



Universitat
de les Illes Balears

2019

ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE EDIFICACIÓN



Alumno
Andrés Karg Lara

Tutor
Carlos Ribas González



**Universitat de les
Illes Balears**

Escuela Politécnica Superior

Memoria del Trabajo de Fin de Grado

Análisis y dimensionamiento de una estructura de edificación

Andrés Karg Lara

Grado de Edificación

Año académico 2018-19

DNI del alumno: 43203975Q

Trabajo tutelado por Carlos Ribas González
Departamento de Física

| | | | | |
|---|-------|----|-------|----|
| Se autoriza a la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con finalidades exclusivamente académicas y de investigación. | Autor | | Tutor | |
| | Sí | No | Sí | No |
| | X | | X | |

Palabras clave del trabajo:

Cálculo, estructura, CYPECAD, unifamiliar, edificación.

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1 | HORMIGÓN Y ACERO..... | 10 |
| 1.1.1 | Cultura..... | 11 |
| 1.1.2 | Economía | 11 |
| 1.1.3 | Durabilidad..... | 12 |
| 1.1.4 | Ejecución..... | 13 |
| 1.1.5 | Estética..... | 14 |
| 1.1.6 | Características mecánicas | 15 |
| 1.2 | NORMATIVA APLICABLE | 16 |
| 1.3 | FORJADOS MIXTOS | 16 |
| 2 | MODELO DE CÁLCULO | 19 |
| 2.1 | INFORMACIÓN PREVIA..... | 19 |
| 2.2 | AMBIENTE Y HORMIGÓN | 20 |
| 2.3 | FUEGO | 21 |
| 2.4 | PILARES..... | 23 |
| 2.5 | PLANTAS Y/O GRUPOS..... | 24 |
| 2.6 | MUROS DE SÓTANO..... | 25 |
| 2.7 | VIGAS..... | 26 |
| 2.8 | PAÑOS DE FORJADO | 27 |
| 2.9 | ACCIONES..... | 29 |
| 2.9.1 | Peso propio, cargas muertas y sobrecarga de uso | 29 |
| 2.9.2 | Acciones de viento | 31 |
| 2.9.3 | Acciones térmicas | 33 |
| 2.9.4 | Nieve..... | 33 |
| 2.9.5 | Sismo..... | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.9.6 | Empujes en muros..... | 35 |
| 2.10 | VIGAS INCLINADAS..... | 35 |
| 2.11 | ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN..... | 36 |
| 2.11.1 | Zapatas corridas..... | 36 |
| 2.11.2 | Zapatas aisladas..... | 37 |
| 2.11.3 | Chapas de anclaje..... | 37 |
| 2.12 | ERRORES Y ACLARACIONES DEL MODELO..... | 37 |
| 2.12.1 | Cimentación..... | 38 |
| 2.12.2 | Pilares..... | 39 |
| 2.12.3 | Vigas..... | 39 |
| 3 | COMPROBACIÓN DEL MODELO..... | 41 |
| 3.1 | INTRODUCCIÓN..... | 41 |
| 3.2 | DEFORMADA..... | 41 |
| 3.3 | FLECHAS..... | 42 |
| 3.4 | PILARES..... | 43 |
| 3.4.1 | CYPECAD..... | 43 |
| 3.4.2 | Prontuario Informático de Estructuras Metálicas y Mixtas..... | 44 |
| 3.5 | VIGAS..... | 46 |
| 3.5.1 | CYPECAD..... | 46 |
| 3.5.2 | Otras herramientas..... | 49 |
| 3.6 | FORJADOS..... | 51 |
| 3.6.1 | CYPECAD..... | 51 |
| 3.6.2 | Prontuario Informático del Hormigón..... | 56 |
| 3.7 | MUROS..... | 60 |
| 3.8 | ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN..... | 61 |
| 4 | ELEMENTOS SINGULARES..... | 63 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN..... | 63 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.2 | UNIÓN ENTRE VIGAS DE VOLADIZO Y PILAR..... | 63 |
| 4.3 | CONTRAFLECHAS..... | 67 |
| 5 | PROYECTO DE ESTRUCTURAS..... | 69 |
| 5.1 | Introducción..... | 69 |
| 5.2 | Planos | 69 |
| 5.3 | Memoria de cálculo..... | 70 |
| 6 | CONCLUSIONES..... | 71 |
| 7 | BIBLIOGRAFÍA..... | 73 |

ANEJOS

- 1 MODELO DE CÁLCULO DE CYPECAD
- 2 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL
- 3 PLANOS EXPORTADOS DE CYPECAD
- 4 DOCUMENTACIÓN RECIBIDA - PLANOS DE ESTRUCTURA
- 5 DOCUMENTACIÓN RECIBIDA - ESTUDIO GEOTÉCNICO

RESUMEN

El presente estudio se encarga de analizar un proyecto estructural de una vivienda unifamiliar de nueva construcción, siguiendo los procesos actuales de comprobación y dimensionamiento con CYPECAD, de CYPE Ingenieros.

Para ello, he utilizado un proyecto realizado por GRAS Arquitectos, que sirve de base para recorrer el camino que lleva al dimensionamiento de una estructura actual. La vivienda tiene una geometría característica, que alberga en la estructura una gran responsabilidad. Presenta grandes voladizos en los costados de la vivienda, punto singular que caracteriza este proyecto de edificación.

El propósito del proyecto es enumerar y, de algún modo, seguir el proceso natural de un proyecto parcial de estructuras, desde su recepción hasta la entrega al proyectista. Durante este proceso se analizan los puntos más importantes y singulares, sin dejar de lado el resto de elementos intervinientes

Para la comprobación de la estructura y su posterior análisis se han utilizado varios programas y herramientas informáticas, además de bibliografía del ámbito de la edificación y las estructuras. Se pretende evaluar la estructura a un nivel suficiente como para garantizar su buen funcionamiento estructural, manteniendo los coeficientes de seguridad exigidos por la normativa vigente.

Los conocimientos a desarrollar son los aprendidos durante la duración del Grado en Edificación, no únicamente centrados en la rama comprendida por Mecánica, Estructuras I, II y III; sino además, incorporar aptitudes adquiridas a lo largo de todo el grado como pueden ser la capacidad de razonamiento y de resolución de problemas.

Con este trabajo quiero destacar la labor que puede realizar el graduado en Edificación como proyectista de proyectos parciales, enmarcados dentro de la LOE, que habilita a otros técnicos a formar parte del proceso de diseño del proyecto de edificación.

AGRADECIMIENTOS

Este TFG forma parte de un ciclo de cuatro años, no se trata de un simple texto, es parte del fin de una etapa y del comienzo de otra. Ahora, con perspectiva, veo el esfuerzo que conlleva haber llegado hasta aquí.

Para empezar, quiero agradecer a mis padres Carmen y Armin y a mi hermano David haberme dado la posibilidad de ser quien soy, y como no, haberme permitido estudiar todo lo que he deseado.

A todos aquellos profesores que me han transmitido la ilusión de aprender, desde primaria hasta la universidad. Gracias a todos los profesores de Estructuras y a mi tutor Carlos.

A mis amigos Iván, Luis y Jaime.

A Yasir y Joan Josep, mis compañeros y amigos estos últimos cuatro años.

A toda mi familia y en especial a mis abuelos, sin ellos esto no tendría sentido.

A Miguel, Leo y Lucía, por haber sufrido mis días e incluso noches de estudio.

A Fernando y a Victoria, por creer en mí.

Por último y a las que dedico este trabajo: Ana y mi pequeña Elena, os lo merecéis tanto como yo.

ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE EDIFICACIÓN

1 INTRODUCCIÓN

El motivo principal de la elección de el presente Trabajo de Final de Grado, de aquí en adelante TFG, es el interés adquirido en las asignaturas Estructuras I, Estructuras II, Estructuras III, Ampliación de Estructuras y Geotecnia y Cimentaciones del Grado en Edificación de la Universidad de las Islas Baleares.

Pretendo con el estudio nombrar los puntos clave y pasos a seguir durante el modelado y revisión de una estructura de edificación, comprobando elementos de la misma con distintas herramientas de cálculo. El proyecto está enmarcado desde el punto de vista docente, recorriendo la trayectoria del proceso y realizando comentarios, tanto de la vivienda de ejemplo, como de otros sistemas estructurales.

La vivienda escogida como base ha sido proyectada por el despacho de arquitectos GRAS Arquitectos, con su consentimiento para la utilización del proyecto.. Se trata de una vivienda unifamiliar de tres niveles, con varios paños de forjado en voladizo en techo planta baja y techo planta primera. La estructura está formada por perfiles de acero laminado casi en su totalidad, ya que también se han utilizado pilares de hormigón armado y muros de sótano en el nivel inferior.



Figura 1. Vivienda que sirve de ejemplo para la realización de este TFG.

Los pasos a seguir para la realización del trabajo son los siguientes: introducción a las estructuras metálicas, normativa aplicable, realización del modelo de cálculo en base los

planos del proyecto, de manera que se puedan obtener los esfuerzos, si no iguales, casi idénticos a los de la proyección de la estructura, por último, un análisis de los resultados. Para ello, he utilizado las cargas descritas en el proyecto, utilizando los valores normativos establecidos en el DB SE A para aquellos elementos cuya carga es desconocida.

El proyecto se plantea como una pequeña guía comentada de los pasos seguidos para la creación del modelo de estructura en CYPECAD, realizando comentarios también de otras tipologías estructurales. No pretende ser puramente un texto de cálculo estructural, sino de procedimiento y puntos clave genéricos para la mayoría de estructuras de este tipo de edificaciones.

1.1 HORMIGÓN Y ACERO

En la actualidad y a nuestro alrededor podemos ver que se desarrolla el mundo de la construcción, adecuando las necesidades sociales y culturales. Las estructuras, siendo punto clave del mundo de la edificación, son parte de esta evolución constante, y al que muchos estudiosos dedican gran esfuerzo por mejorar.

Los principales materiales estructurales más extendidos en la actualidad son el hormigón y el acero, sin dejar de lado la especial mención a la madera, elemento que durante siglos atrás y adelante seguirá teniendo un espacio reservado en el ámbito estructural y arquitectónico.

Ambos elementos se contemplan en la normativa española, el hormigón en la Instrucción Española del Hormigón Estructural, de aquí en adelante EHE-08, que aúna los requisitos que deben cumplir los elementos de hormigón estructural. Por otra parte, el texto que recoge esta misma información para las estructuras metálicas es el Documento Básico de Seguridad Estructural – Acero, de aquí en adelante CTE DB SE A.

En el presente estudio me centraré en estos dos principales materiales, recorriendo un proceso de análisis de una estructura, que podría con muchos matices utilizarse como pequeña guía para la elaboración de un proyecto parcial de estructuras.

Muchos factores pueden influir en la decisión de realizar una edificación con una metodología estructural u otra, unos materiales u otros, a continuación mencionaré los que, según mi criterio influyen en la decisión de proyectistas y promotores.

1.1.1 Cultura

Ciertos aspectos culturales determinan en infinidad de ocasiones el sistema estructural a utilizar, ya sea por conocimiento en el proceso de diseño o por desconocimiento del resto de sistemas existentes. Es común que las decisiones en cuanto a tipología de la estructura encuentren su razón de ser en lo conocido, en aquello que vemos a nuestro alrededor, y en una herencia cultural que recibimos a lo largo de los años mediante la influencia de otras obras ejecutadas o proyectadas.

Se puede admitir que en la etapa actual, los sistemas estructurales principales en Baleares son: pilares de hormigón armado o metálicos, forjados de vigueta y bovedilla, bidireccional tipo losa, reticular y forjados mixtos. Estos elementos formarían parte de la mayoría de combinaciones posibles, dejando una pequeña porción para los elementos de madera, comúnmente utilizados en porches y pequeñas edificaciones contiguas a las viviendas, y a los elementos de fábrica resistente, que también tienen usos puntuales dentro de las edificaciones actuales, dejando de lado excepciones.

A todo esto, se ha de añadir que en la actualidad se induce a preservar lo existente, manteniendo elementos estructurales existentes en el caso de reforma o rehabilitación, siempre adecuando los niveles de seguridad contemplados en el CTE Documento Básico de Seguridad Estructural CTE DB SE.

1.1.2 Economía

Uno de los aspectos más destacables para la elección del sistema estructural es el coste que pueda suponer la utilización de una tipología u otra. En este aspecto, son los proyectistas que proponen soluciones viables económicamente para el promotor de la edificación, quien valorará entre las opciones propuestas.

| | | | | |
|------------------|-----------|--|----------------------------------|--------------|
| E05HSM010 | m3 | Hormigón para armar HA-25/P/20/I, en pilares | | |
| | | Hormigón para armar HA-25/P/20/I, elaborado en central, en pilares, incluso vertido con pluma-grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-EHS y EHE-08. | | |
| O01OB010 | 0,250 h | Oficial 1º encofrador | 18,79 | 4,70 |
| O01OB020 | 0,250 h | Ayudante encofrador | 17,63 | 4,41 |
| O01OB025 | 0,250 h | Oficial 1º gruísta | 18,31 | 4,58 |
| M02GT002 | 0,250 h | Grúa pluma 30 m./0,75 t. | 18,84 | 4,71 |
| P01HA010 | 1,000 m3 | Hormigón HA-25/P/20/I central | 69,77 | 69,77 |
| | | | COSTE UNITARIO TOTAL..... | 88,17 |

Figura 2. Ejemplo de partida de presupuesto.

Debe ser mencionada que la variable económica depende de factores muy diversos: pudiera ser que para una persona A el precio del hormigón fuera más elevado que para otra persona B. También se podría dar el caso que el coste de ejecución de una partida concreta no fuera la misma que la de una partida idéntica en otra ubicación (hecho que remite al apartado anterior).

Es bien sabido que el factor económico es determinante en la elección de la totalidad de un proyecto arquitectónico, y la estructura no se mantiene al margen de este tipo de decisiones.

1.1.3 Durabilidad

La durabilidad del edificio no sólo a efectos normativos, sino en su significado más puro: una construcción permanente se realiza con el propósito de que perdure en el tiempo. Así pues, el mantenimiento o el ambiente al que se exponga una tipología estructural es clave para la capacidad de los elementos constructivos de perdurar a lo largo de los años en el mejor estado posible.

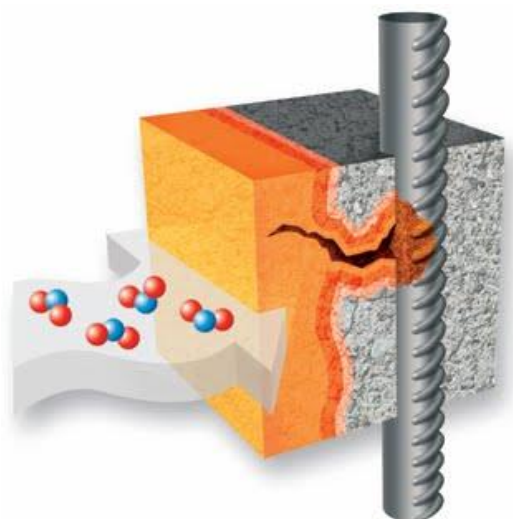


Figura 3. Esquema gráfico del proceso de carbonatación del hormigón.

Por ello, los proyectos arquitectónicos deben cumplir una serie de exigencias normativas que garanticen la estabilidad y el servicio de la edificación sin llevar a la misma a una pérdida de funcionalidad.

1.1.4 Ejecución

La facilidad o dificultad de ejecución también forma parte de la toma de decisión por una tipología u otra. En caso de existir dos modos distintos, uno menos laborioso que el otro, de realizar una acción con igualdad de resultados, la realizaremos con total seguridad del modo más sencillo.



Figura 4. Ejecución de estructura con elementos prefabricados en Pol. Son Bugadelles (Calvià).

A modo de ejemplo: En caso de que el coste de la realización de dos tipologías fuera igual, el resultado fuera correcto en ambos, el cálculo de los elementos fuese de la misma importancia, pero en uno de ellos la ejecución sea más sencilla, gran parte de las construcciones se realizarían con esta técnica menos compleja.



Figura 5. Ejemplo de estructura metálica.

No únicamente se trata de facilidad de ejecución, sino además menor opción de realizar una incorrecta ejecución. Existe un factor humano en la ejecución de las obras de edificación, que puede determinar que un sistema sea más adecuado para su correcta ejecución.

1.1.5 Estética

No siendo de menor importancia, el acabado final de la edificación es indudablemente uno de los aspectos a mencionar en este apartado de decisión de tipología estructural. Existen proyectos arquitectónicos con elementos de hormigón armado vistos, otras construcciones con elementos de madera, y muchos otros con elementos metálicos.



Figura 6. Proyecto con elementos de hormigón visto. Osvaldo Luppi Architects.

Algunos ejemplos de lo mencionado en cuanto al uso estético de los elementos estructurales forman parte de la historia de la arquitectura, hecho que demuestra el gran valor que puede aportar la estructura al acabado estético de la construcción.

1.1.6 Características mecánicas

Existen, en cambio, ciertas estructuras que están obligadas a su realización mediante un sistema u otro por puro comportamiento de los materiales utilizados. Son un claro ejemplo de este aspecto los elementos traccionados en la zona del voladizo de la vivienda mencionada, que por definición se recurre al uso de elementos metálicos debido a la reducida resistencia a tracción del hormigón.

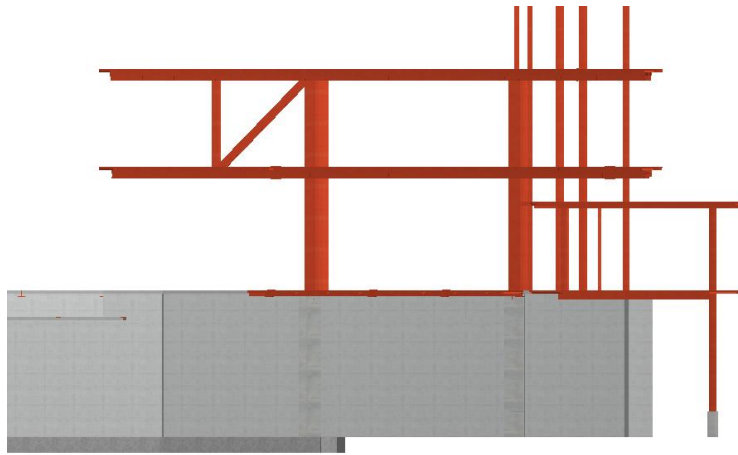


Figura 7. Vista de vigas inclinadas en CYPECAD.

1.2 NORMATIVA APLICABLE

La normativa vigente y de aplicación al presente TFG es la siguiente:

- Código Técnico de la Edificación
 - Documento Básico de Seguridad Estructural
 - Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones
 - Documento Básico de Seguridad Estructural – Acero
 - Documento Básico de Seguridad Estructural – Cimientos
 - Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio
- Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08).

1.3 FORJADOS MIXTOS

Los forjados mixtos son una variedad existente en los sistemas constructivos de la actualidad, son aquellos que combinan distintos materiales, como es el caso de los forjados de chapa colaborante, que se ha utilizado en la vivienda del TFG.

Este tipo de forjados se componen de una chapa grecada o nervada de acero, que puede variar en espesor y dimensión de las grecas (según necesidad estructural); y de hormigón, que puede incorporar armaduras en su interior o no, dependiendo de la necesidad de refuerzo (tanto superior como inferior), por esfuerzos actuantes o por resistencia al incendio.



Figura 8. Ejemplo de chapa grecada para forjado colaborante.

El acero de la chapa colaborante tiene la misma misión de recoger los esfuerzos de tracción, debido a la baja resistencia a tracción del hormigón. El acero de la chapa puede no ser suficiente en caso de incendio, ya que este tipo de forjados tienen una gran exposición a las llamas por parte de la chapa, que se encuentra expuesta si no se le dota de una protección.

Existe un problema a la hora de justificar la resistencia al incendio de estos elementos metálicos, debido a la gran exposición que tienen frente a las llamas y que, al contrario que un forjado de hormigón armado, no tiene recubrimiento. Una de las soluciones que se puede tomar para evitar la pérdida de resistencia del forjado en caso de incendio es la colocación de barras de acero corrugado en cada una de las grecas (manteniendo el correspondiente recubrimiento de hormigón para garantizar el nivel de seguridad exigido).

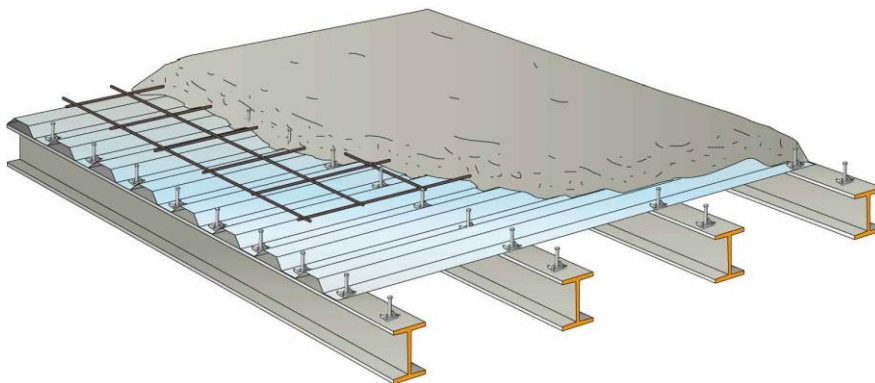


Figura 9. Esquema de tipología de forjado mixto.

Su uso es extendido en la actualidad, gracias a la magnífica combinación que se hace de ellos junto a la estructura metálica, dado que su colocación es rápida y de fácil ejecución. No siempre deben sopandearse los forjados a la hora del hormigonado, pero debe tenerse en

cuenta, ya que las chapas tienen una resistencia limitada a la carga correspondiente al peso del hormigón que se vierte sobre ella (cuando aún el hormigón no ha fraguado y no trabaja como sección conjunta).

En el caso de la vivienda en cuestión, la chapa utilizada es la EUROCOL 60 con 1.20 mm de espesor de chapa, y un canto de forjado de 10 cm, incluyendo capa de compresión con una malla de reparto para evitar las retracciones del hormigón y repartir la carga, así como servir de armadura base para los momentos flectores negativos.

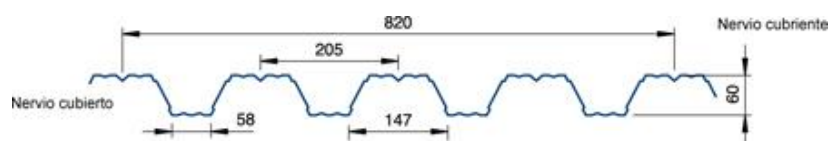


Figura 10. Sección de chapa colaborante de acero EUROCOL 60.

El análisis a flexión de este tipo de forjados se lleva a cabo como el de una sección de hormigón armado, al ser la chapa la que se comporta como sección de acero. Se debe tener en cuenta que la chapa no se encuentra embebida totalmente en la sección de hormigón, ya que influye sobre su $M_{p,Rd}$.

Para realizar una comprobación de la sección de forjado mixto he usado el Prontuario Informático del Hormigón, realizando una simplificación al no tener en cuenta esfuerzos rasantes, y que la sección no está condicionada por el agarre entre el acero y el hormigón.

2 MODELO DE CÁLCULO

2.1 INFORMACIÓN PREVIA

El programa informático utilizado para el modelado de la estructura propuesta es CYPECAD, de Cype Ingenieros S.A. El análisis de las solicitaciones se realiza mediante cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez, formando todos los elementos que definen la estructura. Para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático (excepto considerando sismo) y se supone un comportamiento lineal de los materiales.

Se dispone de planos de arquitectura, incluyendo planos estructurales, de los cuales se obtiene el sistema estructural proyectado y posteriormente ejecutado. Partiendo de esta base, aclaro que el modelo estructural es propio y puede diferir en ciertos aspectos del modelo estructural de proyecto.

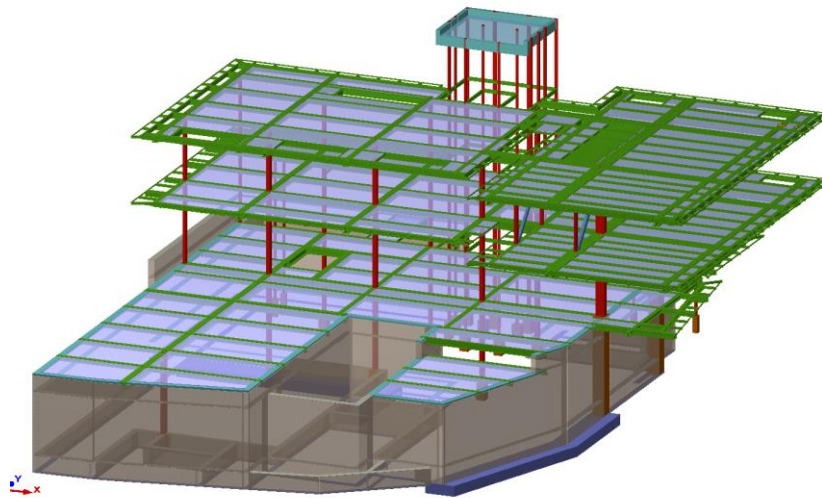


Figura 11. Vista 3D del modelo estructural en CYPECAD.

Toda la información, el análisis y la comprobación de los elementos del proyecto se basan en la documentación obtenida, pudiendo no tener en cuenta posteriores modificaciones en versiones distintas a la recibida y/o planos adicionales que no aparezcan en la documentación anexa a la presente memoria.

Para la realización del modelo de cálculo son precisos los contornos de forjados, posición de pilares y huecos de instalaciones. Es necesario un correcto conocimiento de los conceptos

estructurales básicos por parte de el/los proyectista/s, de modo que el sistema estructural planteado pueda tener un buen funcionamiento.

Además de la información previamente descrita, que serviría para la creación del modelo de cálculo, se deben conocer los materiales de construcción a ejecutar en el proyecto, como pudieran ser: revestimientos, tipo de tabiquería, solados, cubiertas, cargas de agua, tierras, entre otros. Todos ellos, así como la ubicación y el uso del edificio deben estar en conocimiento del proyectista de la estructura.

2.2 AMBIENTE Y HORMIGÓN

Este aspecto es en muchas ocasiones motivo de confusión, debido a la exposición ambiental del hormigón. Existen elementos constructivos, como son las zapatas, vigas de cimentación, encepados y muros que tienen la exposición claramente definida, y además muy poco interpretable según lo especificado en la EHE; pero otros, que pueden implicar la toma de decisión de acabados para determinar la exposición ambiental de un elemento estructural.

Para conocer la clase de exposición ambiental de nuestro proyecto podemos acudir a la herramienta creada por el Ministerio de Fomento (<https://apps.fomento.gob.es/cea/>), muy útil y sencilla para conocer los recubrimientos mínimos.

Municipio : Andraitx ; Clase : IIIa .

Selecciona municipio

Municipio

Andraitx

Recubrimiento mínimo (mm) para la Clase de exposición IIIa

| Hormigón | Tipo de cemento | Vida útil de proyecto |
|----------|--|-----------------------|
| | | 50 años |
| Armado | CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | 25 |
| | Resto de cementos utilizables | 45 |

Figura 12. Recubrimientos mínimos para el municipio de Andraitx.

Recubrimientos mínimos Relación a/c Resistencias mínimas

Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

| Parámetro de dosificación | Tipo de Hormigón | Clase de Exposición |
|--|------------------|---------------------|
| | | IIIa |
| máxima relación a/c | masa | - |
| | armado | 0,50 |
| | pretensado | 0,45 |
| mínimo contenido de cemento cemento (kg/m ³) | masa | - |
| | armado | 300 |
| | pretensado | 300 |

Figura 13. Relación agua/cemento para el municipio de Andratx.

Recubrimientos mínimos Relación a/c Resistencias mínimas

Resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad

| Parámetro de dosificación | Tipo de Hormigón | Clase de Exposición |
|---|------------------|---------------------|
| | | IIIa |
| resistencia mínima [N/mm ²] | masa | - |
| | armado | 30 |
| | pretensado | 30 |

Figura 14. Resistencias mínimas del hormigón en el municipio de Andratx.

Puede darse el caso de una estructura de algunos elementos de hormigón vistos, que en una ubicación cerca del mar (a menos de 5 km) sería un caso de exposición IIIa, lo que limita la apertura de fisura a valores que aumenta notablemente el armado de vigas.

Un error en la exposición ambiental del edificio puede provocar un grave problema si el proyecto debe corregirse, ya que puede definir la resistencia característica mínima del hormigón, el contenido de cemento y la relación agua/cemento, según lo establecido en las Tablas 37.3.2.a y b de la EHE-08.

2.3 FUEGO

La resistencia al fuego de las estructuras tiene la función de permitir la evacuación de los edificios con seguridad y manteniendo la estabilidad del conjunto estructural. Estas resistencias vienen especificadas en el CTE DB SI, según la Tabla 3.1 de la Sección SI6.

| Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾ | Plantas de sótano | Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio | | |
|--|----------------------|---|-------|-------|
| | | ≤15 m | ≤28 m | >28 m |
| Vivienda unifamiliar ⁽²⁾ | R 30 | R 30 | - | - |
| Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo | R 120 | R 60 | R 90 | R 120 |
| Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario | R 120 ⁽³⁾ | R 90 | R 120 | R 180 |
| Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso) | | R 90 | | |
| Aparcamiento (situado bajo un uso distinto) | | R 120 ⁽⁴⁾ | | |

⁽¹⁾ La *resistencia al fuego* suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa *sectores de incendio* es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un *sector de incendios*, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la *resistencia al fuego* suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la *resistencia al fuego* exigible a edificios de uso *Residencial Vivienda*.

⁽³⁾ R 180 si la *altura de evacuación* del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de *aparcamientos robotizados*.

Figura 15. Resistencias al incendio requeridas según el CTE.

En el caso de viviendas unifamiliares, la resistencia requerida es R30 en todos los forjados, dado que la velocidad en que se evacúa se considera la mínima. En el caso de plurifamiliares, dependería de la altura sobre rasante del edificio, en sótanos R120 y en resto de forjados R60, R90 o R120.

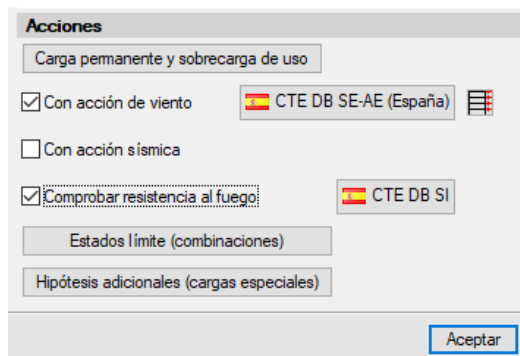


Figura 16. Activación de comprobación de resistencia al fuego.

Se debe señalar la Comprobación de resistencia a fuego en “Datos generales de la obra” para que se contemple el efecto del fuego. En elementos metálicos es imprescindible señalar un revestimiento ignífugo, que en este caso es pintura intumescente cuyo espesor se conocerá tras el cálculo.

Comprobación de resistencia al fuego: Datos generales

CTE

| Grupo | R. requerida | F. comp. | Rev. inferior - Hom. | Rev. pilares y muros - Hom. | Rev. vigas - Acero | Rev. pilares - Acero |
|------------------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| CUBIERTA | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| PRIMERA | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| FORJADO ZONAS VOLADIZO | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| BAJA | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| BAJA INFERIOR | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| SÓTANO | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |
| SANITARIO | R 30 | <input type="checkbox"/> | Sin rev. ignifugo | Sin rev. ignifugo | Pint. intumescente | Pint. intumescente |

Figura 17. Cuadro de revestimiento ignifugo en CYPECAD.

2.4 PILARES

Para la introducción de pilares, se deben posicionar previamente en la plantilla o base, de modo que lo coloquemos en el punto exacto que se desea. Es clave tener en cuenta el punto de referencia del pilar, para que a la hora de crecer lo hagamos en la posición correcta (teniendo en cuenta caras de fachada, ubicación de huecos, contornos de forjado, entre otros).

Nuevo pilar

Grupo final: CUBIERTA
Grupo inicial: Cimentación

Referencia: P30
Ángulo: 0.0 grados

Sin vinculación exterior
 Con vinculación exterior

Vincular giro alrededor del eje X
 Vincular giro alrededor del eje Y

Desnivel de apoyo: 0.00 m
Canto de apoyo: 0.00 m

Coefficientes de pandeo
Coefficientes de empotramiento
Coeficiente de rigidez axial
Recubrimiento
Resistencia del hormigón

| | T | Perfil |
|------------------------|--------------------------|----------|
| CUBIERTA | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| PRIMERA | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| FORJADO ZONAS VOLADIZO | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| BAJA | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| BAJA INFERIOR | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| SÓTANO | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |
| SANITARIO | <input type="checkbox"/> | HE 180 B |

Figura 18. Cuadro de introducción de pilares en CYPECAD.

Para determinar la posición correcta y/o la cara de crecimiento se debe tener en cuenta la configuración arquitectónica, en especial elementos como fachadas, huecos de

instalaciones, pasillos, escaleras, entre otros; son todos ellos elementos críticos que pueden limitar el crecimiento de alguna de las caras del pilar.

En CYPECAD, se debe seleccionar las plantas de inicio y final, la geometría (ya sea metálico o de hormigón), el punto de referencia y el ángulo de rotación. En el caso de perfiles metálicos, es posible seleccionar una serie, como pudiera ser HEB, y posteriormente al obtener los resultados ver el cumplimiento de los perfiles de esa serie concreta. En el caso de pilares de hormigón, se predimensionará con un tamaño y luego se podrá variar en función de los resultados.

2.5 PLANTAS Y/O GRUPOS

Las plantas se pueden introducir individualmente o por grupos (sería éste el caso de edificaciones con geometría repetida en varios forjados), seleccionando el número de plantas a añadir y nombrándolas. Es el momento de otorgar un valor a las cargas muertas y a las sobrecargas de uso por plantas. En caso de haber distinciones dentro de una misma planta se podría dar un valor general y diferenciar con cargas por paños o zonas en las que se deseen alterar.

En caso de haber desniveles en una planta, podría introducirse como planta única, aunque es cierto que en muchas ocasiones, por obligación del programa (al no poder procesar ciertos elementos que acometan a forjados desnivelados) debamos dividirla en dos.

La altura entre forjados es la definida entre caras superiores, que en caso de no aparecer grafiada la cota de forjado de estructuras en los contornos que se hayan recibido se pueden extraer de las secciones recibidas, que suelen ser de gran ayuda para este apartado. En el caso de las cimentaciones es usual recibir la cota superior de la solera de planta sótano, a lo que en muchas ocasiones se debería restar el espesor de esta capa y del enchado de gravas o del sanitario en caso de que existiera.

Para conocer las cotas de forjados sirve de gran ayuda disponer de las secciones del edificio, dónde con mayor claridad se pueden medir las distancias entre caras superiores de forjado, así como información relativa a las cargas (espesores y alturas).

2.6 MUROS DE SÓTANO

En el proyecto de GRAS Arquitectos, al existir sótano, la solución utilizada para los muros perimetrales ha sido de muros de contención de hormigón armado, sobre el que arrancan pilares en plantas superiores. En primer lugar, se debe seleccionar “Muros” en la pestaña de Introducción. El programa no permite la introducción ajustada a una línea previamente dibujada en una plantilla, sino que se debe introducir el muro y posteriormente utilizar la función de “Ajustar” para posicionar correctamente el muro.

Para la introducción de un muro se debe seleccionar un ancho, posteriormente se podrán editar los armados una vez calculada la obra. Además, se debe elegir las dimensiones propuestas de cimentación (si es sobre zapata corrida o empotramiento, o si se encuentra apeado) y la planta de inicio y final.

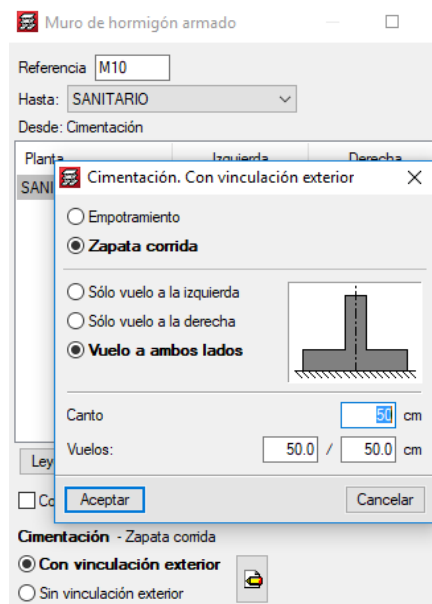


Figura 19. Cuadro de características de zapata para introducción de muros.

Los muros son uno de los elementos más problemáticos del programa, con errores recurrentes y que en muchas ocasiones imposibilitan el cálculo. En caso de tener que calcular muros exentos o de urbanización que no formen parte de la vivienda, sus zapatas se podrían calcular con la herramienta Muros en ménsula de CYPE Ingenieros u otro tipo de herramientas propias, como hojas de cálculo o comprobaciones manuales.

2.7 VIGAS

Para la introducción de vigas se debe tener en cuenta la tipología estructural del edificio, en forjados tipo losa únicamente existirán en aquellas zonas que así lo requieran, como pueden ser: desniveles, vigas de apeo, zonas entre huecos; el resto de vigas pueden ser únicamente una línea límite de forjado sin espesor, que nos hará evitar tiempo a la hora de armar los pórticos, ya que se reducirá el número de pórticos en gran medida.

En el resto de forjados, se deberán introducir vigas en perímetros de forjado también. Los cantos de vigas deberán ser, bien los de forjado (variable en caso de modificar el canto de forjado), o bien de un canto preestablecido. Los cantos de las vigas no se pueden variar una vez procesada la obra sin tener que volver a calcular la obra, por lo que es bueno tener una noción de qué dimensiones precisaría cada viga.

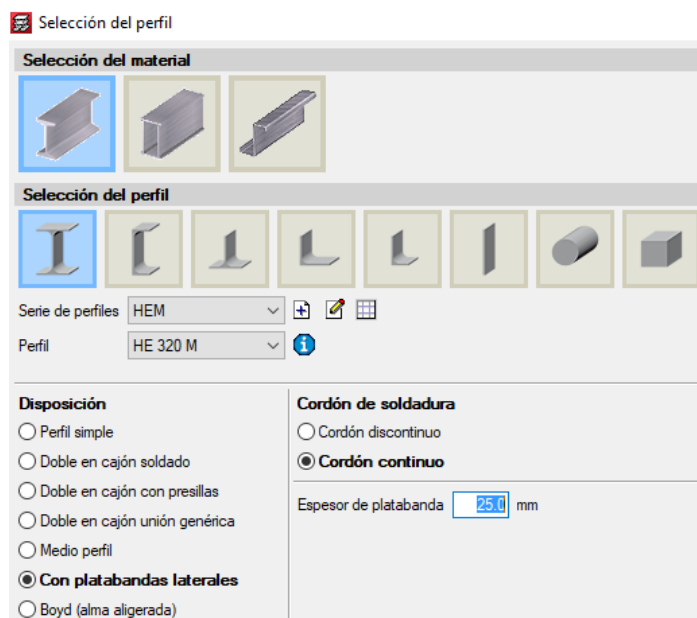


Figura 20. Selección de características para introducción de vigas.

Para la introducción de vigas de la vivienda propuesta, al tratarse de vigas metálicas que tienen una posición definida, lo que he realizado ha sido una plantilla en DWG con los ejes de las vigas, sobre los cuales me he guiado para la colocación de estos elementos.

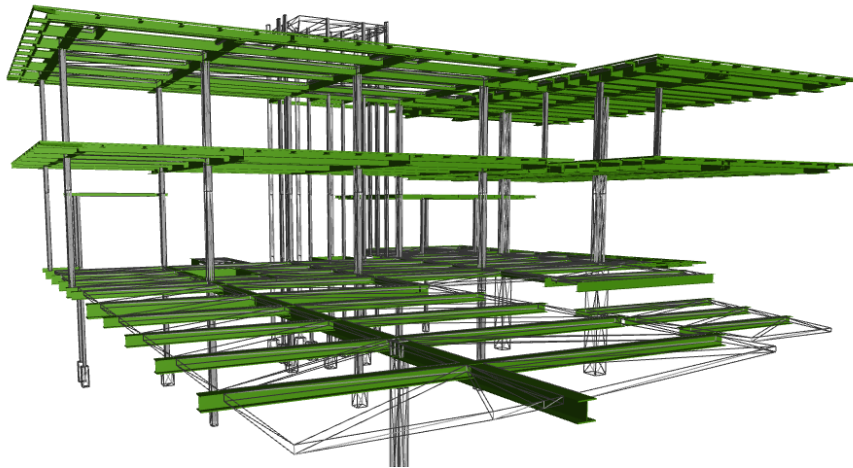


Figura 21. Vista 3D de vigas en CYPECAD.

Las dimensiones y tipología de perfil se han seleccionado según planos de estructuras recibidos. Tras haber posicionado las vigas, se deben articular/empotrar según el criterio del proyectista para un mejor funcionamiento estructural y facilidad constructiva. En mi caso he seguido el criterio del proyecto original, exceptuando los perfiles en voladizo, que he empotrado o les he dado continuidad.

2.8 PAÑOS DE FORJADO

Una vez realizada la distribución de vigas se procede a introducir paños, forjado o hueco según se establezca en proyecto.

Los forjados de esta vivienda se han introducido según las especificaciones documentales: EUROCOL 60 con un espesor de chapa de 1.20 mm, no se prevé ningún armado base para el forjado (opción válida para aumentar la resistencia a fuego de este tipo de forjados), debido a la rápida pérdida de resistencia de la chapa debido a la gran exposición a fuego.

Tras los forjados se deben introducir las cargas, las pertenecientes a la carga de las fachadas, cristalerías, peso de tierras en zona de cubierta ($5,5 \text{ kN/m}^2$), escaleras (según peso calculado) y nieve ($0,3 \text{ kN/m}^2$).

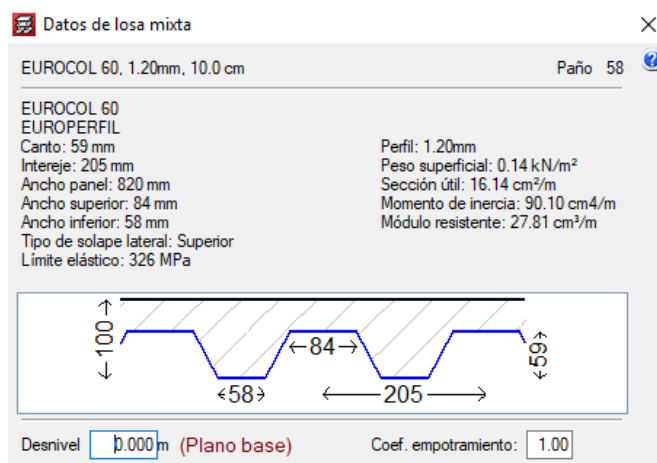


Figura 22. Características de paño de losa mixta.

Para la introducción de otro tipo de forjados se deben seleccionar también las características geométricas, como es en el caso de forjados reticulares y unidireccionales, en los que podemos elegir el ancho de nervio o vigueta, tipo de caseton o bovedilla y espesor de capa de compresión, entre otros.

Es útil el uso de la función “Copiar paños” para garantizar la igualdad geométrica, así como la continuidad de los nervios de forjado. Por defecto, las losas macizas y los forjados reticulares no tienen armadura base, por lo que se debe añadir tras la introducción del paño en cada uno de ellos.

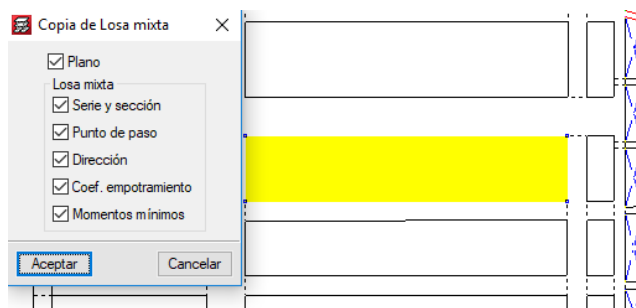


Figura 23. Función de copiar paños en CYPECAD.

Además, en “Datos de paño” podemos definir el canto del forjado (si no se ha definido ya a la hora de introducción) y el desnivel que se desea asignar a ese paño. En el caso de la vivienda de ejemplo no he realizado desniveles en paños, ya que los distintos niveles de planta baja los he introducido por separado en grupos distintos debido a los errores en muros.

2.9 ACCIONES

Estudiada la documentación recibida y las características del proyecto se determinan las cargas que recibe el edificio.

2.9.1 Peso propio, cargas muertas y sobrecarga de uso

2.9.1.1 En grupos

En la creación de plantas y grupos se debe especificar una carga muerta y de sobrecarga superficial sobre todos los paños introducidos. Se han introducido los valores por grupos establecidos en los planos de estructura del proyecto de GRAS Arquitectos (Anejo 4).

Las cargas muertas se determinan en función de los elementos constructivos a utilizar (espesor de pavimentos, tipo de cubierta, material de divisiones interiores, entre otros). S deben valorar según el Anejo C del CTE DB-SE-AE (Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno) o según las especificaciones técnicas de los materiales utilizados. Las sobrecargas en cambio vienen determinadas por el CTE DB-SE-AE en la Tabla 3.1.

| Categoría de uso | | Subcategorías de uso | | Carga uniforme [kN/m ²] | Carga concentrada [kN] |
|------------------|-----------------------|----------------------|--|--|---------------------------|
| A | Zonas residenciales | A1 | Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles | 2 | 2 |
| | | A2 | Trasteros | 3 | 2 |
| B | Zonas administrativas | | | 2 | 2 |

Figura 24. Sobrecargas de uso según el CTE DB SE AE.

| Nombre | Categoría de uso | Q (kN/m ²) | CM (kN/m ²) | Proceso constructivo |
|------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| CUBIERTA | Uso A | 1.00 | 1.00 | Editar |
| PRIMERA | Uso A | 2.00 | 2.00 | Editar |
| FORJADO ZONAS VOLADIZO | Uso A | 2.00 | 3.60 | Editar |
| BAJA | Uso A | 1.00 | 2.00 | Editar |
| BAJA INFERIOR | Uso A | 2.00 | 3.60 | Editar |
| SÓTANO | Uso A | 2.00 | 9.00 | Editar |
| SANITARIO | Uso A | 4.00 | 3.60 | Editar |
| Cimentación | Uso A | 0.00 | 0.00 | |

Categorías de uso
A. Zonas residenciales

Figura 25. Cargas en grupos en CYPECAD.

En la vivienda de proyecto he utilizado las siguientes cargas en grupos, que puntualmente y por zonas distintas se pueden ver alteradas según el uso establecido en una zona concreta de la planta mediante cargas específicas, que pueden ser tanto positivas como negativas.

2.9.1.2 Específicas

Según la distribución arquitectónica de la vivienda se pueden distinguir cargas específicas según la necesidad que se requiera en la edificación, tras haber analizado su disposición y valor según lo comentado anteriormente.

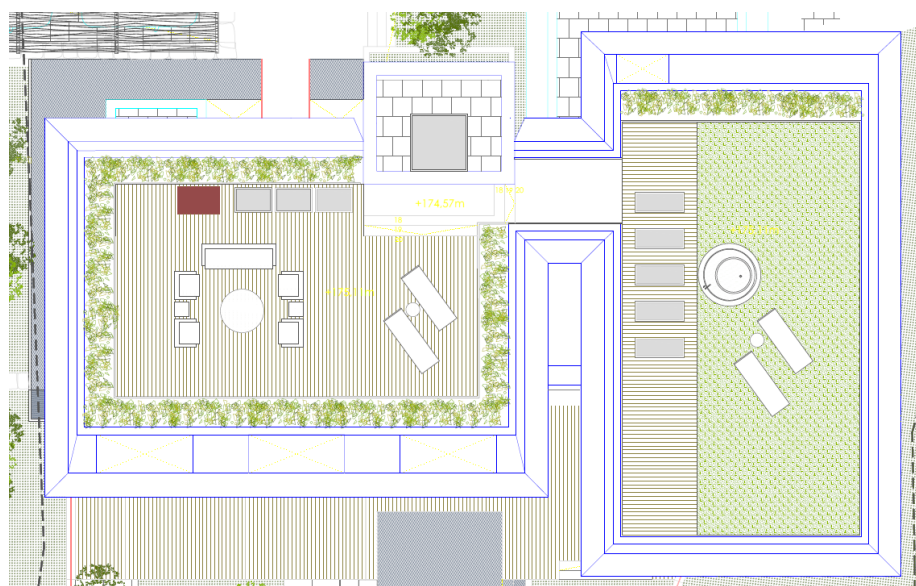


Figura 26. Planta cubierta del proyecto de ejemplo con la posición de las jardineras.

Estas cargas pueden ser: fachadas, jardineras, cristaleras, barandillas, medianeras entre viviendas, maquinaria, escaleras, petos, entre otros. Todas estas cargas y las que fueran necesarias se pueden introducir manualmente como puntuales, lineales o superficiales, pudiendo elegir en cada una de ellas la posición exacta.

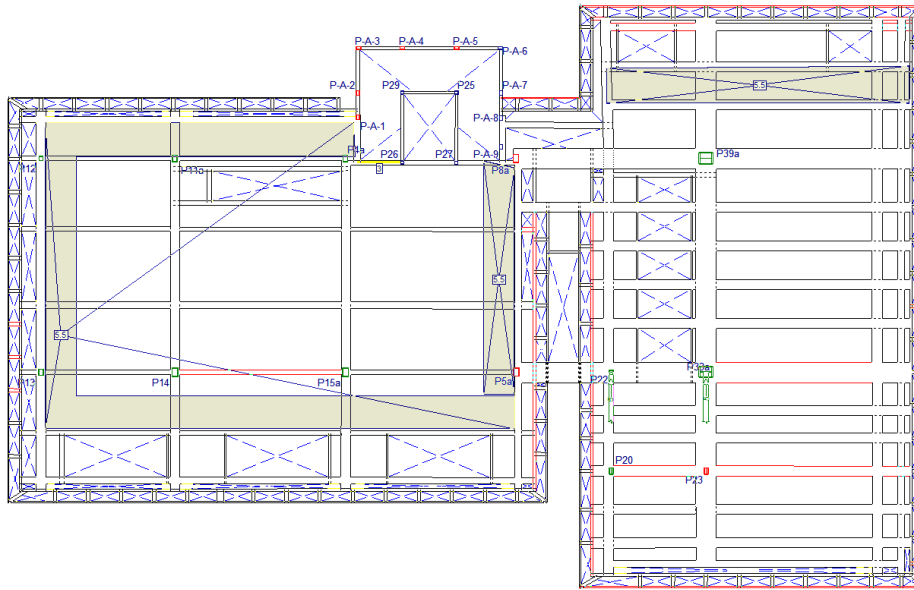


Figura 27. Sobrecarga de tierras en planta cubierta (modelo de CYPECAD).

Este tipo de cargas deben ser introducidas en la posición recibida por parte del despacho de arquitectura para el que se realiza el cálculo, de modo que el dimensionado de vigas, forjados y pilares sea el adecuado y no se deba ver alterado posteriormente. También cabe recalcar que estos elementos no deben ser modificados de lugar sin realizar las pertinentes comprobaciones y refuerzos en caso de ser necesarios.

2.9.2 Acciones de viento

Según el CTE DB SE AE, se establece un criterio de afección del viento sobre los edificios. En CYPECAD, cabe elegir entre las distintas zonas eólicas, según el mapa geográfico que aparece en la Figura D.1 del Anejo D del CTE DB SE AE. Las Islas Baleares se ubican en la zona eólica C, con una velocidad básica de 29 m/s.



Figura 28. Zonas eólicas según CTE DB SE AE

Cierto es, que en plantas con forjados acodalados por muros de sótano, la afección es mínima, pero así tendremos en cuenta también que esos muros además están soportando cargas horizontales de viento.

Para la introducción de las cargas de viento, es recomendable discretizar por forjados individuales las distancias en los ejes X e Y, respecto a la posición y orientación del edificio en el programa. Se introducen las distancias en cada una de las plantas y, el programa, aplica cargas puntuales horizontales, de dirección variable según la hipótesis, en las cabezas de pilares.

De manera manual, para aplicar cargas de viento según el CTE DB SE AE y cocer la carga de viento actuante se debe acudir a la siguiente expresión: $q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$.

En estructuras ligeras, el viento puede ser determinante para el dimensionado de distintos elementos estructurales, para mencionar uno de ellos podrían ser pilares metálicos, que podrían aumentar de escuadría notablemente debido a las cargas horizontales de viento. Véase apartado de comprobación de pilares en CYPECAD.

2.9.3 Acciones térmicas

Según lo establecido en el apartado 3.4.1 del CTE DB SE AE se puede obviar el efecto de las cargas térmicas: “En edificios habituales con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud”.

En ocasiones, se subestiman las cargas térmicas, tomando como solución válida la disposición de una junta de dilatación de 20 mm de espesor, valor que puede servir para algunos edificios pero no para otros, por lo que puede derivar en patologías graves, tanto de acabados como de elementos estructurales.

2.9.4 Nieve

Establecido en el apartado 3.5 del CTE DB SE AE, se deben contemplar las cargas de nieve en todos los forjados descubiertos. En el caso del proyecto, ubicado en el municipio de Andratx, se ha considerado una carga de nieve de $0,2 \text{ kN/m}^2$ en cubierta y en terrazas descubiertas.



Figura 29. Cubiertas nevadas en el municipio de Calvià.

La introducción de la carga de nieve implica la creación de una nueva hipótesis, en mi caso, he tomado el nombre por defecto que facilita el programa: “N 1”. Las combinaciones llevadas a cabo se pueden consultar en el listado de combinaciones de hipótesis, adjuntos en los anejos a la memoria.

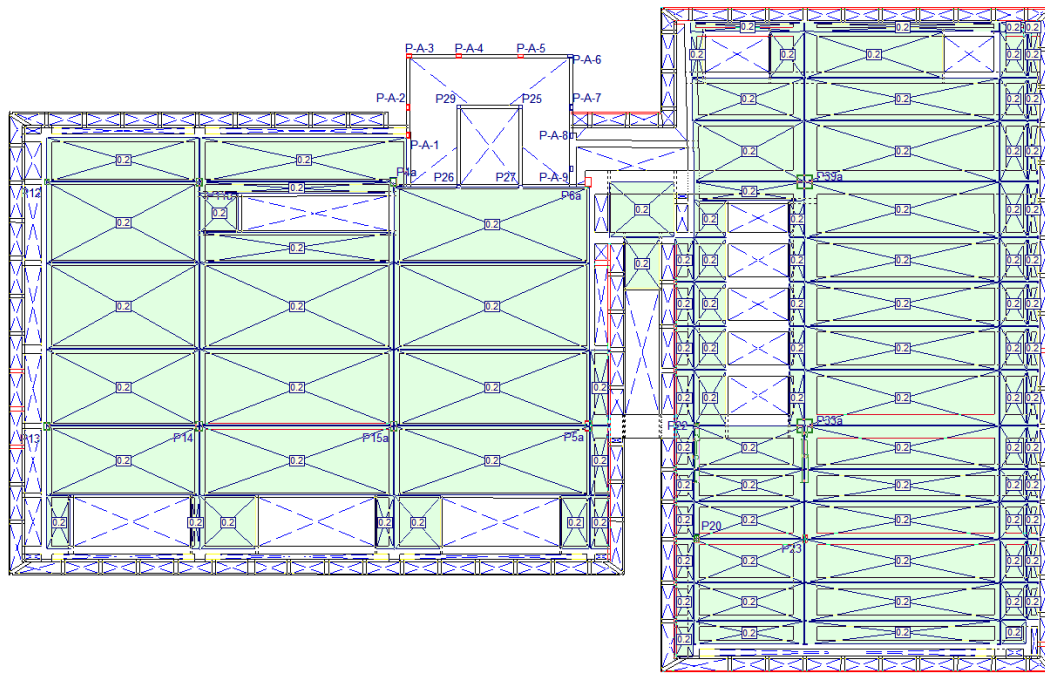


Figura 30. Carga de nieve en cubierta en CYPECAD.

2.9.5 Sismo

En la determinación de las acciones sísmicas se ha considerado la normativa NCSE-02, "Norma de Construcción Sismorresistente". Dicha norma establece una clasificación de los edificios según el destino de la obra, de acuerdo con el siguiente criterio:

- Grupo 1: obras de alcance económico limitado, sin probabilidad razonable que su destrucción pueda producir víctimas humanas, interrumpir un servicio primario, o daños económicos a terceros.
- Grupo 2: obras cuya destrucción pueda ocasionar víctimas humanas, interrumpir un servicio primario o producir importantes pérdidas económicas a terceros.
- Grupo 3: Obras cuya destrucción puede interrumpir un servicio imprescindible después de ocurrido un terremoto o dar lugar a efectos catastróficos.

Según el artículo 1.2.3., la aplicación de la norma es obligatoria siempre excepto en los siguientes casos:

- En construcciones de importancia moderada.

- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_g igual o mayor de 0.04g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica a_c (art. 2.1) sea inferior a 0.08g. No obstante, La Norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, a_c , (Art. 2.2) es igual o mayor de 0.08g.

En consecuencia, no es preceptiva la contemplación de las acciones sísmicas sobre la estructura de ejemplo del TFG.

2.9.6 Empujes en muros

Los empujes en muros se deben introducir en cada muro de manera individual, en sus características, bien sea a la hora de añadir el muro o posteriormente. Se deben establecer los datos del terreno en el trasdós del muro y la cota de tierras a contener.

En el modelo de cálculo se han introducido los empujes de tierras de relleno en el trasdós, con un ángulo de rozamiento interno del terreno de 30° y una densidad de 18 kN/m^3 , hasta la cota de forjado techo planta sótano. La hipótesis creada para los empujes en muros es H 1.

2.10 VIGAS INCLINADAS

En el caso de la presente obra, existen vigas inclinadas tanto en los forjados principales como en el núcleo de escaleras y ascensor. En el caso de la viga entre los pilares 23 y 33 se trata de una viga inclinada que está traccionada y recoge parte de la carga del forjado inferior. En el caso de las vigas inclinadas que forman cruces de San Andrés en el núcleo de ascensor tienen la función de arriostrar la estructura para evitar las distorsiones en los pilares, que tienen un límite establecido en el CTE DB SE.

Para la introducción de vigas inclinadas se debe ir al apartado de vigas inclinadas de la pestaña "Entrar vigas" en CYPECAD y seleccionar el tipo de perfil deseado. Posteriormente

se selecciona un punto de inicio, se escoge la planta del punto final y por último el punto final.

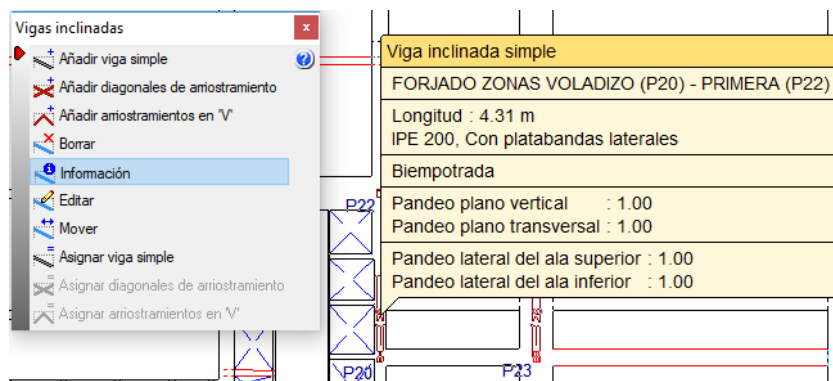


Figura 31. Información de vigas inclinadas.

Los elementos metálicos pueden modificar su dimensión dentro de una serie una vez calculada la obra, pero es imprescindible la realización del cálculo de nuevo para ratificar el cumplimiento.

2.11 ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

Para la introducción de elementos de cimentación se deben tener en cuenta dos aspectos (en el caso de la vivienda de ejemplo), las zapatas bajo muros y las zapatas aisladas en pilares.

La cimentación puede ser calculada posteriormente y de modo independiente al resto de modelos, de este modo se puede esperar hasta obtener la información geotécnica para su procesado. En muchas ocasiones, la realización de un predimensionado de la cimentación con una tensión de trabajo del terreno supuesta puede llevar a la modificación completa de la cimentación por motivos geotécnicos.

2.11.1 Zapatas corridas

Las zapatas corridas bajo muros se introducen con los muros, por lo que al calcular la cimentación también se incluirán estos elementos. Se pueden establecer unas dimensiones que no interfieran con los demás elementos, de modo que no haya solapes con otras zapatas de muros o pilares.

2.11.2 Zapatas aisladas

Las zapatas de pilares se deben introducir manualmente, y determinar su posición (centrada, de medianera o de esquina), así como si existen zapatas combinadas entre dos pilares. A continuación, en la figura, se puede observar que a la hora de colocar el puntero sobre un pilar, dependiendo de su colocación se puede distinguir entre distintas zapatas.

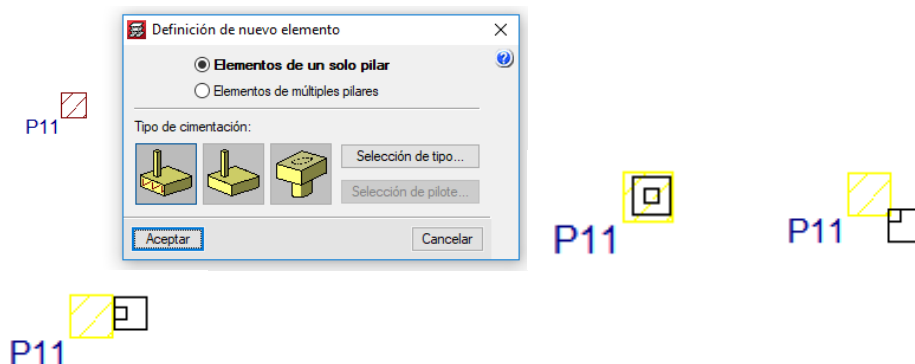


Figura 32. Introducción de zapatas en CYPECAD.

2.11.3 Chapas de anclaje

Las chapas de anclaje se pueden introducir una vez procesada la obra, véase apartado correspondiente en el capítulo de comprobación del modelo.

2.12 ERRORES Y ACLARACIONES DEL MODELO

A la hora de introducir la estructura he tenido que realizar variaciones para corregir errores en el programa. He tenido que modificar los encuentros de los muros de sótano, debido a los muchos errores que se me han producido. Es un error muy recurrente en CYPECAD, ya que los muros tienen otros elementos que acometen a ellos y pueden producir interferencias.

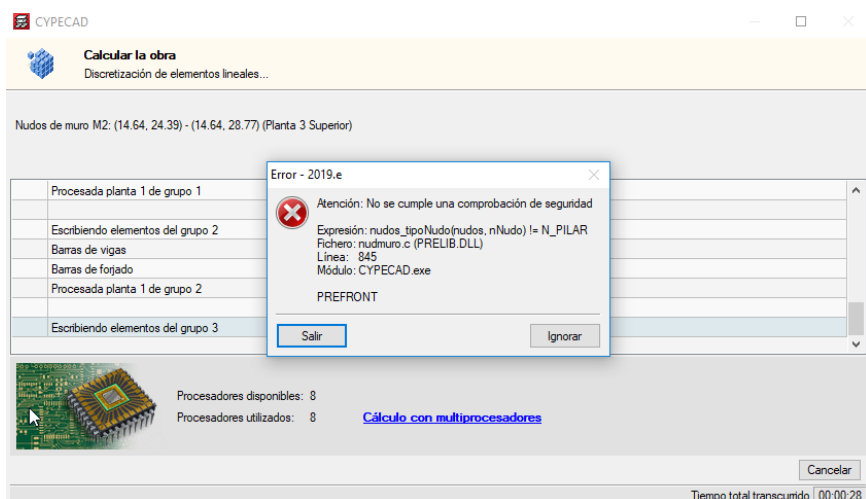


Figura 33. Error al procesar el modelo de la vivienda de ejemplo en CYPECAD.

Los encuentros entre vigas y muros han sido problemáticos, dado que en un nudo se llegan a encontrar varias vigas y muros, por lo que el programa no es capaz de realizar el encuentro de manera precisa, por lo que se han tenido que adaptar esos encuentros, bien desplazando el muro o el punto de llegada de la viga, lo que podría alterar levemente los valores de cálculo.

En las zonas de voladizo, se establecen según proyecto una serie de perfiles HEB soldados a un UPN perfil UPN perimetral, que serviría para la formación de aleros. No se define plenamente en planos cómo debería ser el encuentro de estos perfiles entre ellos, ni con las vigas a las que deben ir unidas para soportar esas torsiones que se producirían.

2.12.1 Cimentación

He decidido obviar el dimensionamiento de la cimentación, debido a los errores en entregas de muros en planta sótano que se han producido a lo largo del modelado de la estructura, hecho que entorpece la introducción y el cálculo de las estructuras con estos elementos.

Es un error común y que para la resolución de encuentros conflictivos se deben introducir muros empotrados en cimentación u obviar ciertos tramos de muros sustituyéndolos por vigas de gran canto, de modo que el encuentro sea más sencillo de procesar al programa.

En caso de querer resolver estas incidencias, lo recomendable sería introducir de nuevo aquellos muros problemáticos, que en ocasiones no están ubicados, para lo que podría ser necesaria la colaboración del Soporte Técnico de CYPECAD.

2.12.2 Pilares

Los pilares arrancan en su mayoría con sección de hormigón armado, debido al forjado sanitario tipo caviti, sobre el cual se añade en el programa un “Pilar que arranca sobre otro”. Esto se debe realizar en el caso de pilares con sección o material distinto (no ocurre en el caso de pilar decreciente de hormigón armado).

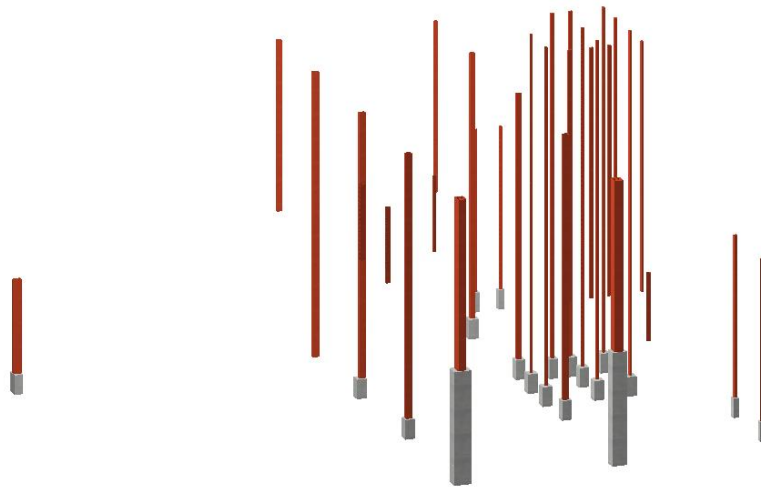


Figura 34. Vista 3D de pilares en CYPECAD.

En los casos que vienen definidos por proyecto perfiles en doble cajón se ha tomado por defecto con soldadura en cordón continuo. El espesor de platabandas laterales se han contemplado según lo especificado en planos de estructuras.

2.12.3 Vigas

Las vigas se han introducido con los mismos nudos articulados/empotrados que en el proyecto original, exceptuando las zonas de voladizo en las que se han realizado todos empotrados, dado que en esos puntos es necesario que las vigas estén con la máxima continuidad posible.

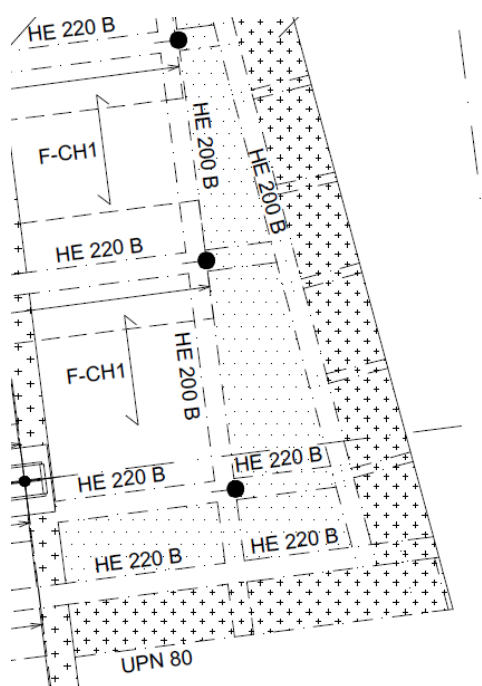


Figura 35. Vista de alero en planta baja. Planos de estructura de proyecto.

No aparecía así en la versión recibida en planos, pero los voladizos deben tener continuidad en el nudo interior, en caso opuesto se produciría un mecanismo. Podría tratarse de un error a la hora de haber exportado planos y haberse corregido en posteriores versiones.

Se han prolongado las vigas hasta los aleros, de manera que no se produzcan torsiones principales en perfiles abiertos, esto no viene claramente definido en los planos y se trata de reducir al máximo una torsión primaria.

3 COMPROBACIÓN DEL MODELO

3.1 INTRODUCCIÓN

Los resultados de CYPE deben ser verificados, dado que es un programa de cálculo, es el propio calculista que debe conocer los métodos y el funcionamiento de la estructura, para así poder determinar con certeza el buen comportamiento estructural del edificio proyectado.

Para ello, es determinante seguir un proceso ordenado y tener en cuenta todos los elementos que intervienen en el proyecto, revisando las comprobaciones necesarias para transmitir esa información en los planos de ejecución.

3.2 DEFORMADA

En primer lugar y para tener una visión general de las deformaciones que está sufriendo la estructura se puede activar la pestaña “Deformada”, en la cual con un código de colores y una escala determinada se pueden observar estos movimientos diferenciales de los distintos elementos respecto a su posición original.

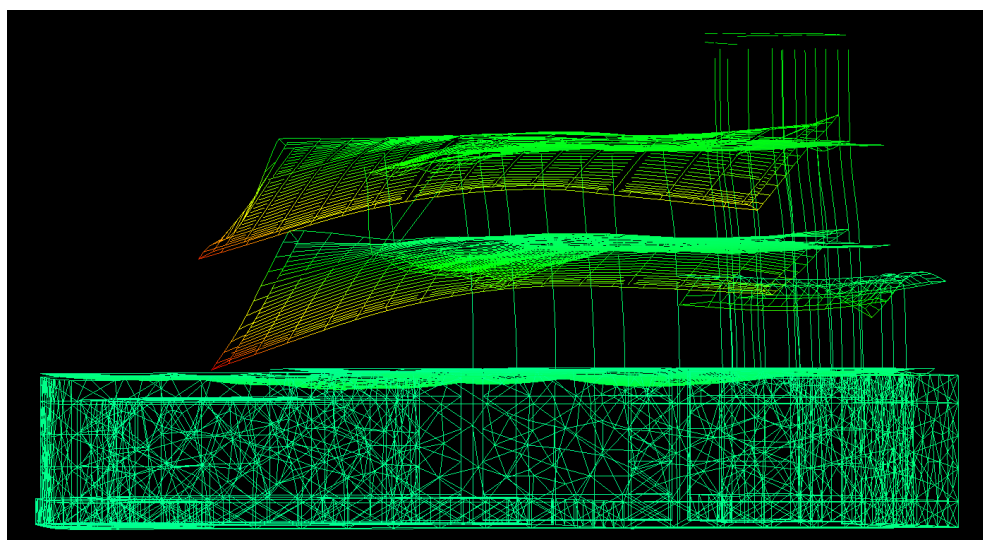


Figura 36. Vista de deformada de los voladizos. Hipótesis de peso propio.

En algunas ocasiones, es en este paso que se puede ver una incorrecta introducción del algún elemento y que se esté deformando de manera desmesurada. Este punto de la revisión puede servir para valorar la correcta introducción del modelo en pocos minutos, dependiendo de la complejidad del proyecto.

3.3 FLECHAS

La comprobación de flechas es imprescindible en los distintos elementos, para asegurar el cumplimiento normativo de integridad, confort y apariencia de la edificación, establecido en el CTE DB SE 4.3.3.1 Flechas.

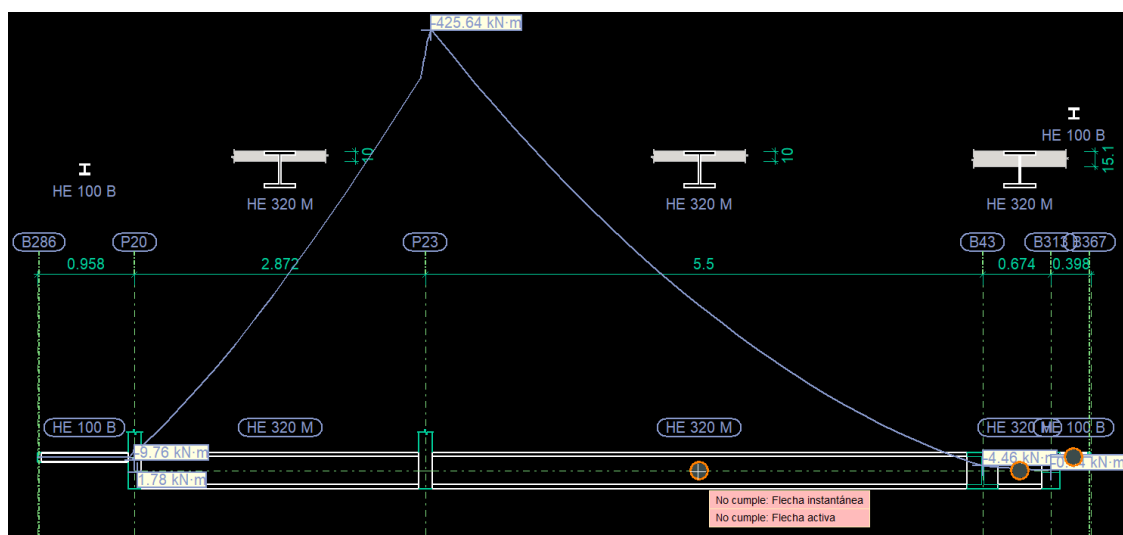


Figura 37. Viga que no cumple la comprobación de flecha.

Es recomendable no permitir una flecha menor a $L/400$ para proyectos con tabiques ordinarios (situación más común en edificación). En el caso de zonas propicias a la instalación de cristalerías de suelo a techo este valor de $L/400$ puede ser insuficiente, siendo recomendable disminuir la flecha máxima para evitar que estos elementos frágiles se vean alterados.

En la vivienda de ejemplo se han admitido vigas con error de comprobación de flecha, contraflechando todas aquellas vigas en voladizo que se ven en esta situación. Véase apartado de Contraflechas en capítulo de Elementos singulares.

3.4 PILARES

3.4.1 CYPECAD

Para la revisión del cumplimiento de pilares se puede distinguir entre pilares que no cumplen alguna de sus comprobaciones por la aparición de su contorno en color rojo. Seleccionando “Pilares” en la pestaña de resultados podemos pulsar cualquiera de ellos en alguna de las plantas y aparecerá el siguiente cuadro con el porcentaje de cumplimiento, dimensiones y armado (en caso de pilares de hormigón).

Para la corrección de pilares es de vital importancia la correcta introducción del punto de referencia del pilar, para que al alterar sus dimensiones, éstas no perjudiquen a la geometría arquitectónica propuesta por parte del proyectista.

| Perfil | Peso | Resistencia | Resistencia incendio | Errores |
|-----------|--------|-------------|-----------------------------|---------------------------------|
| ✘ UPN 50 | 11.18 | 3550.05 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 65 | 14.18 | 1475.70 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 80 | 17.27 | 1014.50 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 100 | 21.20 | 722.70 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 120 | 26.69 | 503.62 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 140 | 32.03 | 384.30 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 160 | 37.68 | 296.12 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 180 | 43.96 | 233.27 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 200 | 50.55 | 187.19 % | — | No es posible calcular el es... |
| ✘ UPN 220 | 58.72 | 150.65 % | 94.70 % (464.0 °C / 0.4 mm) | |
| ✘ UPN 240 | 66.41 | 124.59 % | 75.75 % (451.0 °C / 0.4 mm) | |
| ✘ UPN 260 | 75.83 | 103.11 % | 60.11 % (434.0 °C / 0.4 mm) | |
| ✔ UPN 280 | 83.68 | 88.77 % | 50.58 % (424.5 °C / 0.4 mm) | |
| ✔ UPN 300 | 92.32 | 77.10 % | 93.42 % (610.5 °C / 0.2 mm) | |
| ✔ UPN 320 | 119.01 | 60.90 % | 53.61 % (554.0 °C / 0.2 mm) | |
| ✔ UPN 350 | 121.36 | 55.74 % | 51.61 % (564.0 °C / 0.2 mm) | |

Revestimiento de protección: Pintura intumescente

Significado de los iconos

- ✘ Perfil que no cumple alguna comprobación.
- ✔ Perfil que cumple todas las comprobaciones.

Figura 38. Comprobación de pilar de serie doble UPN en cajón soldado.

Para modificar las dimensiones de el/los pilares se pulsa uno de sus tramos y te permite ver la serie de perfiles en caso de perfiles metálicos y cuál de ellos cumple todas las comprobaciones dentro de la misma serie. Esto no ocurre si modificamos la serie del perfil, debiendo procesar de nuevo la obra.

En el caso de pilares de hormigón, los tramos con incumplimiento pueden variarse en dimensión y armado sin necesidad de procesar para realizar las comprobaciones, aunque

siempre es recomendable volver a efectuar el cálculo una vez corregidos todos los pilares necesarios.

Si existen pilares de hormigón que arrancan sobre muro o forjado, puede aparecer una notificación de error de que la longitud de anclaje de las barras en el arranque son insuficientes. En muros esta comprobación no es del todo cierta (siempre que el muro tenga mayor altura que la longitud de anclaje necesaria), pero en forjados se debe considerar la opción de reducir el diámetro de las barras y aumentar el número de las mismas, de modo que la longitud de anclaje sea suficiente en el espesor del forjado.

3.4.2 Prontuario Informático de Estructuras Metálicas y Mixtas

En este apartado trataré de comprobar el/los pilares más solicitados de la estructura, confirmando que resisten a las solicitaciones de esfuerzo axial y de momento flector, así como la interacción entre ellos. Me ayudaré del Prontuario Informático de Estructuras Metálicas y Mixtas.

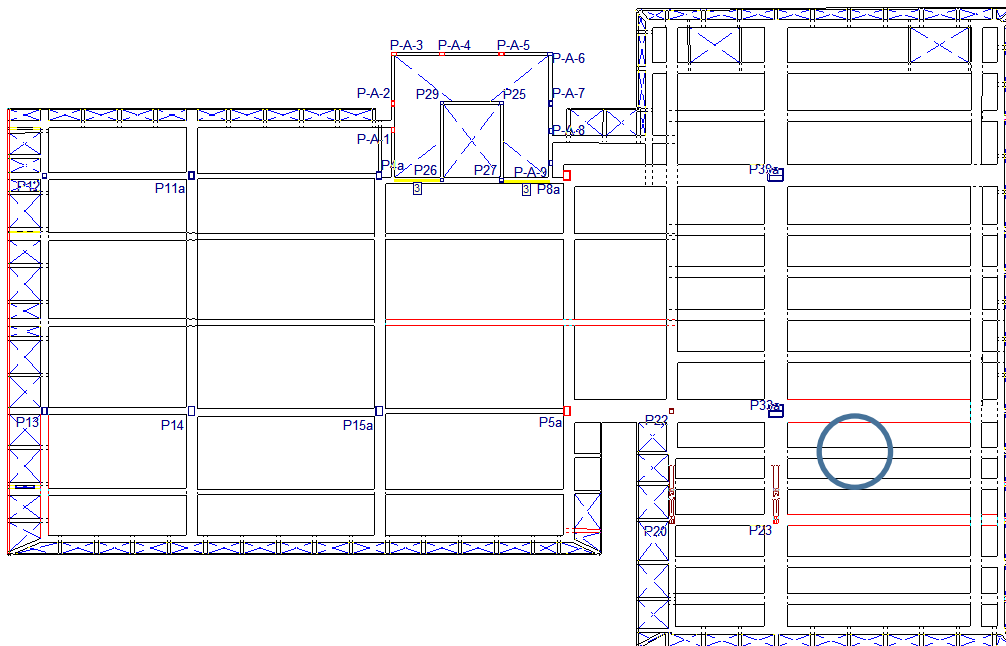


Figura 39. Posición del pilar objeto de la comprobación.

En el apartado de resultados, selecciono el pilar P33, para ver los esfuerzos que se producen, así como la interacción entre ellos. Para ello, deben cumplir el apartado 6.2.8 del

CTE DB SE A, que plantea las siguientes inecuaciones, donde la suma de los tres conjuntos debe ser inferior a la unidad.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1 \quad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1 \quad \text{Para secciones de clase 3}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdy}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Nz}}{M_{0,Rdz}} \leq 1 \quad \text{Para secciones de clase 4}$$

Figura 40. Interacción de esfuerzos en secciones según el CTE DB SE A.

CYPE extrae los resultados de estos sumandos, y demuestran que el pilar cumple con total seguridad a los esfuerzos solicitados de axil y momento flector en ambos ejes.

$$\eta: \underline{0.653} \quad \checkmark$$

$$\eta: \underline{0.561} \quad \checkmark$$

$$\eta: \underline{0.505} \quad \checkmark$$

$$N_{c,Ed}: \underline{2990.19} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^-: \underline{561.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+: \underline{159.45} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase: } \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \underline{13232.33} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y}: \underline{1803.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z}: \underline{1380.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Figura 41. Listado de resultado de comprobaciones por solicitaciones normales en pilar.

Para realizar este tipo de comprobaciones para elementos de hormigón armado puede realizarse uso de la aplicación Prontuario Informático del Hormigón Estructural de IECA o de hojas de cálculo propias.

3.5 VIGAS

He revisado por plantas los diagramas de esfuerzos en vigas y forjados, para ver qué ubicaciones son las más comprometidas en esta estructura. Para realizar un vistazo rápido a todas las zonas de los proyectos, lo más recomendable es seguir un orden, como puede ser en sentido ascendente o descendente (plantas) y de derecha a izquierda.

Las vigas con más momento son aquellas continuas que se introducen en el voladizo, perfiles en cajón doble HEM320, que son las que recogen todo el forjado en voladizo de los niveles techo planta baja y techo planta primera.

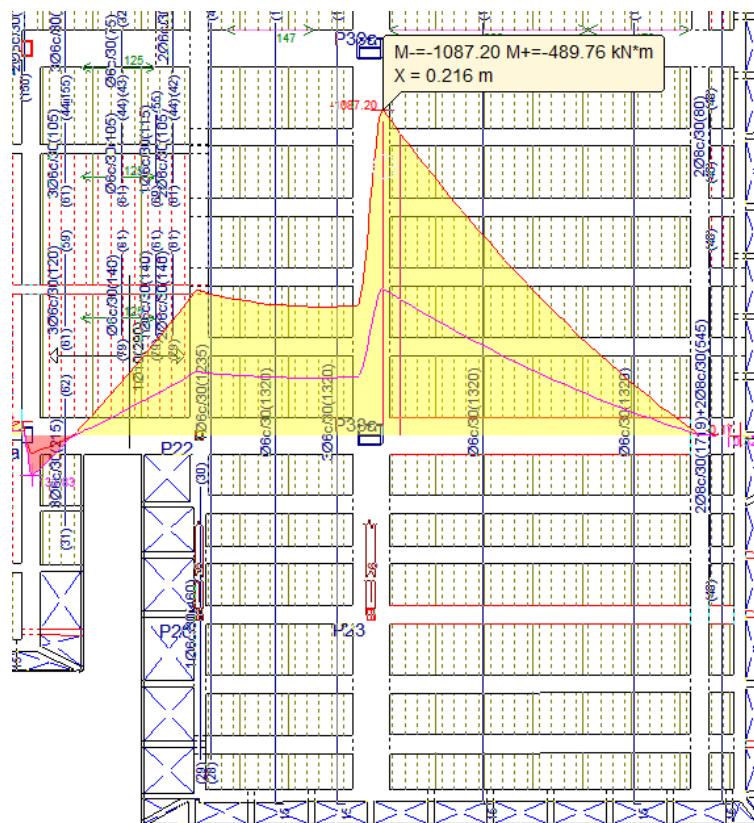


Figura 42. Envoltura de momentos flectores en viga metálica de TP Baja.

3.5.1 CYPECAD

Para la comprobación de vigas metálicas únicamente se debe pulsar la tecla de "Vigas" y pulsar sobre cualquiera de ellas, aparece una ventana con la viga en cuestión y se pueden observar los errores (si hubiera) y el listado de comprobaciones. Al igual que en pilares metálicos, en el caso de incumplimiento se podría alterar la dimensión del perfil dentro de

una misma serie, viéndo cuál de ellos sería el primero que entra dentro de todas las comprobaciones que realiza el programa.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.447 \checkmark$

Figura 43. Ejemplo de comprobación de resistencia en viga metálica.

Las deformaciones son uno de los puntos clave de esta estructura, ya que, en su mayoría, las piezas en el voladizo han sido dimensionadas por flecha en estado límite de servicio, por lo cual las vigas principales del voladizo no están con un coeficiente de aprovechamiento cercano a 100%.

1.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

| Tramo | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) | | | | | | | | | | | | | Estado | | |
|------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------|-----------|-------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|
| | $\bar{\lambda}$ | λ_w | N_t | N_c | M_y | M_z | V_z | V_y | $M_y V_z$ | $M_z V_y$ | $N M_y M_z$ | $N M_y M_z V_y V_z$ | M_t | | $M_t V_z$ | $M_t V_y$ |
| P33a - B11 | N.P.(1) | $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple | $N_{Ed} = 0.00$ N.P.(2) | $N_{Ed} = 0.00$ N.P.(3) | $x: 0 \text{ m}$ $\eta = 50.6$ | $M_{Ed} = 0.00$ N.P.(4) | $x: 0 \text{ m}$ $\eta = 10.1$ | $V_{Ed} = 0.00$ N.P.(5) | $\eta < 0.1$ | N.P.(6) | N.P.(7) | N.P.(8) | $x: 4.622 \text{ m}$ $\eta = 0.3$ | $x: 0 \text{ m}$ $\eta = 10.1$ | N.P.(9) | CUMPLE $\eta = 50.6$ |

Figura 44. Resumen de comprobaciones de resistencia en viga metálica (CYPECAD).

2.- COMPROBACIONES DE FLECHA

| Vigas | Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$ | Instantánea (Cuasipermanente) $f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$ | Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$ | Estado |
|------------|--|--|--|------------------|
| P33a - B11 | $f_{i,Q}: 11.57 \text{ mm}$ $f_{i,Q,lim}: 29.38 \text{ mm}$ | $f_{i,tot,max}: 43.06 \text{ mm}$ $f_{i,tot,lim}: 34.27 \text{ mm}$ | $f_{A,max}: 35.83 \text{ mm}$ $f_{A,lim}: 25.70 \text{ mm}$ | NO CUMPLE |

Figura 45. Resumen de comprobaciones de flecha en viga metálica (CYPECAD).



Figura 46. Vista de contraflechas en voladizos del proyecto ejecutado.

Esta comprobación de flecha no cumple, por lo que se proyectó una contraflecha en los perfiles de la zona de voladizo. Véase apartado 4.1.2 Contraflechas.

En el caso de vigas de hormigón el proceso es algo menos inmediato, ya que es de vital importancia la existencia de una correcta lista de armado para que el programa ya tenga ciertos aspectos en cuenta que ayuden a la posterior labor de la persona encargada de realizar el cálculo estructural.

Una vez se pulsa un pórtico aparecen los armados propuestos por CYPECAD, que en caso de que los cantos de viga sean correctos no precaría cambio en las dimensiones, pero sí en los armados (en la mayoría de casos).

Es importante que la revisión de pórticos sea ordenada, siguiendo un orden por plantas y por número de pórticos, candando (bloqueando en CYPECAD) cada uno de ellos una vez finalizada para que en caso de la realización de algún cambio poder mantener los armados de los pórticos no modificados intactos. Se pueden realizar modificaciones también en la armadura transversal, cuyo valor necesario se indica al pulsar la tecla de edición de estas armaduras.

Para la edición de armados en pórticos mencionaré varios aspectos a tener en cuenta:

- Longitudes de anclaje

Tanto en prolongación recta como en patillas, es necesario que la persona que revisa el cálculo tenga en cuenta las longitudes correctas, ya que en muchas ocasiones las longitudes de anclaje en prolongación recta son algo justas, así como en algunos casos exige el anclaje en patilla en los extremos, reduciendo la capacidad de las barras.

- Facilidad constructiva

Una de las problemáticas más mencionadas por los constructores es la dificultad del armado en los elementos de hormigón. En todo momento se debe tener en cuenta este aspecto constructivo que tiene el proyecto, en muchas ocasiones las comprobaciones normativas garantizan la separación entre barras, pero cierto es que a la hora de la ejecución los números no son ni mucho menos tan exactos.

- Criterio personal

¿Pocas barras de mayor diámetro o muchas de menor diámetro? Muchas veces te encuentras en la tesitura de tener que decidir, con tu propio criterio, cómo debes realizar el armado, teniendo en mente este tipo de preguntas. Un técnico poco experimentado como yo mismo podría en muchas ocasiones pecar por este motivo, pero la decisión se debe tomar de manera razonada, no todos los pórticos son iguales ni todas las edificaciones lo son, por lo tanto, no hay un armado perfecto, pero en muchas ocasiones es mejorable, atendiendo a motivos más empíricos o criterios más perfeccionados.

Como no puede ser de otra manera, es muy importante la revisión de vigas, tanto de hormigón como de acero, atendiendo de modo especial a los armados.

3.5.2 Otras herramientas

3.5.2.1 Cálculo manual

Una vez revisados todos los esfuerzos, he comprobado manualmente la cifra del momento negativo en zona de voladizo, para verificar que las vigas se han introducido correctamente y no hay errores de geometría.

He tomado una longitud de voladizo de 6 m y un ámbito de 4 metros a cada lado de viga, por lo que la carga superficial (Q_d) recibida es la siguiente:

$$3,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,35 + 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 = 7,86 \text{ kN/m}^2.$$

La carga lineal que recoge la viga es:

$$7,86 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 63 \text{ kN/m}$$

Realizando la siguiente operación se obtiene el momento de cálculo aproximado:

$$M_d = \frac{pL^2}{2} = \frac{63 \cdot 6^2}{2} = 1134 \text{ kNm}$$

El resultado obtenido en el software CYPECAD es concordante al rápido cálculo manual realizado, por lo que se toma como válida, ya que la variación es inferior al 5%.

3.5.2.2 Prontuario Informático de Vigas Metálicas y Mixtas

Para realizar la comprobación de momentos flectores, he escogido una viga de voladizo, para verificar su resistencia a momento, en este caso negativo. He utilizado el Prontuario Informático de Vigas Metálicas y Mixtas. Analizaré un perfil HEM320, que se encuentra como último perfil del voladizo.

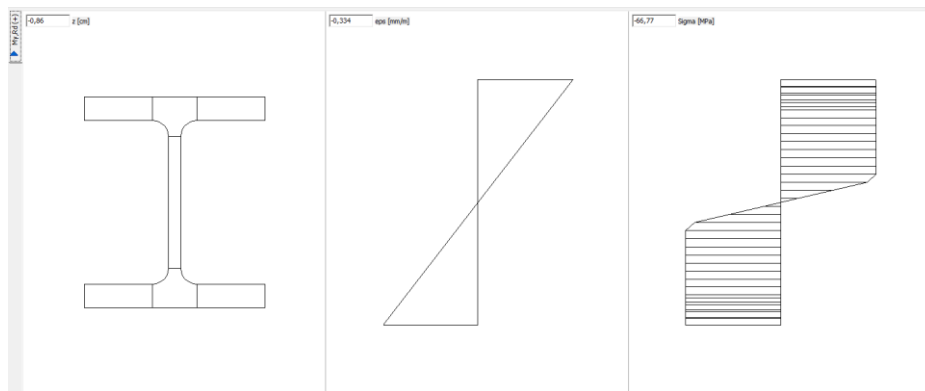


Figura 47. HEM320 en el Prontuario Informático de Vigas Metálicas y Mixtas.

| | My,Rd(+) [kNm] | 1/r [km-1] | x [cm] | Mz [kNm] |
|---|-----------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| ▶ | 1107,73 | 38,233 | 17,96 | 0,00 |

Figura 48. Momento máximo resistido por la pieza.

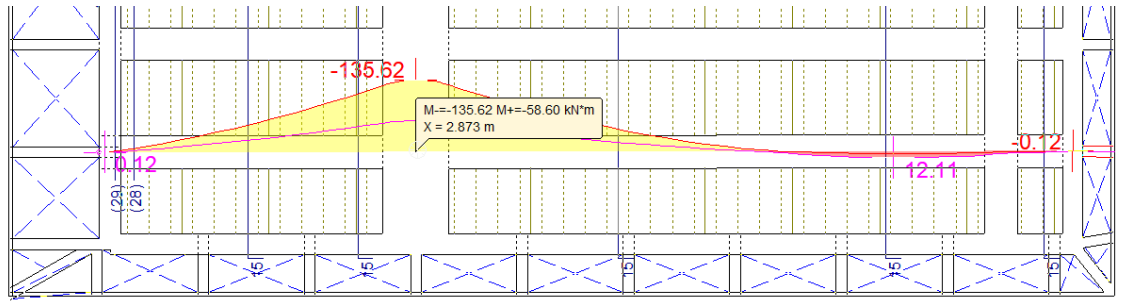


Figura 49. Envoltura de momentos flectores en viga. CYPECAD.

Se puede apreciar claramente que la limitación es por flecha, y no por momento flector, el momento resistido de la sección es $M_{y,Rd} = 1107,73 \text{ kNm}$, mientras que la sollicitación es de $M_d = 135,62 \text{ kNm}$.

3.6 FORJADOS

3.6.1 CYPECAD

En este caso, al tratarse de forjados mixtos, se debe comprobar que ninguno de los paños tiene problemas de resistencia o de flecha.

En el caso de otro tipo de forjado, se revisarían los distintos elementos que pudieran aparecer, sin excederse en la cantidad de información que aparece a la vista. Por ejemplo, en el caso de losas macizas, es recomendable seguir un procedimiento de revisión distinguiendo tipos de armaduras (refuerzo superior e inferior, longitudinal y transversal; así como refuerzos de punzonamiento en perímetros de apoyo).

3.6.1.1 Punzonamiento

No es el caso de la estructura del proyecto, ya que no existen problemas de punzonamiento debido a las pequeñas luces entre viguetas de forjado y la tipología estructural. En forjados tipo losa maciza o reticulares, es imprescindible revisar que los forjados cumplen las comprobaciones de punzonamiento.

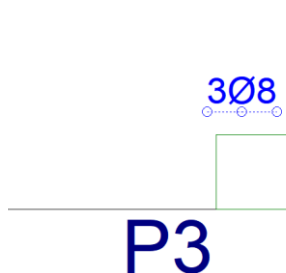


Figura 50. Armadura por tensiones tangenciales en CYPECAD.

El programa tiene en cuenta dos criterios, que se comprueban por separado y se complementan, uno sigue estrictamente la necesidad de armadura por esfuerzos tangenciales y otro el criterio establecido en la EHE-08 en el Artículo 46º Punzonamiento.

En el caso de incumplimiento por tensiones tangenciales, el programa muestra una línea roja perimetral al pilar, con la palabra “Insuf.”, que indica que es insuficiente la armadura transversal dispuesta perimetralmente al pilar. En caso de no mostrar este “Insuf.”, el programa dispone una armadura en caso de ser necesaria, grafiada con círculos y unidos por líneas de puntos entre ellos, únicamente en los lugares necesarios.

Para seguir un criterio, es recomendable seguir las indicaciones de la norma EHE-08 y corregir estos perímetros incompletos por unos que realicen todo el perímetro en el pilar bien en un número de tres perímetros en caso de haber aparecido tres o menos. Nunca se deberá disminuir el diámetro mayor que ha aparecido en las comprobaciones de CYPECAD, para no disminuir en ninguna de las zonas el área necesaria propuesta por el programa.

En caso de haber aparecido más de tres perímetros, éstos se irán aumentando de tres en tres, por motivos normativos, siguiendo las distancias de las comprobaciones a realizar. La distancia de los perímetros son $0,5d$ el primer perímetro, y $0,75d$ los siguientes, ya que las comprobaciones en el perímetro crítico se realizan a una distancia $2d$ de las caras del pilar, o de la chapa de anclaje en caso de ser un pilar metálico.

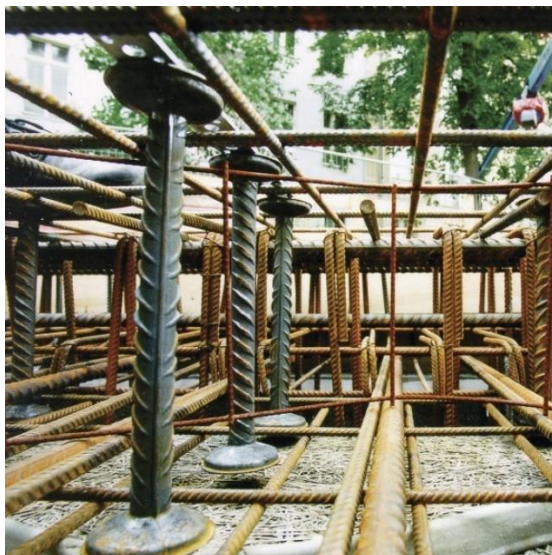


Figura 51. Halfen. Armadura de punzonamiento.

En caso de refuerzo insuficiente de punzonamiento en el programa, trataríamos de comprobar mediante la otra opción disponible, el módulo de punzonamiento de la EHE-08 disponible en CYPECAD. Esta comprobación se puede realizar añadiendo un refuerzo “tipo viga” a la que le asignaremos unas armaduras transversales que realizarán la función de armadura de punzonamiento. Si a esta vista le asignamos un diámetro a una distancia determinada, esta misma disposición la podríamos utilizar realizando los perímetros indicados anteriormente a las distancias de $0,5d$ y $0,75d$, respectivamente y en el número de perímetros que cumplan las comprobaciones de este refuerzo “tipo viga”.

| Estado | Tipo | Comprobación |
|----------|--------------------------------------|---|
| ✓ Cumple | Perímetro del soporte | Zona adyacente al soporte o carga (Situaciones persistentes) |
| ✓ Cumple | Perímetro crítico | Zona con armadura transversal de punzonamiento (Situaciones persistentes) |
| ✓ Cumple | Perímetro de la armadura de refuerzo | Zona exterior a la armadura de punzonamiento (Situaciones persistentes) |
| ✓ Cumple | Armadura de refuerzo | Distancia libre entre dos barras aisladas consecutivas |
| ✓ Cumple | Armadura de refuerzo | Distancia entre la cara del soporte y el primer refuerzo de punzonamiento |
| ✓ Cumple | Armadura de refuerzo | Distancia entre perímetros de refuerzo transversal consecutivos |
| ✓ Cumple | Armadura de refuerzo | Distancia entre dos refuerzos consecutivos en sentido perimetral |

Figura 52. Comprobaciones de punzonamiento en CYPECAD con refuerzo tipo viga.

En caso de incumplimiento de ambas comprobaciones, se puede acudir al Prontuario Informático del Hormigón para realizar una tercera comprobación, también según la normativa EHE-08, en la cual introducimos la información del pilar y del forjado, así como la carga que actúa F_{sd} para calcular el refuerzo necesario en el perímetro del pilar.

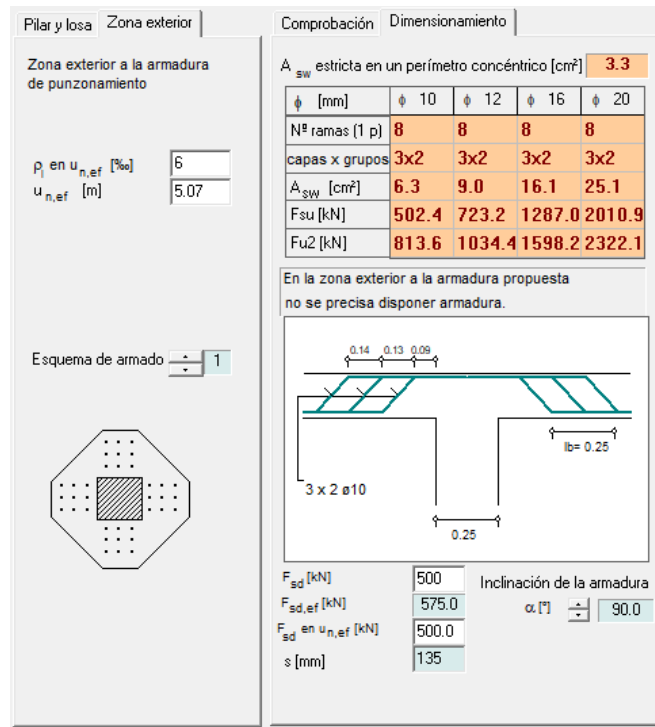


Figura 53. Ejemplo de comprobación a punzonamiento con el Prontuario Informático del Hormigón.

Todas las comprobaciones realizadas es recomendable que sean guardadas para posterior revisión, modificación o incluso auditoría que se realice sobre el proyecto estructural.

En caso de incumplimiento de todas las comprobaciones mencionadas, se pueden tomar varias soluciones, una de ellas es aumentar el canto de forjado (bien sea todo el paño o una zona concreta alrededor del pilar en cuestión), otra es aumentar la dimensión del pilar (de modo que aumenta la longitud del perímetro) y por último podría realizarse el refuerzo de punzonamiento mediante crucetas metálicas (realizando las pertinentes comprobaciones y verificando que por dimensiones se pueden embeber en el forjado manteniendo los recubrimientos necesarios).



Figura 54. Ejemplo de cruceta metálica de punzonamiento.

3.6.1.2 Armadura de refuerzo longitudinal y transversal

- Forjados mixtos

En el caso de forjados mixtos, se puede dotar de una parrilla superior en todo el forjado, de modo que facilite la ejecución en obra. Para la armadura inferior se debe comprobar que la chapa de acero cumple las comprobaciones del programa, en el proyecto de vivienda unifamiliar la chapa propuesta funciona correctamente y no aparece ningún mensaje de error.

En forjados que necesiten una resistencia a fuego superior a R30 se procurará otorgar de un sistema de protección frente al fuego para elevar la resistencia de la chapa colaborante. Como he comentado anteriormente, es común la colocación de redondos del diámetro 10 mm en cada uno de los nervios, embebidos en el hormigón, que en caso de incendio otorgarán mayor resistencia al conjunto del forjado.

- Forjados unidireccionales

Los forjados unidireccionales de vigueta y bovedilla aparecen en la pestaña de resultados de con las viguetas en rojo si no cumplen alguna de las comprobaciones. Se pueden ver los esfuerzos por vigueta o por metro, según interese. Para igualar los armados deberemos pulsar, de manera individual, el botón de igualar “Negativos” y “Positivos”, de modo que visualmente y constructivamente los armados sean más sencillos de ejecutar.

Existe una situación recurrente en edificación en forjados de vigueta autoportante, en los cuales un pórtico intermedio que supuestamente sirve de apoyo para las viguetas se apoya, al contrario de lo esperado, en el forjado de viguetas. Este hecho produce momento positivo en la transición entre viguetas de distintos paños, lo que obliga a armar en la parte inferior de estos nervios y por consiguiente lo recomendable es pasar a un sistema de viguetas hormigonadas in situ, que por su sistema constructivo permiten la colocación de armadura de refuerzo para momentos positivos.

3.6.2 Prontuario Informático del Hormigón

3.6.2.1 Resistencia a flexión simple de forjado mixto

Para analizar la resistencia a flexión he tomado una sección de 1 metro de forjado, de 10 cm de canto. El canto medio de hormigón es de 67,55 mm, y la base es de 1000 mm. La chapa conformará A_s (la armadura traccionada), que tendrá un área equivalente al recorrido de la chapa multiplicado por su espesor (1,20 mm).

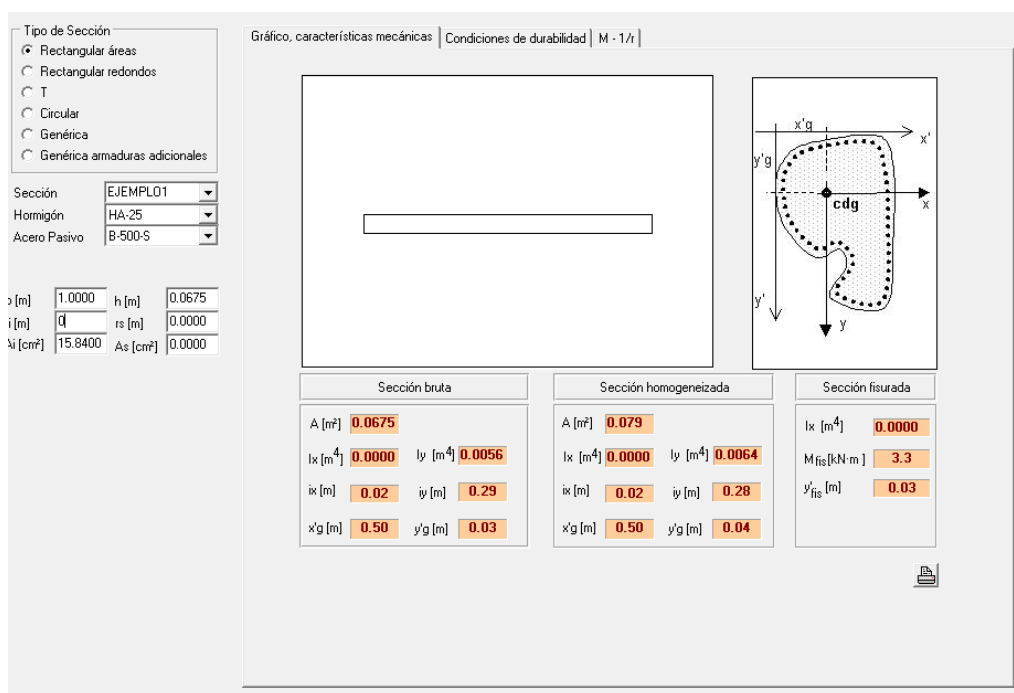


Figura 55. Geometría sección de forjado mixto. Prontuario Informático del Hormigón.

El recorrido de la chapa en una sección de 1 metro es de 1320 mm, que multiplicado por el espesor resulta que $A_s=1584 \text{ mm}^2=15,84 \text{ mm}^2$. Se supone el centro de gravedad de las

armaduras traccionada en el centro de las grecas, por lo cual el recubrimiento de hormigón sería nulo.

He introducido estos datos en el análisis seccional del Prontuario Informático del Hormigón de IECA, por lo que simplificadaamente puedo calcular la resistencia a flexión simple de la sección de forjado.

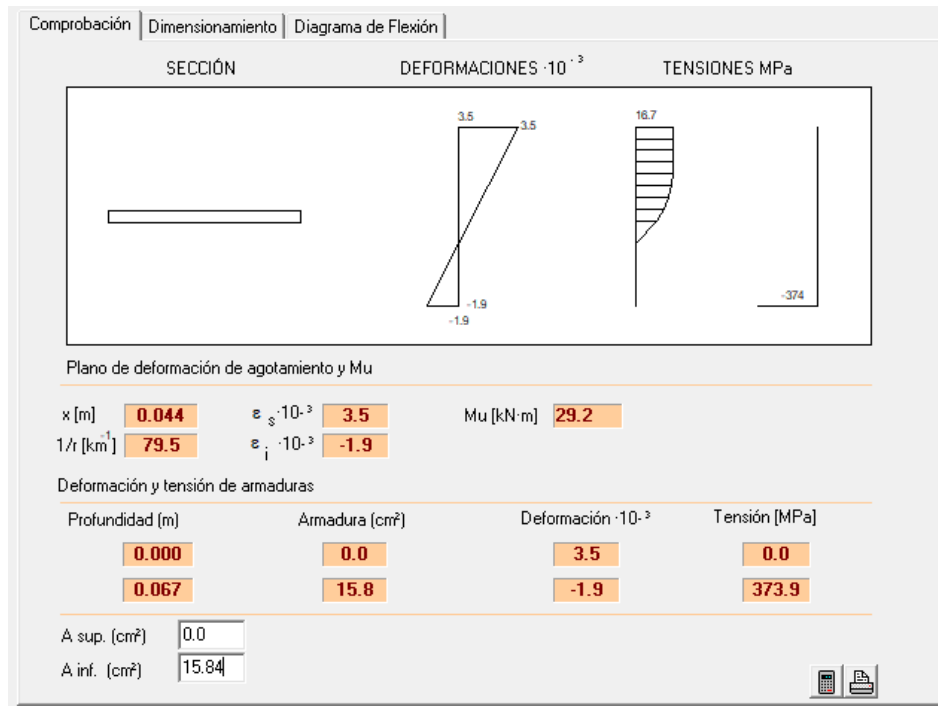


Figura 56. Resistencia a flexión simple de la sección de forjado.

Los datos de sección introducida establecen la resistencia del forjado a sección simple con un M_u de 29,2 kNm por metro de ancho a momentos positivos. Los momentos negativos se deben reforzar mediante armaduras complementarias, dado que la chapa se encuentra en la parte inferior de la sección.

Los momentos positivos máximos en los forjados es del orden de 12 kNm, que es menos de la mitad de momento de lo que es capaz de resistir la sección.

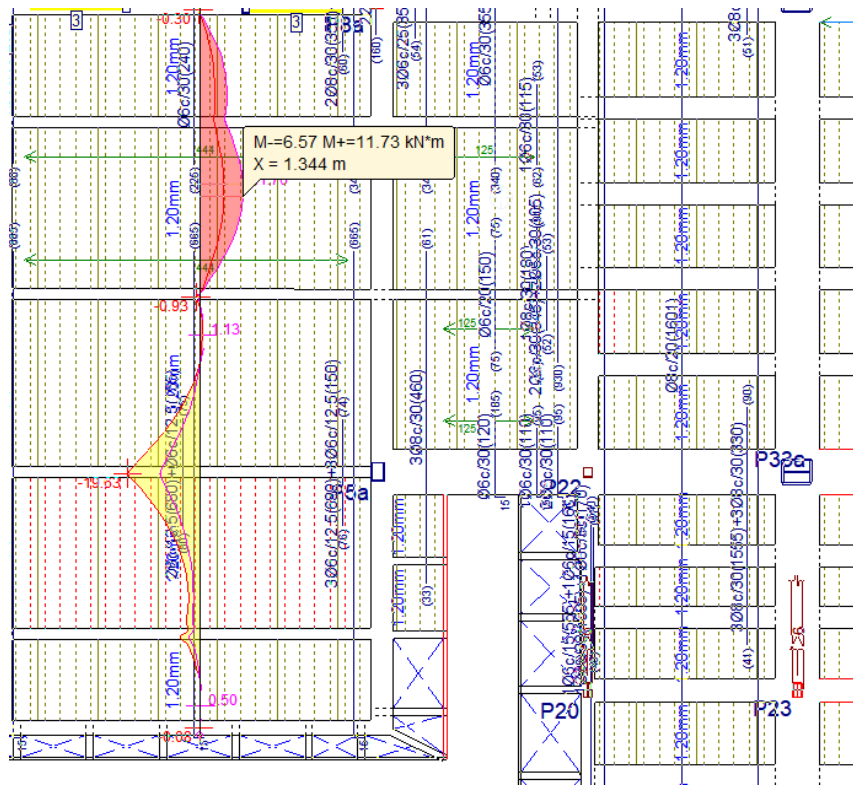


Figura 57. Forjado con máximo momento positivo.

El máximo momento negativo se encuentra en la zona de voladizo, con un valor de 26,3 kNm, realizo la comprobación de la sección.

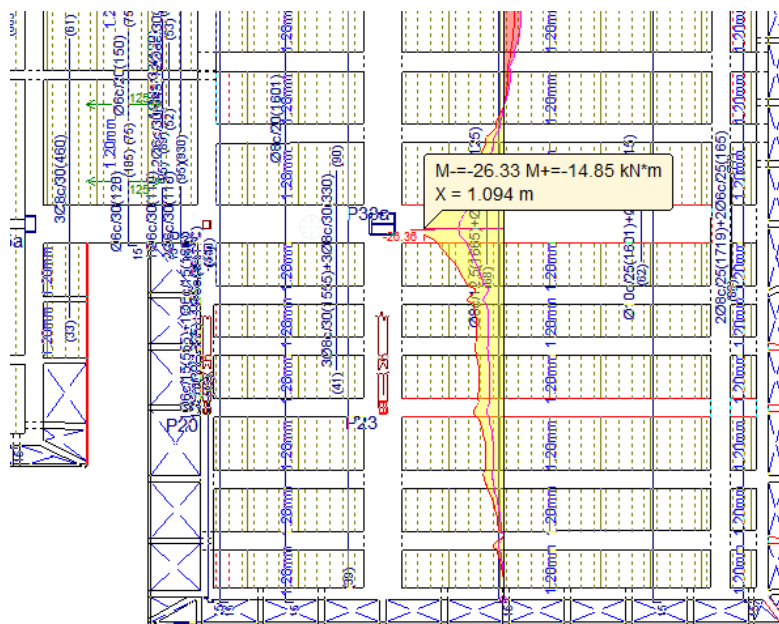


Figura 58. Forjado con máximo momento negativo.

He introducido el valor de momento máximo en el Prontuario Informático del Hormigón, y establece un área de armadura traccionada de 11,7 cm².

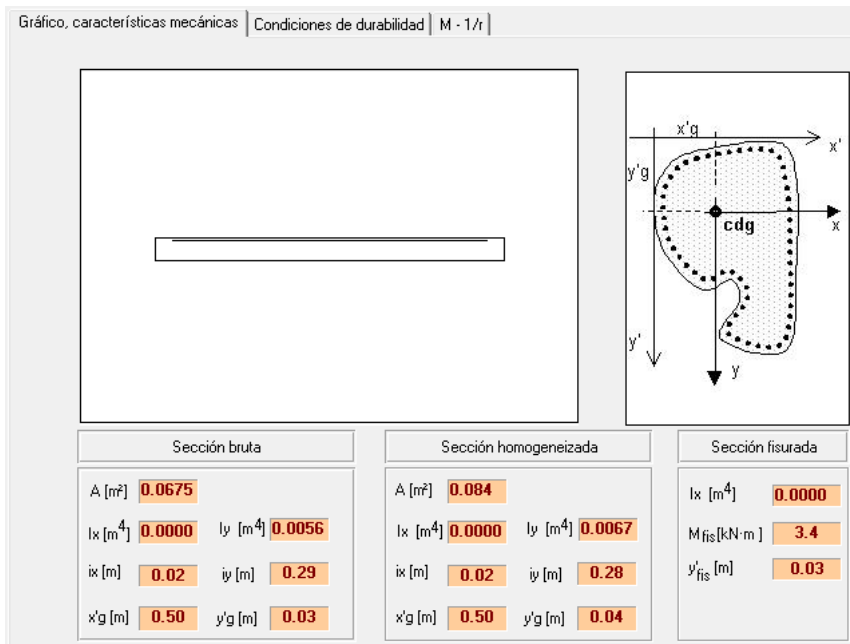


Figura 59. Sección de forjado para momento máximo negativo.

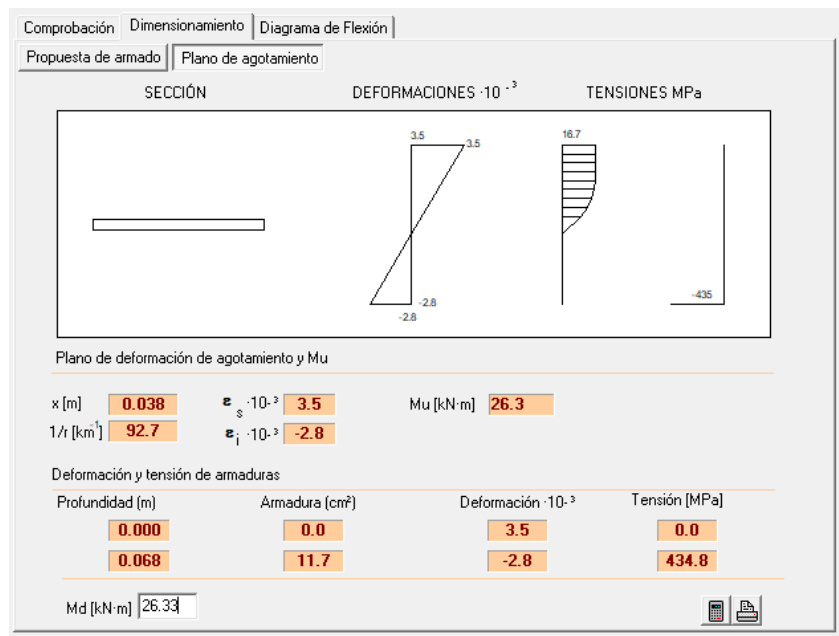


Figura 60. Armadura necesaria para sección de forjado en apoyo de viga.

3.7 MUROS

Para la comprobación de muros se debe seleccionar la pestaña “Muros” y pulsar sobre ellos, aparecen en alzado, señalando en rojo aquellas zonas que precisan armadura de refuerzo. Para verificar el cumplimiento se debe seleccionar la armadura a disponer tanto en dirección vertical como horizontal, así como la armadura transversal si precisa. Se puede asignar una misma armadura al resto de tramos para verificar cumplimiento con un mismo armado.

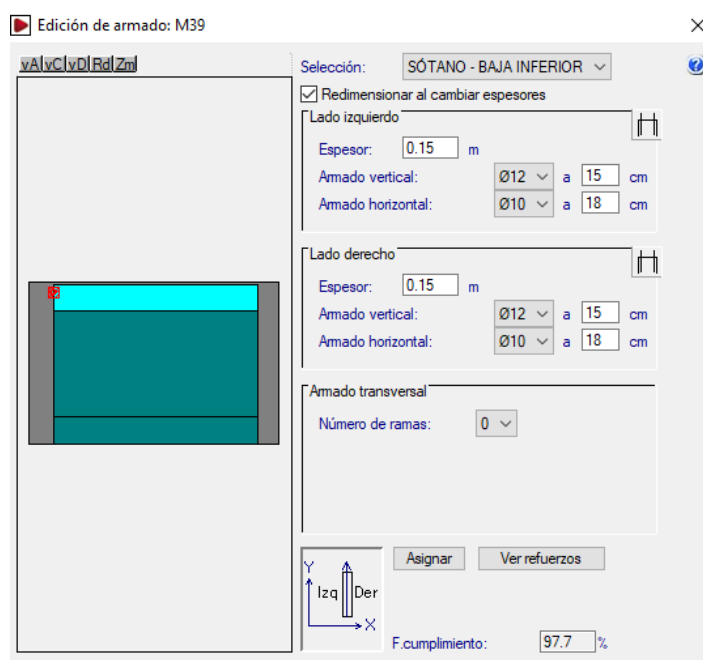


Figura 61. Edición de armado de muros de sótano.

Hay ocasiones en que las esquinas o extremos de hueco pudieran dar pequeños refuerzos (que se deben revisar para verificar la magnitud) que quedan solucionados con detalles de zunchados perimetrales en huecos y coronación de muro, por lo que con un cumplimiento comprendido entre 97% y 100% se podría dar por válido, exceptuando casos concretos según criterio del calculista; ya que en ocasiones estos pequeños refuerzos necesarios según programa tienen solución con los detalles tipo propuestos para la armadura de los muros.

3.8 ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

No se ha realizado el cálculo de la cimentación al completo de la vivienda propuesta, por motivos ya mencionados en apartados anteriores. Para el cálculo de la cimentación, se puede ir a la pestaña “Calcular” y pulsar sobre Calcular la cimentación. Para evitar este proceso que ha provocado incidencias, he editado un elemento de cimentación (zapata) y lo he procesado de manera individualizada, obteniendo los siguientes resultados:

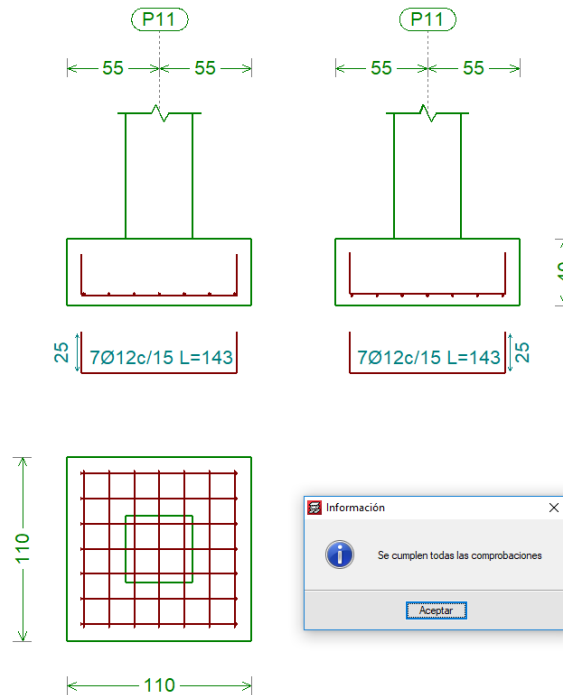


Figura 62. Ejemplo de dimensionamiento de zapata aislada.

Lo recomendable a la hora de realizar un proyecto de estructuras es disponer del estudio geotécnico lo antes posible para poder realizar el cálculo de la cimentación durante o tras el cálculo del resto de elementos, para poder contemplar los distintos detalles y encuentros constructivos.

Elementos de cimentación con vinculación exterior

Terreno de cimentación

Verificar deslizamiento de zapatas

Adherencia (a') MPa

Ángulo de rozamiento terreno-zapata (d') grados

Situaciones persistentes MPa

Situaciones sísmicas y accidentales MPa

Considerar combinaciones con viento

Considerar combinaciones con sismo

Figura 63. Datos relativos a la cimentación en "Datos generales de la obra".

En caso de entrega de una cimentación provisional para realizar el Proyecto Básico, posteriormente a la recepción del Estudio Geotécnico podría sufrir modificaciones tales que la cimentación entregada anteriormente fuera un simple trámite y nada más.

4 ELEMENTOS SINGULARES

4.1 INTRODUCCIÓN

Muchas de las estructuras que recibe un técnico especializado en el cálculo estructural tienen elementos que difieren de lo común, los llamados elementos singulares, aquellos que pueden tener cierta complejidad de cálculo, de ejecución, o simplemente son novedosos.

Estos elementos singulares deben ser analizados de modo singular también, como su propio nombre indica. La edificación usada para la redacción del TFG tiene varios aspectos que precisan este análisis más concreto, cuyo contenido expondré en los siguientes apartados de este capítulo.

En la proyección estructuras metálicas son de vital importancia las uniones entre distintos elementos, que en muchas ocasiones tienen gran complejidad. En el proceso de creación del proyecto estructural pueden quedar pendientes de definición algunos de los encuentros más específicos del mismo, que puede derivar en una falta de claridad e incorrecta ejecución durante la construcción de la estructura.

Para que la ejecución del proyecto sea lo menos dramática, es vital que todos los elementos estructurales queden definidos, detallando de una manera más profunda todos aquellos que más lo necesiten. He planteado varios de estos elementos como ejemplo de aspectos que requieren, además de detalles tipo para forjados, pilares, vigas, muros y zapatas, un tiempo mayor de dedicación para darle a cada proyecto la singularidad que merece.

4.2 UNIÓN ENTRE VIGAS DE VOLADIZO Y PILAR

Generalmente, la estructura metálica es conocida por unos tiempos muy optimizados en la ejecución, pero es cierto que a la hora de realizar encuentros complejos, ésta podría complicarse. En estos encuentros se deben multiplicar los esfuerzos por realizar una correcta ejecución, así como por parte del consultor de estructuras una correcta definición en este tipo de uniones.

Para dar ejemplo de ello, destacaré un nudo clave de la estructura propuesta, en la que encuentran su camino dos vigas (formadas cada una de ellas por dos perfiles HEM320 soldados en cajón) y un pilar HEM400 con platabandas laterales de 25 mm de espesor. El

hecho de que todos estos perfiles sean perfiles cerrados dificultan los encuentros, ya que a la hora de rigidizar este nudo entra en conflicto la dificultad constructiva.

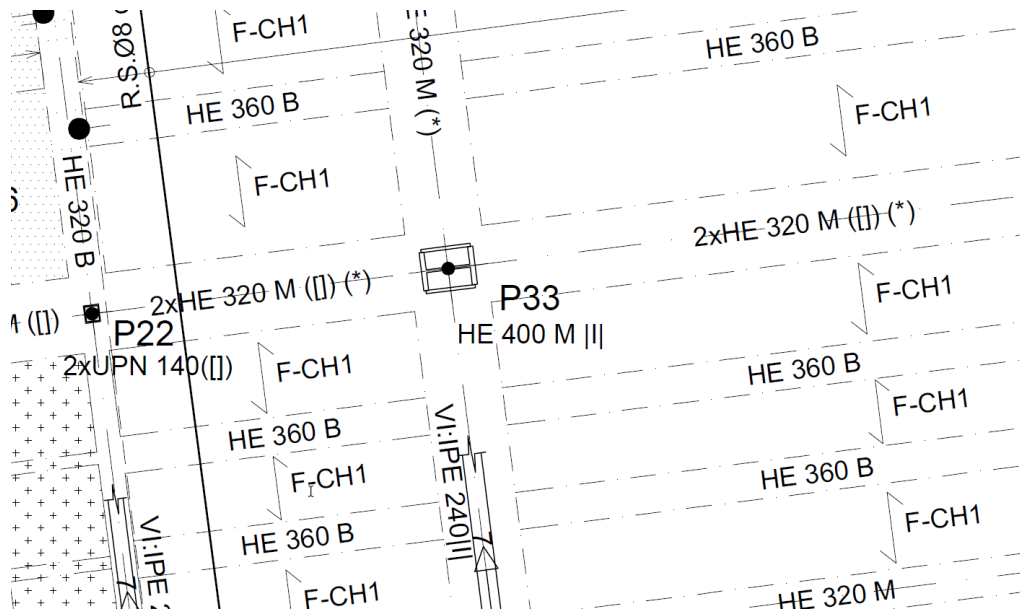


Figura 64. Zona de unión entre pilar P33 y dos vigas doble HEM320 soldadas en cajón.

Observando la planta de los planos estructurales, este encuentro es vital para la estabilidad del voladizo, dado que los esfuerzos en estos tres elementos es de gran envergadura. Este detalle no aparece grafiado en ninguno de los planos de los que se disponen, pero que con gran probabilidad se haya añadido en posteriores versiones para la realización de una correcta ejecución.

Para garantizar la continuidad del pilar y de las vigas, deberían colocarse rigidizadores en alas y almas de estos elementos:

PLANTA

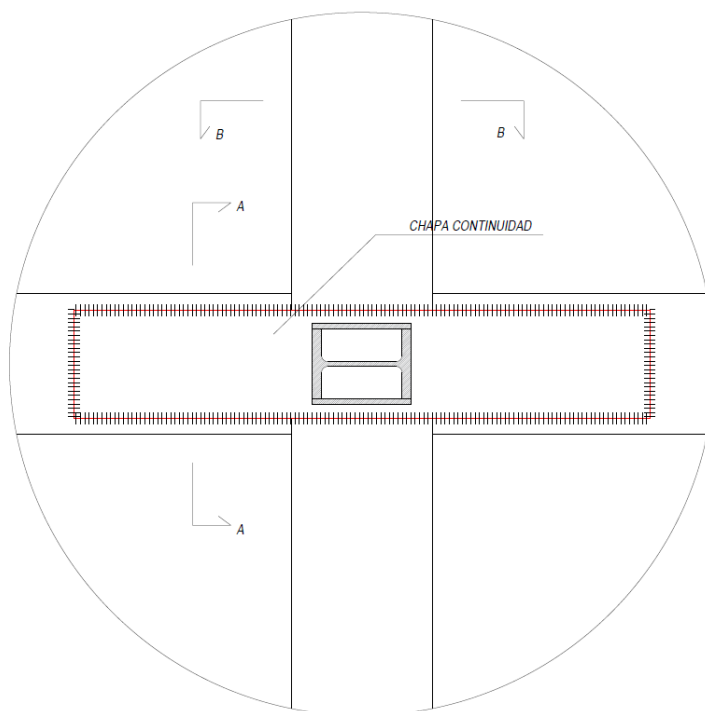


Figura 65. Chapa de continuidad superior.

SECCIÓN C-C

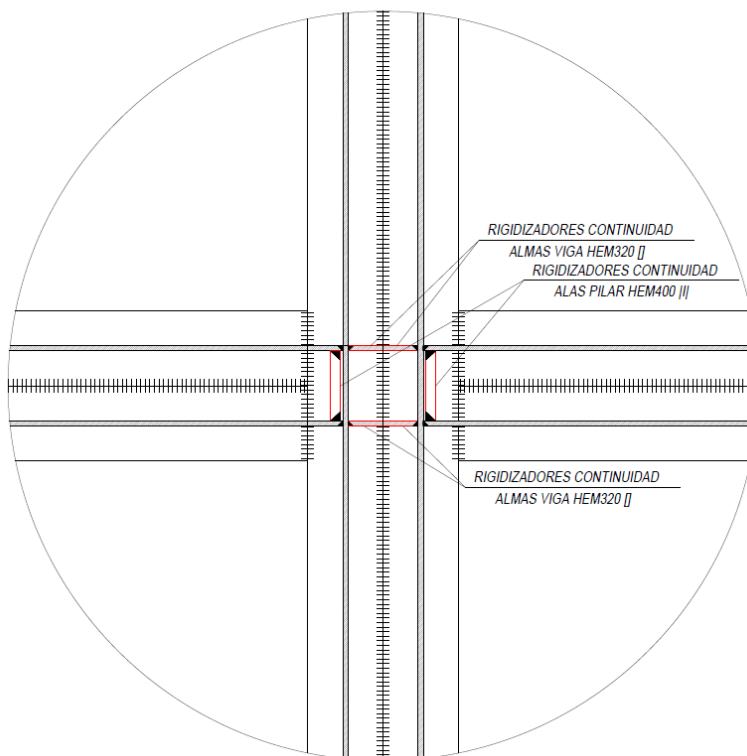


Figura 66. Rigidizadores de alas de pilar y almas de viga.

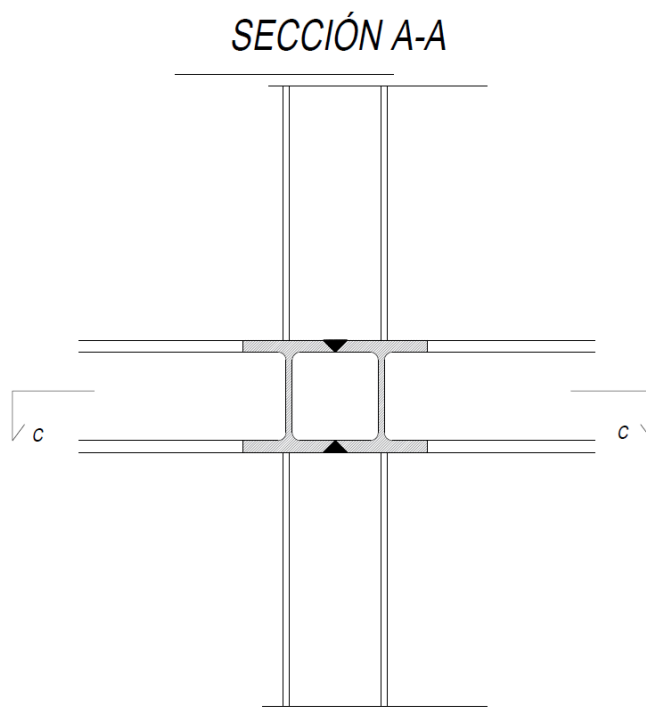


Figura 67. Sección de vigas HEM320 soldados en cajón, con pilar HEM400.

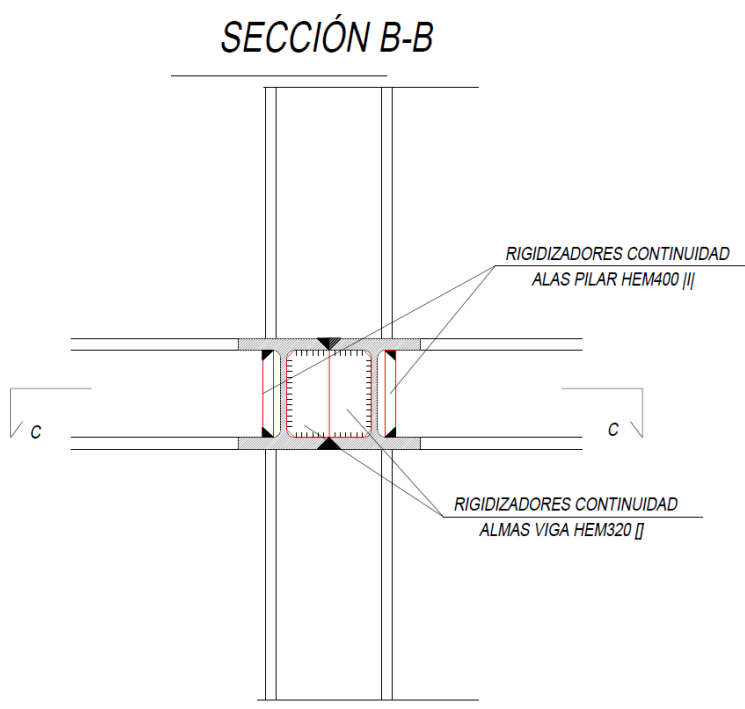


Figura 68. Sección con rigidizadores de pilar HEM400 y de viga doble HEM320.

Este tipo de análisis no es posible realizarlo con CYPECAD, que se limita a comprobar que los perfiles soportan los esfuerzos solicitantes, dando por sentado que el empotramiento y la continuidad de los elementos es perfecta. En este encuentro con perfiles HEM, entra en juego la incapacidad de soldar rigidizadores y luego cerrar el perfil con una platabanda lateral, en cambio, con un perfil conformado se podrían soldar todos los rigidizadores y posteriormente cerrarlo con mayor facilidad.

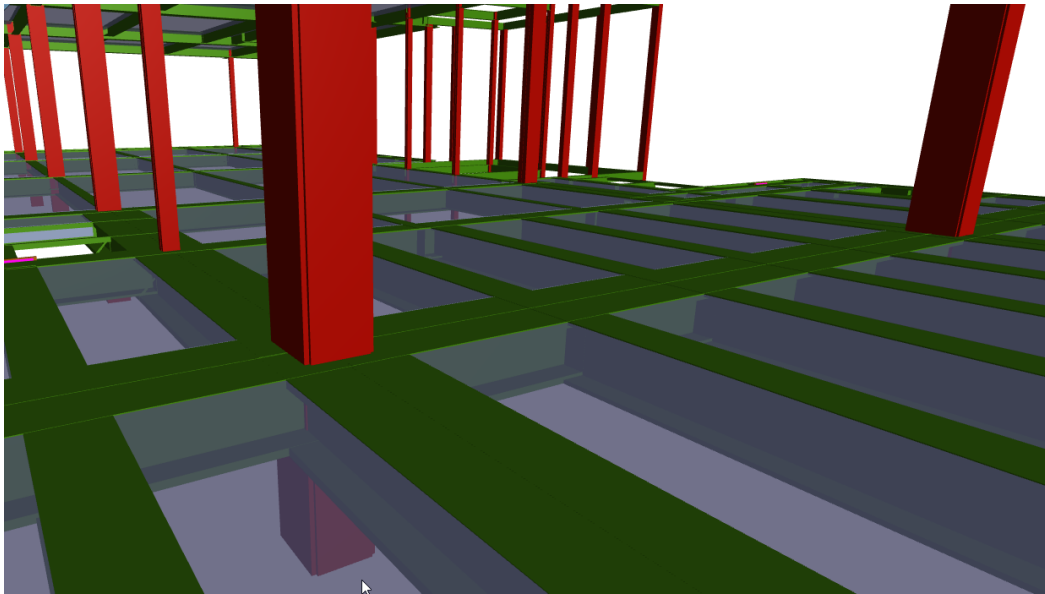


Figura 69. Zona de unión entre pilar P33 y dos vigas doble HEM320 soldadas en cajón, vista 3D en CYPECAD.

En conclusión, este tipo de uniones merecen ser detalladas con claridad, de modo que no se produzcan errores en la ejecución en este tipo de encuentros singulares, ya que los esfuerzos solicitantes son elevados y la no continuidad de los perfiles produciría graves problemas estructurales. Para su comprobación, se podría acudir a analizar el nudo en CYPE3D mediante láminas.

4.3 CONTRAFLECHAS

Es común que nos planteen la siguiente frase: “¿pero aguanta o no aguanta?”, para cuestionar la resistencia de los elementos estructurales. No hemos de olvidar que según la normativa vigente, los elementos estructurales deben cumplir también los Estados Límite de Servicio, limitando las deformaciones.

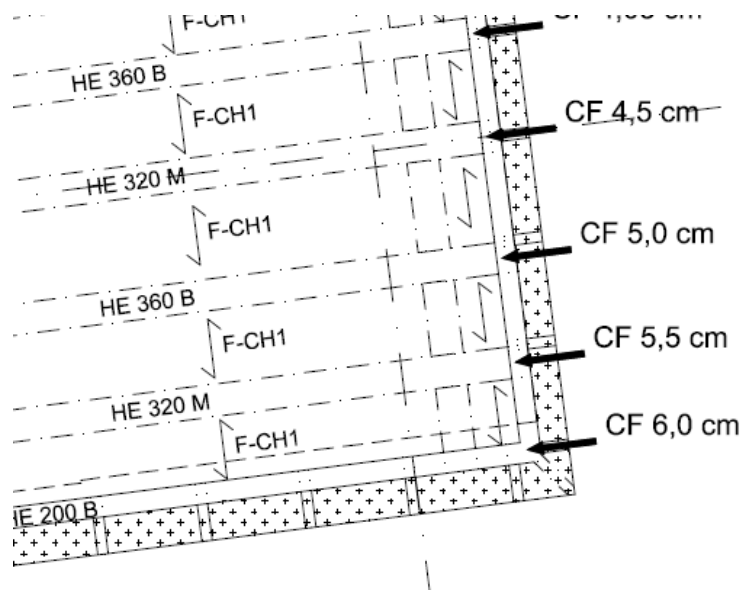


Figura 70. Contraflechas en extremos de viga metálica.

Es este el motivo de que pueda precisarse dimensionar un elemento por la flecha que se produzca en él. Hay varias vigas en este proyecto que cumplen las comprobaciones de resistencia pero no las de flecha impuestas por el CTE DB SE, por lo que se ha tomado la decisión de contraflechar estas vigas con exceso de flecha.

Para realizar una contraflecha cabe indicar en varios puntos la dimensión a alterar, puede realizarse con un grafismo de flecha, el signo + para indicar sentido ascendente, el módulo y la unidad, preferiblemente en milímetros en este proyecto ya que se trata de una estructura metálica.



Figura 71. Esquema del propósito de contraflechar una viga/forjado.

Para realizar la contraflecha, lo conveniente es elevar esos puntos indicados en el valor de deformación que sufren con el peso propio (PP). En CYPECAD, se puede acceder a la pestaña "Deformada" y conocer los desplazamientos de los puntos requeridos.

5 PROYECTO DE ESTRUCTURAS

5.1 Introducción

En este apartado quiero mencionar únicamente los aspectos más relevantes para la entrega de un proyecto parcial de la estructura de una construcción. La documentación a entregar es toda aquella que entre dentro de los encargos solicitados, entre los que pueden figurar los planos, la memoria de cálculo, las mediciones, así como detalles constructivos que puedan surgir a lo largo del proceso de elaboración o incluso ejecución del proyecto.

5.2 Planos

Para la creación de planos es vital tener conocimiento de que los programas de cálculo estructural no realizan esta tarea para entregar directamente el proyecto. Estos planos exportados deben formar parte de un proceso de dibujo, para añadir información imprescindible y ocultar información irrelevante para aquellas personas que deben leer finalmente este documento gráfico.

Quiero mencionar que para la creación de un modelo estructural, según el programa, se deben realizar pequeñas “triquiñuelas” y modificar elementos de geometría/características para que funcionen de manera correcta y evitar errores al calcular. Todos estos pequeños cambios que sufre el modelo se deben corregir posteriormente en nuestra herramienta de CAD, para entregar unos planos claros y bien definidos.

Para la exportación de planos .dwg en CYPECAD, se debe haber calculado la obra y haber realizado todas las modificaciones y correcciones necesarias. Se accede a la pestaña de “Exportación de planos” y se señalan todos aquellos que se desean exportar. Los más comunes en la mayoría de proyectos son:

- Planos de replanteo
- Despiece de vigas
- Cuadro de pilares

En cada uno de ellos se pueden modificar las características, tamaños y plumas, así como la información que se incluye en ellos. Adjunto en el Anejo 1 los planos del modelo realizado,

exportados directamente desde CYPECAD, que sirvan de comparación con los planos de estructura de GRAS Arquitectos (Anejo 4).

Para una correcta definición del proyecto, los planos de estructura (generalmente) incluyen:

- Cajetín
- Cuadro de características de hormigones/aceros
- Características de forjados
- Estados de carga
- Detalles constructivos
- Planta de estructura con todos los refuerzos (se pueden dividir en varios planos)
- Secciones de forjado (si se precisa)
- Escaleras
- Muros de urbanización independientes del edificio

5.3 Memoria de cálculo

Como parte del proyecto de edificación, la estructura debe incorporarse en la memoria, justificando el dimensionamiento realizado de forma documentada. En esta memoria se deben indicar las características de los materiales utilizados, sus capacidades mecánicas, la normativa vigente para cada uno de ellos.

Además, debe incluir información relativa al método de cálculo utilizado, tipo de programa informático y funcionamiento del mismo. También se debe incorporar la justificación de cumplimiento frente a incendio y a acciones de viento.

En caso de existir elementos singulares como apeos, contraflechas, cimentaciones profundas u otros aspectos a tener en cuenta, deberían tener un apartado específico para indicar características y/o procedimientos a tener en cuenta para su correcta ejecución.

La memoria de cálculo debe ir en consonancia con el proyecto, el modelo de cálculo y los planos de estructura. Se adjunta en el Anejo 2 la memoria de cálculo que incluye: listado de datos de la obra, comprobación a fuego, acciones de viento y listado de combinaciones.

6 CONCLUSIONES

Como alumno del Grado en Edificación quiero destacar el papel polivalente de un graduado en este estudio, que da la posibilidad de enfocar un perfil profesional en la dirección deseada. En mi caso y según contempla la LOE, me gustaría dedicar parte de los conocimientos adquiridos en la redacción de proyectos parciales de cálculo estructural.

Con este trabajo, lo que quiero destacar es la necesidad de un criterio para llevar a cabo la tarea de proyectista de cálculo de estructura. Son múltiples las herramientas que se nos plantan frente a la pantalla del ordenador, sin pensar en el conocimiento de fondo que debe haber tras esa pantalla. En un mundo que navega hacia la digitalización, debemos reconocer que el papel del humano usando esta tecnología sigue siendo primordial. Disponemos de gran variedad de herramientas y programas, yo he mencionado unos pocos de los que se pueden encontrar hoy en día en el mercado.

Cuando se afronta un proyecto de cálculo estructural, las soluciones a dar para ciertos problemas que se plantean deben estar a la altura. Para resolver y proyectar un modelo estructural de manera competente, se precisa de conocimiento en el ámbito estructural tanto como en el de posterior ejecución de esos elementos.

Este TFG trata no sólo de mencionar los pasos para la realización de un modelo, sino de la capacidad necesaria por parte de un técnico para que ese modelo se transforme en un edificio real.

CYPECAD no exporta los planos de estructura de todos los proyectos para que se puedan ejecutar, directamente de programa. Es más, me atrevo a decir que más de la mitad del tiempo invertido en la realización de un cálculo estructural se ocupa en revisión de resultados y comprobaciones varias.

Además, quiero mencionar que cada uno de los proyectos que se realizan como consultor estructural requieren de una perspectiva propia, que tenga en cuenta el entorno, el terreno, el uso, la envergadura del proyecto; a fin de cuentas, la singularidad de cada proyecto, todos son únicos y deben mirarse de modo individual.

El consultor de estructuras es una figura relevante en el proyecto, pudiendo ser responsable de gran parte del mismo. El capítulo estructural es en muchas ocasiones el que encabeza el presupuesto de ejecución de una obra, por lo que es de vital importancia que el resultado sea exitoso para todos los agentes intervinientes en la obra.

La relación del consultor de estructuras suele estar más ligada al proyectista de la obra, pero cada vez más, puede realizar un seguimiento de la ejecución de la misma, un servicio que cada vez más directores de obra y directores de ejecución material están interesados en contratar. Esta función de dirección en fase de estructuras por parte de el consultor, está directamente ligada al director de ejecución material, que también debe estar en estrecha colaboración con el consultor y tener conocimiento de todo el sistema estructural. La LOE contempla esta colaboración siempre bajo la aprobación y supervisión de la Dirección Facultativa.

Como futuro profesional en el sector de la edificación, considero que los perfiles especializados siguen siendo los más requeridos por el mercado: un buen aparejador, un buen arquitecto, un buen project manager, un buen geólogo, un buen topógrafo, un buen diseñador de interiores, un buen consultor de estructuras, un buen constructor, entre otros.

Entiendo que la correcta colaboración entre todos aquellos agentes intervinientes acaban por convertir un proyecto en un buen proyecto, que a fin de cuentas de eso se trata, de aportar nuestro grano de arena a todo aquello que nos rodea, teniendo en consideración todo lo aprendido, tanto en lo profesional, como en lo personal.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de fomento (2008), Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).
- Código Técnico de la Edificación (CTE) DB SE, AE, A, C.
- CYPE Ingenieros (2016), Manual de usuario de CYPECAD.

ANEJOS

- 1 MODELO DE CÁLCULO DE CYPECAD
- 2 MEMORIA DE CÁLCULO
- 3 PLANOS EXPORTADOS DE CYPECAD
- 4 DOCUMENTACIÓN RECIBIDA - PLANOS DE ESTRUCTURA
- 5 DOCUMENTACIÓN RECIBIDA - ESTUDIO GEOTÉCNICO