

CAPÍTULO II. MEDIOS DE UNIÓN. REMACHES O ROBLONES.

Un remache consiste en un vástago de diámetro d , provisto de una cabeza esférica, que se introduce a través de los taladros de las chapas a enlazar calentado al rojo cereza, estampándose otra cabeza en el extremo saliente.

Al enfriarse contrae, comprimiendo las chapas unidas.

Los roblones incluidos en la norma, son de tres clases; clase E que son los roblones de cabeza esférica; se denomina

ROBLÓN E $\varnothing \times l$ NBE EA-95

$\varnothing$

diámetro de la caña en mm

l

longitud de la caña en mm

Los roblones de clase B; son los roblones de cabeza bombeada; se designan como

ROBLÓN B $\varnothing \times l$ NBE EA-95

Los roblones de clase P; son los roblones de cabeza plana cuya nominación se expresa

ROBLÓN P $\varnothing \times l$ NBE EA-95

La referencia a la norma (NBE EA-95) puede suprimirse cuando sea innecesaria.

Vemos las características de los roblones, en primer lugar d_a (diámetro del taladro de las chapas); será igual al diámetro de la caña $d+1$. Los roblones al aplicarlos podrán unir dos chapas.

Sin embargo, el agujero de la chapa es de d_a
 $d_a = d+1$

Los cálculos, con los roblones; los hacemos con el diámetro d_a ; ganándole milímetro al apretar

s

espesor total de las chapas unidas.

l

longitud del vástago; igual a $1.33 \cdot d + s$ en milímetros.

$l = 1.33 \cdot d + s$; si está remachado a máquina.

$l = 1.75 \cdot d + s$; si está remachado a mano.

d

diámetro nominal del vástago en milímetros.

t
mínimo espesor de la chapa a unir (en centímetros)

Como criterio para la elección de roblones, se toma:

$$d = \sqrt{5t} - 0.2$$

(cm)

Los diámetros mas comúnmente utilizados son 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36 milímetros.

El tipo de acero para los roblones

ACEROS TRACCIÓN σ_R

CORTANTE τ_R

ACEROS

ROBLÓN (kg/mm²) (kg/mm²) ESTRUCTURA

A-34 34-42 25-36 A-37/A-42

A-42 42-50 31-42 A-52

TORNILLOS.

Consisten en un vástago de diámetro d ; provisto de una cabeza de forma hexagonal; que se introduce en los taladros de la chapa a enlazar; teniendo en el extremo saliente del vástago una zona roscada, en la cual se colocan una arandela y una tuerca que al ir roscándose consigna el apriete de las chapas unidas.

CLASES DE TORNILLOS.

Según EA-95; son de tres clases:

-Clase T: tornillos ordinarios.

-Clase TC: tornillos calibrados.

-Clase TR: tornillos de alta resistencia.

Los tornillos de clase T se designan

TORNILLO T $d \times l$ A4t NBE EA-95

d
diámetro de la caña.

l
longitud del vástago.

A4t
tipo de acero.

NBE EA-95

Referencia a la norma.

El tipo de acero y la referencia a la norma pueden suprimirse cuando sean innecesarias.

Los tornillos de clase TC; se denominan

TORNILLO TC $d \times l$ A5t NBE EA-95

d
diámetro de la espiga.

l
longitud del vástago.

En los tornillos ordinarios. Tendremos que da

$$da = \varnothing \text{ taladro} = d+1$$

y para los tornillos calibrados; tendremos que da

$$da = \varnothing \text{ taladro} = d$$

Para el cálculo a cortadura, tomaremos la sección d.

Para el cálculo a tracción, tomaremos la sección d1.

Los tipos de tornillos, longitudes y aceros se facilitarán en tablas.

CÁLCULO DE REMACHES Y TORNILLOS.

El cálculo tanto del material como de las uniones serán para:

- cortadura.
- aplastamiento.
- tracción y cortante.
- flexión simple.

De estas solicitaciones realizaremos el cálculo de la unión.

CÁLCULO A CORTADURA.

Se produce de contacto entre chapas y se tomará la sección resistente resultante del diámetro del vástago d.

$$\varnothing = d \text{ para T}$$

$$\varnothing = d+1 \text{ para TC y TR}$$

Este esfuerzo se produce cuando, en el vástago; las chapas unidas tratan de deslizar una con respecto a la otra. Generalmente vamos a tener dos casos:

De SIMPLE CORTADURA.

y de DOBLE CORTADURA

El espesor de las tres chapas a unir, es t_1 .

No son aconsejables las uniones en simple cortadura, para evitar la aparición de un momento $N^* \times t_1$; en la sección del vástago; siempre que se pueda habrá que adoptar la disposición de doble cortadura.

La sollicitación de agotamiento de un remache o tornillo a cortadura, en la sección del vástago definida por la posición de contacto entre chapas.

$$N = K \sigma_T m F$$

K es un coeficiente adimensional que vale 0.65 para tornillos ordinarios y 0.8 para tornillos calibrados y roblones.

$$\sigma_t$$

es la resistencia de cálculo y vale 2400 Kp/cm² para el A4t (habitual en roblones y tornillos ordinarios) y 3000Kp/cm² para el acero A5t el habitual de los tornillos calibrados.

m se denomina al número de secciones transversales

$m = 1$, para la simple cortadura.

$m = 2$, para la doble cortadura.

F será la sección resistente del vástago y será igual a $\frac{\pi d^2}{4}$

Al producto $K \sigma_t = \tau_u$

se le llama también agotamiento a cortadura, para calcular el número de remaches o tornillos N_c , para absorber un esfuerzo N^* a cortadura tendremos que

$$N_c = \frac{N^*}{m F \tau_u} = \frac{N^*}{m F K \sigma_t}$$

APLASTAMIENTO.

Una unión entre chapas puede fallar si se aplastan las paredes de los taladros contra los vástagos de los tornillos o remaches, se admite que la sección resistente de la chapa a aplastamiento es la proyección de la superficie lateral del taladro.

Tenemos una rotura por aplastamiento que hace inservible la unión.

La sollicitación de agotamiento de una chapa por aplastamiento contra el vástago de un roblón o tornillo es

$$N = K \sigma_F d_a t$$

K es un coeficiente adimensional igual a 2 para remaches y tornillos calibrados; 1.6 para tornillos ordinarios y 3 para tornillos de alta resistencia.

σ_F

es el límite de fluencia del acero de la chapa, para el A-37 son 2400 Kp/cm², para el A-42 son 2600 Kp/cm² y para A-52 es 3600 Kp/cm².

d_a para tornillos calibrados y roblones es igual al diámetro del agujero y para tornillos ordinarios es igual al diámetro del vástago.

t es el menor espesor de las chapas unidas

Al producto $K \sigma_F = \sigma_L$

, se le llama tensión de agotamiento por aplastamiento.

Para conocer el número de remaches o tornillos a disponer en una unión para absorber un esfuerzo N^* y no se produzca aplastamiento, tendremos

$$n_1 = \frac{N^*}{t d_a \sigma_L} = \frac{N^*}{t d_a K \sigma_F}$$

CÁLCULO DE LA SOLICITACIÓN A TRACCIÓN.

Sólo se admite en tornillo, no en roblones; la sección más solicitada es la correspondiente a la rosca, tenemos que N (solicitud de un tornillos a tracción)

$$N = 0.8 \sigma_t F_r$$

σ_t

es la resistencia de cálculo para A4t, que es igual a 2400 Kp/cm² y para A5t será igual a 3000 Kp/cm².

F_r será la sección resistente de la rosca y se facilitará en tablas (A_r)

(Tablas 2.5.3.a T y 2.5.4.b TC)

CÁLCULO A LA SOLICITACIÓN A TRACCIÓN Y A CORTANTE.

Sobre el tornillo actúan N_T^*

y N_Q^*

.

1° Se realizará la comprobación a tracción; según el apartado anterior.

2° Se realizará la comprobación de la tensión compuesta en el vástago, en el agotamiento de ambos esfuerzos.

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 3 \tau^{*2}} \quad \sigma_t$$

$$\sigma_t(A4t) = 2400 \frac{Kp}{cm^2}$$

$$\sigma_t(A5t) = 3000 \frac{Kp}{cm^2}$$

$$\sigma^*$$

es la tensión ponderada originada por la fuerza de tracción

$$\sigma^* = \frac{N^*}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad d =$$

Øvástago

$$\tau^*$$

es la tensión tangencial ponderada originada por el cortante Q^*

$$\tau^* = \frac{Q^*}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

UNIÓN RESISTENTE A FLEXIÓN SIMPLE.

Tendremos un flector y un cortante

Respecto esto intentamos hallar una sección resistente equivalente.

$$a \quad c \quad \frac{c}{2} = b \quad c_1 \quad \frac{c_1}{2} \quad \frac{a}{b} = \frac{c_1}{c}^2$$

$$\frac{c_1}{c} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

(1)

Además conocemos que $c + c_1 = h$

(2)

$$\frac{A}{s} \quad s = A$$

$$\frac{m}{n}$$

de columnas de tornillos

$$\frac{A}{s} \quad m = a$$

ancho sección rectangular (3)

Con (1), (2) y (3); obtenemos c y c_1 .

Tenemos que el momento de inercia de la sección resistente equivalente es igual a

$$I = \frac{a c^3}{3} + \frac{b c_1^3}{3}$$

la tensión de tracción máxima en los tornillos es

$$\sigma_1^* = \frac{M^* c}{I}$$

y la tensión de compresión máxima en la chapa

$$\sigma_2^* = \frac{M^* c_1}{I}$$

también deducimos que

$$\tau^* = \frac{Q^*}{A n}$$

donde n es el número total de tornillos.

Finalmente

$$\bullet \sigma_2^* \leq \sigma_F$$

; σ_F

Límite de fluencia del material de la chapa.

$$\bullet \sigma_{CO} = \sqrt{\sigma_1^{*2} + 3 \tau^{*2}} \leq \sigma_t$$

; (resistencia cálculo tornillo)

COMPROBACIÓN DEL MATERIAL EN LA UNIÓN.

Deberemos comprobar la sección para las secciones que reciben de las barras. Para el cálculo se distinguen tres secciones.

1º) Sección bruta: Es cuando se excluyen los agujeros.

2º) Sección neta: Cuando se excluyen los agujeros eligiendo la línea de mínima sección quebrada u oblicua.

3º) Sección semineta: Cuando se excluyen los agujeros en la zona de tracción y no se excluyen en la de compresión. Se consideran en la zona de compresión.

Para comprobar la sección más desfavorable, haremos las siguientes comprobaciones.

En barra a tracción
$$\frac{N^*}{F_n} < \sigma_F; F_n$$

sección neta.

En barra a compresión $\frac{N}{F} < \sigma_F; F$

sección bruta.

Cuando de una chapa estamos tirando a tracción tendremos que la sección resistente es

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE TORNILLOS Y REMACHES.

Según la EA-95, en la figura 3.6.3.A tenemos para la disposición constructiva las siguientes medidas y tolerancias.

a
Ø del tornillo.

t1
tornillo hasta el borde frontal.

t2
tornillo hasta borde lateral.

A continuación observamos el gráfico antes mencionado.

a

DISPOSICIONES LEGISLATIVAS. LEGISLACIÓN.

Según la norma; e (espesor de la chapa) mínimo, tendremos que para una distancia s entre centros de agujeros; los valores mínimos s;

s 3 a
para roblones

s 3.5 a
para tornillos

Si conocemos el diámetro del tornillo o del roblón, conocemos s

El valor máximo **s 8 a**
y **s 15 e**
en todos los casos.

Para piezas de tracción **s 15 a**
y **s 25 e**
.

En caso de mas de dos filas paralelas de roblones o tornillos en la dirección del esfuerzo, la distancia s puede ser el doble del indicado.

Las distancias entre centros de agujeros y bordes de las chapas; los valores mínimos al borde frontal **t1 2 a**
y al borde lateral **t2 1.5 a**

valor máximo a cualquier borde $t \leq 3a$
o $t \leq 6e$

Se recomienda aplicar, para la elección del $\emptyset$ de los tornillos

$$d \cong \sqrt{5e} - 0.2$$

e (cm)

d (cm)

La suma de los espesores de las piezas unidas será menor o igual que $4.5d$ para roblones o tornillos ordinarios; siendo d el diámetro del tornillo o roblón para tornillos calibrados, la suma de espesores de las piezas unidas será menor o igual que $6.5d$; no hay limitación para tornillos de alta resistencia.

Como recomendaciones para la disposición; se recomienda no disponer mas de cinco tornillos o remaches en una fila y también todas las uniones de fuerza llevarán un mínimo de dos remaches o tornillos.

TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA.

La resistencia de las uniones en las que se emplean tornillos de alta resistencia, se debe al aprovechamiento de las fuerzas de rozamiento desarrolladas al apretar fuertemente los diversos tornillos. Estas contrarrestan la acción de las fuerzas exteriores, que tienden a separar las piezas.

En el remachado se produce una distribución de tensiones mas irregular a lo largo de la sección, mientras que en las uniones de tornillos de alta resistencia, esta distribución es mucho mas uniforme sin presentar en las proximidades del agujero elevados puntos de tensión.

La fuerza de apretadura origina en la espiga del tornillo; un esfuerzo de tracción muy elevado, el cual comprime las piezas a unir dando lugar a esfuerzos de deslizamiento que se oponen al resbalamiento de ambas superficies.

La magnitud de las fuerzas que se pueden transmitir dependen fundamentalmente de

1º) La intensidad de la fuerza de tracción en el cuerpo del tornillo.

2º) El coeficiente de rozamiento que se haya conseguido.

Es de destacar que en este tipo de uniones, si están bien realizadas; los tornillos no trabajan a cortadura y por consiguiente no es preciso calcularlas para estas sollicitaciones.

Si realizamos la distribución de tensiones para tornillos y remaches.

TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA.

Se designan como

TR $d \times l$ (tipo de acero) (ref. norma)

donde, como siempre, tenemos que d es el diámetro de la caña y l la longitud del vástago.

Los TAR llevarán en la cabezas, marcadas en relieve, las letras TR y la sigla correspondiente al tipo de acero empleado en su fabricación.

También están tabuladas las longitudes de apretadura de los TAR en la tabla 2.5.7.c de la EA-95.

FUERZA DE APRETADURA DE UN TORNILLO DE ALTA RESISTENCIA.

Los TAR deberán apretarse hasta conseguir en su espiga una tensión bajo la acción simultánea de la tracción y de MT; al que esté sometido a un 80% de su límite de fluencia.

El MT a aplicar será igual a

$$M_a = K \cdot d \cdot N_0$$

$K = 0.18$
(AE-95)

K

Su valor está comprendido entre 0.15 y 0.19.

d

diámetro nominal del tornillo.

No

axil de pretensado en el tornillo (N_p)

Estos valores, desde el momento de apretadura, también están tabulados.

Es conveniente decapar la superficie al chorro de arena y con soplete; y no pintándolas para aumentar el coeficiente de rozamiento. Para los distintos aceros tenemos los siguientes coeficientes.

$$A-37 \quad \mu = 0.45$$

$$A-42 \quad \mu = 0.52$$

$$A-52 \quad \mu = 0.60$$

En el caso de que no apliquemos esto tenemos que $\mu = 0.30$

CÁLCULOS DE TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA.

No es necesario calcularlo a cortadura y al apretar la tuerca se produce sobre el tornillo un esfuerzo de tracción según su eje longitudinal y tensiones tangenciales originadas por un par de apriete.

$$N_0 = \frac{M_a}{K \cdot d}$$

Tendremos, por tanto, que el esfuerzo de agotamiento a deslizamiento por tornillo

$$T_u = 1.07 \cdot N_0 \cdot \mu \cdot n_s$$

1.07

coef. experimental AE-95

n_s

nº de caras en contacto entre chapas.

F_n

sección total tornillos.

σ_F

Límite de fluencia del acero.

T_n

Esfuerzo de agotamiento a deslizamiento por tornillo.

También existen tablas que relacionan N_0 y T_u para cada tipo de tornillo y una cara de deslizamiento.

COMPROBACIÓN DE SOLICITACIONES A TRACCIÓN.

Si cada tornillo está sometido a una fuerza ponderada de tracción N^* ; según su eje, el rozamiento que origina cada tornillo será un coeficiente de rozamiento μ que multiplica a $(N_0 - N^*)$ $\mu (N_0 - N^*)$

¿Qué comprobación realizamos?

La resistencia al resbalamiento será

$$1.07 (N_0 - N^*) \mu n_s$$

Si por tanto tenemos una unión con TAR, que tiene una tracción normal y una tracción axial, tendremos que comprobar

A) Esfuerzo normal al eje $T_u = 1.07 (N_0 - N^*) \mu n_s$

B) Esfuerzo axial al eje $N_u = N_0 = 0.8 \sigma_n F_n$

F_n

Sección total TAR.

σ_F

Límite de fluencia del acero.

SOLICITACIONES A FLEXIÓN SIMPLE.

En este caso la unión está solicitada por un esfuerzo cortante Q^* que se reparte normalmente a los ejes de los tornillos. Y un momento flector N^* que provoca solicitaciones de tracción y compresión, según los ejes de los tornillos.

1.-MOMENTO DE INERCIA DE LOS TORNILLOS.

$$I = \sum_{m=1}^n F_m d_m^2$$

I = Momento de inercia en cm⁴.

F_m = Sección de un tornillo en cm².

d_m = Distancia de cada tornillo al eje.

n = n° de tornillos.

2.-TENSION NORMAL DEBIDA A LA FLEXIÓN.

Tenemos que

$$P_{mx}^* = \frac{M^* d_{mx}}{I} \quad F_n = \sigma_{mx} F_n$$

donde P_m^* ,

es para cada tornillo y es la fuerza de tracción sobre el núcleo (Kg)

M^* = Momento flector (Kg cm)

$d_{máx}$ = Distancia máxima de los tornillos al eje (cm)

F_n = Sección total de los tornillos.

3.-DESLIZAMIENTO.

$$T^* = \frac{Q^*}{n}$$

T^* = Cortante por tornillo (Kg)

Q^* = Esfuerzo cortante aplicado (Kg)

n = n° de tornillos.

COMPROBACIONES QUE HAY QUE REALIZAR.

1.- COMPROBACIÓN DEL ESFUERZO A TRACCIÓN.

El momento flector ha de ser tal que la tracción que resulte en cualquier tornillo no supere el valor de N_u , siendo este

$$N_u = N_0 = 0.8 \sigma_F F_n$$

Siendo N_0 la fuerza de tracción del tornillo

F_n = Sección total de los tornillos

σ_F

= Límite de fluencia del acero.

Por lo que se ha de cumplir que

$$P_m^* < N_u$$

Siendo P_m^* ,

lo que aplicamos y N_u

lo que aguanta.

2.-COMPROBACIÓN DEL ESFUERZO DE DESLIZAMIENTO.

La fuerza de agotamiento en dirección normal al eje del tornillo por cara de deslizamiento y por tornillo ha de ser inferior a T_u , siendo este

$$T_u = 1.07 N_0 \mu$$

T_u = Es la máxima tensión que aguanta el tornillo.

N_0 = Es la fuerza de tracción del tornillo.

μ

= Coeficiente de rozamiento.

Por lo tanto tendremos que se ha de cumplir que

SOLICITACIONES A FLEXIÓN COMPUESTA.

Sobre la unión actúa un momento flector M^* , un esfuerzo cortante Q^* y un esfuerzo axial N^* paralelo al eje de los tornillos.

1.-MOMENTO DE INERCIA DE LOS TORNILLOS.

$$I = \sum_{m=1}^n F_m d_m^2$$

I = Momento de inercia de los tornillos.

F_m = Sección de un tornillo (cm²)

d_m = Distancia de cada tornillo al eje.

n = nº de tornillos.

2. TRACCIÓN-COMPRESIÓN.

$$P^* = P_{m\ x}^* + N^* = \frac{M^* d_{m\ x}}{I} F_n + N^* = \sigma F_n + N^*$$

$$P_m^*,$$

= Fuerza de tracción en el tornillo.

M^* = Momento flector aplicado.

$d_{m\ x}$ = Distancia máxima de los tornillos al eje.

F_n = Sección total de los tornillos.

N^* = Fuerza de tracción aplicada.

n = nº de tornillos

De las tensiones tomamos la peor posible para estar del lado de la seguridad.

El tornillo que está peor, según el dibujo, es el que está a mayor distancia.

$$\sigma = \frac{M^* d_{m\ x}}{I}$$

3.-DESLIZAMIENTO.

Es igual que el caso anterior

$$T^* = \frac{Q^*}{n}$$

T^* = Cortante por tornillo (Kg)

Q^* = Esfuerzo cortante aplicado (Kg)

N = nº de tornillos.

COMPROBACIONES QUE HAY QUE REALIZAR.

1.-COMPROBACIÓN DEL ESFUERZO A TRACCIÓN.

La tracción sobre cualquier tornillo, debida a al combinación del esfuerzo axial y del momento flector, no debe exceder la magnitud N_u siendo esta

$$N_u = N_0 = 0.8 \sigma_F F_n$$

N_0 = Fuerza de tracción de los tornillos.

F_n = Sección total de los tornillos

σ_F

= Límite de fluencia del acero.

Se tendrá que cumplir:

$$P^* < N_u$$

2.-COMPROBACIÓN DEL ESFUERZO POR DESLIZAMIENTO.

La fuerza admisible por tornillo, en dirección normal al eje ha de ser superior a T_u , siendo este

$$T_u = 1.07 (N_0 - N^*) \mu n_s$$

Si estamos aplicando T^* para cada tornillo y lo máximo que aguanta es T_u , tendremos que se ha de cumplir

$$T^* < T_u$$

N_0 = Fuerza de atracción sobre el tornillo.

N^* = Fuerza de atracción aplicada.

μ

= coeficiente de rozamiento.

n_s = n° de superficies en contacto.

3.-COMPROBACIÓN DE SECCIONES.

Debemos distinguir:

- Secciones comprimidas, que será la superficie de la sección sin descuento de agujeros, es decir, la sección bruta.
- Secciones traccionadas, la parte de la barra o chapa del elemento que estamos uniendo, situada anteriormente la sección y en contacto con aquella otra a la que se une, desarrolla por compresión de los tornillos de alta resistencia una fuerza bruta T que contrarresta en las secciones debilitadas por agujeros, la fuerza realmente existente.

Esta fuerza T se admite igual al 40% de la fuerza que transmite la barra, multiplicada por la relación entre el número de tornillos de la sección considerada y el total de la unión.

En la zona a
$$\sigma^* = \frac{P^*}{F}$$

; donde F es la sección bruta.

En la sección 1
$$\sigma^* = \frac{P^* (1-0.4) \frac{2}{7}}{F_n}$$

; donde F_n es la sección neta.

$$\sigma^* = 0.886 \frac{P^*}{F_n}$$

En la sección 2

$$\sigma^* = \frac{P^* \left(1 - \frac{2}{7} - 0.4 \frac{3}{7}\right)}{F_n}$$

$$\sigma^* = \frac{0.543 P^*}{F_n}$$

En la sección 3

$$\sigma^* = \frac{P^* \left(1 - \frac{2}{7} - \frac{3}{7} - 0.4 \frac{2}{7}\right)}{F_n}$$

$$\sigma^* = 0.172 \frac{P^*}{F_n}$$

Los tornillos de alta resistencia consiguen con su apriete favorecer a los tornillos más desfavorables.

1

CAPÍTULO II. MEDIOS DE UNIÓN. ROBLONES Y TORNILLOS.

Deformación del taladro

N*

t1/2

t1

N*

N*

N*/2

N*/2

N*

Np

σ_2^*

σ_1^*

Np

c1

c

b

s

h

M* VIGA

Q

PILAR

s

s

s

Fuerzas de rozamiento

s

s

b

c1

c

a

COMPRESIÓN

TRACCIÓN

S.bruta

S.neta

Q^*

max

Eje de simetría de la sección

dm

N0

N0

N^*

N^*

μ

Tornillos Alta Resistencia

Remaches

N_p

N_p

N

N

s

t_2

t_2

s

s

s

t_1

t_1

s

t2

t2

t1

s

s

s

t1

t2

c

s

l

d

da

s

d1

l

d1

d

Es el peor tornillo

M*

Que aguanta

Aplicamos

$T^* < T_u$

+

Q*

M*

N^*

Zona b

Zona a

p^*

p^*

1

2

3