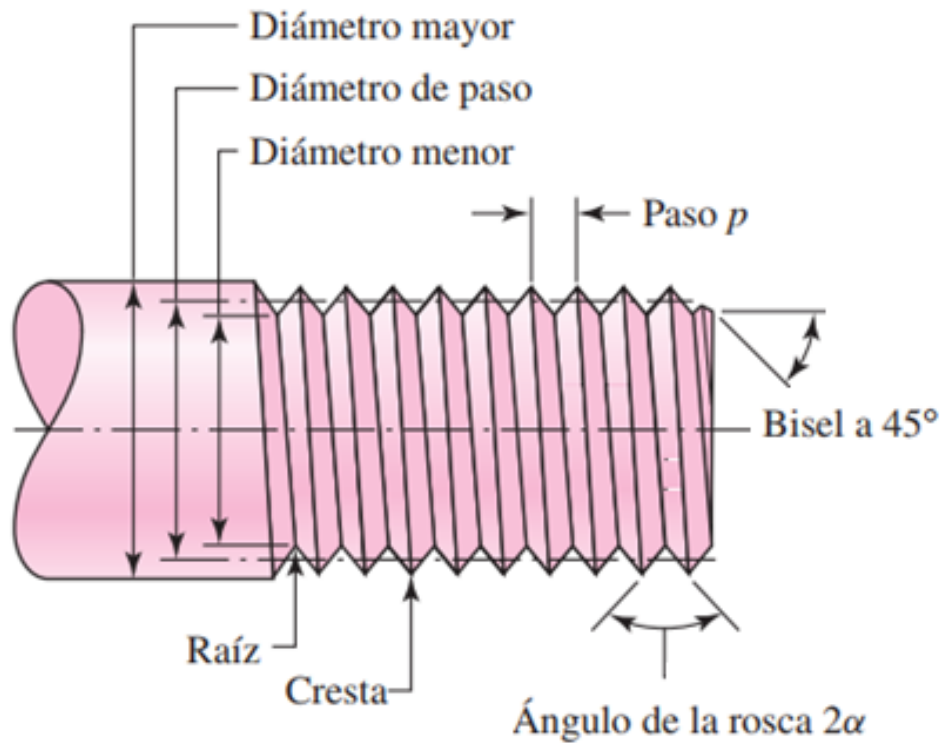


tronco-cónico

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Diámetro y paso



d : Diámetro mayor
 d_r : Diámetro menor
 d_p : Diámetro de paso

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**

Definiciones

Rosca: es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una hélice sobre la superficie exterior e interior de un cilindro

Rosca externa: es una rosca en la superficie externa de un cilindro.

Rosca Interna: es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca.

Diámetro mayor: d es el diámetro más grande de una rosca de tornillo.

Diámetro menor: (o raíz) d_r es el diámetro más pequeño de una rosca de tornillo.

Diámetro de paso: d_p es un diámetro teórico entre los diámetros mayor y menor.

Paso: es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. El paso en unidades inglesas es el recíproco del número de cuerdas por pulgada N .

Tornillos de Unión

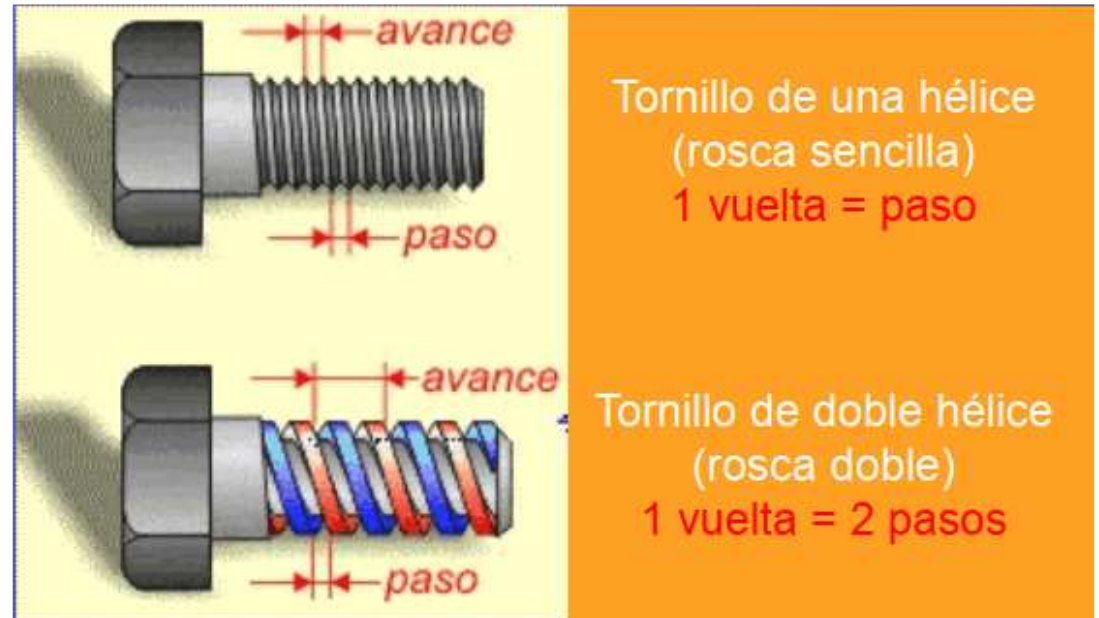
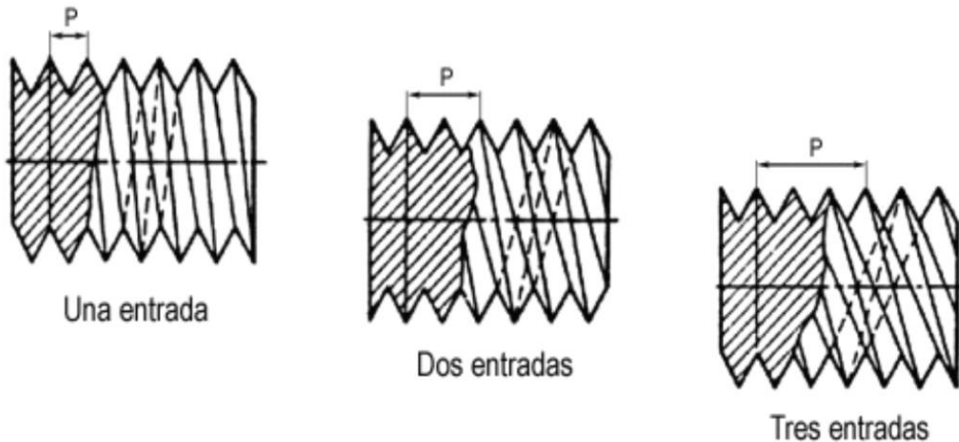
Caracterización de un Tornillo

- Diámetro y paso

Definiciones

Avance: es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación.

Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso, y así sucesivamente.



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Diámetro y paso

Métrico (ISO)

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	117
16	2	157	144	1.5	167	156
20	2.5	245	225	1.5	272	255
		353	324	2	384	363

M10-1.5 x 50



Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 Y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación:

$d_r = d - 1.226869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Diámetro y paso

Métrico (ISO)

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07
2	0.40	2.07	1.79
2.5	0.45	3.39	2.98
3	0.5	5.03	4.47
3.5	0.6	6.78	6.00
4	0.7	8.78	7.75
5	0.8	14.2	12.7
6	1	20.1	17.9
8	1.25	36.6	32.8
10	1.5	58.0	52.3
12	1.75	84.3	76.3
14	2	115	104
16	2	157	144
20	2.5	245	225
24	3	353	324
30	3.5	561	519

Un gran número de pruebas a la tensión de varillas roscadas demostró que una varilla sin rosca con diámetro igual a la **media del diámetro de paso y al diámetro menor** mostrará la misma resistencia a la tensión que la varilla roscada. El área de la varilla sin rosca se llama **área de esfuerzo de tensión A_t** de la varilla roscada.

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF

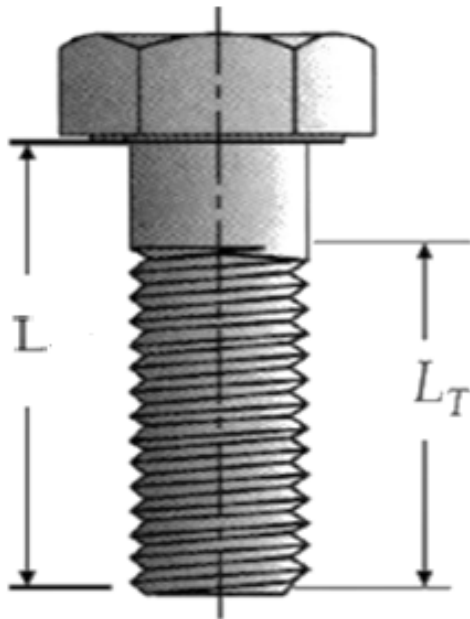
Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Roscas por pulgada, N	Serie gruesa-UNC		Roscas por pulgada, N	Serie fina-UNF	
			Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²		Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	1/2"- 13 x 2"	2 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24		
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24		
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	24		
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	24		
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	24		



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Longitud



Serie Métrica

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 & d \leq 48 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

Serie Unificada

$$L_T = \begin{cases} 2d + \frac{1}{4} \text{ pulg} & L \leq 6 \text{ pulg} \\ 2d + \frac{1}{2} \text{ pulg} & L > 6 \text{ pulg} \end{cases}$$

d= diámetro del tornillo

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Longitud

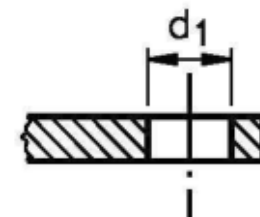
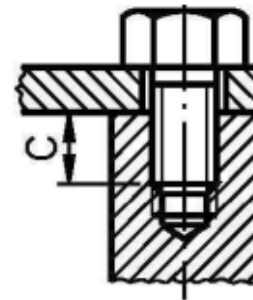
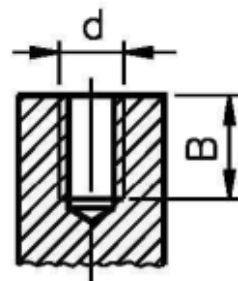
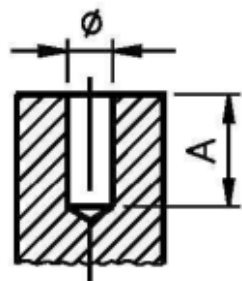
Criterio de Diseño

Longitud de contacto de la rosca con un agujero roscado debe ser por lo menos:

Rosca sobre Acero $C=1xd$

Rosca sobre Fundición $C=1,5xd$

Rosca sobre Aluminio $C=2xd$

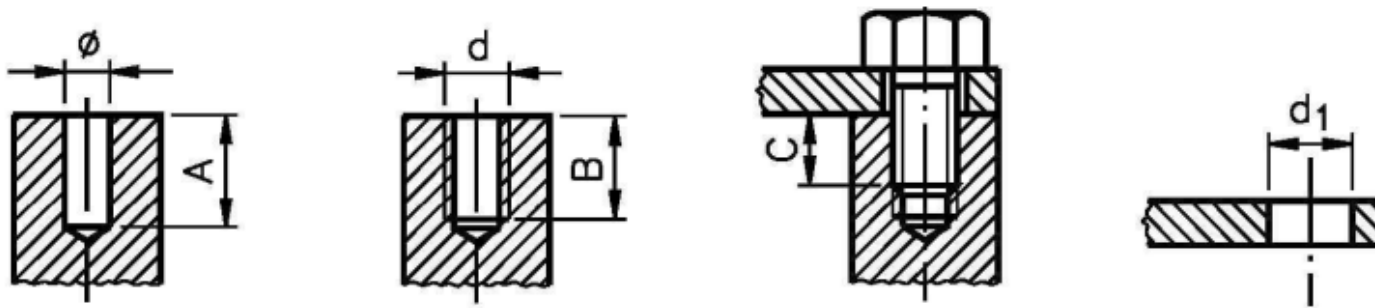


Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Longitud

Criterio de diseño



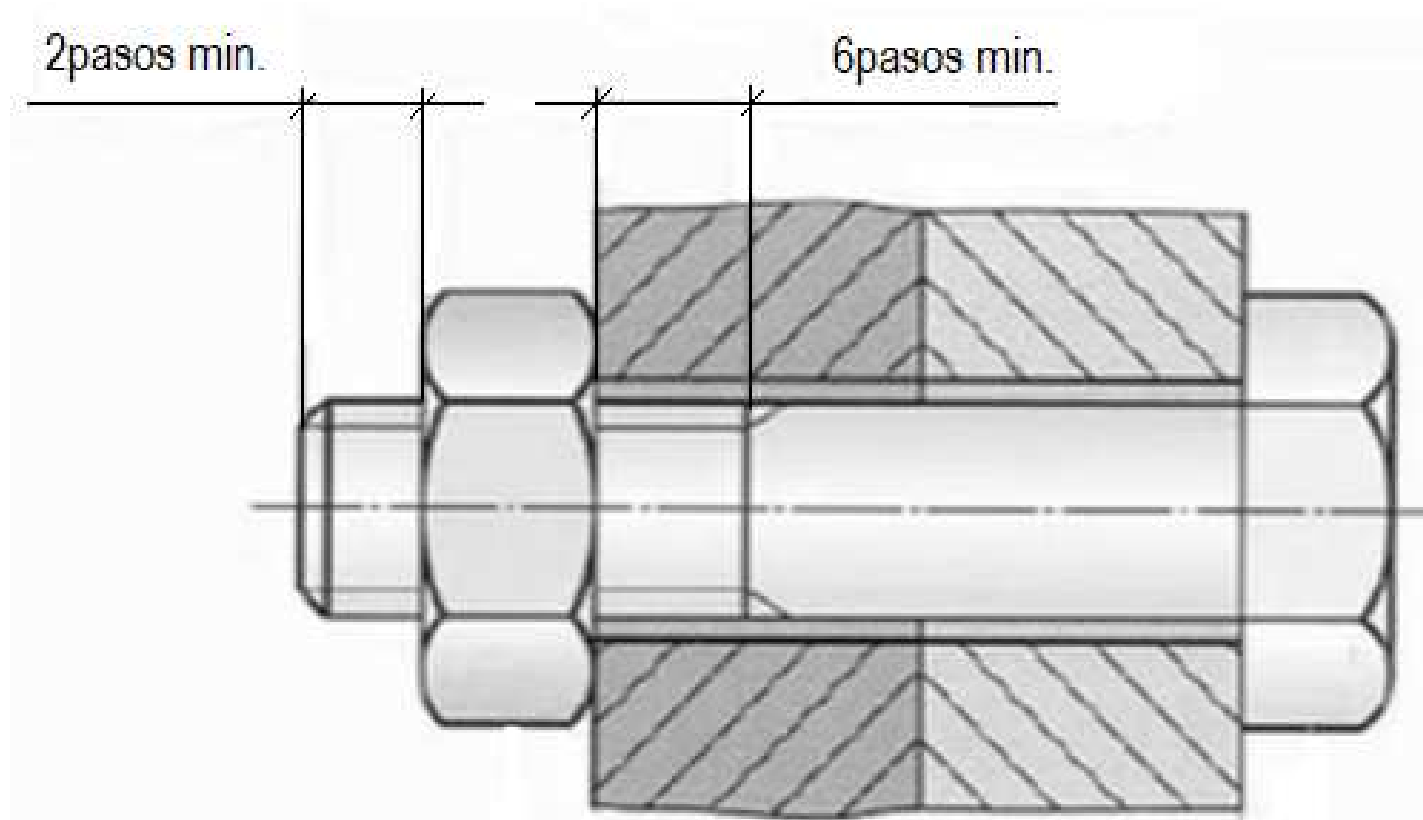
Material	Profundidad del orificio perforado (A)	Profundidad parte roscada (B)	Diámetro orificio pasante d_1
Acero	$2xd$	$1,5xd$	$1,05 xd$ a $1,1 x d$
Hierro Fundido	$2,5xd$	$2xd$	
Bronce	$2,5xd$	$2xd$	
Aluminio	$3xd$	$2,5xd$	

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Longitud**

Criterio de diseño



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Material**

Acero

Acero Inoxidable

Aluminio

Latón

Plástico

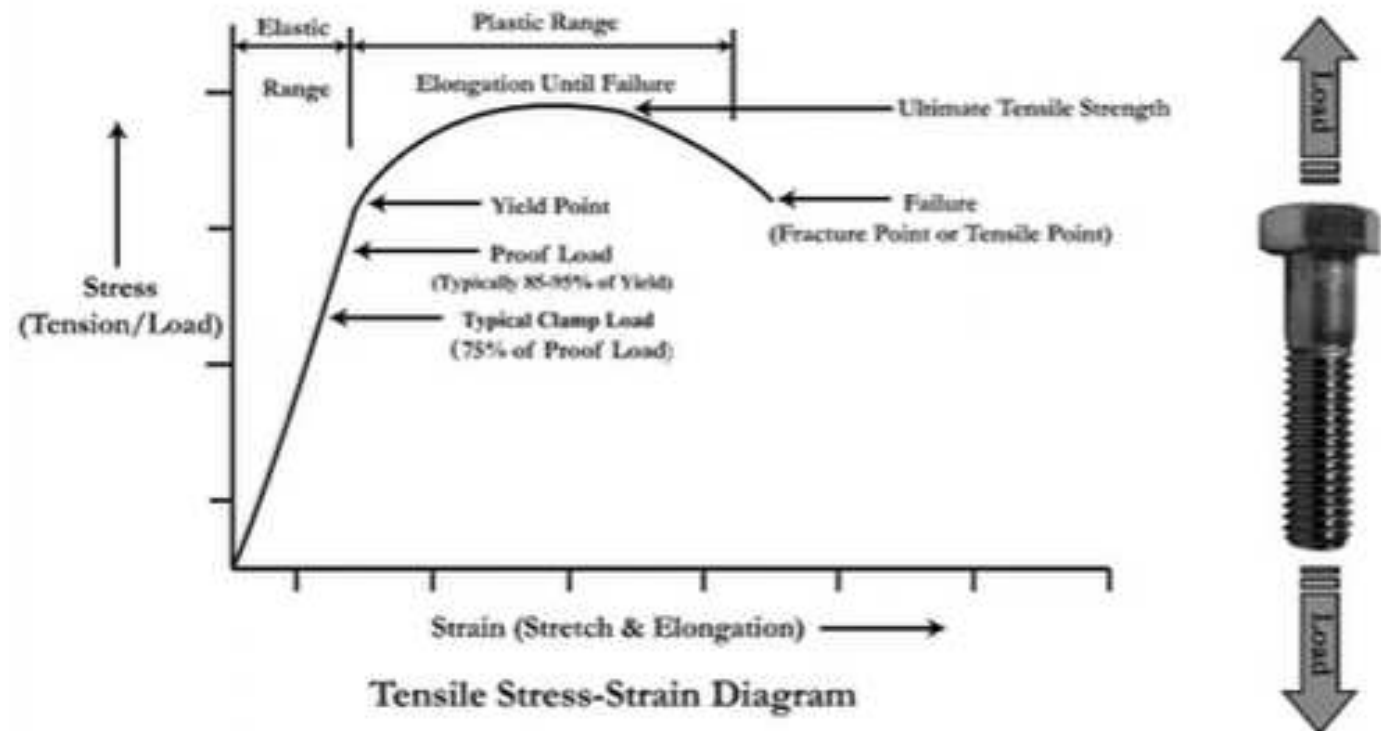


Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Resistencia – Clase del tornillo**






Los pernos y tornillos para aplicaciones estructurales o cargas pesadas se debería seleccionar con base en la resistencia de prueba S_p y la resistencia mínima de tensión, como esta definida en las especificaciones de SAE, ASTM o ISO. Estas organizaciones definen los grados o las clases de perno que especifican el material, el tratamiento térmico y la **resistencia mínima de prueba** para el perno o tornillo



Tornillos de Unión

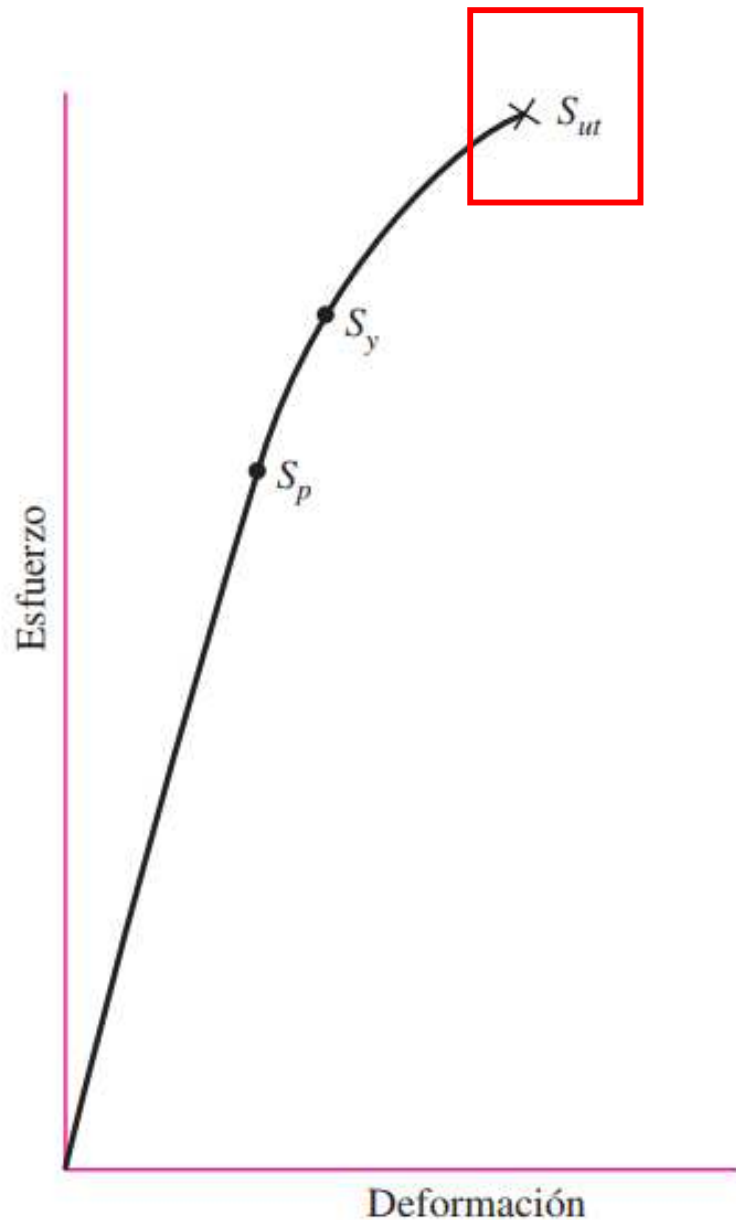
Caracterización de un Tornillo

- Resistencia – Clase del tornillo

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Tornillos de Unión

Resistencia de los Pernos

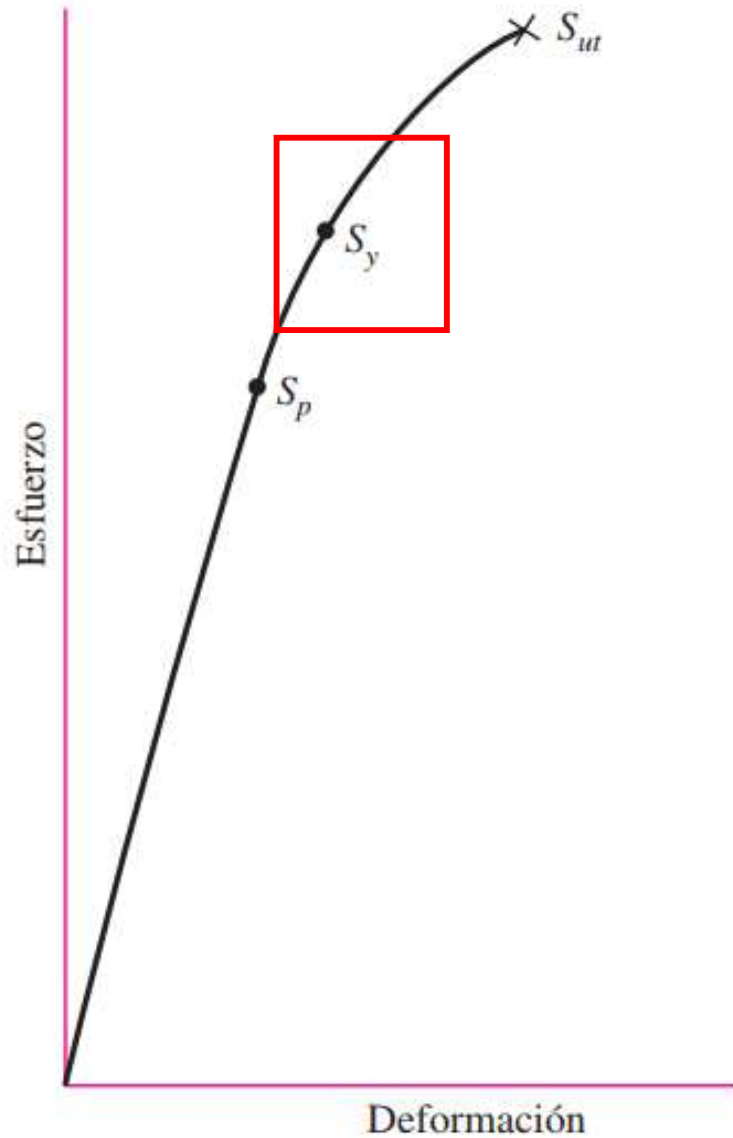


Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81



Tornillos de Unión

Resistencia de los Pernos

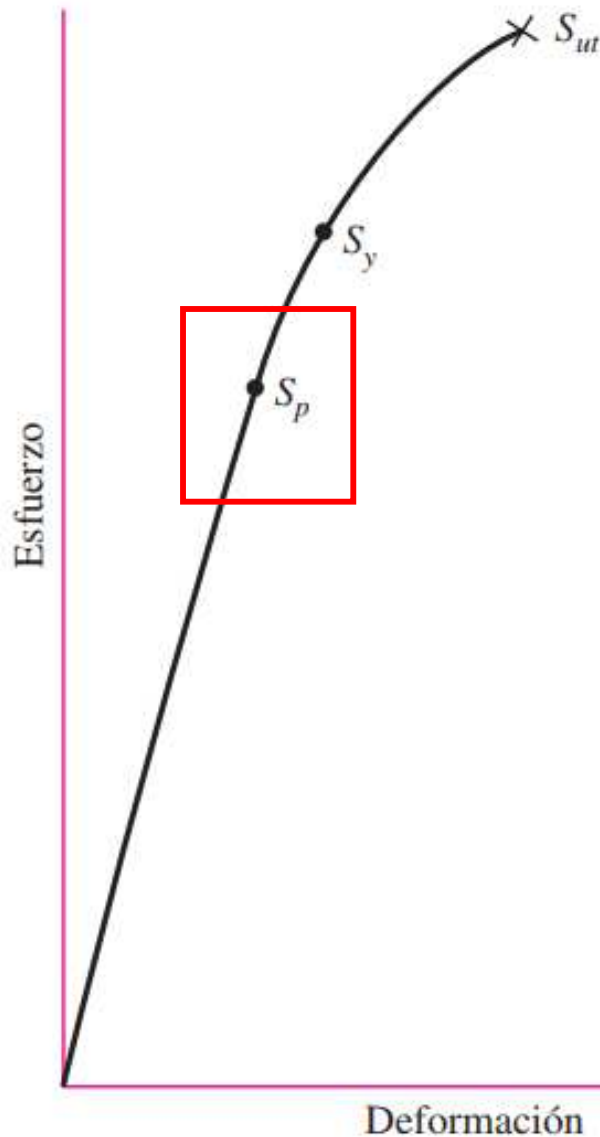


Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, de inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81



Tornillos de Unión

Resistencia de los Pernos



Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81

La **resistencia de prueba S_p** está dada por el cociente de la carga de prueba y el **área de esfuerzo a tensión A_t** . Por ello, la resistencia de prueba corresponde aproximadamente al límite proporcional y a una deformación permanente de 0.0001 pulg. La **carga de prueba F_p** es la carga máxima (fuerza) que un perno puede soportar sin sufrir una deformación permanente.

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Resistencia – Clase del tornillo**

Especificaciones SAE para pernos de acero










Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ - 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Resistencia – Clase del tornillo

Especificaciones ASTM para pernos de acero








Designación ASTM núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
A307	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo carbono	
A325 tipo 1	$\frac{1}{2}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
A325 tipo 2	$\frac{1}{2}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
		74	105	81		
A325 tipo 3	$\frac{1}{2}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero no temperizado, T y R	
		74	105	81		
A354 grado BC	$\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$ $2\frac{3}{4}$ - 4	105	125	109	Acero aleado, T y R	
		95	115	99		
A354 grado BD	$\frac{1}{4}$ - 4	120	150	130	Acero aleado, T y R	
A449	$\frac{1}{4}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ $1\frac{3}{4}$ - 3	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
		55	90	58		

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Resistencia – Clase del tornillo

Especificaciones ISO para pernos de acero

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,* MPa	Resistencia mínima a la tensión,* MPa	Resistencia mínima a la fluencia,* MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Resistencia – Clase del tornillo

Especificaciones ISO para pernos de acero



Clase 8.8

Resistencia a la tracción

$$8 \times 100 = 800 \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a la fluencia

$$800 \times 0.8 = 640 \text{ N/mm}^2$$



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- Terminación superficial



Sin recubrimiento



Zincado



Galvanizado



Xylan



Fosfatado



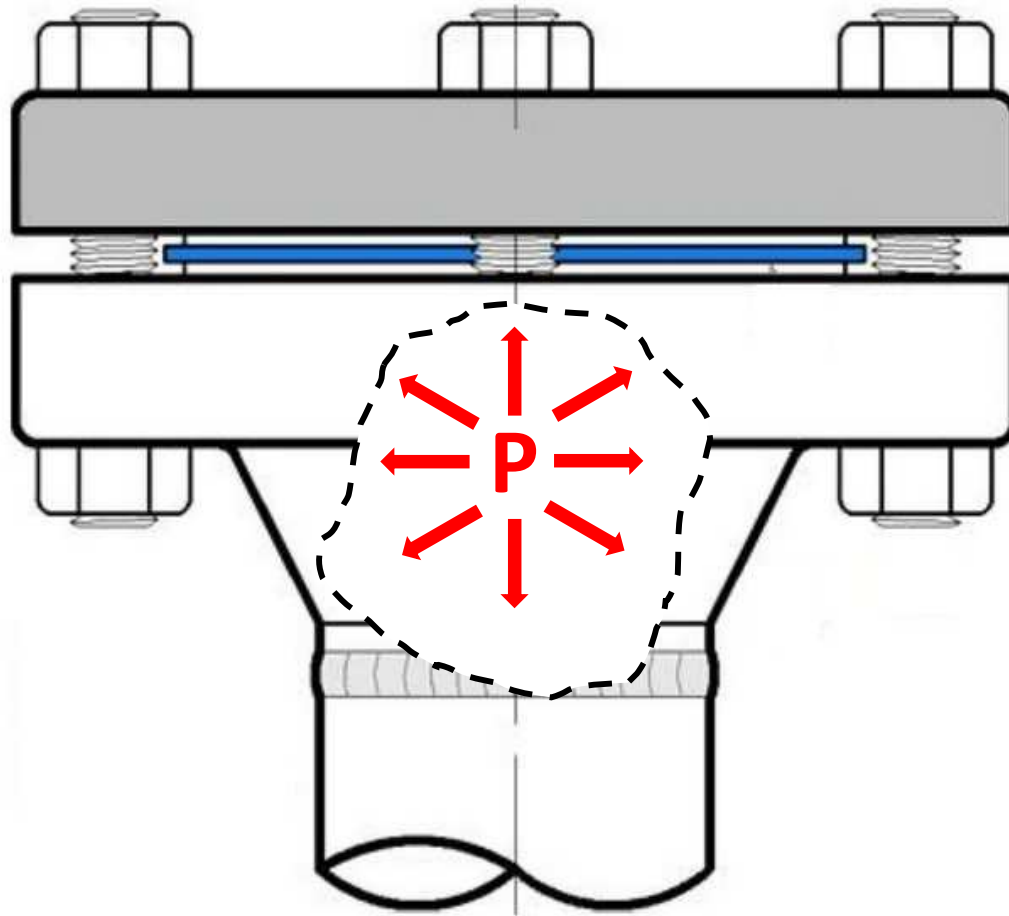
Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión



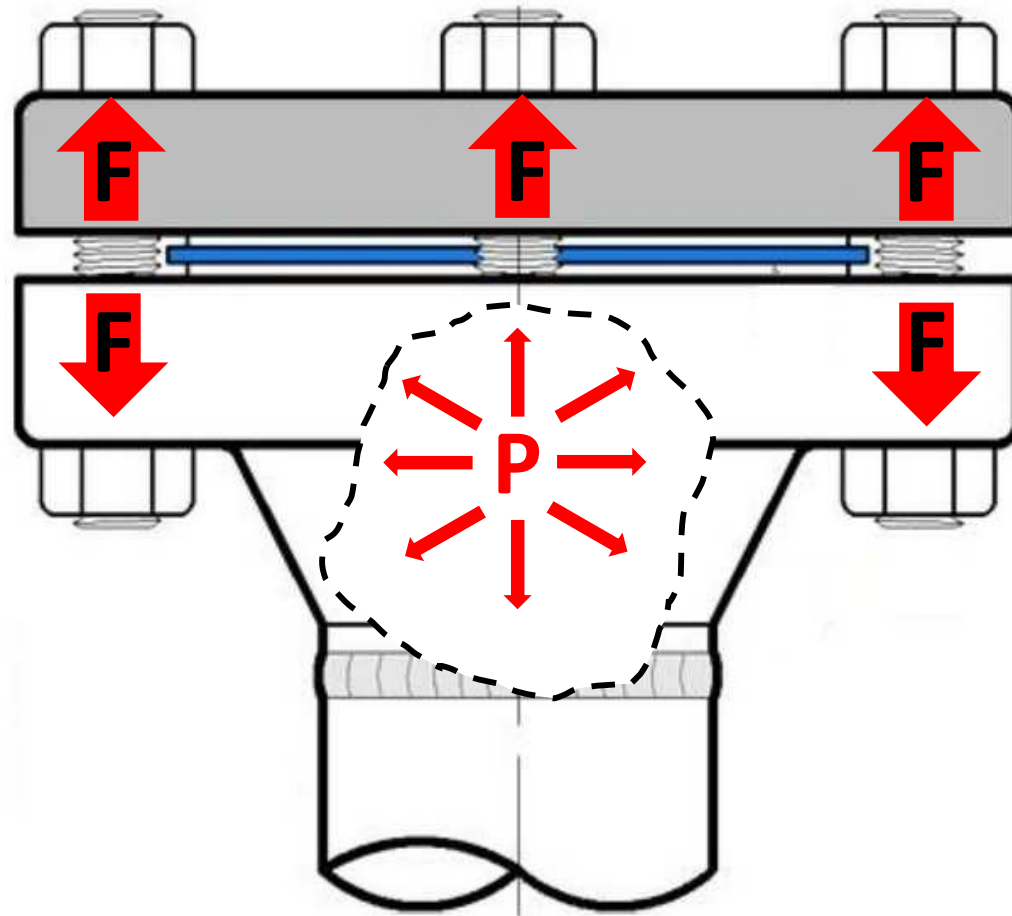
Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión



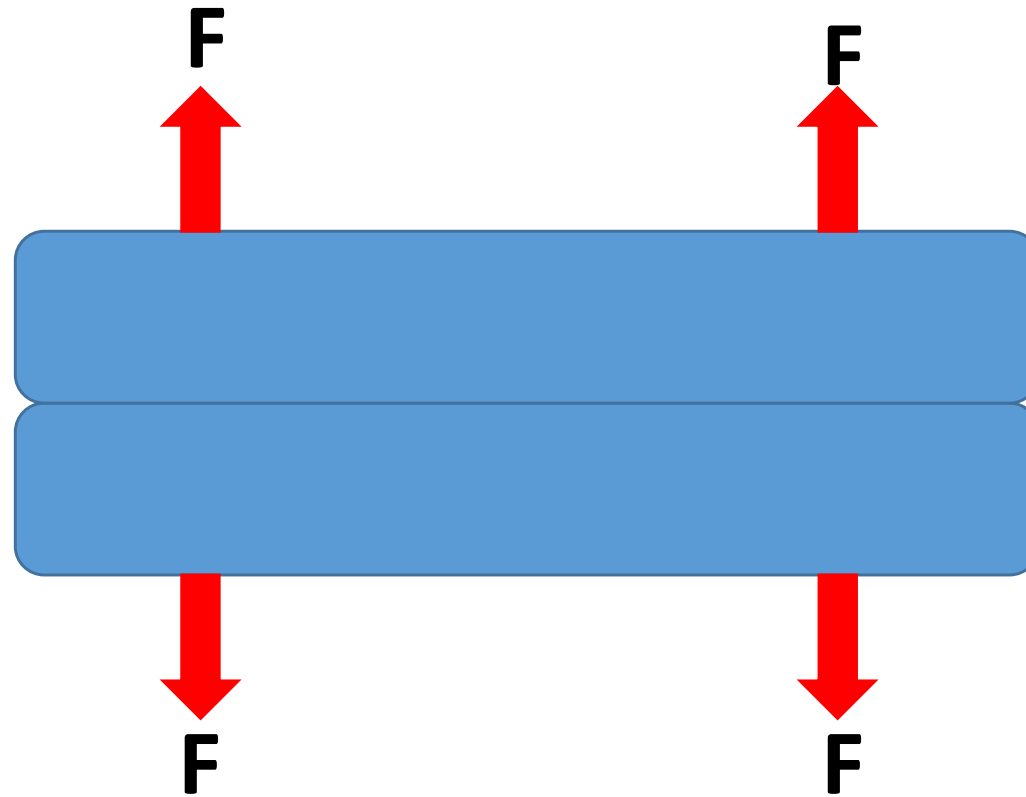
Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión



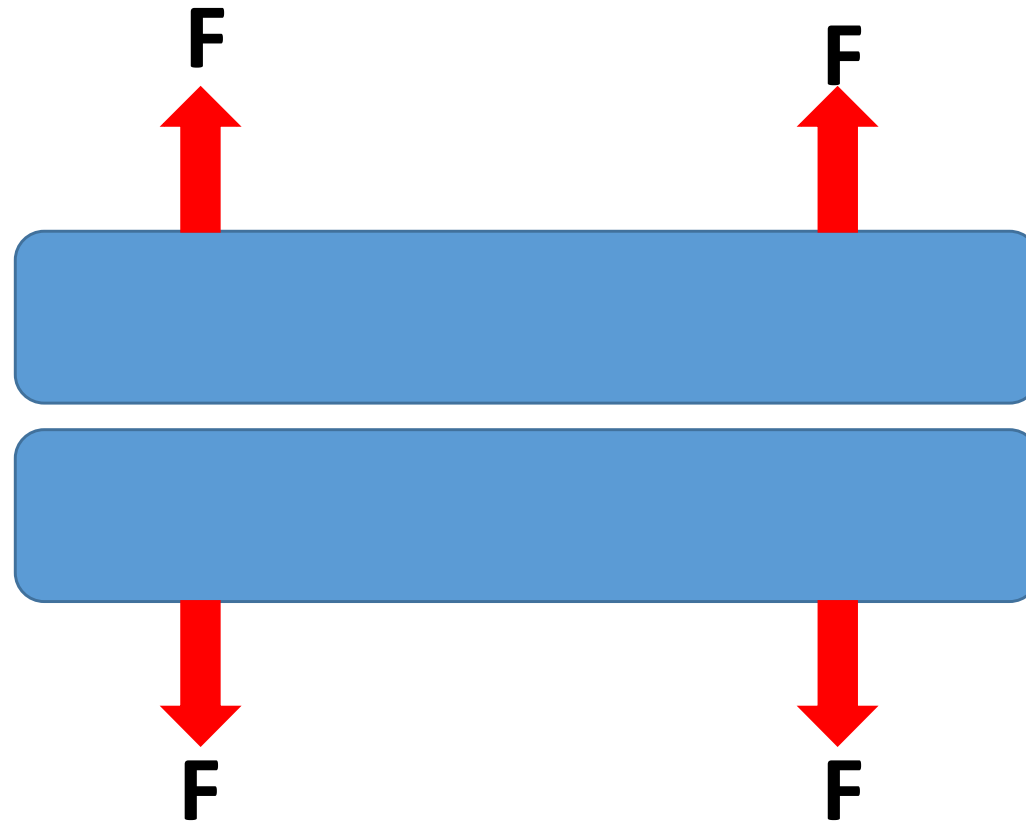
Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión



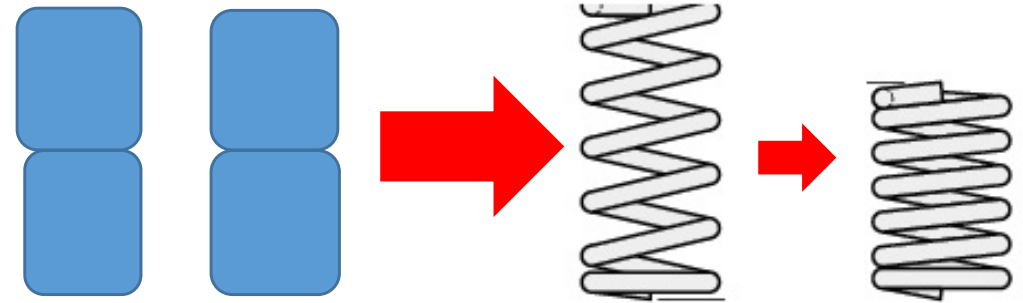
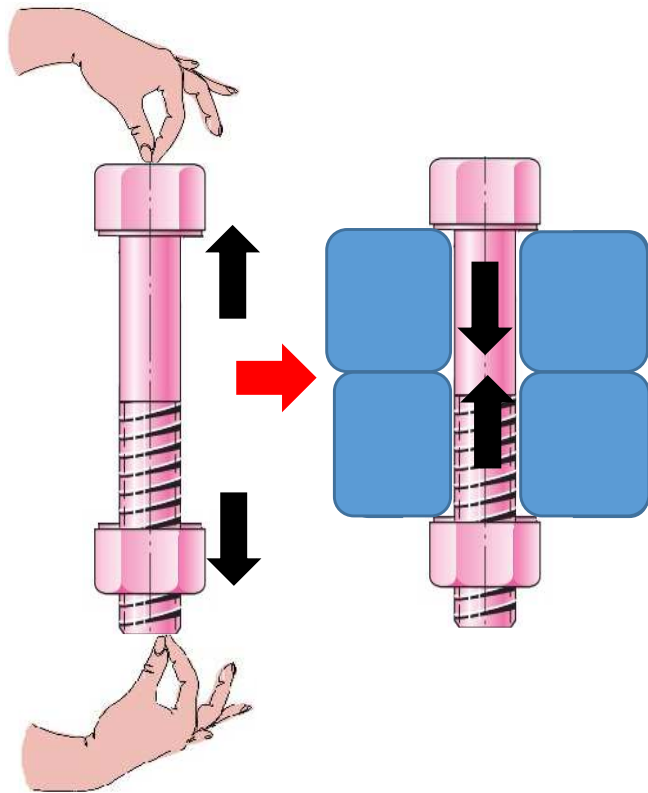
Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

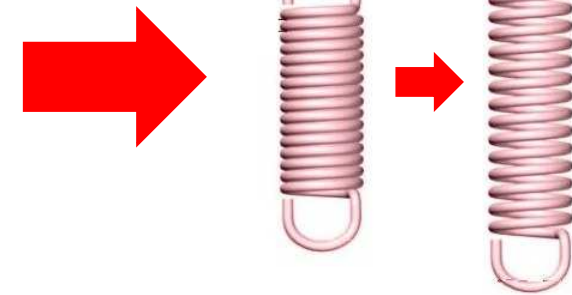


Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión



Como si fuesen resortes en compresión debido a la fuerza de precarga

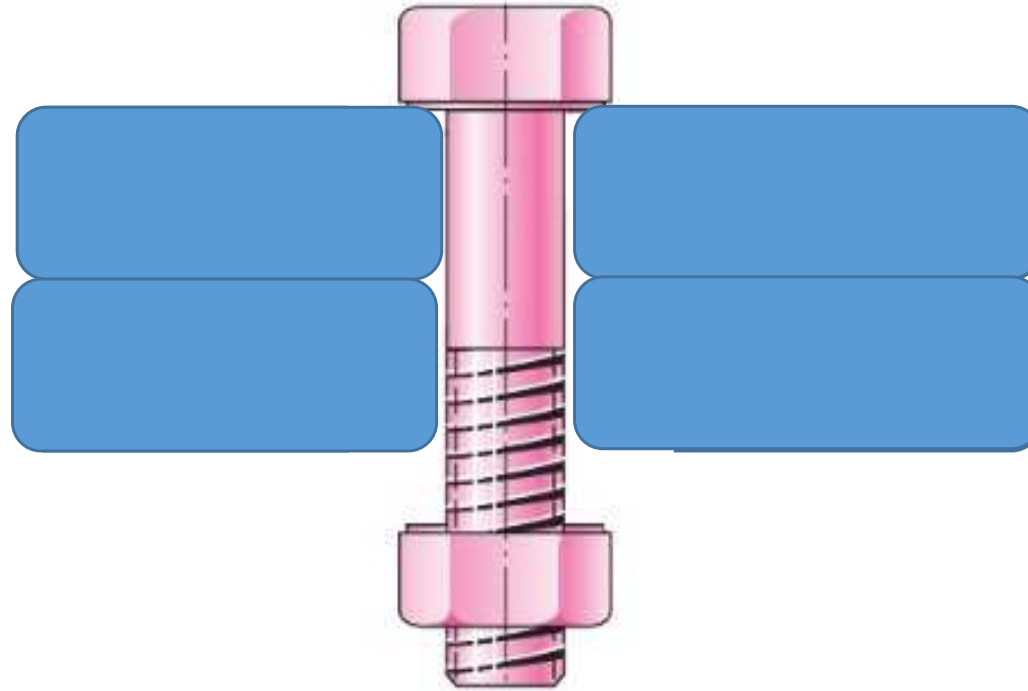


Como si fuese resorte en tracción debido a la fuerza de precarga

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: elementos sin tensionar



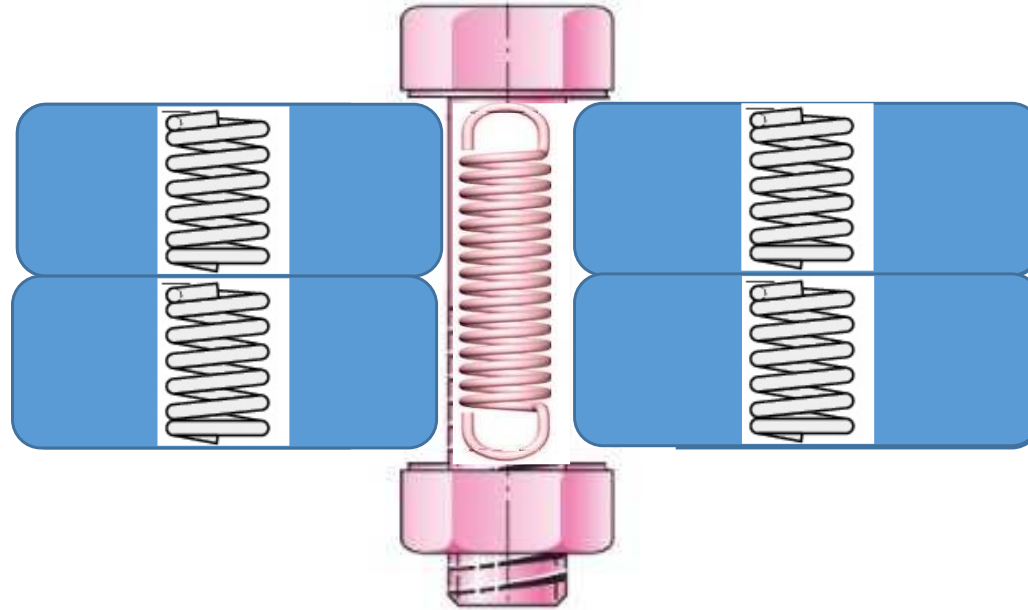
Carga resultante en los pernos $F_b = 0$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = 0$

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de **precarga F_i** en pernos y junta



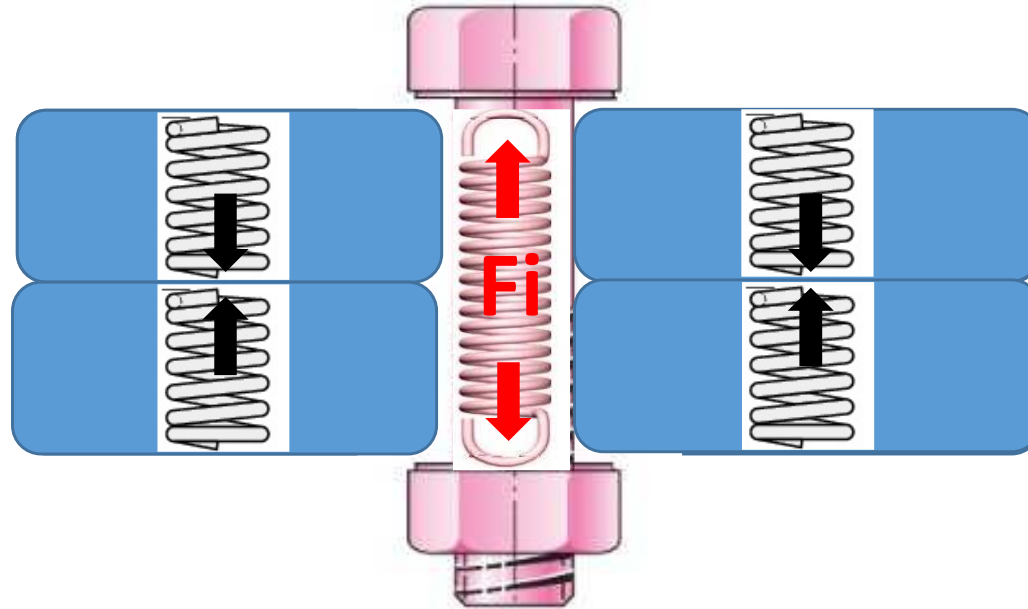
Carga resultante en los pernos $F_b = F_i$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = - F_i$

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de **precarga F_i** en pernos y junta



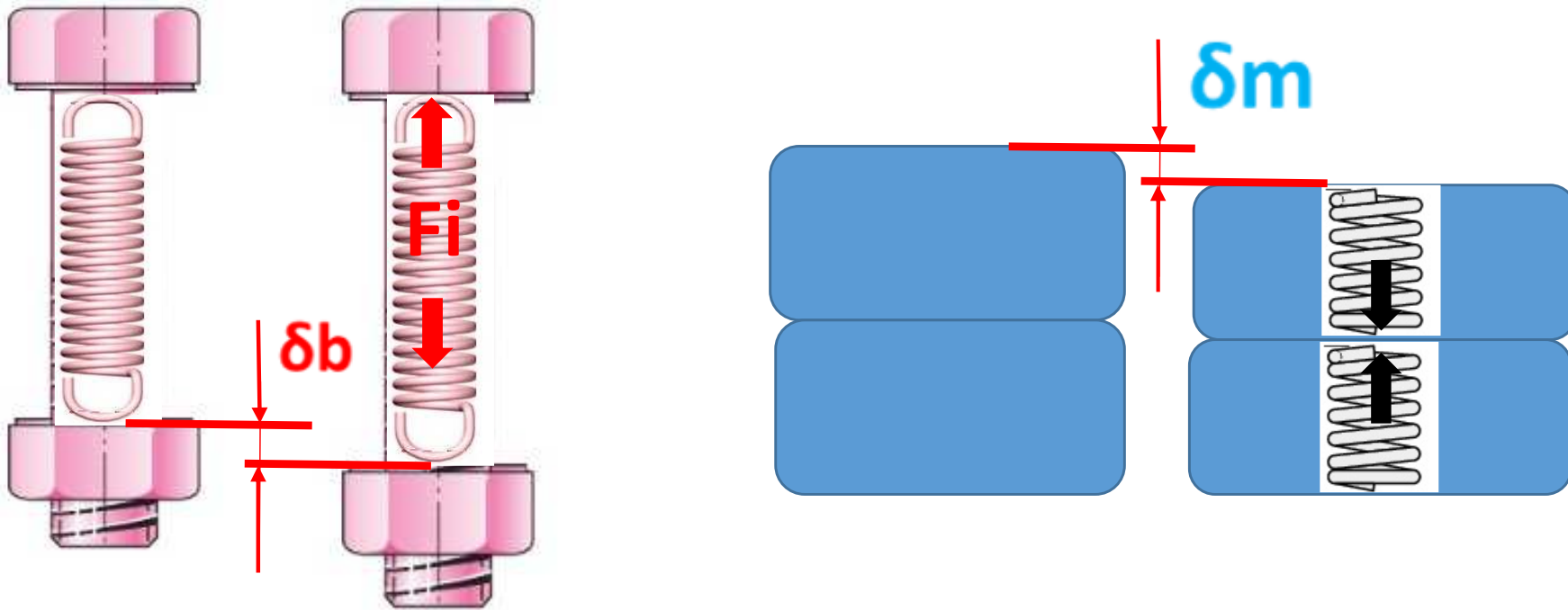
Carga resultante en los pernos $F_b = F_i$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = - F_i$

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

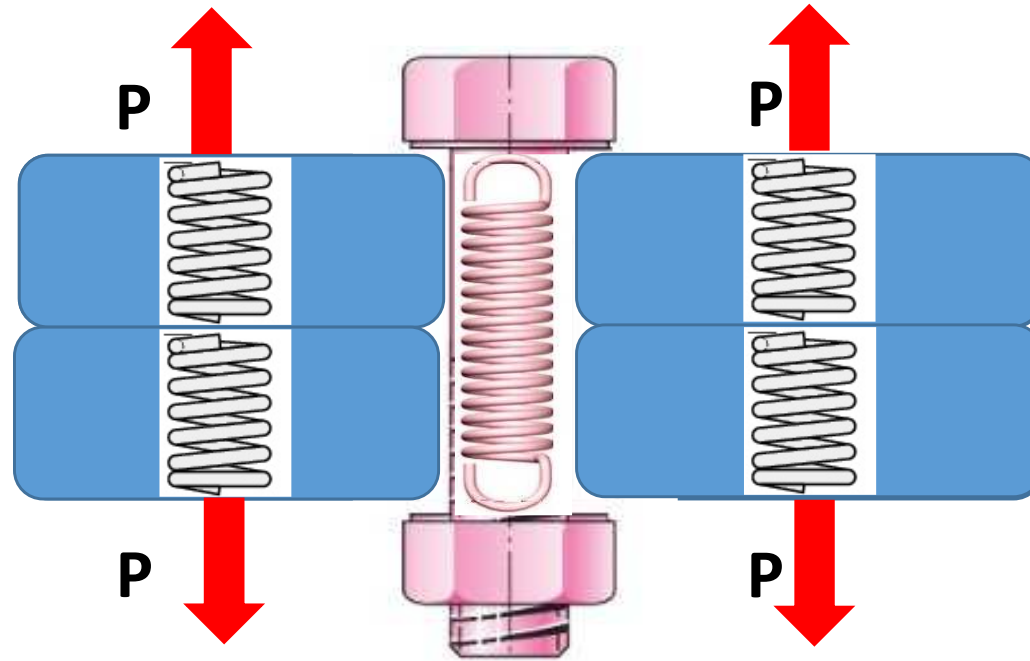
Situación: Aplicación de **precarga F_i** en pernos y junta



Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de precarga F_i + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos $F_b = F_i + P_b$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = P_m - F_i$

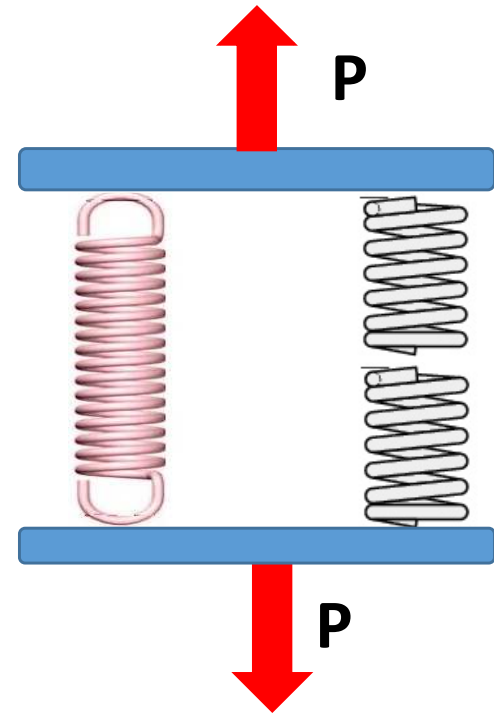
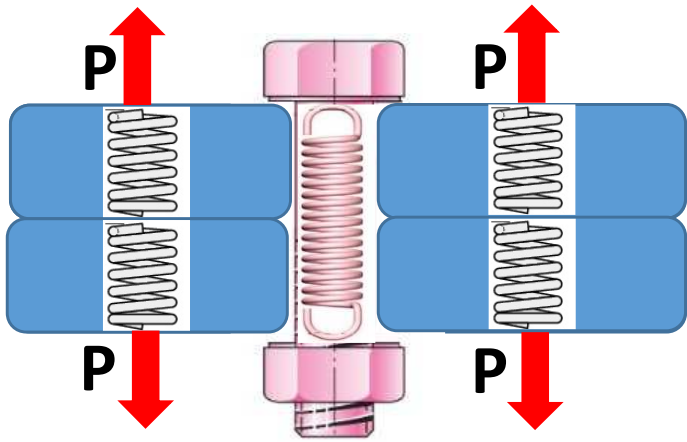
P_b = Porción de P tomada por pernos

P_m = Porción de P tomada por pernos elementos de junta

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

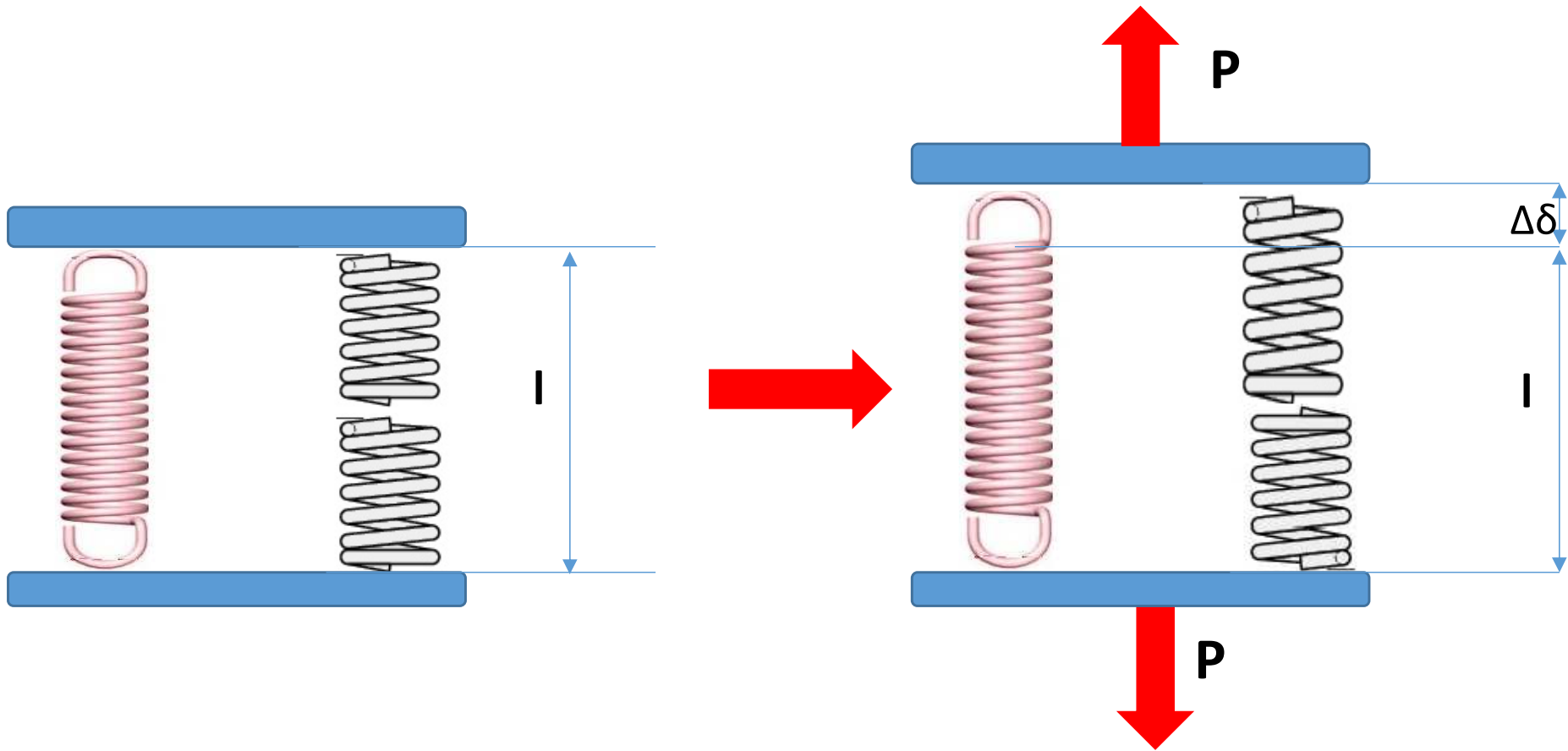
Cuál es el valor de las proporciones P_b y P_m ?



Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

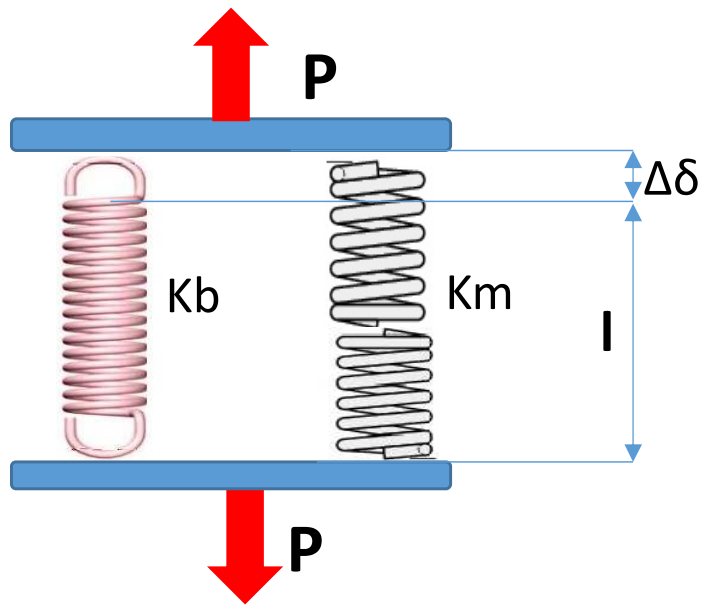
Cuál es el valor de las proporciones P_b y P_m ?



Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Cuál es el valor de las proporciones P_b y P_m ?



La carga P es de tensión y causa que la conexión se alargue, o estire, a través de una distancia δ . Dicha elongación puede relacionarse con la rigidez, recordando que k es la fuerza dividida entre la deflexión.

$$\Delta\delta_b = \Delta\delta_m$$

$$P = P_b + P_m = k_b\Delta\delta_b + k_m\Delta\delta_m$$

$$\delta = \frac{P_b}{k_b} \quad y \quad \delta = \frac{P_m}{k_m}$$

$$P_m = P_b \frac{k_m}{k_b}$$

$$P = P_b + P_m$$

$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = C P$$

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Cuál es el valor de las proporciones P_b y P_m ?

$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = C P$$

$$P_m = P - P_b = (1 - C)P$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

C = Constante de la junta o constante de rigidez de la unión

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad F_m < 0$$

$$F_m = P_m - F_i = (1 - C)P - F_i \quad F_m < 0$$

F_b = Carga resultante sobre el perno

F_m = Carga resultante sobre los elementos de junta

F_i = Precarga inicial

K_b = Rigidez del perno

K_m = Rigidez de los elementos de junta

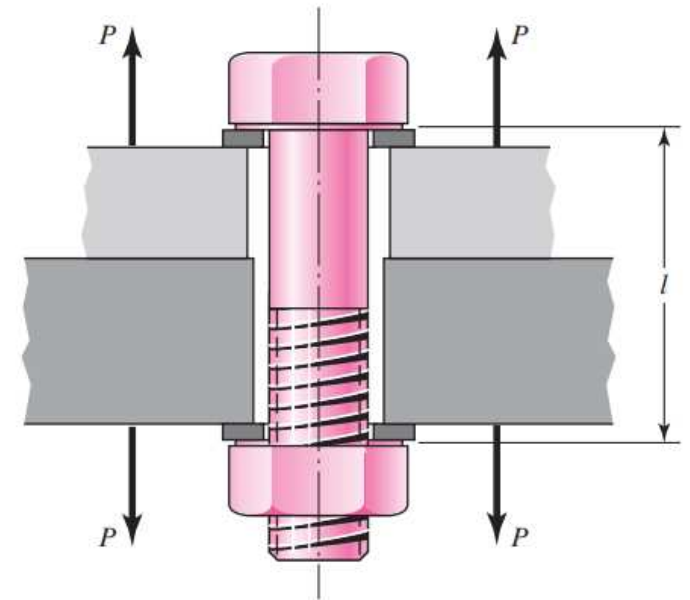
P = Carga que se aplica

P_b = Porción de la carga tomada por los perno

P_m = Porción de la carga tomada por los elementos de la junta

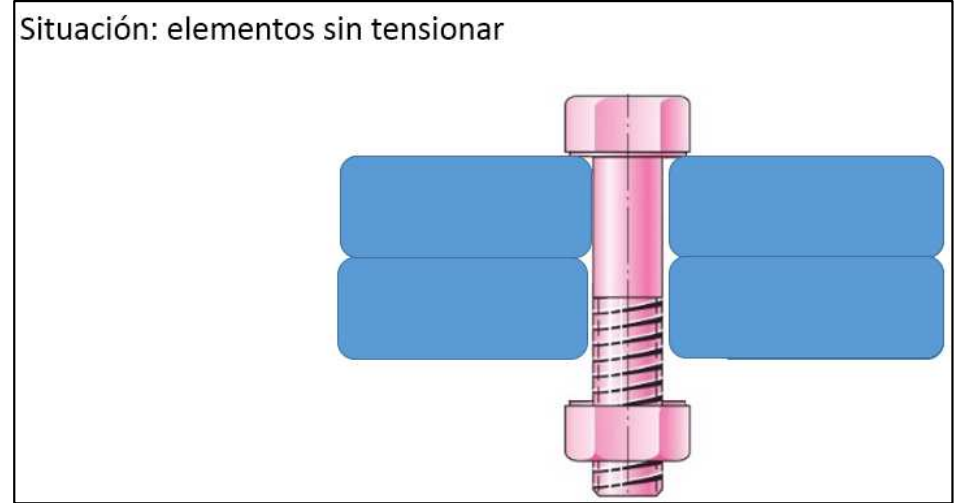
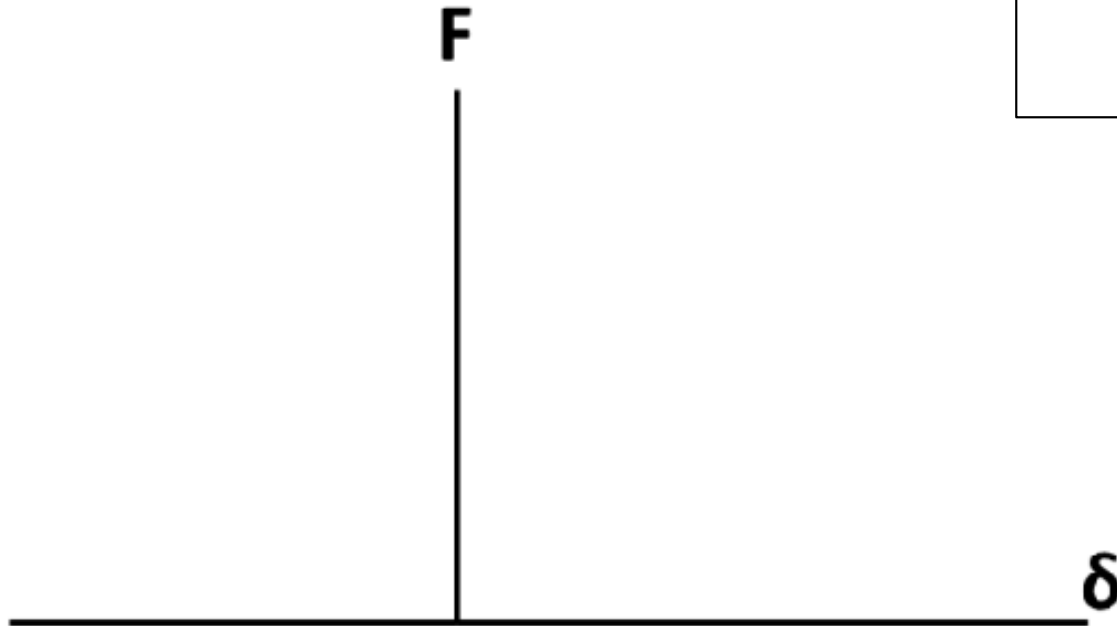
C = Constante de rigidez de la unión

l = Agarre de la conexión



Tornillos de Unión

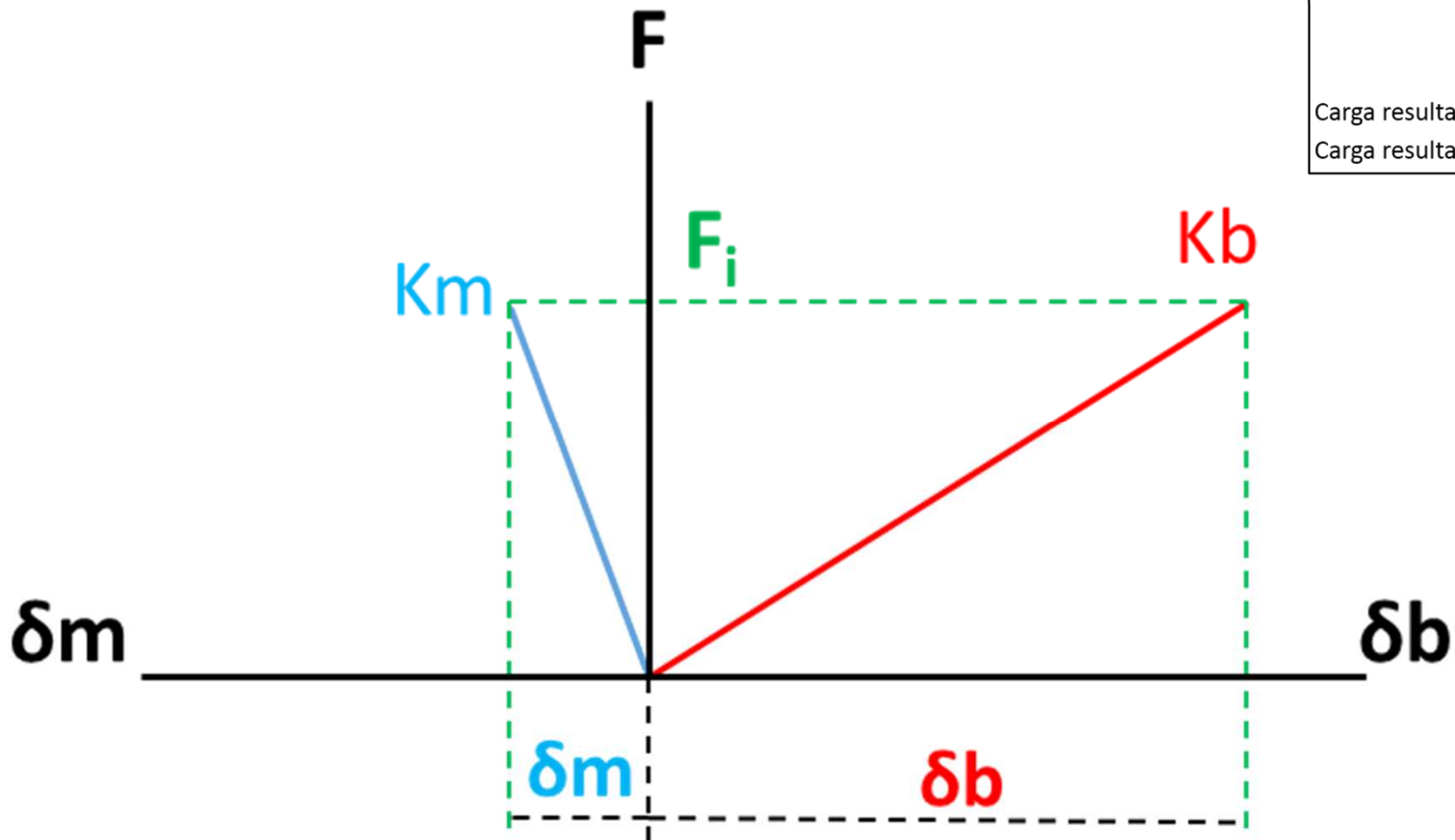
Esquema de Reparto de Cargas



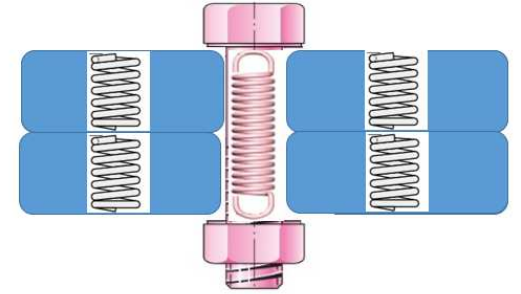
Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

Condición de **Montaje**



Situación: Aplicación de precarga F_i en pernos y junta



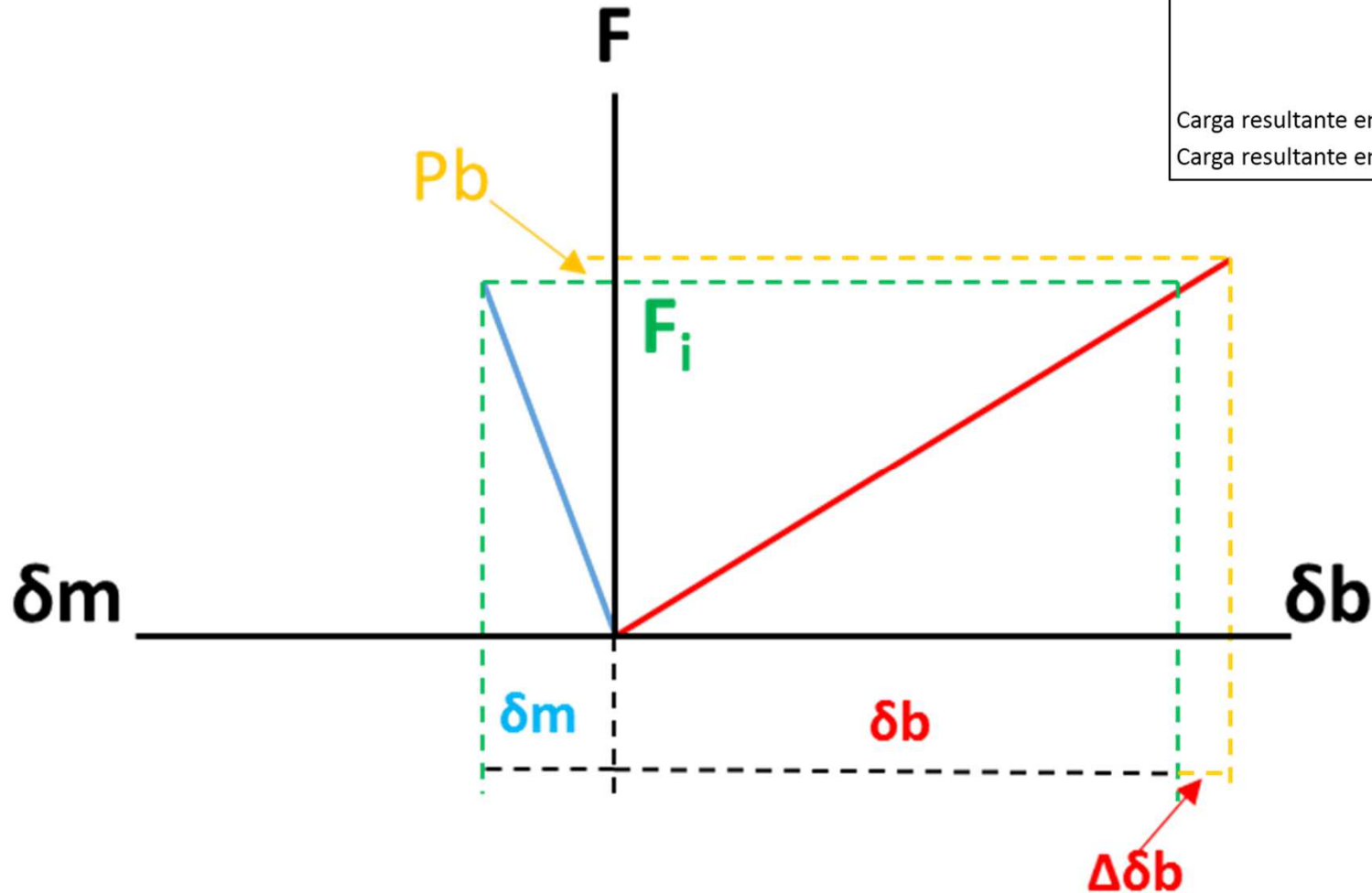
Carga resultante en los pernos $F_b = F_i$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = -F_i$

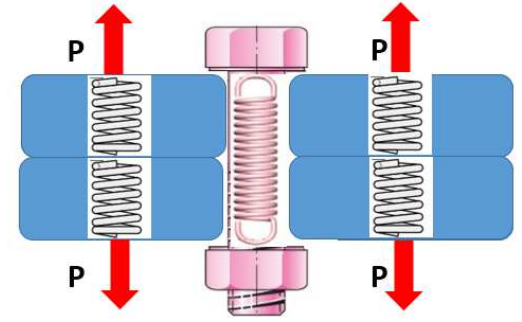
Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

Condición de **Operación**



Situación: Aplicación de precarga F_i + carga externa P en pernos y juntas.



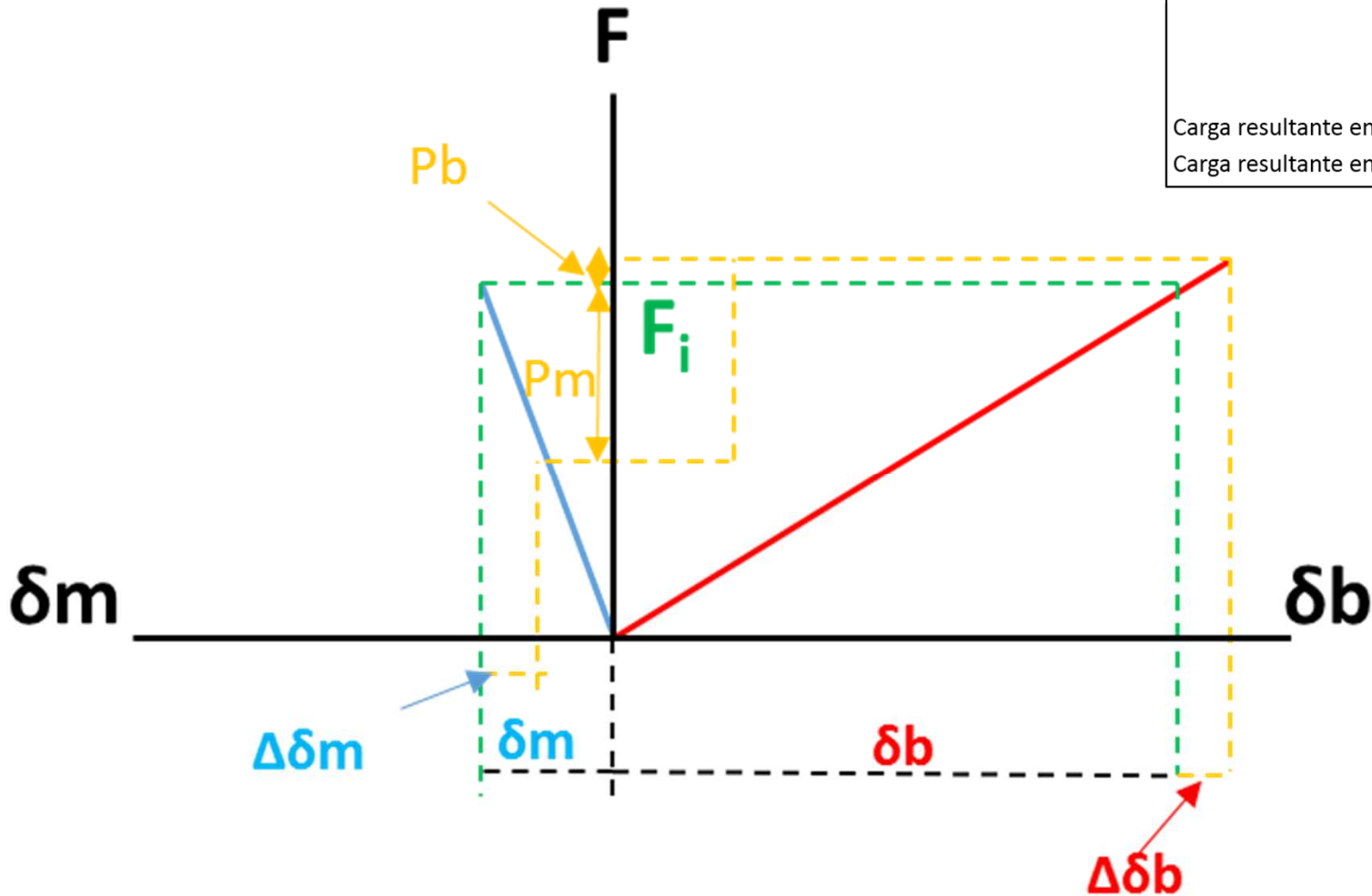
Carga resultante en los pernos $F_b = F_i + P_b$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = P_m - F_i$

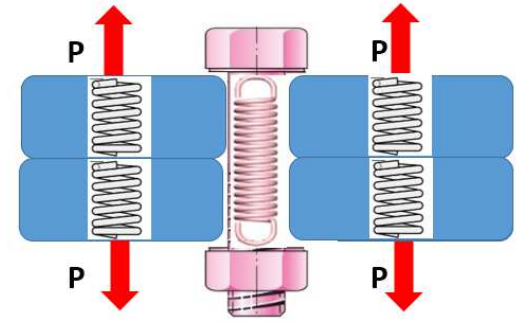
Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

Condición de **Operación**



Situación: Aplicación de precarga F_i + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos $F_b = F_i + P_b$

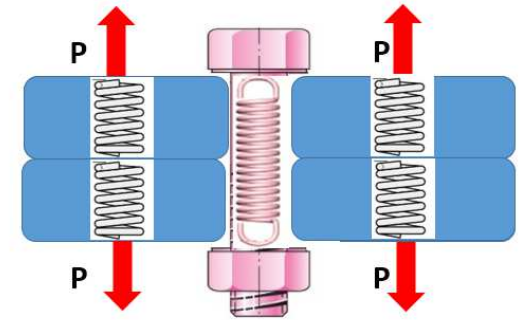
Carga resultante en los elementos de junta $F_m = P_m - F_i$

Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

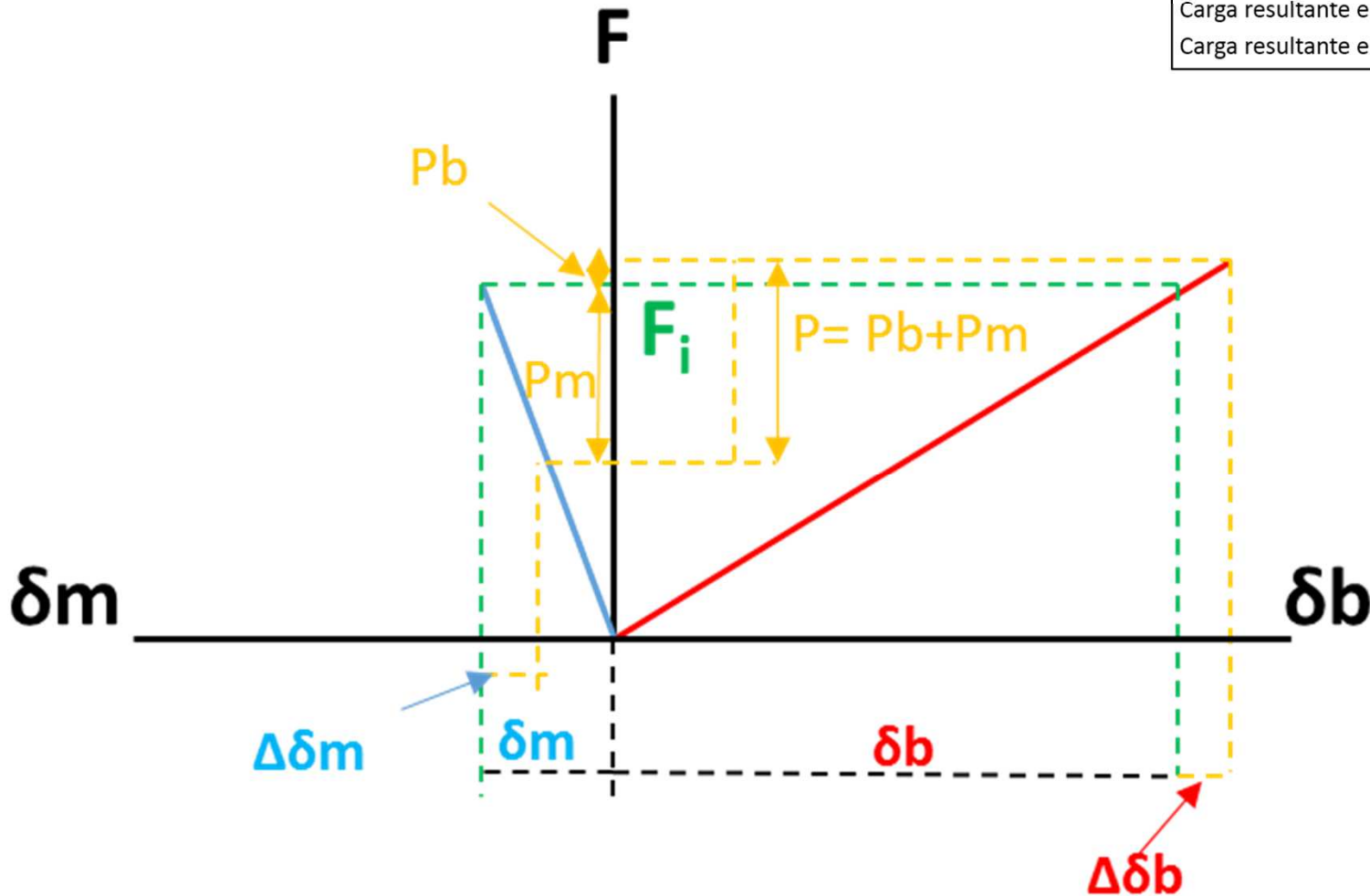
Condición de **Operación**

Situación: Aplicación de precarga F_i + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos $F_b = F_i + P_b$

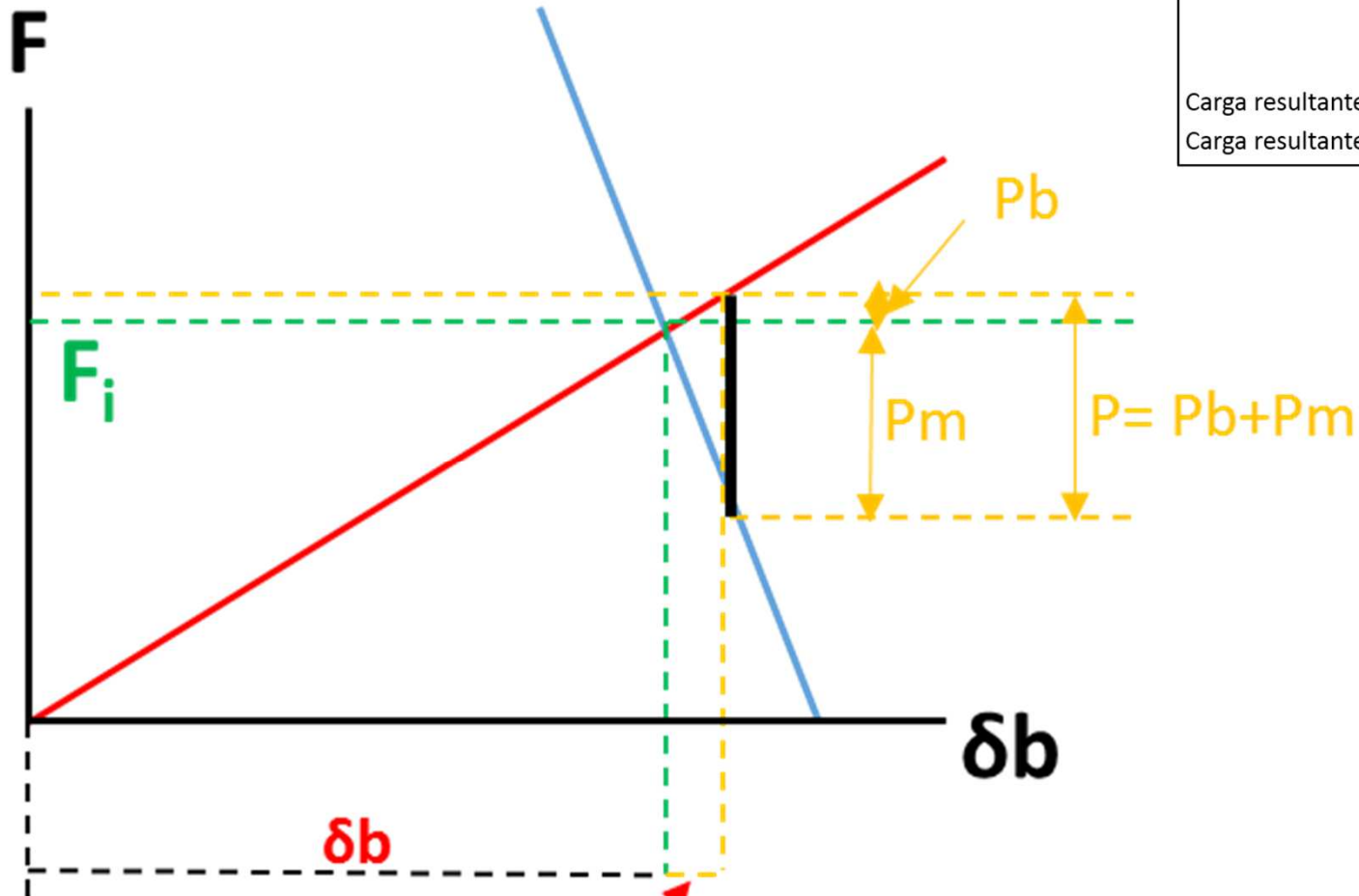
Carga resultante en los elementos de junta $F_m = P_m - F_i$



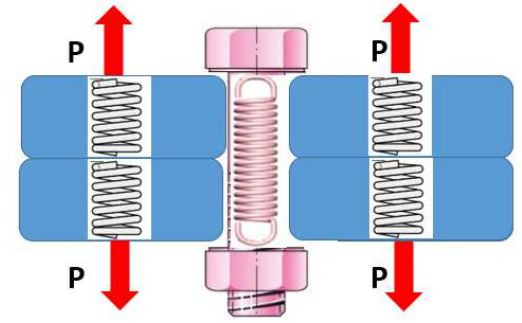
Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

Condición de **Operación**



Situación: Aplicación de precarga F_i + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos $F_b = F_i + P_b$

Carga resultante en los elementos de junta $F_m = P_m - F_i$

Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad F_m < 0$$

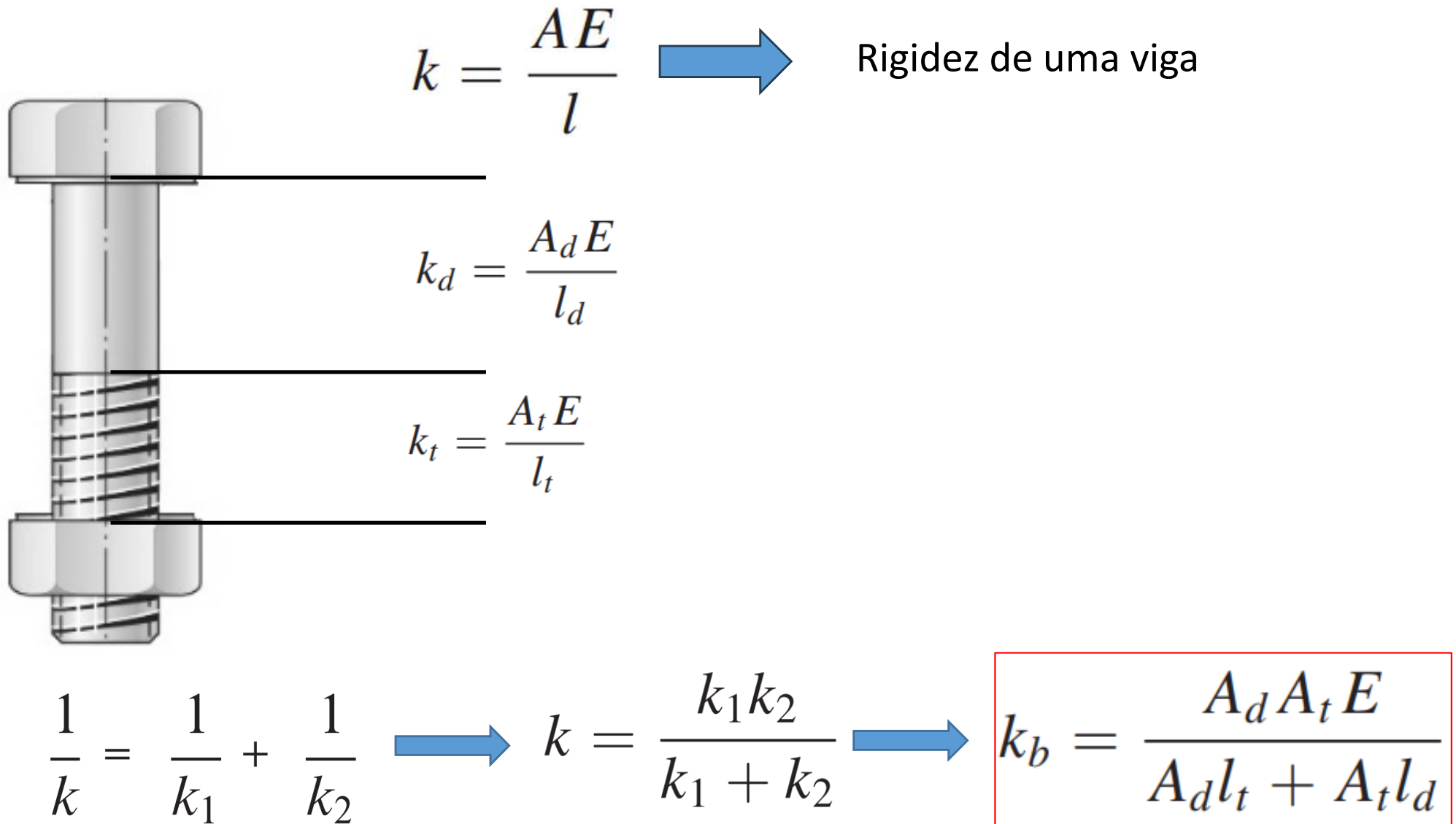
$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Kb = Rigidez del perno

Km = Rigidez de los elementos de junta

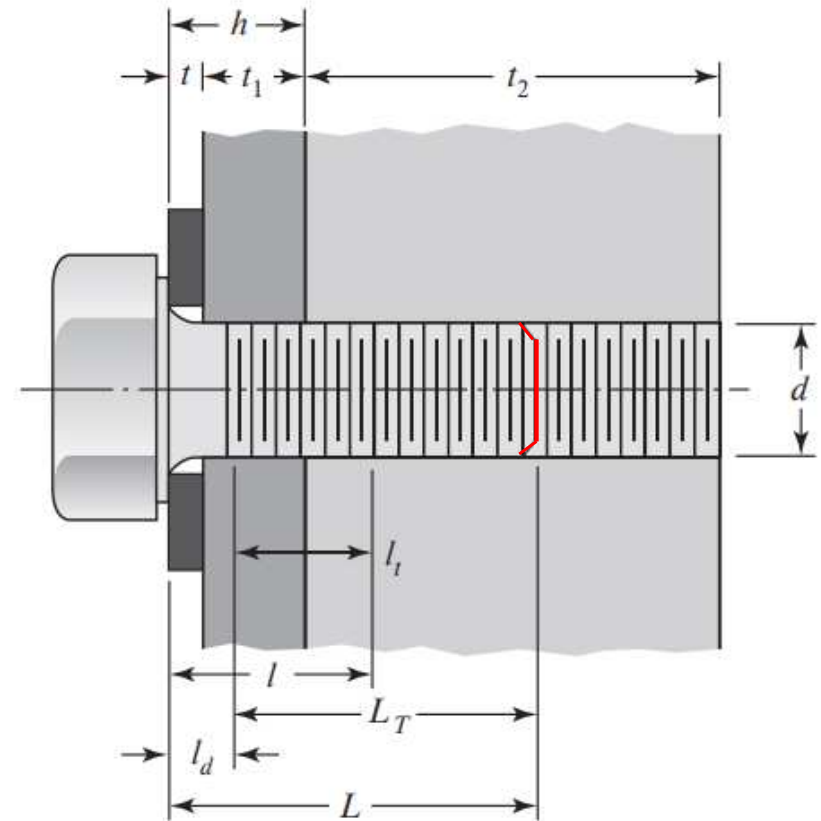
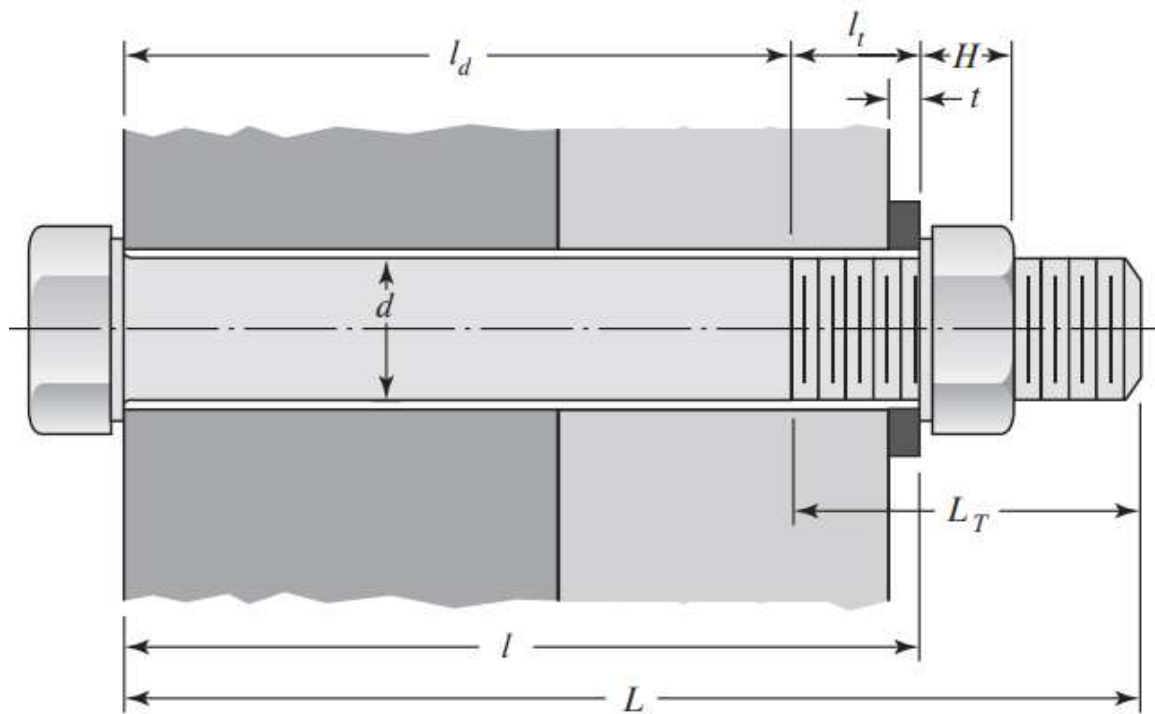
Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb



Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb



Longitud del agarre:

Para la figura a): $l =$ espesor de todo el material apretado entre la cara del perno y la cara de la tuerca

Para la figura b): $l = \begin{cases} h + t_2/2, & t_2 < d \\ h + d/2, & t_2 \geq d \end{cases}$

Longitud de la parte sin rosca en el agarre: $l_d = L - L_T$

Longitud de la parte roscada en el agarre: $l_t = l - l_d$

Área de la parte sin rosca: $A_d = \pi d^2/4$

Área de la parte roscada: A_b , de la tabla 8-1 u 8-2

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión K_m

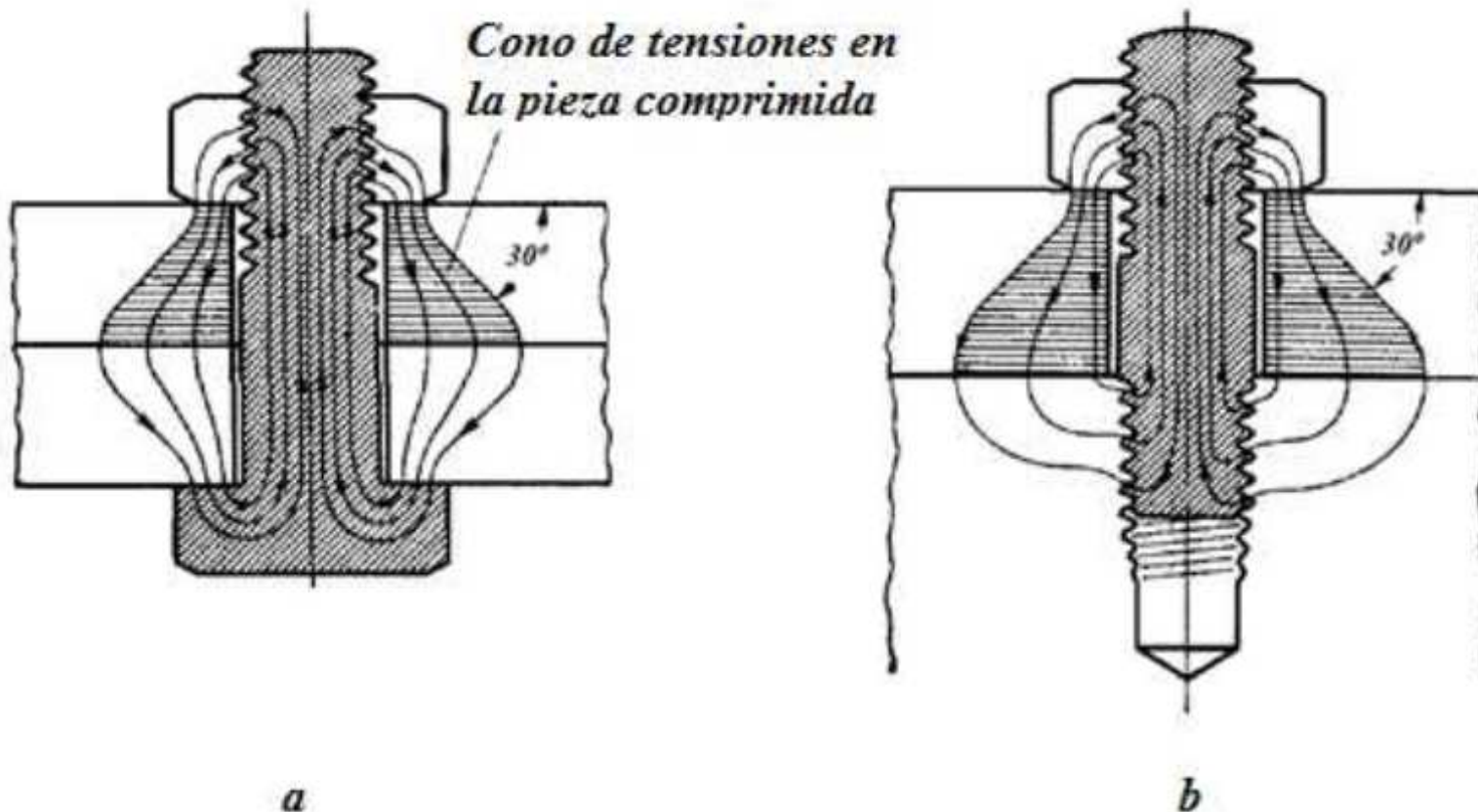
Puede haber más de dos elementos incluidos en el agarre del sujetador.
En conjunto actúan como resortes de compresión en serie.

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i}$$

Tornillos de Unión

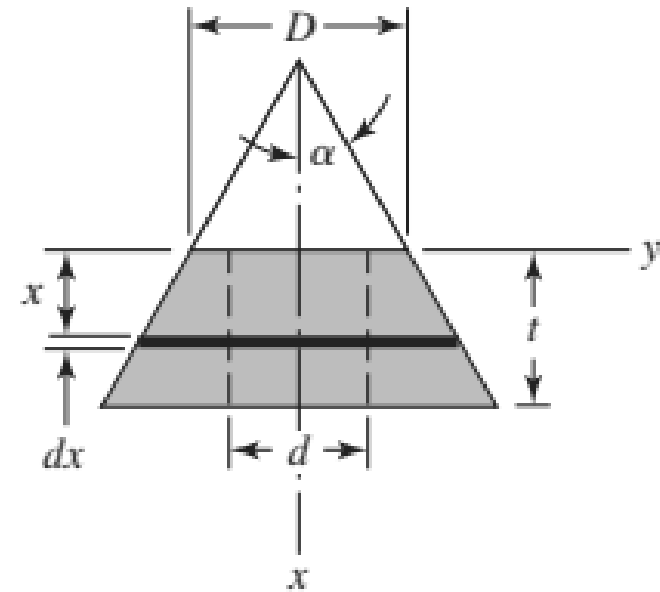
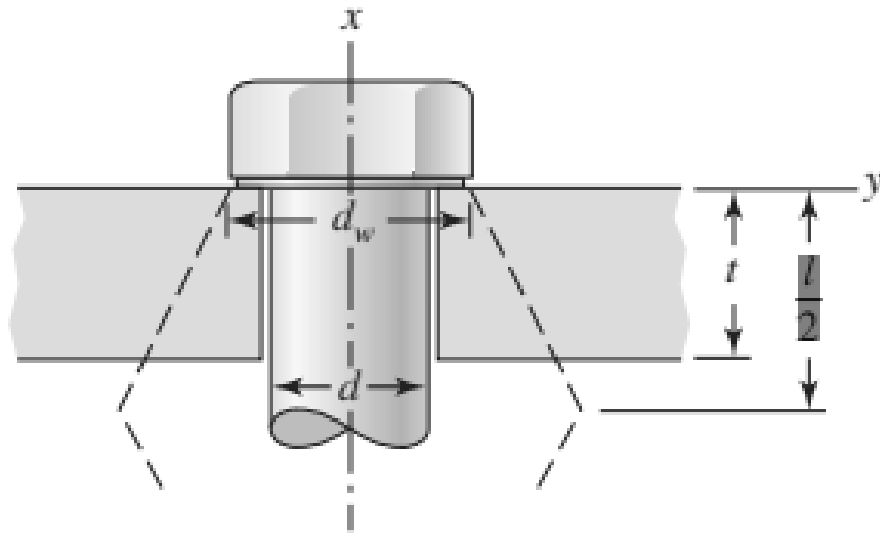
Rigidez de los Elementos de Unión Km

En las piezas atornilladas, las tensiones de compresión no se limitan a la zona situada inmediatamente debajo de la cabeza del tornillo, sino que se ensanchan en forma de cono, con un ángulo de 30° hacia la superficie de las piezas.



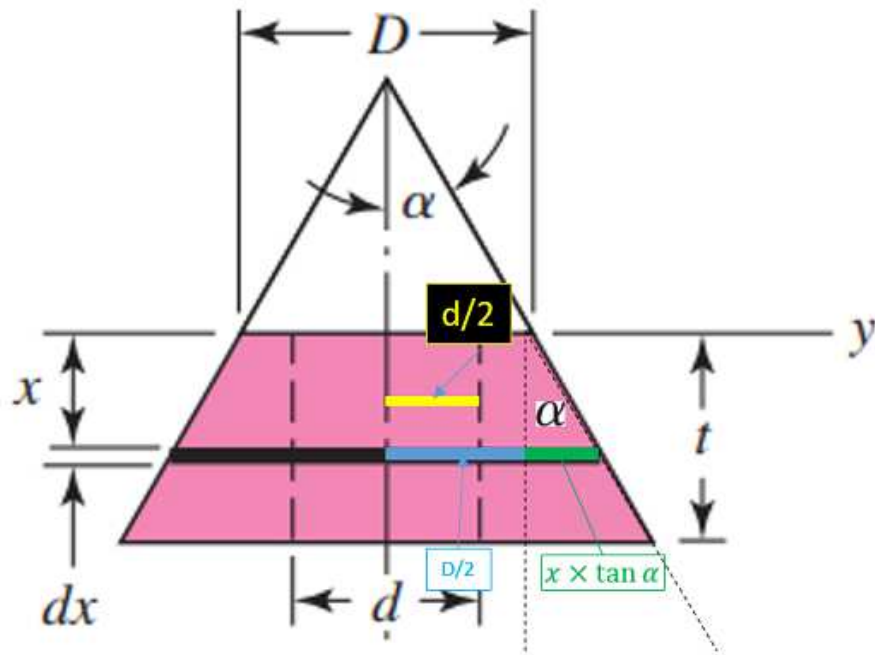
Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión K_m



Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km

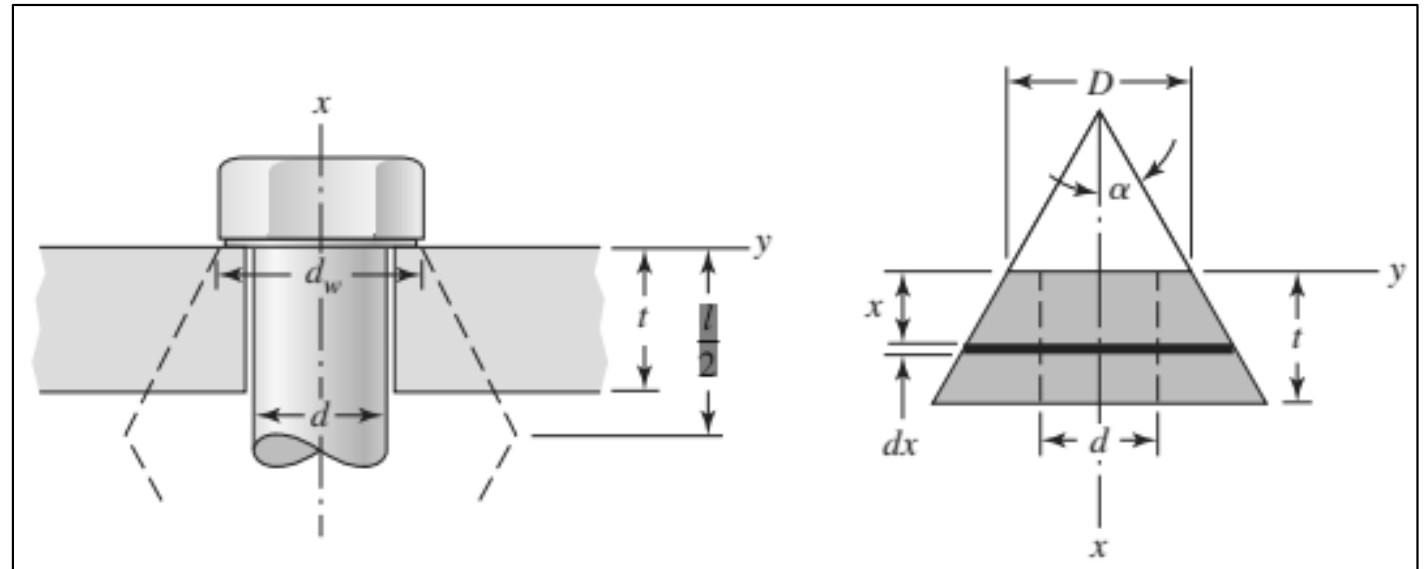


$$d\delta = \frac{P dx}{EA}$$

$$\delta = \frac{P}{\pi E} \int_0^t \frac{dx}{[x \tan \alpha + (D + d)/2][x \tan \alpha + (D - d)/2]}$$

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km

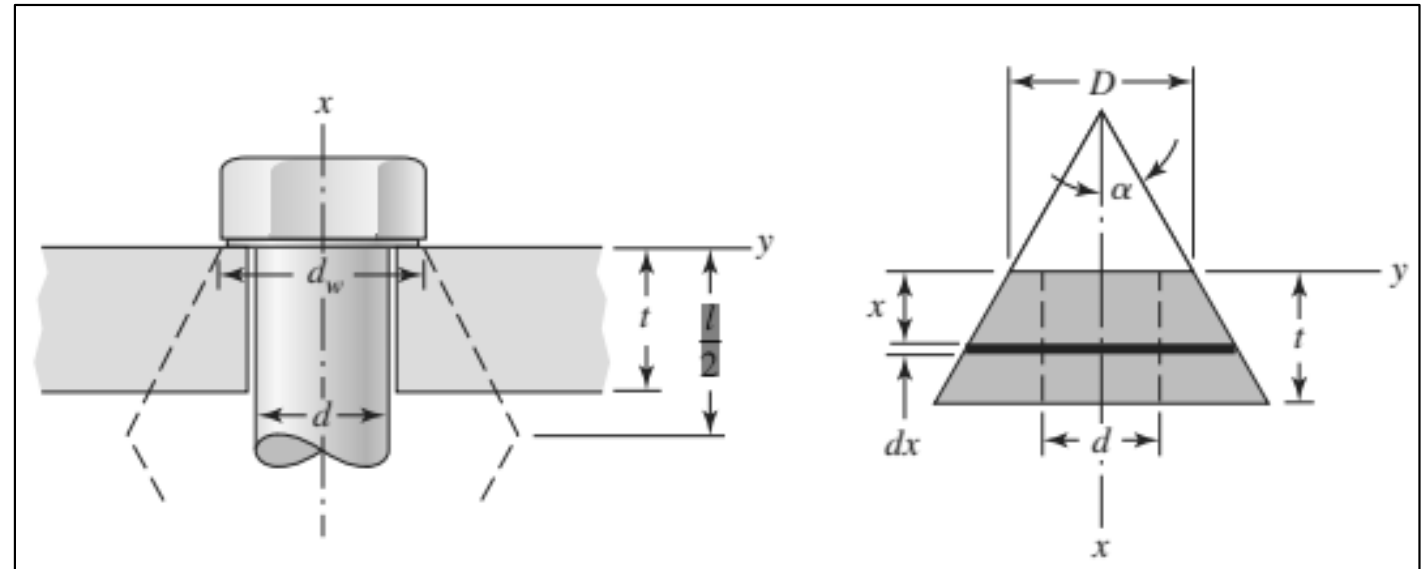


$$\delta = \frac{P}{\pi E d \tan \alpha} \ln \frac{(2t \tan \alpha + D - d)(D + d)}{(2t \tan \alpha + D + d)(D - d)} \rightarrow \text{Contracción total}$$

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{\pi E d \tan \alpha}{\ln \frac{(2t \tan \alpha + D - d)(D + d)}{(2t \tan \alpha + D + d)(D - d)}}$$

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión K_m



$$\alpha = 30^\circ$$

$$k = \frac{0.5774\pi E d}{\ln \frac{(1.155t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}}$$

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión K_m

Si los elementos de la unión tienen el **mismo módulo de Young E** con troncos espalda con espalda **simétricos**, entonces actúan como dos resortes idénticos en serie +

$$\alpha = 30^\circ$$



$$k_m = \frac{0.5774\pi E d}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)}$$

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión K_m

Wileman, Choudury y Green realizaron un estudio del elemento finito de este problema

$$\frac{k_m}{Ed} = A \exp(Bd/l)$$

Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad,		A	B
		GPa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminio	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Cobre	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
Expresión general				0.789 52	0.629 14

Para caras estándares de la arandela y elementos del mismo material, la ecuación proporciona un cálculo simple para la rigidez del elemento k_m

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad F_m < 0$$

Cargas en Perno

$$F_m = P_m - F_i = (1 - C)P - F_i \quad F_m < 0$$

Cargas en elementos de unión

$$\sigma_b = \frac{CP}{A_t} + \frac{F_i}{A_t}$$

$$\frac{CP + F_i}{A_t}$$

σ_b : Esfuerzo en Perno

A_t : Área de esfuerzo a tensión

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

Factores de seguridad

Factor de seguridad contra la fluencia

Factor de seguridad contra la sobrecarga

Factor de seguridad contra la separación de junta

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

Factores de seguridad

Factor de seguridad contra la fluencia

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_b} = \frac{S_p A_t}{CP + F_i}$$

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

Factores de seguridad

Factor de seguridad contra la sobrecarga

$$\frac{C n_L P + F_i}{A_t} = S_p$$

Si se despeja el factor de carga resulta

$$n_L = \frac{S_p A_t - F_i}{CP}$$

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

$$F_m = P_m - F_i = (1 - C)P - F_i \quad F_m < 0$$

Para $F_m = 0$ sucede la separación de las partes unidas.

$$(1 - C)P_0 - F_i = 0$$

$$n_0 = \frac{F_i}{P(1 - C)}$$

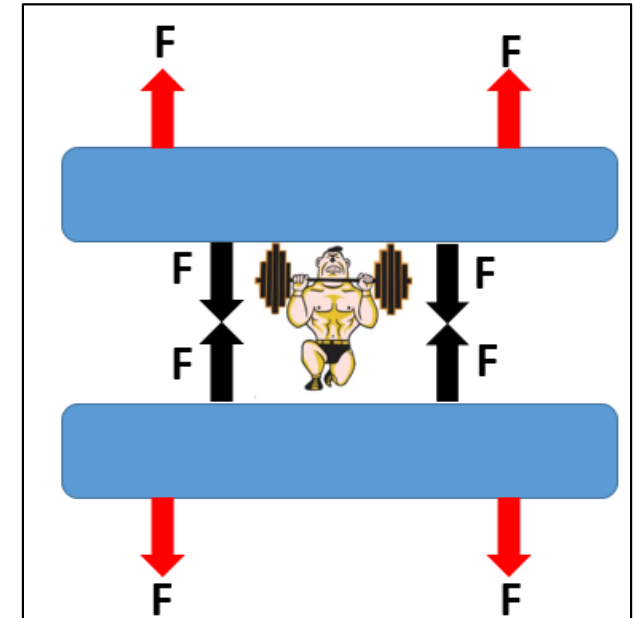
Cualquier valor de $n > 1$ asegura que las partes no se van a separar.

Tornillos de Unión

Precarga de pernos

“La pretensión es el “músculo” de la unión y su magnitud está determinada por la resistencia del perno. Si no se emplea toda la resistencia del perno para desarrollar la pretensión, se desperdicia dinero y la unión es más débil.”

Shigley



Tornillos de Unión

Precarga de pernos

$$F_i = \begin{cases} 0.75F_p & \text{para conexiones no permanentes, sujetadores reutilizados} \\ 0.90F_p & \text{para conexiones permanentes} \end{cases}$$

$$F_p = A_t S_p \quad \text{Carga de prueba}$$

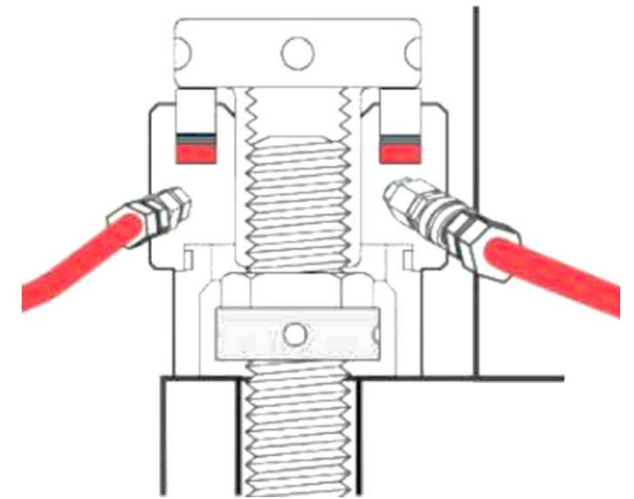
S_p es la resistencia de prueba que se obtiene de las tablas 8-9 a 8-11
Para otros materiales, un valor aproximado es $S_p = 0.85S_y$

Tornillos de Unión

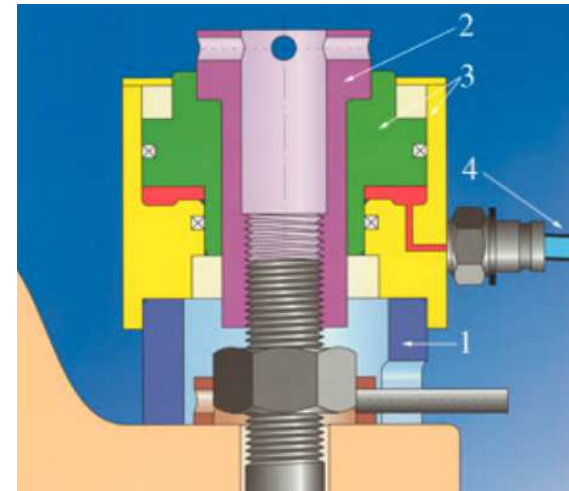
Precarga de pernos

Si la longitud total del tornillo realmente puede medirse con un micrómetro cuando se monta, la elongación del tornillo, debida a la precarga F_i , se calcula con la fórmula

$$\delta = \frac{F_i l}{A E}$$

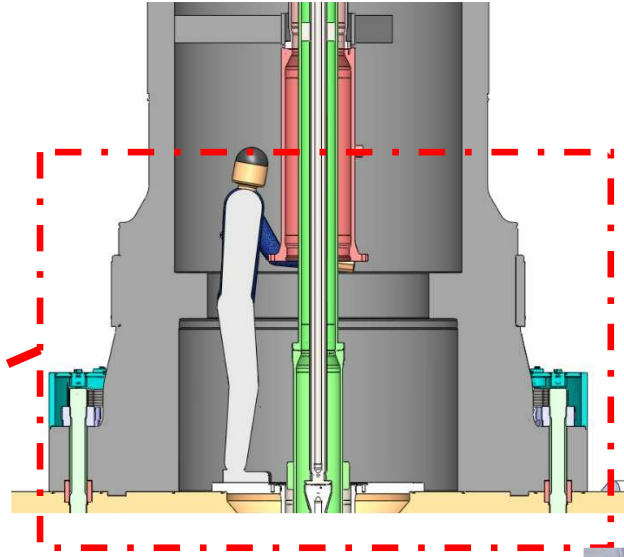
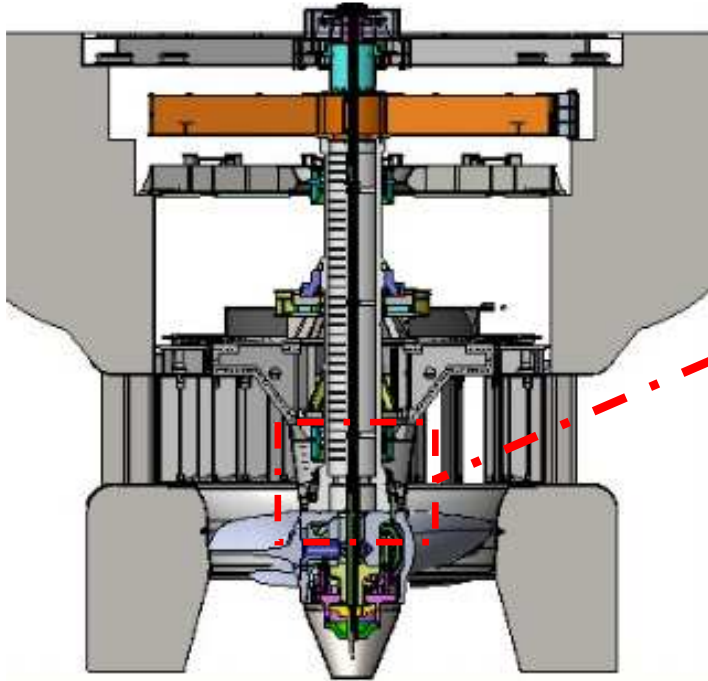


Tensionador
Hidráulico



Tornillos de Unión

Precarga de pernos



Tornillos de Unión

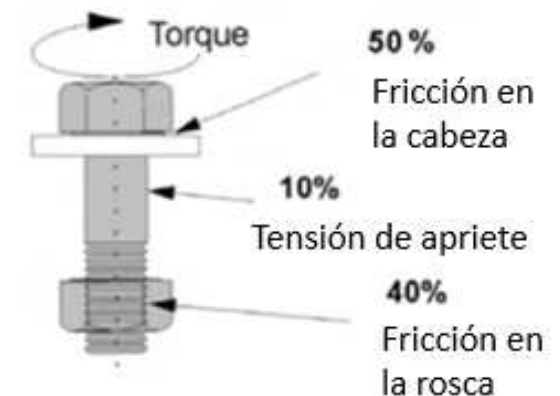
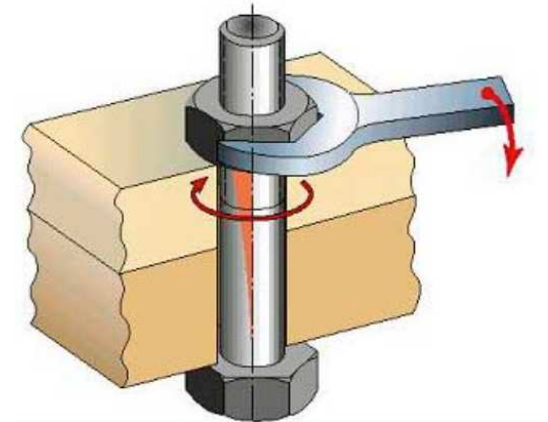
Precarga de pernos

Torque necesario

$$T = K F_i d$$

Factores del par de torsión K

Condición del perno	K
Sin recubrimiento, acabado negro	0.30
Galvanizado	0.20
Lubricado	0.18
Con recubrimiento de cadmio	0.16
Con Anti-Seize Bowman	0.12
Con tuercas Bowman-Grip	0.09



Tornillos de Unión

Precarga de pernos

SuperBolt



Tornillos de Unión

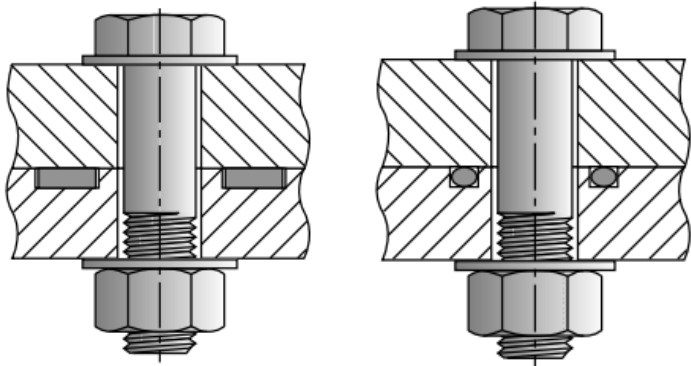
Carga Estática en Tornillos de Unión

JUNTAS CON EMPAQUETADURA

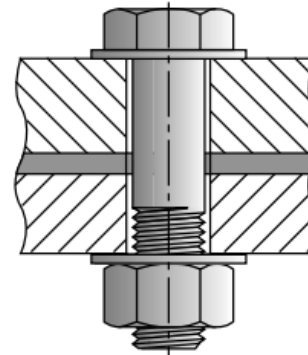
$$p = \frac{F_m}{A_g / N}$$

Presión en el empaque

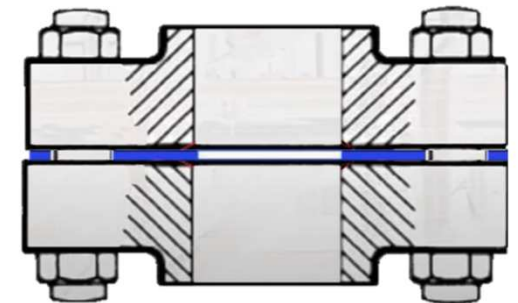
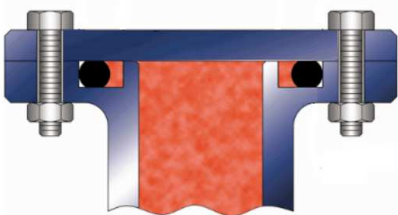
$$F_m = (1 - C)nP - F_i \quad \longrightarrow \quad p = \frac{N}{A_g} [F_i - nP(1 - C)]$$



Empaque Confinado



Empaque no Confinado



Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

JUNTAS CON EMPAQUETADURA

$$3 \leq \frac{\pi D_b}{Nd} \leq 6$$

Separación de los pernos



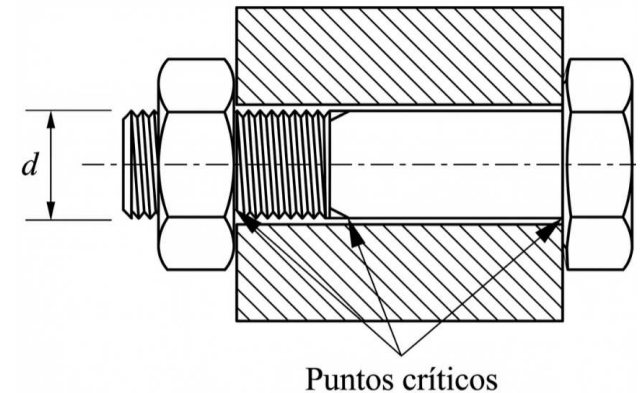
Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Las uniones con pernos cargadas a tensión sometidas a la acción de la fatiga pueden analizarse de manera directa por medio de los métodos del capítulo 6

Peterson hace notar que la distribución de las fallas comunes de pernos está aproximadamente

- 15% por debajo de la cabeza
- 20% al final de la rosca
- 65% en la rosca, en la cara de la tuerca



Factores de concentración del esfuerzo de fatiga **K_f** de elementos roscados

Grado SAE	Grado métrico	Roscas laminadas	Roscas cortadas	Filete
0 a 2	3.6 a 5.8	2.2	2.8	2.1
4 a 8	6.6 a 10.9	3.0	3.8	2.3

Tabla 8-16

Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Resistencias a la fatiga completamente corregidas de pernos y tornillos con roscas laminadas

Grado o clase	Intervalo de tamaños	Resistencia a la fatiga
SAE 5	$\frac{1}{4}$ – 1 pulg	18.6 kpsi
	$1\frac{1}{8}$ – $1\frac{1}{2}$ pulg	16.3 kpsi
SAE 7	$\frac{1}{4}$ – $1\frac{1}{2}$ pulg	20.6 kpsi
SAE 8	$\frac{1}{4}$ – $1\frac{1}{2}$ pulg	23.2 kpsi
ISO 8.8	M16 – M36	129 MPa
ISO 9.8	M1.6 – M16	140 MPa
ISO 10.9	M5 – M36	162 MPa
ISO 12.9	M1.6 – M36	190 MPa

Tabla 8-17

* Carga axial, repetidamente aplicada, completamente corregida, incluyendo K_f como reductor de la resistencia a la fatiga

Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad F_m < 0 \quad \text{Cargas en Perno}$$

En muchas aplicaciones P variará entre 0 y un valor máximo:

$$F_{\max} = F_b$$

$$F_{\min} = F_i$$

$$\sigma_a = \frac{(F_{\max} - F_{\min})}{2} = \frac{F_b - F_i}{2A_t} = \frac{(CP + F_i) - F_i}{2A_t} = \frac{CP}{2A_t}$$

$$\sigma_m = \frac{(F_{\max} + F_{\min})}{2} = \frac{F_b + F_i}{2A_t} = \frac{(CP + F_i) + F_i}{2A_t} = \frac{CP}{2A_t} + \frac{F_i}{A_t}$$

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i$$

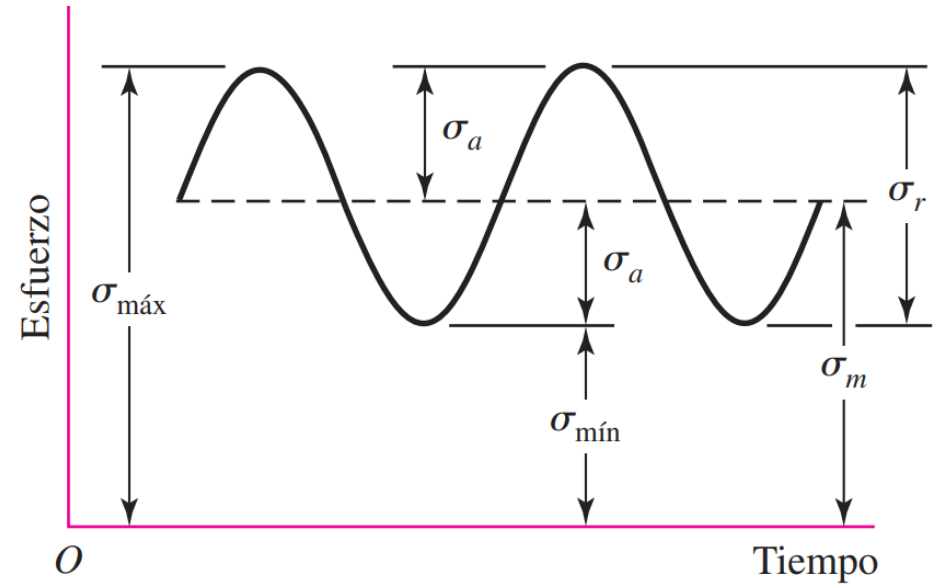
Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

$$\sigma_a = \frac{F_b - F_i}{2A_t} = \frac{(CP + F_i) - F_i}{2A_t} = \frac{CP}{2A_t}$$

$$\sigma_m = \frac{CP}{2A_t} + \frac{F_i}{A_t}$$

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i$$

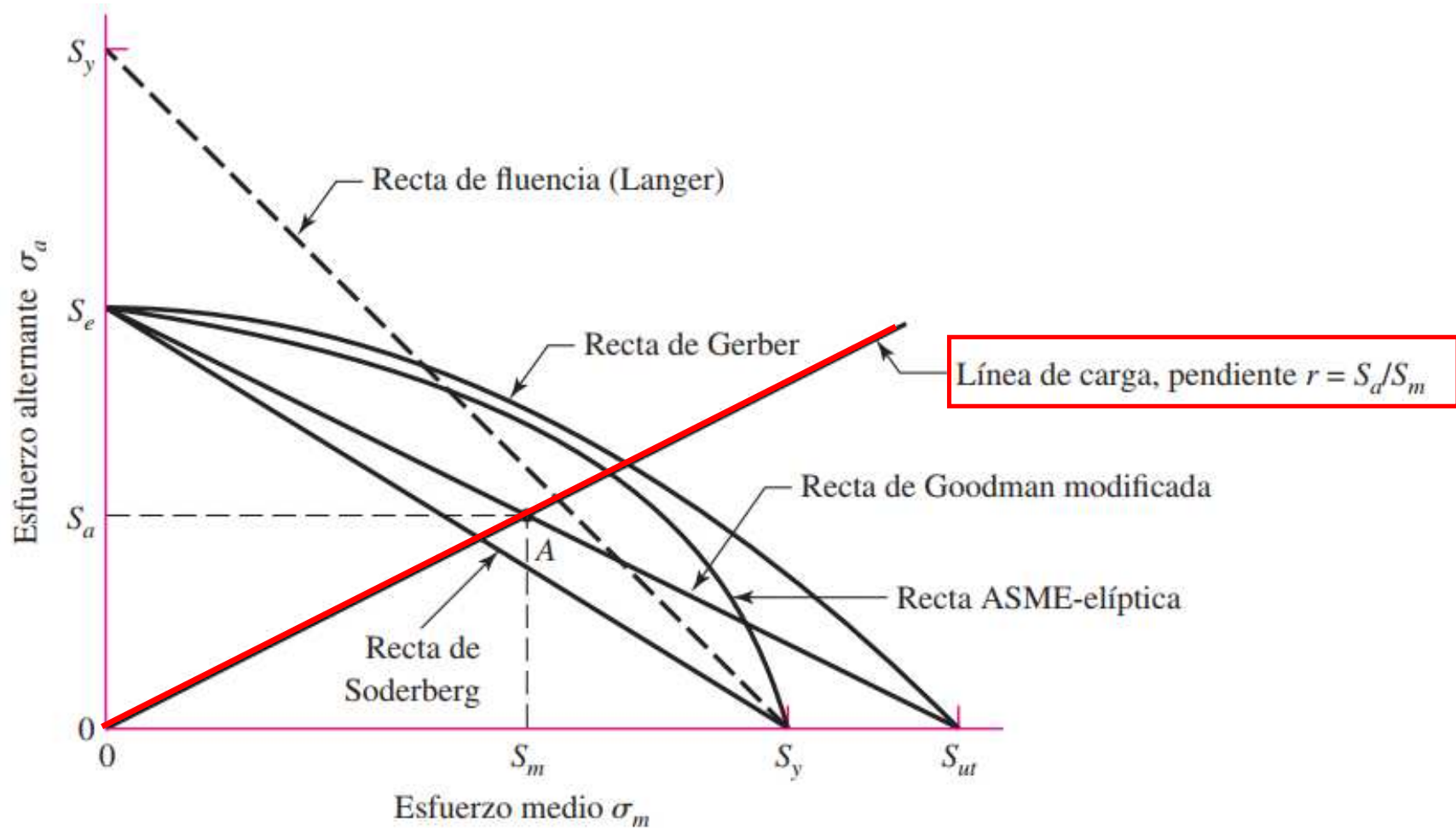


Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i$$

Línea de carga para tornillos de unión

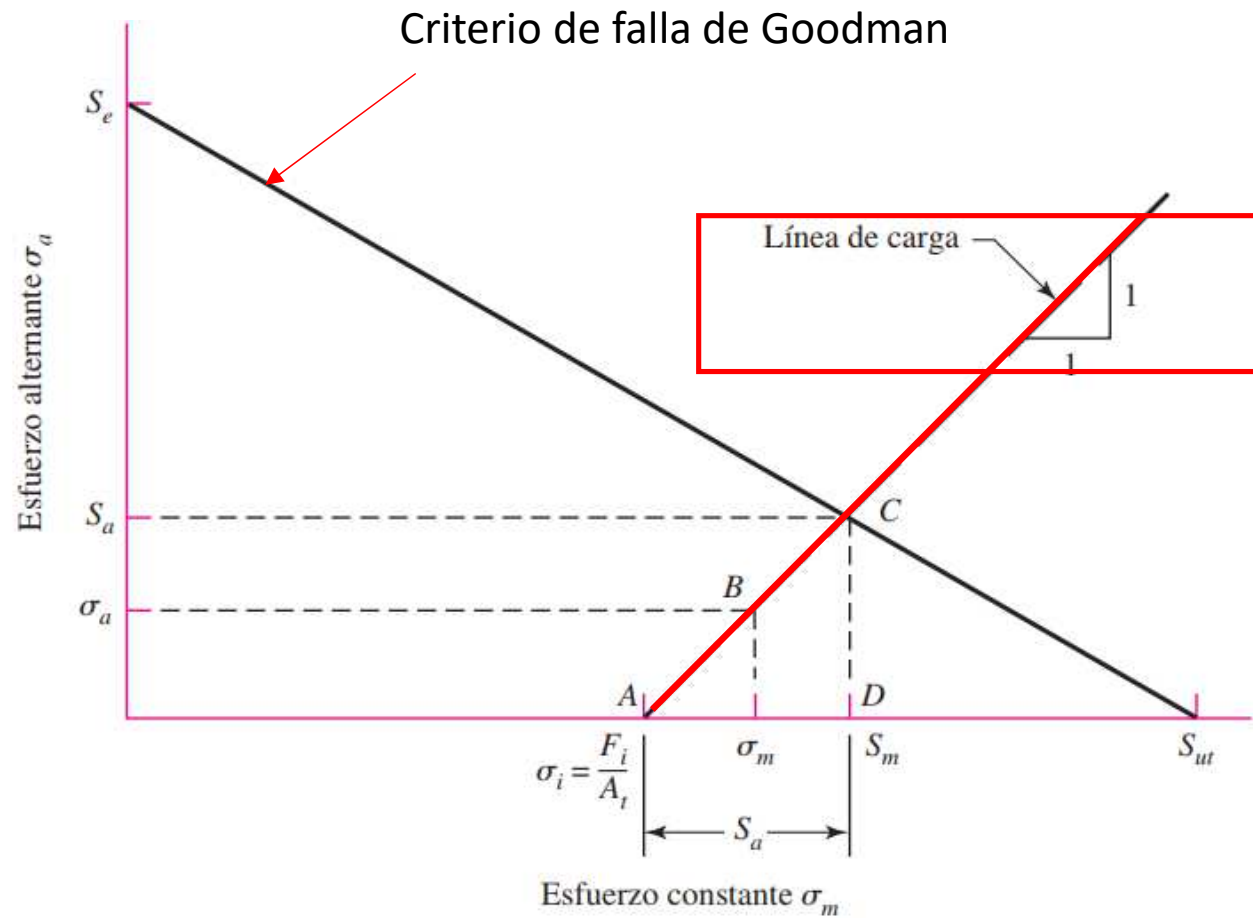


Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i$$

Línea de carga para tornillos de unión



Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Criterios de falla típicos

Goodman

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$$

Gerber

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}} \right)^2 = 1$$

ASME- elíptico

$$\left(\frac{S_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_p} \right)^2 = 1$$

Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Goodman:

$$S_a = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_{ut} + S_e}$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

Gerber:

$$S_a = \frac{1}{2S_e} \left[S_{ut} \sqrt{S_{ut}^2 + 4S_e(S_e + \sigma_i)} - S_{ut}^2 - 2\sigma_i S_e \right]$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

ASME-elíptica:

$$S_a = \frac{S_e}{S_p^2 + S_e^2} \left(S_p \sqrt{S_p^2 + S_e^2 - \sigma_i^2} - \sigma_i S_e \right)$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Factor de seguridad contra la fatiga $n_f = \frac{S_a}{\sigma_a}$

Goodman
$$n_f = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{\sigma_a(S_{ut} + S_e)}$$

Gerber
$$n_f = \frac{1}{2\sigma_a S_e} \left[S_{ut} \sqrt{S_{ut}^2 + 4S_e(S_e + \sigma_i)} - S_{ut}^2 - 2\sigma_i S_e \right]$$

ASME- elíptico
$$n_f = \frac{S_e}{\sigma_a(S_p^2 + S_e^2)} \left(S_p \sqrt{S_p^2 + S_e^2 - \sigma_i^2} - \sigma_i S_e \right)$$

Tornillos de Unión

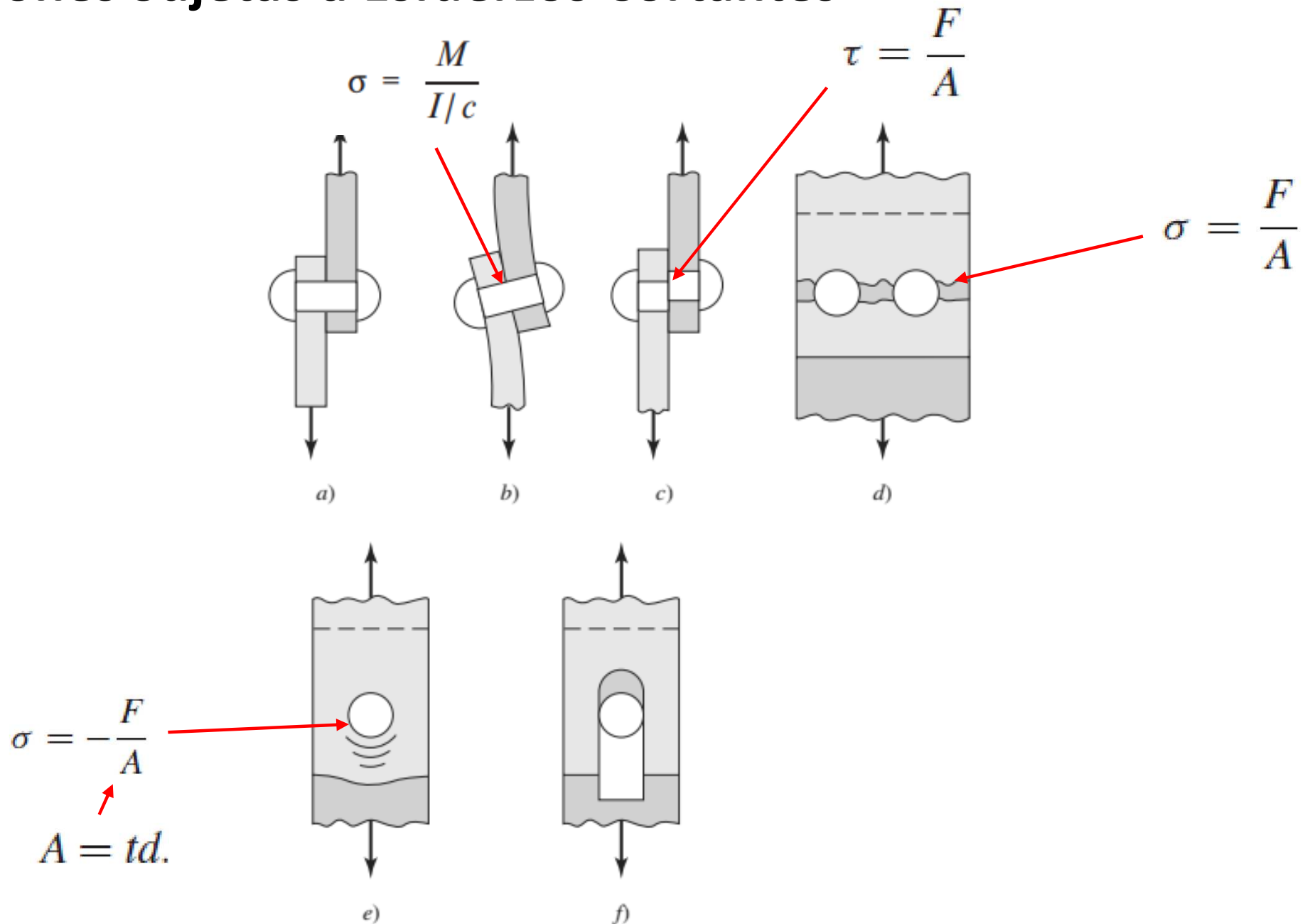
Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

Se recomienda verificar la posibilidad de fluencia, usando la resistencia de prueba

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_m + \sigma_a} \quad (8-51)$$

Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Esfuerzos Cortantes

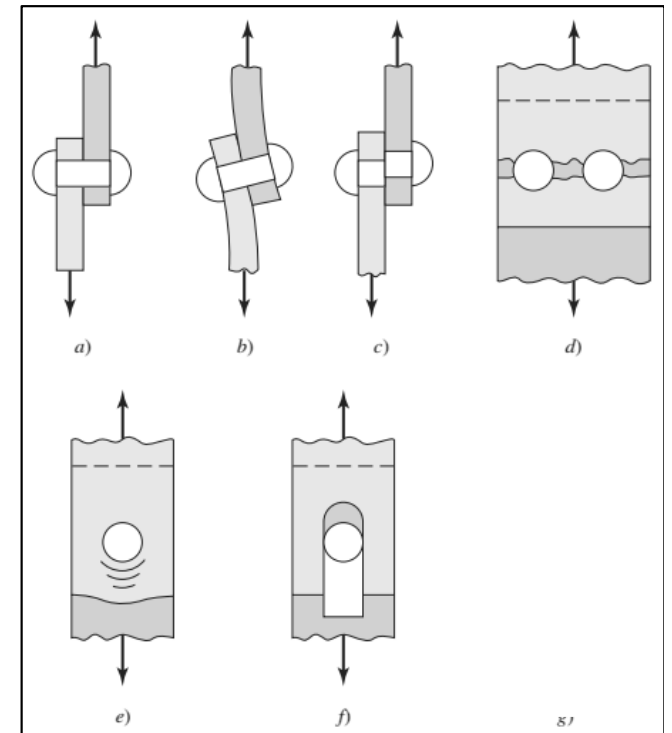


Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Esfuerzos Cortantes

En una unión sometido a esfuerzo cortante se debe verificar :

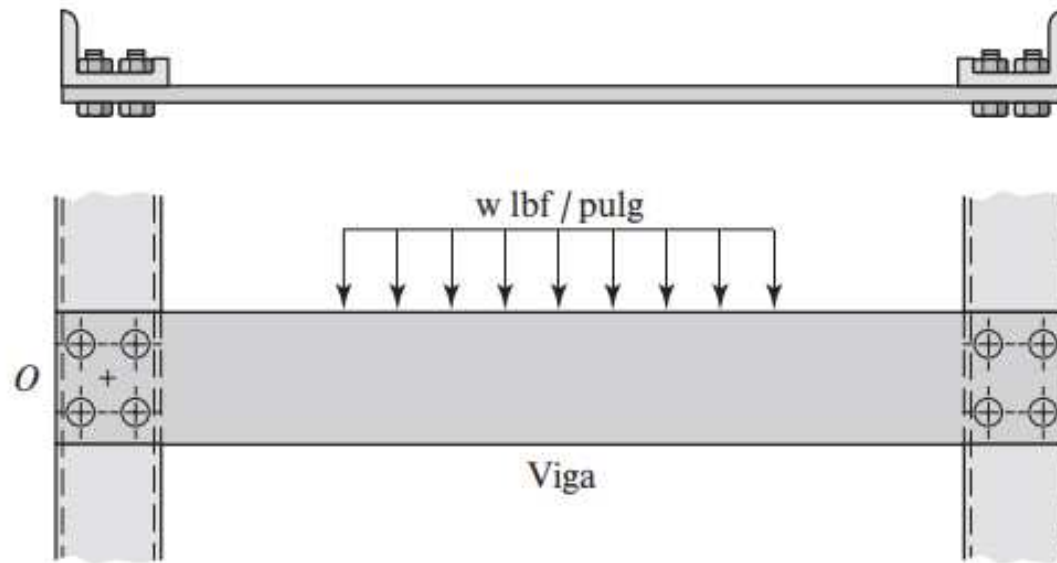
- Aplastamiento de los elementos (todos los agujeros participan)
- Cortante de un perno (a la larga, participan todos los pernos) Distinguir entre cortante de la rosca y del cuerpo
- Cortante del borde y desgarramiento del elemento
- Fluencia por tensión de los elementos a lo largo de los agujeros de los pernos



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

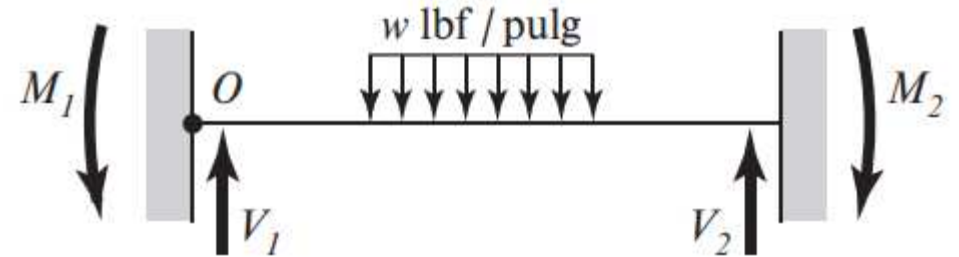
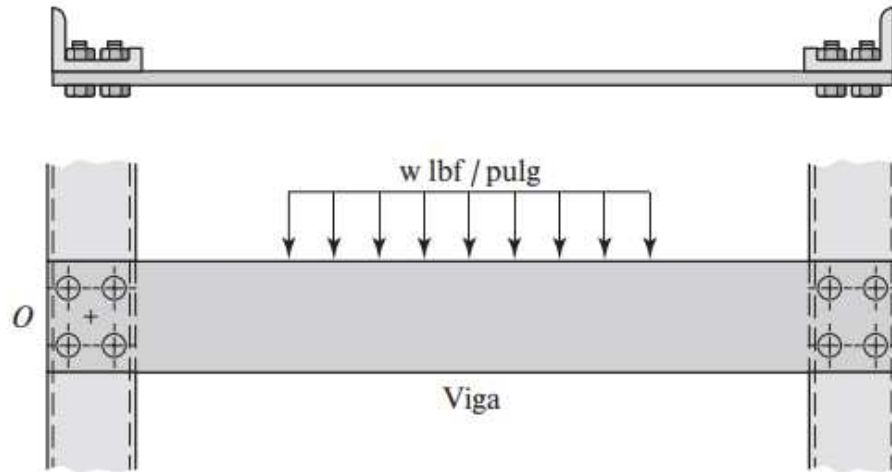
Viga con pernos en ambos extremos sometida a una carga distribuida



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

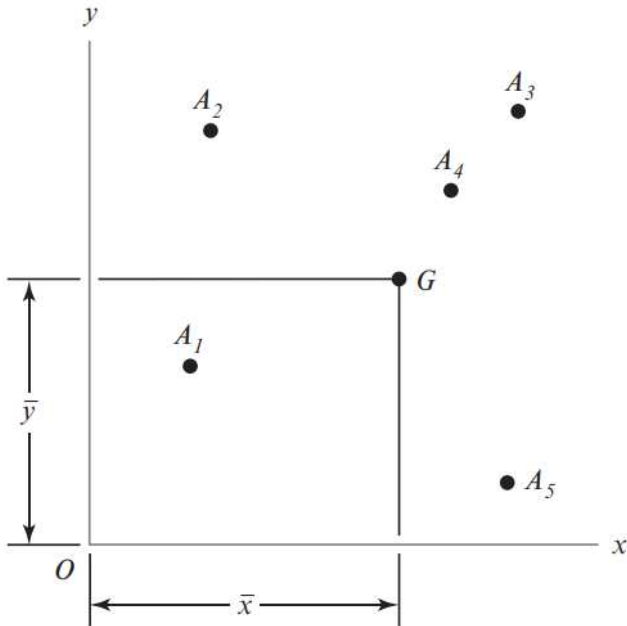
Viga con pernos en ambos extremos sometida a una carga distribuida



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Centroide de grupos de pernos



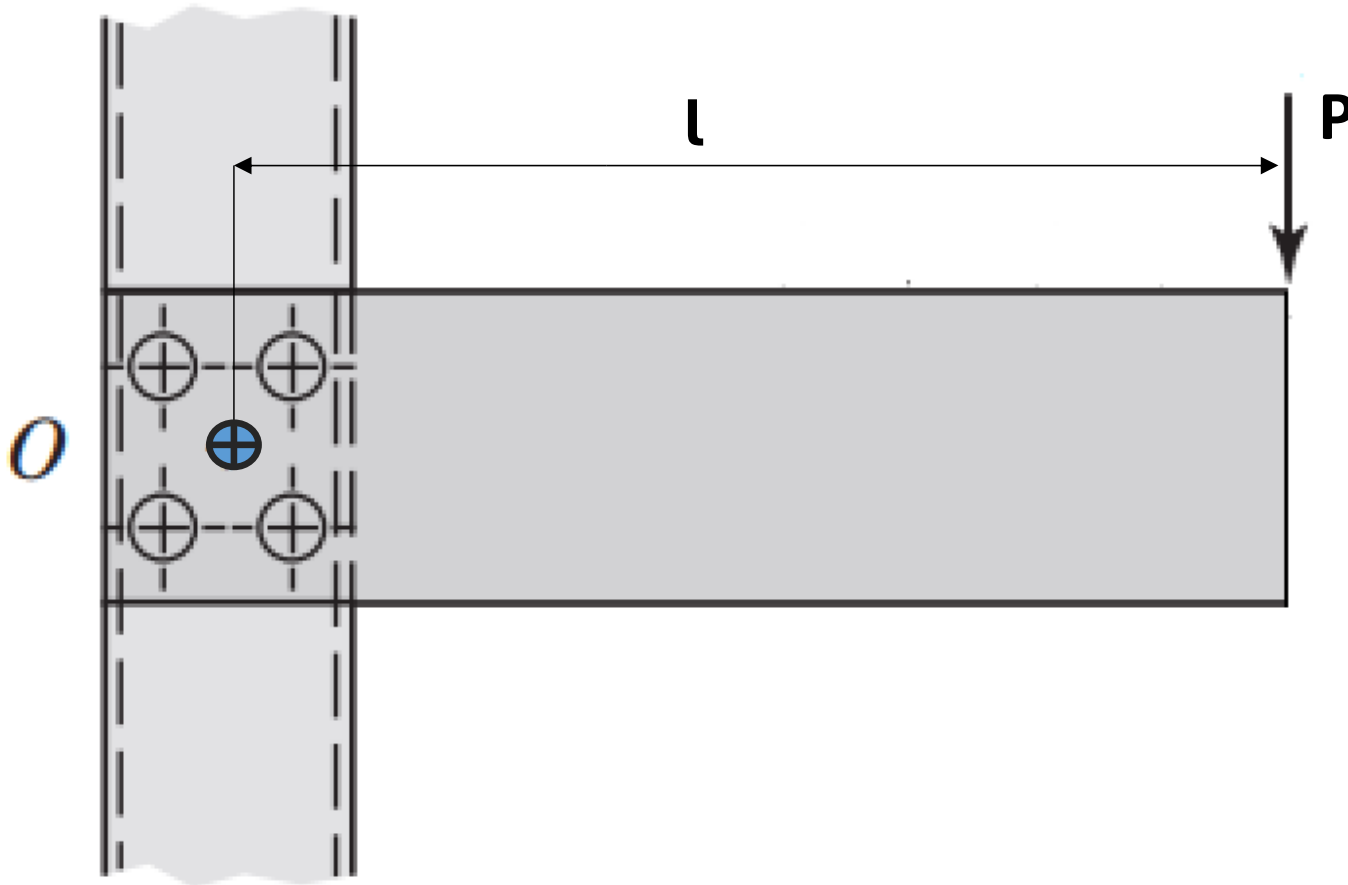
$$\bar{x} = \frac{A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4 + A_5x_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} = \frac{\sum_1^n A_i x_i}{\sum_1^n A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3 + A_4y_4 + A_5y_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} = \frac{\sum_1^n A_i y_i}{\sum_1^n A_i}$$

Tornillos de Unión

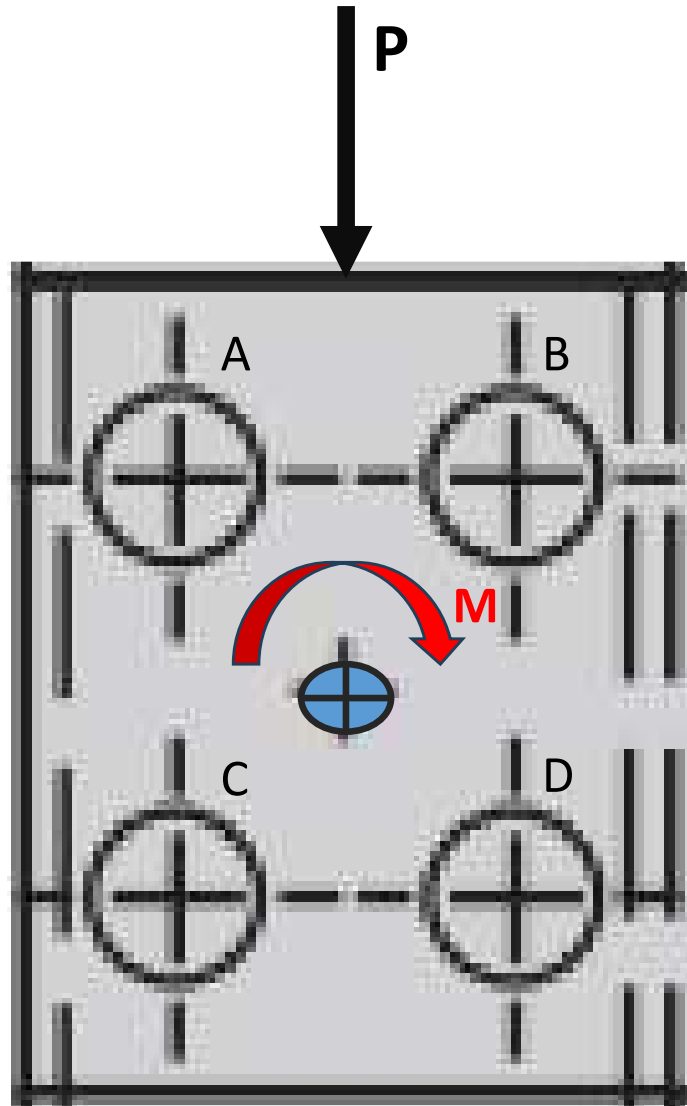
Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Centroide de grupos de pernos



Tornillos de Unión

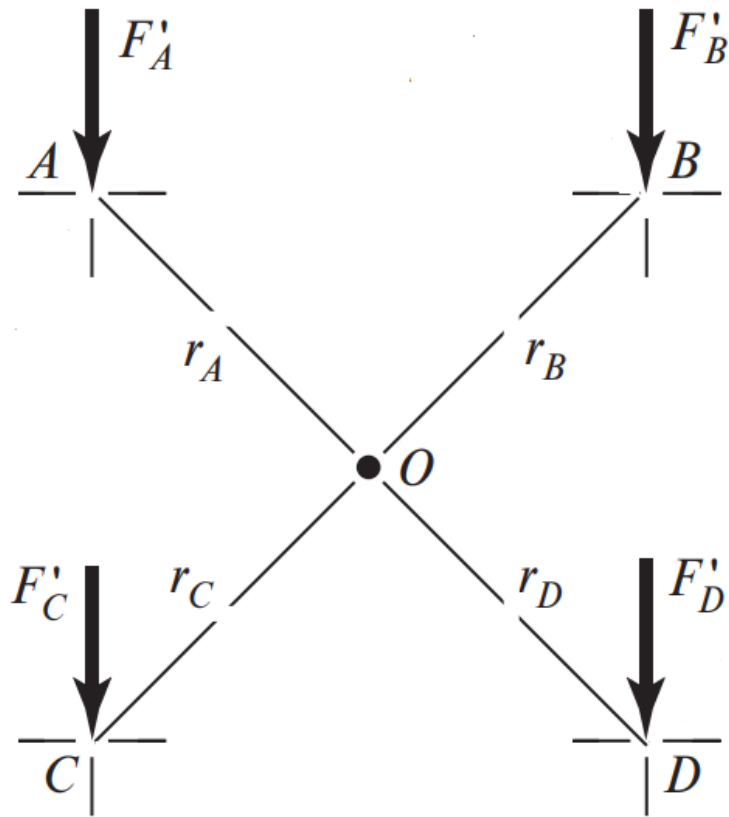
Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Carga directa o cortante primario: F'



$$F' = \frac{P}{n}$$

Tornillos de Unión

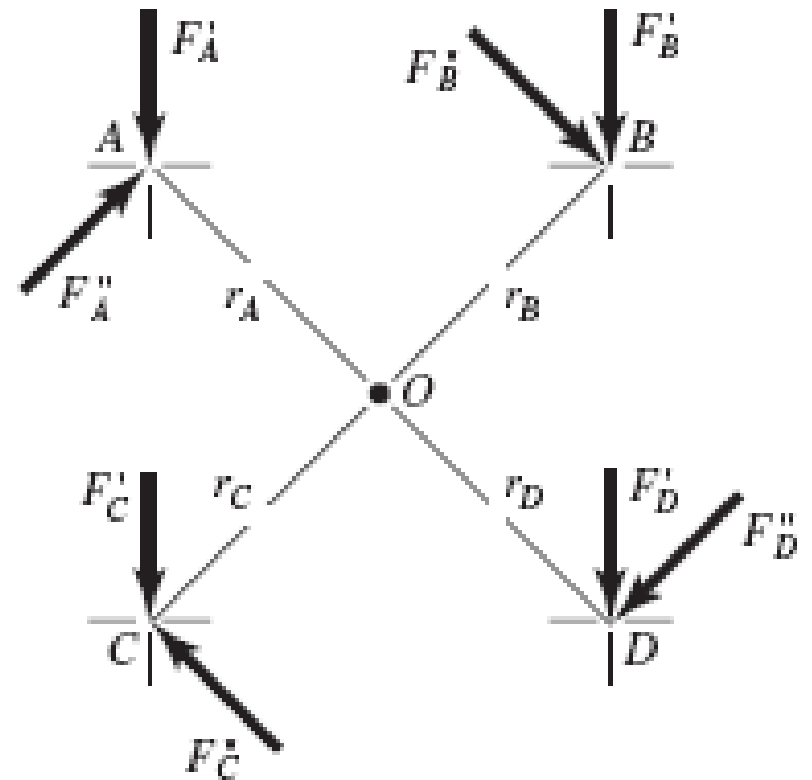
Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Carga del momento, o cortante secundario

$$M_1 = F''_A r_A + F''_B r_B + F''_C r_C + \dots$$

$$\frac{F''_A}{r_A} = \frac{F''_B}{r_B} = \frac{F''_C}{r_C}$$

$$F''_n = \frac{M_1 r_n}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2 + \dots}$$



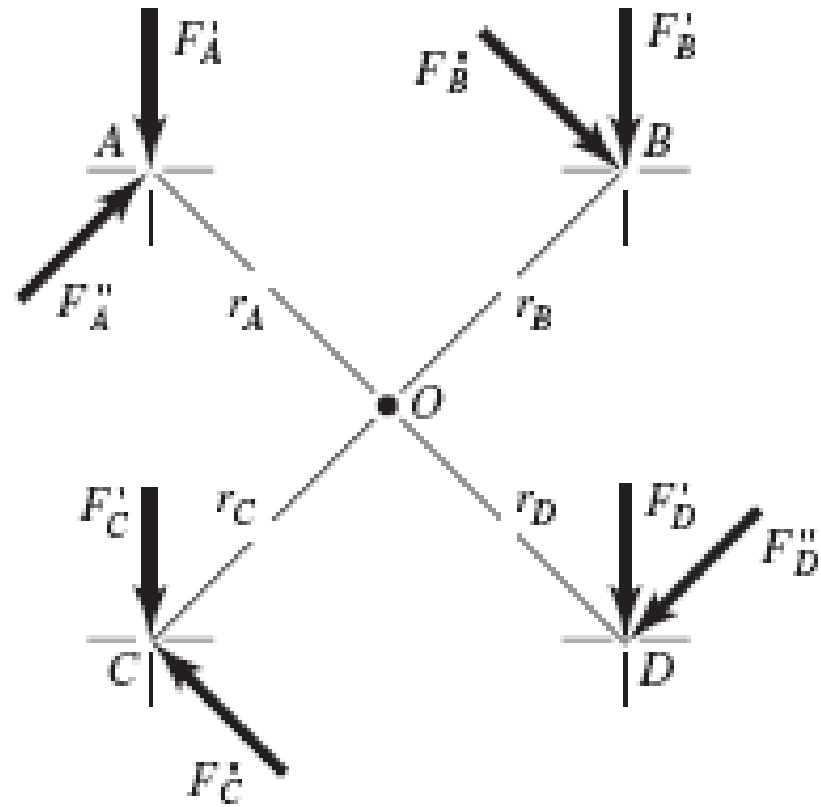
Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

$$S_{ys} = 0.577 S_y$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$N_s = \frac{S_{ys}}{\tau}$$



Tornillos de Unión

Bibliografía

Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett.- “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”- Ed. Mc-Graw hill. Octava edición

SHIGLEY- MISCKE.- “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”- Ed. McGraw Hill.

MOTT, Robert L.- “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS”.- Ed. Prentice-Hall.

JUVINALL, Robert c.- “FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERÍA MECÁNICA”.- Ed. LIMUSA.

VDI 2230