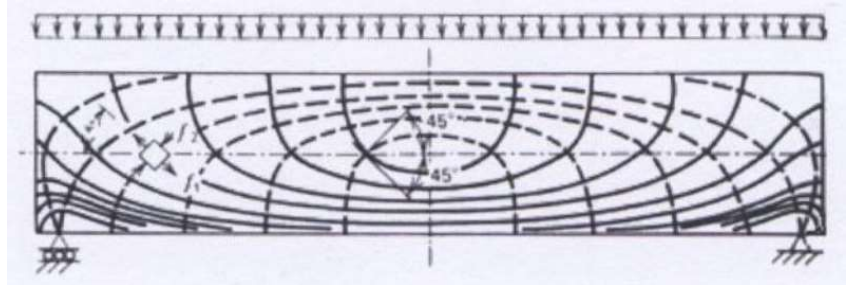


- **En el cálculo a cortante, se deben tener en cuenta los distintos tipos de rotura vistos, y proporcionar una seguridad suficiente para evitar su aparición.**
- **Diseño según la normativa:**
 - Las distintas normas admiten que la **contribución de las armaduras transversales** se puede determinar a través de la **analogía del reticulado de Ritter-Mörsch**.
 - Sin embargo, no hay acuerdo pleno de cual es la contribución del hormigón a las tensiones de tracción.
 - Como en todo el curso, a nivel práctico nos basaremos en lo estipulado en ~~la normativa española (EHE-08)~~. **Código Estructural Español 2022**
 - Esta norma admite, después de la fisuración, la contribución de un término debido a las armaduras transversales, ~~y otro debido a diversos fenómenos desarrollados en el hormigón.~~
 - Además, el diseño de secciones ante esfuerzos de corte y flexión se realiza de forma “casi” independiente. Se toma en cuenta el cortante en el diseño a flexión, y viceversa.
 - La armadura de flexión influye en la resistencia a cortante (**con el CE 2022, solo cuando no se coloca armadura de cortante**).
 - El cortante modifica las solicitaciones de flexión (*decalaje*)

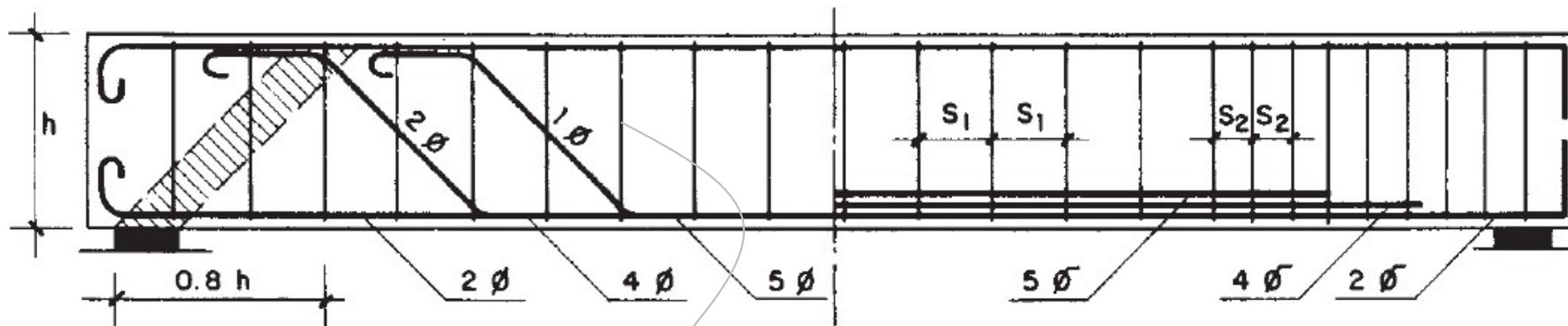
Disposición de las armaduras transversales

- La disposición de las armaduras transversales condiciona la forma en que la pieza resiste.
- Disponer las armaduras según las tensiones principales podría ser estructuralmente más eficiente, pero es constructivamente inviable.
- Disposición habitual:
 - Armaduras transversales (estribos):
 - *Perpendiculares al eje, rodeando las armaduras longitudinales, normalmente de menor diámetro.*
 - Excepcionalmente: barras levantadas en ángulo (Hoy en día en desuso).
 - *Son las barras de tracción que, cuando dejan de ser necesarias, se levantan a 45° y se anclan, o se prolongan para formar la armadura de compresión.*
 - Ejemplo:

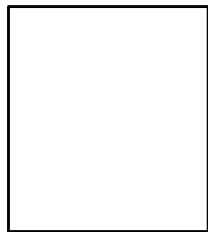


Barras levantadas

Estribos



Siempre estribado mínimo



- **El elemento se puede modelar como un reticulado virtual:**

- Caso de modelo de “bielas y tirantes”:

- Se llaman “bielas” a las barras en compresión (materializadas por el hormigón)
- “Tirantes”, a las barras en tracción (materializadas por la armadura).

- Para llevar el cortante, serán necesarios **tirantes**, formados por los estribos y la armadura longitudinal, y **bielas**, formadas por el hormigón que los vincula.

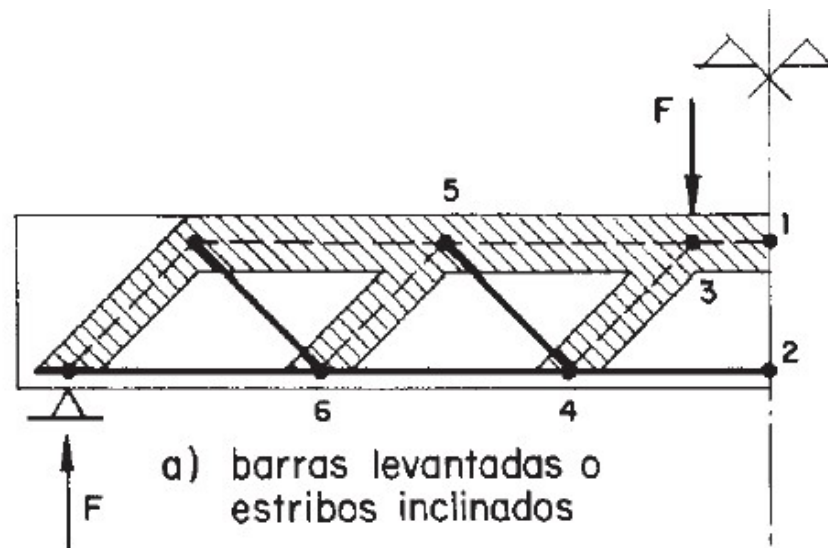
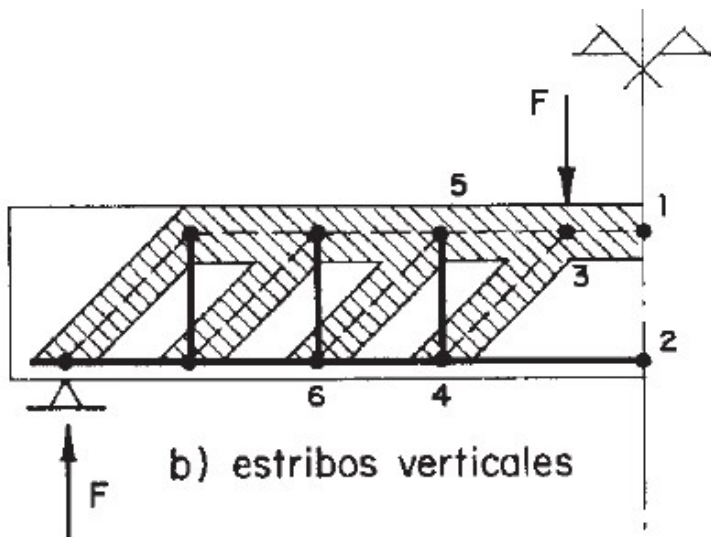
- Normalmente, los estribos se colocan a distancias más cortas que d .

- » El mecanismo real, es más próximo a la superposición de varios reticulados como los mostrados.

- Habitualmente:

- *Bielas inclinadas 45° (se pueden variar entre 30° y 60°)*

- *Tirantes a 90° (en algunos casos pueden ir a 45° o 60°)*



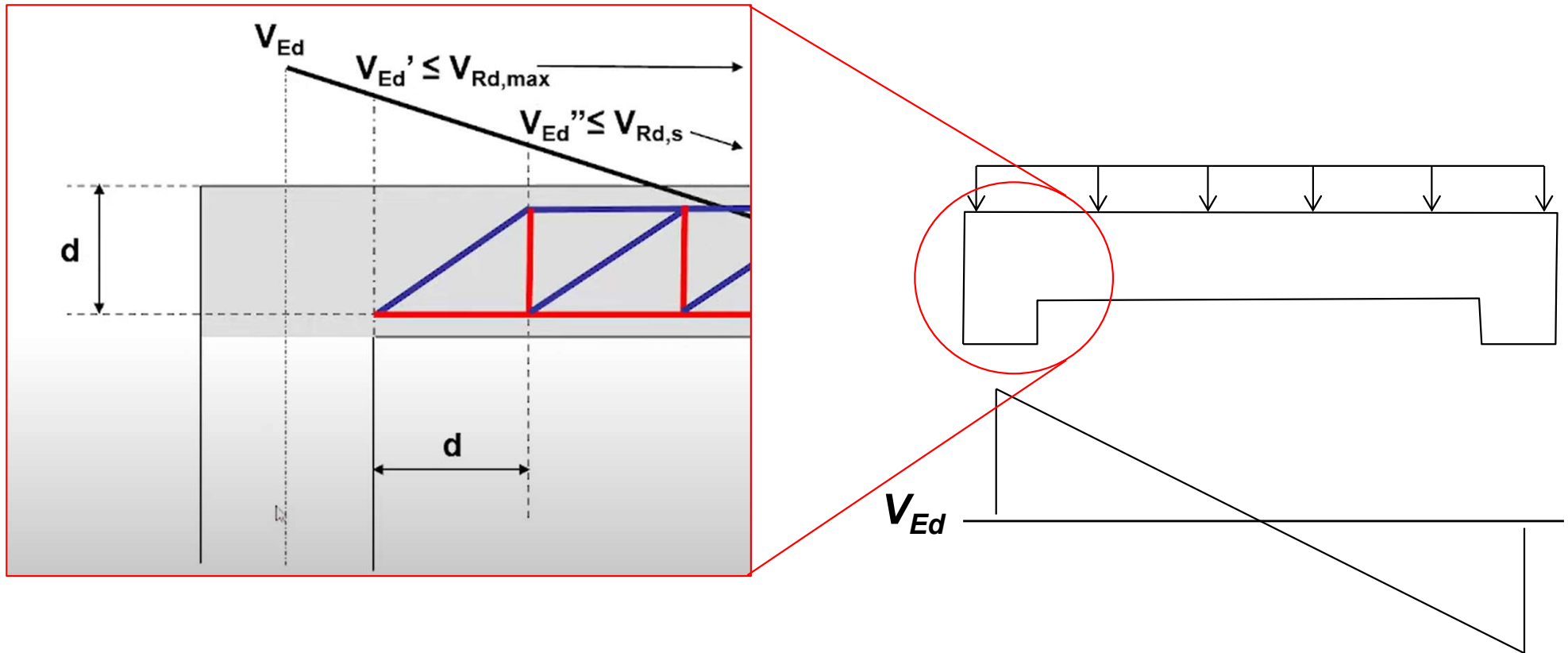
Procedimiento de comprobación (CE 2022)

• Elementos con armadura de cortante (CE 2022 – An. 19 – Cap. 6.2.31)

Debemos realizar dos comprobaciones: Solicitación \leq Resistencia

(1) Verificar el tirante comprimido: $V'_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ (idem $V_{d1} < V_{u1}$)

(2) Verificar el tirante traccionado: $V''_{Ed} \leq V_{Rd,s}$ (idem $V_{d2} < V_{u2}$)



Procedimiento de comprobación (CE 2022)

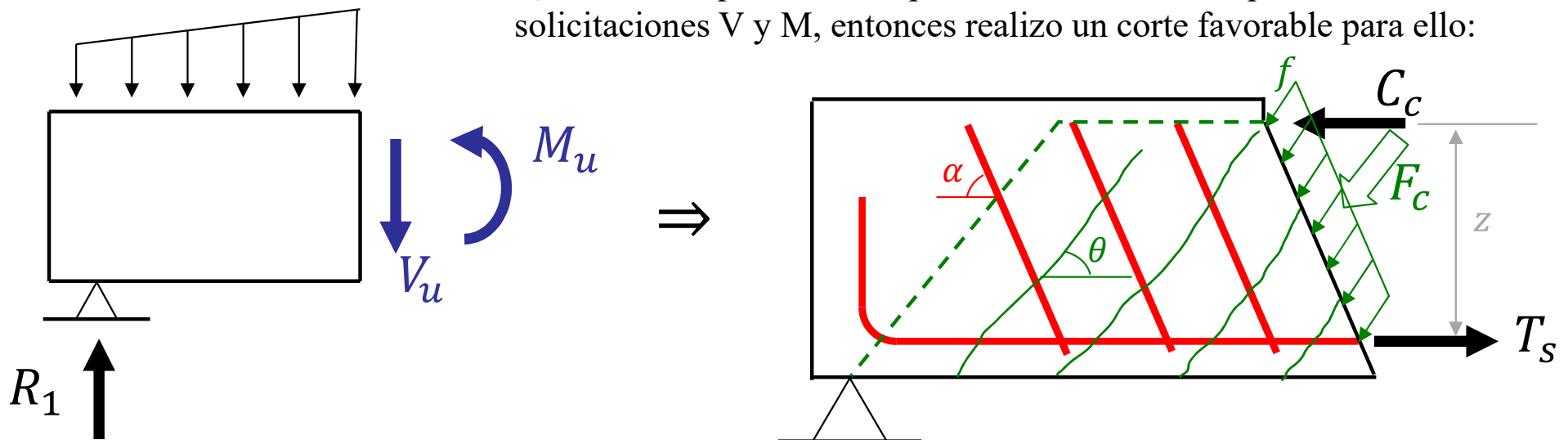
- Obtención de $V_{Rd,max}$ (le llamo " V_u " en los diagramas)

La máxima tensión σ_c que soporta la biela comprimida es $v_1 f_{cd} \Rightarrow \sigma_c \leq v_1 f_{cd}$

Para encontrar el valor de σ_c debido a el cortante V_u , primero obtenemos la relación entre V_u y la fuerza en la biela comprimida F_c :

Quiero saber qué tensiones aparecen en la biela comprimida debido a las sollicitaciones V y M, entonces realizo un corte favorable para ello:

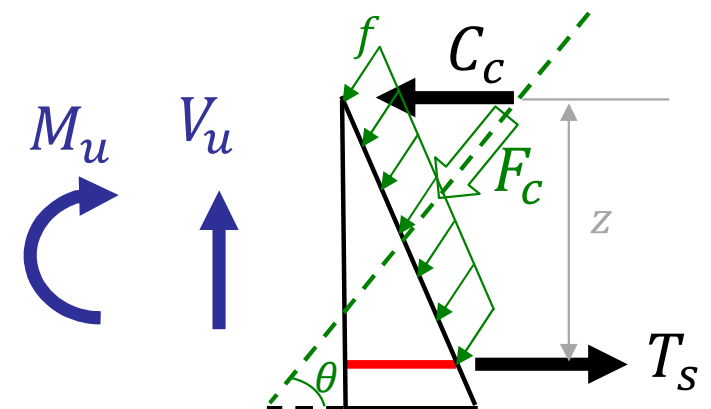
es un coeficiente de reducción de la resistencia del hormigón



Aparecen las tensiones f sobre la cara cortada, cuya resultante es la fuerza F_c y actúa sobre el centro de gravedad de dicha cara.

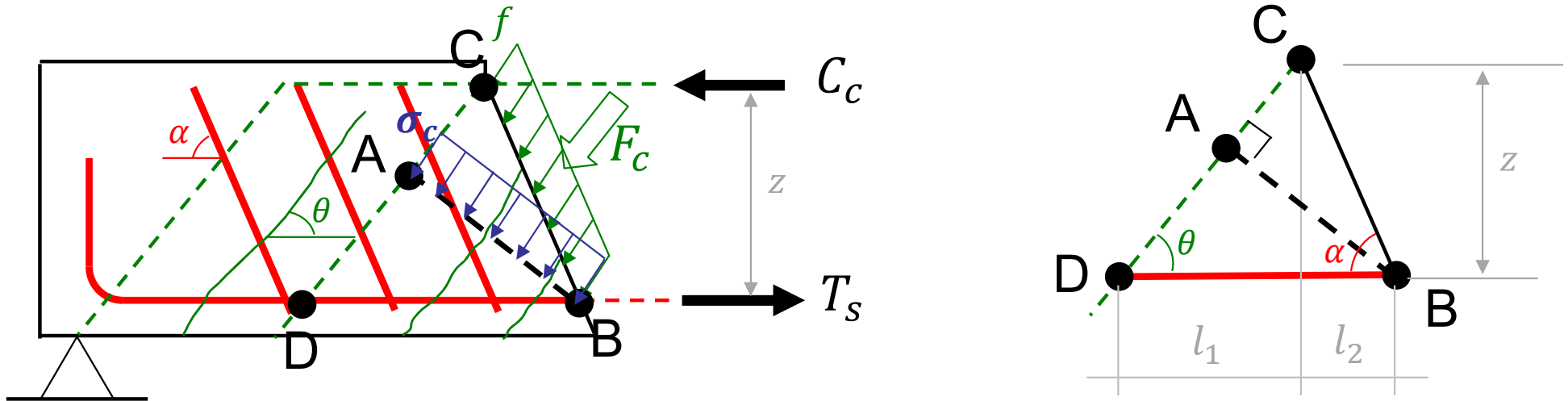
Para que exista equilibrio entre las tensiones internas C_c , T_s y F_c con las sollicitaciones V_u y M_u , debe ocurrir que:

$$V_u = F_c \sin \theta$$



• Obtención de $V_{Rd,max}$ (le llamo “ V_u ” en los diagramas)

Sabemos que las bielas comprimidas llevan una fuerza $F_c = V_u / \sin \theta$, por lo tanto, la tensión normal en las bielas vale $\sigma_c = F_c / (b_w AB)$, con b_w el ancho de la biela.



Quiero hallar AB en función de variables conocidas:

$$\tan \theta = \frac{z}{l_1} \Rightarrow l_1 = z \cot \theta$$

$$\tan \alpha = \frac{z}{l_2} \Rightarrow l_2 = z \cot \alpha$$

$$l = l_1 + l_2 \Rightarrow \sin \theta = \frac{AB}{l} \Rightarrow$$

$$AB = \sin \theta (\cot \theta + \cot \alpha) z$$

$$\sin \theta F_c = V_u \Rightarrow V_u = \sin \theta \sigma_c (b_w AB) \Rightarrow$$

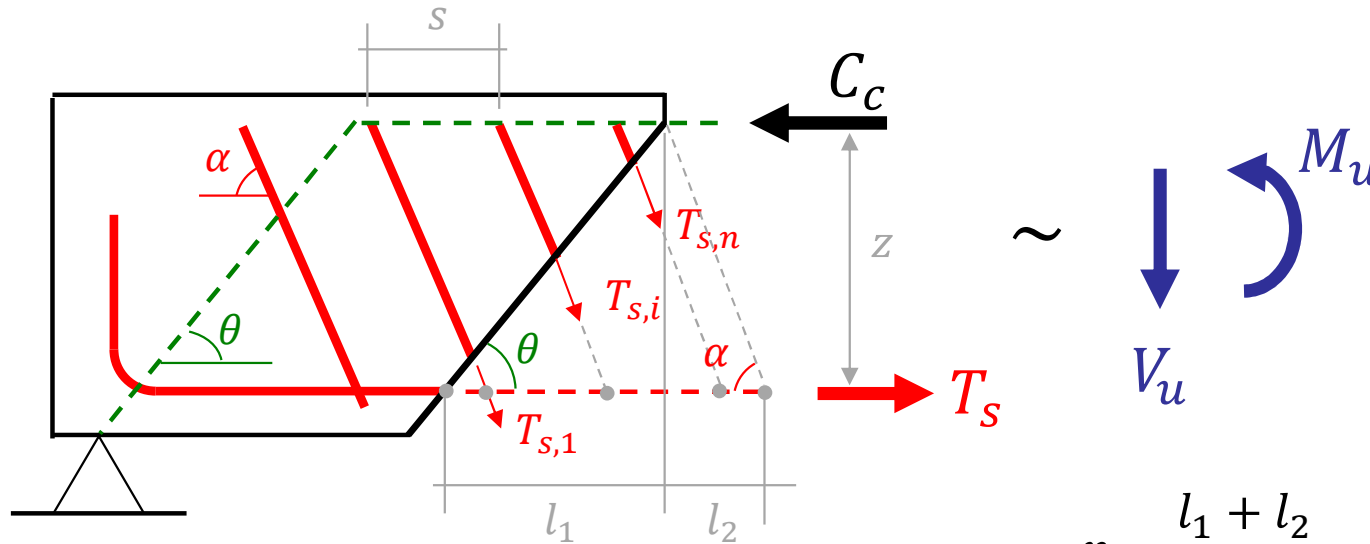
$$V_u = \sigma_c b_w z (\sin \theta)^2 (\cot \theta + \cot \alpha) = \frac{1}{1 + \cot^2 \theta} (\cot \theta + \cot \alpha)$$

$$V_u = V_{Rd,max} = v_1 f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

Sección rectangular $b \times h$ con estribos verticales y bielas a 45:
 $V_{Rd,max} = 0,27 f_{cd} b d$ (con $v_1 = 0,6$ y $z = 0,9d$)

• Obtención de $V_{Rd,s}$ (le llamo " V_u " en los diagramas)

Corto de forma paralela a una biela comprimida para que solo aparezcan fuerzas en tirantes:



$$n = \frac{l_1 + l_2}{s} = \frac{z(\cot \theta + \cot \alpha)}{s} \Rightarrow$$

$$V_u = V_{Rd,s} = \frac{A_{s,i}}{s} z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

Hay n estribos cortados,
cada uno: $T_{s,i} = \sigma_{s,i} A_{s,i} \Rightarrow$

$$V_u = n T_{s,i} \sin \alpha = n \sigma_{s,i} A_{s,i} \sin \alpha$$

El ELU se da cuando $\sigma_{s,i} = f_{yd} \leq 0,8 f_{yk}$
(limite al 80% de f_{yk} por control indirecto de fisuración del hormigón y evitar modo 3 de rotura)

$$V_u = n f_{yd} A_{s,i} \sin \alpha \Rightarrow (\text{y } \zeta n?)$$

Para el caso de sección rectangular,
estribos verticales y bielas a 45:

$$V_{Rd,s} = 0,9 \frac{A_{s,i}}{s} d f_{yd} \quad (\text{con } z = 0,9 d, \text{ con } f_{yd} \leq 0,8 f_{yk})$$

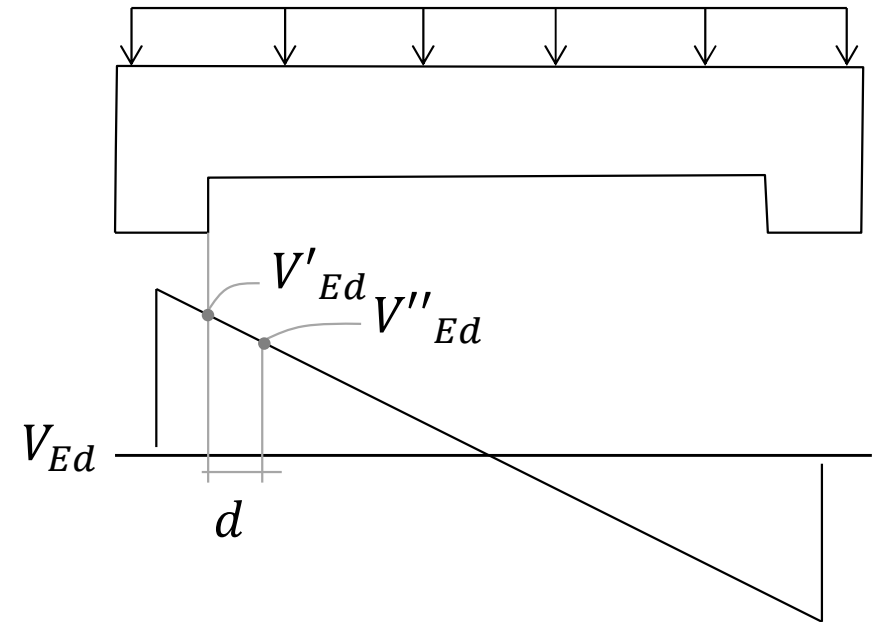
Con esta ecuación puedo hallar
 $A_{s,i}/s$ a partir de igualar $V_d'' = V_{Rd,s}$

Resumen del procedimiento de diseño

- Resumen para sección rectangular, con estribos verticales y bielas a 45°.
- Conocemos la ley de cortante de diseño V_d
- Verificamos la biela comprimida tal que $V'_{Ed} \leq V_{Rd,max}$, es decir:
$$V'_{Ed} \leq 0,27 f_{cd} b d$$
- Diseñamos la armadura transversal para verificar el tirante traccionado, es decir:

$$V''_{Ed} \leq V_{Rd,s} \Rightarrow V''_{Ed} \leq 0,72 \frac{A_{s,i}}{s} d f_{yk} \Rightarrow$$

$$\frac{A_{s,i}}{s} \geq \frac{V''_{Ed}}{0,72 d f_{yk}}$$



- **A continuación siguen algunas diapositivas que contienen el texto exacto del Código Estructural 2022 (CE 2022)**

- **Veremos un ejemplo en clase.**

• Definiciones (CE 2022 – Anejo 1 – cap. 6.2.1)

$V_{Rd,c}$ Es el valor de cálculo de la resistencia a cortante de un elemento sin armadura de cortante.

$V_{Rd,s}$ Es el valor de cálculo del esfuerzo cortante que puede soportar un elemento con la armadura de cortante trabajando a su límite elástico.

$V_{Rd,max}$ Es el valor de cálculo del esfuerzo cortante máximo que puede soportar el elemento, limitado por la rotura de las bielas de compresión.

(2) La resistencia a cortante de un elemento con armadura de cortante es igual a:

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{~~cc~~d} + V_{~~td~~} \quad (\text{no nulas para barras de altura variable, nulas en HE1}) \quad (6.1)$$

(3) En las zonas del elemento donde $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ no se requiere armadura de cortante de cálculo actuando en la sección considerada. V_{Ed} es el esfuerzo cortante de cálculo que se considera resultante de la aplicación de las cargas externas y del pretensado (adherente o no).

(4) En el caso de que al obtener el cortante de cálculo no se precise armadura de cortante, se debe disponer igualmente una armadura mínima de acuerdo con el apartado 9.2.2. Este armado mínimo puede suprimirse en el caso de elementos tales como losas (macizas, nervadas o alveolares), en las que la redistribución transversal de cargas es posible. También puede suprimirse el armado mínimo en los elementos de importancia menor (por ejemplo, dinteles con una luz inferior a dos metros), que no contribuyen de forma significativa a la resistencia y estabilidad global de la estructura.

(ver apartado 9.2.2 por armadura mínima transversal)

• Definiciones (CE 2022 – Anejo 1 – cap. 6.2.1)

(5) En las zonas en las que $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ (con $V_{Rd,c}$ de acuerdo con la expresión (6.2)) debe disponerse suficiente armadura de cortante de forma que $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ (véase la expresión (6.1)).

(6) En cualquier parte del elemento, la suma del esfuerzo cortante de cálculo y la contribución de las alas, $V_{Ed} - V_{ccd} - V_{td}$, no debe exceder el valor máximo permitido $V_{Rd,max}$ (véase 6.2.3). $V_{Ed} < V_{Rd,max}$

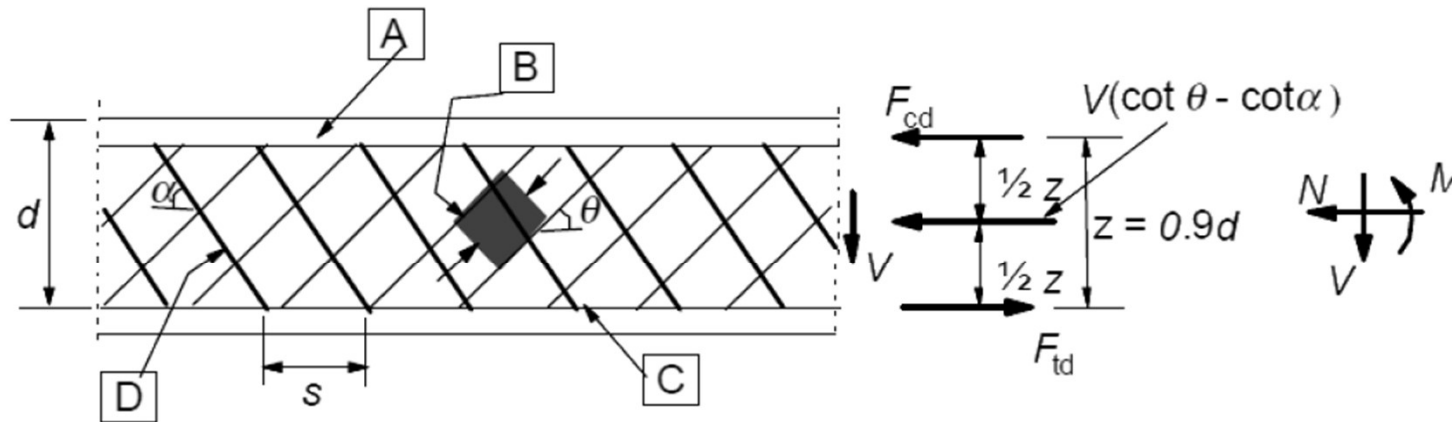
(7) La armadura longitudinal de tracción debe ser capaz de soportar el esfuerzo adicional de tracción causado por el cortante (véase 6.2.3. (7)). (diseñar la armadura transversal)

(8) Para elementos sometidos principalmente a una carga uniformemente distribuida, no será necesaria la comprobación del esfuerzo cortante de cálculo para los puntos situados a una distancia inferior a d desde el borde del apoyo. Debe darse continuidad hasta el apoyo a toda la armadura de cortante necesaria. Además deberá comprobarse que el cortante en el apoyo no supera el valor $V_{Rd,max}$ (véanse los apartados 6.2.2 (6) y 6.2.3 (8)).

(se mantiene que tomo $V_{Rd}(x=d) \leq V_{Rd,s}$ para armar, y $V_{Rd}(x=0) \leq V_{Rd,max}$ para verificar biela de compresión)

(9) En el caso de que una carga sea aplicada en la parte inferior de la sección, debe disponerse una armadura vertical de cortante suficiente, capaz de transmitir la carga a la parte superior de la sección, además de las otras armaduras requeridas para resistir el cortante.

• Elementos con armadura de cortante (CE 2022 – An. 19 – Cap. 6.2.31)



[A] - Cordón comprimido [B] - Bielas [C] - Cordón traccionado [D] - Armadura de cortante

α es el ángulo entre las armaduras de cortante con el eje de la viga perpendicular al esfuerzo cortante (medida en positivo como se indica en la figura),

Usualmente estribos
con $\alpha = 90^\circ$

θ es el ángulo entre las bielas de compresión de hormigón y el eje de la viga perpendicular al esfuerzo cortante,

Usualmente estribos
con $30^\circ < \theta < 60^\circ$ (en
HE1 tomamos siempre
 $\theta = 45^\circ$)

F_{td} es el valor de cálculo de la fuerza de tracción en la armadura longitudinal,

F_{cd} es el valor de cálculo de la fuerza de compresión del hormigón en la dirección del eje longitudinal del elemento,

b_w es el ancho mínimo entre los cordones de tracción y compresión, (ancho de la sección rectangular o ancho del alma de una sección T)

z para un elemento de canto constante, es el brazo mecánico de las fuerzas internas correspondiente al momento flector en el elemento considerado.

($z = 0,9$ para sección rectangular)

• Elementos con armadura de cortante (CE 2022 – An. 19 – Cap. 6.2.31)

Elementos con armadura de cortante inclinada:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

y

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)}$$

Elementos con estribos verticales:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

y

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

A_{sw} es el área de la sección de la armadura de cortante,

s es la distancia entre cercos u horquillas,

f_{ywd} es el límite elástico de cálculo de la armadura de cortante.

$$f_{ywd} = \min \left\{ 0,8 f_{yw}, \frac{f_{yw}}{1,15} \right\} = 0,8 f_{yk}$$

v_1 es un coeficiente de reducción de la resistencia del hormigón fisurado por el efecto del cortante,

$$v_1 = 0,6$$

α_{cw} es un coeficiente que tiene en cuenta el estado de tensiones en el cordón comprimido. Los valores a utilizar serán:

1 para estructuras sin pretensado