

**CONSTRUCCIONES**

**METÁLICAS Y DE**

**MADERA**

ELEMENTOS  
TRACCIONADOS

2024

*Ing. Daniel Omar Bonilla*  
*Profesor Titular*

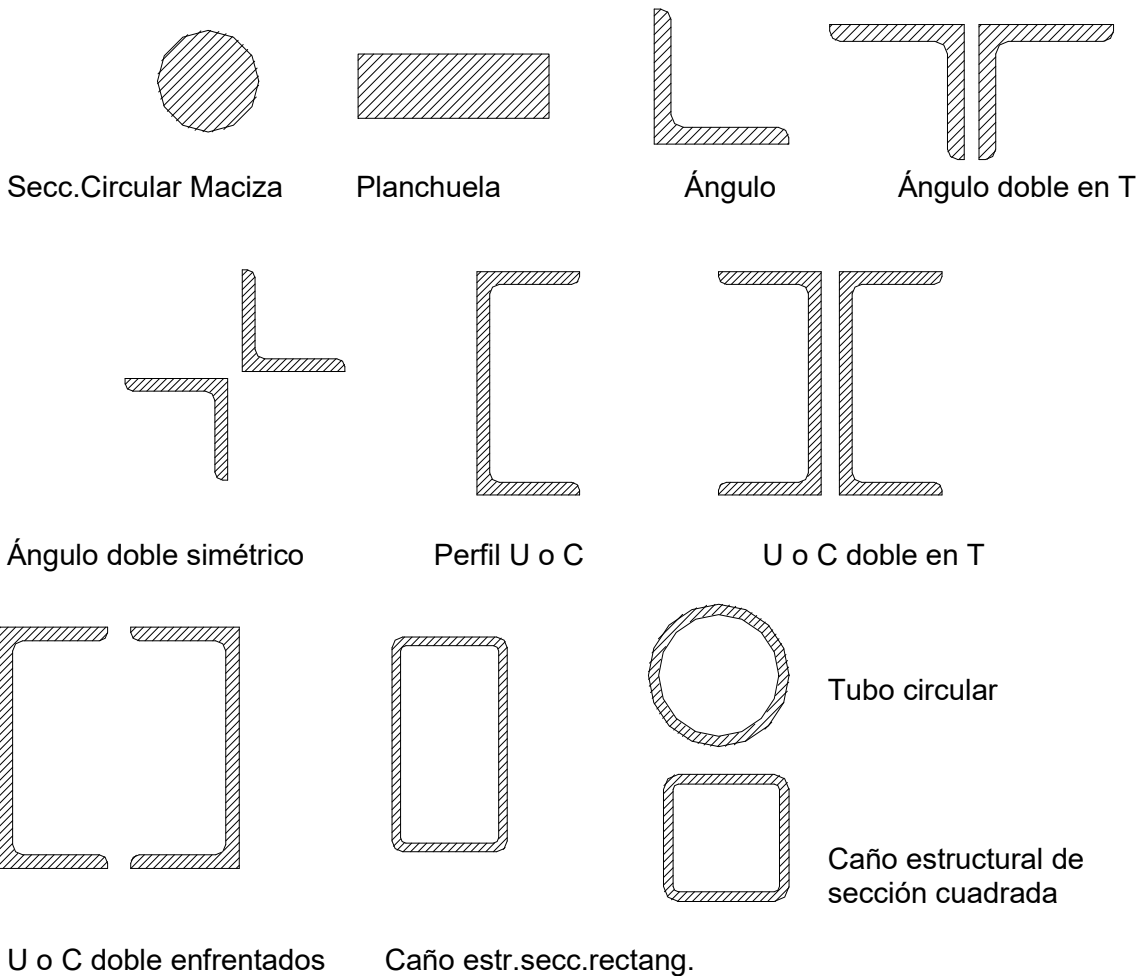
# 1 INTRODUCCIÓN

La forma más eficiente de hacer trabajar una barra de acero es a tracción, es decir un miembro que se diseña para soportar y transmitir un “estirón” entre dos puntos de una estructura.

Se encuentran elementos traccionados en la mayoría de las estructuras de acero. Por ejemplo en cerchas (cabriadas) de estructuras de cubierta de naves industriales, en los sistemas de arriostramiento y rigidización para acciones de viento u otras fuerzas horizontales, en las barras que componen las estructuras de torres de líneas de transmisión de energía eléctrica, en antenas para telecomunicaciones, en los cables que sujetan antenas, etc.

## 2 SECCIONES USUALES

Las secciones más comúnmente utilizadas en el diseño de elementos traccionados son:



## 3 CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño en tracción es el más simple que se presenta en las estructuras metálicas y podría pensarse que la sección necesaria es aquella que es capaz de soportar el esfuerzo de tracción a que está sometida la pieza, asumiendo una distribución uniforme de tensiones.

Pero en la realidad aparecen otros condicionantes que hacen que el requerimiento mencionado no sea el único a tener en cuenta, y esto se debe fundamentalmente a que la barra a dimensionar necesariamente debe unirse en sus extremos al resto de la estructura o a los apoyos.

A los efectos de cubrir todas las posibles situaciones de falla se establecen **modos de falla** a partir de los cuales es posible determinar las correspondientes **resistencias de diseño**.

Se entiende por resistencia de diseño, en el caso de elementos sometidos a tracción pura, al esfuerzo normal de tracción que inutiliza (lo rompe o lo saca de servicio) al elemento estructural según un modo de falla previamente establecido.

En otros términos, se pueden determinar tantas resistencias de diseño como modos de fallas posibles se analicen y en este caso el Reglamento CIRSOC 302 – EL establece los requerimientos de diseño a tener en cuenta para el dimensionamiento seguro de una barra de acero sometida a tracción axial.

Evidentemente el modo de falla que presente la menor resistencia de diseño será el determinante y deberá ser mayor que la **resistencia requerida** (demanda estructural), la cual surge del estudio estático de la estructura sometida a la combinación factoreada de cargas más desfavorable.

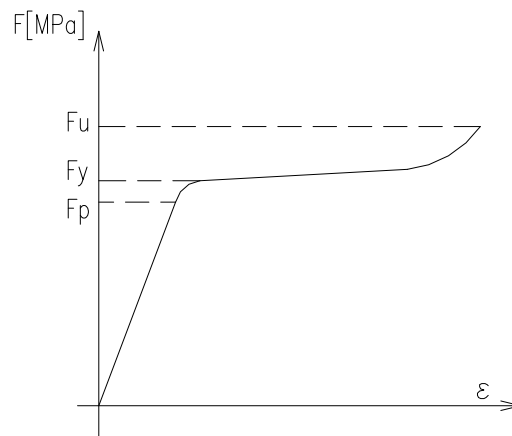
En términos generales se establece que:  $RR \leq RD$

Por otra parte, además de los requerimientos de resistencia que deben exigirse, existen limitaciones que hacen a la deformabilidad de la barra durante su transporte y montaje. Si bien puede suponerse que el esfuerzo de tracción tiende a volver a la pieza a su forma recta original, una deformación inicial excesiva podría imposibilitar el montaje o requerir de deformaciones inadmisibles para la entrada en carga del elemento. Por ello se define un parámetro geométrico denominado esbeltez, que es la relación entre la longitud de la pieza (L) y su radio de giro mínimo ( $r_{\min}$ ) y el cual se limita a 300 por las razones expuestas.

$$(L / r_{\min}) \leq 300$$

## 4 MODOS DE FALLA

A los efectos de establecer el modo de colapso de una barra traccionada cabe recordar que el diagrama tensión-deformación específica para los aceros presenta un aspecto como el de la figura:



Puede observarse el tramo recto inicial donde existe la proporcionalidad entre tensiones y deformaciones y por lo tanto la validez plena de la ley de Hooke y que prevalece hasta que se alcanza la tensión de proporcionalidad  $F_p$ . Luego se tiene una zona con cierta curvatura que representa un comportamiento elástico del acero (esto quiere decir que si se lo descarga no quedan deformaciones residuales) hasta la tensión de fluencia  $F_y$ ; a partir de este punto se establece un plafón donde el acero se deforma plásticamente sin incrementar sensiblemente su tensión hasta que comienza a manifestar un endurecimiento, propio de la deformación en frío a la que ha sido sometido, hasta que alcanza la tensión de rotura o tensión última  $F_u$ .

Las evaluaciones que se hacen a continuación responden a la aplicación de este diagrama y a las consideraciones particulares del elemento estructural.

#### 4.1 Fluencia en el área bruta de la barra

Es el criterio básico, el que surge a primera vista y por lo tanto el que permite calcular la primera resistencia de diseño. En este caso se supone que la barra falla en una zona alejada de la unión donde puede asumirse que la distribución de tensiones en la sección es uniforme y no existen debilitaciones o reducciones del área original de la pieza. Si bien la capacidad resistente del acero no está agotada (debe alcanzar  $F_u$  para romper) se considera que las deformaciones provocadas al llegar a  $F_y$  establecen un límite de utilidad para la pieza.

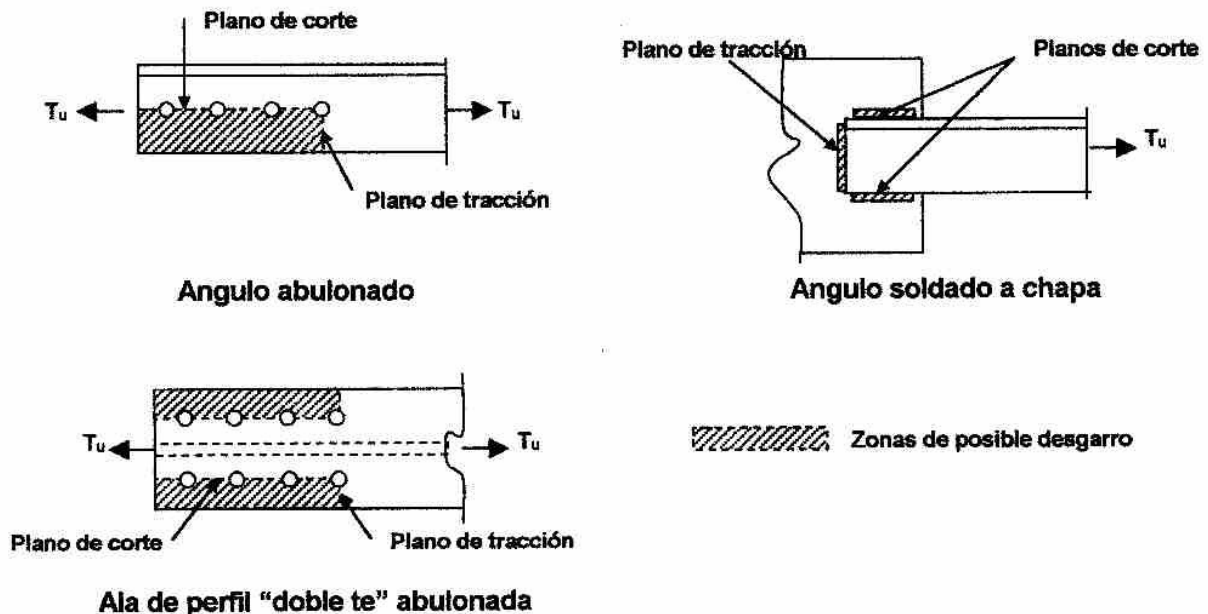
#### 4.2 Rotura en el área efectiva de la barra

En este caso se propone evaluar la rotura en la zona de la unión. Ahora se permite que la pieza alcance la tensión de rotura  $F_u$  porque la longitud en que se desarrolla la unión es corta y si bien la deformación específica es elevada, al multiplicar por una distancia corta arroja una deformación absoluta admisible.

En esta zona pueden o no existir debilitamientos (depende del medio de unión) y hay que considerar si todos los elementos que conforman la barra (alas y alma en perfiles laminados) están efectivamente vinculados al elemento que recibe el esfuerzo o la transferencia se hace sólo a través de alguno de ellos. Esta evaluación de la unión permite calcular el área neta efectiva  $A_e$  que se utilizará en el cálculo de la resistencia de diseño.

#### 4.3 Rotura por bloque de corte

La falla sigue produciéndose en la zona de unión, pero lo que se evalúa ahora es el posible desgarramiento de la pieza para lo cual debe analizarse la coacción de una sección trabajando a corte y otra, normal a la anterior, trabajando a esfuerzo normal.



#### 4.4 Rotura del medio de unión

Puede darse el caso que el medio de unión no sea lo suficientemente resistente como para transferir el esfuerzo que es capaz de transmitir la barra y por lo tanto limitará su resistencia de diseño.

Para evaluar este estado de falla deben analizarse los estados tensionales a que se ve solicitada la unión, lo cual se analizará más adelante en el tema respectivo.

## 5 PARÁMETROS DE CÁLCULO

### 5.1 Resistencia de diseño

Representa la capacidad última del elemento a partir de la cual resulta inutilizable, ya sea porque se salió del rango de deformación aceptable o porque llegó a la rotura.

En general se determina como el producto de un factor de resistencia  $\phi$  por la resistencia nominal  $R_n$ , es decir:

$$RD = \phi \cdot R_n$$

El **factor de resistencia** es un factor de minoración que cuantifica dos aspectos:

- las incertidumbres que existen en la determinación de la resistencia de los materiales debidas fundamentalmente a las variaciones en las propiedades de los materiales dentro de una misma categoría de clasificación y a las imperfecciones en las dimensiones de los elementos estructurales.
- las inexactitudes del modelo de análisis, a medida que la fidelidad del modelo disminuye, también disminuye el factor de resistencia.

Los valores para cada caso se indican en el diagrama de flujo y se obtienen del artículo específico del reglamento.

La **resistencia de diseño** representa la capacidad última del elemento en estudio, en este caso, al tratarse de dimensionamiento en tracción, será un esfuerzo axial. Se expresa para este caso en [kN]

A los efectos de determinar la **resistencia nominal a corte** de un elemento la norma especifica que debe obtenerse a partir de la tensión última o de fluencia de corte, según corresponda, la cual se calcula a partir de la tensión nominal a tracción  $F_y$  o  $F_u$  con la siguiente expresión:

$$\tau_{y,u} = 0,6 \times F_{y,u} \text{ [MPa]}$$

Esto surge de la relación entre la tensión normal y la tensión de corte deducida a partir de la teoría de Von Mises

La norma IRAM – IAS U 500 – 503 especifican para barras de acero laminadas las siguientes características mecánicas:

Designación	Límite de Fluencia mínimo $F_y$ [MPa]			Resistencia a la Tracción mínima $F_u$ [Mpa]
	$e \leq 16$	$16 < e \leq 40$		
F-19	190	--		330
F-20	210	200		340
F-24	240	230		370
F-26	260	250		420
		$16 < e \leq 25$	$25 < e \leq 40$	
F-36	360	350	340	520
F-45	450	430	410	550
F-30	300	290	280	500
F-34	340	330	320	600
F-37	370	360	350	700

## 5.2 Área bruta

Indicada como  $A_g$ , es la sección total del elemento obtenida como suma de sus componentes individuales. Se indica en  $[\text{cm}^2]$

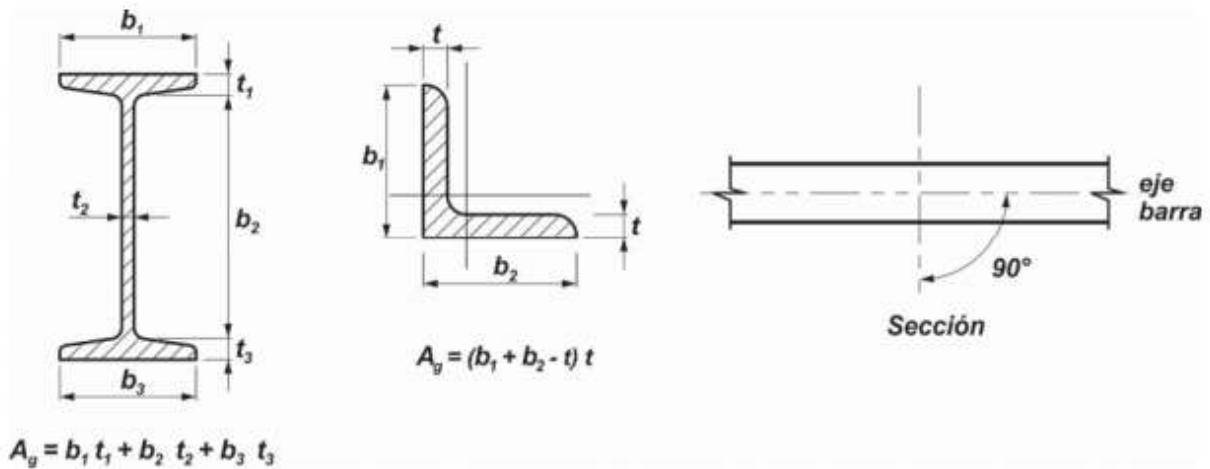


Figura B.4.2. Área bruta.

## 5.3 Área neta

Es la sección de acero resultante al descontar del área bruta los agujeros y debilitamientos practicados a la barra con motivo de su unión al resto de la estructura. Se indica en  $[\text{cm}^2]$

En el caso de uniones soldadas no se hacen descuentos, pero si se trata de uniones abulonadas corresponde reducir la sección de acuerdo a la disposición de los bulones.

Ahora bien, existen distintos tipos de orificios previstos en el reglamento CIRSOC 301 – EL, los mismos se detallan en la tabla siguiente:

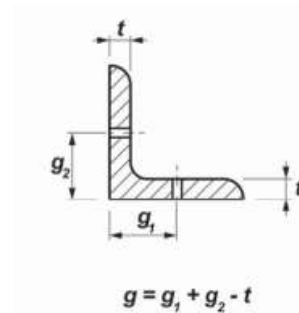
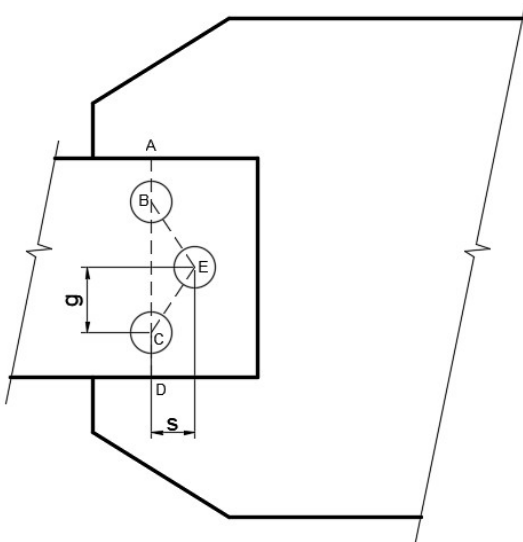
Tabla J.3.3. Dimensión nominal de los agujeros

Diámetro de los bulones (mm)	Dimensiones de los agujeros (mm)			
	Normales (Diámetro)	Holgados (Diámetro)	Ovalados cortos (Ancho x Largo)	Ovalados largos (Ancho x Largo)
6	8	9	-	-
7	9	10	-	-
8	10	11	-	-
10	12	13	-	-
12	14	16	14 x 18	14 x 30
14	16	18	16 x 20	16 x 35
16	18	20	18 x 22	18 x 40
20	22	24	22 x 26	22 x 50
22	24	28	24 x 30	24 x 55
24	27	30	27 x 32	27 x 60
27	30	35	30 x 37	30 x 67
>28	d+3	d+8	(d+3) x (d+10)	(d+3)x(2,5 xd)
Diámetro de los bulones (pulgadas)	Dimensiones de los agujeros (pulgadas)			
1/4	5/16	3/8	-	-
5/16	3/8	7/16	-	-
3/8	7/16	1/2	-	-
7/16	1/2	9/16	-	-
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 1 1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 x 1 1/8	15/16 x 2 3/16
1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 x 1 5/16	1 1/16 x 2 1/2
≥ 1 1/8	d+1/16	d+5/16	(d+1/16)x(d+3/8)	(d+1/16)x(2,5xd)

Además debe tenerse en cuenta que al hacer el orificio se daña la zona periférica del mismo provocando un debilitamiento del material, lo cual se tiene en cuenta adoptando un **diámetro de cálculo  $d_c$**  que es igual al valor sacado de la tabla precedente incrementado en 2mm.

$$d_c = d_{ag} + 2\text{mm}$$

Finalmente si la disposición de los bulones no es paralela (tres bolillo), la línea de falla supuesta resulta inclinada y aparece un complejo estado de tensiones de tracción y corte que no permite considerar toda su longitud como efectiva frente al esfuerzo de tracción, por ello se utiliza una expresión empírica que consiste en sumar la cantidad  $(s^2/4g)$  por cada diagonal considerada.



Para agujeros ovalados largos no se sumará la cantidad  $s^2/4g$ .

$$A_{n1} = A_g - 2 \cdot d_c \cdot t$$

$$A_{n2} = A_g - 3 \cdot d_c \cdot t + 2 \cdot (s^2/4g) \cdot t$$

Línea ABCD

Línea ABCE

s (paso) = distancia entre centros de dos agujeros consecutivos en la dirección de la fuerza.

g (gramil) = distancia entre centros de agujeros en líneas consecutivas medida en dirección normal a la fuerza.

Debe adoptarse el área neta menor.

#### 5.4 Área neta efectiva

Tiene en cuenta el hecho de que todas las partes que componen una sección **no** se encuentren unidas al elemento que está recibiendo el esfuerzo (perfiles ángulo vinculados por una sola de sus alas, perfiles canal o doble te unidos por sus alas o sus almas solamente, etc.). En esta situación se produce una concentración de esfuerzos cortantes en la vecindad de la unión, propios de la necesidad de transferir el esfuerzo que viene por las partes no conectadas a las que efectivamente se vinculan a través del medio de unión. Este efecto, denominado **Retraso del Cortante**, origina una disminución en la efectividad de la unión que se tiene en cuenta a través de un coeficiente de reducción U, que en ningún caso puede ser mayor a 0.9.

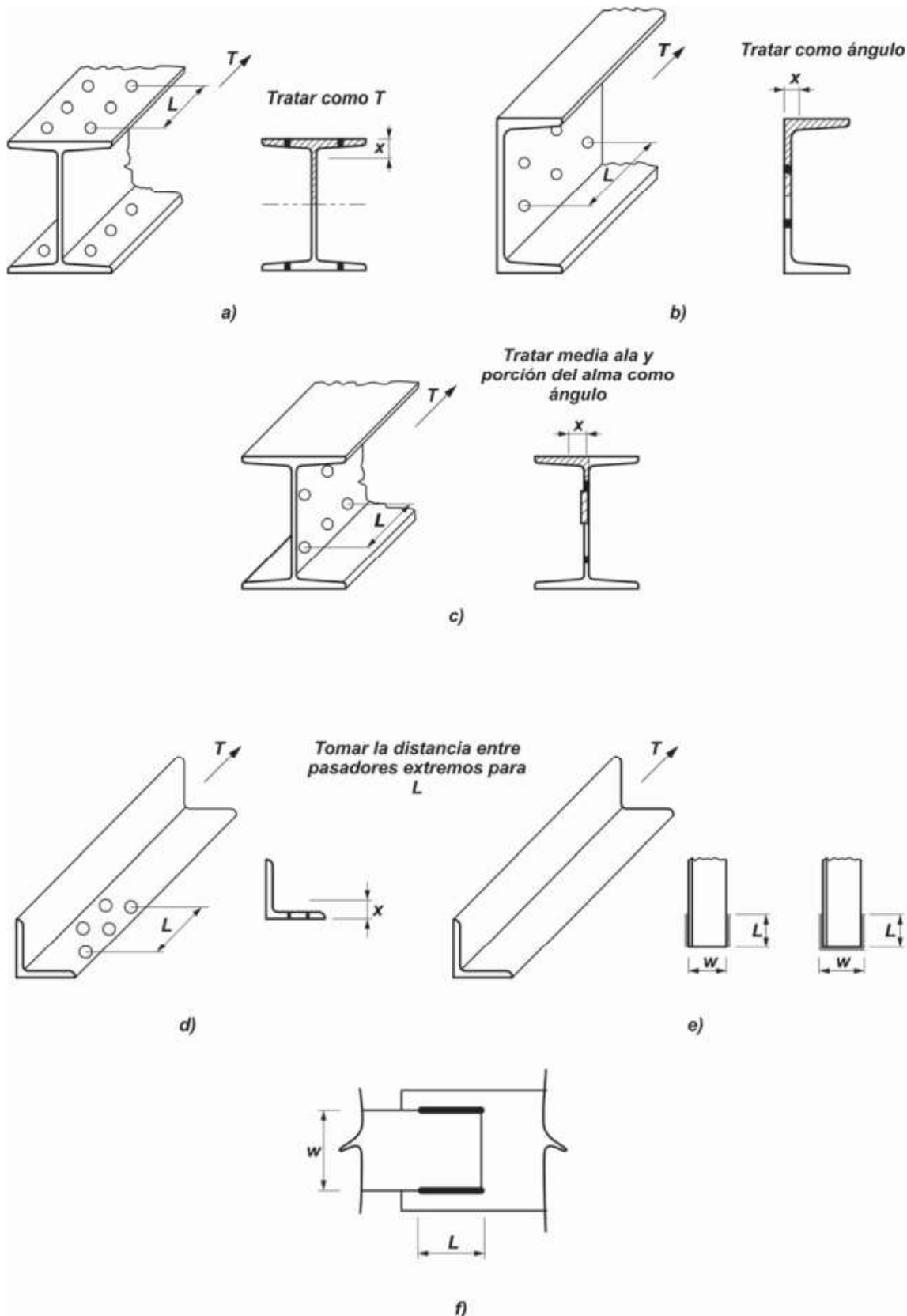
$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9$$

Donde:

$\bar{x}$  = distancia del plano de conexión al centroide de la parte conectada

L = longitud de la unión

Para la determinación de  $\bar{x}$  se muestran a continuación los casos típicos contemplados en la Figura D.3.1 del reglamento CIRSOC 301-EL 2018:



**Figura D.3.1. Determinación de  $\bar{x}$  y  $L$ .**

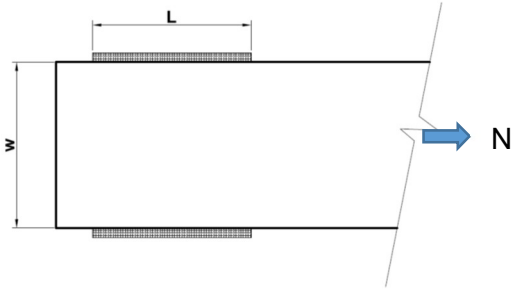


Finalmente el área neta efectiva se determina como:

$$A_e = U \cdot A$$

El valor de A depende del tipo de unión y se indica para cada caso en el diagrama de flujo correspondiente.

En el caso de chapas, se calcula  $A_e = U \times A$  con un valor de U dado por la relación entre el largo del cordón de soldadura y el ancho de la chapa.



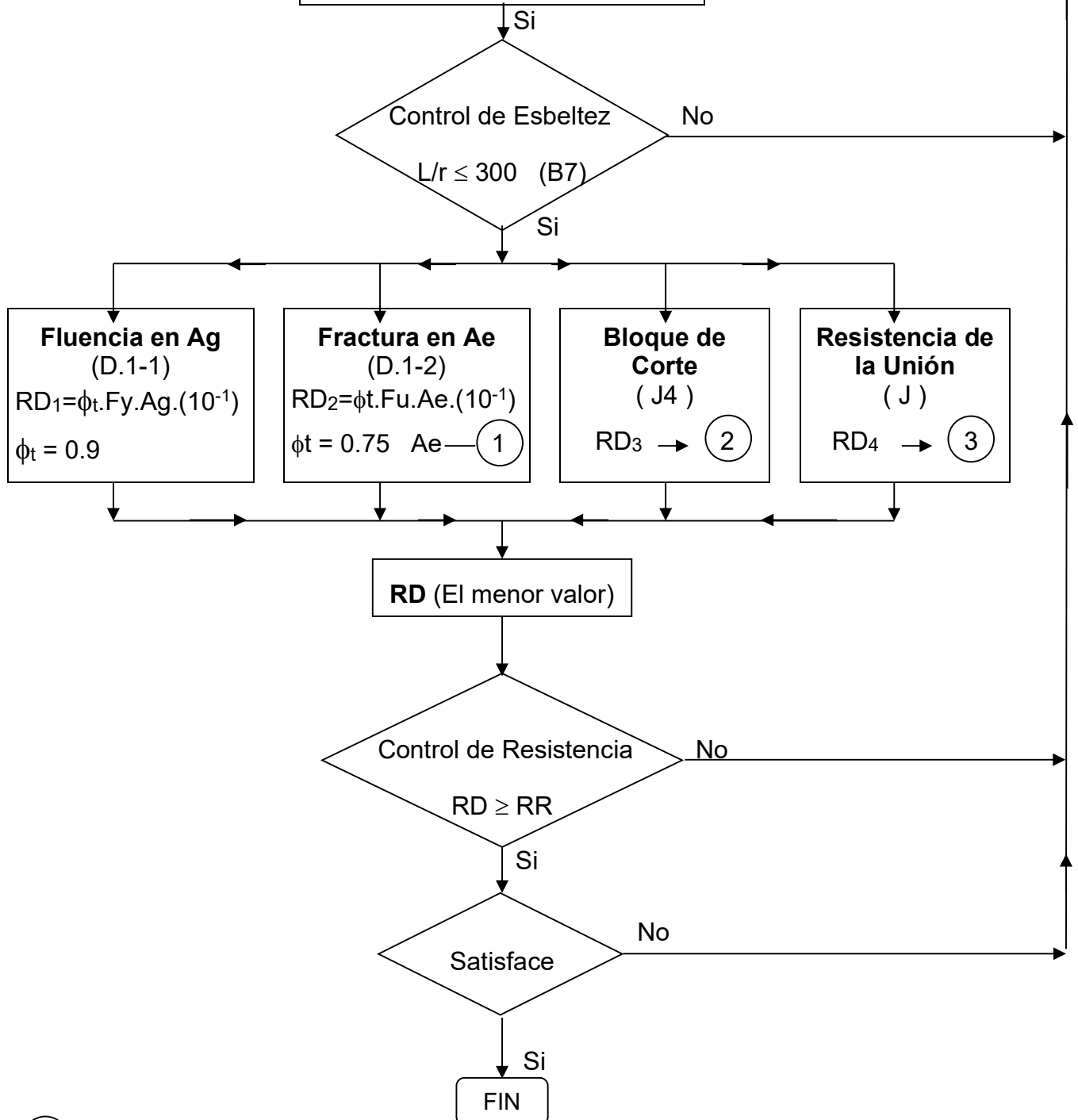
$L \geq 2w$	$\rightarrow U = 1$
$2w > L \geq 1,5w$	$\rightarrow U = 0,87$
$1,5w > L \geq w$	$\rightarrow U = 0,75$
Con $A = A_g$	

# BARRAS TRACCIONADAS

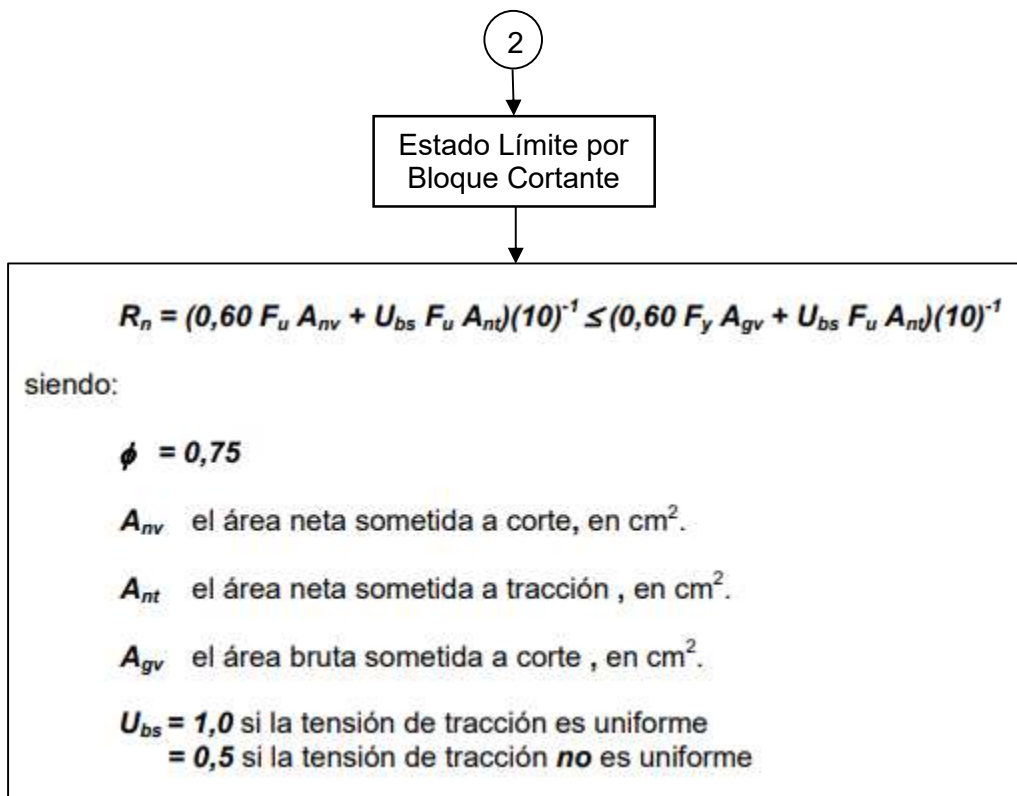
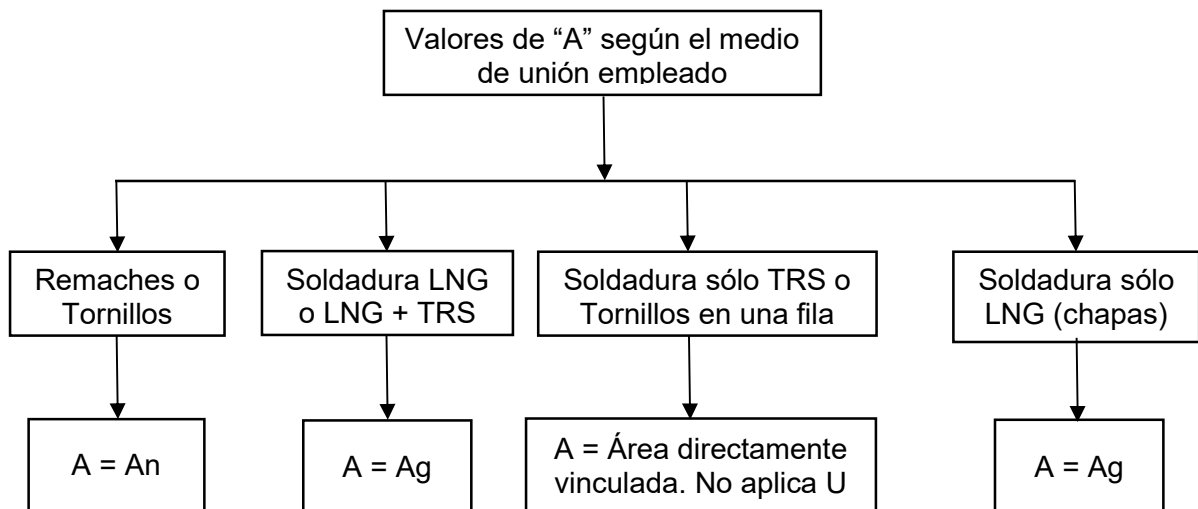
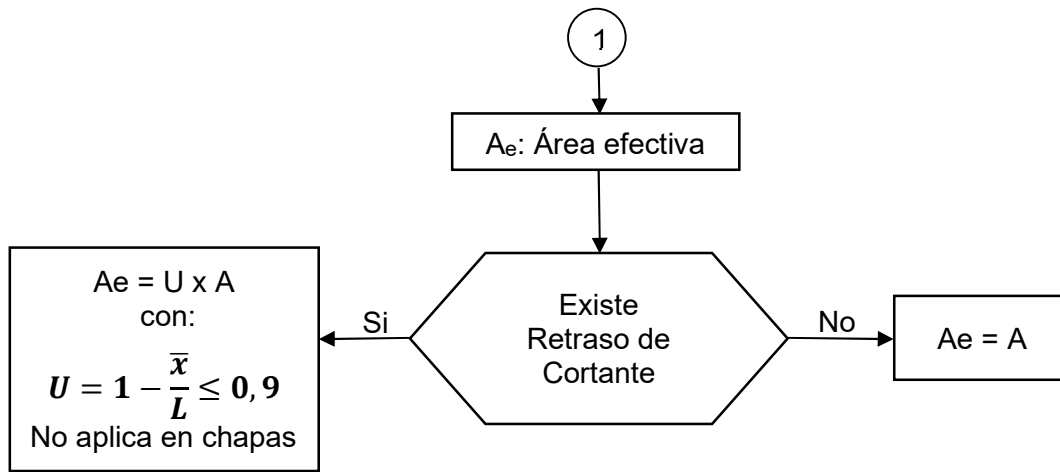
Reglamento CIRSOC 301 – EL – Cap. D  
RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN

## DATOS:

Resistencia Requerida:  $RR$  [ kN ]  
Acero:  $F_y$  ;  $F_u$  [ Mpa ]  
Sección bruta:  $A_g$  [  $cm^2$  ]  
Radio de giro gobernante:  $r$  [ cm ]  
Longitud:  $l$  [ cm ]



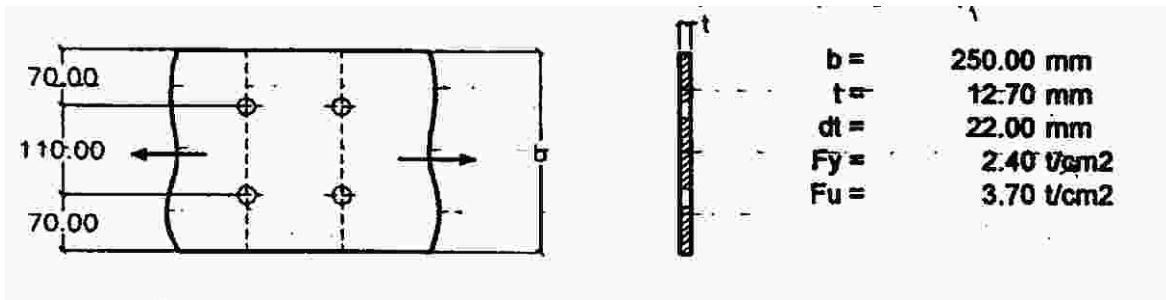
3 Se desarrolla en Medios de Unión



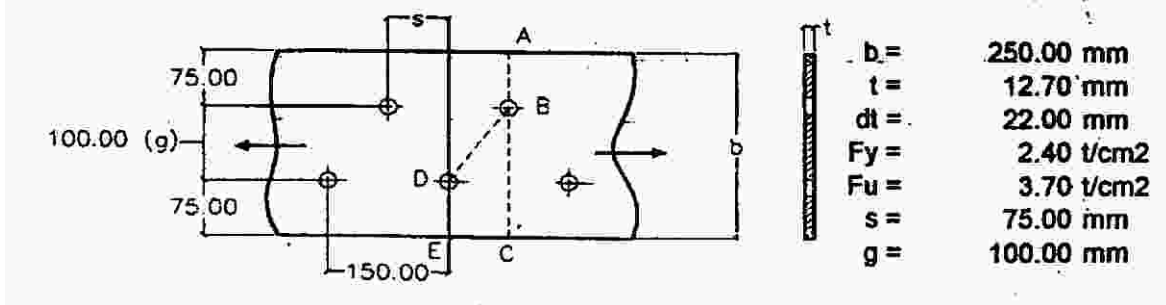
## 6 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

### 6.1 Área efectiva y resistencia de diseño ( $RD_1$ y $RD_2$ )

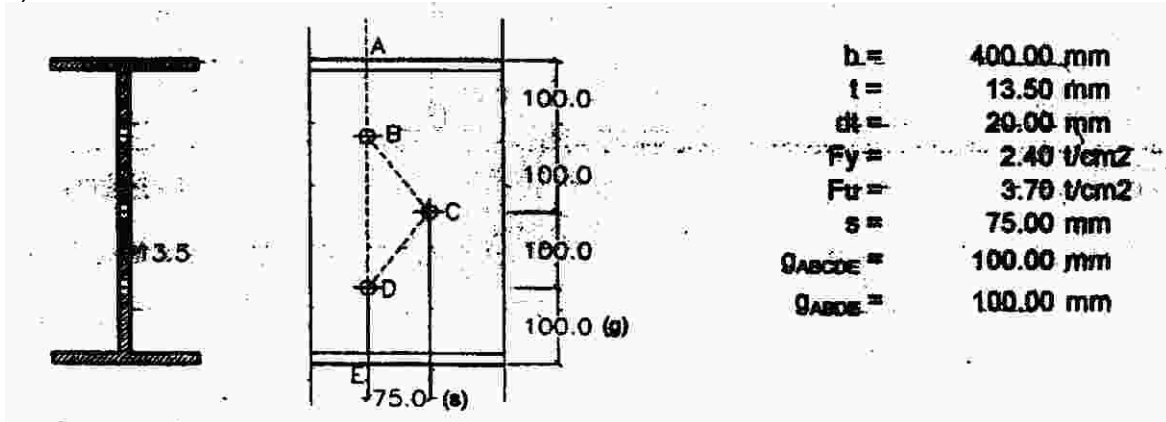
a)



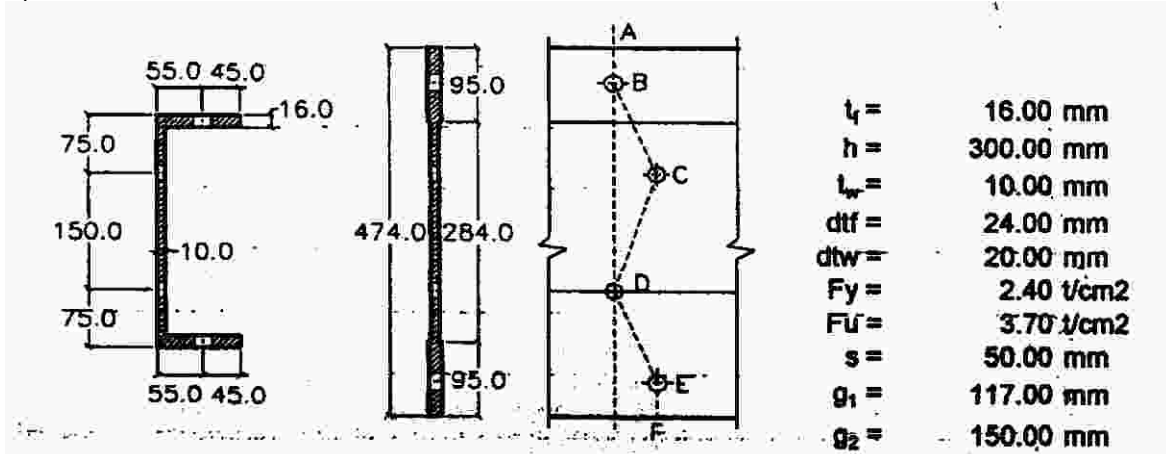
b)



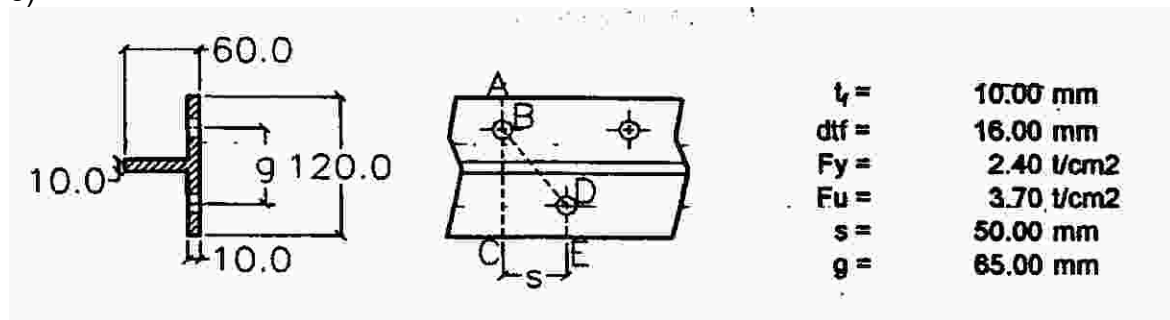
c)



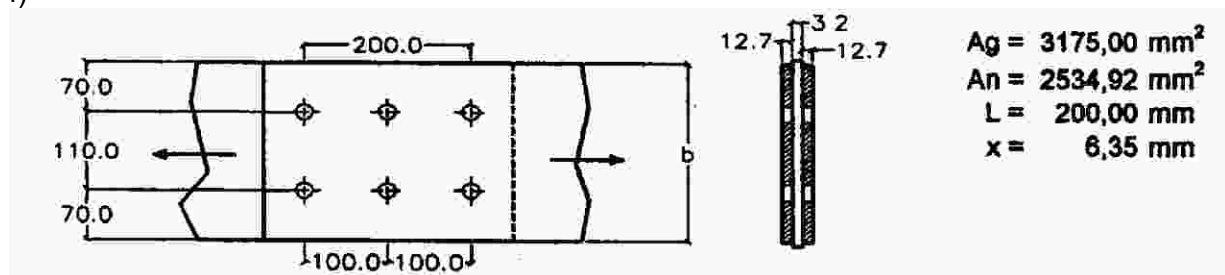
d)



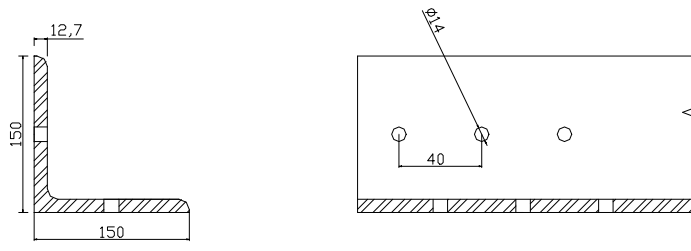
e)



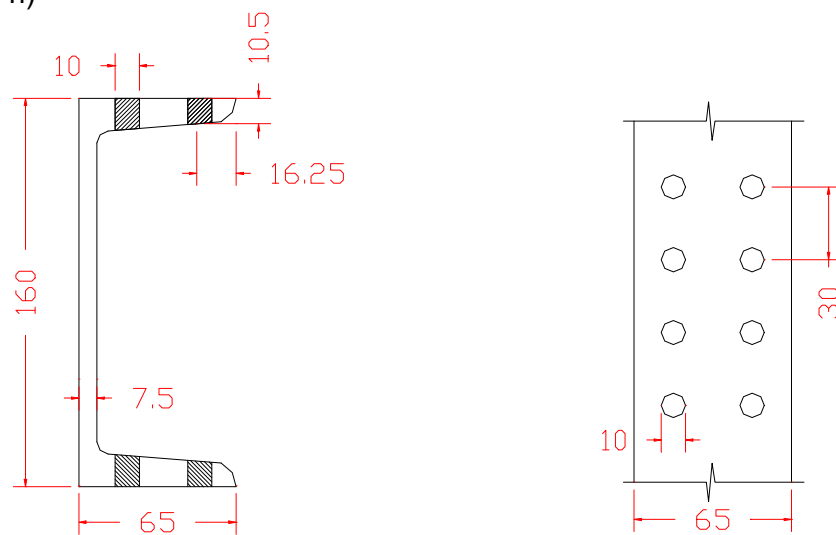
f)



g)



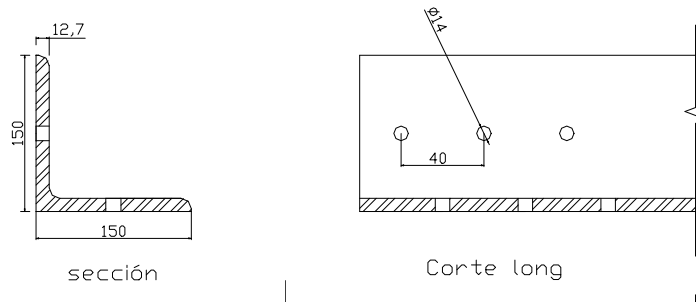
h)



## 6.2 Resistencia de diseño ( $RD_1$ , $RD_2$ y $RD_3$ )

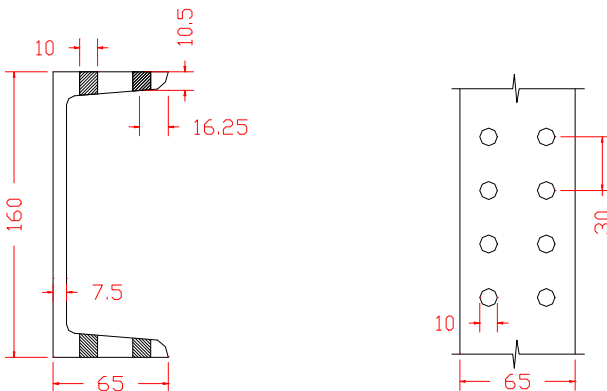
Determinar la resistencia de diseño en tracción para cada uno de estos casos asumiendo que la capacidad del medio de unión no es determinante.

- a) Perfil ángulo de caras iguales 150 x 12.7 mm con una línea de 3 tornillos de 12mm en cada lado no alineados con una separación de 40mm entre ellos. Acero tipo F-24



- b) Perfil UPN 160 con dos líneas de 4 tornillos de 16mm en el alma separados 50mm entre si y dispuestos a tres bolillo. Acero F-36

- c) Perfil UPN 160 con dos líneas de tornillos de 10mm distanciados 30mm en cada una de las alas. Acero F-24



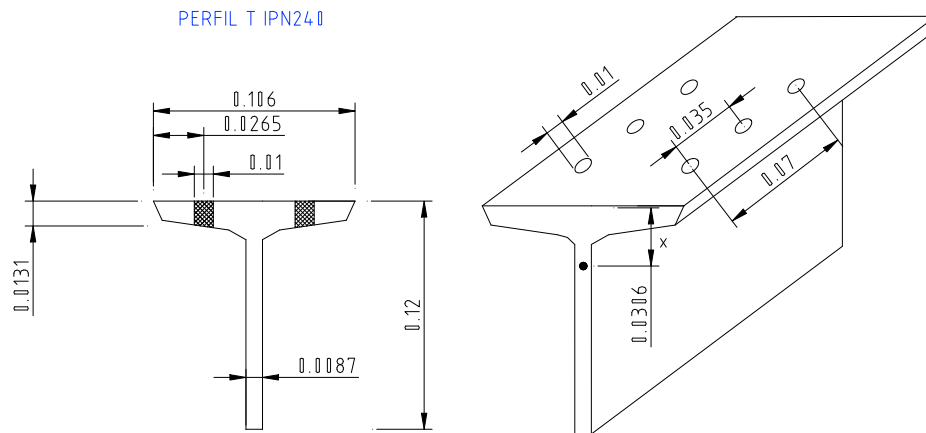
- d) Perfil IPN 200 empalmado por las alas con dos filas de 5 tornillos de 14mm en cada una de ellas distanciados 50mm entre si y dispuestos a tres bolillo. Acero F-24

- e) Ángulo de caras iguales 200 x 19 mm soldado en una de sus caras con dos cordones longitudinales de 250mm de longitud cada uno. Acero F-36

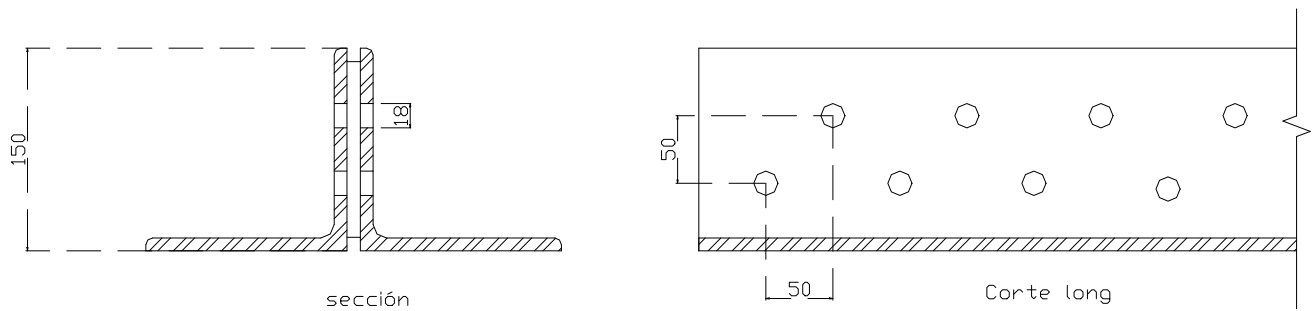
- f) Planchuela 100 x 9.5 mm soldada con dos cordones de soldadura longitudinales de 140mm de largo. Acero F-24

- g) Perfil IPN 300 empalmado por el alma con dos líneas de 5 tornillos de 12mm a tres bolillo distanciados 50mm en horizontal y 40mm en vertical. Acero F-26

- h) Perfil Te obtenido a partir de un IPN 240 cortado a la mitad con dos líneas de 3 tornillos de 10mm alineadas en el ala y con un paso de 35mm. Acero F-24



- i) Dos ángulos 150 x 9.5 mm adosados que llegan a una chapa de nudo de 10mm de espesor y se vinculan a ella por medio de dos filas de 4 tornillos, en una de sus alas, de 16mm a tres bolillo distanciados 50mm tanto en vertical como en horizontal. Acero F-30



- j) Dos perfiles UPN 120 adosados empalmados por el alma a una chapa de nudo de 8mm de espesor mediante una fila de 3 tornillos de 16mm con un paso de 50mm. Acero F-36