

5.- CÁLCULO DE CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURA.

MEMORIA DE CALCULO.

OBJETO

El presente capítulo tiene por objeto, la exposición de los condicionantes tenidos en cuenta en el proyecto, así como las características y especificaciones de los materiales a utilizar en la construcción.

NORMATIVA DE APLICACIÓN:

- CTE. DB SE-AE: Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.
- CTE. DB SE-C: Seguridad Estructural: Cimientos.
- CTE. DB SE-F: Seguridad Estructural: Fábrica.
- CTE. DB SE-A: Seguridad Estructural: Acero.
- NCSE-02: Norma de Construcción Sismorresistente.
- EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE CARACTER GENERAL

El sistema estructural del edificio está resuelto mediante una estructura formada por pilares metálicos, como elementos sustentantes verticales. Los elementos horizontales, en sus diferentes niveles, se resuelven con forjado de chapa colaborante sobre vigas formadas por perfiles metálicos.

En todos los elementos de la estructura se utilizará hormigón HA-25 y barras de acero corrugado B 500S.

El hormigón empleado será de central; no se utilizará ningún tipo de aditivo sin la expresa autorización de la dirección facultativa.

El hormigón de los elementos estructurales que deben quedar vistos, se dosificará con un árido de pequeño diámetro y se suministrará más fluido. Se tomará una especial atención a su vibrado. El encofrado de dichos elementos, se realizará mediante placas metálicas de superficie lisa, impregnadas de sustancias desencofrantes que no alteren la coloración propia del hormigón. Se tomará una especial atención a su desencofrado.

En cualquier caso se atenderán las prescripciones del CTE y demás normativa vigente.

ACCIONES ADOPTADAS EN EL CALCULO

Para el establecimiento de las bases de cálculo, se han tenido en consideración los distintos capítulos del CTE DB SE-AE: Seguridad Estructural. Acciones en la edificación y los anexos A de la EHE. Los valores adoptados han sido los siguientes:

Acciones gravitatorias.

CONCARGA

Elementos de hormigón armado. 25 kN/m³

Losa de Chapa Colaborante.

Canto 14cm. 2,10 kN/m².

Fábricas de ladrillo.

Ladrillo hueco	Tabicón	E	9,0	1,10 kN/m ²
----------------	---------	---	-----	------------------------

Ladrillo perforado	Cítara	E	11,5	1,80 kN/m ²
--------------------	--------	---	------	------------------------

Cargas Permanentes:

Cubiertas.

Plana				2,10 kN/m ²
-------	--	--	--	------------------------

Solados.

		E	6,00	1,20 kN/m ²
--	--	---	------	------------------------

Revestimientos.

Tendidos, guarnecidos y enlucidos yeso	E	1,5	0,20 kN/m ²
--	---	-----	------------------------

Revocos y enfoscados	E	1,0	0,20 kN/m ²
----------------------	---	-----	------------------------

Alicatado incluido enfoscado o tendido	E	2,5	0,50 kN/m ²
--	---	-----	------------------------

Carga de tabiquería:

1,0 kN/m²

SOBRECARGAS

Sobrecarga de uso superficial.

Cubierta, conservación 1,0 kN/m²

Acciones producidas por el viento.

Según la CTE DB SE-AE, la velocidad de referencia del viento es $v_b=26$ m/s. Tomando una densidad del aire de $\rho = 1,25$ kg/m³. La presión de referencia del viento es $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 420$ N/m². La presión sobre la fachada del edificio es $q = q_b \cdot C_e \cdot C_p$. Tomando el coeficiente de exposición en función de la altura $C_e(z)=1,4$ para categoría IV del terreno, y un coeficiente de presión exterior total de $C_p=0,8$ se obtiene una presión $q=470$ N/m², y una succión de $q=240$ N/m² es decir una carga superficial total sobre la fachadas de 0,71 kN/m² como hipótesis 3 y 4 en dos direcciones diferentes.

Acciones térmicas y reológicas.

No se consideran en el cálculo, pues se dimensionan los elementos de hormigón armado con las cuantías geométricas mínimas prescritas en la Instrucción EHE (Art. 42.3.5).

Acciones producidas por el sismo.

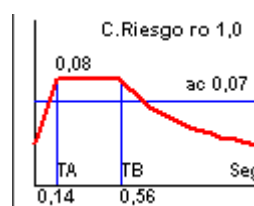
Se han considerado las cargas sísmicas de acuerdo con el Art.1.2.3 de la norma NCSE-02 pues le corresponde una aceleración básica de $a_b = 0,06$ g, especificada para la ciudad de Valencia. La construcción se considera de Importancia Normal (Art. 1.2.2 de NCSE-02).

Se efectúa el cálculo por el análisis mediante espectros de respuesta. (Art. 3.6.2. de NCSE-02). Se realiza un modelo tridimensional de la estructura con 6 grados de libertad de los nudos, sin restricciones ni simplificaciones. El proceso de cálculo dinámico se expresa en un apartado posterior de esta memoria.

Los parámetros de cálculo utilizados son:

Aceleración básica	a_b	0,06
Coficiente de Riesgo	ρ	1,0
Coficiente de terreno	C	1,40
Aceleración de cálculo	a_c	0,07
Coficiente de amortiguación	%	5
Ductilidad baja	μ	2

Con estos parámetros el espectro de diseño es el siguiente.

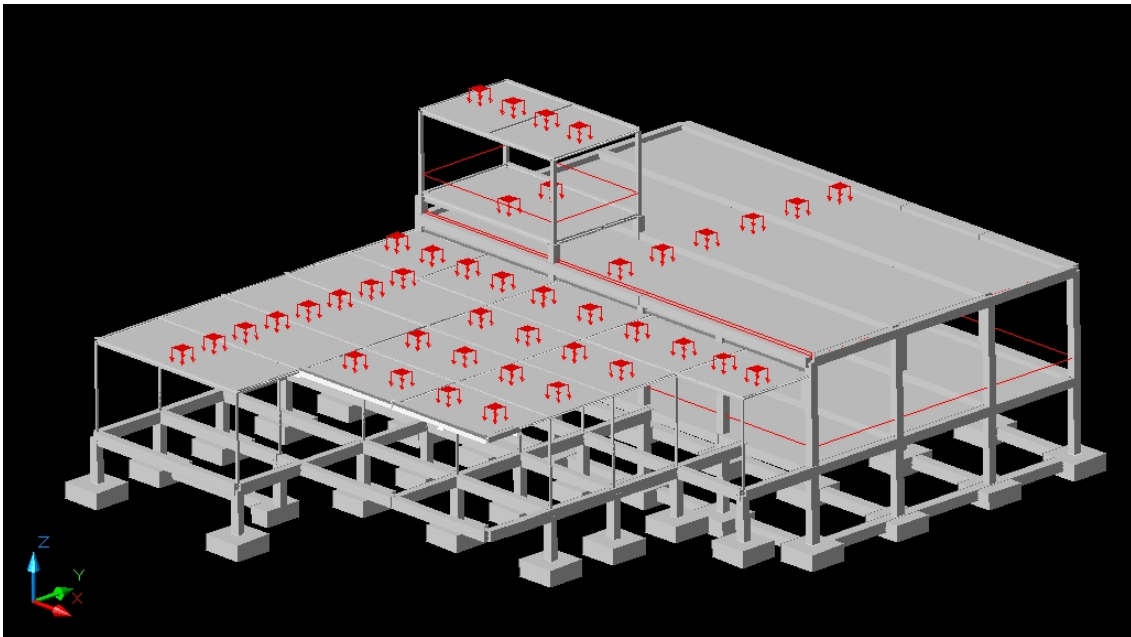


SISTEMA DE CALCULO DE LA ESTRUCTURA.

Los elementos tipo barra han sido modelizados espacialmente, como ejes que pasan por el centro de gravedad de la sección. La modelización de las losas de hormigón se efectúan con elementos finitos superficiales, definidos tridimensionalmente con comportamiento de membrana en su plano y flexión en dirección perpendicular al plano medio.

El modelo de cálculo consta de 232 barras, 147 nudos.

El modelo se representa en la figura adjunta.



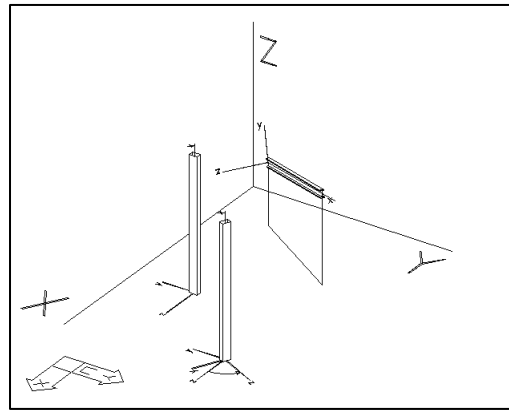
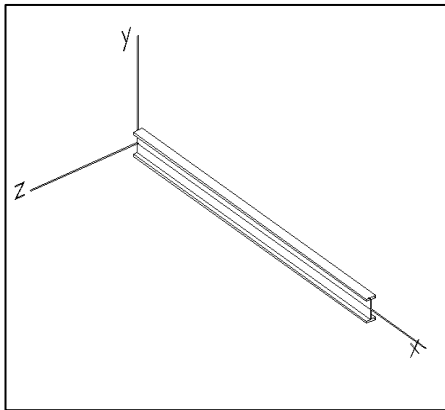
Las solicitaciones de la estructura, y el dimensionamiento de los elementos han sido obtenidas mediante el programa informático “**EF_C I D**, Calcul i Diseny d’estructures”, programa de elementos finitos.

Las características de los elementos en el modelo de cálculo son:

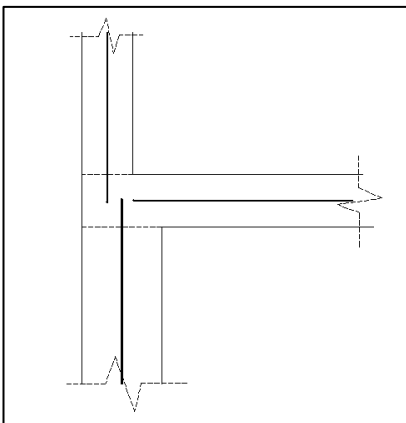
Elemento Lineal (barra).

Elemento lineal recto, de sección constante, con un nodo en cada extremo, con seis grados de libertad, para cualquier orientación en el espacio, unido al resto de la estructura mediante una unión rígida, articulada o con un cierto grado de rigidez. Los esfuerzos posibles para cada barra según sus propios ejes locales son: Axil, esfuerzos cortantes, momentos flectores, y momento torsor.

Los ejes locales se definen en sentido dextrógiro siendo el eje **x** el que va según el eje axial de la barra, y el plano **xy** es siempre vertical. La componente del eje **y** local es siempre positiva. El eje **z** es ortogonal al plano que definen los ejes **x** e **y**.



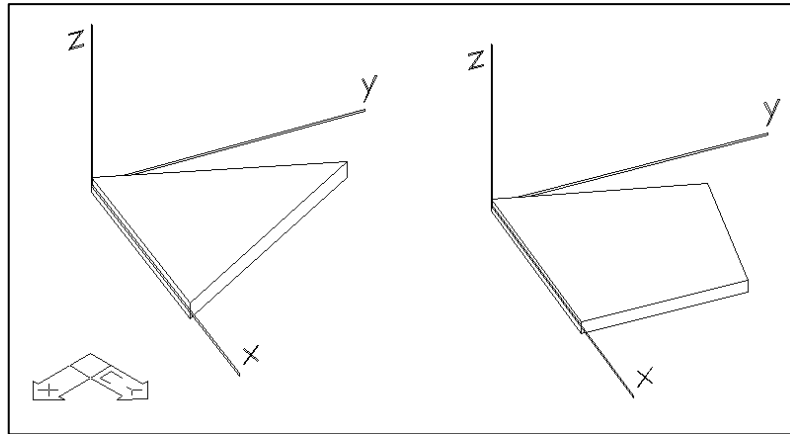
Si la barra es vertical el eje local **z** es paralelo al eje global **X**, si hay que girar la barra se define un giro sobre el eje **x** local.



Las barras se modelizan dibujando sus ejes como líneas a las que se les asigna material y sección. Hay que situar exactamente la posición de los ejes de las barras en el caso de que haya excentricidades en los nudos. El programa trata estos casos como nudos extensos, considerando las excentricidades y sus efectos correspondientes de rigidez, deformaciones y solicitaciones.

Elemento superficial.

Elemento superficial triangular plano con tres nodos en sus vértices, o cuadrilátero con cuatro nodos, los ejes locales de referencia se definen de la siguiente forma: el plano **xy** es coplanario a la superficie, el eje **z** es perpendicular.



Los elementos superficiales tienen dos planos de trabajo cuyos efectos funcionan de forma desacoplada. Efecto **membrana** con deformaciones y solicitaciones en el plano

de la superficie **xy**, y efecto **placa** con flexiones en la dirección perpendicular según el eje **z** local.

Elementos membrana.

Con dos grados de libertad por nodo (dos traslaciones), es el denominado "Elemento finito triangular en tensión plana" de deformación constante. Está caracterizado porque los esfuerzos y deformaciones actúan en su plano y son las tensiones ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) y las traslaciones d_x y d_y referidos a sus ejes locales.

En los tipos estructurales con grados de libertad de giro se utiliza el elemento triangular de deformación constante con rotaciones en los nudos, por lo tanto con tres grados de libertad por nodo, es el triángulo de C. Felipa.

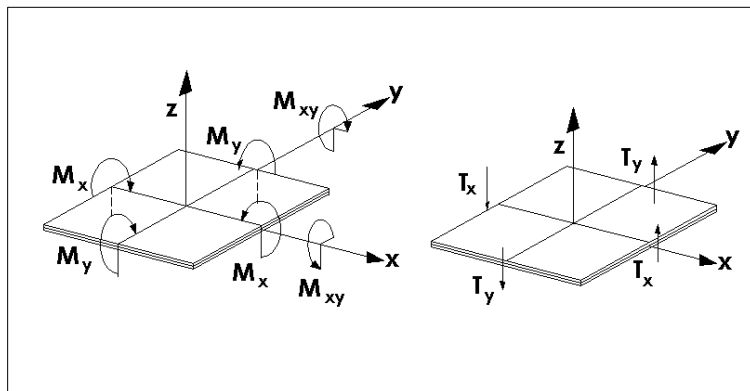
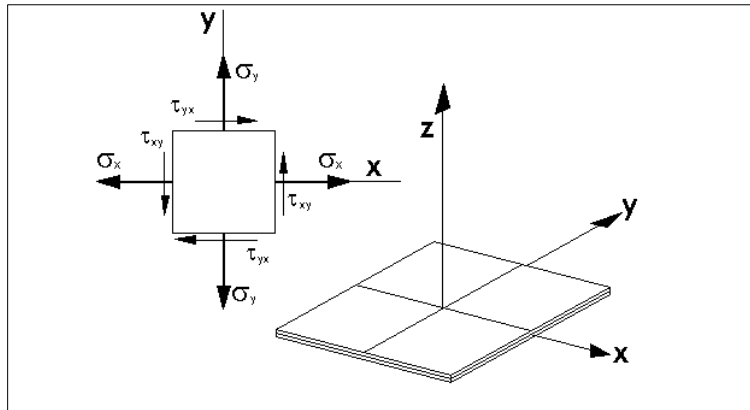
Elementos placa.

Elemento superficial triangular a flexión, de tres nudos, con tres grados de libertad por nodo (dos giros respecto a **x-y** y una traslación respecto **z**), es el denominado DKT, Triángulo Discreto de Kirchhoff, basado en la teoría de placas de Reissner-Mindlin. Sus esfuerzos característicos son los momentos flectores M_x, M_y, M_{xy} y los cortantes T_x y T_y según los ejes locales.

Elementos lámina

Elemento superficial triangular de tres nodos con seis grados de libertad por nodo. Está formado por la unión de los elementos tipo membrana y placa según se indica en la referencia (1).

En la figura adjunta se indican los sentidos positivos de las tensiones de membrana cuyas unidades se expresan en N/mm^2 y los esfuerzos de flexión cuyas unidades son mkN por metro de ancho de losa.



Las solicitaciones de la estructura, y el dimensionamiento de los elementos han sido obtenidas mediante el programa informático “**EF_C I D**, Calcul i Diseny d’estructures”, programa de elementos finitos.

Las cargas de carácter superficial, se introducen en el programa de cálculo en su posición espacial sobre las zonas de forjados, con su valor indicado en el apartado de acciones; el programa distribuye automáticamente la acción de estas cargas sobre las barras estructurales correspondientes.

Hipótesis de cálculo utilizadas.

Para el cálculo de cada sistema estructural, se han considerado las siguientes acciones:

Hipótesis	1:	Cargas permanentes.
Hipótesis	2:	Sobrecargas de uso.
Hipótesis	3 y 4:	Acciones eólicas.
Hipótesis	5:	Acciones sísmicas.

Combinaciones de cálculo.

Para el cálculo de la estructura, se han considerado las siguientes combinaciones de las acciones en Estados Límites Últimos especificadas en EHE (Art.13.2):

$$\text{Situaciones permanentes: } \sum \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k1} + \sum \gamma_Q \psi_{0i} Q_{ki}$$

Siendo:

G_k :	Valor característico de las acciones permanentes.
$Q_{k,1}$:	Valor característico de la acción variable determinante.
$Q_{k,i}$:	Valor característico de las acciones variables concomitantes.

$\psi_{0,i}$: Coeficiente de combinación de la variable concomitante en situación permanente = 0,7.

$\psi_{2,i}$: Coeficiente de combinación de la variable concomitante en situación sísmica = 0,3.

γ_G : Coeficiente parcial de seguridad para acciones permanentes.

Elementos de Acero:

Situación permanente	= 1,35
Situación accidental	= 1

Elementos de Hormigón armado:

Situación permanente	= 1,35
Situación accidental	= 1

γ_Q : Coeficiente parcial de seguridad para acciones variables

Elementos de Acero

Situación permanente	= 1,5
Situación accidental	= 1

Elementos de Hormigón armado

Situación permanente = 1,5

Situación accidental = 1

γ_A : Coeficiente parcial de seguridad para acción sísmica. =1

Resultando las cinco combinaciones siguientes en E.L.U. para elementos de Hormigón armado:

C1=1,5H1+1,6H2

C2=1,5H1+0,7x1,6H2+1,6H3

C3=1,5H1+0,7x1,6H2+1,6H4

C4=1,0H1+0,5H2+1,0H5

C5=1,0H1+0,5H2-1,0H5

Para elementos de Acero en E.L.U.:

C1=1,35H1+1,5H2

C2=1,35H1+0,7x1,5H2+1,5H3

C3=1,35H1+0,7x1,5H2+1,5H4

C4=1,0H1+0,5H2+1,0H5

C5=1,0H1+0,5H2-1,0H5

Las combinaciones en Estados Límites de Servicio adoptadas son

C1=H1+H2

C2=H1+0,7H2+H3

C3=H1+0,7H2+H4

Características de los materiales.

El hormigón empleado en la estructura será : **HA-25/B/20/Ila.**

Cemento Clase CEM II 32,5 UNE 80301:96

Consistencia Blanda : Asiento cono de Abrams 6-9 cm

Relación Agua/Cemento < 0,60

Tamaño máximo de árido 20mm en pilares

Tamaño máximo de árido 20 mm en losa.

Recubrimiento nominal 35mm

Las barras corrugadas utilizadas serán de acero **B500S** con límite elástico no inferior a 500 N/mm².

El acero estructural utilizado será S275.

DISEÑO DE LA CIMENTACION

Características del terreno.

No se considera presencia de agua en el subsuelo . No obstante la dirección facultativa comprobará la altura del nivel freático antes y durante la realización de la cimentación.

Se estima una tensión de diseño para el dimensionado de la cimentación en 200 kN/m^2 . No se ha detectado la presencia significativa de sulfatos en el suelo.

Justificación de la cimentación adoptada.

Cimentación.

En vista de las características del terreno se ha comprobado la viabilidad de la cimentación mediante zapatas y riostras.

Hipótesis básicas de cálculo.

Ante la imposibilidad de conocer el comportamiento mecánico real del suelo debido a su naturaleza intrínseca, se han considerado las siguientes simplificaciones en el cálculo:

1. La distribución de tensiones es lineal. Se adopta el modelo de Winkler. Tomando un coeficiente de balasto de 15 MN/m^3 .
2. El suelo bajo de cada cimiento se considera homogéneo en sus propiedades físicas y mecánicas.

La dirección facultativa comprobará a la vista del terreno y auxiliado por los ensayos oportunos que estime conveniente realizar, la validez de estos postulados previos, tomando las medidas oportunas en caso contrario.

ACCIONES ADOPTADAS EN EL CALCULO DE LA CIMENTACION

Acciones del edificio

Se consideran las cargas verticales, sin mayorar, transmitidas a las zapatas por los soportes, el forjado y los cerramientos.

Terreno:

El coeficiente de empuje al reposo correspondiente, al tipo de suelo es de $K_0' = 0,48$.

No se ha considerado la acción favorable del empuje pasivo del suelo.

Coefficientes de seguridad.

Los coeficientes de seguridad empleados para el dimensionamiento de las armaduras son los especificados por la norma EHE para un control normal:

Coeficiente de mayoración de acciones permanentes	$\gamma_f = 1.50$
Coeficiente de mayoración de acciones variables	$\gamma_f = 1.60$
Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón	$\gamma_c = 1.50$
Coeficiente de minoración de la resistencia del acero	$\gamma_s = 1.15$

El coeficiente de mayoración de acciones no afecta a las sollicitaciones sobre el terreno, pues ya se ha tenido en cuenta el correspondiente coeficiente de minoración de la resistencia del suelo. Sí afecta, sin embargo, en la mayoración de las reacciones del terreno sobre la losa para el dimensionado de las armaduras de ésta.

Características de los materiales de la cimentación.

El hormigón empleado en las zapatas será : **HA-30/B/40/Ila.**

Cemento Clase CEM II 32,5 UNE 80301:96
Consistencia Blanda : Asiento cono de Abrams 6-9 cm
Relación Agua/Cemento < 0,60
Tamaño máximo de árido 40mm
Recubrimiento nominal 50 mm

Las barras corrugadas utilizadas serán de acero **B500S** con límite elástico no inferior a 500 N/mm².

CÁLCULOS CON ORDENADOR

El cálculo de la estructura se ha realizado con el programa **EF_CID**, realizado en el Departamento de Estructuras de la E.T.S. de Arquitectura de Valencia por los profesores de dicho departamento Adolfo Alonso Durá y Agustín Pérez García. Las características del programa y el sistema de cálculo empleado se especifica a continuación.

MÉTODO DE CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS

El cálculo de las deformaciones de la estructura sometida a un sistema de acciones externas, y los esfuerzos que solicitan a los elementos estructurales, se realiza por el método matricial de las rigideces para el caso de cálculo estático y la superposición modal para el cálculo dinámico.

El cálculo de las deformaciones de la estructura sometida a un sistema de acciones externas, y los esfuerzos que solicitan a los elementos estructurales, se realiza por el método matricial de las rigideces para el caso de cálculo estático y la superposición modal para el cálculo dinámico.

Cálculo estático.

El sistema de ecuaciones formado por la matriz de rigidez global de la estructura y por el vector de cargas, $\vec{F} = |K|\vec{U}$ se resuelve factorizando la matriz de rigidez por el método compacto de Crout.

La matriz de rigidez local de los elementos tipo barra se forma mediante una formulación explícita, teniendo en cuenta el grado de empotramiento de cada extremo de la barra al nudo correspondiente.

Para obtener la matriz de rigidez local de los elementos superficiales y volumétricos se utiliza la formulación isoparamétrica. El proceso que sigue el programa para la obtención de esta matriz, de modo resumido, es el siguiente:

Obtención de las funciones de forma \vec{N} del elemento isoparamétrico que relacionan el movimiento \vec{u} de un punto cualquiera del interior del elemento con los movimientos \vec{a} de los nodos extremos de dicho elemento.

$$\vec{u} = \vec{N} \vec{a} = \sum N_i a_i$$

Cálculo de las deformaciones unitarias del material en función de los movimientos de cualquier punto del elemento:

$$\vec{\varepsilon} = \vec{L} \vec{u} = \sum B_i a_i = \vec{B} \vec{a} \quad \text{Siendo} \quad \vec{B}_i = \vec{L} \vec{N}_i$$

Expresión de la relación entre tensiones y deformaciones a través de la matriz de elasticidad o de flexión D :

$$\vec{\sigma} = \vec{D} \vec{\varepsilon} = \vec{D} \vec{B} \vec{a}$$

Aplicación del *Principio de los Trabajos Virtuales* a un desplazamiento virtual de los nodos e integrando se obtiene la matriz de rigidez local del elemento:

$$k = \int_V B_i^T D B_j dV$$

Esta expresión se resuelve por integración numérica utilizando la cuadratura de Gauss-Legendre de tres puntos localizados en los puntos medios de los lados para el triángulo, cuatro puntos para los tetraedros y una cuadratura de 2x2x2 para los hexaedros.

Obtenida la matriz de rigidez en ejes locales $\vec{f} = |k| \vec{a}$ se hace la transformación $K = R^T |k| R$ para referirla a ejes globales de la estructura ($\vec{F} = |K| \vec{U}$), y se procede a continuación a ensamblar cada elemento en la matriz global.

De la resolución de este sistema de ecuaciones se obtienen los movimientos (desplazamientos y giros) de los nudos de la estructura, y conocidos éstos se calculan, a través de la matriz de rigidez de cada barra, los esfuerzos que solicitan sus extremos, siendo \vec{a} el vector de los movimientos de los nudos extremos.

$$\vec{f} = |k| \vec{a} - \vec{f}_{emp}$$

En el caso de los elementos finitos superficiales y volumétricos se calculan las tensiones en los puntos de Gauss utilizados para la cuadratura de cada elemento y se pasan a los nudos, dichas sollicitaciones se promedian entre los correspondientes a cada elemento que incide en dicho nudo.

Las tensiones en los puntos \mathbf{p} de Gauss de los elementos con \mathbf{n} nudos se resuelven con la expresión:

$$(\sigma)_p = \sum_{i=1}^n (DB_i)_p \vec{a}_i$$

Cálculo Dinámico.

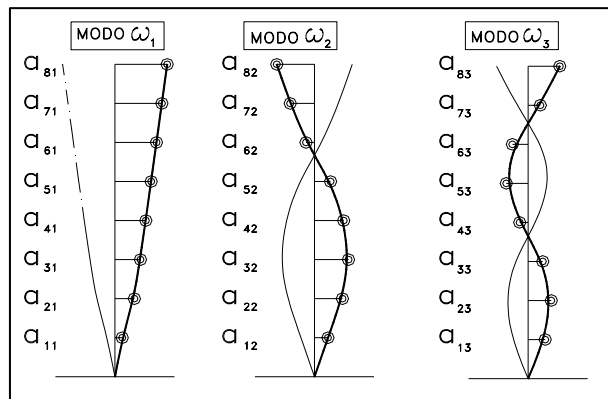
Cuando se efectúa un análisis dinámico las acciones sobre la estructura son función del tiempo, lo que hace movilizar unas fuerzas de inercia unidas a las masas y a la aceleración, interviniendo también los fenómenos de amortiguación unidos a la velocidad de las masas involucradas en el movimiento. La ecuación diferencial de equilibrio dinámico que hay que resolver es la siguiente: $F(t) = |K|U + |C|\dot{U} + |M|\ddot{U}$

El programa CID utiliza el método de superposición modal, hay que calcular los modos de vibración lo que equivale a resolver el problema característico representado por :

$$[[K] - [M]w^2]\{a\} = \{0\}$$

Se calculan los autovalores w^2 (w =frecuencia angular), que definen las frecuencias y periodos naturales de la estructura y la forma modal correspondiente a cada autovalor, representada por el autovector (\mathbf{a}) de las amplitudes de la deformada de cada modo de vibración (Ver figura siguiente). Hay tantos modos de vibración como grados de libertad de la estructura considerada y para cada uno de los autovalores hay un autovector.

En general no es necesario calcular todos los modos de vibración, sino que para el análisis modal aplicado al cálculo sísmico es suficiente con superponer sólo los modos de frecuencia más baja.



El programa calcula el número de autovalores o modos de vibración que desee el usuario, utilizando el método de iteración de subespacios.

Las amplitudes de vibración se normalizan de la siguiente manera:

$$\phi_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n m_k a_{kj}^2}}$$

i = grado de libertad de 1 a n .

j = modo de vibración

m_k = masa en el grado de libertad k .

EFCID realiza el cálculo sísmico por el procedimiento de *Análisis Modal Espectral* para ello calcula la aceleración máxima ($a_{ij,max}$) al que está sometido cada grado de libertad de la estructura, según la expresión siguiente :

$$a_{ij,max} = a_{sp,max} \eta_{ij}$$

$a_{sp,max}$ =Aceleración máxima espectral, teniendo en cuenta el amortiguamiento y la ductilidad de la estructura.

η_{ij} = Factor de distribución del modo de vibración j correspondiente al grado de libertad i .

$$\eta_{ij} = -\phi_{ij} \sum_{j=1}^n m_j \phi_{ji}$$

La aceleración máxima espectral se calcula según el espectro de respuesta que indica la norma NCSE.-02, en función de los parámetros: aceleración básica, coeficiente K, tipo de suelo, vida útil.

Calculada la aceleración máxima en cada grado de libertad para un modo de vibración determinado, el desplazamiento máximo correspondiente lo define la expresión:

$$u_{ij,max} = \frac{a_{ij,max}}{\omega_j^2}$$

Conocidos los movimientos máximos de los nudos para cada forma modal se calculan los esfuerzos máximos modales en barras y en los elementos finitos correspondientes de la misma manera que en el caso estático.

Para estimar la respuesta total en función de los valores modales máximos el programa CID utiliza la formulación conocida como *Combinación Cuadrática Completa (CCC)*:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_i \rho_{ij} R_j}$$

R = Respuesta (movimiento, esfuerzo, tensión) máxima estimada.

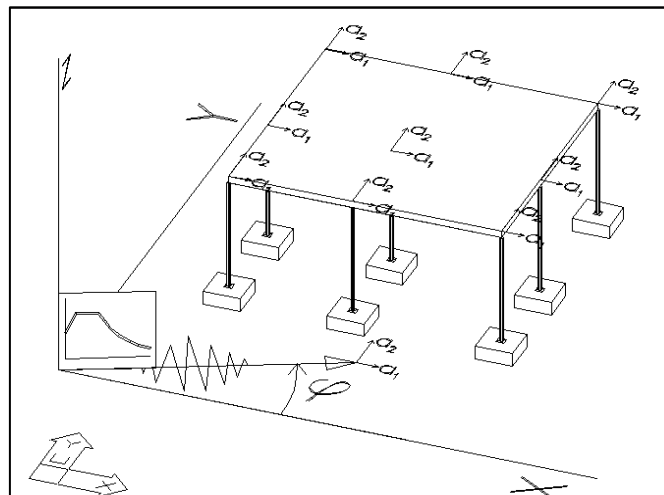
R_i, R_j = Respuestas máximas de los modos i,j.

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1+r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2}$$

$$r = \omega_j / \omega_i$$

ξ = Coeficiente de amortiguación.

El programa CID efectúa el cálculo dinámico con todos los grados de libertad correspondientes al tipo estructural considerado. Por lo que si se trabaja con un modelo tridimensional ya quedan incluidos los efectos torsionales en las diferentes plantas de la estructura debidos a una distribución no uniforme de las masas respecto al centro de rotación de la estructura.



JOSÉ VICENTE MASIÁ LEÓN, arquitecto

En el modelo tridimensional se define el ángulo φ de incidencia del frente de ondas sísmicas respecto a la posición de la estructura. Se consideran tres aceleraciones espectrales $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: una en la dirección del sismo, otra en dirección perpendicular y la tercera vertical. Estas aceleraciones espectrales se descomponen en direcciones

$$a_2 = \alpha_1 \operatorname{sen} \varphi + \alpha_2 \operatorname{cos} \varphi$$

$$a_1 = \alpha_1 \operatorname{cos} \varphi - \alpha_2 \operatorname{sen} \varphi$$

$$a_3 = \alpha_3$$

x,y,z, para aplicarlas en cada nudo de la estructura.

COMPROBACION Y DIMENSIONAMIENTO DE SECCIONES

Tras el cálculo de esfuerzos, el programa dispone de un módulo de comprobación de tensiones en las barras de las estructuras metálicas y de otro módulo que realiza el dimensionado de las armaduras de las barras de las estructuras de hormigón. Este proceso el programa lo realiza sobre las combinaciones de hipótesis definidas.

Estructuras de hormigón armado.

Como criterio de cálculo, se siguen las especificaciones de la norma española al efecto, la EHE.

Se calculan secciones rectangulares y en T en vigas y rectangulares y circulares en soportes.

El programa permite al usuario definir los parámetros de diseño: coeficientes de seguridad, resistencias características del acero y del hormigón, patrones de barras utilizados, etc.

Armado de soportes.

Las características del dimensionado de las armaduras de los pilares son los siguientes:

Las longitudes de pandeo de los soportes se obtienen para cada plano, a partir del grado de empotramiento de sus nudos extremos, calculado mediante una hipótesis de carga adicional, gestionada internamente, que consiste en introducir un momento flector de valor unidad en todos los nudos y comprobando la forma de reparto entre todos los extremos de las barras que concurren en cada nudo.

Los efectos de segundo orden provocados por el pandeo se calculan según el método aproximado (EHE Art.43) de considerar una excentricidad adicional al axil correspondiente.

Para cada pilar y cada combinación de hipótesis (E.L.U) se calcula la capacidad mecánica de tres secciones: esfuerzos de primer orden en pie y cabeza del soporte y esfuerzos de segundo orden (pandeo) en una sección intermedia. A esta armadura se le añade la correspondiente a los esfuerzos de torsión, si existen, y se escoge como armadura final la mayor de todas las obtenidas, teniendo en cuenta que cubran los esfuerzos del pie del soporte superior, si existe.

La flexo-compresión esviada se resuelve con un algoritmo de cálculo que va equilibrando de forma iterativa la zona comprimida del hormigón y la acción de las armadu-

ras según la posición de la fibra neutra con los esfuerzos de cálculo. Se utiliza el diagrama rectangular para el hormigón y birrectilíneo para el acero, según EHE. Este método permite gran exactitud y considerar la colaboración de todas las armaduras de la sección.

Armado de vigas.

Si el axil reducido actuante sobre la viga: $V = N_d / (f_{cd} * A_c)$ es menor que 0,1, la viga se arma a flexión simple, en caso contrario se tiene en cuenta también el axil.

El armado se realiza para la envolvente de todas las combinaciones de hipótesis en E.L.U. Opcionalmente se efectúa el cálculo con redistribución de momentos flectores en las vigas. Se utiliza el método del EUROCODIGO 2, más preciso que el de la norma EHE, al limitar la profundidad de bloque comprimido (x/d) del hormigón en función del grado de redistribución que se desee, y no a un valor constante ($x/d \leq 0,45$) como hace la EHE. Esto es así para asegurar la ductilidad de las secciones en apoyos de las vigas y permitir las rotaciones plásticas.

Se calcula la capacidad mecánica necesaria de acero en tres secciones de la viga: centro de vano y los dos extremos. Estas secciones de acero necesarias se distribuyen en paquetes de redondos según las opciones de armado que haya elegido el usuario. Estos redondos se cortan según las leyes de momentos que tenga la viga más las longitudes de anclaje correspondientes. Para ello se estudian los valores de la envolvente de momentos en once puntos intermedios de la viga.

Comprobación de flechas.

El método utilizado para la evaluación de flechas es el prescrito en la EHE, considerando la inercia efectiva según la fórmula de Branson y descomponiendo la flecha en instantánea y diferida para cada escalón de carga. Definidos estos escalones de carga en las diferentes historias de carga que el programa tiene preestablecidos, y que el usuario puede escoger. Las acciones consideradas son las definidas en las diferentes *Combinaciones de Hipótesis en E.L.S.* que se han determinado.

Valencia Noviembre de 2008

El Arquitecto.