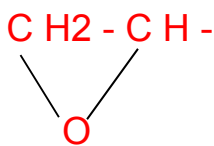


# REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

## RESINAS EPOXI

Se obtienen por polimerización de epiclorhidrina y bisfenol formando grupos epoxi en los dos extremos de la cadena.



Grupo epoxi

Precisan un endurecedor

Fenoles, alcoholes o tioles  
Aminas, amidas  
Ácidos carboxílicos

Formulación epoxi

Resina base + endurecedor

Formulación general

Resina base + endurecedor + cargas

Propiedades muy variables

- Según la longitud de las cadenas (variando las proporciones de epiclorhidrina y bisfenol) → Resinas fluidas o viscosas
- En general forman retículas tridimensionales muy rígidas. Según el tipo de endurecedor pueden conseguirse elastómeros.
- Según la actividad del endurecedor
  - Distintos tiempos de reacción
  - Distintas temperaturas de actuación
  - Propiedades especiales

La elección de una formulación epoxi debe consultarse con personal especializado.

## PROPIEDADES DE LAS RESINAS EPOXI.

Resistencia a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	30 ÷ 90
Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	120 ÷ 210
Viscosidad (centipoises a 25°C)	100 ÷ 15.000
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	1.500 ÷ 30.000
Alargamiento en rotura (sin carga)	2% ÷ 5%
Alargamiento en rotura de morteros	0,5% ÷ 1%
Coefficiente de dilatación (m/m °C)	2.10 <sup>-6</sup> ÷ 6.10 <sup>-6</sup>

Adherencia al soporte	Buena	Piedra Cerámica Hormigón Acero
	Mala	Cobre Aluminio Plásticos Vidrio

Bajas retracciones  Menores que las del hormigón

### Aplicaciones en edificación

- Excelentes revestimientos
- Inyección de grietas y fisuras
- Reparación de coqueras
- Pegado de hormigones de distintas edades
- Pegado de acero a hormigón
- Pegado de elementos metálicos

## REPARACIÓN DE FISURAS Y OQUEDADES

### Problemas generales de las fisuras

- Posibles pérdidas de monolitismo y resistencia
- Vías de penetración de ataques químicos
- Aspecto antiestético y alarma de los usuarios

### FASES DE REPARACIÓN DE UNA FISURA

a.- Analizar y resolver la patología que produjo la fisura. Si no volverá a abrirse

b.- Determinar si son vivas o muertas

Vivas	→	Resina elástica
Muertas	→	Resina normal

c.- Buscar la formulación epoxi adecuada

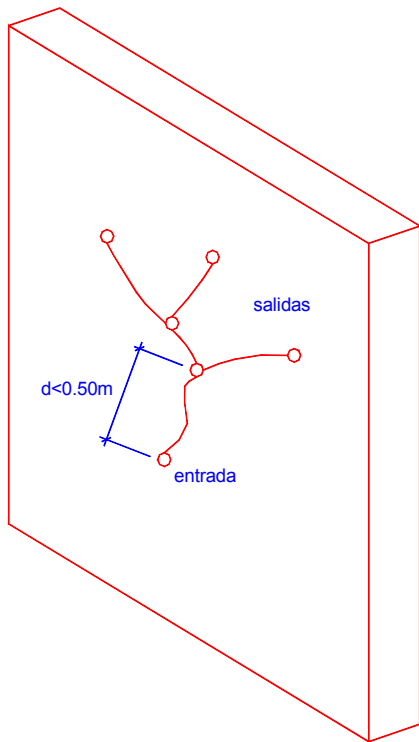
Cuanto mayor sea la fisura mayor debe ser la viscosidad

d.- Preparar la superficie

Húmeda	→	Aire caliente
Sucia	→	Limpiarla
Grasa	→	No puede inyectarse

e.- Inyección. La forma de hacerla depende del ancho de la fisura

Se suele inyectar con una pistola de doble entrada que mezcla con precisión la resina y el endurecedor.

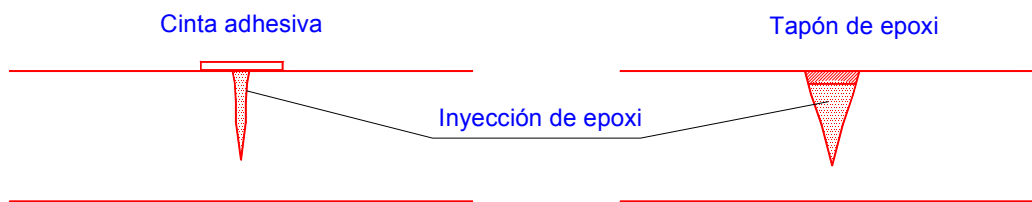


Esquema de inyección de fisuras.

Entrada → Parte baja

Salidas → Partes altas  
Bifurcaciones

Es necesario tapar la superficie de la fisura antes de inyectar y colocar las boquillas de inyección.



Cinta adhesiva →

Grietas estrechas  
Hormigón sano

Sellado con epoxi →

Grietas mayores  
Hormigón algo deteriorado

Se inicia la inyección por el punto más bajo hasta que rebose por el siguiente.

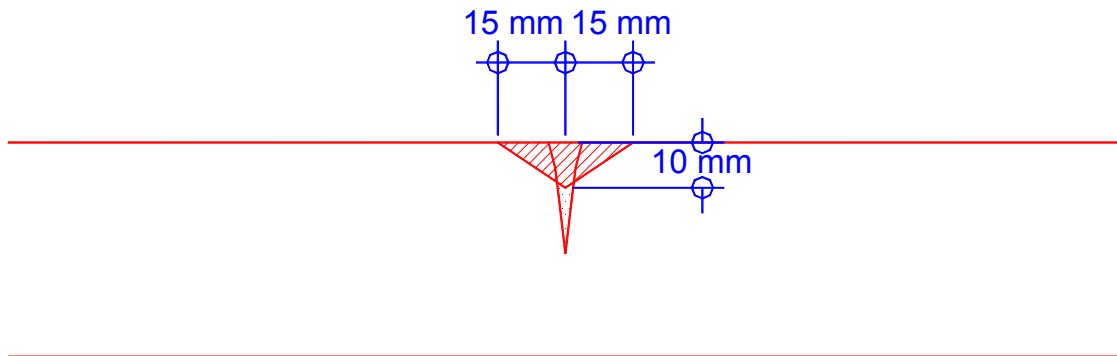
Se tapa a boquilla inferior.

Se continua la inyección desde la boquilla que ha rebosado.

Se repite el proceso hasta que toda la fisura esté completamente inyectada.

## En hormigones poco sanos:

- Apertura de la grieta.
- Limpieza.
- Sellado con mortero de epoxi e inyección



Presiones de inyección: Dependien del ancho de la grieta.

$$a > 0,6 \text{ mm}$$

$$a < 0,1 \text{ mm}$$

$$p < 1 \text{ kp/cm}^2 = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

$$p > 6 \div 7 \text{ kp/cm}^2 = 0,6 \div 0,7 \text{ N/mm}^2$$

## Boquillas

Entre 5 y 10 mm de diámetro

## OTRAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE FISURAS

### CICATRIZACIÓN

Es un proceso que se produce espontáneamente en grietas muertas, saturadas de agua que no circula.

Se produce por carbonatación del  $\text{O Ca}$  y de  $(\text{OH})_2 \text{Ca}$  del cemento por la acción del  $\text{CO}_2$  del aire y del agua.

Se forman cristales de  $\text{C O}_3 \text{Ca}$  que cierran la fisura.

Dura unos 90 días y el hormigón tiene que estar totalmente saturado de agua.

### OCRATIZADO

Se emplea para fisuras estrechas  $a < 0,2 \text{ mm}$

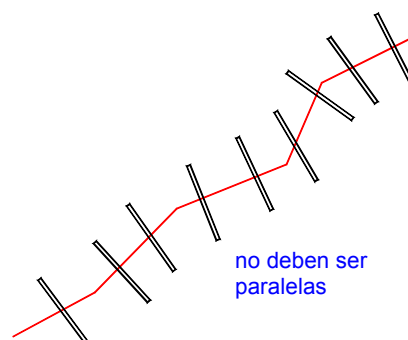
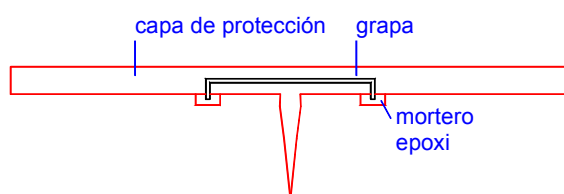
Se introduce  $\text{F}_4 \text{Si}$  gaseoso por las fisuras y a presión



También puede conseguirse con vidrio líquido (fluosilicato de sodio y potasio). Se aplica con pincel y penetra por capilaridad. Reacciona con la cal y da fluosilicato cálcico que cierra la fisura de dentro hacia afuera.

### GRAPADO

No hace estanca la fisura



## REPARACIÓN DE COQUERAS Y OQUEDADES.

**Superficiales:** Son aquellas que no afectan a la resistencia de la estructura.

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Aplicación de mortero de cemento.

**Medias:** Afectan ligeramente al comportamiento estructural y son de dimensiones más importantes.

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Pintado de la superficie con epoxi.
- Relleno con hormigón de resistencia característica superior en 5 N/mm<sup>2</sup> al hormigón de base.

**Importantes:** Afectan a la resistencia del elemento. No puede utilizarse el sistema anterior porque el hormigón nuevo no entraría en carga al retraerse.

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Pintado de la superficie con epoxi.
- Relleno con hormigón de epoxi (retracción despreciable) o de hormigón expansivo de resistencia característica superior en 5 N/mm<sup>2</sup> al hormigón de base.

## REPARACIÓN DE DESAGREGACIONES.

Depende mucho del caso concreto. A veces no hay más solución que sustituir el elemento dañado.

Si el ataque no es muy grave puede sustituirse la superficie afectada por hormigón sano.

- Gunitado.
- Enfoscados de morteros especiales.
- Revestimientos
  - Epoxi.
  - Poliuretano.
  - Siliconas.
  - Asfaltos.

Los sistemas más adecuados de protección son las resinas epoxi. Se aplican con brocha, rodillo, espátula o por proyección en caliente.

En general problemas muy graves  Consultar a un especialista



## REFUERZOS CON HORMIGÓN ARMADO

### Ventajas

Menor coste.

Mano de obra menos especializada.

Más seguros (la contribución de la estructura antigua es más fiable).

Efecto de zunchado

### Inconvenientes

Aumento de las dimensiones de las vigas y pilares.

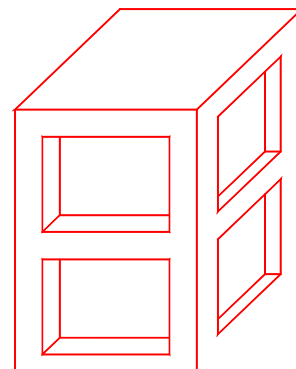
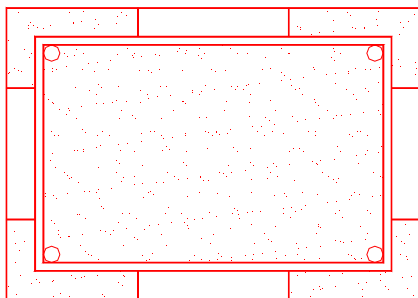
No pueden entrar en carga hasta pasado un tiempo prudencial, normalmente un mes.

## REFUERZOS EN PILARES

- Por baja de resistencia del hormigón.
- Aumento de cargas.

Deberá hacerse en las siguientes fases:

- Limpieza esmerada de la superficie del pilar existente.
- Colocación de la armadura y en especial de los cercos.
- Colocación de las hojas laterales de encofrado.
- Pintado con epoxi de una franja inferior del pilar en una altura de 50 o 60 cm aprox.
- Colocación de las otras dos caras del encofrado en la zona pintada con epoxi.
- Relleno y vibrado del hormigón en la franja citada.
- Continuación del proceso hasta que sólo quede una zona superior del pilar de unos 10 cm, que se retacará pasados al menos 24 horas para permitir la retracción del resto del pilar.
- Buen curado (al menos 10 días)



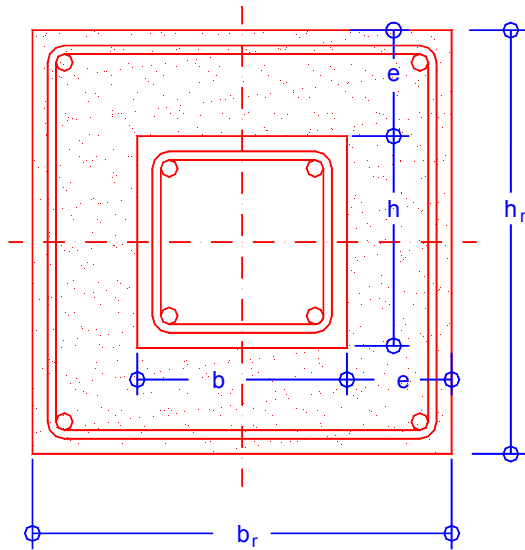
### Recomendaciones:

- Hormigón de refuerzo de  $f_{ck}$  superior en 5 N/mm<sup>2</sup> al del núcleo.
- Poner en la cabeza del pilar una hélice de zunchado (20 cm).
- Cajear el pilar abriéndole unos huecos hasta los estribos.

## CÁLCULO DEL REFUERZO

El refuerzo debe resistir por sí mismo la totalidad de la carga.

Predimensionado: Estimaciones rápidas y pilares sometidos a compresión casi centrada.



$$A_c = (b_r \cdot h_r) - (b \cdot h) = (b+2e) \cdot (h+2e) - b \cdot h = 4e^2 + 2e \cdot (b+h)$$

El hormigón ha de resistir al menos la mitad del esfuerzo axial

$$\frac{N_d}{2} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot [4 \cdot e^2 + 2 \cdot e \cdot (b+h)]$$

Para el dimensionado de la armadura recordemos que la máxima deformación es  $e = 0,002$   $f_{yd} = e \cdot E = 0,002 \cdot 200000 = 400 \text{ N/mm}^2$

**Acero B 400**  $f_{yd} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ N/mm}^2$

**Acero B 500**  $f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow f_{yd} = 400 \text{ N/mm}^2$

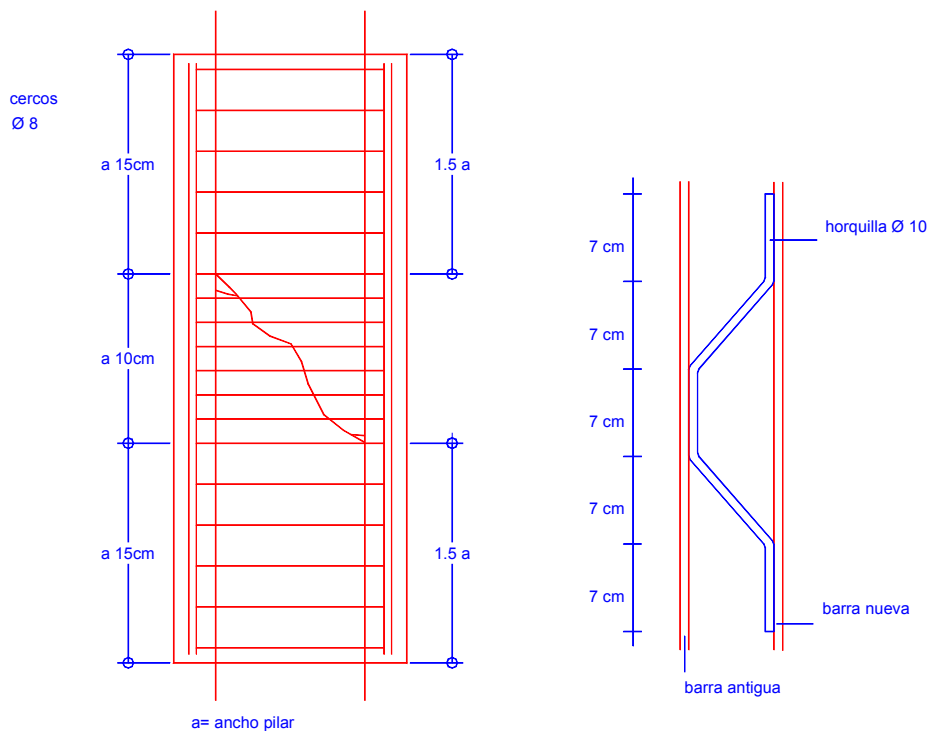
Para determinar el acero se emplea la fórmula de flexión simple

$$N_d = 0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A \cdot f_{yd}$$

Dimensionado: Para un cálculo más ajustado se considera la sección tubular del refuerzo sometida a la totalidad de las solicitaciones.

## PILARES DAÑADOS POR SISMOS O IMPACTOS

- **Daños pequeños (fisuras y grietas)**  
Se hace una inyección con epoxi.
- **Daños localizados con capacidad resistente de al menos el 45%**  
Refuerzo sólo en la zona dañada.  
Se pone el mismo armado.  
Las barras nuevas se sueldan a las antiguas con horquillas de diámetro 10  
Recrecido no inferior a 3 cm



- **Daños graves.**

Apuntalamiento.

Refuerzo en todo el pilar.

Se pone el mismo armado sujeto con horquillas de  $\varnothing 10$ .

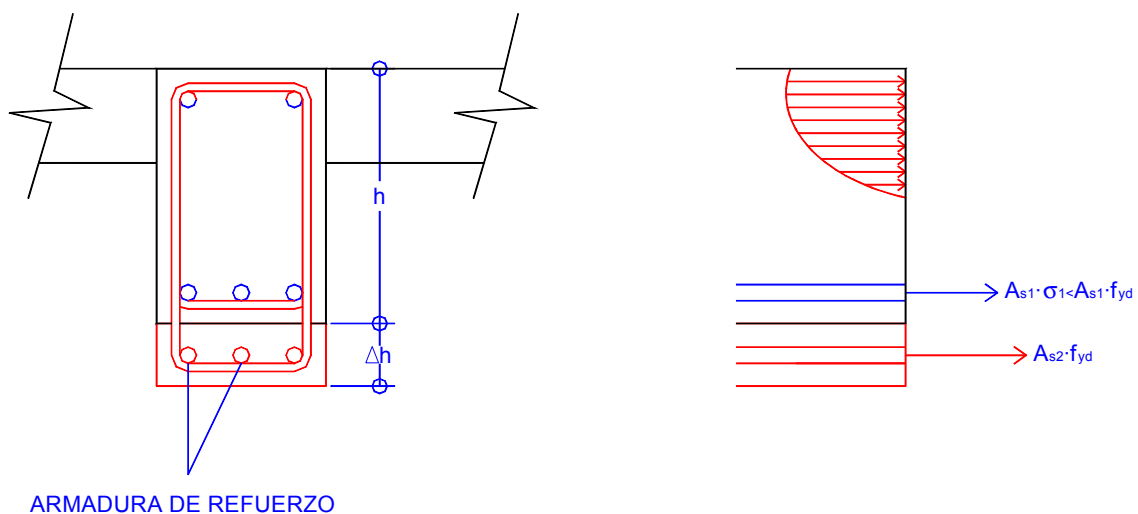
Cercos de  $\varnothing 8$  separados 5 cm en la zona dañada y 10 cm en el resto.

## REFUERZOS EN VIGAS

### 1.- Por recrecido del canto de la viga suplementando la armadura que sea precisa.

#### Problemas que se presentan:

- Normalmente no será posible descargar totalmente la viga, con lo que la armadura existente estará sometida a tensión. Cuando se construye el refuerzo la nueva armadura está descargada, por lo que al entrar en carga la antigua armadura tendrá que soportar las tensiones residuales anteriores más las que se producen del nuevo estado de equilibrio.
- Normalmente no se plantea ningún tipo de problemas, pero en todo caso debe ser comprobado.



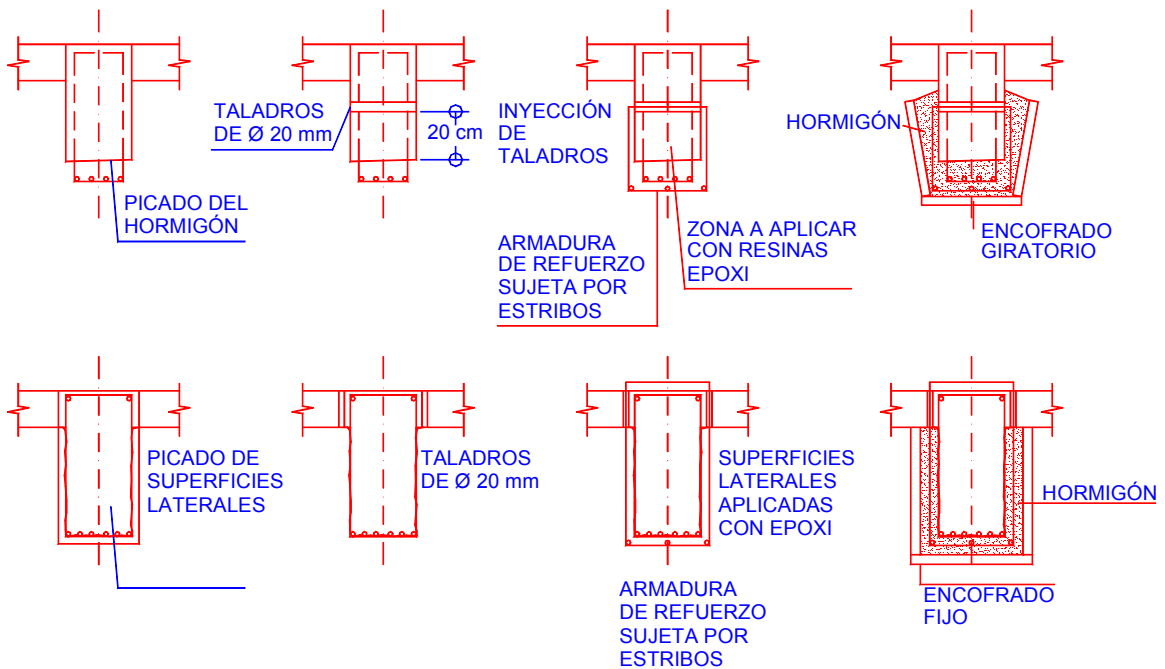
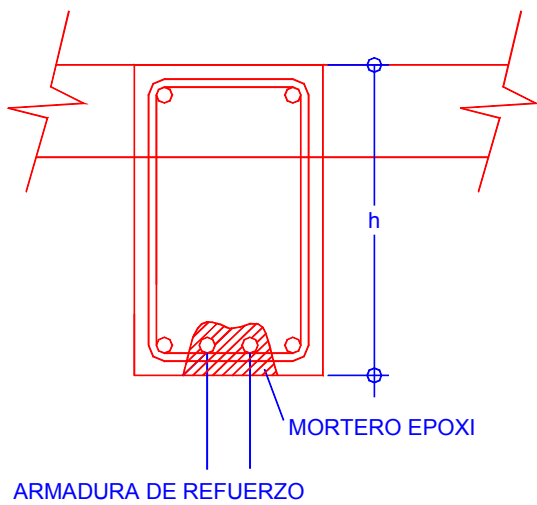
#### El sistema constructivo será:

- Descarnar la capa inferior de la viga de hormigón.
- Colocar unos nuevos estribos que sean capaces de absorber los esfuerzos de desgarramiento entre en hormigón antiguo y el nuevo.
- Hacer una buena unión entre hormigones, con epoxi o con un cajeado.
- Colocar las armaduras longitudinales y hormigonar.
- En general la armadura antigua no puede alcanzar su límite. La armadura nueva se calcula para el momento total.

## 2.- Por colocación de nueva armadura sin recrecido del canto de la viga.

Exige una ejecución muy cuidadosa.

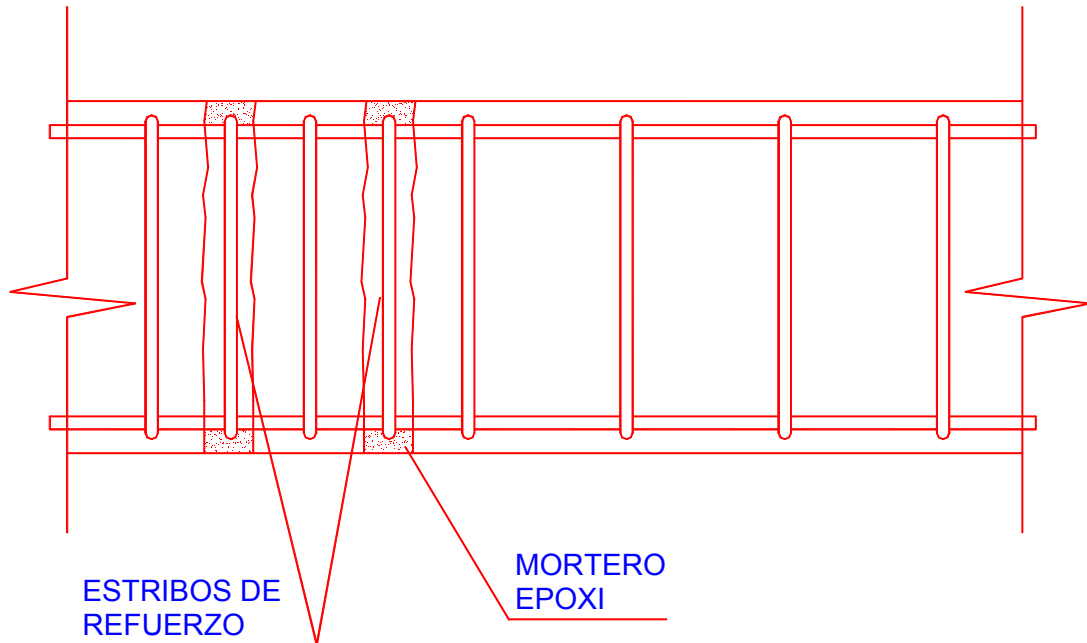
La armadura antigua puede trabajar hasta su límite elástico: Comprobación muy detallada de sus tensiones.



## 3.- Otros sistemas

## REFUERZOS DE VIGAS A CORTANTE

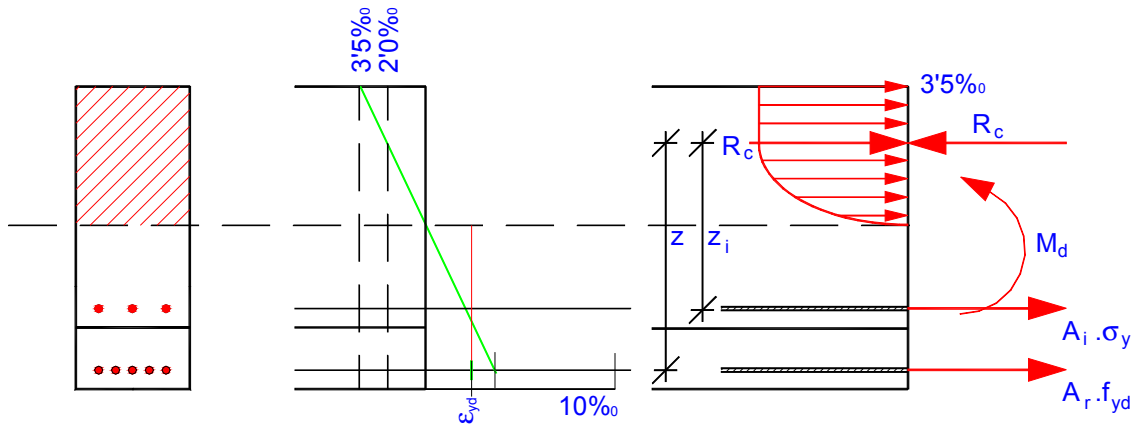
El refuerzo más sencillo y práctico consiste en añadir los estribos que sean necesarios y cerrar con mortero de epoxy.



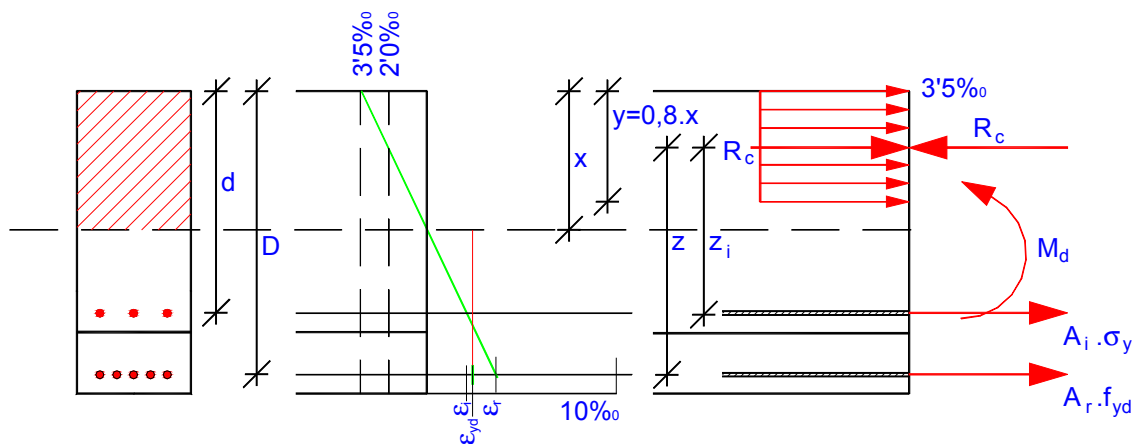
Es importante el correcto apeo de la viga.

## CÁLCULO DEL REFUERZO DE VIGAS

El esquema de cálculo es el de una sección con la armadura inicial y la de refuerzo. Según el dominio es posible que la armadura inicial no se deforme lo suficiente para alcanzar su límite elástico.



Es aconsejable utilizar el diagrama rectangular



Se calcula  $A_r \cdot f_{yd}$  prescindiendo de la armadura existente

$$A_r \cdot f_{yd} = b \cdot y \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\alpha = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_r} = \frac{d-x}{D-x}$$

$$M_d = b \cdot y \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \cdot \left| D - \frac{y}{2} \right|$$

$$\sigma_y = \alpha \cdot f_{yd}$$

Teniendo en cuenta que  $y=0,8 \cdot x$  se tantea la contribución de  $A_i \cdot \sigma_y$  y en su caso se disminuye el armado de refuerzo.



## REFUERZOS CON PERFILES METÁLICOS

### VENTAJAS:

- Rápidos y relativamente baratos.
- La estructura puede entrar en carga casi inmediatamente de la ejecución del refuerzo.

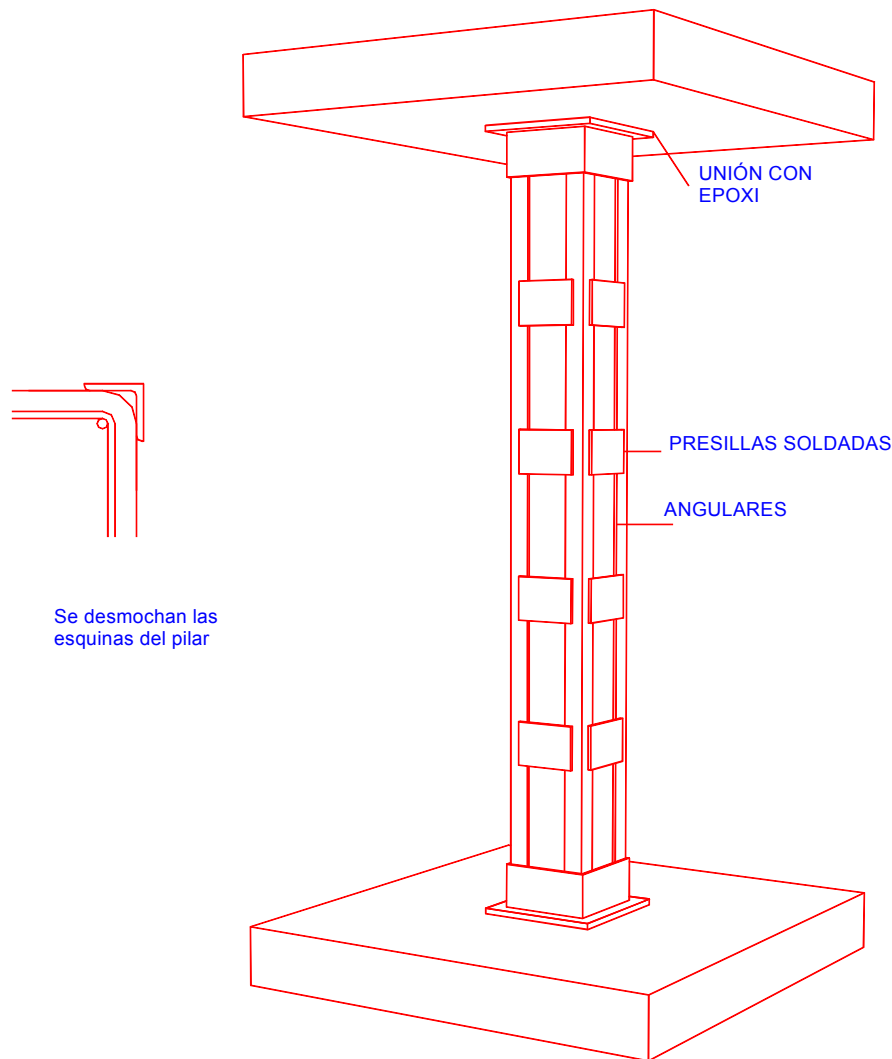
### INCONVENIENTES:

- La colaboración con la estructura inicial es poco fiable.
- Puede introducir sobretensiones en otros elementos que antes estaban correctamente diseñados.
- Es especialmente delicada la unión pilar-viga.

El refuerzo de pilares con perfiles metálicos es muy frecuente y efectivo a condición de que el refuerzo pueda resistir la totalidad de la carga. En cambio del refuerzo de vigas con perfiles metálicos es totalmente desaconsejable, salvo con una ejecución especialmente cuidadosa, que difícilmente se podrá conseguir.

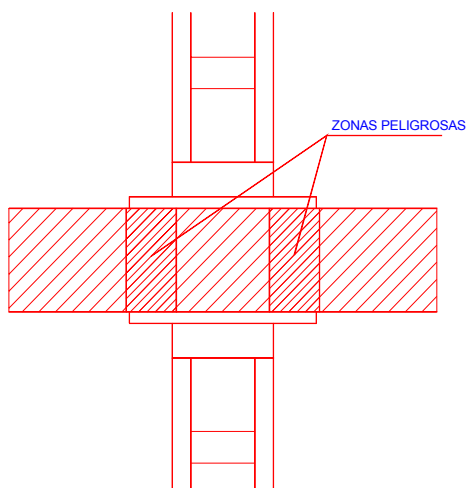
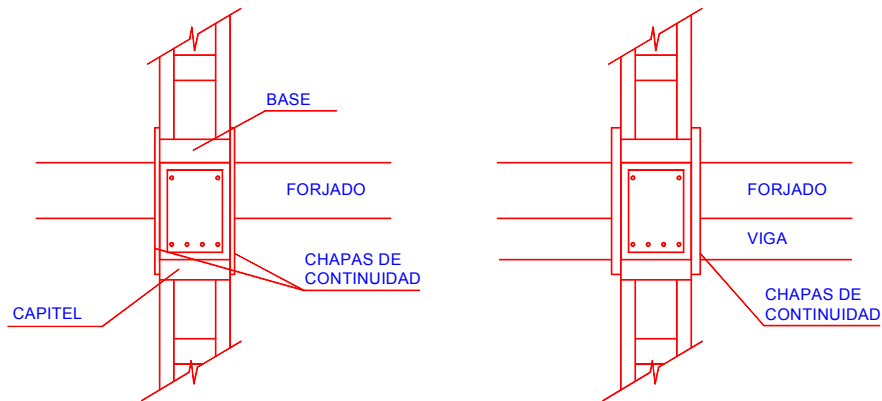
## REFUERZO DE PILARES CON PERFILES METÁLICOS.

Consiste en adosar a sus cuatro esquinas angulares que luego se unen con presillas, en la forma indicada en la figura.



- Se ejecutan y colocan la basa y el capitel.
- Se encajan los angulares y se puntean con soldadura.
- Se puntean con soldadura las presillas.
- Una vez presentado el conjunto, se suelda completamente, asegurándose de que no hay huelgos.

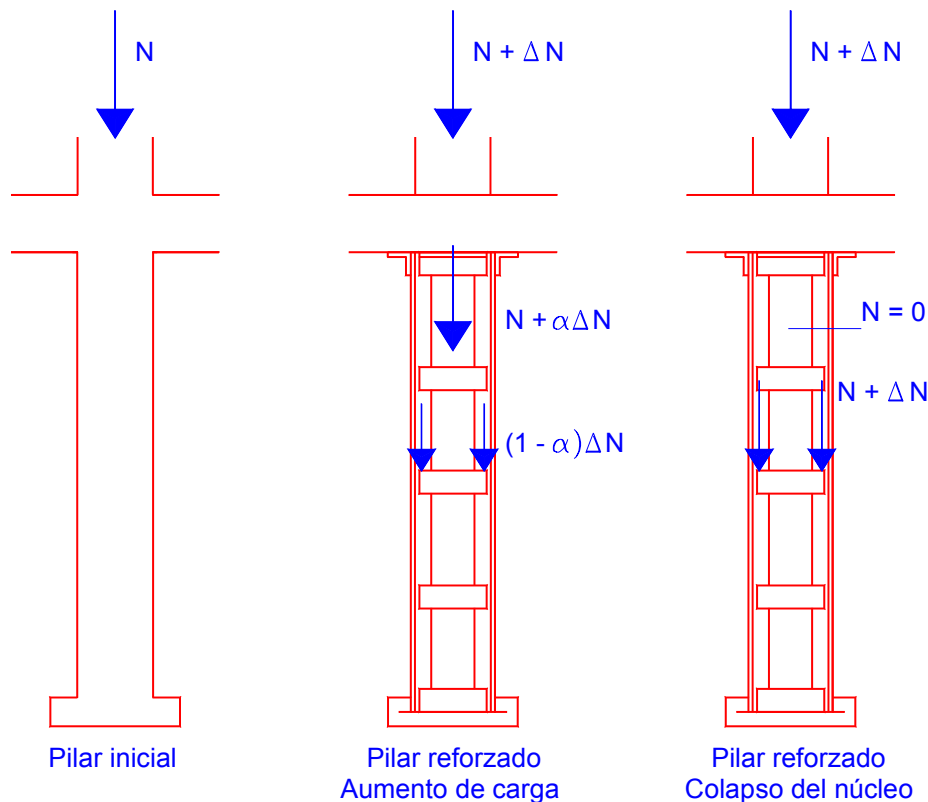
El refuerzo debe continuarse hasta cimentación. Cada tramo debe transmitir sus cargas al siguiente por medio de chapas de continuidad (vigas de canto) o tochos (vigas cruzadas).



Las cargas pueden transmitirse por compresión del hormigón de los forjados entre la basa de un tramo y el capitel del tramo inferior (casi inevitable en vigas planas), pero si se hace hay que comprobarlo cuidadosamente a compresión y/o a punzonamiento, según los casos.

Conviene descargar el pilar antes de reforzarlo, si se puede.

Hay que calcular el refuerzo para que aguante él sólo la totalidad de la carga.



Pilar inicial: Límite de carga  $N$ .

- Nueva carga  $N + \Delta N$ .
- El incremento de la carga se repartirá entre el pilar base y el refuerzo en forma noconocida: Un cierto porcentaje  $\alpha$  se transmitirá al pilar y el resto al refuerzo.
- El pilar deberá resistir pues  $N + \alpha \cdot \Delta N$ .
- Como hemos supuesto que sólo puede resistir  $N$  es posible que colapse, con lo que toda la carga deberá ser soportada por el refuerzo.

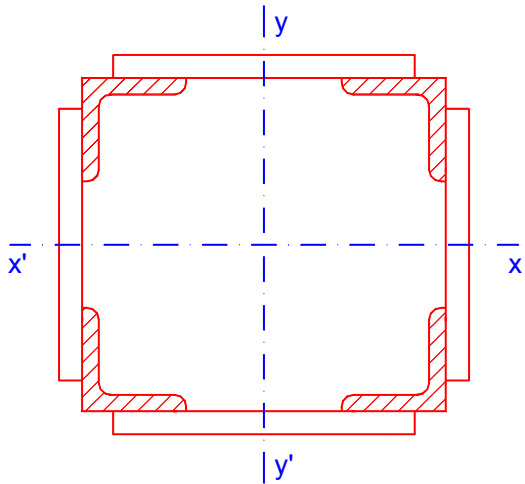
En el momento de colapsar el núcleo de hormigón, el refuerzo tiene que resistir TODA la carga.

## CÁLCULO DE LOS REFUERZOS

Se calculan en general a compresión centrada.

Hay que considerar en el cálculo:

- Pandeo del pilar en su conjunto.
- Pandeo de cada uno de los angulares.



$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$\lambda_i = \sqrt{\left(\frac{l_k}{i}\right)^2 + \frac{m}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{i_1}\right)^2}$$

$$m = 2$$

Si se puede suele ser ventajoso que  $I = I_i$  lo que permite calcular la separación óptima de presillas  $l_1$

$$\lambda_i \text{ máximo} \Rightarrow \omega \Rightarrow \frac{N^* \cdot \omega}{A} \leq \sigma_u$$

Presillas

$$T_i^* = \frac{A \cdot \sigma_u}{80} \cdot \eta \quad \text{siendo} \quad \eta = \frac{s}{20 \cdot i_1} \leq 1$$

$$T_p^* = \frac{T_i^* \cdot l_1}{n \cdot s} \quad M_p^* = \frac{T_i^* \cdot l_1}{2 \cdot n} \quad n = 2$$

$$\frac{6 \cdot M_p^*}{e \cdot h^2} \leq \sigma_u$$

Fijado e se calcula h

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICACIA DE REFUERZOS EN PILARES

(Ensayos Lab. Torrontegui: Ramírez, Bárcena y Feijoo)

Pilares: 25x25 cm      4Ø10      cercos Ø 4,5 cada 15 cm

$f_{ck} = 180 \text{ kp/cm}^2$        $f_{ck,real} = 110 \text{ kp/cm}^2$  (60%)

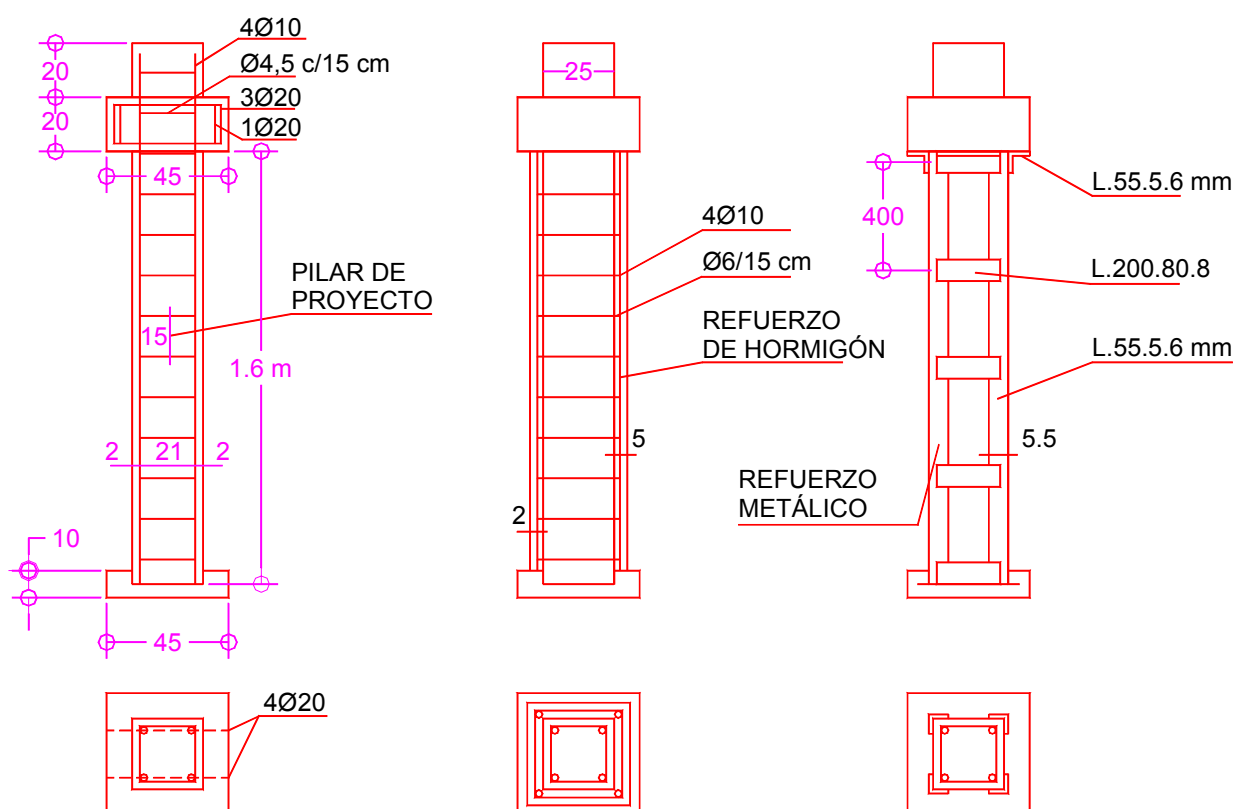
$f_{yk} = 2400 \text{ kp/cm}^2$

Refuerzo con hormigón (e=5cm)      4Ø10      cercos Ø 6 cada 15 cm

Refuerzo con angulares metálicos      4 L 55.55.6

Presillas 0,8x8 cm separadas 40 cm

Retacado de basas y capiteles con mortero de cemento.



CONDICIÓN DEL PILAR	PILARES CON Y SIN REFUERZO (KP)						
	SERIE NÚMERO						
	1	2	3	4	5	6	MEDIA
Sin refuerzo, I	86.044	87.418	87.143	78.071	74.223	80.270	82.195
Con refuerzo de hormigón, II	158.650	147.250	132.670	132.670	144.070	132.05	141.227
Con refuerzo de acero III	143.350	132.050	124.450	105.450	126.975	106.72	123.499
Relación, II/I	1.84	1.68	1.52	1.70	1.94	1.64	1.72
Relación, III/I	1.70	1.51	1.43	1.35	1.71	1.33	1.50

TIPO DE RELACIONES	RELACIONES DE RESISTENCIA ENTRE LOS PILARES ENSAYADOS Y EL TEÓRICO							VALOR CARACTERÍSTICO
	SERIE NÚMERO							
	1	2	3	4	5	6	ME DIA	
Sin refuerzo	0.79	0.80	0.80	0.72	0.68	0.74	0.76	0.66
108.740								
Refuerzo horm.	1.46	1.35	1.22	1.22	1.32	1.21	1.30	1.10
108.740								
Refuerzo acero	1.34	1.21	1.14	0.97	1.17	0.98	1.14	0.86
108.740								

## REFUERZOS EN VIGAS

Se refuerza la parte inferior de la viga con angulares que se sujetan con presilla de ancho  $20 \div 25$  cm.

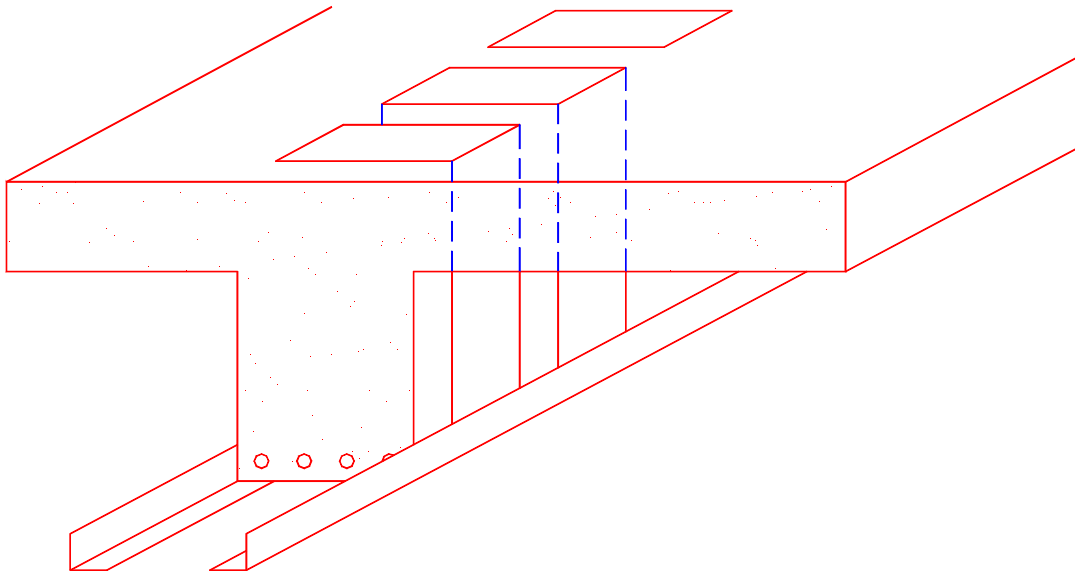
### Ventajas:

- Es sencillo y rápido.

### Inconvenientes:

- No siempre puede ejecutarse.
- Es poco fiable por no garantizar el trabajo conjunto hormigón-armadura-refuerzo. Puede mejorarse uniendo los angulares al hormigón con epoxi.
- En general precisa grandes deformaciones para que entre en carga el refuerzo.

### Sistema constructivo:





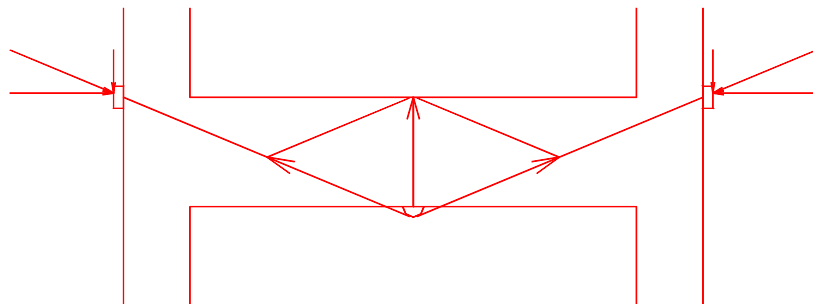
# REFUERZOS CON CABLES METÁLICOS (POSTENSADO)

## VENTAJAS

- Permite actuar sobre elementos deformados sin necesidad de descargarlos.
- No precisa nuevas deformaciones para que el refuerzo entre en carga.
- Permite recuperar deformaciones.
- Es muy favorable en refuerzos a flexión y cortante, en especial estructuras muy dañadas.

## INCONVENIENTES

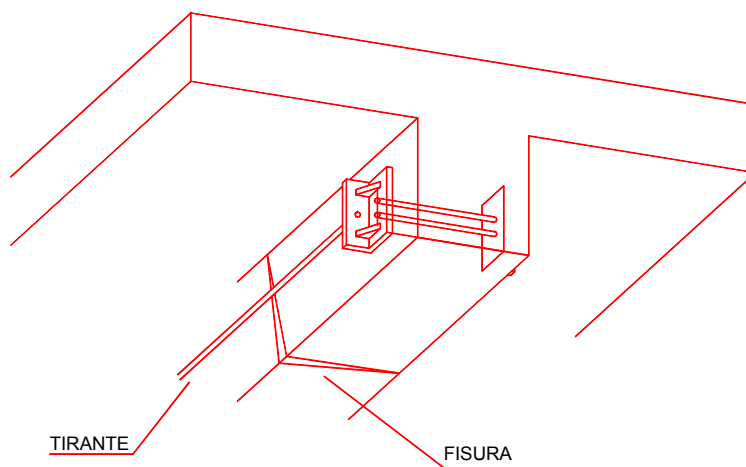
- Necesita personal muy experto.
- Produce en general grandes esfuerzos horizontales que la estructura puede ser incapaz de absorber en especial si se ha plastificado.



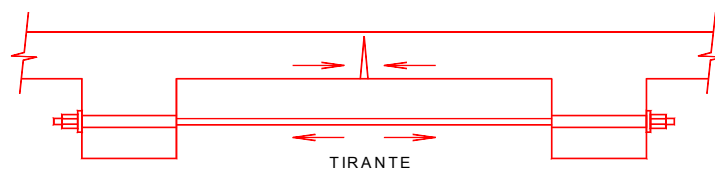
## SISTEMAS ATIRANTADOS

Se ejecutan por tirantes roscados en sus extremos, puestos en tensión por atornillado.

Reparación de viga.



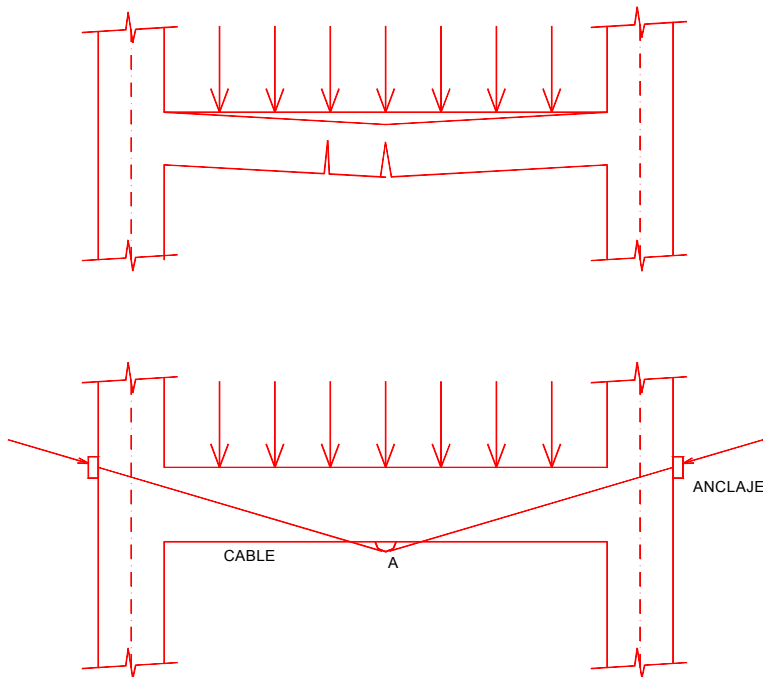
Reparación de forjado.



Conviene recuperar antes la flecha por medio de gatos para no forzar en exceso la rosca. En casos pequeños pueden emplearse cuñas. Exige un diseño cuidadoso de los elementos de anclaje.

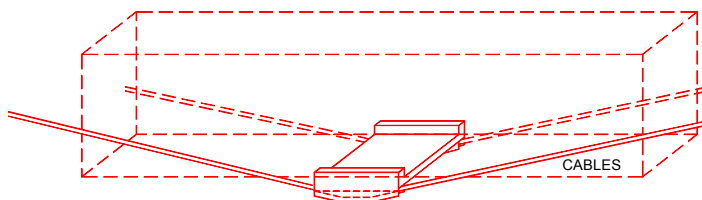
## SISTEMAS DE CABLES

Son los mejores pero exigen mano de obra muy especializada.  
 Al colocarse exteriormente a la pieza permiten un fácil control.  
 Por sus pequeños espesores pueden disimularse fácilmente.



Recuperación  
 y refuerzo de  
 una viga muy  
 dañada.

### Detalle de la pieza A



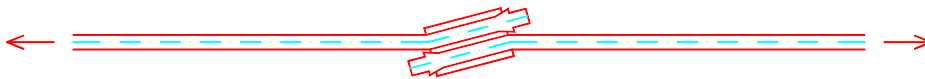
Pequeño espesor.  
 Escaso rozamiento de cables → Exige menores fuerzas de tesado.

## CONECTORES

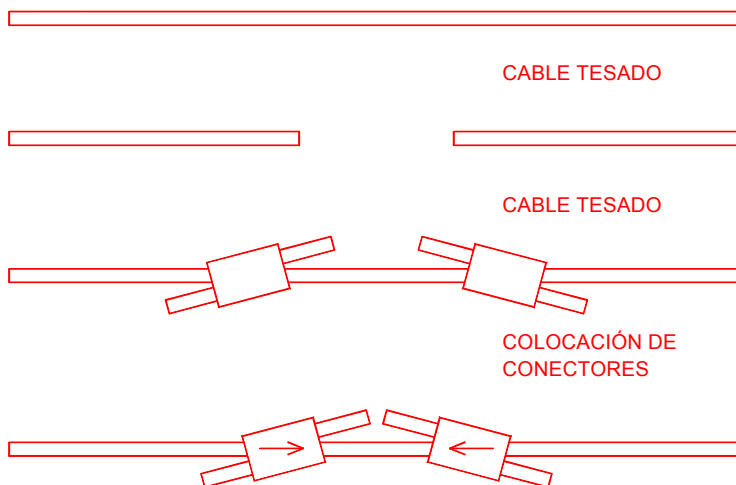
Son piezas de gran importancia en estos sistemas.  
Permiten el tesado central en casos de cabezas difícilmente accesibles.  
También permiten los cambios de dirección.

NOTA: En cualquier reparación por este sistema es importante inyectar las fisuras con epoxi.

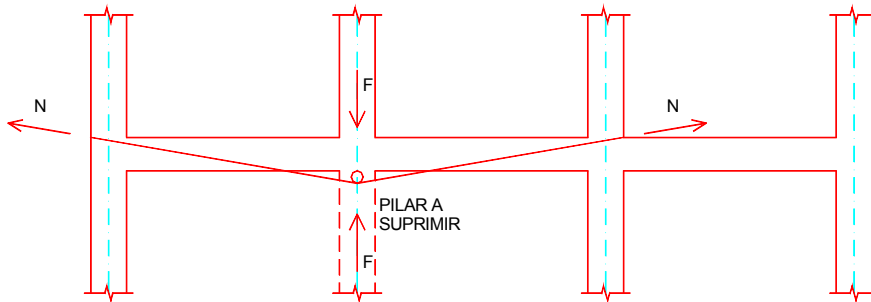
Conector Stronghold.



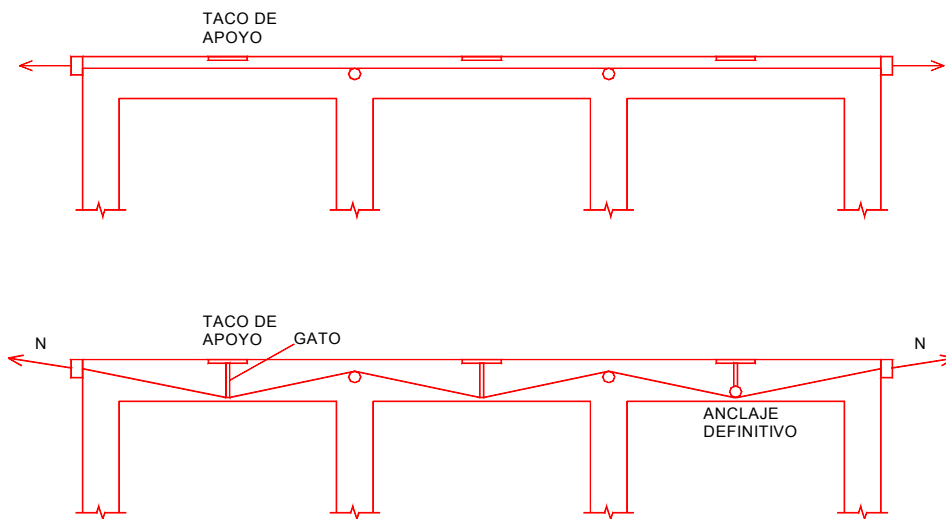
Ejemplo de retesado de un cable roto.



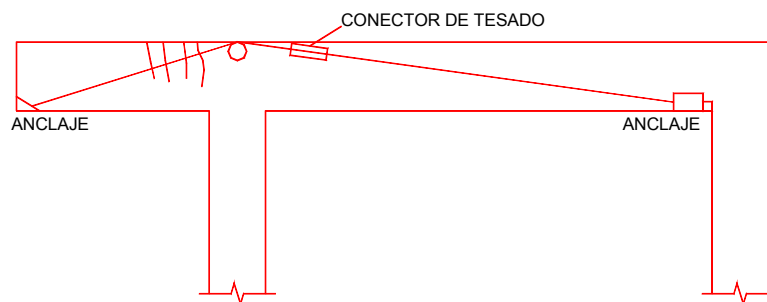
## APLICACIONES



### Supresión de un pilar.

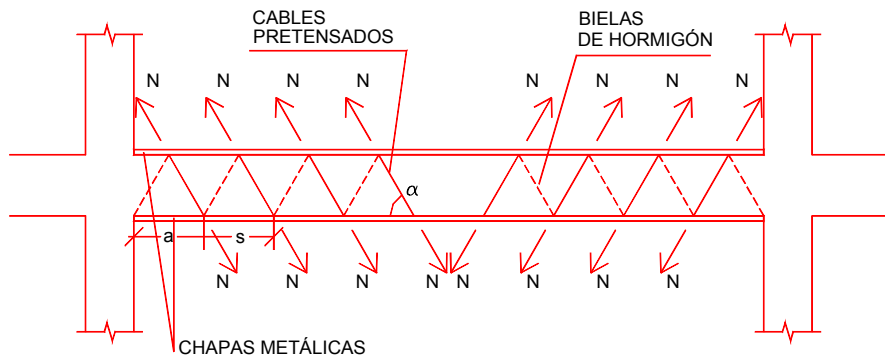


### Postesado de una viga continua.



### Postesado de un voladizo.

## REFUERZO A CORTANTE.



En este caso es posible confiar solo en el refuerzo.

Tracción en los cables.

$$V_d = \frac{0.9d}{s} (\cos \alpha + \operatorname{sen} \alpha) \cdot N$$

Tracción en la chapa inferior.

$$N_s = \frac{V_d}{0.9d} [a + 0.45d(1 - \operatorname{ctg} \alpha)]$$

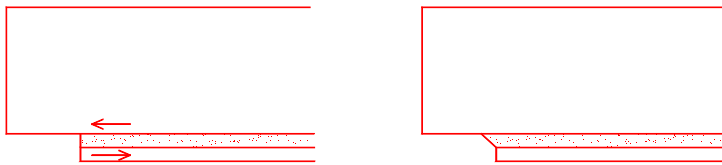
# REFUERZOS CON BANDAS METÁLICAS. UNIONES ENCOLADAS CON EPOXI.

## VENTAJAS

- # Son muy efectivas.
- # Son relativamente fáciles de hacer.
- # Apenas aumentan las dimensiones de la pieza.

## INCONVENIENTES

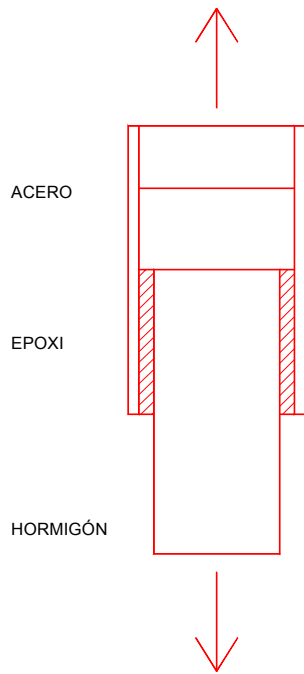
- # Exige formulaciones epoxi adecuadas. Si presentan relajaciones por fluencia se convierten en totalmente inútiles.



- # Exige una cuidadosa preparación de la superficie.
- # Hay que hacer un cuidadoso cálculo de adherencia entre acero y hormigón.
- # Cuidar el caso de ciclos de carga y descarga: Hay formulaciones epoxi que no pueden resistirlos.

## COMPORTAMIENTO DE LA EPOXI

Estudio experimental (Bresson 1971)



Tensión de adherencia en la resina epoxi.

$$\tau_x = P \cdot \omega \frac{ch \omega x}{sh \omega l}$$

P= esfuerzo por unidad de ancho de banda.

L= longitud de la unión

x= abscisa desde el punto de cortante nulo

$$\omega = \sqrt{c \left| \frac{1}{E_1 t_1} + \frac{1}{E_2 t_2} \right|}$$

Siendo:

$E_1$ = módulo de Young del

acero;  $E_2$ = módulo de Young del hormigón.

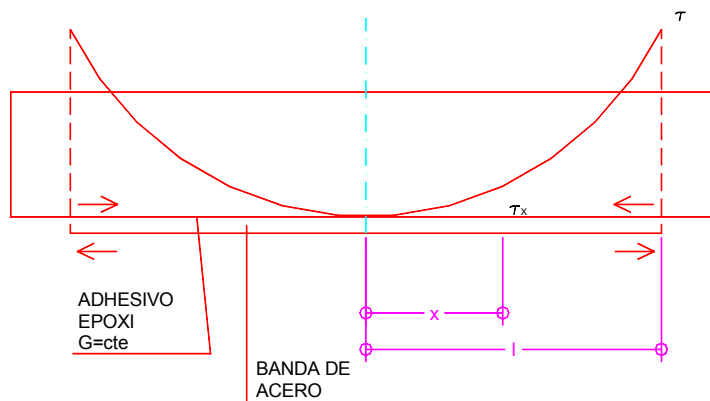
$t_1$ = espesor acero;  $t_2$ = espesor hormigón.

$$c = \frac{G}{d} \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{Modulo transversal de la epoxi} \\ \rightarrow \text{espesor de la epoxi} \end{array}$$

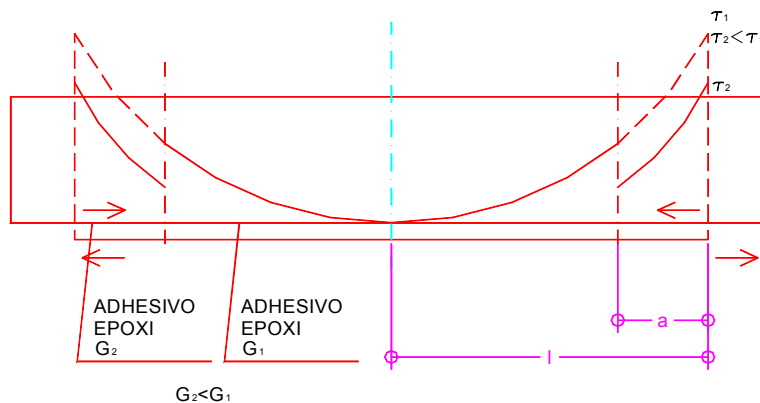
Vemos que disminuir la G de la resina disminuye su tensión de adherencia.



Distribución de tensiones  $\tau_x$  en una viga  $G=\text{cte}$ .



Distribución con dos tipos de resina con un valor menor de  $G$  en las uniones extremas.  
Las tensiones  $\tau_x$  son menores.



PRECAUCIONES

- # Limpiar las superficies a unir y en especial de humedad, polvo o grasa.
  - ! Aconsejable el chorro de arena.
  - ! Si no se puede, abujardado de grano fino y cepillado con cepillo de alambre duro.
- # Limpiar la chapa inmediatamente antes de pegarla.
- # Tratar de conseguir superficies planas.
- # Tratar de conseguir espesores reducidos: lo ideal sería del orden de 1 mm. → Muy difícil en obra.

# Exigir una formulación adecuada.

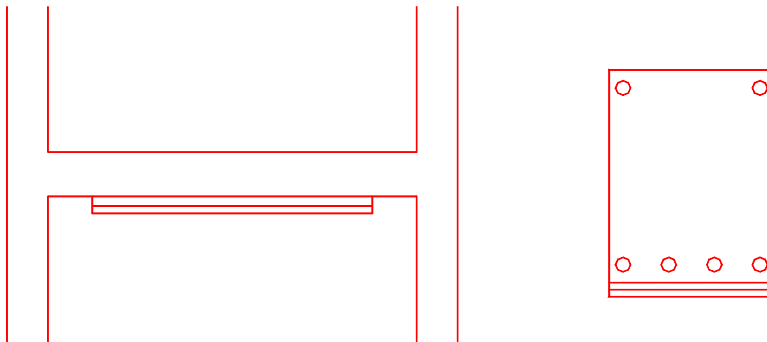
### MASILLAS EPOXI PARA ENCOLADOS DE ACERO.

Características de una masilla epoxídica tipo para emplear en encolados de acero a hormigón.

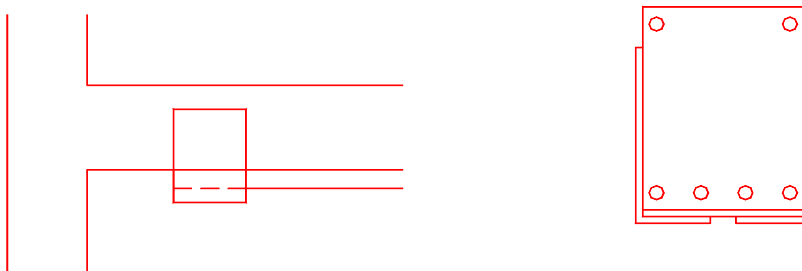
	<b>Masilla epoxi</b>
Resistencia a compresión (kp/cm <sup>2</sup> )	1000 a 1200
Resistencia a flexotracción (kp/cm <sup>2</sup> )	400 a 450
Módulo dinámico de elasticidad (kp/cm <sup>2</sup> )	(17 a 22)·10 <sup>4</sup>
Módulo dinámico de elasticidad transversal (kp/cm <sup>2</sup> )	(7 a 8.5)·10 <sup>4</sup>
Coefficiente de Poisson (kp/cm <sup>2</sup> )	0.27
Coefficiente de dilatación térmica (kp/cm <sup>2</sup> )	(2 a 2.5)·10 <sup>-5</sup>

## REFUERZO DE VIGAS A FLEXIÓN

Generalmente solo es posible el refuerzo de vigas para momentos positivos. Hay que aceptar una plastificación suficiente para momentos negativos.



Es conveniente hacer un adecuado anclaje en sus extremos.



Es conveniente que el espesor de la chapa sea menor de 3 o 4 mm. Las chapas de anclaje pueden llegar a 10 mm.

Si se utilizan soldaduras a tope en las chapas conviene poner tapajuntas.

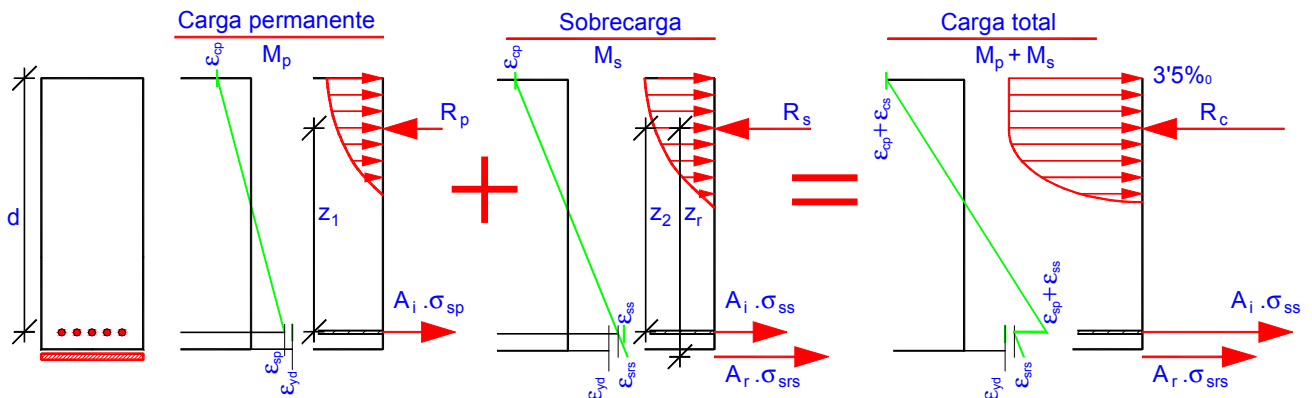
## CÁLCULO

Generalmente la viga a reforzar estará sometida a las cargas permanentes (es raro que se pueda descargar totalmente). Tras el refuerzo deberá resistir las cargas permanentes y las sobrecargas.

$M_p$  = Momento de las cargas permanentes.

$M_s$  = Momento de las sobrecargas.

$M_t = M_p + M_s$



Condiciones que deberán cumplirse:

$$\sigma_{cp} + \sigma_{cs} \leq \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (\text{agotamiento del hormigón})$$

$$\sigma_{sp} + \sigma_{ss} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (\text{agotamiento de la armadura})$$

$$\sigma_{srs} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (\text{agotamiento del refuerzo})$$

La tensión a la que trabaja el acero en la armadura bajo carga permanente será.

$$N_i = A \cdot \sigma_{sp} = \frac{M_p}{z_i} \quad \sigma_{sp} = \frac{M_p}{z_i A}$$

Si hacemos en el estado s que la armadura y el refuerzo trabajen a la misma tensión.

$$\sigma_{ss} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} - \sigma_{sp} = \sigma_{srs}$$

Y por tanto deberá cumplirse

$$\frac{f_{yk}}{\gamma_s} - \sigma_{sp} \leq \frac{f_{yrk}}{\gamma_s}$$

Es decir

$$f_{yrk} \geq f_{yk} - \gamma_s \sigma_{sp} = f_{yk} - \gamma_s \frac{M_p}{z_i A}$$

En consecuencia el acero del refuerzo puede tener una resistencia característica menor que el acero de la armadura.

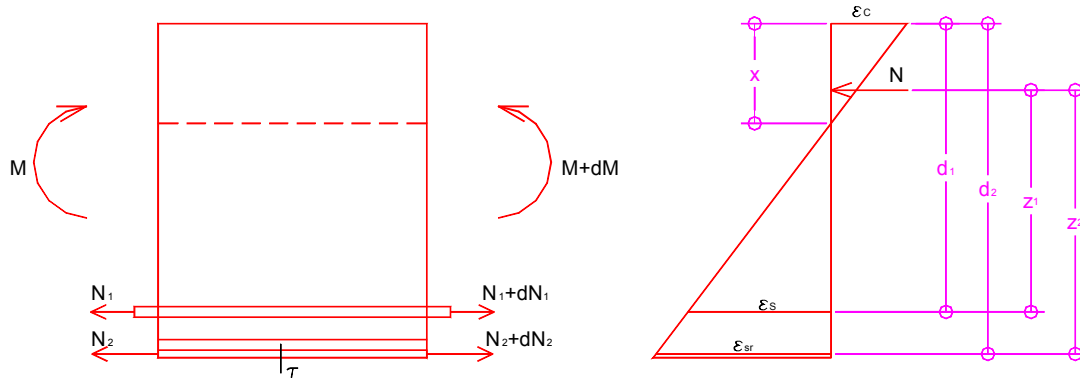
Así pues aplicando el equilibrio al estado S.

$$\frac{M_s}{z_s} = A \cdot \sigma_{ss} + A_r \sigma_{srs} \cong (A + A_r) \sigma_{srs}$$

Con lo que el área de la banda de refuerzo será:

$$A_r \cong \frac{M_s}{z_s \cdot \sigma_{srs}} - A$$

En estas uniones suele ser más crítica la comprobación de adherencia que la propia de flexión.



Planteando la ecuación de equilibrio.

$$M + dM - M = dM = dN_1 z_1 + dN_2 z_2$$

Planteando la compatibilidad de deformaciones.

$$\frac{\epsilon_s}{d_1 - x} = \frac{\epsilon_{sr}}{d_2 - x} \quad \frac{\sigma_s}{d_1 - x} = \frac{\sigma_{sr}}{d_2 - x} \quad \frac{dN_1}{A(d_1 - x)} = \frac{dN_2}{A_r(d_2 - x)}$$

$$dM = dN_2 z_1 \frac{A(d_1 - x)}{A_r(d_2 - x)} + dN_2 \cdot z_2$$

$$dN_2 = \frac{dM}{z_2 + z_1 \frac{A(d_1 - x)}{A_r(d_2 - x)}}$$

Pero la tensión de adherencia ha de equilibrar la diferencia de esfuerzos en el refuerzo.

$$b \cdot \tau \cdot ds = dN_2 = \frac{dM}{z_2 \left[ 1 + \frac{z_1 \cdot A \cdot (d_1 - x)}{z_2 \cdot A_r \cdot (d_2 - x)} \right]}$$

y recordando que  $v = \frac{dM}{ds}$

$$\tau = \frac{v}{b \cdot z_2 \left[ 1 + \frac{z_1 \cdot A \cdot (d_1 - x)}{z_2 \cdot A_r \cdot (d_2 - x)} \right]}$$

v es el cortante que se produce en el elemento tras reforzarlo.

Generalmente estas uniones fallan por el hormigón. Fernández Cánovas recomienda que no se supere la resistencia del hormigón a flexión que según el Código Modelo CEB será:

$$\tau_{\max} \leq f_{\text{cm,m}} \cong f_{\text{ct,m}} \left| 0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{h}} \right| \cong 0.3 f_{\text{ck}}^{2/3} \left( 0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{h}} \right)$$

$$f_c = \text{kg} / \text{cm}^2$$

$$h = \text{m}$$

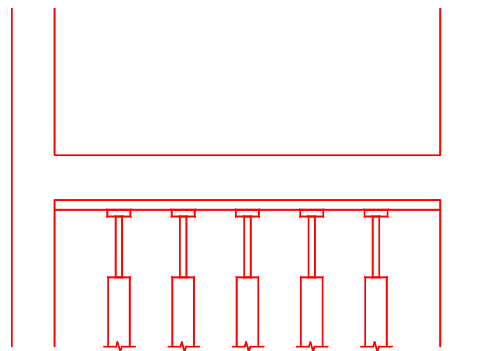
Ejemplo:

Viga de 25 x 40  $f_{\text{ck}}=175 \text{ kg/cm}^2$

$$\tau_{\max} \leq 0.3 \cdot 175^{2/3} \left| 0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.4}} \right| = 10.35 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

## RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

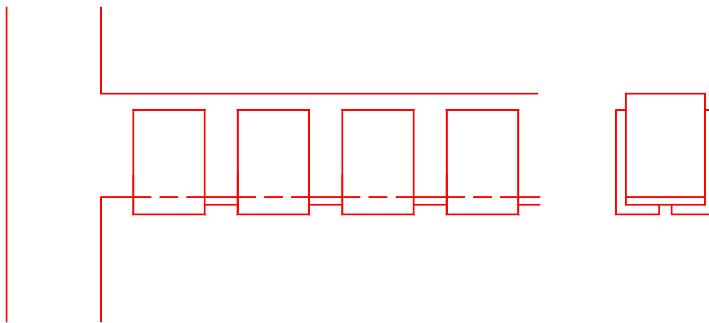
- # La sección de la banda de acero debe ser 1.5 veces la obtenida en el cálculo.
- # Conviene emplear estos refuerzos en hormigones de  $f_{ck} \geq 175 \text{ kg/cm}^2$
- # Capa de resina  $e \leq 1.5\text{mm}$ .
- # Banda de acero  $e \leq 3\text{mm}$ , salvo con anclaje especial.
- # No debe incrementarse la resistencia a flexión ni a cortante en más del 50% del material base.
- # Esta técnica exige conocer con seguridad.
  - ! Calidad del hormigón
  - ! Tipo y colocación de la armadura.
  - ! Cargas que ha de soportar.
- # Cuidar especialmente que no se produzca rotura frágil de la armadura existente (aceros estirados en frío).
- # Hay que aplicar presión a la unión. Son buenos los puntales telescópicos de acero con tornillo de regulación. Conviene dejarlos 7 días.





## REFUERZO DE VIGAS A CORTANTE

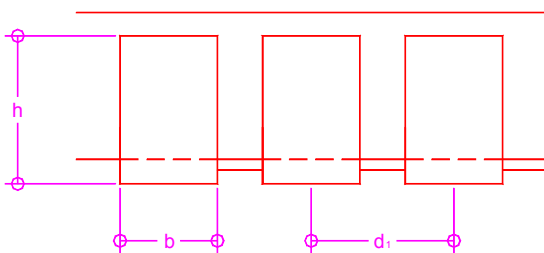
Previamente hay que evaluar cuidadosamente la resistencia residual de la viga y asegurarnos que los cercos no se han roto. Si hay fisuras hay que inyectarlas con resina.



Puede reforzarse con una banda continua o con bandas transversales. En la zona comprimida puede producirse pandeo.

### CÁLCULO

Puede calcularse como si fuera el alma de una viga metálica.



$$\tau \cong 1.15 \frac{V_d}{A} \leq \tau_d$$

$$\tau \cong 1.15 \frac{V \cdot \gamma_f}{2 \cdot e \cdot h \cdot \frac{b}{d_{1d}}}$$

V es el refuerzo a cortante que tiene que absorber el refuerzo.

Nota:  $\tau_d = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}}$

Si las bandas penetran suficientemente en la cabeza de compresión del hormigón, puede emplearse la regla del cosido que da valores menos conservadores.

$$V_{su} = \frac{A f_{yd}}{s} 0.9 \cdot d (\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cos} \alpha)$$

$$\alpha = 90^\circ$$

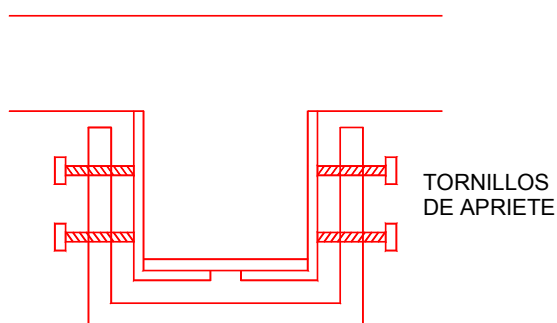
En este caso  $A = e \cdot b$

$$s = d_1$$

$$V_{su} = \frac{2 \cdot e \cdot b \cdot f_{yd}}{d_1} \cdot 0.9 \cdot d$$

## DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

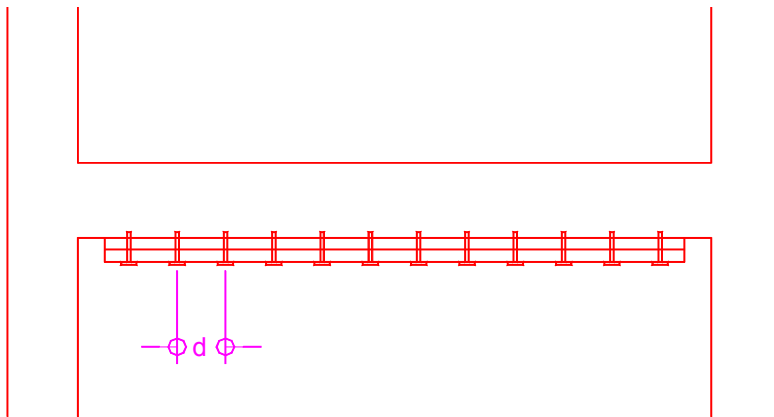
- Deben emplearse bandas de  $e \leq 3 \text{ mm}$ .
- Cuidar su protección en ambientes corrosivos. Si es preciso aumentar su espesor.
- Si se emplean bandas discontinuas  $b \leq 30 \text{ cm}$ .
- Hay que aplicar presión a la unión.



## UNIONES FIJADAS CON TACOS (spits)

En algunos casos en los que no pueda utilizarse el pegado con resinas epoxi, puede utilizarse el refuerzo de vigas por medio de chapas metálicas sujetas con tacos especiales para hormigón. Estas uniones tienen en general menos resistencia que las encoladas pero evitan los problemas de fluencia y son de ejecución más rápida.

## REFUERZO DE VIGAS A FLEXIÓN



### CÁLCULO

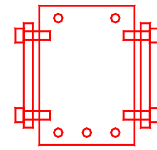
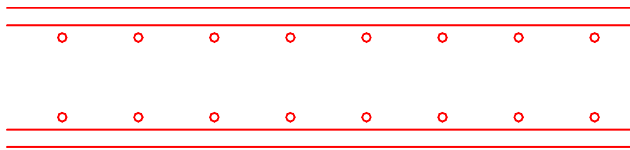
- Las dimensiones de la chapa se calculan igual que en el caso de encolado.
- Los tacos precisos se determinan por la condición de adherencia.

$$T = \tau \cdot d = \frac{V \cdot d}{b \cdot z_2 \left| \frac{z_1 A (d_1 - x)}{z_2 A (d_2 - x)} \right|}$$

T = esfuerzo de cizalladura en el taco.

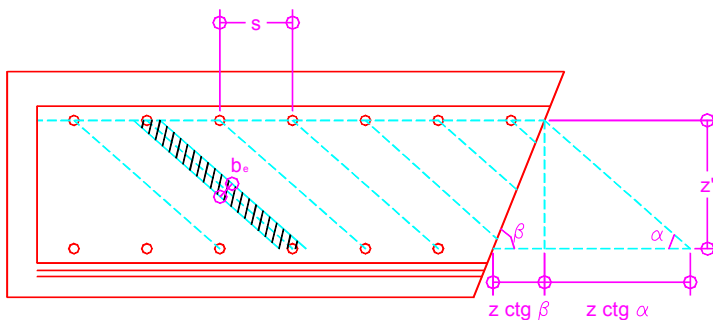
## REFUERZO A CORTANTE

En este caso es conveniente utilizar unas planchas laterales continuas. Prácticamente este tipo de refuerzo salvo en casos especiales que exijan una intervención inmediata.



### CÁLCULO

Puede efectuarse por la analogía de la celosía.



$V'_d$  = cortante mayorado del refuerzo.

$$V'_d = \frac{z'}{s} (\sen \alpha + \cos \alpha) A_\alpha \sigma_\alpha \quad A_\alpha \sigma_\alpha = T \text{ (taco)}$$

Fijada la resistencia del taco se calcula la separación  $s$ .

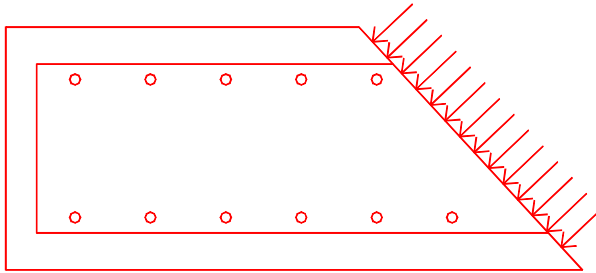
Comprobación de la biela de tracción.

Área  $\rightarrow A = b_e \cdot e$   $b_e$  = ancho efectivo

$$\sigma^* = \frac{A_\alpha \cdot \sigma_\alpha}{b_e \cdot e} \cdot \gamma_f \leq \sigma_d$$

Con lo que se determina el espesor de la chapa.

## COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN



El cortante producirá compresiones que han de ser absorbidas por el hormigón y por el acero.

$$V_d \leq f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \text{sen}^2\beta(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta) + f_{yd} \cdot e \cdot z' \cdot \text{sen}^2\beta(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta) \cdot \omega$$

Siendo

$$z = 0.9 \cdot d$$

$z'$  = distancia entre filas de tacos

$\omega$  = coeficiente de pandeo de la chapa

# REFUERZOS EN OTROS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

## REFUERZOS EN FORJADOS

### Patología.

- Deformaciones excesivas.
- Efectos de punzonamiento.
- Apertura de huecos.
- Defectos en voladizos.

### Tipos de refuerzos a flexión.

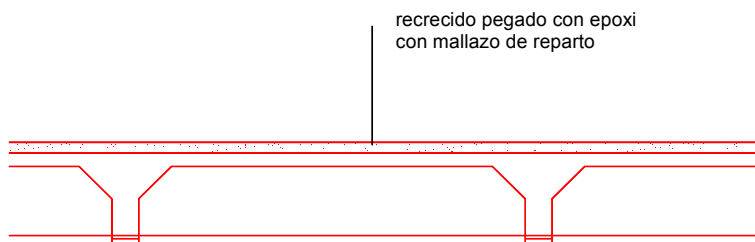
- Bandas metálicas encoladas con epoxi.
- Vigas parteluces.

### Refuerzos para punzonamiento.

- Capitel de hormigón.
- Capitel metálico.

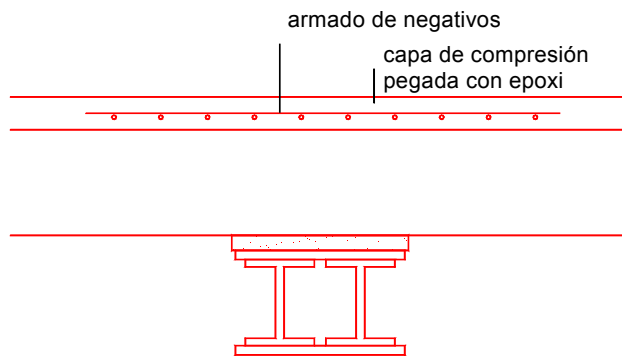
## REFUERZO DE FORJADOS A FLEXIÓN

- A. Bandas metálicas encoladas con epoxi: Se calculan igual que en el caso de vigas. Es preferible no tener en cuenta la armadura de la vigueta.



B. Vigas parteluces.

- Es rápido y efectivo.
- Produce momentos negativos en las viguetas que pueden exigir colocar una malla sobre la viga parteluz.

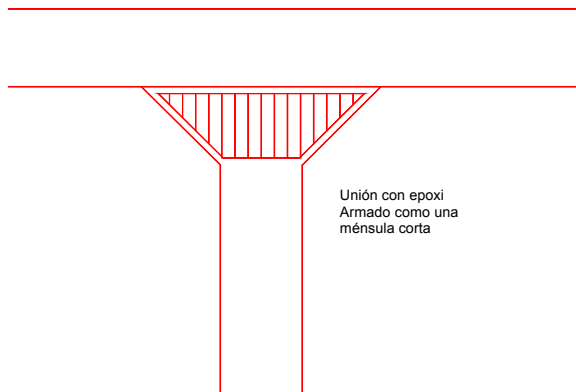


- Unión muy cuidadosa con el forjado: cuñas metálicas y retacado con un mortero de alta resistencia y ligeramente expansivo.

**CÁLCULO:** Estas vigas se calculan como biapoyadas en vigas soporte unidas a un zuncho en la cabeza de los pilares.

## REFUERZO DE FORJADOS A PUNZONAMIENTO

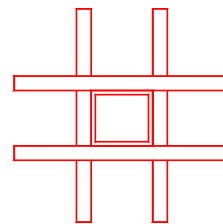
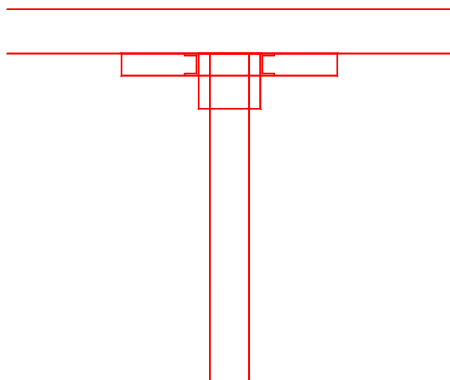
### a. Formación de capitel.



Unión con epoxi.

Armado como una ménsula corta.

### b. Por angulares metálicos.



Hay que acuar y retocar los perfiles con un mortero de alta resistencia y ligeramente expansivo.

Se calcula a cortante.



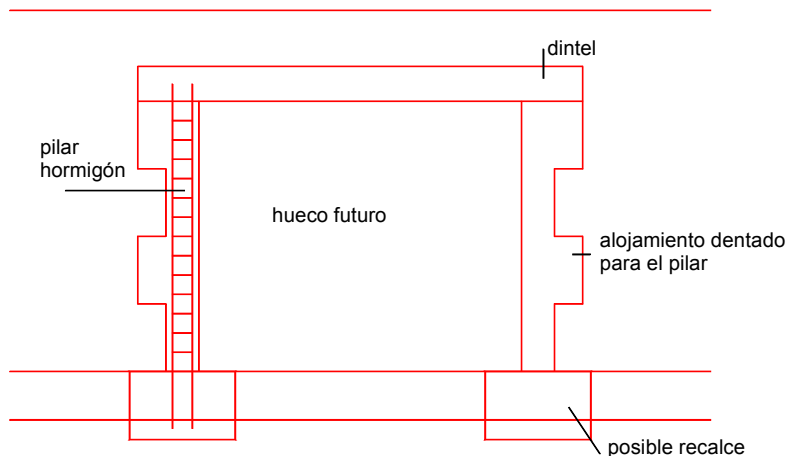
## HUECOS EN MUROS

Es una operación que puede ser muy compleja y peligrosa → Exige precauciones especiales.

Afecta a una parte importante de la estructura.

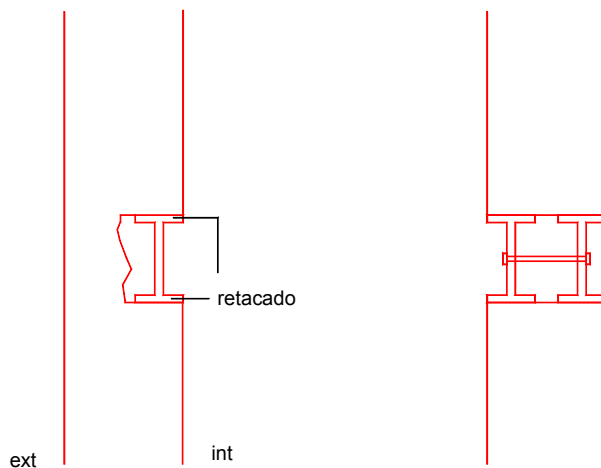
### PROCESO

- Apeo del muro en el que se va a abrir el hueco. Es importante acuar bien las vigas sobre el apeo.
- A veces hay que recalzar los bordes del hueco.
- Comprobar el muro para ver si puede resistir las cargas del dintel. Si no hay que colocar refuerzos en las jambas.



En general en muros de hormigón no suele ser preciso, pero conviene comprobarlo siempre.

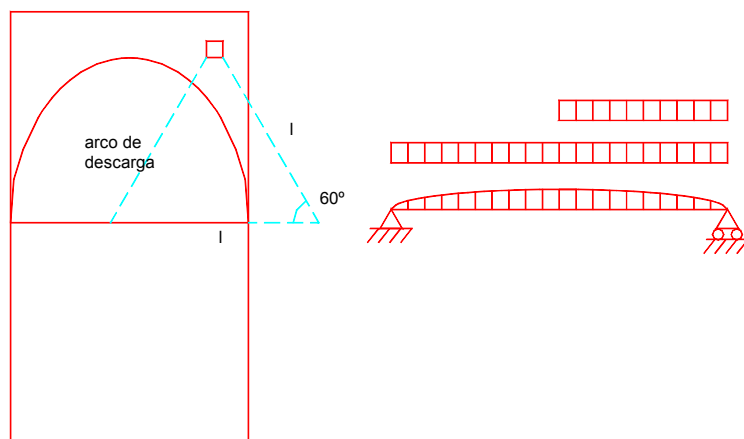
- Apertura de la roza para alojamiento del dintel (perfiles I, viguetas pretensadas, viga de hormigón) .



- 1º.- Se coloca la viga interior.
- 2º.- Se coloca la exterior y se una con pernos.
- 3º.- Se derriba el hueco.

- Derribo del muro.  
Ladrillo, bloque o piedra: métodos manuales.  
Hormigón: martillo neumático.  
lanza de oxígeno.  
disco de diamante.

## CÁLCULO DEL DINTEL



1. Carga parabólica de arco de descarga.
2. Carga uniforme de cualquier forjado que actúe en la zona de influencia.
3. Carga uniforme parcial de cualquier viga que actúe en la zona de influencia.