Facultad de Ingeniería OBERA

Universidad Nacional de Misiones

INGENIERÍA MECATRÓNICA

MECANISMOS Y ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Ingeniería . Mecatrónica

Año lectivo 2025

Plan 2021

Tornillos de Unión

Tornillos de Unión

Tipos de uniones.

Uniones fijas o Permanentes:

Remachado

Soldadura

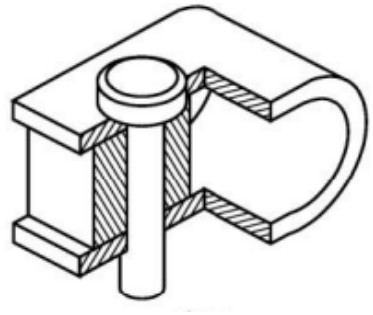
Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

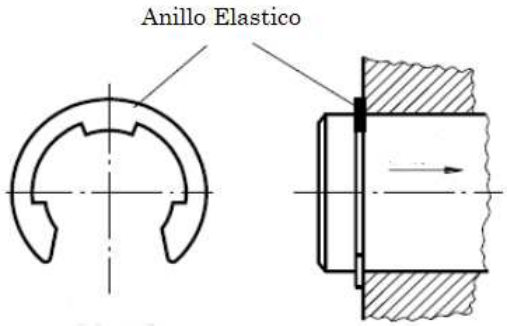
Tipos de uniones.

Uniones Desmontables:

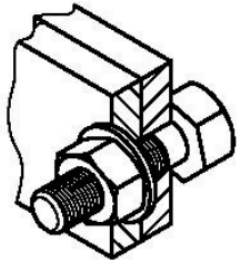
Pasadores



Anillos elásticos



Tornillos de unión



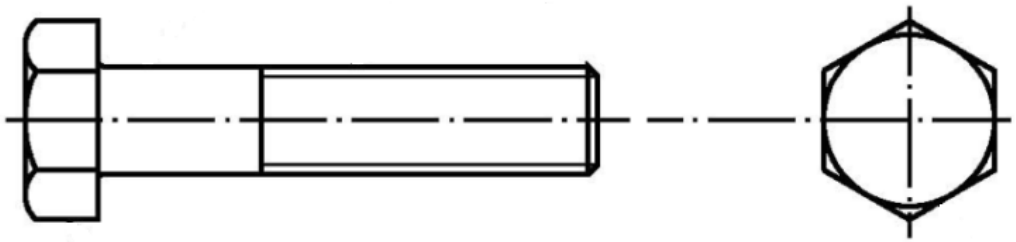
Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

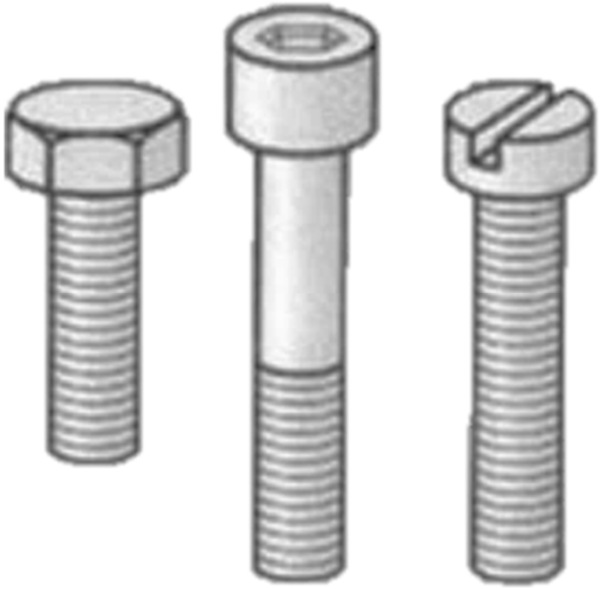


Tornillos de Unión

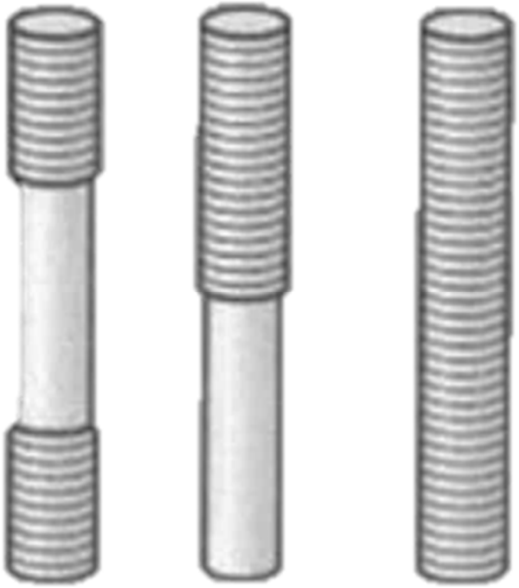
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Clasificación según su forma

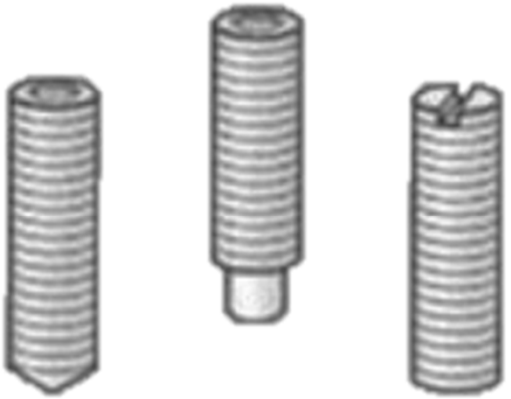
Tornillos



Espárragos



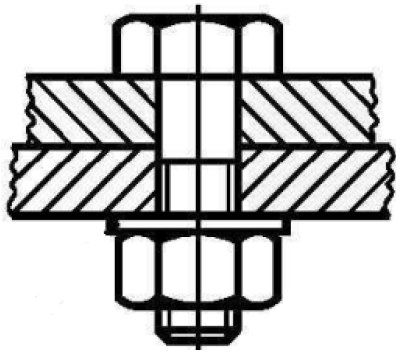
Prisioneros

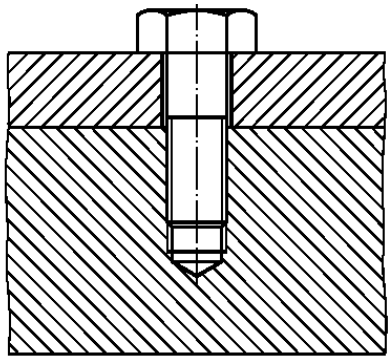


Tornillos de Unión

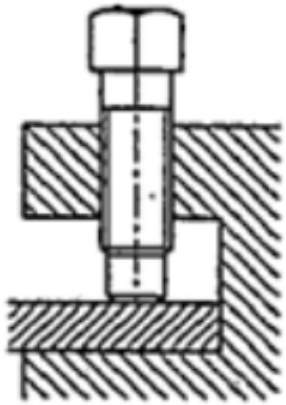
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Funciones

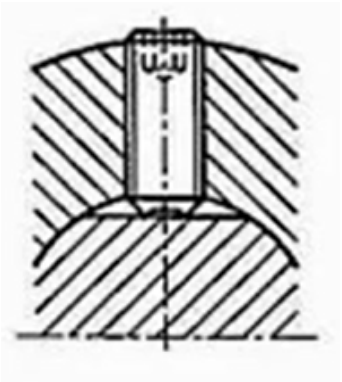




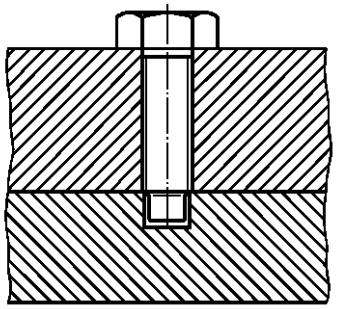
Montaje



Presión



Fijación



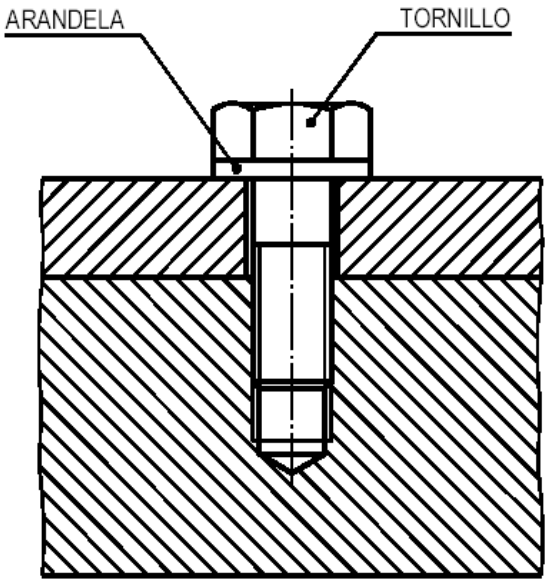
Guía

Tornillos de Unión

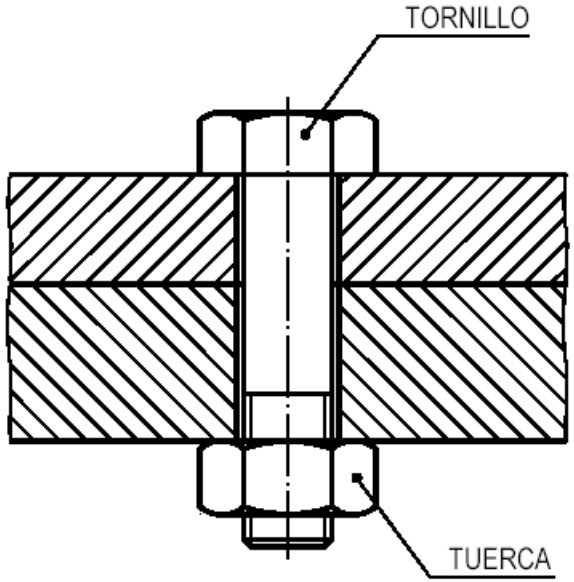
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Tipos de Unión

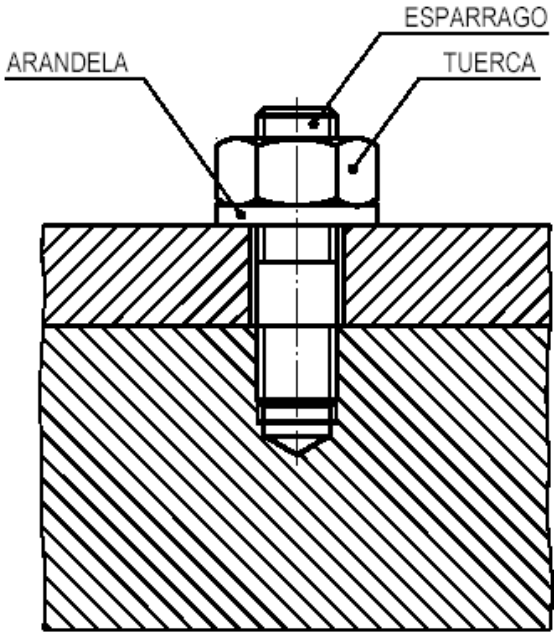
Tornillo

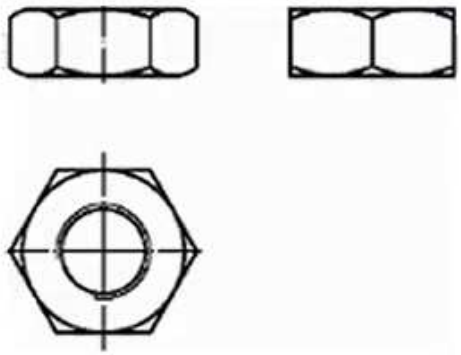


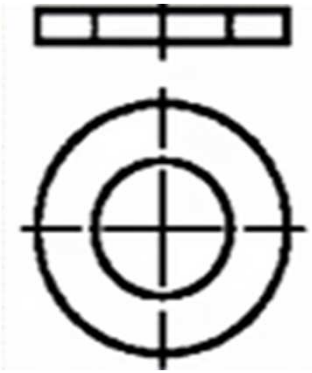
Perno



Esparrago







Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

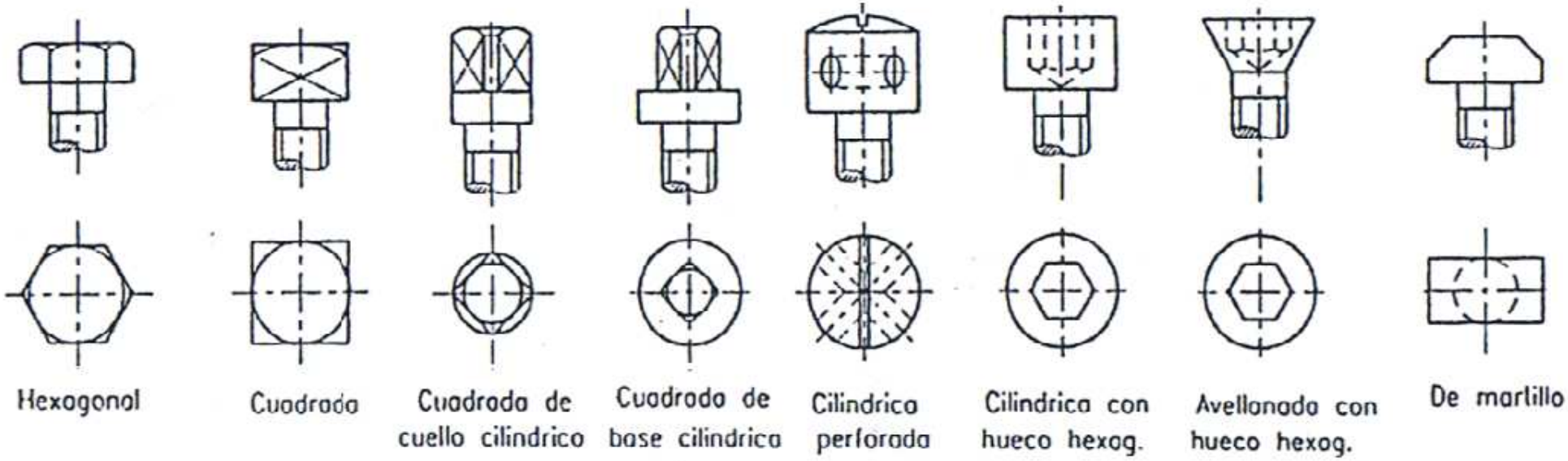
- Tipo de Cabeza
- Tipo de punta
- Diámetro y Paso
- Longitud
- Material
- Resistencia
- Terminación superficial

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Tipo de Cabeza**

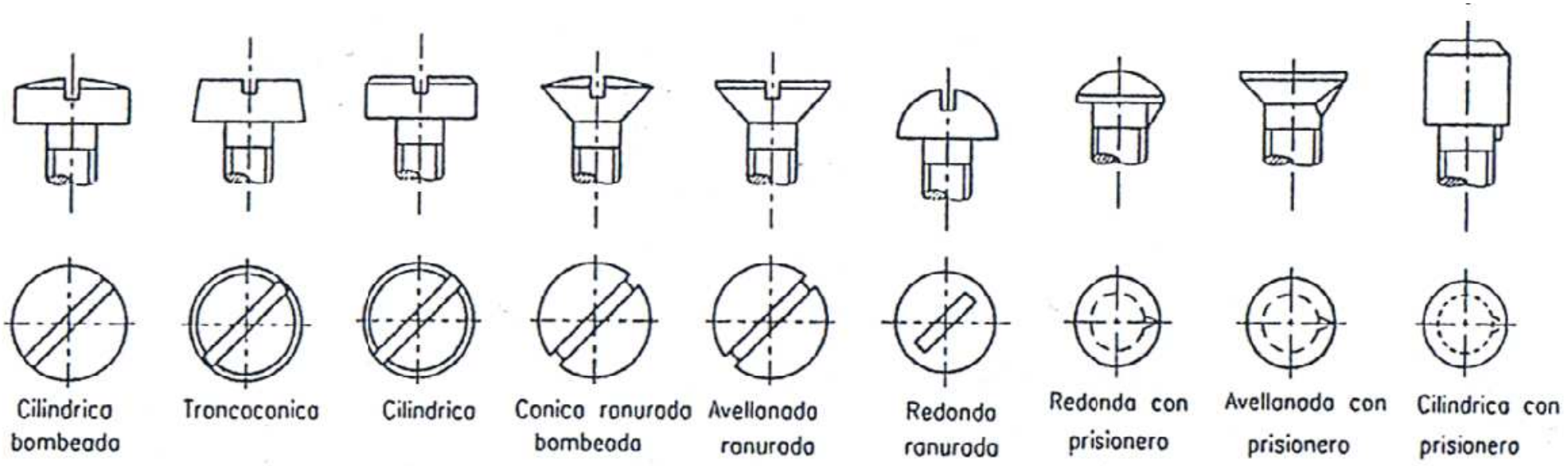


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Tipo de Cabeza**

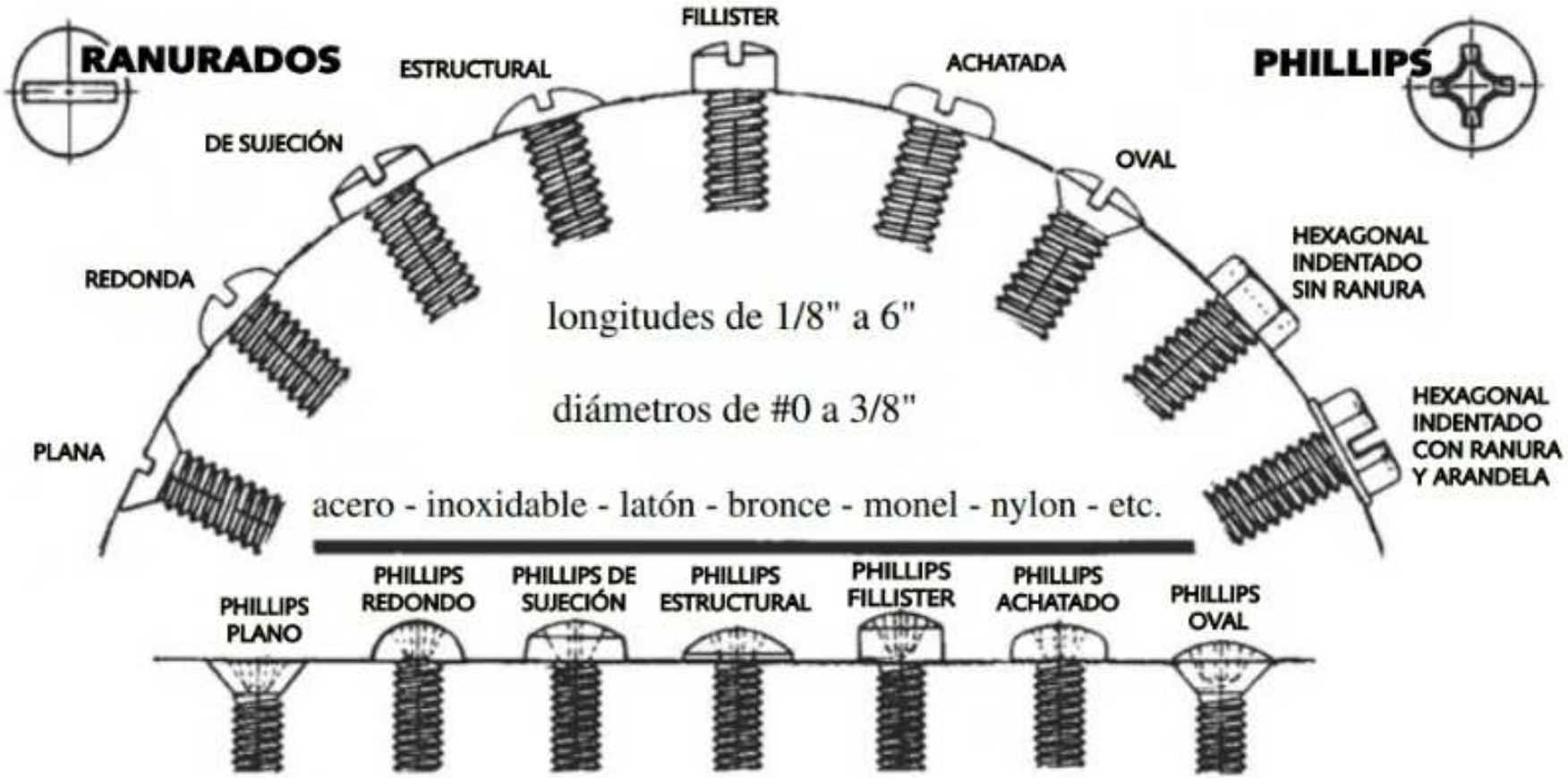


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Tipo de Cabeza**



Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

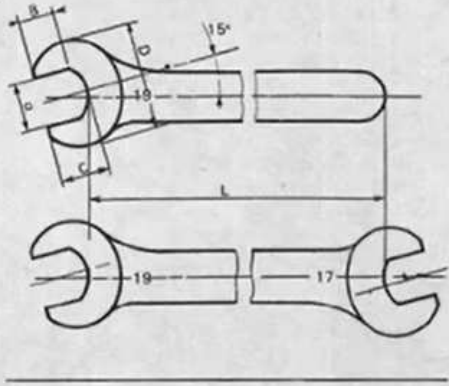
Caracterización de un Tornillo

- **Tipo de Cabeza**

31m6 Dimensiones de las llaves para tuercas

31m61 Llaves planas

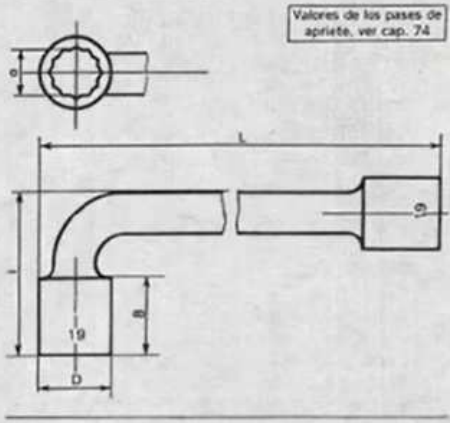
s	D	B mín.	C mín.	L aprox.
6	18	3,6	5,4	100
7	18	4,2	6,3	100
8	18	4,8	7,2	105
10	23	6	9	115
11	27	6,6	9,9	120
13	32	7,8	11,7	125
14*	34	8,4	12,6	130
17	40	10,2	15,3	150
19	44	11,4	17,1	160
22	49	13,2	19,8	170
24	54	14,4	21,6	180
27	60	16,2	24,3	190
30	66	18	27	200
32	70	19,2	28,8	210
36	78	21,6	32,4	220



Llaves de pipa

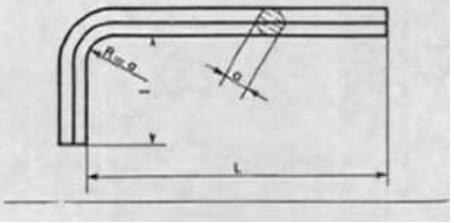
s	D máx.	B aprox.	l aprox.	L aprox.
6	9	10	23	164
7	11	11	23	116
8	13	13	27	125
10	15	16	35	160
11	17	16	37	165
12	19	19	45	188
14*	21	21	45	208
17	25	24	52	255
19	27	29	60	285
22	31	31	70	314
24	34	34	75	342
27	38	40	80	375
30	42	42	85	400
32	45	45	90	420
36	50	52	95	440

Valores de los pases de apriete, ver cap. 74



Llaves para tornillos con hexágono embutido

s	L máx.	l máx.	s	L máx.	l máx.
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



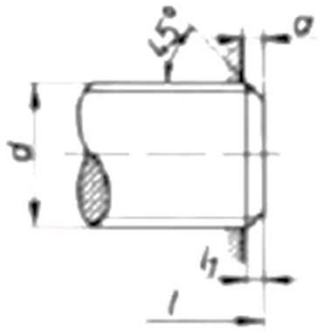
*No normalizado por ISO

Tornillos de Unión

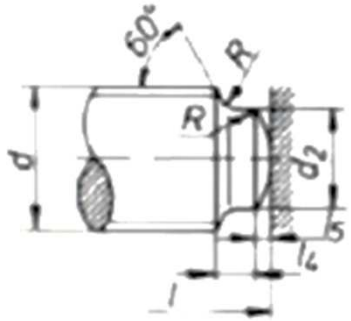
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

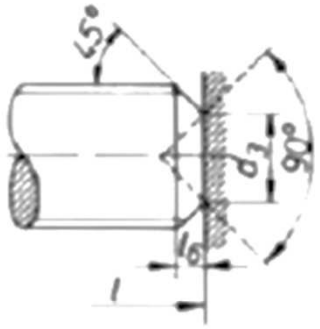
- **Tipo de extremo**



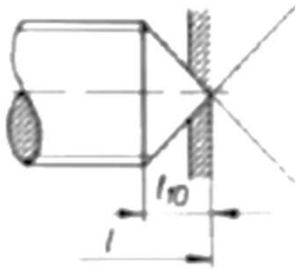
achaflanado



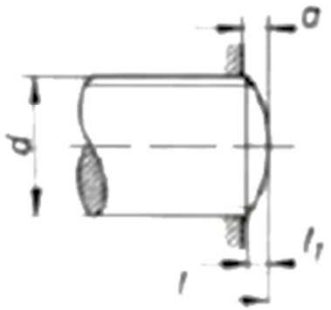
Con tetón corto abombado



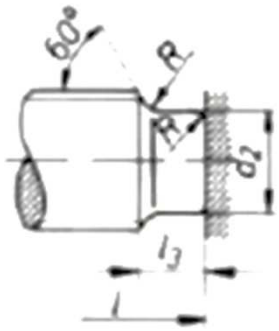
Achaflanado con cono embutido



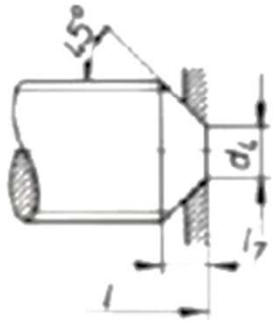
cónico



abombado



Con tetón largo



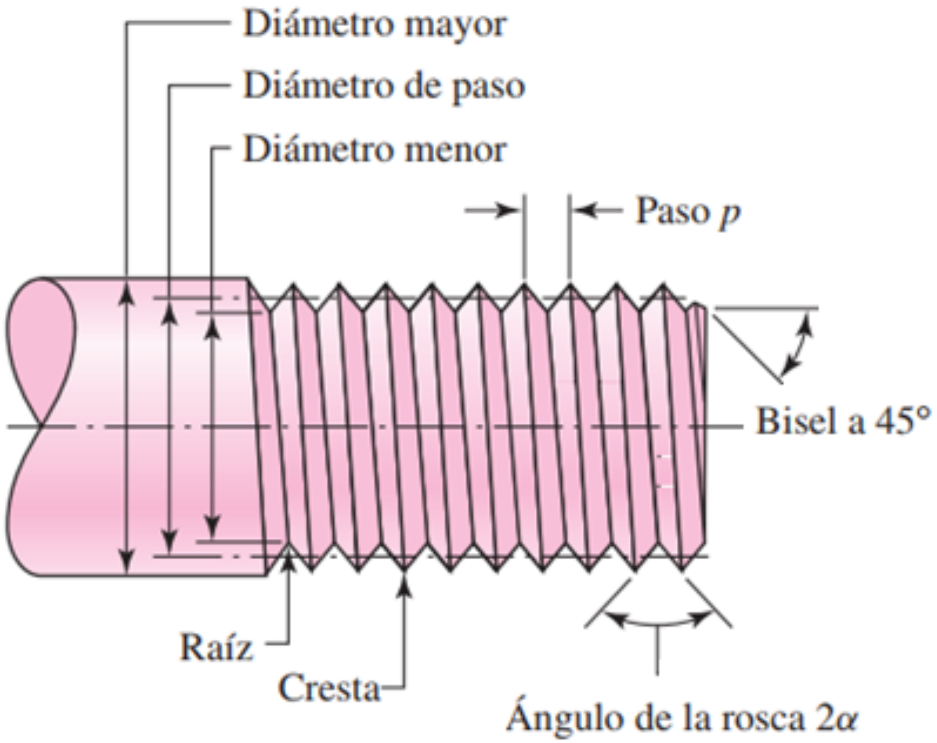
tronco-cónico

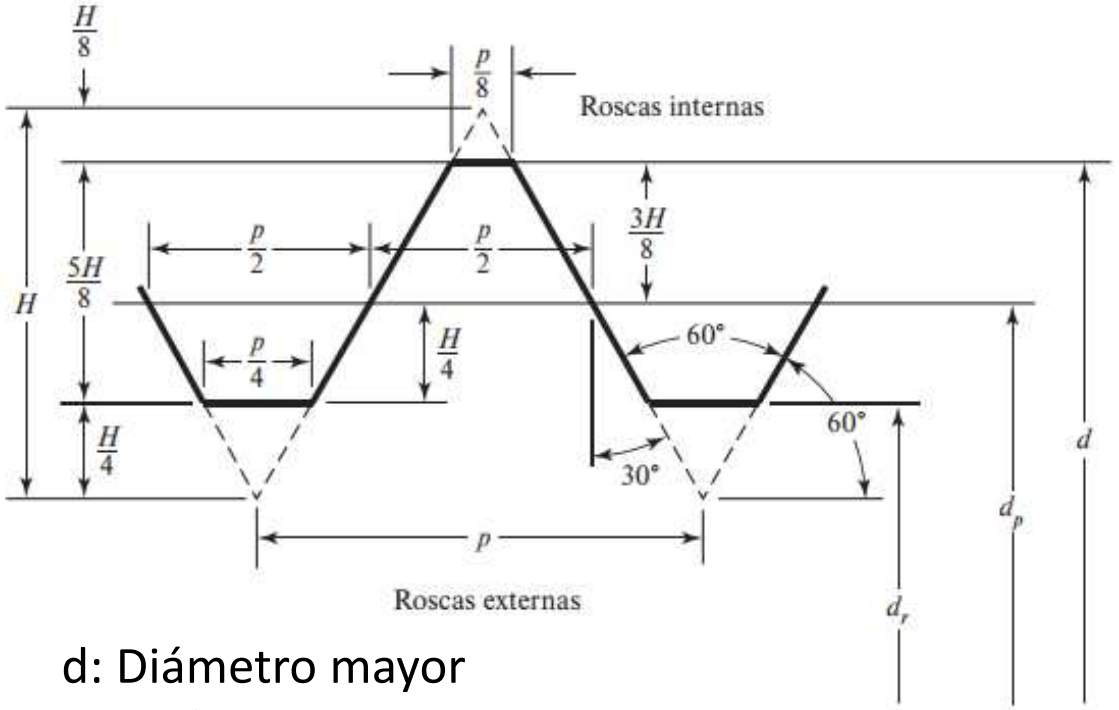
Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**





d: Diámetro mayor
dr: Diámetro menor
dp: Diámetro de paso

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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) dr es el diámetro más pequeño de una rosca de tornillo.

Diámetro de paso: dp 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

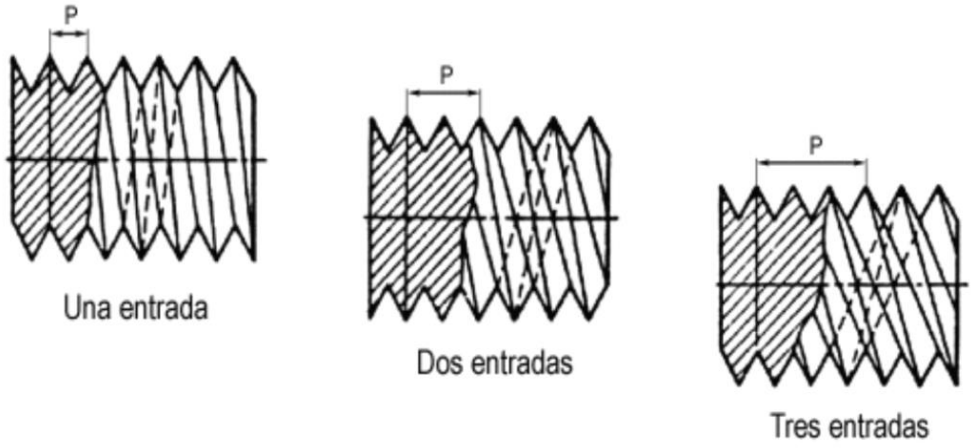
INGENIERÍA MECATRÓNICA

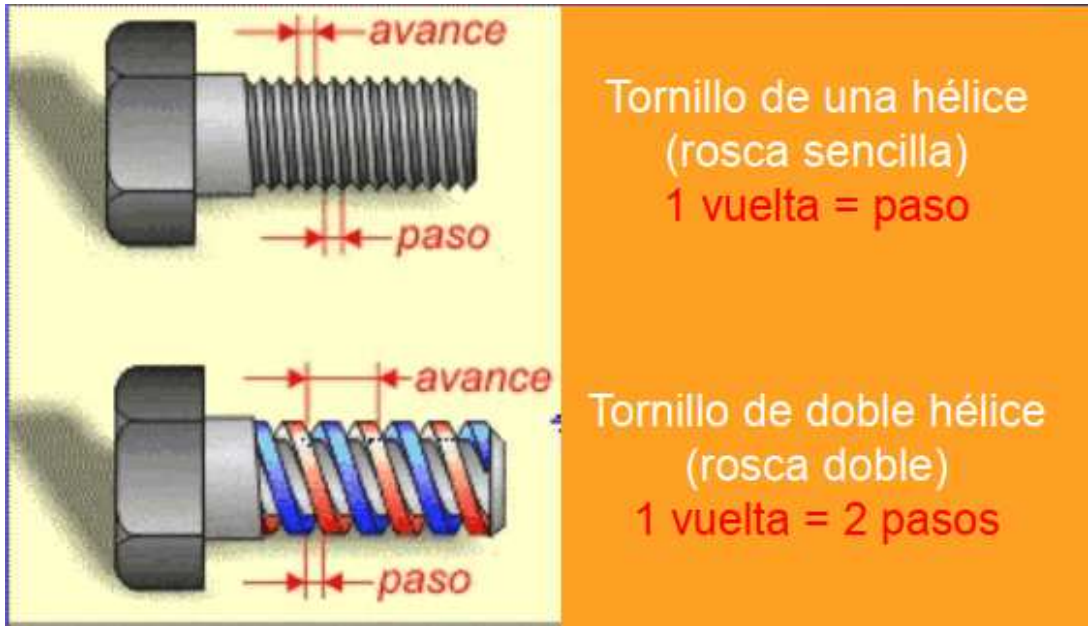
Caracterización de un Tornillo

- **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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**

Métrico (ISO)

Serie de paso grueso				Serie de paso fino		
Diámetro mayor nominal d, mm	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t, mm²	Área del diámetro menor A_r, mm²	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t, mm²	Área del diámetro menor A_r, mm²
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
		115	104	1.5	125	
		157	144	1.5	167	
		245	225	1.5	272	
		353	324	2	384	

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**

Métrico (ISO)

Serie de paso grueso			
Diámetro mayor nominal d, mm	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 At** de la varilla roscada.

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Diámetro y paso**

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF

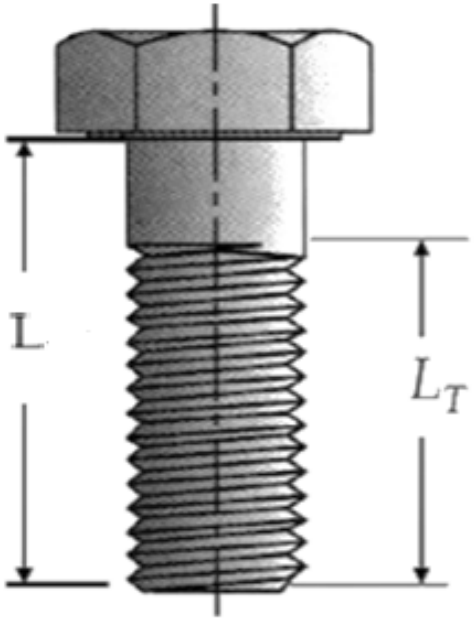
		Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t, pulg^2	Área del diámetro menor A_r, pulg^2	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t, pulg^2	Área del diámetro menor A_r, pulg^2
0	0.0600				80	0.001 80	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			
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9			
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4			
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8			
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3			
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7			
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162			

1/2"- 13 x 2"

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Longitud**



Serie Métrica

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

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**

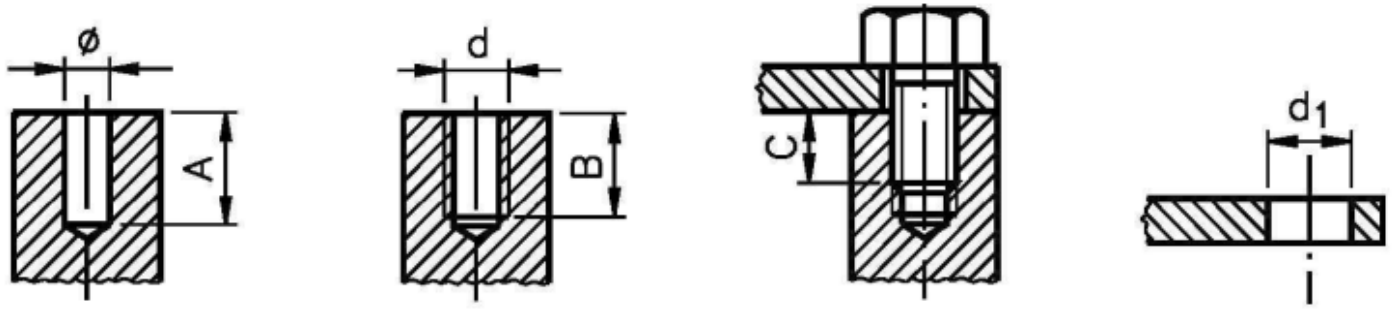
Criterio de Diseño

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



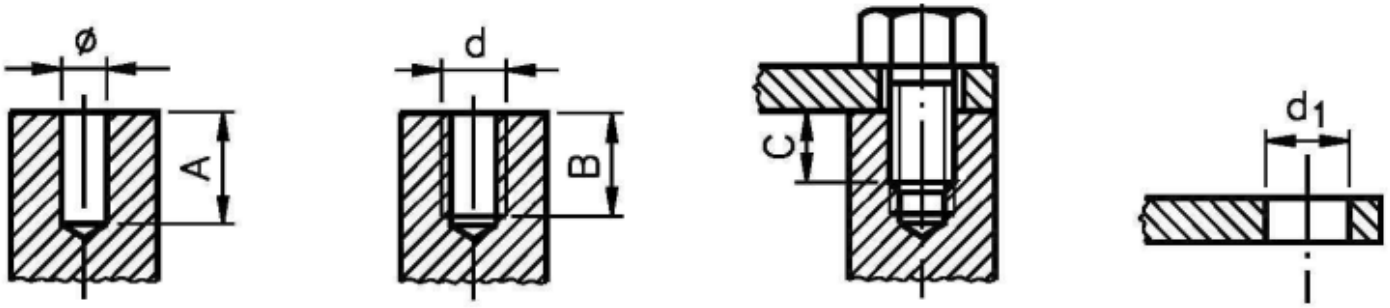
Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Longitud**

Criterio de diseño



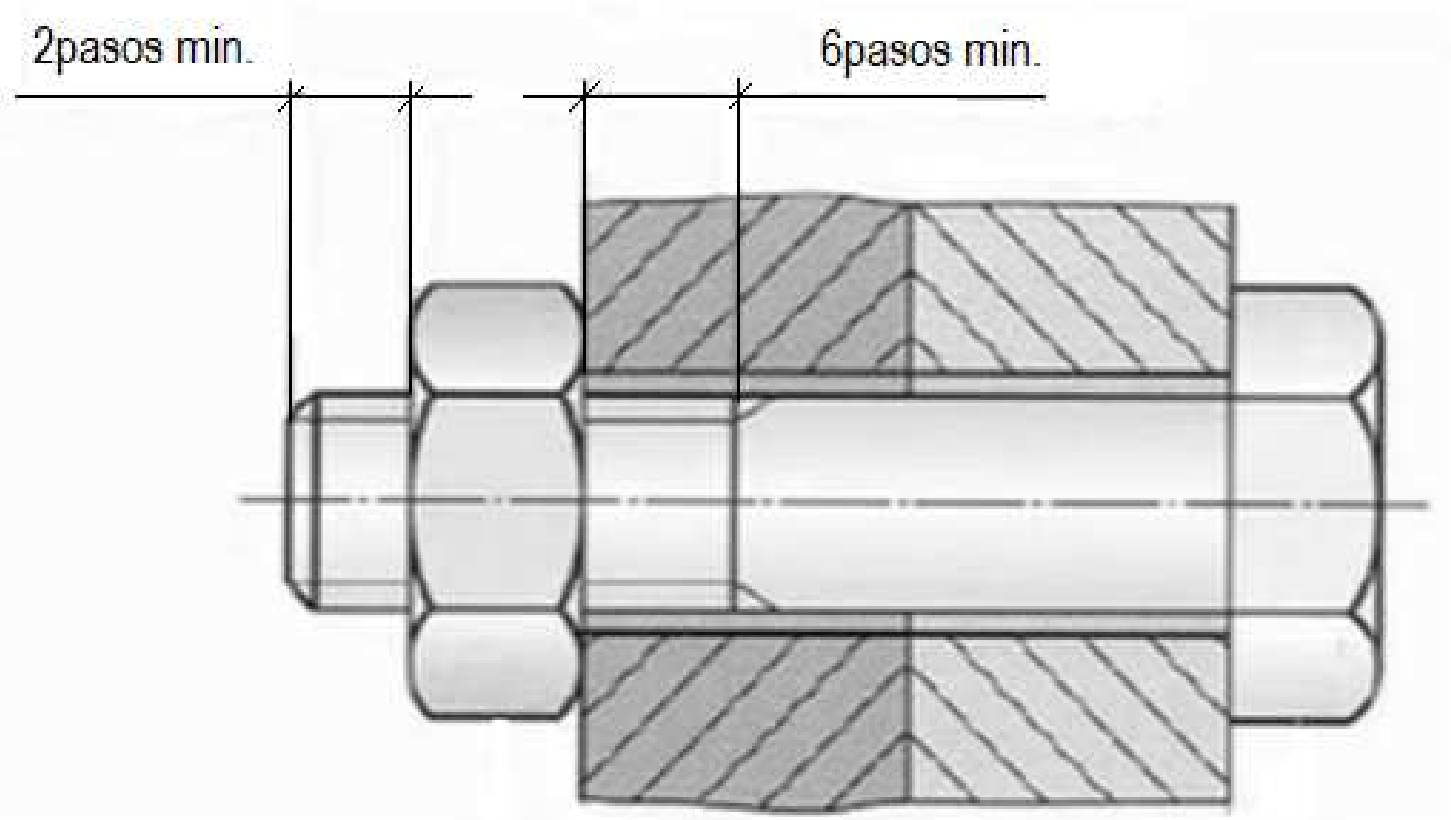
Material	Profundidad del orificio perforado (A)	Profundidad parte roscada (B)	Diámetro orificio pasante d1
Acero	2xd	1,5xd	1,05 xd a 1,1 x d
Hierro Fundido	2,5xd	2xd	
Bronce	2,5xd	2xd	
Aluminio	3xd	2,5xd	

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Longitud**

Criterio de diseño



Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Material**

Acero

Acero Inoxidable

Aluminio

Latón

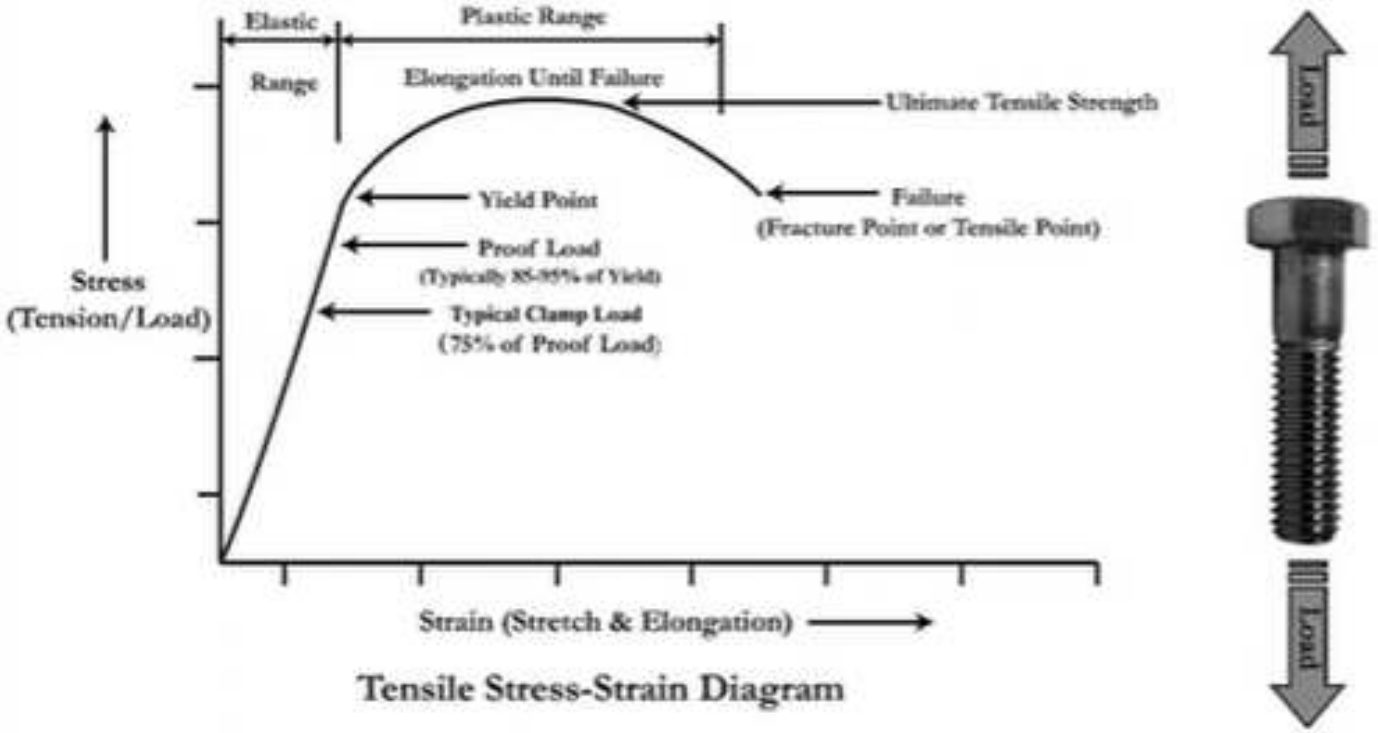
Plástico

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 Sp 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



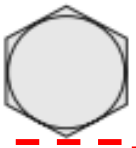
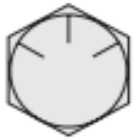
Tensile Stress-Strain Diagram

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

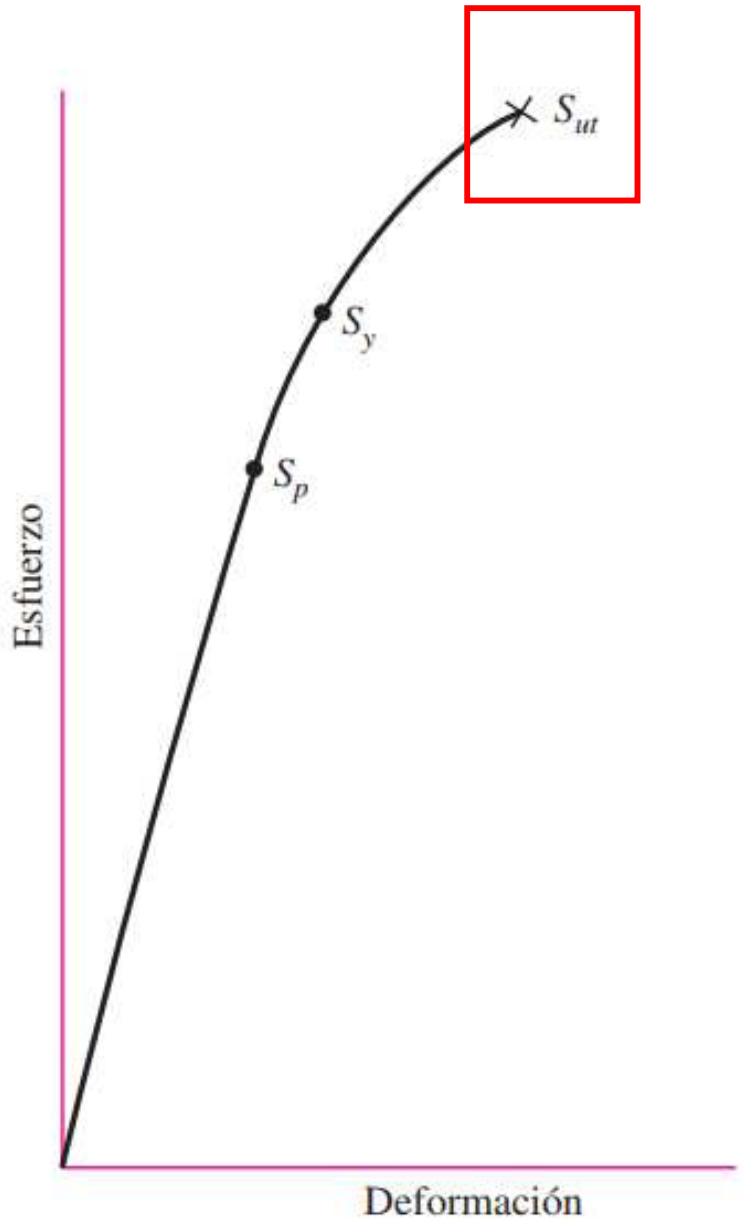
- **Resistencia – Clase del tornillo**

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Resistencia de los Pernos

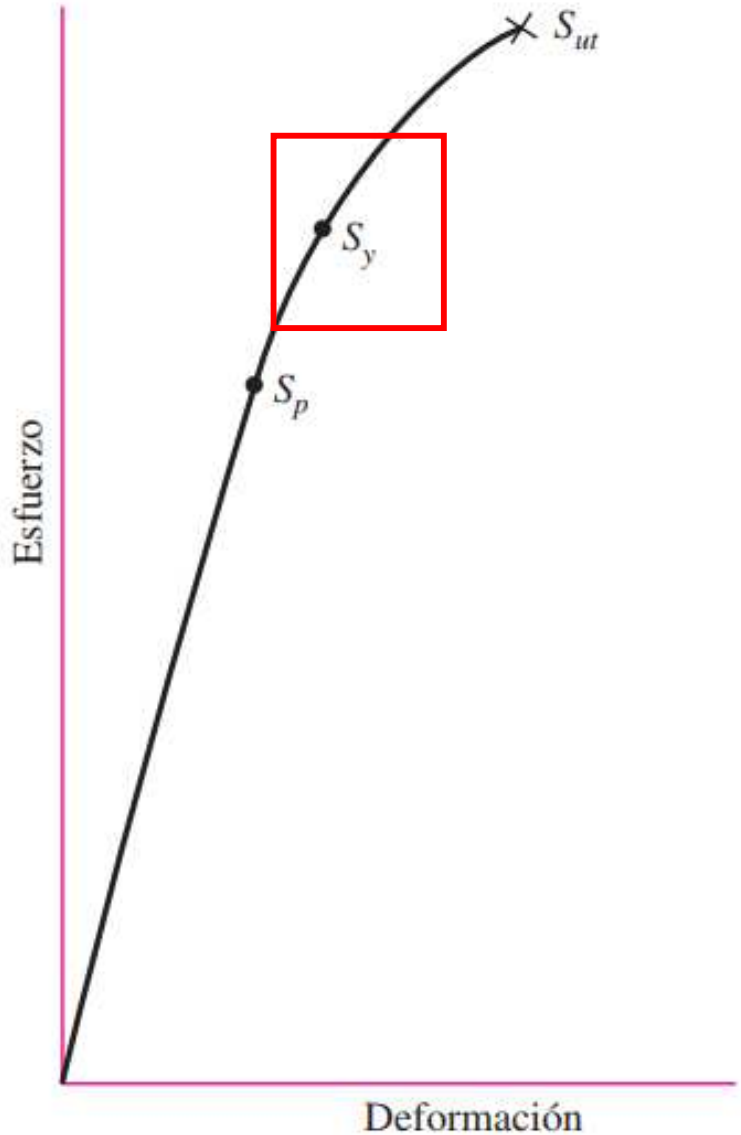


Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi
1	$\frac{1}{4}$-1$\frac{1}{2}$	33	60	36
2	$\frac{1}{4}$-$\frac{3}{4}$	55	74	57
	$\frac{7}{8}$-1$\frac{1}{2}$	33	60	36
4	$\frac{1}{4}$-1$\frac{1}{2}$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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Resistencia de los Pernos

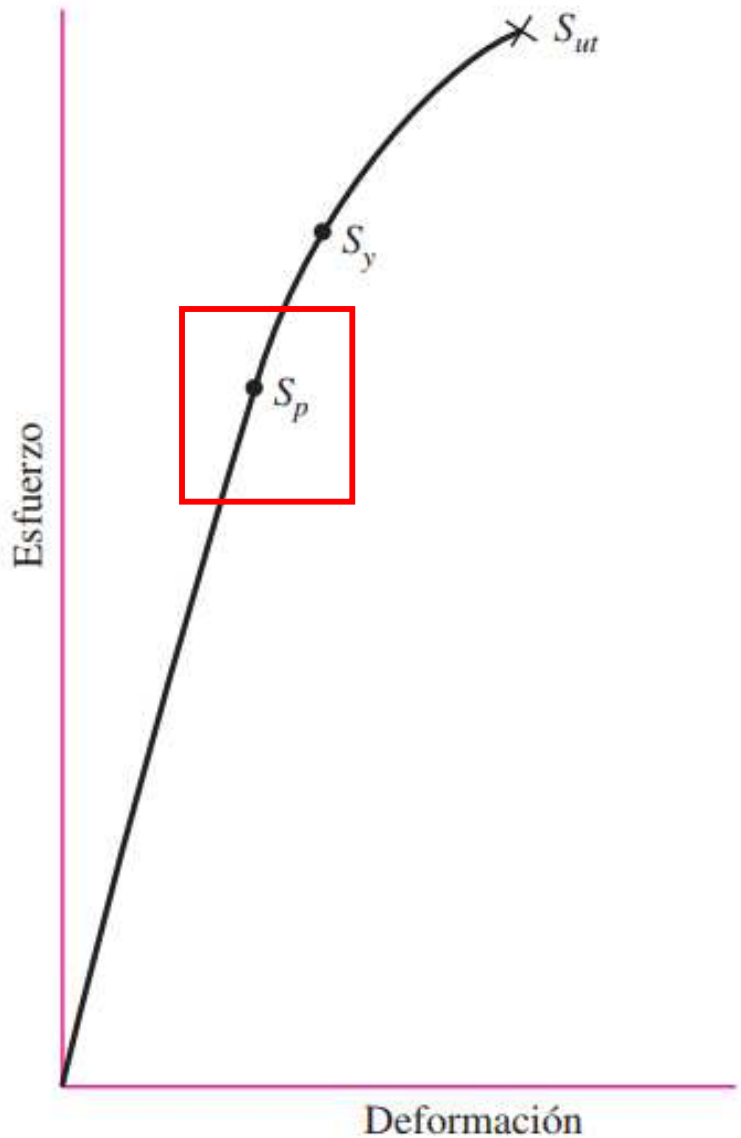


Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi
1	$\frac{1}{4}$-1 $\frac{1}{2}$	33	60	36
2	$\frac{1}{4}$-$\frac{3}{4}$	55	74	57
	$\frac{7}{8}$-1 $\frac{1}{2}$	33	60	36
4	$\frac{1}{4}$-1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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
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 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	A325
A325 tipo 2	$\frac{1}{2}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	A325
A325 tipo 3	$\frac{1}{2}$ - 1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero no temperizado, T y R	A325
A354 grado BC	$\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$ $2\frac{3}{4}$ - 4	105 95	125 115	109 99	Acero aleado, T y R	BC
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 74 55	120 105 90	92 81 58	Acero de medio carbono, T y R	

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	4.6
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	4.8
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	5.8
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	8.8
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	9.8
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensitico de bajo carbono, T y R	10.9
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	12.9

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Caracterización de un Tornillo

- **Resistencia – Clase del tornillo**

  Especificaciones ISO para pernos de acero

Clase 8.8

Resistencia a la tracción

$8x100=800N/mm^2$

Resistencia a la fluencia

$800x0.8 =640N/mm^2$

Tornillos de Unión

Caracterización de un Tornillo

- **Terminación superficial**

Sin recubrimiento

Galvanizado

Fosfatado

Zincado

Xylan

Tornillos de Unión

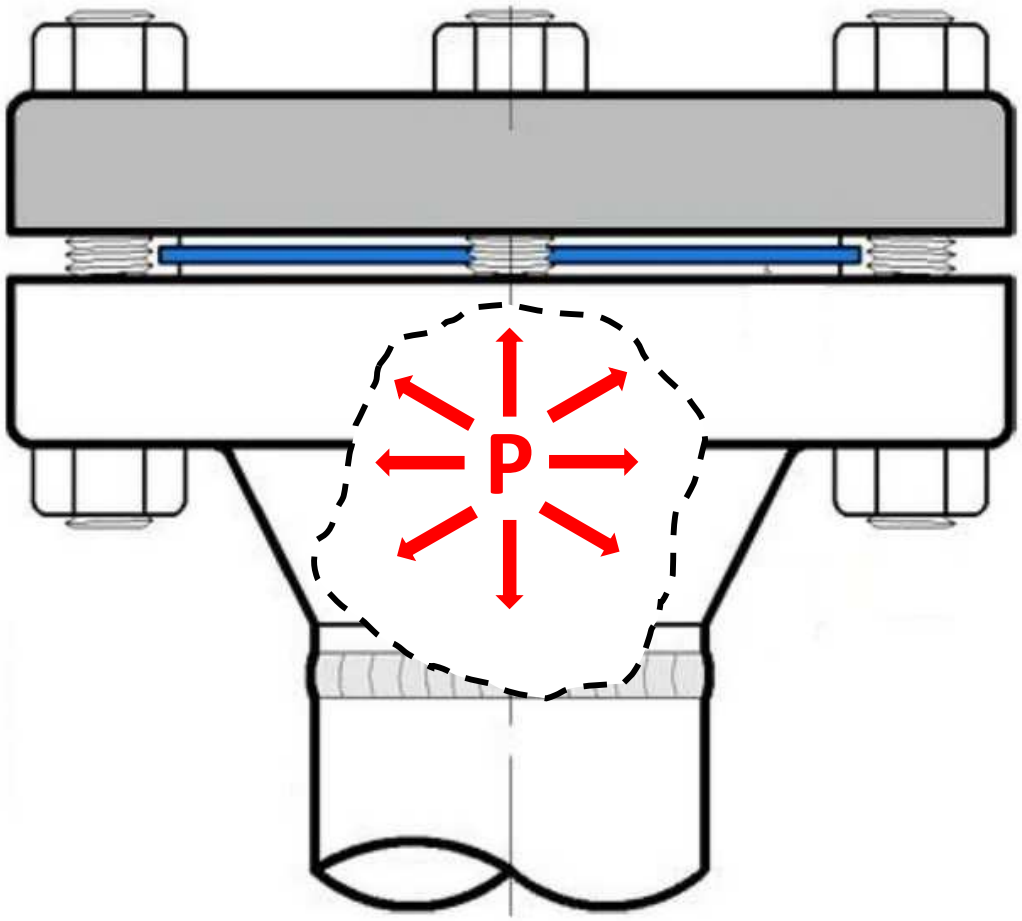
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

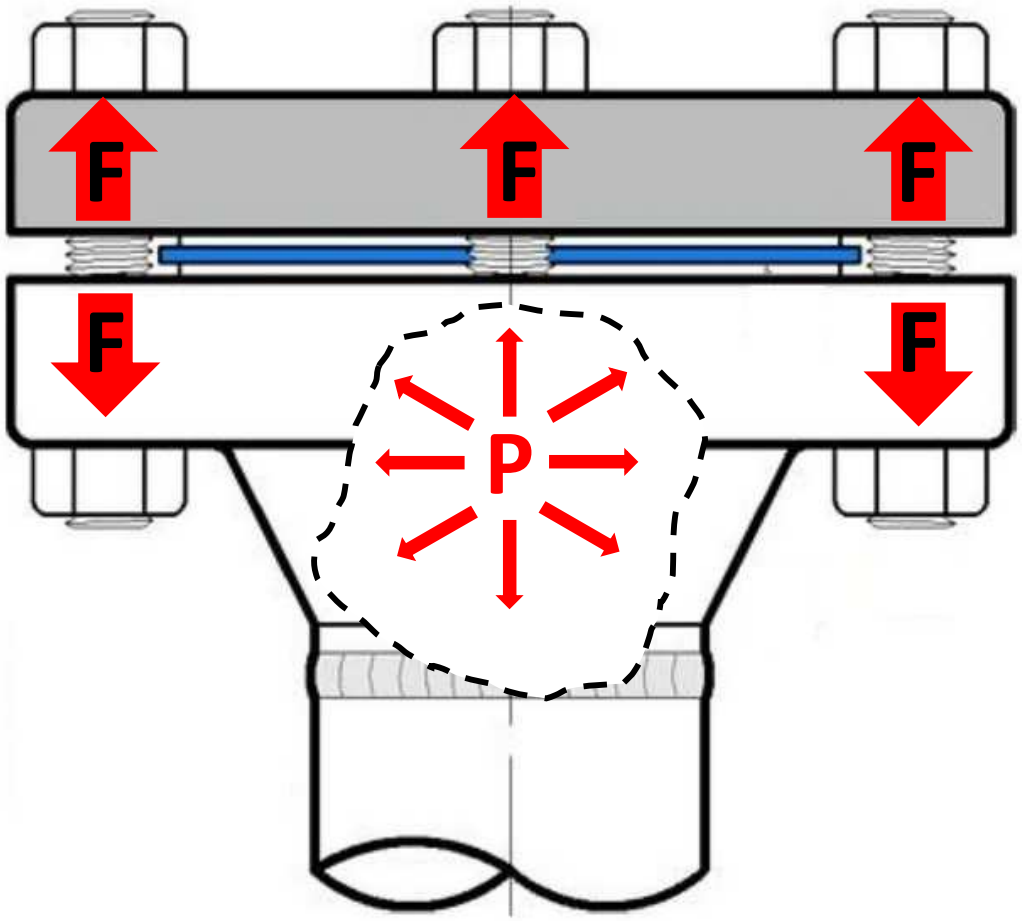
Cargas en Uniones a Tensión



Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

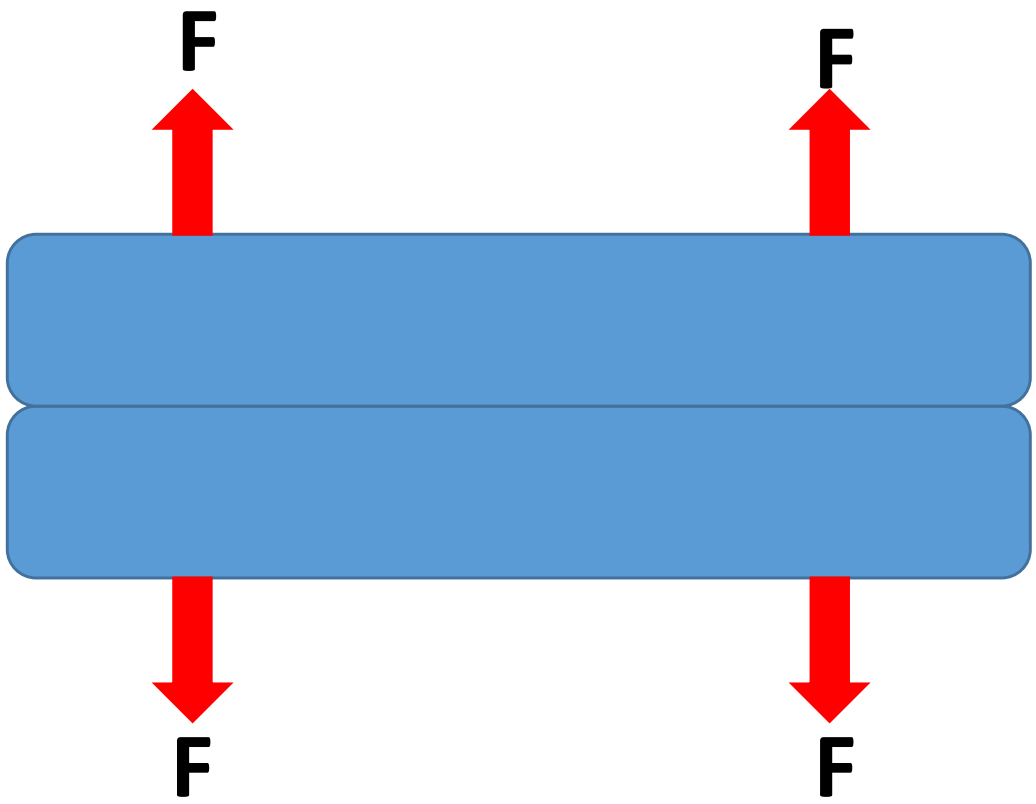
Cargas en Uniones a Tensión



Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

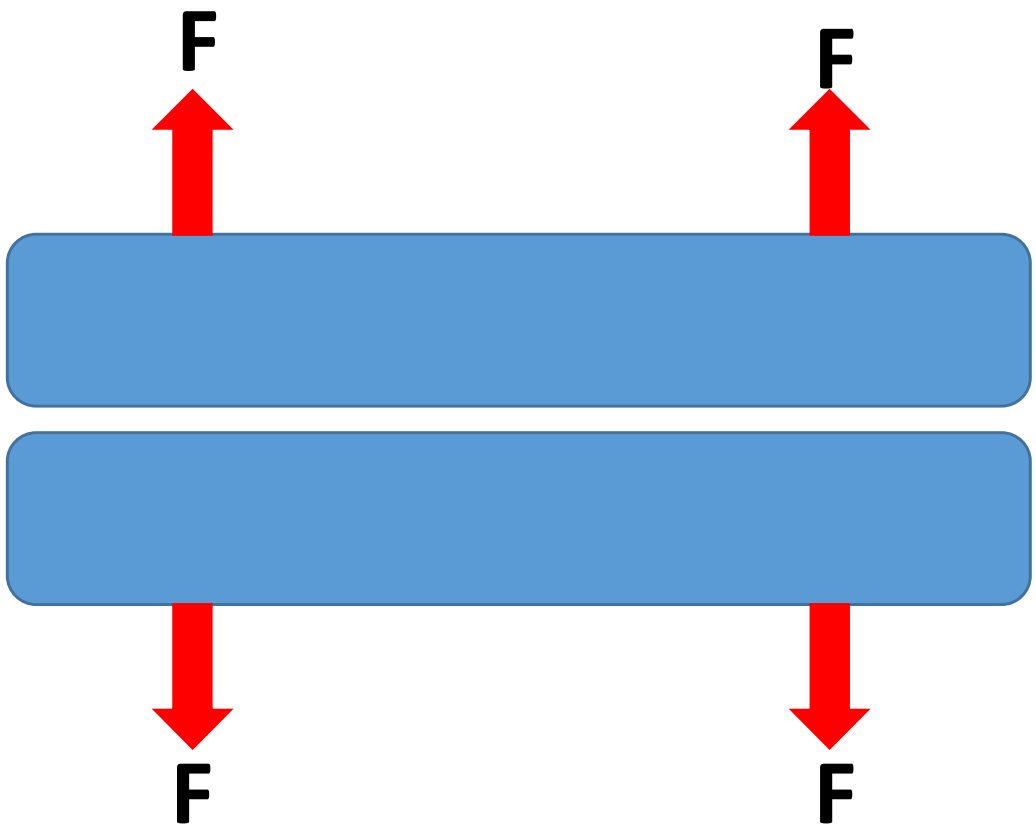
Cargas en Uniones a Tensión



Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

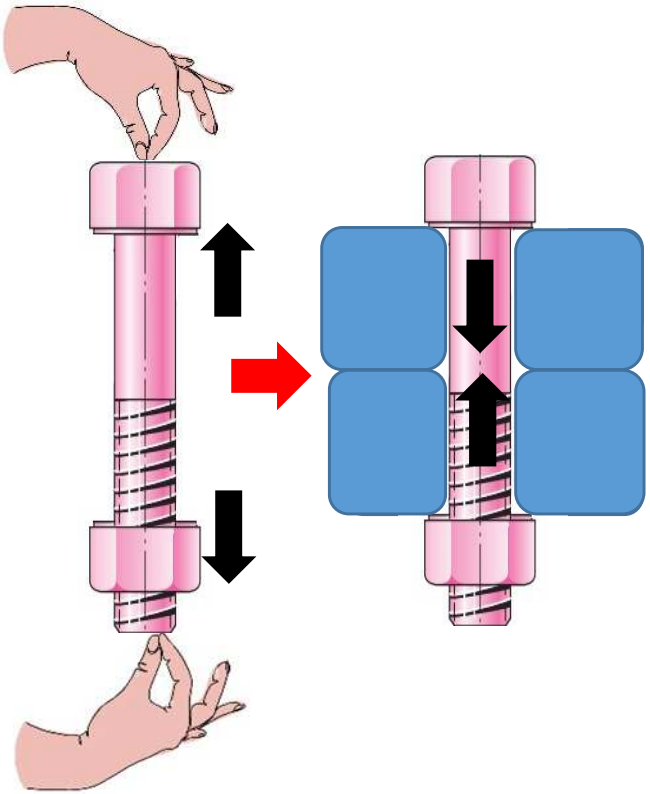
Cargas en Uniones a Tensión

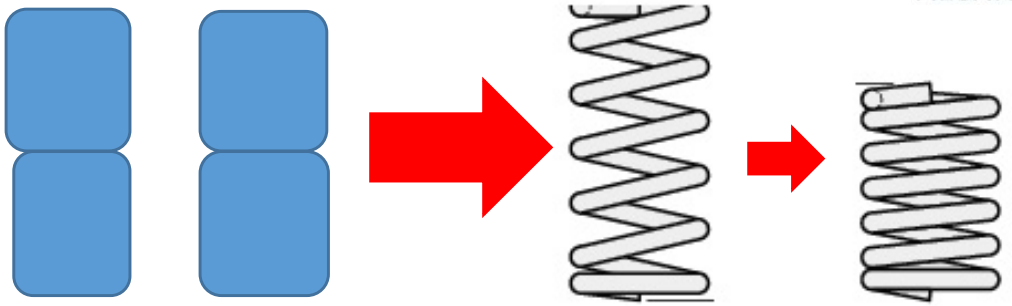


Tornillos de Unión

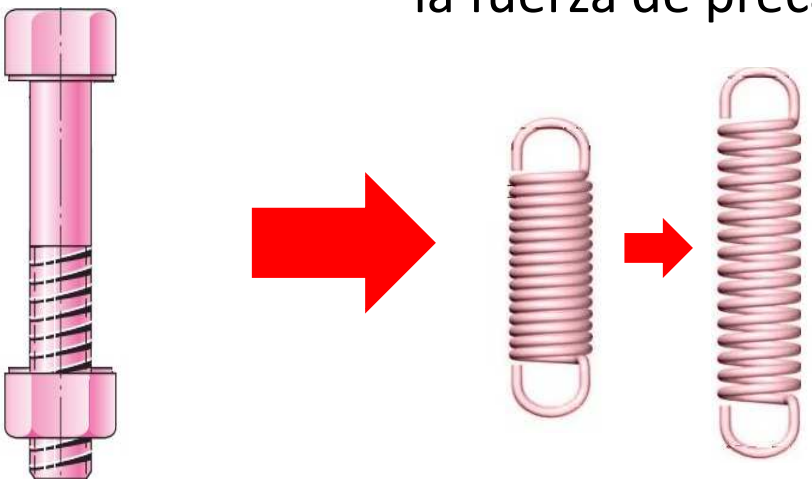
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión





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

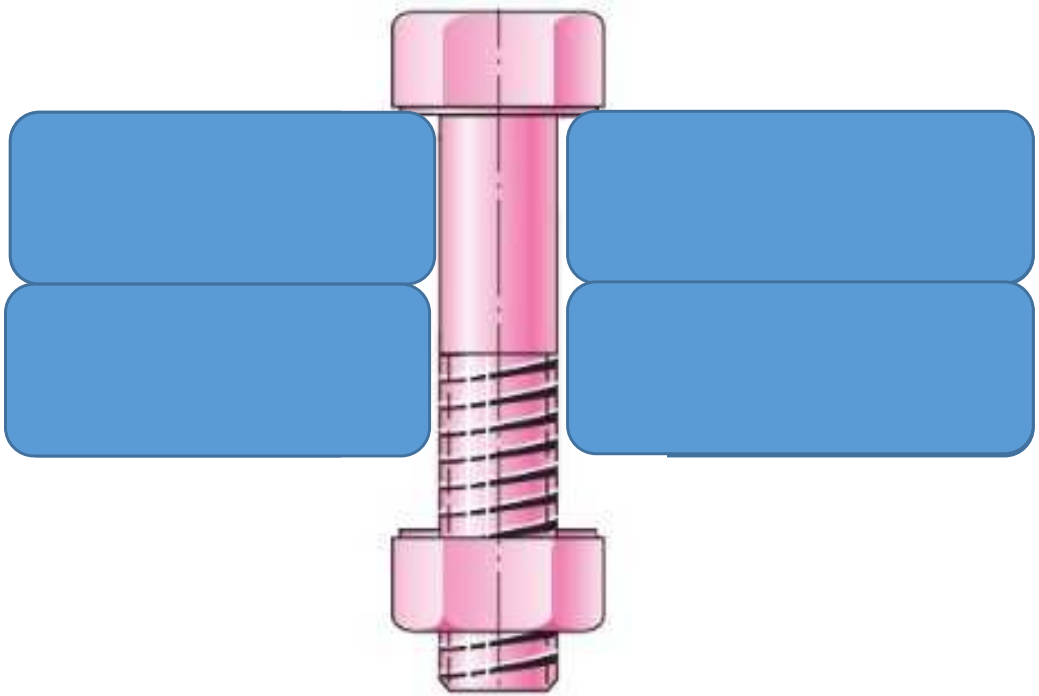


Como si fuese resorte en tracción debido a la fuerza de precarga

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: elementos sin tensionar



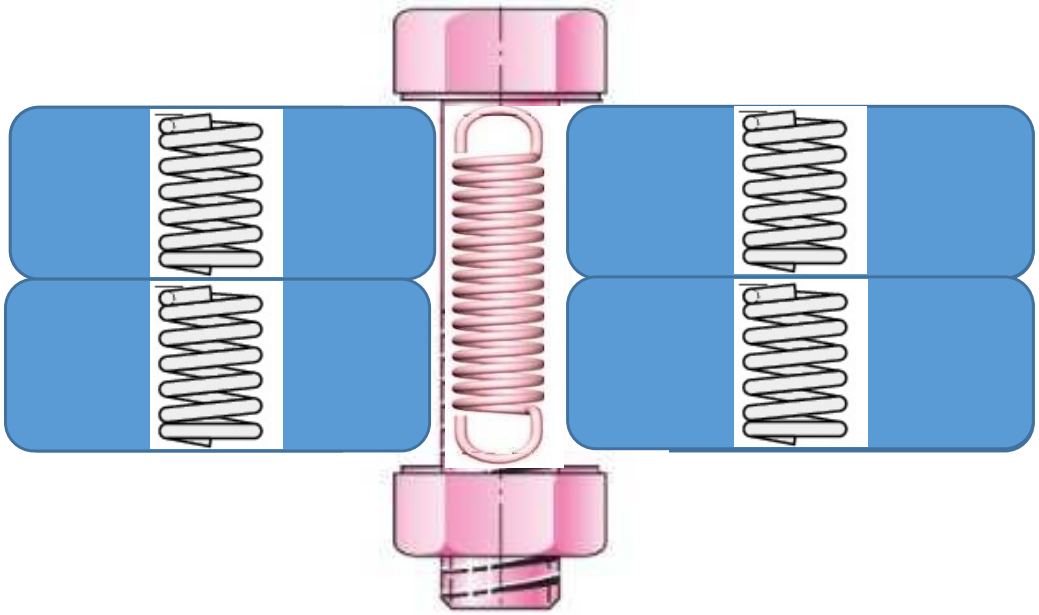
Carga resultante en los pernos Fb = 0

Carga resultante en los elementos de junta Fm = 0

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de precarga Fi en pernos y junta



Carga resultante en los pernos Fb = Fi

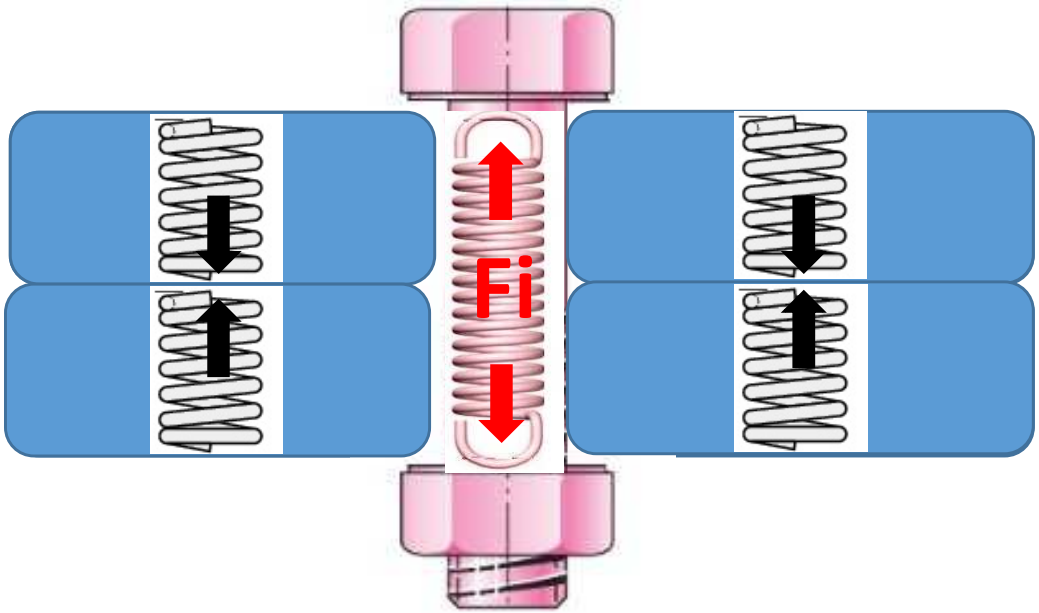
Carga resultante en los elementos de junta Fm = - Fi

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de precarga Fi en pernos y junta



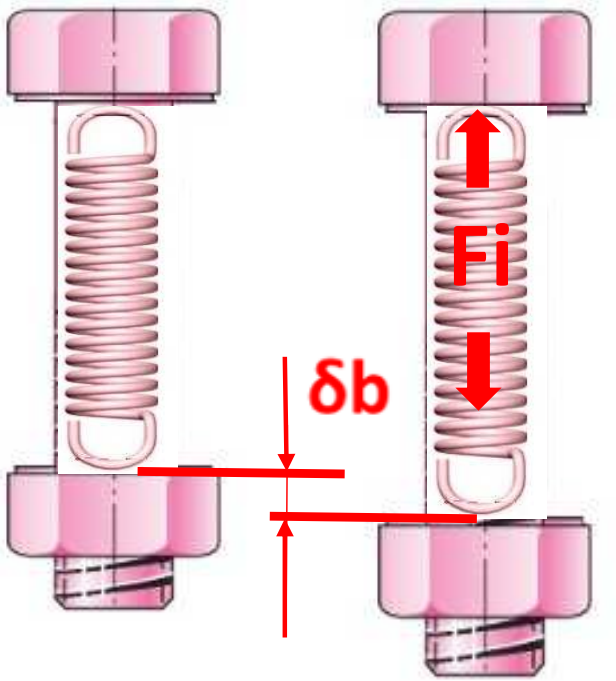
Carga resultante en los pernos Fb = Fi

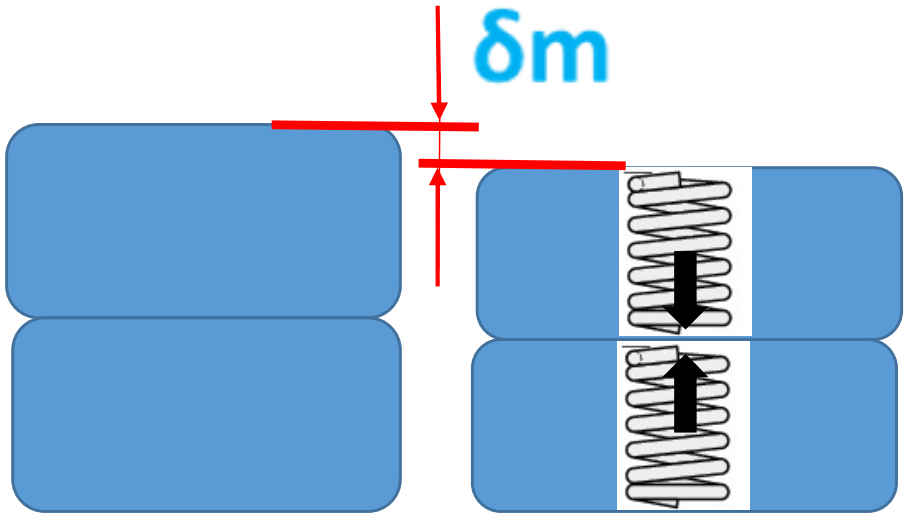
Carga resultante en los elementos de junta Fm = - Fi

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

Situación: Aplicación de precarga Fi en pernos y junta



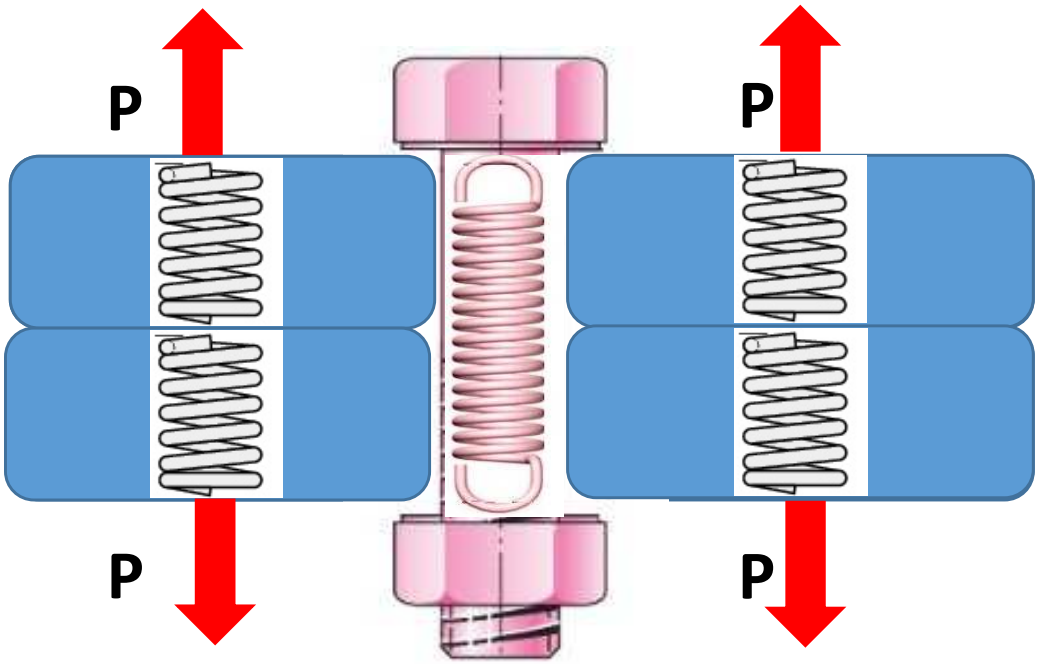


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

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



Carga resultante en los pernos Fb = Fi + Pb

Carga resultante en los elementos de junta Fm = Pm - Fi

Pb = Porción de P tomada por pernos

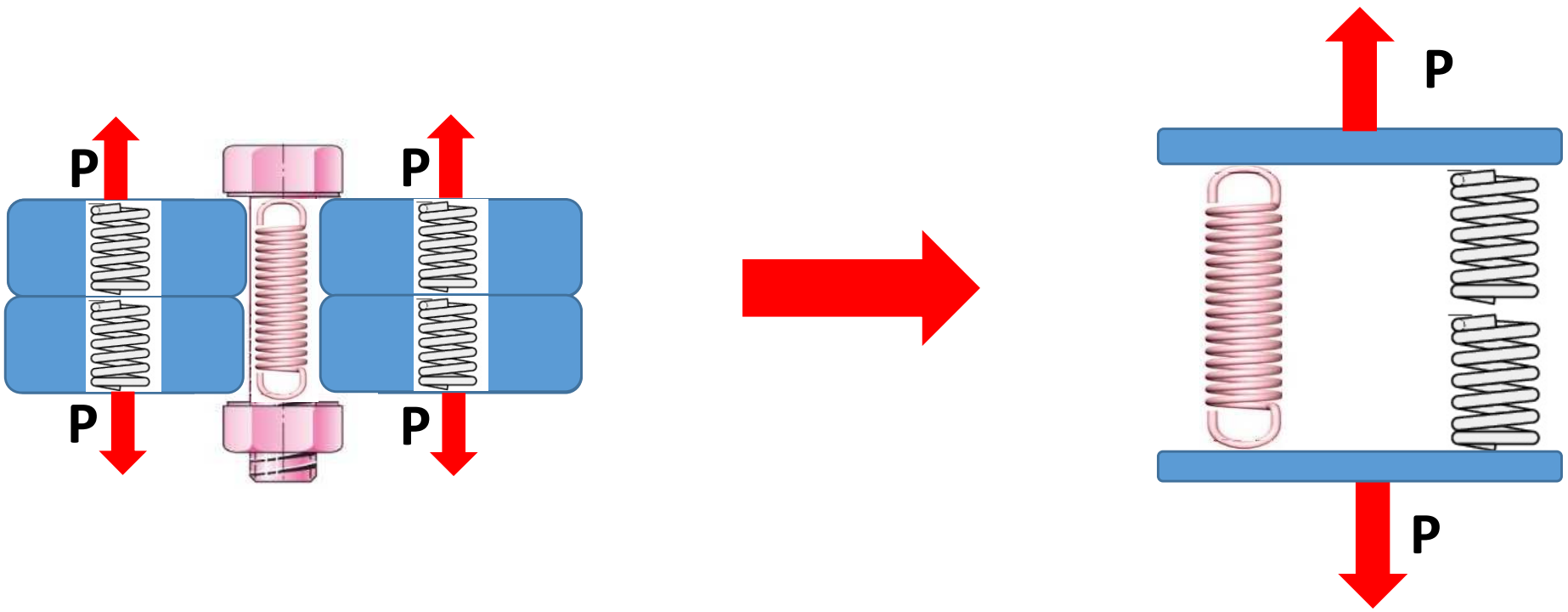
Pm = Porción de P tomada por pernos elementos de junta

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

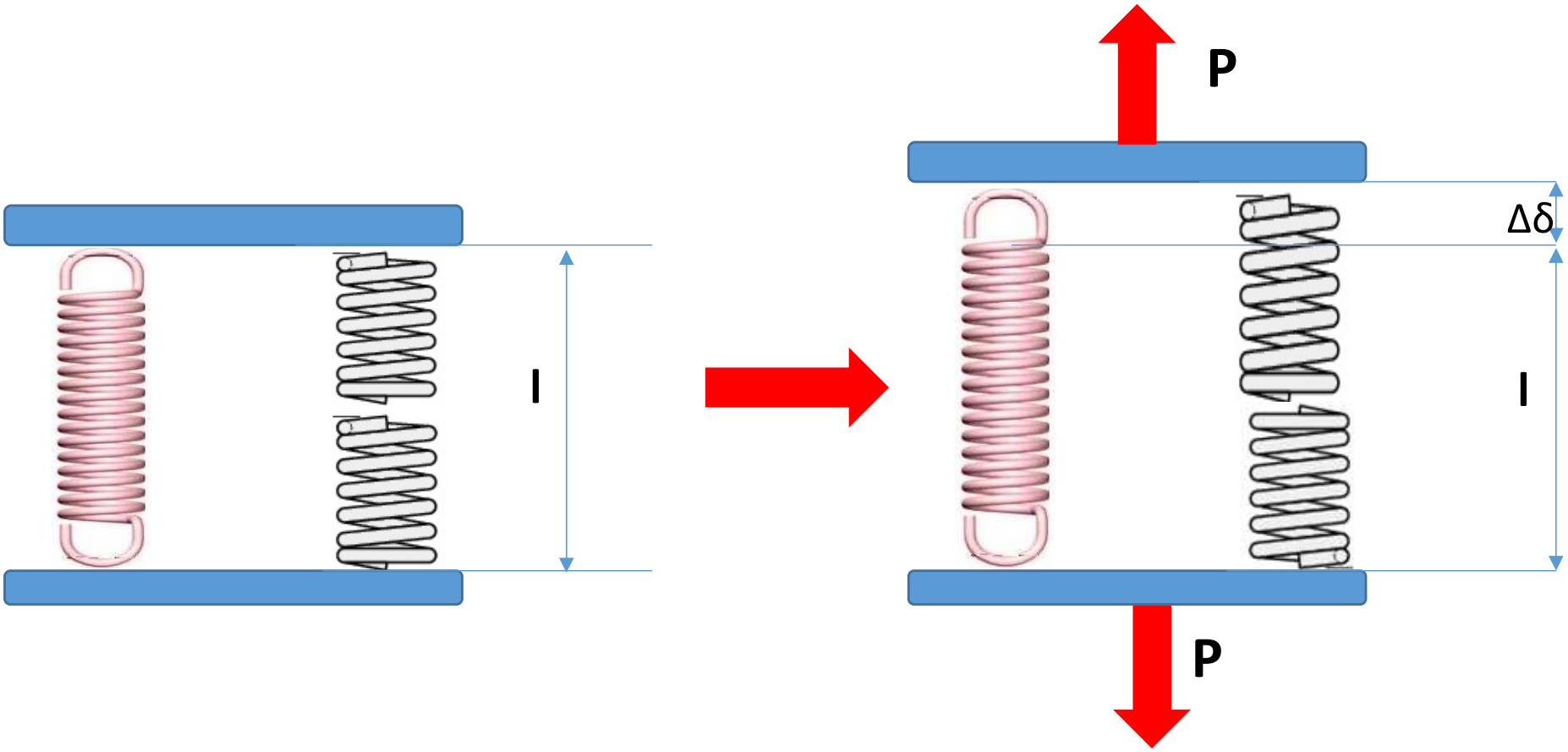
Cuál es el valor de las proporciones Pb y Pm?



Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

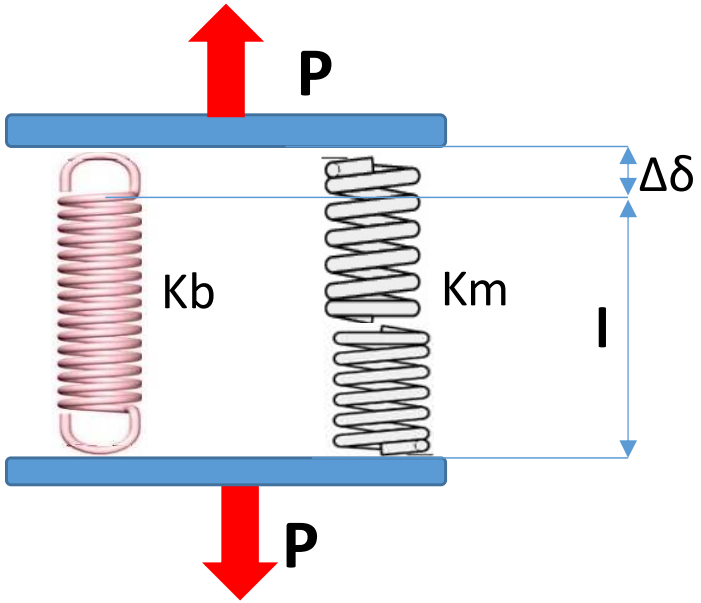
Cuál es el valor de las proporciones Pb y Pm?



Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

Cuál es el valor de las proporciones Pb y Pm?



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.

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

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

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

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

$$P = P_b + P_m$$

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

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas en Uniones a Tensión

Cuál es el valor de las proporciones Pb y Pm?

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

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

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

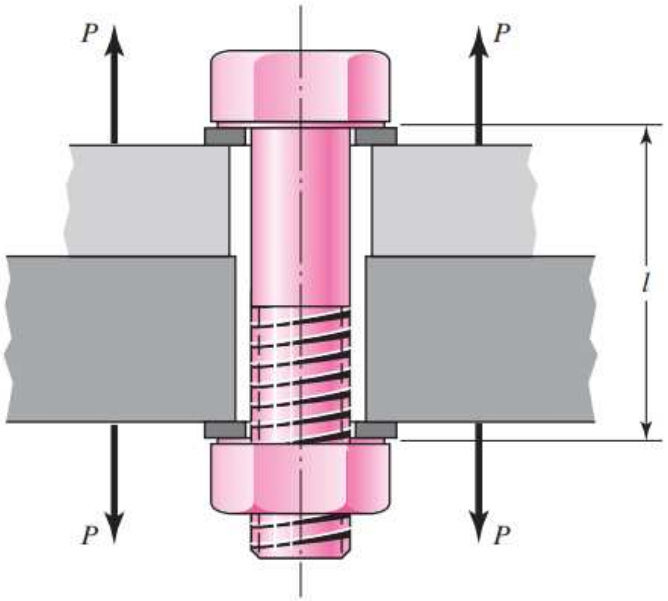
C = Constante de la junta o constante de rigidez de la unión

Tornillos de Unión

Cargas en Uniones a Tensión

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

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

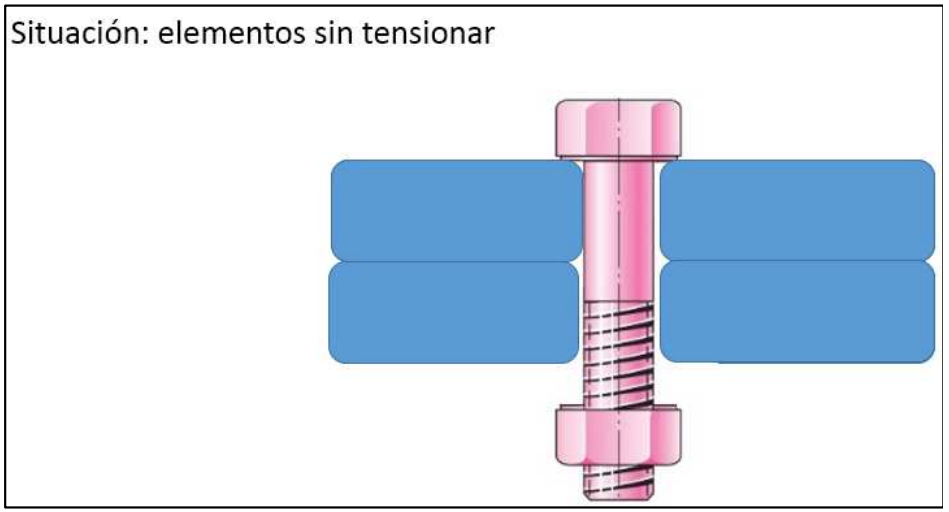


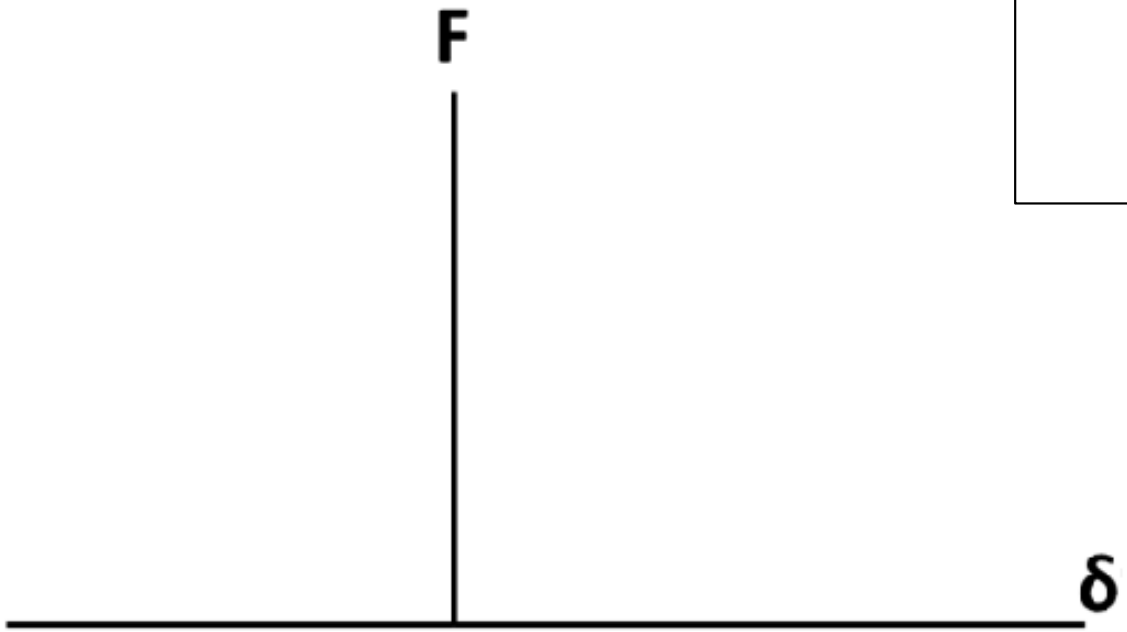
Fb = Carga resultante sobre el perno F
Fm = Carga resultante sobre los elementos de junta
Fi = Precarga inicial
Kb = Rigidez del perno
Km = Rigidez de los elementos de junta
P = Carga que se aplica
Pb= Porción de la carga tomada por los perno
Pm= Porción de la carga tomada por los elementos de la junta
C= Constante de rigidez de la unión
l= Agarre de la conexión

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Esquema de Reparto de Cargas



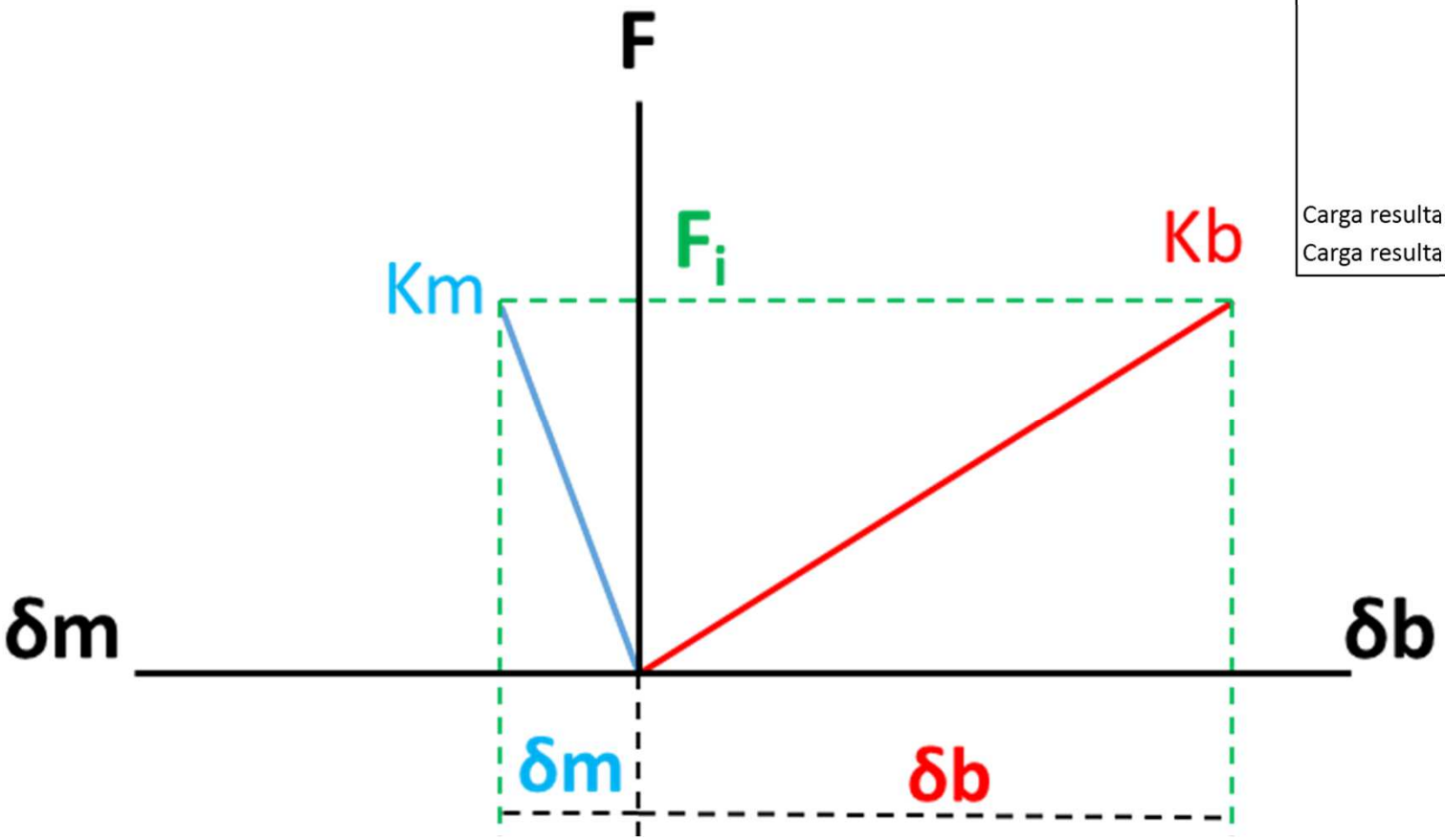


Tornillos de Unión

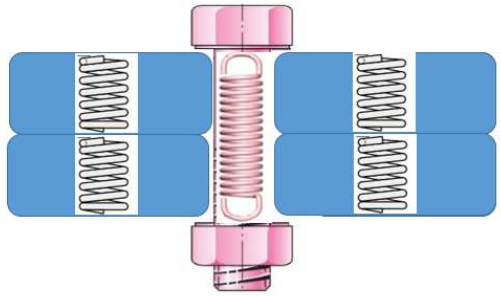
Esquema de Reparto de Cargas

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Condición de Montaje



Situación: Aplicación de precarga Fi en pernos y junta



Carga resultante en los pernos Fb = Fi

Carga resultante en los elementos de junta Fm = - Fi

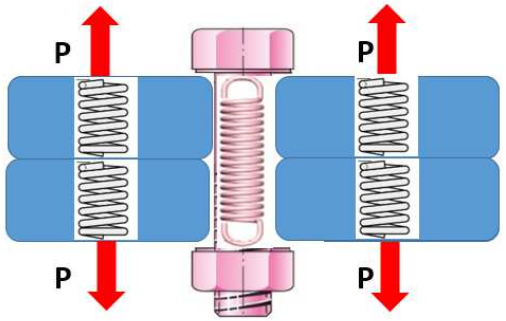
Tornillos de Unión

Esquema de Reparto de Cargas

INGENIERÍA MECATRÓNICA

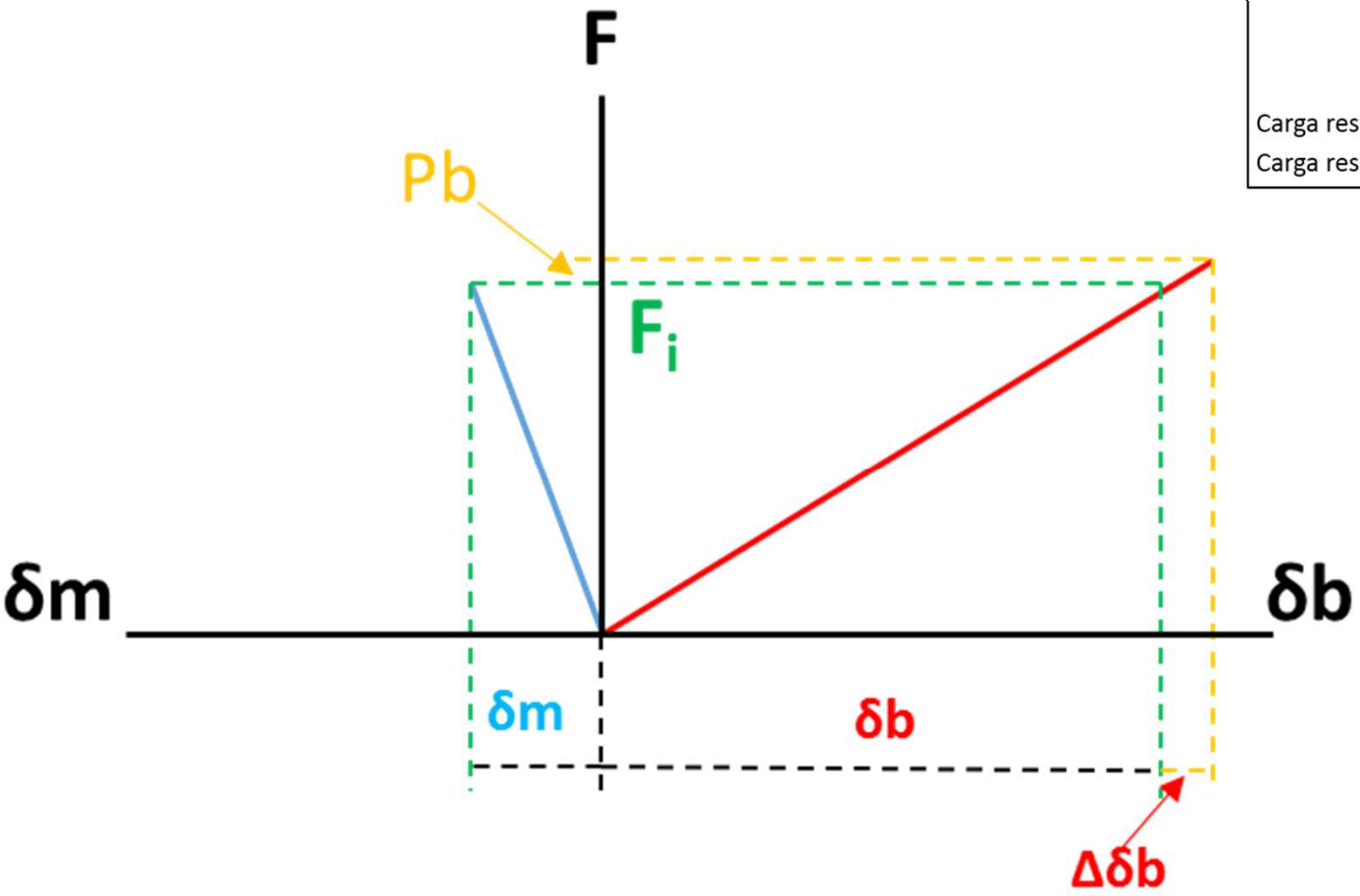
Condición de Operación

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



Carga resultante en los pernos Fb = Fi + Pb

Carga resultante en los elementos de junta Fm = Pm - Fi

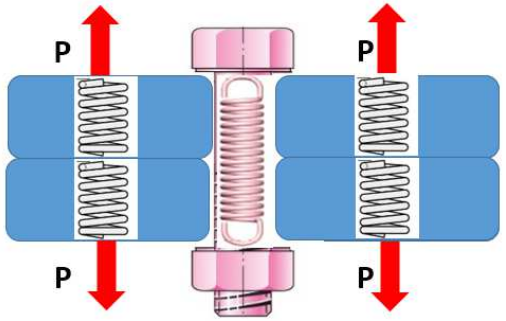


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Esquema de Reparto de Cargas

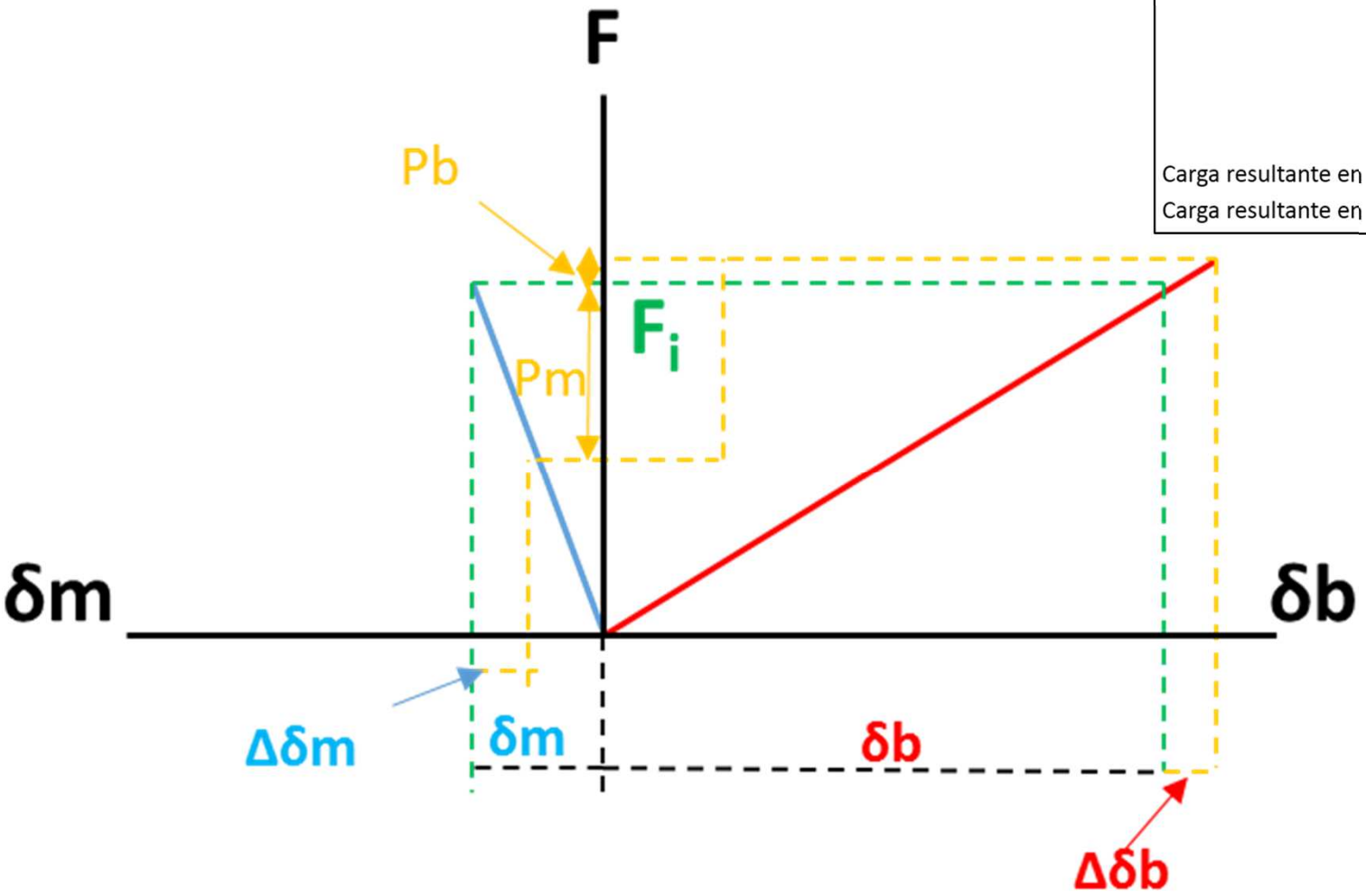
Situación: Aplicación de precarga Fi + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos Fb = Fi + Pb

Carga resultante en los elementos de junta Fm = Pm - Fi

Condición de Operación

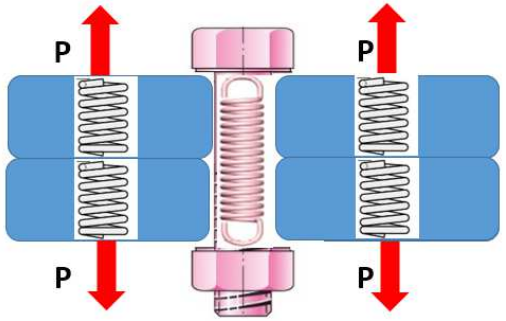


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Esquema de Reparto de Cargas

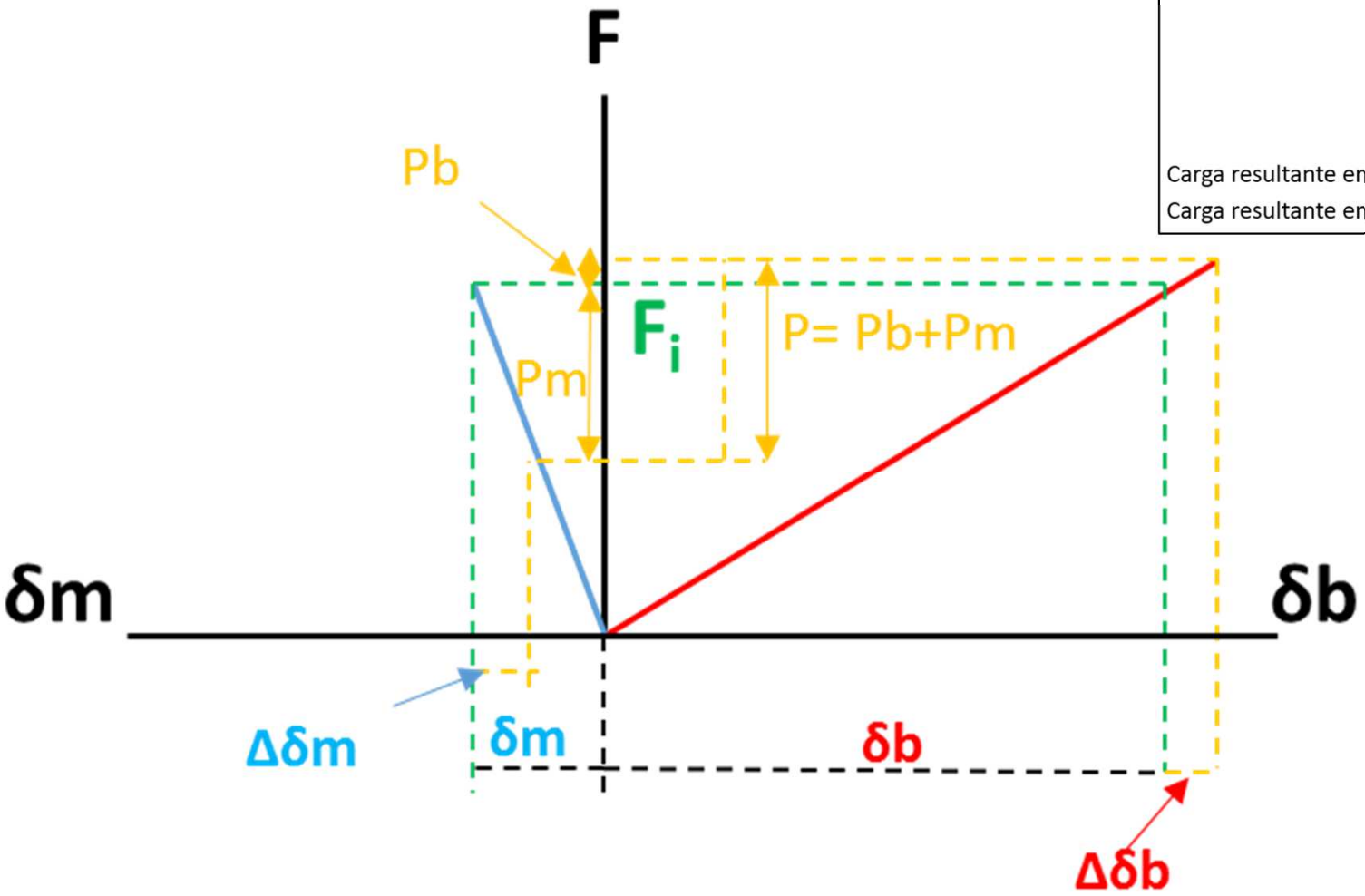
Situación: Aplicación de precarga Fi + carga externa P en pernos y juntas.



Carga resultante en los pernos Fb = Fi + Pb

Carga resultante en los elementos de junta Fm = Pm - Fi

Condición de Operación

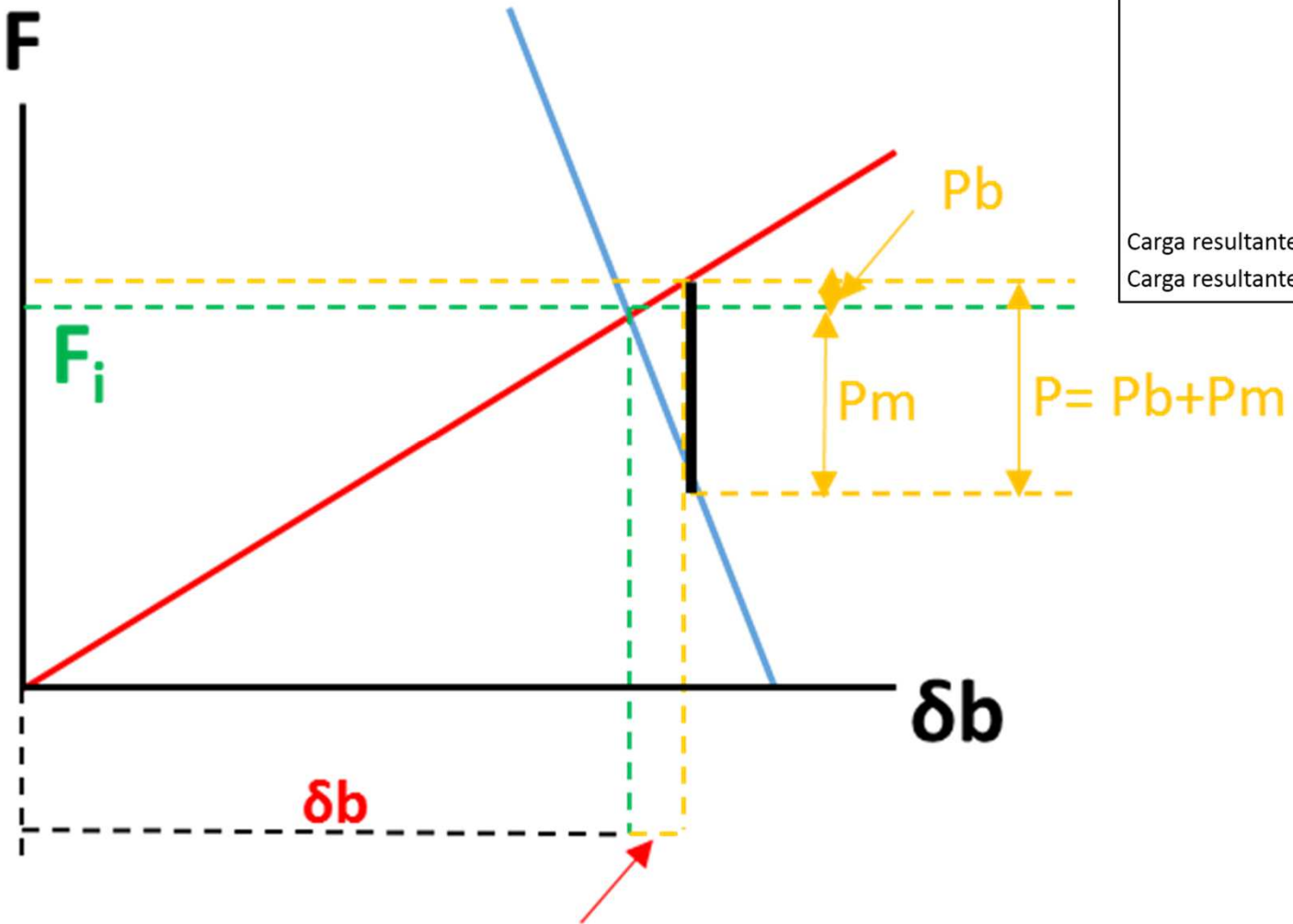


Tornillos de Unión

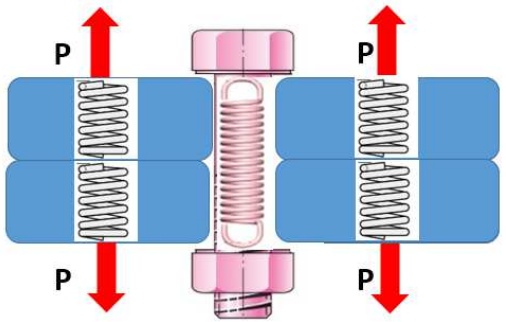
Esquema de Reparto de Cargas

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Condición de Operación



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



Carga resultante en los pernos Fb = Fi + Pb

Carga resultante en los elementos de junta Fm = Pm - Fi

Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb

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

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

Kb = Rigidez del perno

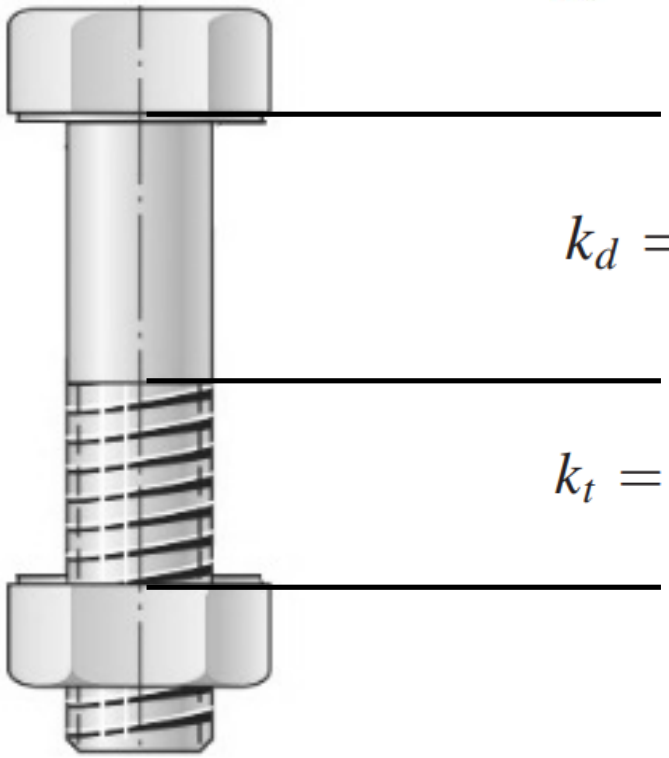
Km = Rigidez de los elementos de junta

Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb

$$k = \frac{AE}{l}$$

Rigidez de uma viga



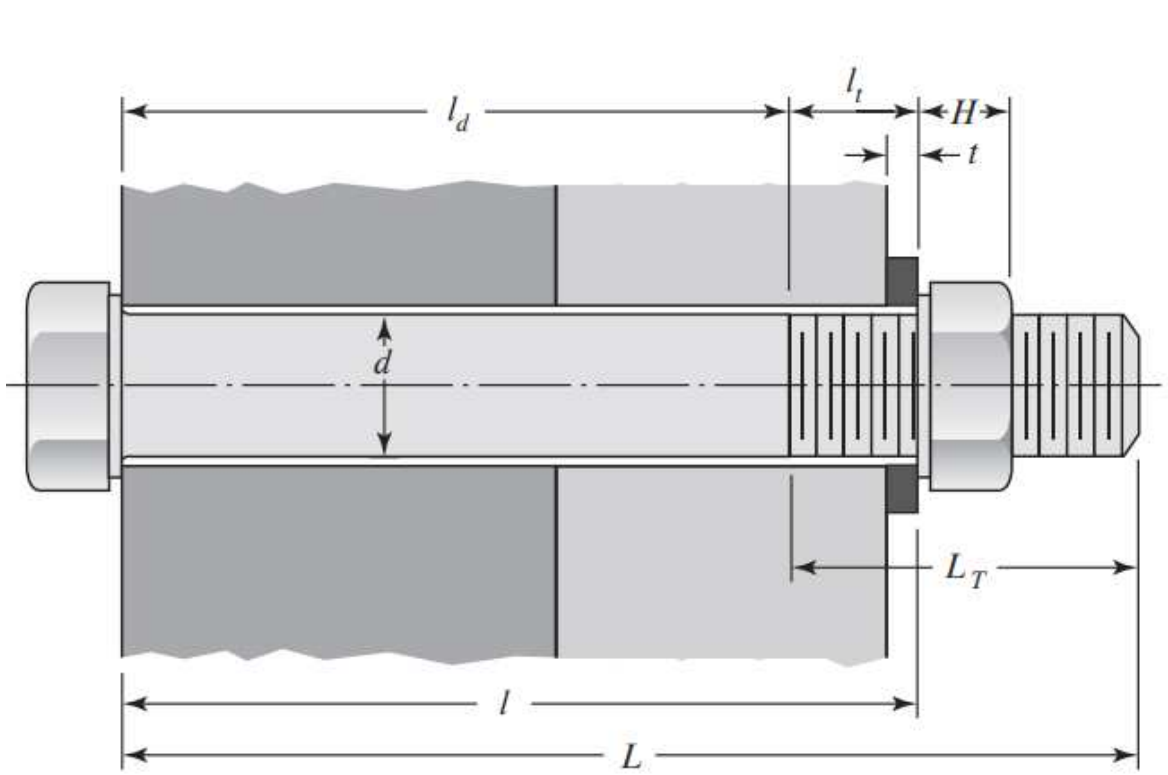
$$k_d = \frac{A_d E}{l_d}$$

$$k_t = \frac{A_t E}{l_t}$$

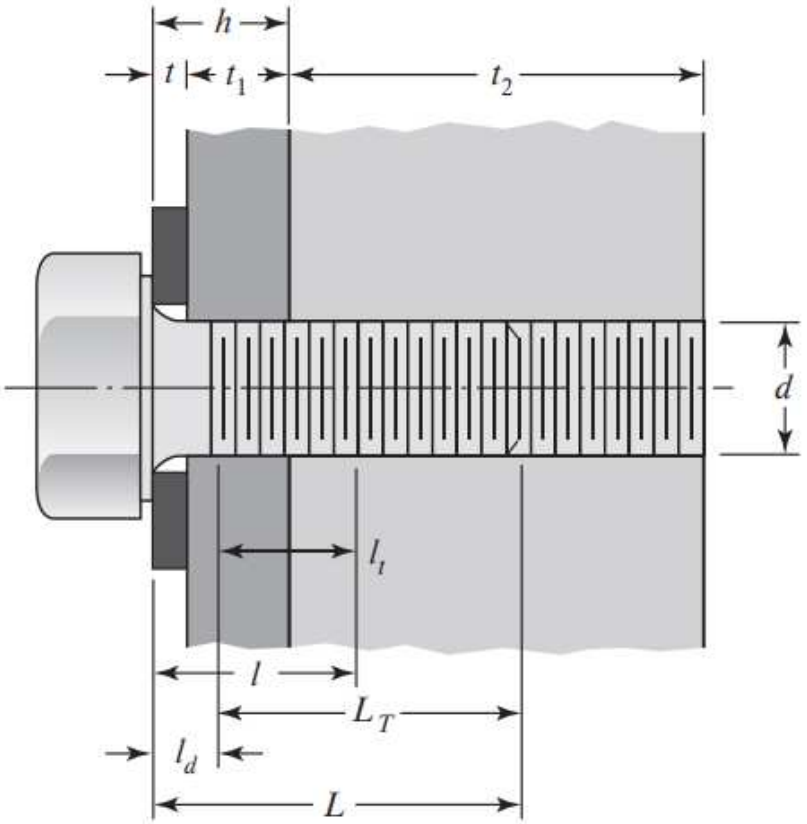
$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \rightarrow k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \rightarrow \boxed{k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}}$$

Tornillos de Unión

Rigidez del Sujetador Kb



a)



b)

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_t, de la tabla 8-1 u 8-2

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Rigidez de los Elementos de Unión Km

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

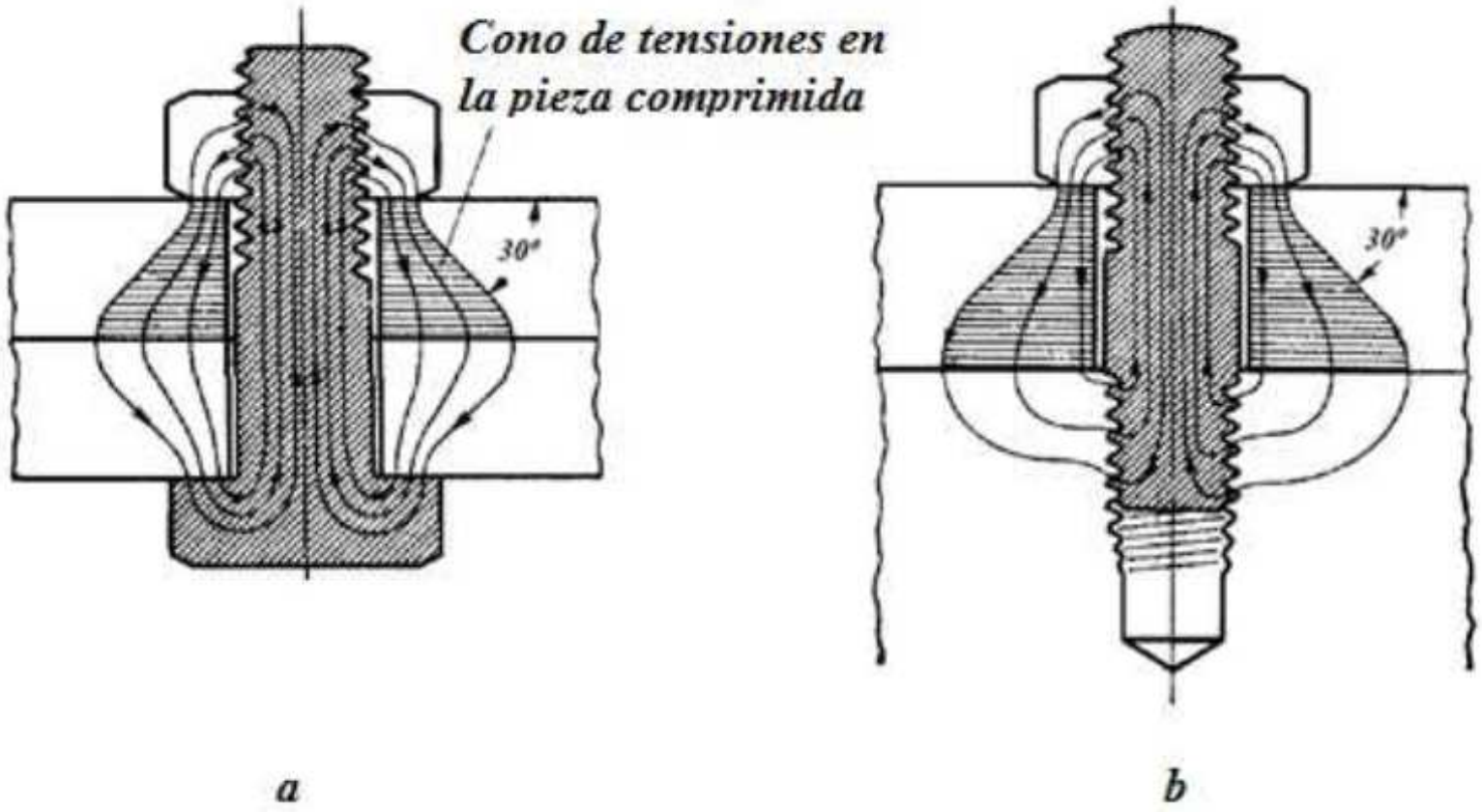
$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \cdots + \frac{1}{k_i}$$

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

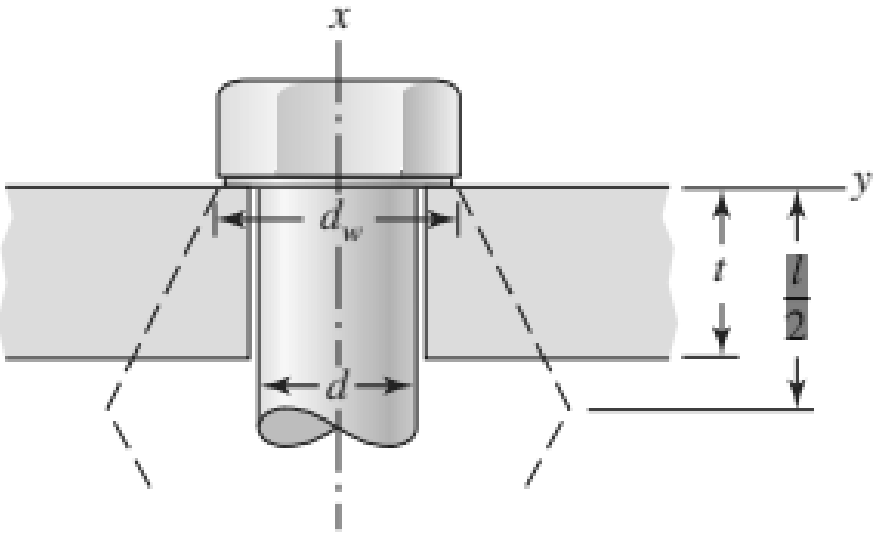
Rigidez de los Elementos de Unión Km

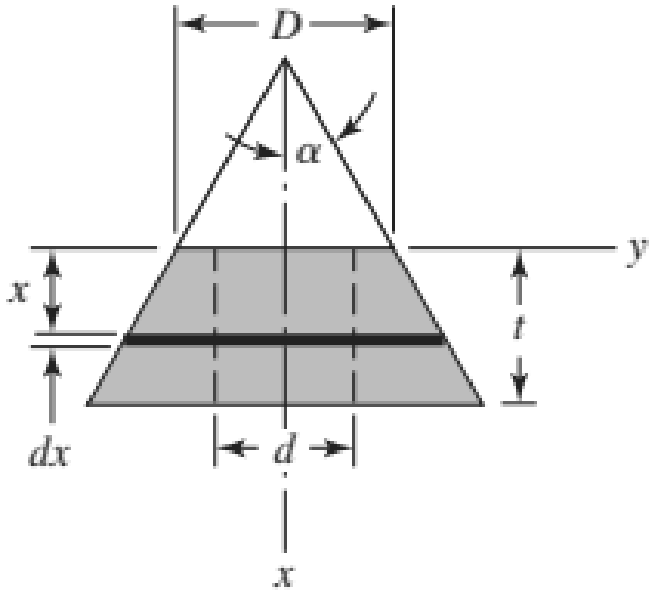
En las piezas atornilladas, las tensiones de compresión no se limitan a la zona situada inmediatamente debajo de la cabeza del tornillo, sino que se ensanchan en forma de cono, con un ángulo de 30º hacia la superficie de las pizas.



Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km

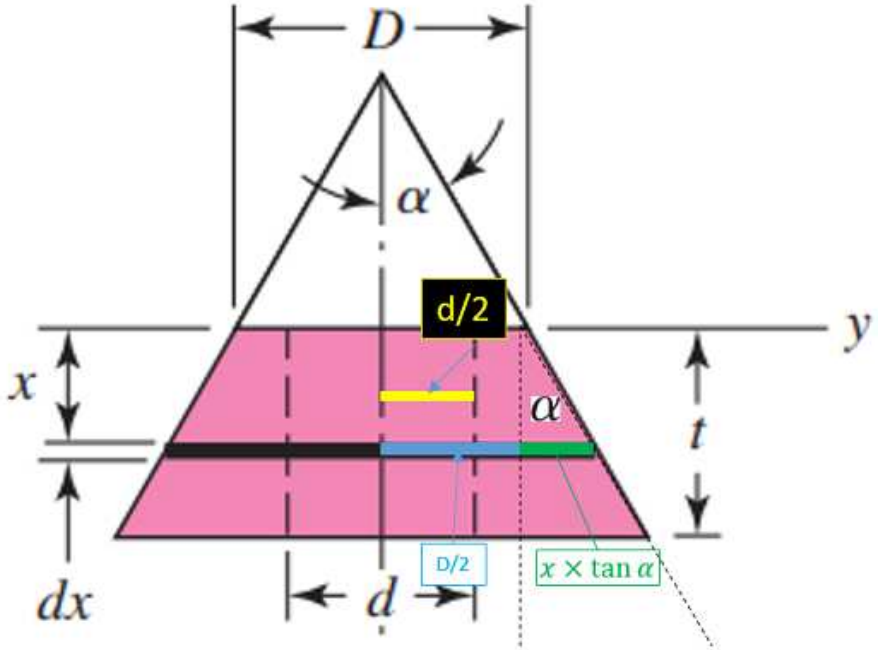




Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Rigidez de los Elementos de Unión Km

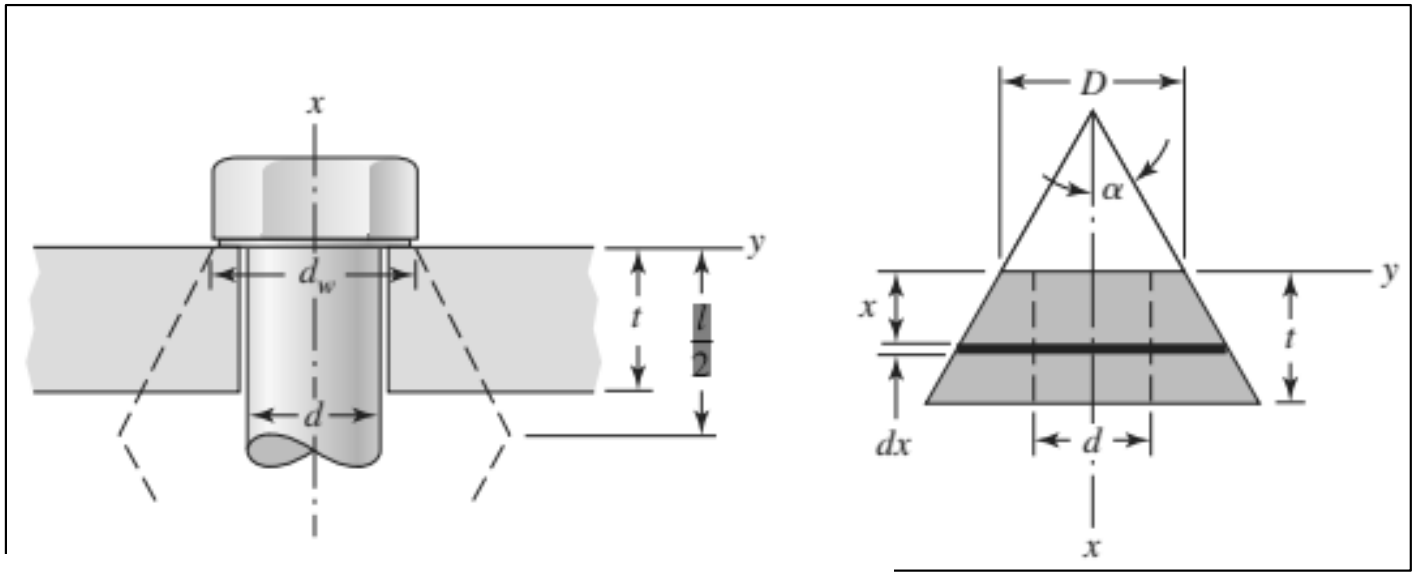


$$d\delta = \frac{P\,dx}{E\,A}$$

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

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km



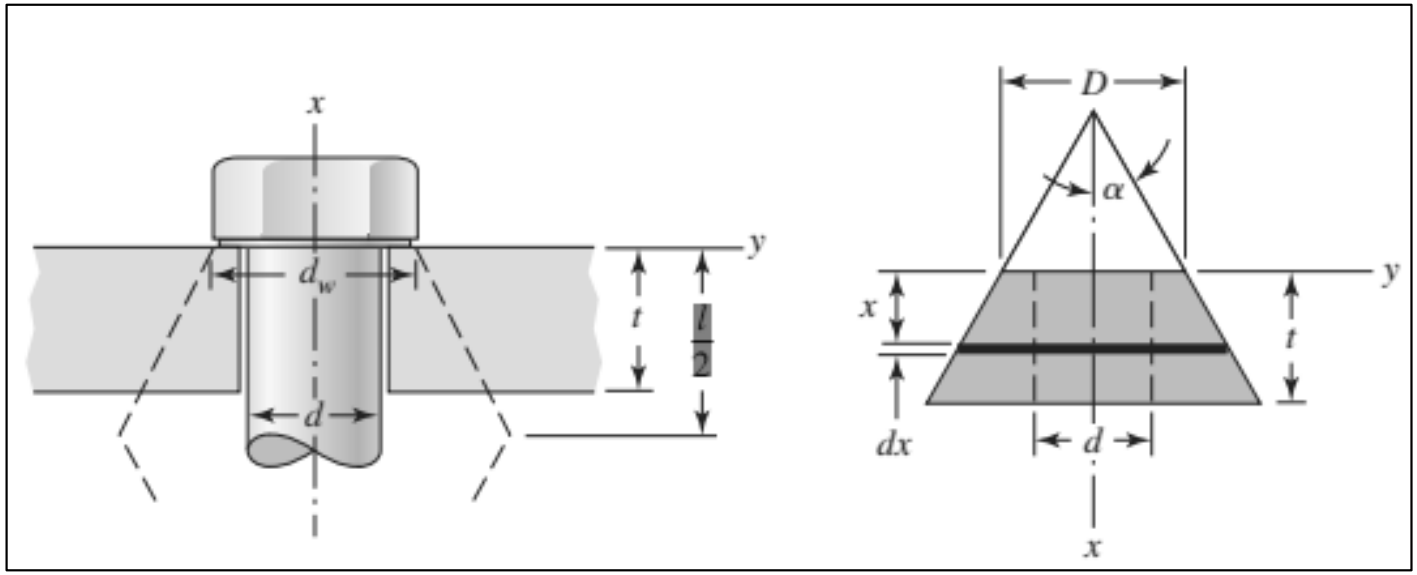
$$\delta = \frac{P}{\pi E d \tan\alpha} \ln \frac{(2t\tan\alpha + D - d)(D + d)}{(2t\tan\alpha + D + d)(D - d)}$$

➡ Contracción total

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

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km



$\alpha = 30°$

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

Tornillos de Unión

Rigidez de los Elementos de Unión Km

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, GPa	Mpsi	A	B
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 km

Tornillos de Unión

Carga Estática en Tornillos de Unión

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

Cargas en Perno

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

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

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Carga Estática en Tornillos de Unión

Factores de seguridad

Factor de seguridad contra la fluencia

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Carga Estática en Tornillos de Unión

Factores de seguridad

Factor de seguridad contra la sobrecarga

$$\frac{Cn_L P + F_i}{A_t} = S_p$$

Si se despeja el factor de carga resulta

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Carga Estática en Tornillos de Unión

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

Para Fm = 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.

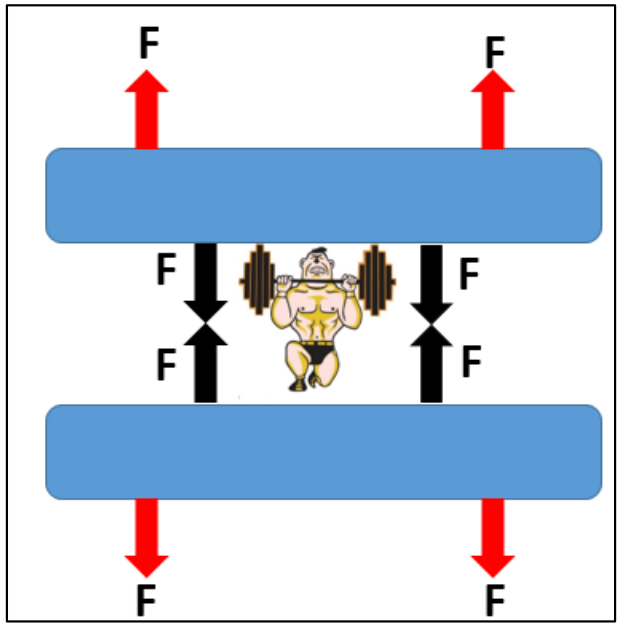
Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

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

$$F_p = A_t S_p$$ **Carga de prueba**

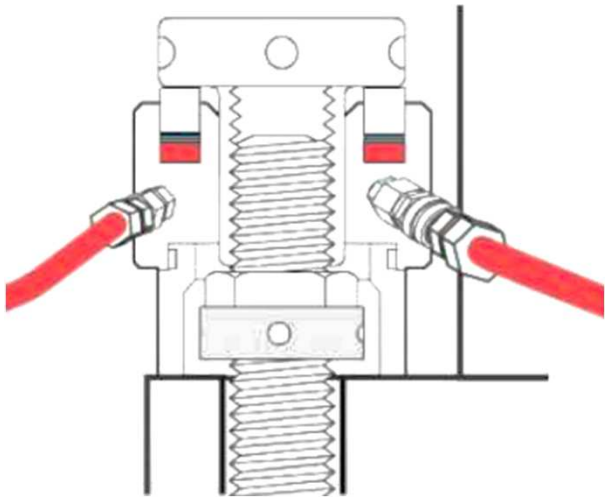
Sp es la resistencia de prueba que se obtiene de las tablas 8-9 a 8-11
Para otros materiales, un valor aproximado es Sp = 0.85Sy

Tornillos de Unión

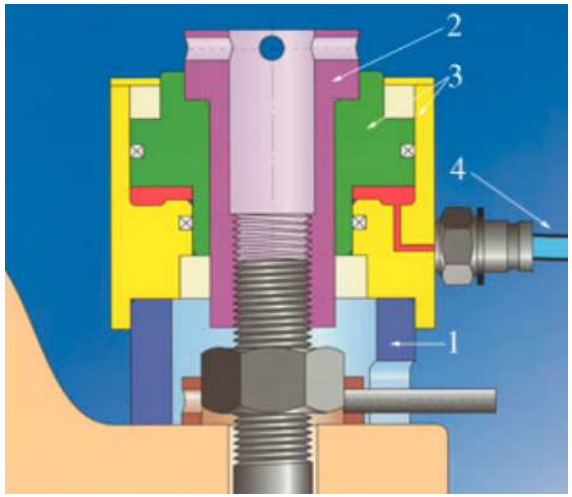
Precarga de pernos

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

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



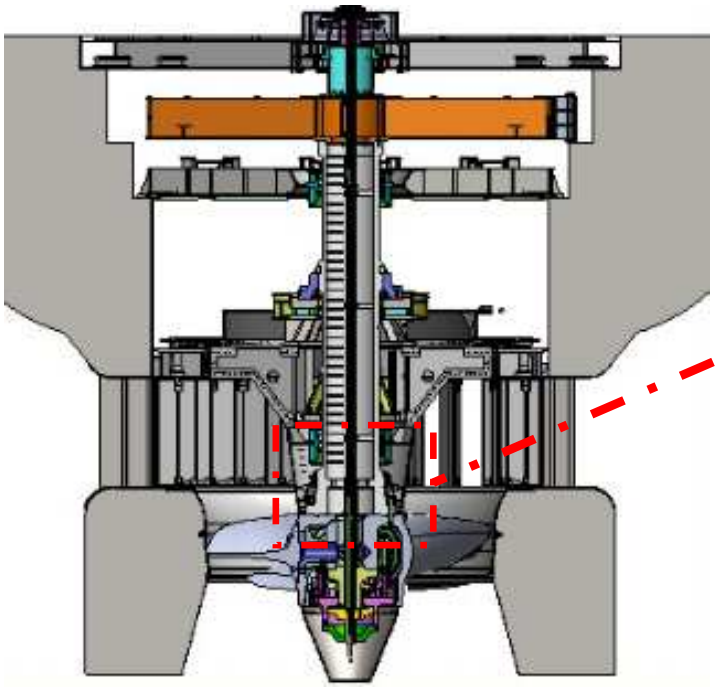
Tensionador Hidráulico

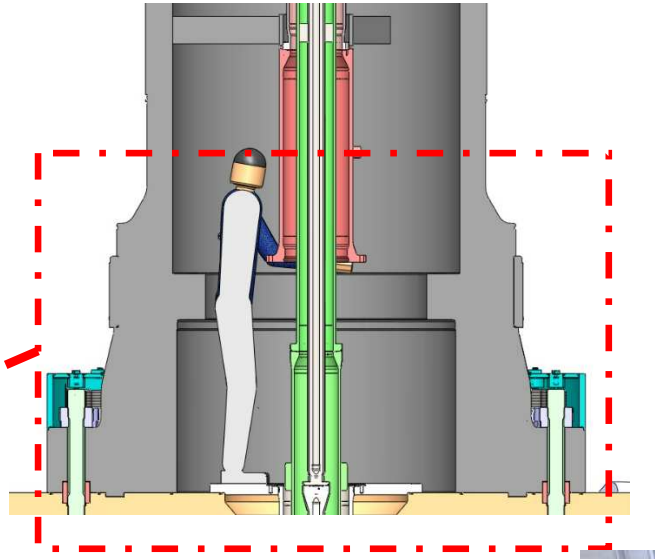


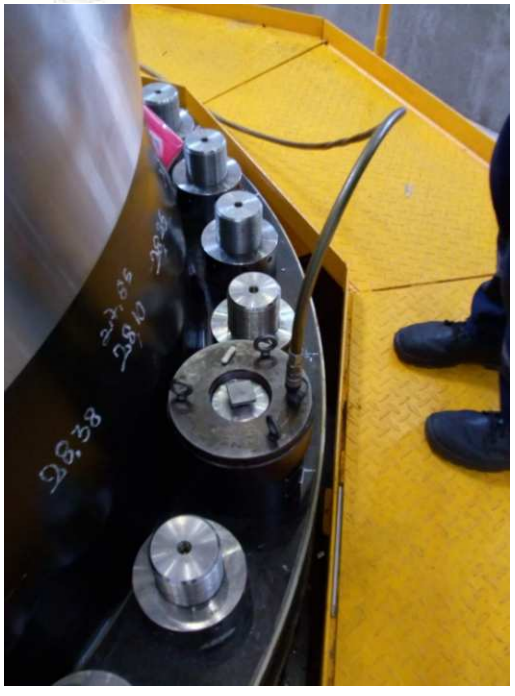
Tornillos de Unión

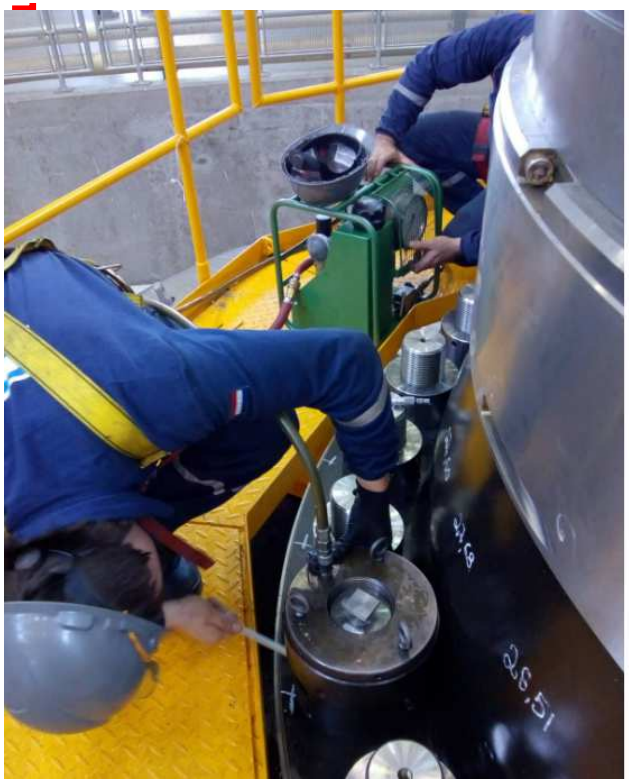
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Precarga de pernos









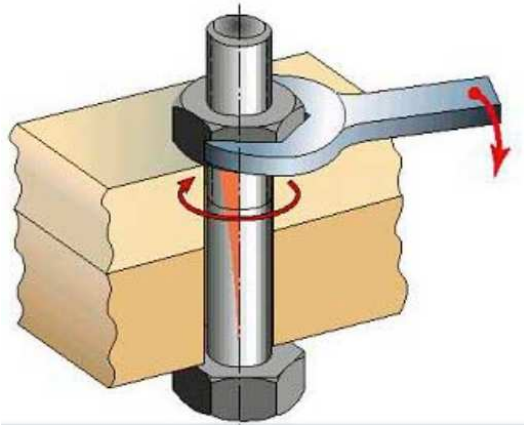
Tornillos de Unión

Precarga de pernos

INGENIERÍA MECATRÓNICA

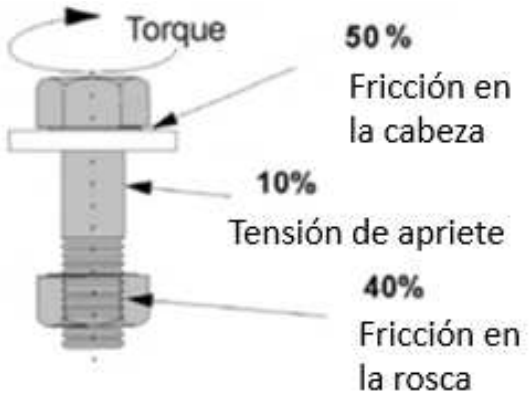
Torque necesario

$$T = KF_i d$$



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



INGENIERÍA MECATRÓNICA

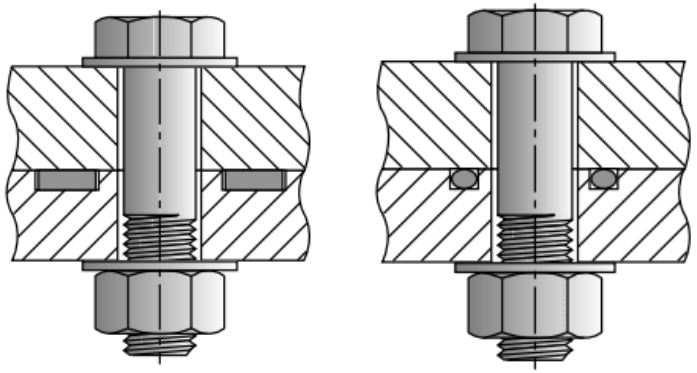
Carga Estática en Tornillos de Unión

JUNTAS CON EMPAQUETADURA

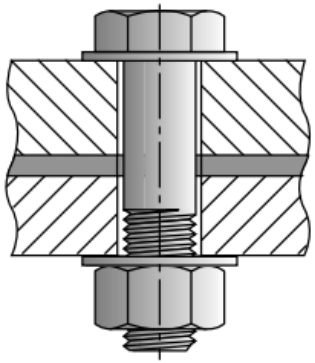
$$p = -\frac{F_m}{A_g / N}$$

Presión en el empaque

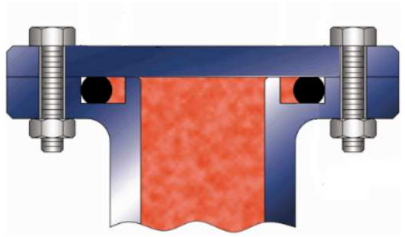
$$F_m = (1-C)nP - F_i \quad \Rightarrow \quad p = \frac{N}{A_g}\left[F_i - nP(1-C)\right]$$

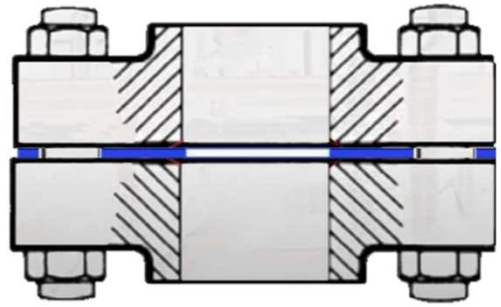


Empaque Confinado



Empaque no Confinado





INGENIERÍA MECATRÓNICA

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 **Kf** 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

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

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

Cargas en Perno

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

$F_{max} = F_b$
$F_{min} = F_i$

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

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

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

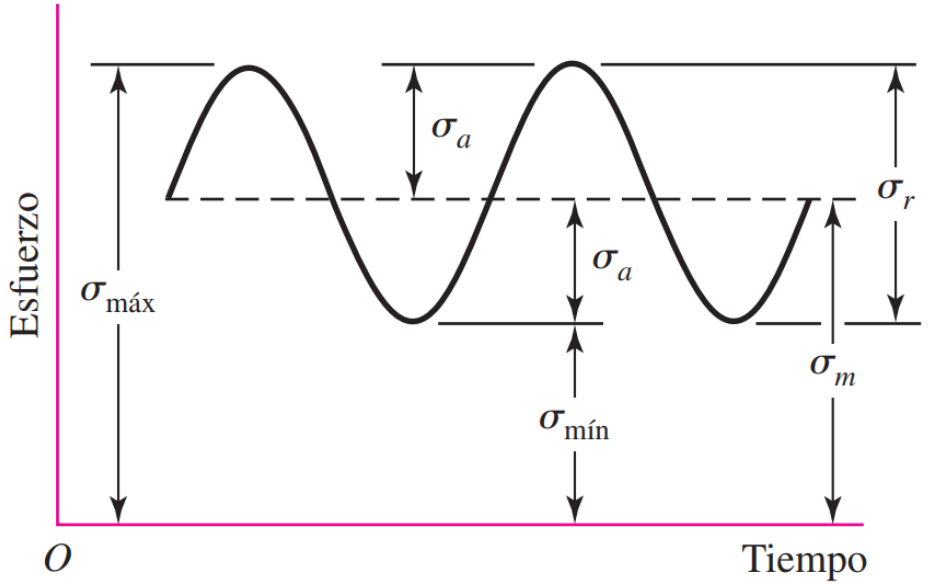
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

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

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

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

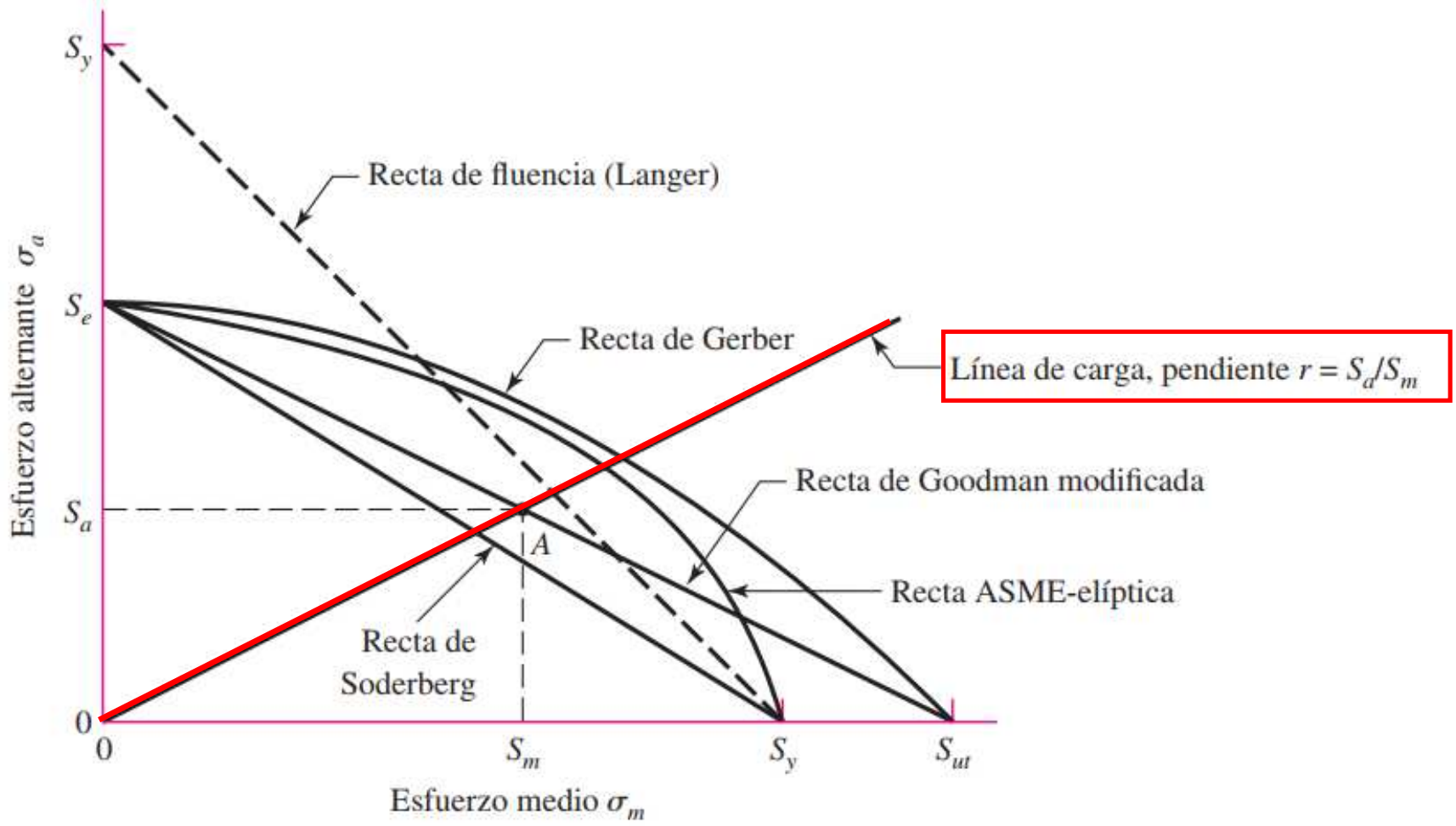


INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

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

Línea de carga para tornillos de unión

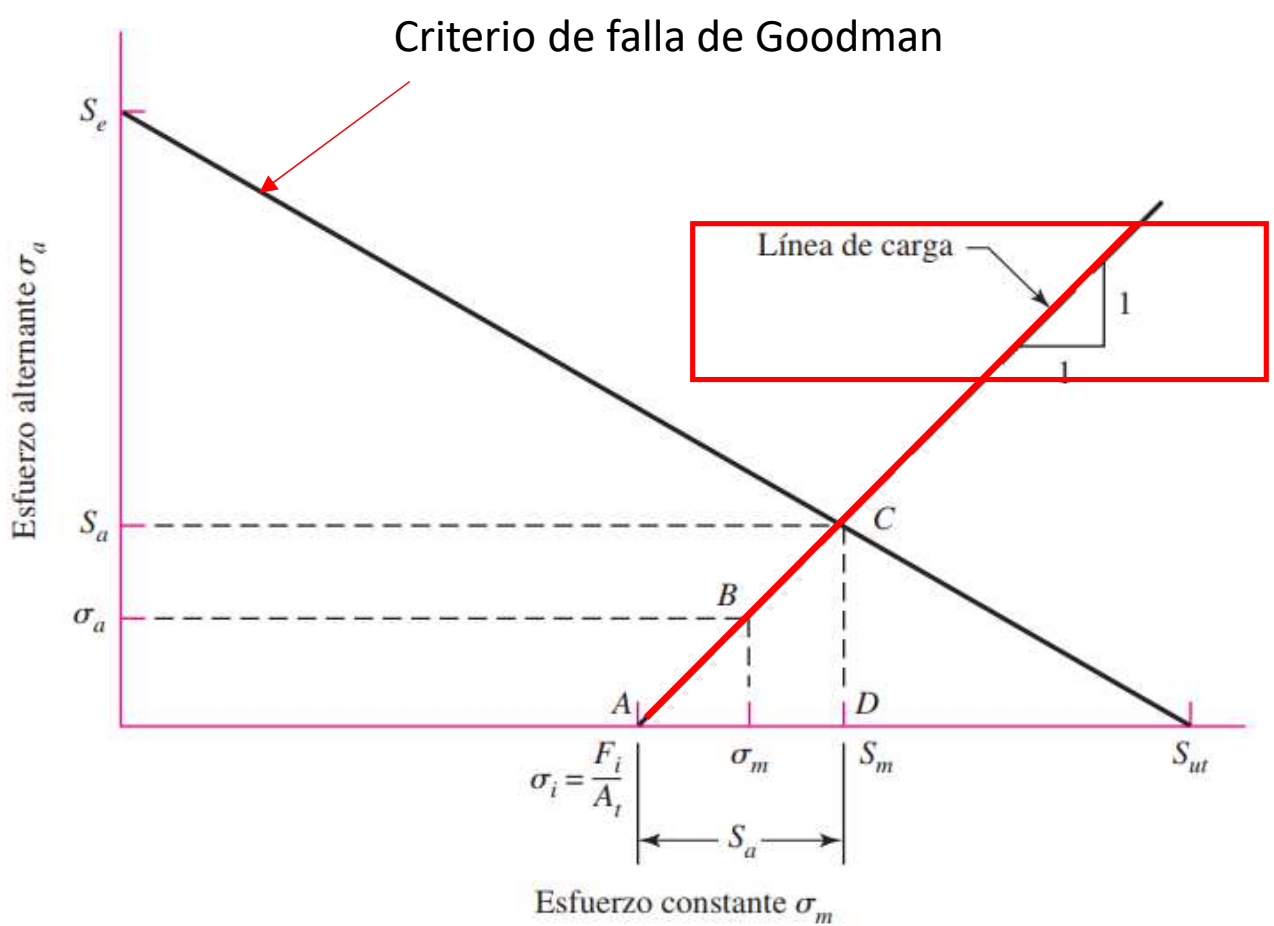


Tornillos de Unión

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

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

Línea de carga para tornillos de unión



INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

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

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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:

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

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

Cargas de Fatiga en Tornillos de Unión

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

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

Tornillos de Unión

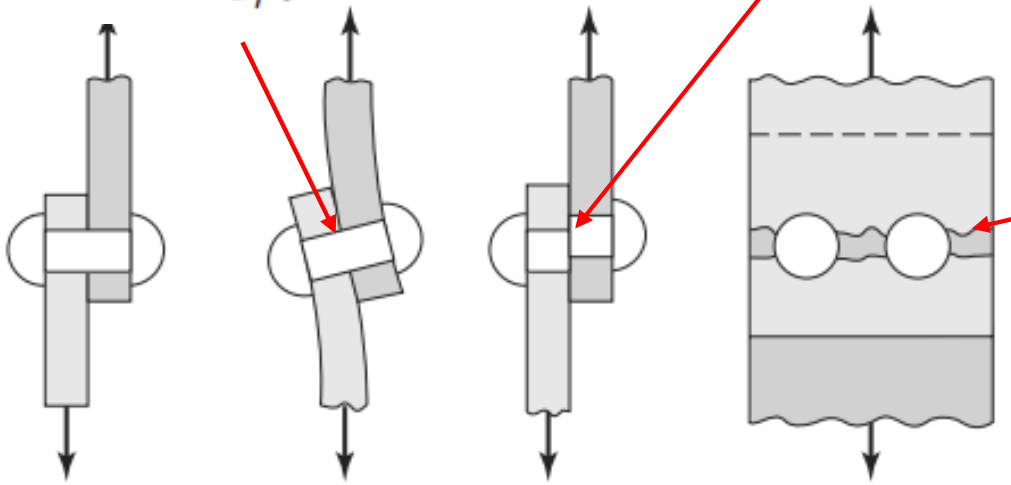
INGENIERÍA MECATRÓNICA

Uniones Sujetas a Esfuerzos Cortantes

$$\sigma = \frac{M}{I/c}$$

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

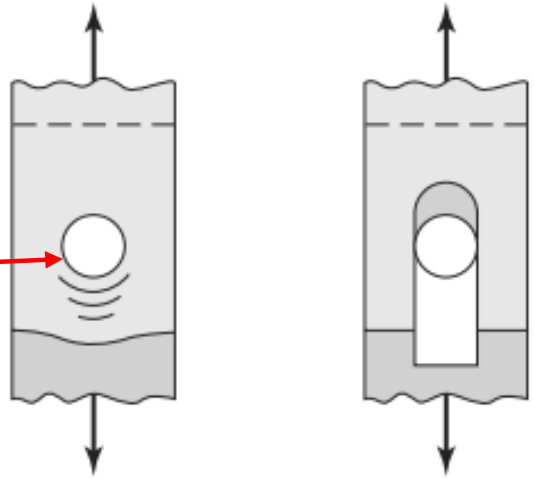
$$\sigma = \frac{F}{A}$$



a) b) c) d)

$$\sigma = -\frac{F}{A}$$

$$A = td.$$



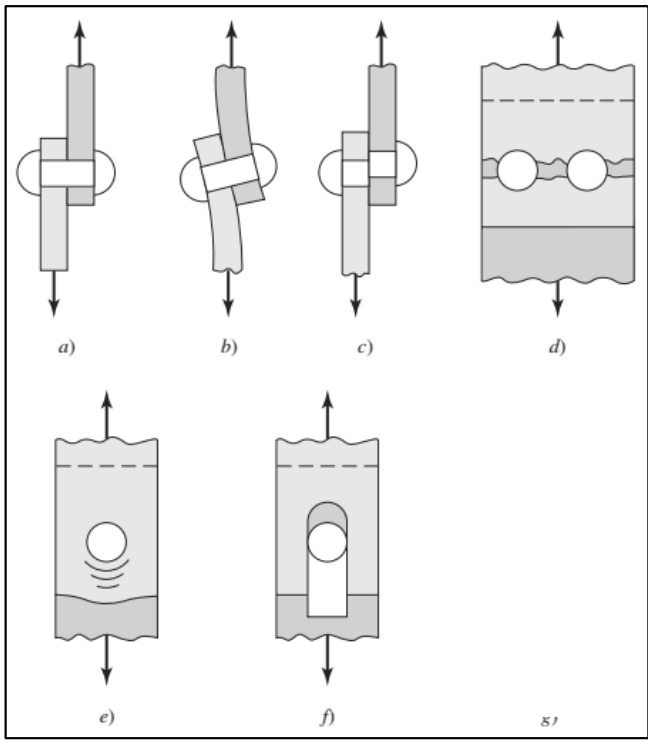
e) f)

Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Esfuerzos Cortantes

En una unión sometido a esfuerzo cortante se debe verificar :

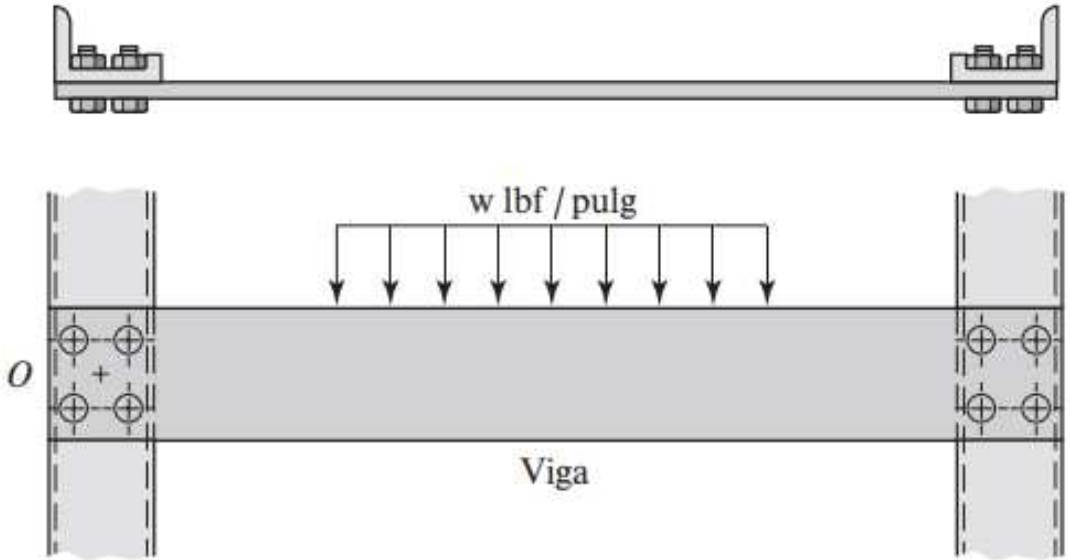
- Aplastamiento de los elementos (todos los agujeros participan)
- Cortante de un perno (a la larga, participan todos los pernos) Distinguir entre cortante de la rosca y del cuerpo
- Cortante del borde y desgarramiento del elemento
- Fluencia por tensión de los elementos a lo largo de los agujeros de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



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

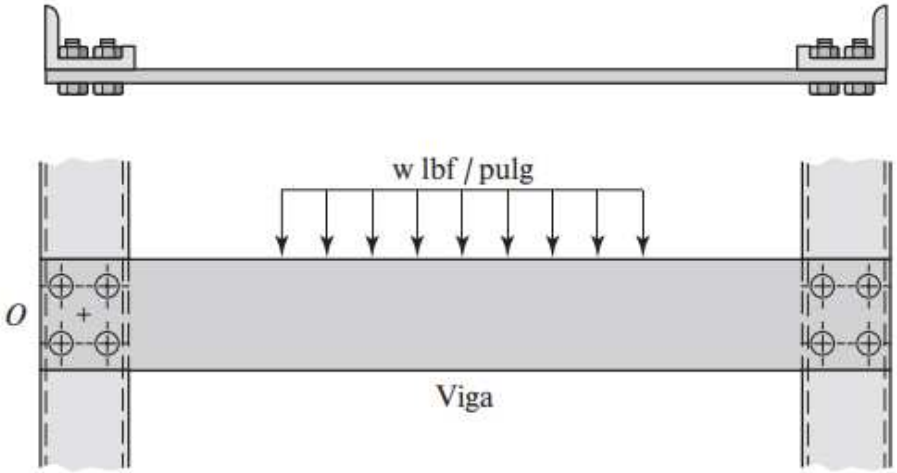
Viga con pernos en ambos extremos sometida a una carga distribuida

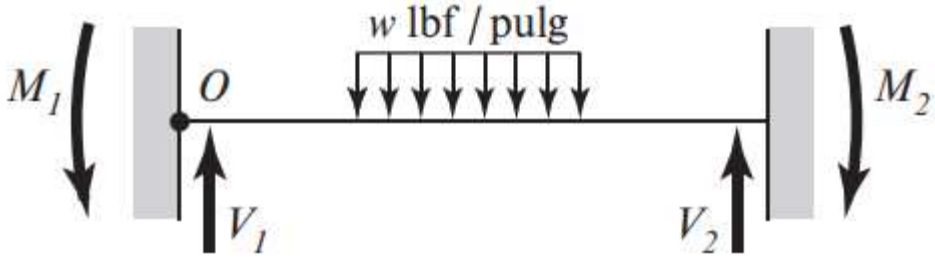


Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Viga con pernos en ambos extremos sometida a una carga distribuida



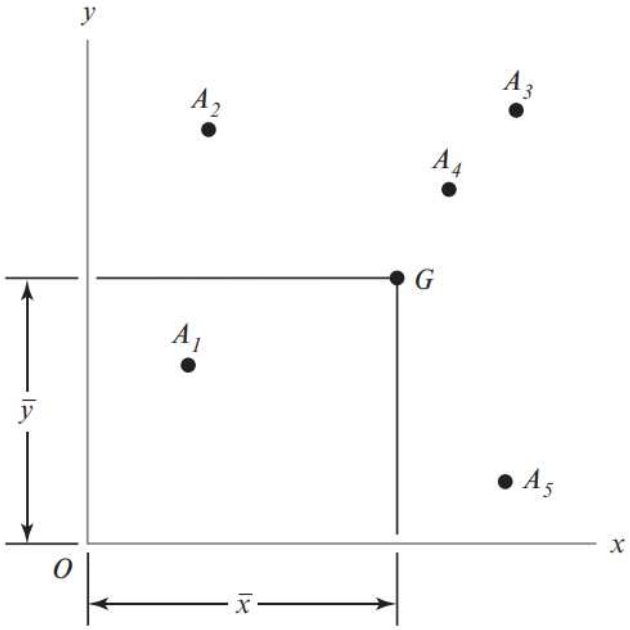


Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Centroide de grupos de pernos



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

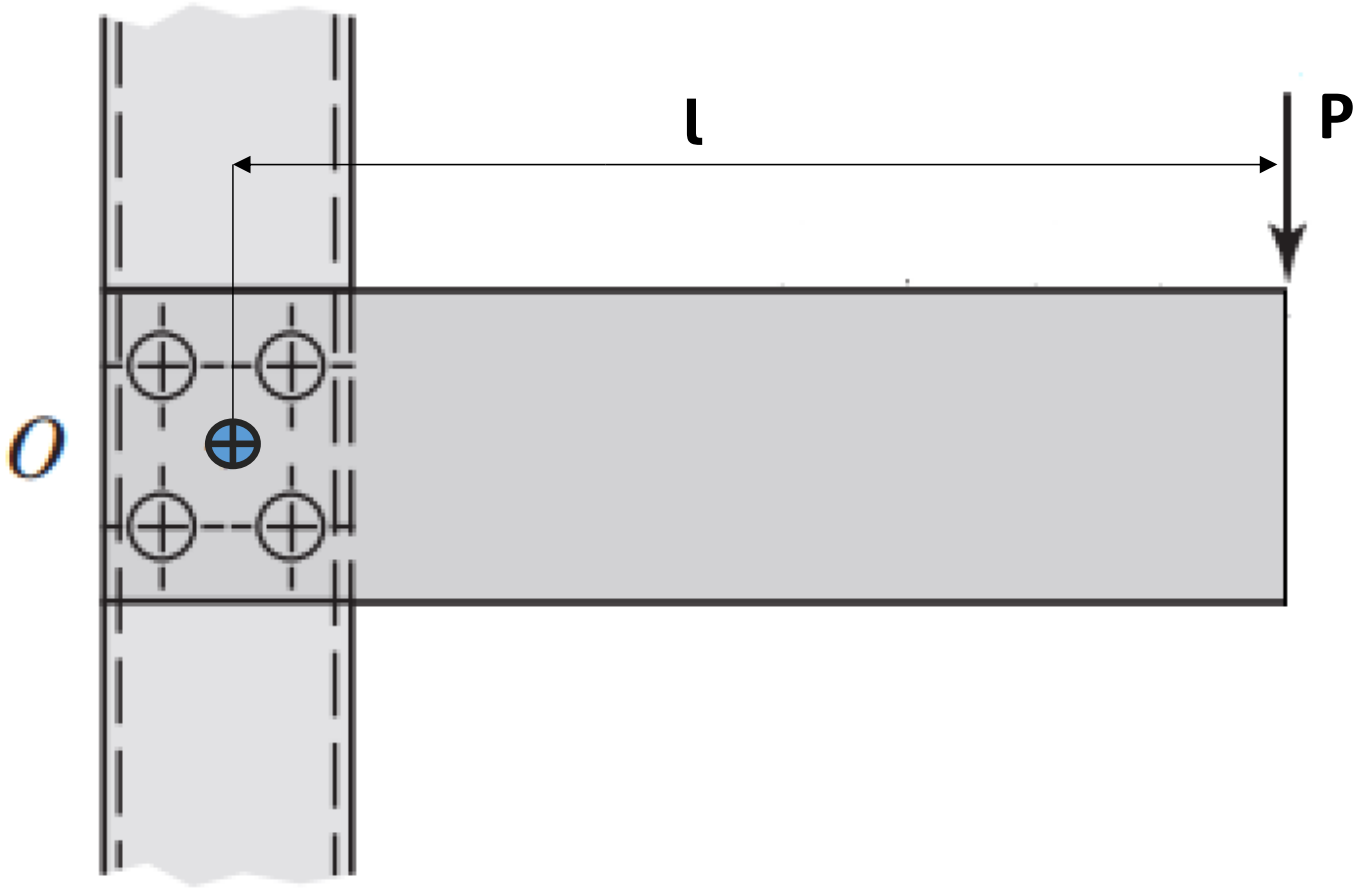
$$\bar{y} = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3 + A_4y_4 + A_5y_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} = \frac{\sum_1^n A_i y_i}{\sum_1^n A_i}$$

Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

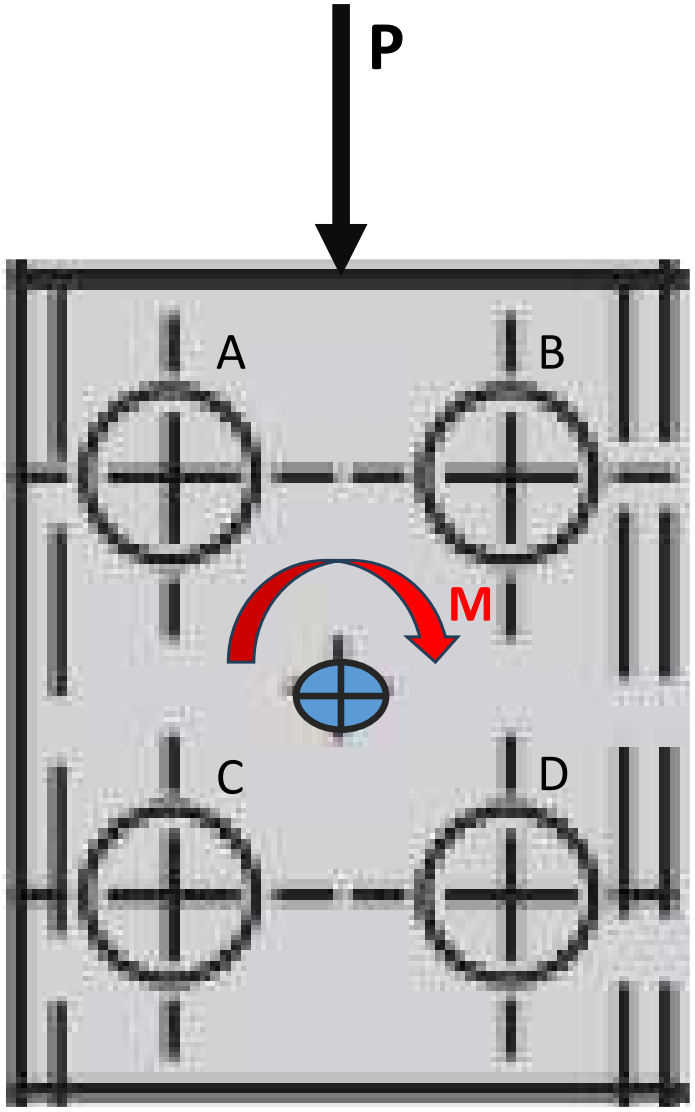
Centroide de grupos de pernos



Tornillos de Unión

INGENIERÍA MECATRÓNICA

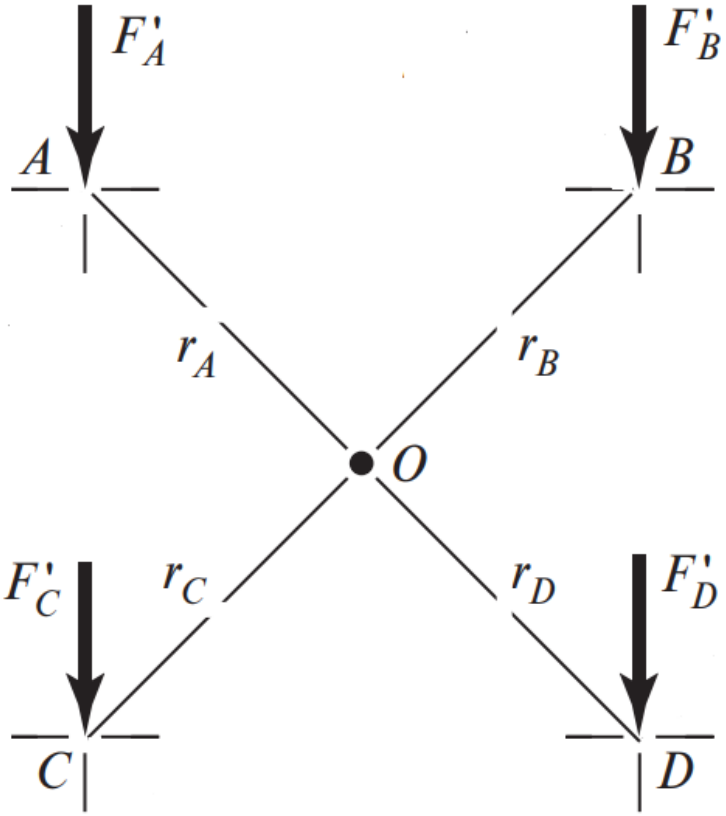
Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas



Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Carga directa o cortante primario: *F′*



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

Tornillos de Unión

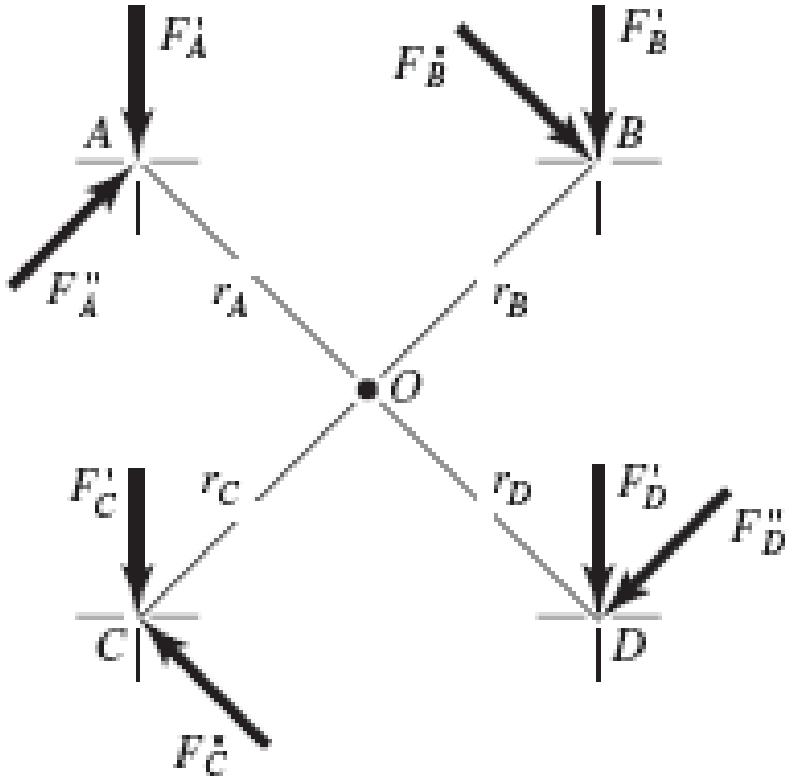
Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

Carga del momento, o cortante secundario

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

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

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



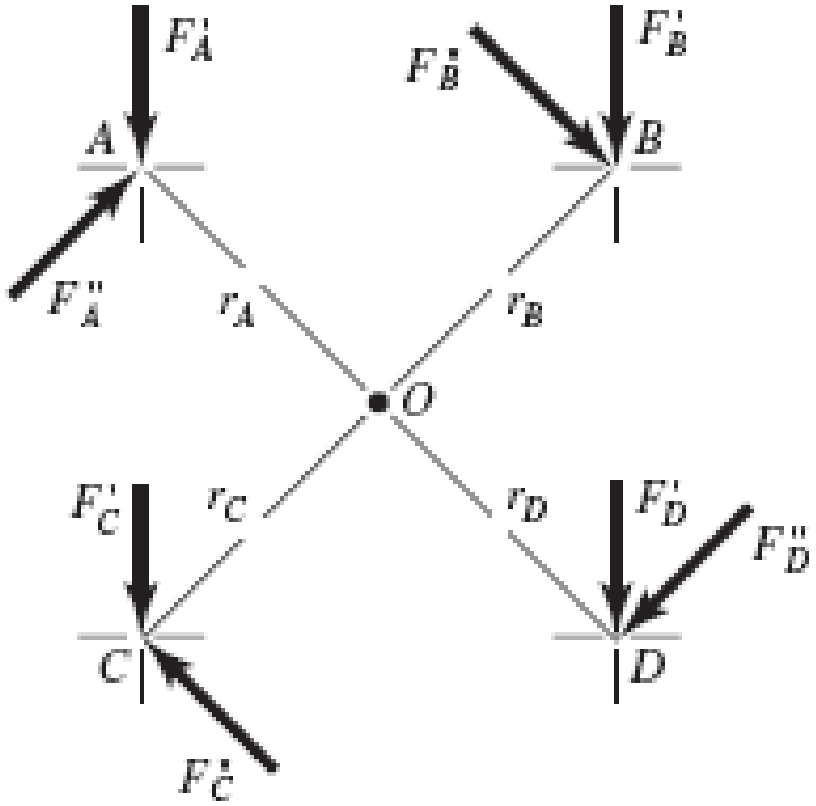
Tornillos de Unión

Uniones Sujetas a Cargas Excéntricas

$$S_{ys} = 0.577\, S_y$$

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

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



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