

UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño

ESTRUCTURAS II

FLEXIÓN

HORMIGÓN ARMADO

Ing. Civil Daniel Videla
2023

UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Estructuras II – Div. C

FLEXION H°A°

Los Reglamentos a considerar son: Código Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza / 1987 (CCSRMZA '87).

Reglamento CIRSOC 201
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

Reglamento INPRES-CIRSOC 103
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

INTI **CIRSOC**
Instituto Nacional de
Tecnología Industrial
Centro de Investigación de la
Investigación Científica y de
Desarrollo Tecnológico

INTI **CIRSOC**
Instituto Nacional de
Tecnología Industrial
Centro de Investigación de la
Investigación Científica y de
Desarrollo Tecnológico

**REGLAMENTO ARGENTINO
DE ESTRUCTURAS DE
HORMIGÓN**

Julio 2005

**REGLAMENTO ARGENTINO
PARA CONSTRUCCIONES
SISMORRESISTENTES**

Parte II
CONSTRUCCIONES DE
HORMIGÓN ARMADO

Julio 2005



Estructuras II – Div. C

FLEXION H°A°

El dimensionamiento en hormigón armado, difiere un poco de los de Acero F24 y Madera, debido a que existen ahora, dos materiales trabajando en conjunto y uno de ellos sólo resiste a compresión.

Verificación a Flexión: Hormigón Armado, se deben cumplir dos condiciones:

- Rigidez: controlada por relaciones de esbeltez, tanto para vigas como para losas.
- Resistencia: se define que una pieza se encuentra fuera de servicio, cuando se agotó la capacidad de carga.
- **Falla por compresión del hormigón** (f_c : tensión característica).
- **Falla por tracción del acero** (f_y : tensión de fluencia).

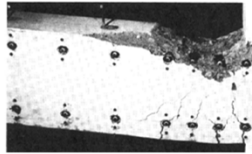


Fig. 3.18

Falla dúctil de una viga de hormigón armado con fluencia de armadura en tracción.



Estructuras II – Div. C

FLEXION H°A°

Falla por compresión del hormigón: El H° alcanza la máxima deformación por compresión, del 0.3% (0.003). La resistencia a tracción es muy chica, alrededor del 10% de la resistencia a compresión

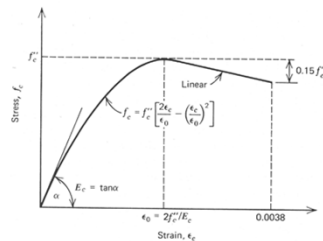


Fig. 2.7. Curva tensión - deformación idealizada para el comportamiento del hormigón en compresión.

8.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

8.5.1. El módulo de elasticidad E_c del hormigón de densidad normal se puede determinar con la siguiente expresión:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa})$$

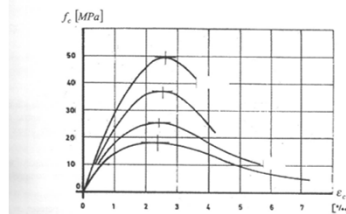



Figura 2.2: Curvas de tensión - deformación para probetas de hormigón en compresión



Estructuras II - Div. C

FLEXION H°A°

Resistencias de los hormigones

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión f'_c (MPa)	A utilizar en hormigones
H - 15	15	simple
H - 20	20	simple y armados
H - 25	25	Simple, armados y pretensados
H - 30	30	
H - 35	35	
H - 40	40	
H - 45	45	
H - 50	50	
H - 60	60	

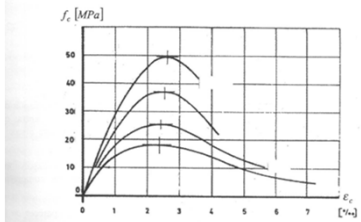



Figura 2.2: Curvas de tensión - deformación para probetas de hormigón en compresión

CODIGO CIRSOC 201-2005



Estructuras II - Div. C

FLEXION H°A°

Falla por tracción del Acero:

Tabla 3.8. Barras de acero para armaduras de estructuras de hormigón

	Barras de acero		
	AL 220	ADN 420	ADN 420 S
Designación de las barras de acero	AL 220	ADN 420	ADN 420 S
Normas a las que responde	IRAM-IAS U 900-502-98	IRAM-IAS U 900-508-98	IRAM-IAS U 900-507-98
Conformación superficial	Lisa (L1)	Nervada (N1)	Nervada (N1)
Díametro nominal (d) (")	mm 8 - 9 - 10 - 12 16 - 20 - 25	mm 8 - 9 - 10 - 12 - 16 20 - 25 - 32 - 40	mm 8 - 9 - 10 - 12 - 16 20 - 25 - 32 - 40
Tensión de fluencia característica (f _y)	MPa 220	MPa 420	MPa 420
Resistencia a la tracción, característica (f _t)	MPa 340	MPa 500	MPa 500
Alargamiento porcentual de rotura característica (A _g)	% 18	% 12	% 12
Díametro del mandril de doblado. Angulo de doblado 180°	mm 2 d	mm d < 25 3,5 d d = 32 5,0 d d = 40 7,0 d	mm d < 25 3,5 d d = 32 5,0 d d = 40 7,0 d

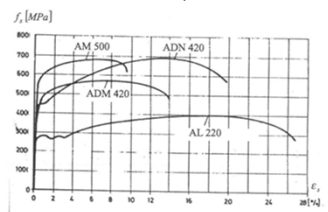



Figura 2.10: Relación tensión-deformación de los aceros para hormigón

Designación de las barras

- Frente
- Dorso



Tensión de fluencia (MPa) Diámetro nominal de la barra (mm)

(*) Las normas IRAM-IAS designan al diámetro nominal de la barra o alambre como d mientras que las normas ASTM designan como d_n.
(**) Según se define en el Glosario.
NOTA: Se deben modificar las normas IRAM que correspondan, adoptando una tensión característica definida para un nivel de aceptación del 95% (p=0,95), con un nivel de confianza del 90% (1-α = 0,90).

UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Estructuras II – Div. C

FLEXION: Tabla Barras de Acero

Diam. nominal	Perim. nominal	Peso nominal	Peso por barra 12m	Secciones nominales / número de barras										Diam. mandril de doblado (mm)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6	1,88	0,277	2,66	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	2,60(4φ)
8	2,51	0,395	4,74	0,50	1,00	1,51	2,01	2,51	3,01	3,52	4,02	4,52	5,03	3,20(4φ)
10	3,14	0,617	7,40	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	4,00(4φ)
12	3,77	0,888	10,7	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	4,80(4φ)
16	5,03	1,580	18,9	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	6,40(4φ)
20	6,28	2,470	29,6	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,84	21,99	25,14	28,27	31,42	14,00(7φ)
25	7,85	3,850	46,2	4,91	9,82	14,73	19,64	24,55	29,46	34,37	39,28	44,19	49,10	17,50(7φ)
32	10,10	6,310	75,7	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,26	56,30	64,34	72,38	80,42	22,80(7φ)
40	12,60	9,860	118,3	12,57	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,12	125,66	-


CRS0C 201

Forma de suministro


Presentación	Dímetros
Barra de 12 m	ε al 40
Cortado y Doblado	según planilla ε al 40

Identificación de las barras

Fronte



Dorso



Tensión de fluencia (MPa)

Dímetro nominal de la barra (mm)

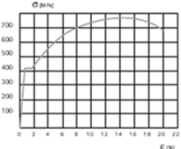
Requisitos que cumplen las barras de acero Acindar DNA-420®

Las barras de acero Acindar DNA-420®, poseen un límite de fluencia característico según norma IRAM-IAS US00-528, designación ADN 420.

Si se requiere un acero de dureza natural con características especiales de soldabilidad, es posible suministrar acero Acindar ADN 420 S con dichas características, según norma IRAM-IAS US00-207.

Consultar por cantidades mínimas de fabricación.

Propiedades mecánicas



UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Estructuras II – Div. C

FLEXION: Diseño

Se debe procurar que los materiales y el conjunto, no lleguen a la rotura.


Se consideran coeficientes de seguridad, que modifican las cargas de diseño o bien las tensiones de referencia.

La diferencia entre los valores, surge debido al tipo de rotura que se produciría en cada caso.

- Rotura flexión: dominada por fluencia del acero, rotura prolongada o con aviso (sección con poca armadura).
- Rotura compresión: falla por compresión H^0 , rotura frágil o repentina (sección sobre armada).

Coefficiente de seguridad depende:

- Además del tipo de falla.
- Incertidumbre en la determinación de las cargas.
- Propiedades reales de los materiales.



Estructuras II - Div. C

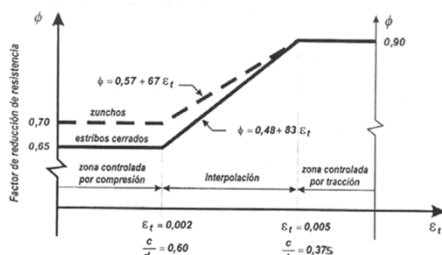
FLEXION: Diseño


Verificación de la seguridad s/ CIRSOC 201-2005:

Resistencia de Diseño \geq Resistencia Requerida $R_d = \phi \cdot R_n \geq R_r = R_u$

ϕ : Factor de reducción de resistencia, que considera:

- Incertidumbre en los cálculos de dimensionamiento.
- Importancia relativa de los elementos en la estructura.
- Variaciones en la resistencia del material.
- Variaciones en las dimensiones.
- Variaciones en la mano de obra.





Estructuras II - Div. C

FLEXION: Diseño

Los estados límites de resistencia pueden producir en el hormigón armado, fallas de distintos tipos, según sean las deformaciones alcanzadas por los dos materiales que lo componen: hormigón y acero.

7.4.3. TIPOS DE FALLA ASOCIADOS A DISTINTOS ESTADOS LÍMITES DE RESISTENCIA

FALLA FRÁGIL
Por compresión del Hº
Sección sobre-armada

↔

FALLA DUCTIL
Por fluencia del Acero
Sección sub-armada

TIPOS DE FALLA

Deformación del acero < 5‰

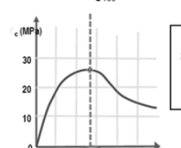


Diagrama Tensión-Deformación Hº

FALLA BALANCEADA
SIMULTANEAMENTE Por compresión del Hº Y FLUENCIA DEL ACERO

Deformación del acero $\epsilon_s = 5‰$ y $\epsilon_c = 3‰$

Deformación del acero $\geq 5‰$

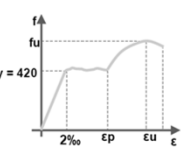



Diagrama Tensión-Deformación Acero

Libro de Estructuras 1B - Nuevas Normas CIRSOC - FAUDI - U.N.C.

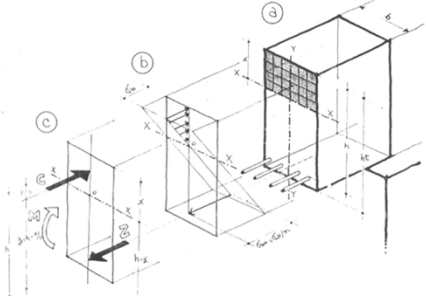
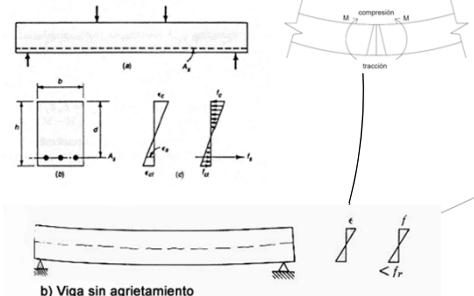


Estructuras II – Div. C


FLEXION: Estados de Tensión y Deformación

ESTADO I – Estado Elástico

- Las secciones permanecen planas luego de la deformación.
- La deformación de una fibra es proporcional a su distancia al eje neutro.
- El A° y H° , en una misma fibra, sufren la misma deformación (adherencia).

b) Viga sin agrietamiento

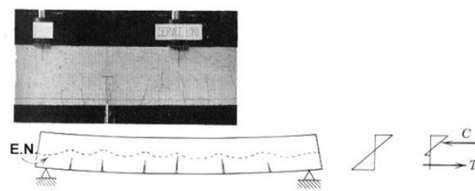
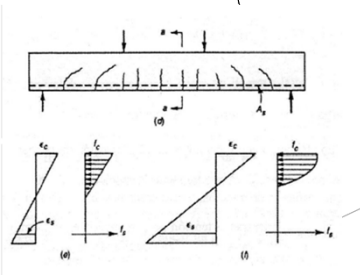


Estructuras II – Div. C

FLEXION: Estados de Tensión y Deformación

ESTADO II – Estado de Fisuración

- Las tensiones aumentan, aparecen fisuras, éstas ascienden al plano neutro.
- El H° no resiste a tracción, ese esfuerzo será transmitido totalmente por el Acero.

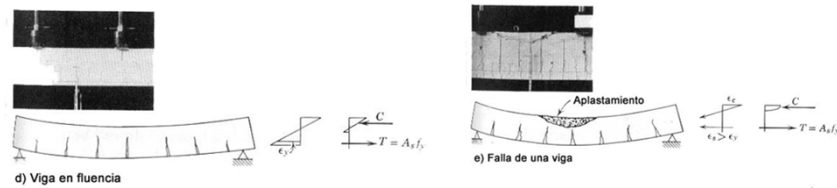
c) Viga agrietada



FLEXION: Estados de Tensión y Deformación

ESTADO III – Estado Límite Último

- Las tensiones aumentan, el H° sigue fisurado y el acero alcanza la tensión de Fluencia.
- El H° alcanza la máxima deformación por compresión (0.3%).
- Este estado, es el fundamento del cálculo en E.L.U. (CIRSOC 201-2005).



FLEXION: Dimensionamiento

HIPÓTESIS DE DISEÑO:

- Equilibrio Estático entre esfuerzos internos y externos $M_{ext} = M_{int}$
- La máxima deformación del H° es ≤ 0.003 .
- No se considera la resistencia a tracción del H°.
- Se considera rotura dúctil* (secciones controlados por tracción, deformación acero > 0.005).
- Se adopta una distribución uniforme de tensiones de compresión del H°, equivalente a una distribución real, de $0.85 f'_c$.

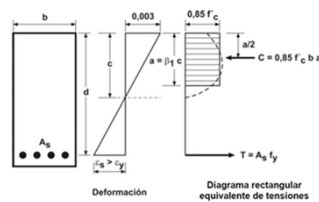



Figura 10.2.7.1. Distribución rectangular equivalente de tensiones en el hormigón.

* Siempre conviene optar por una mayor ductilidad, dado que se alcanza la rotura más lentamente que con un comportamiento frágil, ya que las fisuras por tracción, previas a la rotura por compresión del hormigón (estallido), pre-avisan el colapso.



Estructuras II - Div. C

FLEXION: Dimensionamiento

DISEÑO A FLEXIÓN CON FÓRMULA APROXIMADA

$M_{int} \geq M_{ext}$
 $M_n = T (d - d') = A_s \cdot f_y \cdot (d - d') \geq M_u$
 $M_d = \phi \cdot M_n \geq M_u$
 $A_s = M_u / [\phi \cdot f_y (d - d')]$

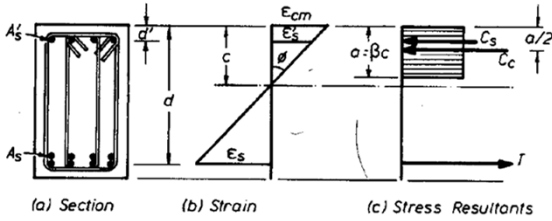



Fig. 3.16
Equilibrio de una sección de viga en el desarrollo de la resistencia a flexión.



Estructuras II - Div. C

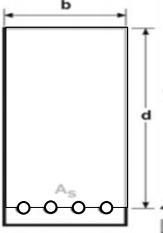
FLEXION: Disposiciones Reglamentarias

Tabla 7.7.1. Recubrimientos mínimos para hormigón colocado en obra (no pretensado), para clases de exposición A1 y A2 ⁽¹⁾ (ver también artículo 7.7.5.)

Condición	Recubrimiento mínimo en mm
(a) <input type="checkbox"/> Hormigón colocado en la base de las fundaciones, en contacto con la capa de hormigón de limpieza (El recubrimiento indicado NO incluye el espesor de la capa de limpieza, indicado en el artículo 5.6.2.1.)	50
(b) Hormigón en contacto vertical con el suelo o expuesto al aire libre <input type="checkbox"/> para barras con $d_b > 16 \text{ mm}$ <input type="checkbox"/> para barras y alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$	35 30
(c) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo: Losas, tabiques, nervaduras: <input type="checkbox"/> para barras con $d_b > 32 \text{ mm}$ <input type="checkbox"/> para barras y alambres con $d_b \leq 32 \text{ mm}$ Vigas, columnas: <input type="checkbox"/> para armadura principal <input type="checkbox"/> para estribos abiertos y estribos cerrados <input type="checkbox"/> para zunchos en espiral Cáscaras y placas plegadas: <input type="checkbox"/> para barras con $d_b > 16 \text{ mm}$ <input type="checkbox"/> para barras y alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$	30 20 pero $\geq d_b$ pero $d_b \geq 20$ y ≤ 40 20 40 20 15

(1) Para las clases de exposición A3, Q1 y C1 (ver Tabla 2.1.), los valores dados en esta Tabla se deben incrementar un 30 %.
Para las clases de exposición CL, M1, M2, M3, C2, Q2 y Q3 (ver Tabla 2.1.), los valores dados en esta Tabla se deben incrementar un 50 %.

- Recubrimientos Mínimos.
- Cuantías Mínimas: relación entre Área de armadura y la sección total o útil del hormigón.
 - Losas: $\rho_{min} > 0.18\% (b \cdot h)$
 - Vigas: $\rho_{min} > 0.33\% (b \cdot d)$
- Separaciones Mínimas.



Estructuras II - Div. C

FLEXION: Disposiciones Reglamentarias

• Simple As

• Doble As

Estructuras II - Div. C

FLEXION: Verificación al Corte

- Acción de cargas exteriores, se manifiestan en la viga produciéndose un descenso respecto del plano de apoyo.
- Se origina trabajo interno de flexión.
- Paralelamente aparece trabajo por esfuerzos tangenciales: esfuerzo de corte (V).

$$v = V / (b \cdot d)$$

Figura 9



FLEXION: Verificación al Corte

- Este valor se obtiene muy cerca del apoyo.
- El valor máximo del esfuerzo rasante, se da en plano del eje neutro
- Se trata de un problema de tensiones principales de tracción y compresión.

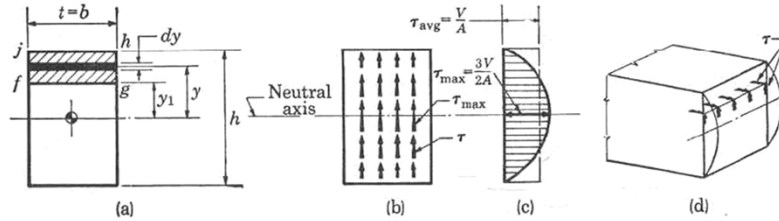


Fig. 6.13 Distribución de tensiones de corte en la sección transversal.



FLEXION: Verificación al Corte

- Las trayectorias de las líneas isostáticas de tracción, siguen la forma del diagrama de momentos flectores.
- En el apoyo se producirán grietas a 45°.
- La forma de evitarlas es la disposición de armadura, siguiendo las líneas de tracción o el empleo de estribos (90°).

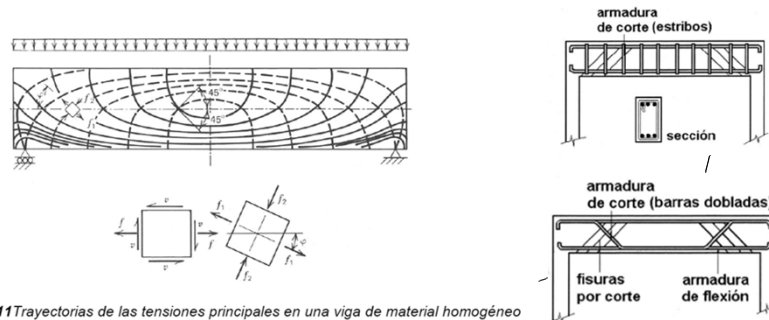

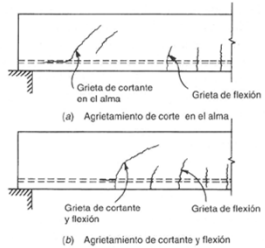


Fig. 6.11 Trayectorias de las tensiones principales en una viga de material homogéneo e isótropo. Tensiones axiales y de corte en el elemento diferencial



Estructuras II – Div. C

FLEXION: Verificación al Corte



(a) Agrietamiento de corte en el alma
(b) Agrietamiento de corte y flexión


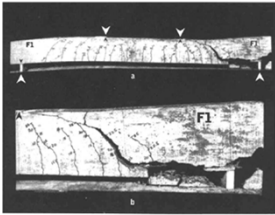
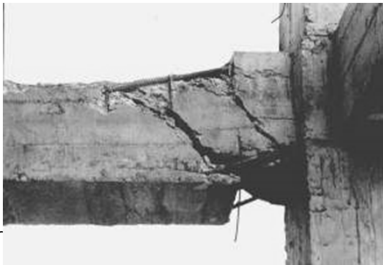


Fig. 6.18 Distintos tipos de fisuras que aparecen en vigas de hormigón armado según ubicación y combinación de esfuerzos




(a) vista global



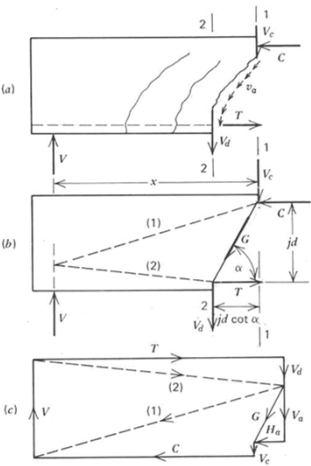
(b) vista cercana al apoyo

Fig. 6.21 Falla de corte de una viga de hormigón armado.
(a) vista global y (b) vista cercana al apoyo.



Estructuras II – Div. C

FLEXION: Verificación al Corte



La fuerza de corte total V , es resistida por la combinación de:

- Una fuerza de Corte V_c , que se desarrolla a través de la zona de compresión.
- Una fuerza de dovela o pasador V_d , que la armadura longitudinal transmite a través de la fisura.
- La componente vertical V_a , que es la resultante de los esfuerzos de corte inclinados V_a , que se transmiten por las caras de las fisuras, por la interacción entre las partículas de los agregados.

De este polígono de fuerzas se observa que el equilibrio para cargas verticales, se puede expresar como:

$$V = V_c + V_a + V_d$$



FLEXION: Verificación al Corte

DISEÑO DE VIGAS AL CORTE CON ARMADURA DEL ALMA (CIRSOC 201- 2005)

Completar diseño y detalle a flexión.

Evaluar la fuerza de corte demanda última V_u , a partir del análisis estructural directo.

Para evaluar la resistencia al corte, aportada por el hormigón (que dependa solamente de la geometría de la sección y de la resistencia del hormigón):

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad \text{se limita la resistencia a } \sqrt{f'_c} = 8\text{MPa}$$

Los elementos estructurales de hormigón armado, sometidos a esfuerzos de corte, deberán verificar la condición resistente dada por:

$$\phi \cdot V_n \geq V_u \quad \text{siendo } V_n = V_u / \phi \quad \phi = 0.75$$

El corte nominal se obtiene como la suma de los aportes del hormigón V_c y del acero V_s .

$$V_n = V_c + V_s$$

Por lo tanto el esfuerzo que debe ser resistido por los estribos será:

$$V_s = V_n - V_c$$



FLEXION: Verificación al Corte

DISEÑO DE VIGAS AL CORTE CON ARMADURA DEL ALMA (CIRSOC 201- 2005)

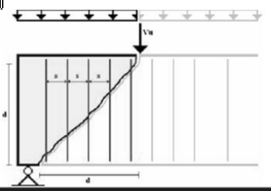
Es conveniente que la falla estructural ocurra por flexión, antes que alcance el límite de la resistencia al corte (falla frágil y no tiene previo aviso). Para evitar la falla de la biela comprimida, se debe cumplir que:

$$V_s \leq 2/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Si esto no se cumple, se debe aumentar la sección de hormigón o mejorar el tipo de hormigón.

El proceso de cálculo consiste en una iteración, se adopta un diámetro y separación y se hace las verificaciones reglamentarias:

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot n \cdot d / s$$



A_v : área de acero contenida en un plano de estribado = $n \cdot A_v1$.

n : número de ramas ($n = 2$ para estribos simples) y A_v1 : área de una de las ramas del estribo.

s : separación entre planos de estribado, medida sobre el eje del elemento.

UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Estructuras II - Div. C

FLEXION: Verificación al Corte

dos ramas tres ramas
(a) estribos cuatro ramas

UM
UNIVERSIDAD
DE MENDOZA

Estructuras II - Div. C

FLEXION: Verificación al Corte

Disposiciones Reglamentarias:

$A_{vmin} = 0.33 \cdot b \cdot s / f_y$ (para $f_c < 30 \text{ Mpa}$)

Proceder al detalle correcto de los estribos (diámetro mínimo de estribos: **6mm**).

Separación : $s \leq d/2$ ó $s \leq 400 \text{ mm}$

Si $V_s \geq 0.33 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$, las separaciones se reducen a la mitad.