

ANEXO A

Modelización de tipologías estructurales usuales

A	Viguetas.....	A.3
13	Aspectos generales	A.3
14	Nervios de hormigón armado in situ.....	A.5
15	Viguetas y semiviguetas armadas	A.7
16	Viguetas y semiviguetas pretensadas.....	A.8
17	Placas alveolares.....	A.8
18	Viguetas de acero	A.9
19	Viguetas de madera	A.11
B	Vigas sobre pilares	B.13
0	Aspectos generales	B.13
7	Vigas planas de hormigón armado	B.13
8	Vigas de canto de hormigón armado.....	B.14
9	Vigas de acero laminado o armado	B.14
10	Cerchas metálicas o de madera.....	B.15
11	Vigas de madera	B.15
12	Emparillado.....	B.16
C	Losas	C.17
0	Aspectos generales	C.17
13	Losa maciza de hormigón armado	C.19
14	Losa aligerada de hormigón armado	C.21

D	Modelización de otros elementos estructurales	D.23
I	Muros de contención y de sótano	D.23
II	Muros, losas, vigas pared y placas de anclaje de acero	D.23
III	Tableros de madera	D.23
IV	Forjados de chapa grecada metálica sin hormigón vertido.....	D.24
V	Vigas de acero armadas.....	D.24
VI	Cables y estructuras tesadas	D.24
VII	Vigas y losas postesadas de hormigón	D.25
VIII	Vigas y pilares de hormigón de canto variable	D.25
IX	Vigas de acero de canto variable. Pórticos acartelados	D.25
X	Losas de canto variable. Ábacos fungiformes.....	D.26
XI	Losas articuladas en apoyos.....	D.26
XII	Piezas mixtas hormigón – acero/madera.....	D.27
XIII	Forjados de chapa colaborante.....	D.27
XIV	Muros de ladrillo	D.27
XV	Pilastras de fábrica, muros apilastrados.....	D.27
XVI	Vanos y dinteles en muros portantes de fábrica	D.28
XVII	Cerramientos, medianeras y tabiques	D.28
XVIII	Edificios en altura, acortamiento	D.29
XIX	Elementos muy gruesos de fábrica u hormigón: pilastras, muros, arcos, bóvedas y cúpulas	D.30
XX	Cáscaras	D.30
XXI	Mallas espaciales.....	D.30
XXII	Estructuras con tendencia al vuelco	D.30

SOLUCIONES ESTRUCTURALES

Elementos de apoyo Elementos apoyados		pilares			muros		vigas (sobre pilares o muros)				
		HA	acero	madera	HA	fábrica	HA planas	HA canto	acero	cercha	madera
A) viguetas	1. nervios HA	-	-	-	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
	2. armadas	-	-	-	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5
	3. pretensadas	-	-	-	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5
	4. pl.alveolares	-	-	-	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5
	5. acero	-	-	-	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5
	6. madera	-	-	-	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5
B) vigas	7. HA planas	7.1	7.2	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	8. HA canto	8.1	8.2	8.3	-	-	-	12.1	-	-	-
	9. acero	9.1	9.2	9.3	-	-	-	-	12.2	-	-
	10. cerchas	10.1	10.2	10.3	-	-	-	-	-	12.3	-
	11. madera	11.1	11.2	11.3	-	-	-	-	-	-	12.4
C) losas	13. maciza	13.1	13.1	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8
	14. aligerada	14.1	14.1	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8

LEYENDA: adecuada, menos adecuada, poco adecuada

A Viguetas

13 Aspectos generales

Los forjados unidireccionales de viguetas suelen formar paños insertos en estructuras porticadas (pilares y vigas) o bien apoyar directamente en muros de carga. Generalmente se dimensionan y construyen de manera sensiblemente homogeneizada, es decir, con unos pocos tipos de nervios y armados. Están formados por la amalgama de dos tipos de elementos: viguetas (en ocasiones pretensadas o con armado distinto al de viga) y losa superior (capa de compresión), lo que dificulta su modelización por medio de barras simples. En general, la modelización de elementos superficiales con comportamiento unidireccional es compleja, pues debe repartir las cargas sólo en una dirección pero al mismo tiempo arristrar en las dos direcciones (gracias a la capa de compresión o equivalente). Por todo ello, suele ser más cómodo y práctico elaborar dos modelos para analizar y dimensionar todos los elementos de la estructura:

- 1) un modelo general que incluya muros, pilares y vigas, y donde los forjados aparecen como una entidad que reparte peso a aquéllos y que aporta rigidez transversal;
- 2) y un modelo simplificado particular para dimensionar las viguetas por paños homogeneizados, como vigas continuas sobre apoyos diversos

Para simular en el modelo general la carga que transmite el forjado, han de usarse las "áreas de reparto" unidireccionales y/o voladizos, donde han de introducirse todas las cargas que soporta, incluso el peso propio del forjado. Y la rigidez transversal se le dota mediante la colocación de una "losa virtual": una losa de poco espesor (unos 5 cm

suele bastar), de peso nulo (material de usuario "Hormigón Rigidización"). Como esta losa sólo sirve para solidarizar todos los elementos dentro de la misma planta, es suficiente con que haya 4 cuadriláteros en cada paño.

Si las luces de forjado son muy distintas (relación mayor de 2:1 en tramos contiguos), el reparto de cargas por defecto (isostático) sobre vigas o muros deja de ser una buena aproximación. Es decir, cada viga no se lleva necesariamente la carga equivalente a la mitad a cada lado. Este fenómeno se puede modelizar estirando las áreas de reparto para que ocupen un área proporcional a la fracción de carga que soporta cada apoyo (viga o muro), según la distribución hiperestática de reacciones. Estas fracciones pueden obtenerse mediante la simple modelización de una vigueta continua y obteniendo las reacciones.

La única precaución que hay que tener cuando se trabaja sobre el modelo global es en referencia a la carga sobre voladizos. Cuando en una estructura porticada aparece un voladizo de viguetas, en el modelo global se representa mediante un área de reparto de voladizo delimitada por una viga, dos zunchos laterales y un zuncho de atado de borde. La carga lineal de extremo de voladizo no debe bajo ningún concepto colocarse sobre el zuncho de atado, pues provocaría una flexión irreal en el mismo, así como torsiones en los zunchos laterales, debido todo ello a que en ningún momento se están modelizando las viguetas, que son los elementos que realmente se flexionan y transmiten la carga hasta la viga correspondiente. Por tanto, la carga debe colocarse directamente sobre dicha viga y no sobre el borde del voladizo.

El modelo específico para las viguetas se realiza mediante el ítem Forjados . Se obtiene así el dimensionado para una cantidad pequeña de viguetas tipo. El análisis es plástico y no tiene en cuenta los efectos de flexión debidos a acciones horizontales, de lo cual se obtiene un dimensionado razonable para edificios usuales.

Si el edificio tiene gran altura y/o está sometido a cargas horizontales fuertes (viento, sismo, etc.), este segundo modelo devuelve un armado insuficiente a negativos. Para tener en cuenta el efecto de estas acciones transversales sobre las viguetas, se hace necesario incluirlas en el modelo general como barras de sección y material correspondiente (secciones en "T" de hormigón, perfiles metálicos, escuadrías de madera...), aplicando la carga directamente sobre estas barras como carga lineal, por lo que deja de ser necesario colocar áreas de reparto; las "losas virtuales" siguen siendo imprescindibles. Se obtiene así las solicitaciones y dimensionado ajustados, resultados que se deben comparar con los que ofrece El ítem Forjados para corregirlos.

No es necesario modelizar las viguetas de todas las plantas; basta con efectuar esta operación para unas pocas plantas estratégicamente elegidas (la más alta, una media y una baja, por ejemplo). Para simular adecuadamente el comportamiento global del edificio a efectos de deformaciones, es necesario añadir en el resto de plantas unos "zunchos virtuales" en la dirección de las viguetas, de sección diferente para cada caso (se explica en concreto para cada solución). Si se desea un análisis más riguroso de solicitaciones y movimientos, se pueden modelizar las viguetas en todas las plantas.

En el caso en que se modelicen viguetas de hormigón como barras a flexión que apoyan en otras vigas, no en pilares, hay que usar la orden "acortar barras" para que

arme cada tramo por separado; de lo contrario, arma todo el tren como si de un vano se tratara.

14 Nervios de hormigón armado in situ

14.1 Nervios de hormigón armado in situ sobre muros de hormigón armado

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

Para el modelizado de muros en general → C) 0

Específicamente para la tipología 1.1:

Las áreas de reparto están preparadas para transmitir carga hacia barras (vigas), no hacia nudos de elementos finitos (muros). Por ello, hay que insertar zunchos de coronación en los muros del modelo, que serán los que reciban la carga de las áreas de reparto.

Cuando proceda modelizar unas pocas plantas con viguetas y el resto sólo con "zunchos virtuales" para que el comportamiento global frente a acciones horizontales sea adecuado –explicado en A) 0–; dichos zunchos se colocarán cada 6 o 7 m, con una sección equivalente a la suma de los nervios contenidos entre cada uno de ellos. Es decir: se sustituyen nervios en todo el paño por zunchos cada cierta distancia con una inercia equivalente a los nervios omitidos.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que el modelo general con áreas de reparto no provoca momentos flectores en los muros, sólo transmiten carga vertical. Dichos momentos aparecen en muros extremos (dependiendo del "grado de empotramiento o apoyo" del forjado al muro*) o en muros interiores con luces muy distintas a ambos lados. Es razonable despreciar momentos flectores en plantas bajas, donde el axil es bastante grande y "centra" la carga, estabilizando el muro. Sin embargo, en las últimas plantas el momento es importante respecto al poco axil que soporta, luego no se debe despreciar. Este fenómeno es fácilmente simulable sin tener que recurrir a modelizar viguetas: se puede estirar el área de reparto, separándola del zuncho de coronación una cierta distancia (siempre menor que el entorno de captura) hacia el interior del vano, de tal manera que transmita la carga con una excentricidad. Dicha distancia debe ser la que provoque un momento flector a elegir (supuesto comportamiento plástico; se puede tomar un momento igual a la mitad del MEP (momento de empotramiento perfecto).

Si, por el contrario, no se desea tener en cuenta el momento para vanos extremos, considerando el forjado como apoyado en el extremo, entonces debe dimensionarse y construirse para que no soporte ni "atraiga" momento flector (con armado de negativos mínimo).

14.2 Nervios de hormigón armado in situ sobre muros de fábrica

Análogo a 1.1, salvo en la magnitud de la excentricidad a considerar en la entrega del área de reparto sobre el zuncho de coronación del muro, como se explica a continuación.

Según el CTE, en vanos extremos de última planta, el forjado se puede considerar que apoya y transmite su carga al muro a una distancia de $\frac{1}{4}$ de la longitud real de apoyo del forjado en el muro, medida desde la cara interior del muro hacia adentro. En vanos interiores de última planta, los muros interiores reciben la carga de cada forjado a $\frac{1}{4}$ de la anchura del muro, medida desde el borde del muro hacia adentro. Y en muros extremos del resto de plantas, se debe transmitir la carga de forjado a una distancia tal que provoque un momento por excentricidad igual a la fracción correspondiente del MEP, según rigideces relativas entre forjado y muros, que le correspondería al forjado. Si mediante estos procedimientos el muro no cumpliera por flexión, el CTE proporciona más recursos para hacerlos cumplir.

Si se modelizan los nervios explícitamente, hay que hacerlos apoyar en los muros a las distancias explicadas en el párrafo anterior.

14.3 Nervios de hormigón armado in situ sobre vigas de hormigón

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

Específicamente para la tipología 1.2:

En edificios con cargas horizontales importantes, donde haya que modelizar las viguetas individualmente, se debe calcular el modelo suponiendo que las vigas tienen inercia a torsión nula, modificando el factor de cálculo correspondiente. Las vigas de hormigón tienen una sección bruta con mucha inercia a torsión, pero que se fisuran con muy poco esfuerzo, luego conviene no tenerlo en cuenta y que las viguetas puedan girar libremente en todos los apoyos.

Los armados resultantes de estos nervios serán todos diferentes entre sí; habrá que homogeneizar por trenes, dividiendo los nervios en dos tipos: los que están cerca de pilares (que tendrán mucho más armado de negativos que los obtenidos con El ítem Forjados) y los que están en medio de vanos (con negativos parecidos a los de El ítem Forjados).

En el caso en que se modelicen las viguetas sólo en unas determinadas plantas, habrá que colocar en el resto unos zunchos virtuales entre pilares, zunchos que en este caso deben tener una inercia aproximadamente igual al conjunto de nervios contenido en $L/6$ a cada lado (pórticos virtuales).

Existe una situación especial que se debe atender cuando existen voladizos en la dirección de las viguetas, y se haya modelizado de manera general como un área de reparto de voladizo cerrada por un zuncho de borde. Si se debe asignar una carga lineal en todo el borde del voladizo (carga de cerramiento, peto, uso en voladizo...), sería un error el colocar dicha carga sobre el zuncho de borde, pues provocaría un comportamiento distinto al real: dicha barra actuaría como viga biapoyada en los zunchos laterales, flectada a causa de esa carga lineal. En la realidad esa carga haría flexionar a todo el conjunto de viguetas voladas, transmitiendo la carga hasta la viga correspondiente. Por ello, la modelización más adecuada consiste en aplicar

directamente la carga lineal sobre la viga en el modelo general, y dimensionando luego la vigueta con El ítem Forjados teniendo en cuenta la posición real de la carga en punta de voladizo.

14.4 Nervios de hormigón armado in situ sobre vigas de acero

Análogo a 1.3.

Hay dos maneras de resolver esta tipología:

- con el perfil metálico embebido en el hormigón del forjado
- colocando el perfil bajo una viga de hormigón que actúa como cabeza comprimida de una sección mixta acero-hormigón

La modelización de ambas piezas mixtas se explica en D) X

14.5 Nervios de hormigón armado in situ sobre vigas de madera

Análogo a 1.4.

En este caso no es recomendable la solución de embeber la viga en el hormigón; sí es usual la formación de una viga mixta madera-hormigón. En general, se puede contar con la inercia a torsión de las vigas de madera

15 Viguetas y semiviguetas armadas

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

La corrección del dimensionado teniendo en cuenta acciones horizontales debe influir tanto en el armado de negativos como en la propia elección de la semivigueta (zapatilla), en cuyo interior van alojadas las armaduras a positivos.

15.1 Viguetas armadas sobre muros de hormigón armado

Análogo a 1.1

15.2 Viguetas armadas sobre muros de fábrica

Análogo a 1.2

15.3 Viguetas armadas sobre vigas de hormigón armado

Análogo a 1.3

15.4 Viguetas armadas sobre vigas de acero

Análogo a 1.4

15.5 Viguetas armadas sobre vigas de madera

Análogo a 1.5

16 Viguetas y semiviguetas pretensadas

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

La corrección del dimensionado teniendo en cuenta acciones horizontales debe influir tanto en el armado de negativos como en la propia elección de la vigueta o semivigueta pretensada, para su correcto comportamiento a positivos.

16.1 Viguetas pretensadas sobre muros de hormigón armado

Análogo a 1.1

16.2 Viguetas pretensadas sobre muros de fábrica

Análogo a 1.2

16.3 Viguetas pretensadas sobre vigas de hormigón

Análogo a 1.3

16.4 Viguetas pretensadas sobre vigas de acero

Análogo a 1.4

16.5 Viguetas pretensadas sobre vigas de madera

Análogo a 1.5

17 Placas alveolares

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

Los forjados de placas alveolares no están implementados en El ítem Forjados , por lo que sólo se puede obtener el dimensionado de la estructura sobre la que apoya dicho forjado.

A efectos del modelo general, hay que distinguir entre placas alveolares con o sin capa de compresión. Sólo se podrá dotar al modelo de una "losa virtual" para la rigidez transversal si hay capa de compresión. Asimismo, si no hay capa de compresión el forjado se puede analizar como biapoyado, por lo que las reacciones sobre los apoyos y por tanto el reparto de cargas es isostático (*). Por ello, no es necesario plantearse la relación entre luces consecutivas a efectos de estirar las áreas de reparto.

17.1 Placas alveolares sobre muros de hormigón armado

Análogo a 1.1

Si no se dispone una capa de compresión, se puede considerar que no aparecen momentos en los muros. Del lado de la seguridad, se podría suponer una entrega excéntrica en los muros extremos, equivalente a lo que marca el CTE para muros de fábrica (→ 1.2)

17.2 Placas alveolares sobre muros de fábrica

Análogo a 1.2

Si no se dispone una capa de compresión, se puede considerar que no aparecen momentos en los muros. Del lado de la seguridad, se podría suponer una entrega excéntrica en los muros extremos, equivalente a lo que marca el CTE para muros de fábrica (→ 1.2)

17.3 Placas alveolares sobre vigas de hormigón

Análogo a 1.3

17.4 Placas alveolares sobre vigas de acero

Análogo a 1.4

17.5 Placas alveolares sobre vigas de madera

Análogo a 1.5

18 Viguetas de acero

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

Las tipologías más comunes de forjados de viguetas metálicas son las siguientes:

- forjado ligero de correas sobre vigas, sin losa superior
- forjado de chapa colaborante
- forjado de viguetas y bovedillas (para forjados sanitarios o cualquier otra situación donde convenga no apuntalar viguetas)

El primer caso se puede modelizar con áreas de reparto sobre el modelo general, y sin disponer ninguna "losa virtual", pues no hay capa de compresión. Las viguetas de acero no necesitan dimensionarse con El ítem Forjados . Se pueden dimensionar como viga continua sobre apoyos, o bien incluirlas todas en el modelo general; esta última opción en la mayoría de los casos es muy costosa (hay que calcular la carga lineal que le corresponde a cada vigueta) y, a menos que haya cargas horizontales importantes, es poco más rigurosa.

El segundo caso se explica en 11.6.

El tercer tipo tiene un funcionamiento algo más complejo. La modelización que más se aproxima al comportamiento real es la de un forjado de nervios de hormigón in situ (1.1), que utiliza el perfil metálico como armado de positivos. De hecho, lo óptimo es que el perfil metálico se proyecte sólo para sostener el peso propio del hormigón fresco, y que una vez endurecido quede embebido dentro de un nervio de hormigón que hay que armar a negativos.

Las tipologías que se explican a continuación (5.1 hasta 5.5), se supone que pertenecen al primero o segundo tipo (viguetas sin/con losa superior de hormigón).

Cuando se modelicen las viguetas en la estructura general, no es necesario usar la orden "acortar barras" (sólo para viguetas de hormigón).

18.1 Viguetas de acero sobre muros de hormigón armado

Análogo a 1.1.

En el supuesto de que se modelicen las viguetas, si éstas se van a construir pasantes sobre los muros, sin unión rígida a ellos, se debe modelizar el apoyo de tal manera que el muro no impida el libre giro de las viguetas. Esto se consigue apoyando las viguetas en un zuncho ficticio de inercia a torsión nula, produciéndose tales apoyos en puntos no coincidentes con los nodos de los elementos finitos del muro de hormigón; de esta manera, el giro de las viguetas en los apoyos no se transmite a los muros como momento flector.

18.2 Viguetas de acero sobre muros de fábrica

Análogo a 1.2.

En el supuesto de que se modelicen las viguetas, si éstas se van a construir pasantes sobre los muros, sin unión rígida a ellos, se debe modelizar el apoyo de tal manera que el muro no impida el libre giro de las viguetas. Esto se consigue apoyando las viguetas en un zuncho ficticio de inercia a torsión nula, produciéndose tales apoyos en puntos no coincidentes con los nodos de los elementos finitos del muro de hormigón; de esta manera, el giro de las viguetas en los apoyos no se transmite a los muros como momento flector.

18.3 Viguetas de acero sobre vigas de hormigón armado

Análogo a 1.3.

La influencia de la torsión en vigas es todavía más grande, con lo cual se hace imprescindible la consideración de vigas con inercia a torsión nula

18.4 Viguetas de acero sobre vigas de acero

Análogo a 1.3.

En este caso es menos peligroso el mantener la resistencia a torsión de las vigas, pues los perfiles metálicos no tienen casi inercia a torsión, exceptuando las secciones en cajón 2UPN y las tubulares de gran tamaño.

18.5 Viguetas de acero sobre vigas de madera

Análogo a 1.3.

19 Viguetas de madera

Para el modelizado de viguetas en general → A) 0

Las tipologías más comunes de forjados de viguetas de madera son las siguientes:

- forjado ligero de correas con tablero superior
- forjado de viguetas y revoltones
- forjado mixto de viguetas con losa superior de hormigón (usualmente en refuerzos estructurales)

El primer y último caso se explican en 11.6

El segundo caso se puede simular de igual modo que el tercero, como forjado mixto.

Cuando se modelicen las viguetas en la estructura general, no es necesario usar la orden "acortar barras" (sólo para viguetas de hormigón).

19.1 Viguetas de madera sobre muros de hormigón armado

Análogo a 1.1

En el supuesto de que se modelicen las viguetas, si éstas se van a construir pasantes sobre los muros, sin unión rígida a ellos, se debe modelizar el apoyo de tal manera que el muro no impida el libre giro de las viguetas. Esto se consigue apoyando las viguetas en un zuncho ficticio de inercia a torsión nula, produciéndose tales apoyos en puntos no coincidentes con los nodos de los elementos finitos del muro de hormigón; de esta manera, el giro de las viguetas en los apoyos no se transmite a los muros como momento flector.

19.2 Viguetas de madera sobre muros de fábrica

Análogo a 1.2

En el supuesto de que se modelicen las viguetas, si éstas se van a construir pasantes sobre los muros, sin unión rígida a ellos, se debe modelizar el apoyo de tal manera que el muro no impida el libre giro de las viguetas. Esto se consigue apoyando las viguetas en un zuncho ficticio de inercia a torsión nula, produciéndose tales apoyos en puntos no coincidentes con los nodos de los elementos finitos del muro de hormigón; de esta manera, el giro de las viguetas en los apoyos no se transmite a los muros como momento flector.

19.3 Viguetas de madera sobre vigas de hormigón armado

Análogo a 1.3.

19.4 Viguetas de madera sobre vigas de acero

Análogo a 1.4.

En este caso es menos peligroso el mantener la resistencia a torsión de las vigas, pues los perfiles metálicos no tienen casi inercia a torsión, exceptuando las secciones en cajón 2UPN y las tubulares de gran tamaño.

19.5 Viguetas de madera sobre vigas de madera

Análogo a 1.5

B Vigas sobre pilares

0 Aspectos generales

Las estructuras porticadas usuales de pilares y vigas se modelizan como conjuntos de líneas colocadas según los ejes reales de las barras. Para decidir sobre la conveniencia o no de simplificar el modelo haciendo coincidir las barras siempre en nudos, o por el contrario considerar las excentricidades de las barras entre sí, hay que tener en cuenta los siguientes criterios generales:

- Si se desea una mayor precisión de la posición de las barras con vistas a poder aprovechar la salida de planos del programa para la elaboración de los planos de forjado, se debe modelizar cada barra en la posición más exacta posible
- Es relativamente importante considerar la excentricidad de barras que transmiten axil, pues son susceptibles de generar momentos flectores. Tal es el caso de pilares de esquina (cuyos ejes no coinciden al cambiar el tamaño de la sección) o de cambios bruscos de la sección de las vigas en edificios sometidos a cargas horizontales muy altas. En los demás casos, primará el primer criterio.

7 Vigas planas de hormigón armado

7.1 Vigas planas de hormigón armado sobre pilares de hormigón armado

En casos donde se persiga una alta exactitud, se pueden modelizar las vigas planas de medianera como excéntricas respecto de los pilares, e incluso los zunchos de borde pueden situarse en su posición exacta.

Es conveniente quitar rigidez a los nudos extremos viga-pilar de última planta, relajando el giro en Z de los pilares en un rango de 0,3 a 0,8 (suponiendo un comportamiento plástico de los nudos). Cuanto más se relaje, menos momento negativo aparece en ambas barras, con lo cual el armado resultante tanto en cabeza de pilar como en negativos de viga no resulta excesivo y puede anclarse debidamente en la longitud disponible, que suele ser de 25 a 35 cm (canto de viga plana)

Para una correcta simulación del proceso de fisuración de las vigas y formación de rótulas plásticas en ELU, no es correcto quitarle inercia a flexión a las vigas (mediante los factores de cálculo), pues el efecto sería contraproducente: aumentaría el grado de empotramiento de las vigas a los pilares y con ello los momentos negativos. Lo correcto es aplicar para el dimensionado un porcentaje de redistribución de momentos, usualmente hasta un 15%.

7.2 Vigas planas de hormigón armado sobre pilares de acero

Análogo a 6.1. En este caso no es necesario relajar los nudos extremos superiores, pues debido a la gran inercia de la viga respecto al pilar, el comportamiento es casi de viga biapoyada, con poco momento flector en el extremo y por tanto con poco armado de negativos.

7.3 Vigas planas de hormigón armado sobre pilares de madera

Análogo a 7.1

8 Vigas de canto de hormigón armado

8.1 Vigas de canto de hormigón armado sobre pilares de hormigón armado

Análogo a 7.1. Se puede aplicar una relajación más moderada a los nudos extremos superiores, pues la longitud disponible para anclar la armadura de negativos es mayor (normalmente más de 45 cm)

8.2 Vigas de canto de hormigón armado sobre pilares de acero

Análogo a 7.2

8.3 Vigas de canto de hormigón armado sobre pilares de madera

Análogo a 7.3

9 Vigas de acero laminado o armado

9.1 Vigas de acero sobre pilares de hormigón armado

Análogo a 7.1. En algunos casos es importante colocar las vigas de medianera en su posición exacta excéntrica sobre los pilares. No es necesario colocar relajaciones en nudos extremos superiores, debido a que las armaduras del borde traccionado de los pilares se anclan a la chapa frontal de apoyo de la viga, por lo que no necesita recorrido de anclaje.

En el caso de que la entrega de la viga se produzca por apoyo en angular soldado al pilar, será conveniente modelizar la viga con su longitud real, más corta que la luz entre pilares, de tal manera que la entrega de la carga se produzca con una cierta excentricidad que añade momento al pilar. El entorno de captura debe ser mayor que esta distancia

La colocación de rigidizadores de alma en perfiles comerciales no influye en la modelización, puesto que son elementos que se colocan para garantizar un funcionamiento semejante al teórico, eliminando ciertos efectos locales que en ningún caso tiene en cuenta el programa de cálculo.

9.2 Vigas de acero sobre pilares de acero

Análogo a 9.1. Según el modelo constructivo de unión viga-pilar que se vaya a efectuar, será pertinente modelizar nudos semirrígidos mediante la inserción de relajaciones de extremos de barra con coeficientes desde 0 (giro libre) a 1 (giro impedido)

9.3 Vigas de acero sobre pilares de madera

Análogo a 9.2

10 Cerchas metálicas o de madera

10.1 Cerchas sobre pilares de hormigón armado

Las cerchas se modelizan como conjuntos de barras que coinciden en nudos. Constituye una buena modelización, del lado de la seguridad siempre que se construya con perfiles de clase de sección 1 o 2 (en cerchas metálicas), el considerar sus nudos como articulados, aunque se construyan como nudos rígidos (la opción más segura y económica). En ocasiones es necesario tener en cuenta las excentricidades en la transmisión de axiles en cada nudo, debido a que los ejes de las barras no sean exactamente concurrentes en un punto.

Cuando los pilares de apoyo son de hormigón, si se modeliza el nudo de apoyo como nudo rígido, pueden aparecer unos momentos nocivos sobre las barras de cercha concurrentes, que obligarían a un sobredimensionado de todo el cordón inferior (si se desea realizar con el mismo perfil). En esta situación también es correcto y seguro (siempre con secciones de clase 1 o 2 en acero) aplicar una relajación del giro en Z al pilar de apoyo, de tal manera que la cercha puede analizarse como simplemente apoyada, con lo que desaparecen los momentos parásitos.

Para la evaluación de la flecha de cerchas, es necesario comprobar manualmente el descenso relativo del nudo central con respecto a los movimientos de los apoyos, pues la flecha individual de cada barra no es relevante.

10.2 Cerchas sobre pilares de acero

Análogo a 10.1. Con pilares de acero usuales no aparecen momentos parásitos en las barras de cercha, luego no es necesario aplicar relajar el extremo del pilar

10.3 Cerchas sobre pilares de madera

Análogo a 10.2

11 Vigas de madera

11.1 Vigas de madera sobre pilares de hormigón armado

Análogo a 9.1

11.2 Vigas de madera sobre pilares de acero

Análogo a 9.2

11.3 Vigas de madera sobre pilares de madera

Análogo a 9.3

12 Emparillado

Los emparillados son entramados de varias familias de barras (generalmente 2), donde ambas tienen luces, rigideces y separaciones similares, y por tanto el comportamiento es de placa con flexión bidireccional. En los casos en que estas propiedades no sean similares, la estructura puede comportarse como si fuera de viguetas y vigas (una familia apoyando en otra), lo cual influye en su modelización (→ 12.1). A la hora de discutir sobre el comportamiento o no de emparillado, no influye el hecho de que las cargas se apliquen directamente sobre los nudos, sólo sobre una familia o sobre ambas familias.

Estas estructuras se modelizan mediante barras colocadas a eje de las piezas. Si hay diferencia de canto entre familias, no es necesario colocar cada familia en su posición real de construcción (a menos que la losa de cubrición sea estructural (→ 11.5, 11.6).

Para el caso en el que los vanos del emparillado se vayan a cubrir con placas no estructurales (vidrio, chapa, plástico...), dichas placas se representan mediante áreas de reparto unidireccionales o bidireccionales.

Todas las barras están solicitadas a torsión. Es importante decidir en cada caso si se puede contar con la resistencia a torsión, dependiendo del material.

12.1 Emparillado de vigas de hormigón

A la hora de dibujar las líneas que representan las vigas, es necesario conocer si el comportamiento es de emparillado o de vigas y viguetas; en el caso en que se trate de un emparillado, en ambas familias cada alineación de vigas tiene flexión completa, luego sólo pueden aparecer momentos negativos en el perímetro, y por tanto el armado cada alineación de vigas constituye un tren con armado en vano y negativos en extremos. Por el contrario, si una de las familias "se apoya" en otra, las alineaciones de vigas de esta familia secundaria (viguetas) deben armarse tramo por tramo, cada uno de ellos con su armado de vano y sus negativos. Esta distinta consideración se consigue mediante la orden "acortar barras" para las viguetas.

Por ello, si no se tiene total seguridad de que el comportamiento es de emparillado, conviene calcular la estructura previamente, observar dónde aparecen momentos negativos, y posteriormente aplicar la herramienta "acortar barras" sobre los tramos susceptibles de armarse individualmente

Como se explica en 1.3, es conveniente considerar que las vigas no resisten a torsión.

Si la diferencia de cantos entre las dos familias es considerable (una familia tiene el doble de canto que la otra), debe colocarse cada viga en su posición exacta, que marca el eje de gravedad de cada viga. De esta manera, las dos familias quedan a distinta cota. Es necesario que el entorno de captura sea mayor que la diferencia de cotas.

12.2 Emparrillado de vigas de acero

Se debe analizar la posición relativa de las familias (cómo se acometen entre sí) para decidir sobre si se puede o no contar con la resistencia a torsión. Si una familia es pasante sobre la otra, no se debe. Si se acometen en el mismo plano, se puede contar con ella, aunque no suele ser relevante.

12.3 Emparrillado de cerchas

No es relevante el problema de la torsión, no es necesario modificar el factor de inercia a torsión de las barras.

12.4 Emparrillado de vigas de madera

Análogo a 12.2

C Losas

0 Aspectos generales

Losas, muros, vigas pared y otras piezas, se modelizan como conjuntos de elementos finitos. Este método siempre constituye una simplificación del comportamiento real; por ello, se deben tener en cuenta una serie de reglas de modelización para que, contando con un modelo razonablemente sencillo, el análisis sea suficientemente aproximado:

- Tamaño de los EF: Suele ser adecuado que el lado del EF sea de 1,5 a 2,5 veces su espesor, aunque depende del grado de exactitud deseado y del lugar donde se encuentre el EF; conviene "afinar" el mallado donde las leyes de solicitaciones varíen más rápido en menos espacio (leyes de momentos cerca de apoyos). Para hacer las transiciones entre zonas con distinto tamaño de EF, se deben utilizar triángulos de enlace, pasando en una o varias hileras desde un número de nudos hasta otro distinto.
- Tipo de EF: Siempre que sea posible deben colocarse EF rectangulares (mallado simple en Architrave®). Para superficies regladas es conveniente usar EF triangulares (con mallado simple), pues los EF rectangulares serían alabeados y el programa después los partiría. En edificios usuales que no pueden tener una geometría muy regular, suele ser más cómodo usar el mallado complejo.
- Forma de EF: Deben ser siempre claramente convexos (ángulos interiores menores de 165-170°), y en ningún caso se deben superponer vértices de un

cuadrilátero para convertirlo en triángulo. Asimismo, no es recomendable que la forma sea muy alargada, tanto en triángulos como en cuadriláteros.

Los encuentros entre superficies malladas deben realizarse de tal manera que los nudos de ambas coincidan exactamente. Si por cualquier causa esto no sucede, en el caso en que la desviación sea pequeña (hasta 10 cm) y menor que el entorno de captura, es aceptable. Si la desviación es mediana (de 10 a 25 cm) y supone un gran esfuerzo el redibujar los mallados, se pueden colocar "barras de cosido" a lo largo de la junta, de tal manera que las cargas se transmiten de un elemento a otro generalmente a través de la flexión y torsión de esta barra inexistente; el entorno de captura no es necesario que sea mayor que la distancia entre nudos. Si la desviación es grande (más de 25 cm), conviene remallar las superficies.

Como criterio general, losas y muros deben modelizarse como superficies de EF colocadas en el eje real de construcción de los mismos. Si se ha proyectado un cambio de espesor de la superficie, manteniendo una de las caras constante, los ejes de cada parte quedan desalineados, excéntricos uno del otro. Una modelización exacta presupone desplazar una superficie respecto de otra, lateralmente (siempre manteniendo el entorno de captura mayor que esa distancia), aunque esta decisión sólo es conveniente si hay acciones que puedan producir momentos por transmisión excéntrica de cargas. Ejemplos de ello son: muros que descansan en otros de más grosor, cambios de espesor en losas de edificios muy solicitados horizontalmente, ídem con muros que cambian de espesor en planta, etc. En casos habituales no suele ser relevante, aunque siempre es aconsejable modelizarlo con exactitud para que la salida de planos haya que retocarla lo menos posible.

Del mismo modo, para aprovechar la salida de planos hay que tener en cuenta una serie de cuestiones respecto al perímetro de losas. Dichas losas (y su armado) se extienden, en planta, hasta el borde exterior de los muros o pilares en donde apoyan, lo que corresponde a modelizar un pequeño vuelo de longitud igual a medio canto de muro o pilar. Igualmente, si se desea que el zuncho de borde aparezca en su lugar exacto, se debe colocar separado del perímetro una distancia igual a medio canto del zuncho. No se debe olvidar que, en ambos casos, los nudos de EF de los diversos elementos, así como las alineaciones, deben coincidir exactamente. Esta situación en ocasiones genera algunos problemas de mallado, pues debe generarse una hilera de nudos muy cerca del borde, dando lugar a EF muy distorsionados en el borde. Habrá que evaluar en cada caso la conveniencia o no de todo este proceso.

También es importante en ciertos casos modelizar en su posición exacta los muros respecto de pilares o pilastras, pues la excentricidad que pueda existir afecta considerablemente al comportamiento global. Tal es el caso de muros de arriostramiento en un edificio porticado.

El dimensionado de superficies de EF se obtiene a partir de la envolvente de "curvas de nivel" de solicitaciones. Hay que tener en cuenta que estos resultados quedan algo distorsionados si las superficies tienen "quebrados", pues en los nudos de la arista del quiebro el sistema de referencia cambia. Para ello, se debe incluir en capas distintas a losas y muros, de tal manera que se puedan visualizar por separado las "curvas de nivel", sin que haya distorsión en los bordes (*Estas curvas de nivel se obtienen, en Architrave®, para los elementos visualizados en pantalla). Cuando en una misma superficie haya un quiebro de más de 45°, deberá tenerse en cuenta este efecto. (**Igualmente, en esquinas de muros a flexión, si no se desea separar en varias capas

los distintos tramos concurrentes, se debe “duplicar” la última hilera de EF para tomar el valor correspondiente de sollicitación en la penúltima hilera de nudos, no en la arista del quiebro. Esta penúltima hilera debe situarse a $\frac{1}{2}$ canto de la esquina)

A la hora de armar losas, se debe tener en cuenta que realmente los apoyos no son puntuales (pilares) ni lineales (muros); ambos tienen un cierto espesor, de tal manera que dentro de ese espesor las sollicitaciones que se obtienen son valores de “pico” que no influyen en el dimensionado, pues en la masa “compartida” entre losa y pila/muro, los esfuerzos se canalizan mediante bielas y tirantes, no mediante flexión. Por ello, los valores de sollicitación críticos son los del borde del pilar o muro, no los de “pico”. Este procedimiento se conoce como “armar a caras”.

Las superficies de EF pueden tener comportamiento de lámina (sollicitaciones en su plano: muros sin empuje y vigas pared...), de placa (sollicitaciones perpendiculares: losas), o la suma de ambos (muros con empuje). Estos dos comportamientos están “desacoplados”, es decir, se pueden analizar por separado y luego sumar los resultados. En el caso de losas, normalmente los pequeños esfuerzos de lámina se pueden despreciar frente a los de placa. Sin embargo, para muros de contención o sótano hay que tenerlos en cuenta (→ 13.1)

Para el dimensionado de losas y muros se pueden utilizar las tablas adjuntas
(DOCUMENTO fulano)

13 Losa maciza de hormigón armado

13.1 Losa maciza de hormigón armado sobre muros de hormigón armado

En general no es necesario tomar ninguna precaución especial para modelizar esta tipología. En casos usuales no hace falta “afinar” el mallado cerca de los muros, pues no existe problema de punzonamiento.

El dimensionado de muros de sótano o contención se realiza sumando los efectos de lámina y placa (compresión y flexión), como si de un pilar a flexocompresión se tratara.

13.2 Losa maciza de hormigón armado sobre muros de fábrica

Análogo a 13.1

Según el CTE, en vanos extremos de última planta, el forjado se puede considerar apoyado en el muro, transmitiéndole la carga a través de un punto situado a una distancia de $\frac{1}{4}$ de la longitud real de apoyo del forjado en el muro, medida desde la cara interior del muro hacia adentro. Para simular este comportamiento, la losa debe estar articulada en los muros (→ D-XI, modo B)). La barra de borde de la losa debe estar separado la distancia correspondiente del eje del muro, y el entorno de captura debe ser mayor que dicha distancia.

13.3 Losa maciza de hormigón armado sobre pilares

Esta tipología puede contener ábacos o no. Si hay ábacos, es conveniente que se mallen con un tamaño de EF menor que el resto, pues son los puntos críticos a momento negativo y punzonamiento. Incluso aunque no haya ábacos con canto

diferenciado del resto de la losa, conviene afinar la malla cerca del pilar (se modeliza como un ábaco de idéntico canto que el resto).

13.4 Losa maciza de hormigón armado sobre vigas planas de hormigón armado

La práctica de insertar entre pilares unas "jaulas" de viga del mismo canto que la losa, no es muy rentable estructuralmente, pues la rigidez que se gana es mínima (la correspondiente al mayor armado en esa zona). En el caso de querer simularlo, basta con insertar una barra que coincida con una alineación de EF, aunque en esa alineación se duplica la rigidez, lo cual no es real pero se asemeja razonablemente. Otra opción para considerar este fenómeno de una manera algo más rigurosa es no colocar ninguna viga a cambio de concentrar en esa línea el armado que le correspondería a la losa en un entorno próximo, aproximadamente de un ancho de viga a cada lado.

13.5 Losa maciza de hormigón armado sobre vigas de canto de hormigón armado

Las vigas deben coincidir con alineaciones de EF. En esa línea queda aumentada ficticiamente la rigidez, pues una parte de hormigón queda duplicado. Cuando el descuelgue de la viga sea mayor que el canto de la losa, es decir, el canto de la viga sea el doble que el de la losa, conviene situar la superficie de EF en su posición real por encima del eje de la viga, pues el comportamiento de la viga es como sección en T. La misma decisión hay que tomar para emparrillados de vigas de canto: conviene colocar cada familia en su posición exacta, siempre que las diferencias de canto entre ellas y con la losa sean relevantes.

Cuando el canto de las vigas supere los 80 cm, la estrategia anterior daría lugar a utilizar un entorno de captura de 40 cm (suponiendo una losa de 30 cm), lo que empieza a ser desaconsejable. Es conveniente unir la viga (barra colocada en su posición real y con sus medidas) a la losa mediante una hilera de elementos finitos verticales, de espesor reducido (5 cm) a modo de "murete virtual". El entorno de captura debe ser menor que la distancia de la viga a la losa.

13.6 Losa maciza de hormigón armado sobre vigas de acero

Esta solución sólo es rentable si existe conexión a rasante entre ambos componentes (losa y vigas), formando vigas mixtas acero-hormigón. En caso contrario, las vigas de acero quedan prácticamente sin sollicitación, pues al deformarse conjuntamente con la losa de hormigón, siendo ésta mucho más rígida, quedan flectadas una magnitud muy pequeña en comparación con los valores de deformación que debe alcanzar para estar trabajando al máximo.

Cuando la solución es mixta, la modelización correspondiente se basa en colocar la losa y las vigas (que pueden ser de cantos distintos) cada una en su posición exacta según su plano o eje, de tal manera que las vigas queden desplazadas de la superficie de EF una distancia menor que el entorno de captura.

Si el forjado es de chapa colaborante, la losa de EF se debe modelizar con un espesor equivalente para que la inercia sea igual a la real (losa nervada por debajo, debido a

las ondas de la chapa). Normalmente se obtiene un canto virtual igual al canto real sin la onda más 2/3 de onda. Como esta losa virtual tendría un peso superior al real, se le puede asignar un material de usuario de peso algo menor al hormigón real, para que también coincidan los pesos de hormigón, además de las inercias. Para dimensionar el armado de estas losas, se debe descontar el área de acero de la chapa, suponiendo que se concentra en el plano medio de las ondas, por ejemplo.

13.7 Losa maciza de hormigón armado sobre cerchas de acero o madera

Análogo a 13.6

En este caso no es tan importante colocar la losa por encima del cordón superior de la cercha, pues ambos están a compresión o tracción. La única salvedad es que se gana algo de inercia global si se coloca en su posición real por encima del cordón.

Existe la tipología de cerchas o mallas en las que no existe cordón superior como barra, sino que las diagonales terminan embebidas en la losa superior. Este tipo de estructuras se modelizan simplemente haciendo coincidir los extremos de las diagonales y montantes con nudos de la losa.

13.8 Losa maciza de hormigón armado sobre vigas de madera

Análogo a 13.6.

14 Losa aligerada de hormigón armado

Se denominan "losas aligeradas" una serie de losas nervadas según distintos patrones, pero siempre con comportamiento bidireccional, semejante a una losa maciza; por ello, todas se modelizan como superficies de EF de canto y peso "equivalente" al real.

Los 3 tipos más usados de losas aligeradas son:

- Forjado reticular: losa superior y nervios en las 2 direcciones
- Losa aligerada: losa superior, nervios en las 2 direcciones y losa inferior (casetones ortoédricos dentro de una losa maciza)
- "Bubble deck": esferas de aire dentro de una losa maciza

Es necesario diferenciar para todos los casos entre zonas aligeradas y zonas macizadas (ábacos). Los ábacos se modelizan como losas macizas, preferiblemente con una malla más "afinada". Para las zonas aligeradas, el canto equivalente se calcula de tal manera que la inercia de la losa virtual sea igual al de la losa aligerada real. Una vez obtenida la losa virtual con su espesor equivalente, hay que asignarle un material de usuario cuyo peso específico sea el necesario para que su peso propio sea igual al del forjado real. En la siguiente tabla se ofrecen valores de canto y peso equivalentes para tamaños usuales de cada tipo:

FORJADO RETICULAR	b = 80 cm, a = 12 cm, c = 6 cm						
h (cm)	25	30	35	40	45	50	55
h' (cm)	19	22	26	30	33	37	40
γ' (kN/m ³)	15,1	14,2	13,5	13,0	12,7	12,4	12,2

LOSA ALIGERADA		b = 80 cm, a = 12 cm, c1 = 6 cm, c2 = 9 cm						
h (cm)	30	35	40	45	50	55	60	
h' (cm)	29	33	37	41	45	49	53	
γ' (kN/m³)	15,8	14,5	13,6	13,0	12,4	12,0	11,6	

BUBBLE DECK		D = 80 cm, a = 4 cm, c1 = 6 cm, c2 = 9 cm						
h (cm)	30	35	40	45	50	55	60	
h' (cm)	30	34	39	43	48	53	57	
γ' (kN/m³)	21,2	20,2	19,5	18,9	18,4	17,9	17,6	

El armado de losas aligeradas (normal y "bubble deck") se realiza de manera similar a las losas macizas, siempre que queden más de 5 cm de separación entre el aligeramiento y los bordes superior e inferior (para que la cabeza comprimida de hormigón "quepa" en ese espacio en todo momento).

Para el armado de forjado reticular, se puede acudir a las tablas del [DOCUMENTO fulano](#)

14.1 Losa aligerada de hormigón armado sobre muros de hormigón armado

Análogo a 13.1

14.2 Losa aligerada de hormigón armado sobre muros de fábrica

Análogo a 13.2

14.3 Losa aligerada de hormigón armado sobre pilares

Análogo a 13.3

14.4 Losa aligerada de hormigón armado sobre vigas planas de hormigón armado

Las vigas se modelizan como barras coincidentes con una alineación de nudos de EF. A diferencia de 13.4, en este caso no existe casi redundancia de material.

14.5 Losa aligerada de hormigón armado sobre vigas de canto de hormigón armado

Análogo a 13.5

14.6 Losa aligerada de hormigón armado sobre vigas de acero

Análogo a 13.6.

La práctica usual en este caso es disponer un macizado lineal sobre la viga de acero, actuando como cabeza comprimida; este macizado suele llevar un armado de viga ("jaula"), luego se debe modelizar como una viga mixta (→ [anexo](#)). Sólo en el caso en el que no se disponga esta "jaula", se puede modelizar la cabeza comprimida dándole a las dos hileras de EF más próximas un espesor y material real. Si la malla es de rectángulos, basta con modificar las hileras de nudos hasta conformar 2 hileras que

tengan en conjunto las dimensiones e la viga. Si la malla es compleja, se debe haber mallado colocando 3 alineaciones: el eje de la viga y los límites del macizado.

No tiene sentido en esta tipología hablar de chapa colaborante

14.7 Losa aligerada de hormigón armado sobre cerchas de acero o madera

Análogo a 14.6

14.8 Losa aligerada de hormigón armado sobre vigas de madera

Análogo a 14.6

D Modelización de otros elementos estructurales

I Muros de contención y de sótano

Modelización → C) 0

Dimensionado → 13.1

El caso particular de los muros pantalla de contención se puede modelizar de dos formas, cada una con un grado de exactitud distinto:

- Si lo único que se quiere es simular el comportamiento global y obtener un momento de armado aproximado, se puede modelizar como un muro empotrado en la cota donde queda enterrado por ambas caras.
- La opción más exacta es modelizarlo completo hasta abajo, y colocar unos apoyos con muelle horizontal cuya K sea el producto del coeficiente de balasto horizontal del terreno correspondiente al alzado de muro (→) por la superficie de cada EF. Para saber a qué cota el empuje pasa de activo a pasivo, habría que hacer un tanteo previo y proceder por iteraciones.

II Muros, losas, vigas pared y placas de anclaje de acero

En ocasiones es necesario modelizar EF de acero. El dimensionado de estos elementos es distinto si se encuentra sometido a solicitaciones de lámina o de placa. Si funciona como lámina, se debe comprobar que la tensión de Von Mises no supera la admisible, mientras que si trabaja como placa, se debe comprobar el momento máximo (plástico o elástico, según la clase de sección). Para superposición de comportamientos, hay que sumar tensiones.

III Tableros de madera

Análogo a II, teniendo en cuenta que la madera es anisótropa (su tensión admisible es distinta según la dirección)

IV Forjados de chapa grecada metálica sin hormigón vertido

Las chapas grecadas no suele ser necesario modelizarlas; normalmente se incluyen en el modelo general como áreas de reparto, y se dimensionan como viga continua sobre apoyos, mirando en las tablas del producto el momento máximo resistente.

Si fuera necesario modelizar la chapa, se debe hacer como losa maciza de elementos finitos de espesor equivalente (para que tenga la misma inercia, en la dirección resistente, que la chapa real) y material de peso equivalente. Si la chapa descansa sólo sobre apoyos lineales frontales (en la dirección resistente), no es necesario modificar nada al modelo. Si hay zunchos laterales, los elementos finitos de los lados deben estar separados de aquéllos una distancia mayor del entorno de captura, para que no haya comportamiento bidireccional. Si los apoyos de la chapa son puntuales, la chapa toma bidireccionalidad en torno a ellos. Hay que tener en cuenta que la inercia real en la dirección no resistente es casi nula, luego no se puede suponer que la chapa se comporta como el modelo en ese aspecto.

V Vigas de acero armadas

Se trata de un caso particular de II. Normalmente estas vigas se construyen mediante un alma muy esbelta, con dos alas cortas y rigidizadores a lo largo de la viga. Si la viga no es de mucha envergadura (de tamaño parecido a los perfiles comerciales), se puede modelizar como una sección de usuario. Si la viga es muy grande (más de 80 cm de canto), conviene modelizar al menos el alma como una superficie de EF. Alas y rigidizadores se pueden colocar como secciones macizas rectangulares. Si el tamaño de las alas supera los 50 cm, se deben modelizar también como superficies de EF.

VI Cables y estructuras tesadas

Un cable es una barra no resistente a compresión y con inercias nulas. En próximas versiones del programa se encontrará disponible; actualmente se debe modelizar de otras formas.

Si los cables se encuentran formando diagonales de cerchas u otras estructuras, y se tiene la seguridad de que para todas las combinaciones de carga aquéllos estarán traccionados, entonces se pueden modelizar como simples barras de sección maciza circular.

Si los cables forman cruces de San Andrés, alternando tracción y distensión dependiendo de la dirección de la acción (viento y sismo, por ejemplo), se puede colocar sólo una triangulación que estará alternativamente a compresión o a tracción, considerando que cuando esté a compresión, en realidad sería la diagonal suprimida la que estaría traccionada con un valor similar a dicha compresión.

Para modelizar estructuras tesadas (en las que los cables se tensan para hacer entrar en carga al resto de la estructura), se puede hacer un esbozo del comportamiento global suponiendo que los cables son secciones genéricas con mucha área y por tanto muy rígidas, de tal manera que se simula con bastante acierto el efecto del

pretensado sobre el resto de la estructura. Para dimensionar los propios cables pretensados se debe hacer un segundo modelo en el que se sustituyen dichos cables por las fuerzas de pretensado (incógnita) que inducen en el resto de la estructura; y una vez calculadas, sumarlas a la tracción que aparecen en los cables rígidos del primer modelo.

Algunas estructuras de este tipo contienen cables "pasantes" sobre otras barras a través de sus nudos: cables continuos que pueden deslizar sobre extremos de barras rígidas. Este detalle se puede modelizar de la siguiente manera: en el extremo de la barra rígida se coloca una barra virtual (material sin peso) de poca longitud, definida como sección genérica, con inercia nula a flexión en la dirección del deslizamiento (el resto de inercias y el área deben ser elevadas). El cable se une al extremo de la barrita virtual; no es necesario colocar rótula en dicho extremo.

VII Vigas y losas postesadas de hormigón

La obtención automática de las fuerzas de postesado, conocido el trazado de los cables y los coeficientes de rozamiento y pérdidas, se encuentra en elaboración, así como la consideración de la sobretensión en cables de postesado adherentes. La modelización posible actualmente consiste en colocar las cargas de pretensado manualmente, dimensionar las vigas automáticamente y las losas manualmente o con tablas.

VIII Vigas y pilares de hormigón de canto variable

Se entiende por piezas de canto variable a barras que van aumentando su sección a lo largo de su extensión, de manera continua, no a saltos. En próximas versiones del programa estará disponible. Actualmente la modelización oportuna consiste en discretizar la barra en una sucesión de ellas, modificándose el canto progresivamente en saltos de 5 cm.

Si se trata de una viga acartelada (aumento de canto por la cara inferior cerca de los apoyos), el armado resultante no hay que modificarlo, sólo colocar la armadura de montaje inferior inclinada en vez de recta y a saltos. Si se trata de una viga con "panza", es decir, con más canto en centro de vano, puede que el armado de positivos haya que homogeneizarlo a mano. Habrá que comprobar manualmente la influencia de la inclinación de las armaduras en su eficacia y en la resistencia del cortante.

En el caso de pilares, es probable que a partir de algún punto intermedio el armado cambie; habrá que considerar en cada caso la solución que conviene y homogeneizar si procede.

IX Vigas de acero de canto variable. Pórticos acartelados

Se entiende por piezas de canto variable a barras que van aumentando su sección a lo largo de su extensión, de manera continua, no a saltos. En próximas versiones del

programa estará disponible. Actualmente la modelización oportuna consiste en discretizar la barra en una sucesión de ellas, asignando a cada barrita una sección equivalente a la que tiene la barra real en ese corte.

Las vigas de acero de canto variable suelen ser o bien vigas armadas (\rightarrow II) o pórticos acartelados. Si se trata de vigas armadas, basta con ir cambiando de sección cada 5 cm de diferencia de canto, por ejemplo, utilizando secciones de usuario.

Los pórticos acartelados se componen de perfiles simples y trozos de ese mismo perfil usados como refuerzos en nudos y centro de vano. Las secciones compuestas de perfil+cartela se pueden modelizar de tres maneras distintas, según la precisión deseada:

- La manera más simple y menos precisa consiste en colocar en cada tramo una sección genérica de material acero y áreas e inercias reales de la sección, las cuales se pueden calcular mediante la orden "propiedades geométricas y de región" de AutoCAD. Mediante este procedimiento sólo se pueden obtener solicitaciones, el dimensionado se deberá hacer manualmente.
- El segundo método consiste en asimilar cada tramo de perfil+cartela a un perfil comercial con inercia y módulo resistente ($W = I/\gamma_{m\acute{a}x}$) similar al real. Igualmente, la inercia se puede calcular mediante la orden "propiedades geométricas y de región" de AutoCAD. En este caso sí que se obtendrá el dimensionado a resistencia y flecha. Tanto este método como el primero pueden ser adecuados para tantear el predimensionado.
- El procedimiento más exacto es modelizar cada tramo mediante una sección de usuario exacta.

X Losas de canto variable. Ábacos fungiformes

Se entiende por losas de canto variable a las que modifican su sección de manera continua, no a saltos. Actualmente la modelización oportuna consiste en dar a cada hilera de EF un espesor distinto, a saltos. Si se trata de ábacos fungiformes (truncocónicos), es conveniente diseñar un mallado concéntrico, de espesor creciente hacia el centro.

Habrá que comprobar manualmente la influencia de la inclinación de las armaduras en su eficacia y en la resistencia a cortante.

XI Losas articuladas en apoyos

Para modelizar una losa sobre pilares articulados, basta con

Además, para que el apoyo sea excéntrico, muro y losa se deben modelizar de tal manera que sus nudos no coincidan, alineándose al tresbolillo, y colocando una barra ficticia a lo largo de la junta con mucha inercia a flexión y ninguna a torsión, para desacoplar los giros de losa y muro. Además, el borde de la losa debe estar separado la distancia correspondiente del eje del muro, y el entorno de captura ser mayor que dicha distancia.

XII Piezas mixtas hormigón – acero/madera

Hay dos casos frecuentes de piezas mixtas según la posición del perfil dentro del hormigón: con el perfil dentro de un macizo de hormigón, armado o en masa, y con el perfil fuera del macizo de hormigón.

El primer caso corresponde a pilares de acero recubiertos de hormigón o de vigas metálicas embebidas en el hormigón vertido para el forjado. Se deben modelizar tres barras cercanas, separadas una distancia mayor del entorno de captura (se recomienda colocar un entorno de captura pequeño, 5 cm aprox.): la central será el perfil metálico real y las dos laterales serán unas barras de hormigón en masa o armado, cuya suma equivale al recubrimiento real de hormigón. Estas tres barras deberán unirse por pequeñas barras ficticias horizontales de conexión, de hormigón en masa, cada 20-30 cm.

El segundo caso se presenta en vigas mixtas hormigón-acero u hormigón-madera, donde el hormigón hace de cabeza comprimida. Se pueden modelizar de dos formas:

- Colocando ambas vigas en su posición exacta según sus ejes, colocando un entorno de captura menor que la distancia entre ellas, y disponiendo barras ficticias verticales de conexión.
- Colocando ambas vigas en su posición exacta según sus ejes. La superior se dibuja continua de principio a fin, y recta. La inferior se dibuja fragmentada en tramos cortos (0,5 – 1m), y en leve zig-zag: uno de cada dos vértices se estira 1 cm hacia abajo, de tal manera que en esos vértices la distancia entre las dos vigas es de $X+1\text{cm}$, siendo X la distancia real entre los ejes. Y se coloca un entorno de captura igual a $X+0,5\text{cm}$, de manera que uno de cada dos vértices de la viga inferior está “unido” a la viga superior

XIII Forjados de chapa colaborante

Modelización y dimensionado → 13.6

XIV Muros de ladrillo

XV Pilastras de fábrica, muros apilastrados

En ocasiones los muros de fábrica son apilastrados, e incluso a veces aparecen pilastras exentas (pilares). El primer caso se puede modelizar con pilares, o con EF que acometen perpendiculares si se desea mayor exactitud. Para pilastras exentas, si son de reducido tamaño se pueden modelizar como pilares; si son apantalladas, como EF2D; y si son muy gruesas, con EF3D (→XIX).

XVI Vanos y dinteles en muros portantes de fábrica

Los materiales de fábrica tienen la peculiaridad de resistir a compresión pero no a tracción. Por ello, no se puede usar el procedimiento habitual de modelización y análisis empleado para otros materiales (hormigón, acero): construir el modelo con EF, estudiar sus solicitaciones y dimensionar su sección a tensiones normales de compresión y tracción. Se hace necesario conocer con poco margen de error, antes del análisis, qué elementos y en qué dirección se van a fisurar por tracción.

Es el caso de los vanos en muros portantes de fábrica. A una cierta altura por encima del dintel, las cargas se desvían hacia los lados, encauzándose a través de las jambas del hueco siguiendo una trayectoria de "arco de descarga", de tal manera que el material que queda entre este arco y el dintel actúa como peso muerto sobre éste. El CTE marca en este caso que el arco de descarga sobre un dintel es una parábola de **ancho** igual al vano y altura igual a $2/3$ del vano.

Hay 3 maneras de modelizar este arco de descarga. Todas las estrategias están orientadas a eliminar la continuidad transversal en los EF contenidos dentro del arco de descarga, a fin de que actúe no como una viga pared sino como peso muerto sobre el dintel:

-

3 maneras: E nula, EF desvinculados lateralmente o pilarcillos de fábrica

XVII Cerramientos, medianeras y tabiques

Normalmente en los edificios aparecen elementos de fábrica de ladrillo o bloque, como cerramientos, medianeras o tabiques, que no se suelen considerar como elementos estructurales y por tanto se incluyen en la modelización como peso muerto. En realidad, en el conjunto de un edificio no se puede decidir qué es estructura y qué no es; debido a la compatibilidad de deformaciones del conjunto completo, quedan más solicitados los elementos más rígidos, pues con una cierta deformación sus esfuerzos son mayores. Desde este punto de vista, los paños se comportarían como elementos estructurales debido a su alta rigidez.

Sin embargo, si se desea contar con su contribución resistente, deberían dimensionarse correctamente para soportar sus solicitaciones, y además construirse con más precisión y control del habitual. Por ello, la otra opción es quizá más recomendable en edificios normales: suponer que la mayoría de ellos (exceptuando los núcleos rígidos, que sí se modelizan) son peso muerto que han de soportar los forjados o las vigas. Este método es seguro desde un punto de vista plástico global en ELU: en principio, las fábricas van a sostener peso, funcionando como muros, ménsulas o vigas pared; las vigas no trabajan. Pero si las fábricas fallan (se agrietan), entran a trabajar las vigas correspondientes.

Por norma general, sólo se suele modelizar como muros portantes los núcleos rígidos de escalera y/o ascensor, y en ocasiones las medianeras. No es recomendable modelizar

las fachadas, pues son susceptibles de variar sus huecos y además el apoyo del forjado en ellas no suele ser garantía de un comportamiento conjunto.

Es usual que aparezcan cerramientos de carga de fábrica en cubierta, debido a las exigencias de retranqueo en áticos, de tal manera que no apoyan directamente sobre pilares sino que descansan sobre vigas, zunchos o brochales. Si se modeliza el muro como tal, transmitirá el peso a la estructura que tenga debajo mediante mecanismo de arco o viga pared, de tal manera que la barra que tenga debajo no estará solicitada. Si no se desea otorgar al muro tanta responsabilidad resistente, se puede modelizar como si la barra que tiene debajo fuera un dintel, y el muro funcionara como peso muerto (→ XV)

(*Cuando hay que considerar el sismo, aparece un dilema: si se modelizan los elementos de fábrica, se está del lado de la seguridad en cuanto a que el edificio es mucho más rígido y por tanto los efectos del sismo son más dañinos, porque el periodo de vibración es más corto y se aproxima más al crítico; pero el resto de la estructura sostiene menos peso, con lo que se está del lado de la inseguridad. Lo más razonable es no modelizar las fábricas, pues el efecto favorable se ve compensado porque el programa no se aprovecha de la reducción de los coeficientes de seguridad de los materiales (hormigón y acero), luego se obtiene un dimensionado adecuado.)

XVIII Edificios en altura, acortamiento

Los edificios en altura suelen estar formados por un núcleo rígido, normalmente de hormigón y en posición interior en planta, y una serie de pilares alrededor y en el perímetro. Al calcular este tipo de estructuras de manera usual, se produce un fenómeno que no se corresponde con el comportamiento real: se produce flexión en vigas, creciente conforme más alta es la planta, debido al distinto acortamiento por compresión de los muros del núcleo (más rígidos) y los pilares (menos rígidos, sobre todo si son metálicos).

Este comportamiento sólo se daría en el caso de que el edificio permaneciera encofrado hasta su completa ejecución y se desencofraran todas las plantas al mismo tiempo. Pero el proceso usual es distinto: se mantienen sólo unas pocas plantas encofradas simultáneamente, por lo que cuando se construye una planta, los muros y pilares se ejecutan para que alcancen la misma cota, una vez que las plantas inferiores desencofradas ya han "acortado" la magnitud correspondiente al peso propio. De esta forma, la flexión de vigas es decreciente hacia arriba, partiendo en base del mismo momento.

Para corregir este fenómeno, se debe modificar el factor de cálculo correspondiente al área de pilares, aumentándolo hasta donde convenga en cada caso. Para hallar el/los factor/es oportuno/s se debe analizar el número de plantas, el proceso de apuntalamiento, la proporción de rigidez a axil de muros y pilares y la proporción entre el peso propio de la estructura y el peso total de cálculo.

A modo orientativo, para un edificio de 8 plantas se puede utilizar un único factor, igual a 5. Para 12 – 20 plantas, se pueden utilizar 2 factores: un factor de 2 para las plantas bajas y uno de 10 para las altas.

XIX Elementos muy gruesos de fábrica u hormigón: pilastras, muros, arcos, bóvedas y cúpulas

Los grandes elementos de fábrica, donde el espesor es muy importante en relación con las otras dos dimensiones, necesitan ser modelizados mediante EF3D (en construcción para la siguiente versión del programa)

XX Cáscaras

Las cáscaras (láminas) de hormigón armado, fábrica, madera, etc. se modelizan mediante superficies de EF. Es muy importante modelizar correctamente los bordes (existencia o no de zunchos). En estos casos, el método de los elementos finitos devuelve un análisis algo distinto al cálculo clásico, en donde lámina y borde rígido se analizan por separado, sin considerar las solicitaciones inducidas mutuamente por la compatibilidad de deformaciones. En cualquier caso, ambos métodos son seguros; si se desea modelizar la cáscara para comparar resultados, se deben realizar dos modelos: uno con la lámina apoyada en el perímetro, donde se calculan las reacciones, y otro solamente con el borde y las reacciones anteriores aplicadas como cargas.

Las cargas de nieve sobre la cáscara se dan en proyección horizontal; para poder aplicar las cargas individuales sobre EF, hay que multiplicar una a una dicha carga por el valor del coseno del ángulo del vector normal a la superficie. En la siguiente versión este procedimiento estará implementado

XXI Mallas espaciales

Análogo a 10.1, 10.2 y 10.3

XXII Estructuras con tendencia al vuelco

Existen edificios donde la presencia de grandes voladizos puede inducir al vuelco general. En esta situación, es usual analizar la estructura ante una combinación de acciones peculiar, considerando las cargas que propician al vuelco mayoradas y viceversa. A estos efectos, el peso propio de la estructura, que el programa calcula automáticamente, en unas ocasiones es favorable y en otras desfavorable.

Para poder modificar el valor de este peso propio según convenga, la solución es colocar la estructura con peso propio nulo (mediante un material de usuario) e introducirle manualmente el peso correspondiente mediante cargas aplicadas. Esta operación no es necesaria si la modelización de la estructura es de barras y áreas de reparto; con acero es menos relevante aún que con hormigón. Sin embargo, si la modelización incluye losas, muros o viguetas, es extremadamente importante actuar como se ha explicado.

Apoysos: 2 vueltas (soleras antivuelco apoyadas sobre el terreno...)

Barras virtuales

ZUNCHOS DE HORM EN MASA

Nervios T, no vigas T

Vigas de mucho canto, ¿EF o vigas? Separación de losa, mínimo

juntas de dilatación

bielas y tirantes