

Código Estructural Estructuras de Acero

El presente apartado sirve de justificación a las soluciones constructivas adoptadas para cumplir con las exigencias básicas en materia de seguridad estructural para las estructuras de acero, establecidas en el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio por el que se aprueba el Código Estructural (CE).

En el CE se establecen unos requisitos según los que una estructura debe proyectarse y calcularse para tener una resistencia estructural, una aptitud al servicio y una durabilidad, adecuadas.

| | | Procede | No Procede |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Verificación de la seguridad estructural en estructuras de acero. | Elementos de acero estructural. | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Estructura de acero. | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

1. Características generales

1.1 Ámbito de aplicación

| CE- TITULO 3 ESTRUCTURAS DE ACERO | |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Obra de nueva construcción con estructura y elementos estructurales de acero, refiriéndose únicamente a la seguridad en condiciones adecuadas de utilización, incluidos los aspectos relativos a la durabilidad. |
| <input type="checkbox"/> | Intervención (reformas) o deconstrucción de estructuras existentes |

1.2 Descripción general del edificio

Edificio agroindustrial de planta rectangular, de 1200 m² de superficie, con unas dimensiones de 20 m de ancho y 60 m de fondo situado en la localidad de Navalcarnero (Madrid). La agroindustria presenta una zona administrativa (recepción, oficinas, laboratorio y aseos), en dos plantas, con una superficie total de 10x 60 m² por planta.

La estructura del edificio está formada por pórticos rígidos realizados íntegramente con perfiles de acero, y dispuestos con una modulación de 5 m. Los pilares son del tipo HEB (UNE 36524) con una altura al alero de 6 m. que se encuentran empotrados en la base. La cubierta, simétrica a dos aguas, está formada por dinteles tipo IPE (UNE 36526), con una altura a cumbre de 8 m, sobre los que se apoyan las correas, que sirven a su vez para la colocación de un panel de cerramiento de cubierta.

Para las correas de cubierta se emplean perfiles conformados de acero conformado en frío tipo Z (UNE 10162), mientras que para el cerramiento se emplea un panel sándwich de 30 mm de espesor formado por dos chapas de acero galvanizado de 0,5 mm de espesor y un núcleo de espuma rígida de poliuretano (PUR) .

La nave se arriostra para resistir las cargas laterales de viento, mediante la colocación de cruces de San Andrés, tanto en los pórticos laterales del edificio como en la cubierta. Las cruces están formadas con perfiles redondos de acero laminado. Asimismo, todos los pórticos se encuentran unidos mediante vigas de atado que se colocan en la cabeza de los pilares. El mismo perfil se empleará en los elementos necesarios para completar los recuadros de arriostramiento.

Para el cerramiento de las fachadas se empleará un panel sándwich de 35 mm de espesor y características similares al cerramiento de cubierta, colocado sobre correas laterales de perfil conformado en frío tipo C (UNE 10162), desde el alero hasta un murete perimetral de 1 m de altura.

Para la entreplanta se empleará una placa alveolar de hormigón prefabricado de 20 cm de espesor. Sobre ella se dispondrá una capa de compresión de 3 cm y un solado de cerámico.

2. Datos generales de proyecto

2.1 Hipótesis de trabajo

Declaración de conformidad para la aplicación del Anejo 22 del Código Estructural:

Se cumplen las siguientes condiciones para dar validez a los cálculos definidos en el Anejo 22 del Código Estructural:

- La elección del sistema estructural y del procedimiento de cálculo de la estructura se ha realizado por personal debidamente cualificado y con experiencia.
- La ejecución se llevará a cabo por personal con las capacidades y experiencia adecuadas;
- Se asegura una supervisión y un control de calidad adecuados durante el proyecto y la ejecución de la obra, es decir, en las oficinas de proyecto, en la fábrica, en las plantas y en la obra
- Los materiales y productos de construcción se utilizan según se especifica en el Código Estructural
- La estructura se mantendrá de forma adecuada
- La estructura se utilizará de acuerdo con las hipótesis de proyecto.

2.2 Gestión de la fiabilidad (Código Estructural Anejo 18, Apartado.2)

| Clase de consecuencia | Descripción | Ejemplos de obras |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> CC3 | Consecuencias graves de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales muy importantes | Graderíos, edificios públicos en los que las consecuencias del fallo son graves (ejemplo, una sala de conciertos) |
| <input type="checkbox"/> CC2 | Consecuencias medias de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales considerables | Edificios residenciales y administrativos, edificios públicos en los que las consecuencias de fallo son medias (ejemplo, oficinas) |
| <input checked="" type="checkbox"/> CC1 | Consecuencias bajas de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales despreciables | Edificios agrícolas en los que normalmente no entre gente (ejemplo, almacenes) o invernaderos |
| Clase de fiabilidad | Factor multiplicador en el cálculo de acciones K_{IF} | |
| <input type="checkbox"/> RC3 | 1,1 (Aplicable solo a las acciones desfavorables. El resto tendría un valor 1,0) | |
| <input checked="" type="checkbox"/> RC2 | 1,0 | |
| <input type="checkbox"/> RC1 | 0,9 | |

2.3 Vida útil de la estructura (Código Estructural Anejo 18, Apartado.2.3)

| Categoría de vida útil | Vida útil nominal (años) | Ejemplos de estructuras |
|------------------------|--------------------------|---|
| 1 (10 años) | | Estructuras temporales |
| 2 (10 a 25 años) | | Partes reemplazables de la estructura, por ejemplo: vigas carril, aparatos de apoyo, etc. |
| 3 (15 a 30 años) | | Estructuras agrícolas y similares |
| 4 (50 años) | 50 años | Estructuras de edificación y otras estructuras comunes |
| 5 (100 años) | | Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil |

2.4 Situaciones de proyecto (Código Estructural Anejo 18, Apartado.3.2):

| | |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Persistentes, que se refieren a las condiciones de uso normal |
| <input type="checkbox"/> | Transitorias, que se refieren a condiciones temporales aplicables a la estructura, por ejemplo, durante su ejecución o reparación |
| <input type="checkbox"/> | Accidentales, que se refieren a condiciones excepcionales aplicables a la estructura o a su exposición, por ejemplo, al fuego, impacto o las consecuencias de un fallo localizado |

| | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Sísmicas, que se refieren a las condiciones aplicables a la estructura cuando esté sometida a efectos sísmicos |
|--------------------------|--|

2.5 Acciones. Valores característicos considerados (según documento CTE SE-AE)

| | Estructura principal | Entreplanta |
|---|--|---|
| Peso propio de los elementos: | | |
| - Cubierta | 0,096 kN/m ² | |
| - Correas | 78,25 kN/m ³ | |
| - Estructura | 78,50 kN/m ³ | |
| - Peso propio de los forjados | | 3,5 kN/m ² |
| - Resto de cargas permanentes (tabiquería, solados y falsos techos) | | 0,8 kN/m ² |
| Sobrecargas | | |
| - Sobrecarga de uso | 0,4 kN/m ² (cubierta) | 2 kN/m ² (zona administrativa) |
| - Sobrecarga de nieve | 0,56 kN/m ² | No procede |
| - Sobrecarga de viento | | No procede |
| o Zona eólica | A (q _b = 0,42 kN/m ²) | No procede |
| o Grado de aspereza | III (Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas) | No procede |
| - Acciones térmicas | No procede | No procede |
| - Acciones accidentales | No procede | No procede |
| - Acciones sísmicas | No procede | No procede |
| - Asientos/movimientos diferenciales | No procede | No procede |

3. Características de los materiales, durabilidad y sistemas de protección

3.1 Materiales

3.1.1 Acero en chapas y perfiles

El acero empleado en las chapas y perfiles que conforman la estructura metálica deberá escogerse según alguna de las tipologías recogidas en el Artículo 83 del CE.

Para los aceros no aleados laminados en caliente las especificaciones correspondientes al límite elástico (f_y) y resistencia a tracción (f_u), ambas expresadas en N/mm², son las siguientes :

| Designación | Espesor nominal t (mm) | | | | Norma UNE |
|-------------|--|--|--|--|--------------|
| | t ≤ 40 | | 40 < t ≤ 80 | | |
| | f _y (N/mm ²) | f _u (N/mm ²) | f _y (N/mm ²) | f _u (N/mm ²) | |
| S 235 | 235 | 360 | 215 | 360 | UNE 10025-2: |

| | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|--|
| S 275 | 275 | 430 | 255 | 410 | Productos laminados en caliente de aceros para estructuras (IPE, HEB, UPE, redondos, angulares L o LD,...) |
| S 355 | 355 | 490 | 335 | 470 | |
| S 450 | 450 | 550 | 410 | 530 | |
| S 235 H | 235 | 360 | | | UNE 10210-1. Perfiles huecos laminados en caliente: |
| S 275 H | 275 | 430 | | | |
| S 355 H | 355 | 510 | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | | | UNE 10219-1. Perfiles huecos conformados en frío |
| S 275 H | 275 | 430 | | | |
| S 355 H | 355 | 510 | | | |

| Elementos que forman parte de la estructura principal | | Tipo de acero | Norma UNE |
|---|--|---------------|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Pilares, | S 275 | UNE 10025:2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Dinteles. | S 275 | UNE 10025:2 |
| <input type="checkbox"/> | Celosías / Cerchas | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Vigas de atado | S 275 H | UNE 10210:1 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sistemas de arriostramiento | S 275 | UNE 10025:2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Placas de anclaje, bases de columnas | S 275 | UNE 10025:2 |
| <input type="checkbox"/> | | | |
| <input type="checkbox"/> | | | |
| Elementos que forman parte de la estructura secundaria | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Correas para cerramientos de cubierta. | S235 | UNE 10025:2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Correas para cerramientos de fachada. | S235 | UNE 10025:2 |
| <input type="checkbox"/> | | | |
| <input type="checkbox"/> | | | |

3.1.2 Acero para medios de unión

Tornillos, tuercas y arandelas

El acero empleado en tornillos, debe acogerse a alguna de las tipologías recogidas en el artículo 85.2 del CE, que se muestran en la siguiente tabla:

| Tipo | Tornillos ordinarios | | | Tornillos de alta resistencia | | |
|--|----------------------|-----|-----|-------------------------------|------|------|
| | Grado | 4.6 | 5.6 | 8.8 | 10.9 | |
| Tensión de límite elástico f_{yb} (N/mm ²) | | 240 | 300 | 480 | 640 | 900 |
| Tensión de rotura f_{ub} (N/mm ²) | | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |

Bulones para bases y uniones articuladas

| Estado | Temple y revenido | | | | | | Normalizado | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | d ≤ 16 | | 16 < d ≤ 40 | | 40 < d ≤ 100 | | d ≤ 16 | | 16 < d ≤ 100 | |
| Diámetro d (mm) | | | | | | | | | | |
| Designación | f _{yb} | f _{ub} | f _{yb} | f _{ub} | f _{yb} | f _{ub} | f _{yb} | f _{ub} | f _{yb} | f _{ub} |
| C 22 | 340 | 500 a 650 | 290 | 470 a 620 | - | - | 240 | 30 | 210 | 410 |
| C 25 | 370 | 550 a 700 | 320 | 500 a 650 | - | - | 260 | 470 | 230 | 440 |
| C 30 | 400 | 600 a 750 | 350 | 550 a 700 | 300(*) | 500 a 550(*) | 280 | 510 | 250 | 480 |
| C 35 | 430 | 630 a 780 | 380 | 600 a 750 | 320 | 550 a 700 | 300 | 550 | 270 | 520 |
| C 40 | 460 | 650 a 800 | 400 | 630 a 780 | 350 | 600 a 750 | 320 | 580 | 290 | 550 |
| C 45 | 490 | 700 a 850 | 430 | 650 a 800 | 370 | 630 a 780 | 340 | 620 | 305 | 580 |
| C 50 | 520 | 750 a 900 | 460 | 700 a 850 | 400 | 650 a 800 | 355 | 650 | 320 | 610 |
| C 55 | 550 | 800 a 950 | 490 | 750 a 900 | 420 | 700 a 850 | 370 | 680 | 330 | 640 |
| C 60 | 580 | 852 a 1000 | 520 | 800 a 950 | 450 | 750 a 900 | 380 | 710 | 340 | 670 |

(*) Aplicable sólo hasta d = 63 mm.

Pernos de anclaje

Además de los aceros para redondos (UNE 10025-2) que corresponden con aceros S 235, S 275, S 355 y S 450, y los aceros para tornillos (apartado 4.2.1) se pueden utilizar los aceros empleados en barras reforzadas conforme al Capítulo 8 del CE, siguientes:

| Tipo de acero | Acero soldable | | Acero soldable con características especiales de ductilidad | |
|--|----------------|---------|---|----------|
| | B 400 S | B 500 S | B 400 SD | B 500 SD |
| Designación | | | | |
| Límite elástico, f _y (N/mm ²) | 400 | 500 | 400 | 500 |

Materiales de aportación (soldadura)

Todos los materiales de aportación utilizables para la realización de soldaduras (alambres, hilos y electrodos) deberán ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta el material a soldar y el procedimiento de soldeo:

| Elemento | Tipo de acero |
|---|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Uniones atornilladas en obra o taller . | Acero 6.8 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Pernos en la placa de anclaje. | Acero B 500 S |
| <input type="checkbox"/> Bulones para articulación | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura en uniones | Soldadura |
| <input type="checkbox"/> Otros | |

3.2 Durabilidad

Considerado las indicaciones del apartado 2.4 del anejo 18 del CE, deben identificarse en la fase de proyecto las condiciones ambientales, que permitan adoptar las medidas adecuadas para la protección de los materiales utilizados en la estructura. Para ello se debe identificar la clase de exposición relativa a la corrosividad del acero (Art. 80 del CE).

| Clase de exposición | | Ejemplos de corrosión atmosférica en ambientes típicos de un clima templado | | |
|-------------------------------------|--------------|---|--|---|
| Designación | Corrosividad | Exterior | Interior | |
| <input type="checkbox"/> | C1 | Muy baja | - | Edificios con calefacción y con atmósferas limpias, por ejemplo: oficinas, tiendas, colegios, hoteles. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | C2 | Baja | Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales en su mayor parte. | Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos. |
| <input type="checkbox"/> | C3 | Media | Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad. | Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesamiento de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, plantas lácteas. Interior de puentes-cajón. |
| <input type="checkbox"/> | C4 | Alta | Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad. | Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros. |
| <input type="checkbox"/> | C5 | Muy alta | Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva y áreas costeras con elevada salinidad. | Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada. |
| <input type="checkbox"/> | CX | Extrema | Áreas de ultramar con elevada salinidad y áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva y atmósferas subtropical y tropical. | Áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva |

| Clases de exposición relativas al agua y suelo | | | |
|--|---------------------|-----------------------|--|
| Designación | Clase de exposición | Ejemplos | |
| <input type="checkbox"/> | Im1 | Agua dulce | Instalaciones ribereñas, plantas hidroeléctricas |
| <input type="checkbox"/> | Im2 | Agua de mar o salobre | Estructuras en contacto con el agua de mar sin protección catódica (por ejemplo áreas portuarias con estructuras como diques, compuertas o embarcaderos) |
| <input type="checkbox"/> | Im3 | Suelo | Tanques enterrados, pilotes de acero, tuberías de acero. |

| | | | |
|--------------------------|------------|-----------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Im4 | Agua de mar o salobre | Estructuras en contacto con agua de mar con protección catódica (por ejemplo estructuras off-shore) |
|--------------------------|------------|-----------------------|---|

3.3 Sistemas de protección

En este apartado se establecen los tipos de protección y/o sistemas de pintura que se emplean para la protección de la estructura de acero, así como las prescripciones técnicas que deben cumplir, según la durabilidad requerida al sistema de protección (Art. 86 del CE).

3.3.1 Tipos de protección

| Tipos de protección | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Pinturas de secado al aire. |
| | Pinturas de curado físico |
| <input type="checkbox"/> | Pinturas en base disolvente. |
| <input type="checkbox"/> | Pinturas en base agua. |
| | Pinturas de curado químico. |
| <input type="checkbox"/> | Pinturas epoxídicas de dos componentes. |
| <input type="checkbox"/> | Pinturas de poliuretano de dos componentes. |
| <input type="checkbox"/> | Pinturas de curado por humedad. |
| <input type="checkbox"/> | Proyección térmica de cinc. |
| <input type="checkbox"/> | Galvanización en caliente. |

3.3.2 Grado de durabilidad del sistema de pintura

Los sistemas de pintura están constituidos por un conjunto de capas de imprimación y de capas de acabado de pintura que, aplicados sobre una superficie de acero con un grado de preparación preestablecido, conducen a una durabilidad determinada del sistema de pintura protector.

El grado de durabilidad permite seleccionar el sistema a emplear y definir el programa de mantenimiento (Normas de uso y mantenimiento del edificio). Se establecen cuatro grados de durabilidad de los sistemas de pintura:

- Bajo (L): hasta 7 años.
- Medio (M): más de 7 y hasta 15 años.
- Alto (H): más de 15 y hasta 25 años.
- Muy alto (H): más de 25 años

| Clase de exposición | Grado de durabilidad | | | |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| C1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| C2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| C3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| | | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| C4 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| C5 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CX | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Im1 | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Im2 | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Im3 | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Para la elección del sistema de pintura en función de la clase de exposición relativa a la corrosión atmosférica, al agua y al suelo y los grados de durabilidad, se recomienda consultar UNE 12944-5.

4. Análisis estructural

4.1 Bases de cálculo

4.1.1 Criterios de verificación

Se han realizado las verificaciones de los elementos estructurales correspondientes a los Estados Límite Últimos y Estados Límite de Servicio, siguiendo lo establecido en el Título 3 del CE, mediante el siguiente procedimiento:

| | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Manualmente | <input type="checkbox"/> | Toda la estructura: | Presentar justificación de verificaciones |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | Parte de la estructura: | <ul style="list-style-type: none"> - Material de cubierta metálica (paneles, chapas, bandejas, - Correas de cubierta - Correas para cerramiento lateral |

| Elemento | Apartados | Descripción |
|--|----------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Chapa de cubierta | Sistema estructural: | |
| | Método de cálculo | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Panel sándwich de cubierta | Sistema estructural: | Para el cerramiento de la cubierta se emplea un panel sándwich de 30 mm de espesor formado por dos chapas de acero galvanizado de 0,5 mm de espesor y un núcleo de espuma rígida de poliuretano (PUR). Los paneles tienen un ancho útil de 1 m, y una longitud de hasta 10,20 m (longitud del faldón). |
| | Método de cálculo | El cálculo del panel se ha realizado considerando que se trata de una viga continua que se apoya en, al menos, tres correas. La capacidad de carga del panel se obtiene de los ábacos del fabricante en función de la separación entre apoyos (correas). El dato básico de carga es la sobrecarga característica máxima (deducida a partir de las cargas obtenidas según el DB SE-AE), la separación entre correas y la hipótesis de viga continua. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Panel sándwich de fachada | Sistema estructural: | Para el cerramiento de las fachadas se emplea un panel sándwich de 35 mm de espesor formado por dos chapas de acero galvanizado de 0,5 mm de espesor y un núcleo de espuma rígida de poliuretano (PUR). Los paneles tienen un ancho útil de 1 m, y una longitud de 5 m (altura de lateral menos murete perimetral). |

| | | |
|---|----------------------|---|
| | Método de cálculo | El cálculo del panel se ha realizado considerando que se trata de una viga continua que se apoya en, al menos, tres correas. La capacidad de carga del panel se obtiene de los ábacos del fabricante en función de la separación entre apoyos (correas). El dato básico de carga es la sobrecarga de viento lateral máxima (deducida según el DB SE-AE), la separación entre correas y la hipótesis de viga continua. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Correas en cubierta | Sistema estructural: | Correas realizadas con perfiles conformados tipo Z, consideradas simplemente apoyadas sobre los dinteles de los pórticos de la nave. Se garantizará una continuidad en los perfiles que suponga, al menos, una longitud equivalente a dos veces la separación existente entre pórticos laterales. Dicha continuidad se realizará bien mediante el uso de perfiles suficientemente largos, o bien mediante la colocación de conectores para solape de los perfiles y egiones en los puntos de apoyo. Las correas se dispondrán con una separación de 1,13 m, y se fijarán rígidamente a la chapa de cubierta, de manera que la correa sólo tenga que resistir los esfuerzos correspondientes a la flexión. |
| | Método de cálculo | El cálculo se ha realizado suponiendo la existencia de una viga continua de dos tramos en las que se han repercutido las cargas correspondientes a las distintas hipótesis obtenidas según el DB SE-AE. Se ha realizado un análisis global elástico de la estructura, habiéndose tenido en cuenta posibles efectos locales de plastificación de las secciones según lo especificado en el apartado 5.5 del Anejo 18 del CE. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Correas de fachada | Sistema estructural: | Correas realizadas con perfiles conformados tipo C, consideradas simplemente apoyadas sobre los dinteles de los pórticos de la nave. Se garantizará una continuidad en los perfiles que suponga, al menos, una longitud equivalente a dos veces la separación existente entre pórticos laterales. Dicha continuidad se realizará bien mediante el uso de perfiles suficientemente largos, o bien mediante la colocación de conectores para solape de los perfiles y egiones en los puntos de apoyo. Las correas se dispondrán con una separación de 1,25 m, y se fijarán rígidamente a la chapa de cubierta, de manera que la correa sólo tenga que resistir los esfuerzos correspondientes a la flexión. |
| | Método de cálculo | El cálculo se ha realizado suponiendo la existencia de una viga continua de dos tramos en las que se han repercutido las cargas correspondientes a las distintas hipótesis obtenidas según el DB SE-AE. Se ha realizado un análisis global elástico de la estructura, habiéndose tenido en cuenta posibles efectos locales de plastificación de las secciones según lo especificado en el apartado 5.5 del Anejo 18 del CE. |
| <input type="checkbox"/> | | |

| | | |
|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Manualmente | <input type="checkbox"/> Toda la estructura: | Presentar justificación de verificaciones |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Parte de la estructura: | <ul style="list-style-type: none"> - Material de cubierta metálica (paneles, chapas, bandejas, - Correas de cubierta - Correas para cerramiento lateral |

| | | | |
|---|---|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Mediante programa informático | <input type="checkbox"/> Toda la estructura | Nombre del programa: | - |
| | | Versión: | - |
| | | Empresa: | - |
| | | Domicilio: | - |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Parte de la estructura: | Identificar los elementos de la estructura: | <ul style="list-style-type: none"> - Pórticos principales - Vigas de atado - Elementos de arriostramiento - Placas de anclaje |
| | | Nombre del programa: | CYPE 3D |
| | | Versión: | 2022 |
| | | Empresa: | Cype Ingenieros |
| | | Domicilio: | Avenida Eusebio Sempere nº5 Alicante. |

- Descripción del programa
- Idealización de la estructura
- Simplificaciones efectuadas.

El programa realiza un cálculo espacial en tres dimensiones por métodos matriciales de rigidez, formando las barras los elementos que definen la estructura: pilares, vigas, brochales y viguetas. Se establece la compatibilidad de deformación en todos los nudos considerando seis grados de libertad y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo.

A los efectos de obtención de solicitaciones y desplazamientos, para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático y se supone un comportamiento lineal de los materiales, por tanto, un cálculo en primer orden.

Los efectos de segundo orden son analizados mediante el método de la amplificación de momentos, para lo cual es preciso definir el valor del coeficiente de amplificación, r , habiéndose adoptado un coeficiente de 1,2.

4.1.2 Modelado y Análisis

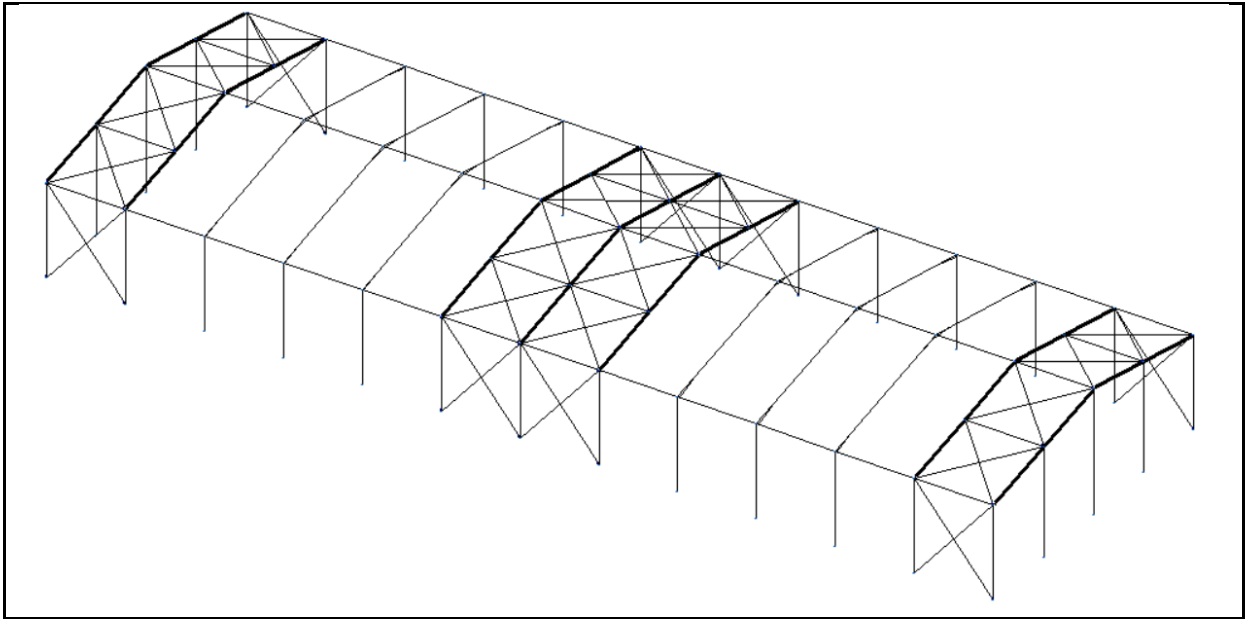
El análisis de la estructura se ha basado en un modelo que proporciona una previsión suficientemente precisa del comportamiento de la misma.

Las condiciones de apoyo que se consideran en los cálculos corresponden con las disposiciones constructivas previstas.

Se consideran a su vez los incrementos producidos en los esfuerzos por causa de las deformaciones (efectos de 2º orden) allí donde no resulten despreciables.

En el análisis estructural se han tenido en cuenta las diferentes fases de la construcción, incluyendo las cargas adicionales de ejecución.

Esquema estructural:



Modelo estructural

| | | Sistema de barras |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Barras de sección constante |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | - Con cartelas de refuerzo |
| <input type="checkbox"/> | | Barras de sección variable |
| | | Unión de barras |
| <input type="checkbox"/> | | Uniones articuladas |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Uniones rígidas |
| <input type="checkbox"/> | | Uniones semirrígidas |
| | | Unión a la cimentación (bases de pilares) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Empotrada |
| <input type="checkbox"/> | | Articulada |
| | <input type="checkbox"/> | - Con rótula de bulón |
| | <input type="checkbox"/> | - Con línea simple de pernos |
| | | |
| | | |

La estructura está formada por pilares y vigas

Existen juntas de dilatación

Separación máxima entre juntas de dilatación

$d = 30 \text{ m}$

| | | |
|---|--|--|
| | ¿Se han tenido en cuenta las acciones térmicas y reológicas en el cálculo? | <input type="checkbox"/> si |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> no |
| Descripción de la junta de dilatación: | | |
| ▶ La junta de dilatación se ejecuta duplicando los pórticos con una separación de 5 cm entre alas de pilares. En estas condiciones no es necesario considerar los efectos térmicos | | |
| <input type="checkbox"/> | No existen juntas de dilatación | |
| | ¿Se han tenido en cuenta las acciones térmicas y reológicas en el cálculo? | <input type="checkbox"/> si |
| | | <input type="checkbox"/> no |
| | ▶ justificar | |

Traslacionalidad

En las estructuras traslacionales o no arriostradas deben considerarse los efectos no lineales producidos por los desplazamientos en las solicitaciones. De acuerdo con lo dispuesto por CE esto puede realizarse utilizando un análisis de segundo orden mediante métodos matemáticos, o bien con un análisis elástico en primer orden, con la posterior amplificación de los efectos de las acciones correspondientes (por ejemplo, los momentos flectores) por medio de coeficientes adecuados.

| | |
|--------------------------|--|
| | Plano de los pórticos principales |
| <input type="checkbox"/> | Traslacional |
| <input type="checkbox"/> | Intraslacional |
| | Plano longitudinal del edificio |
| <input type="checkbox"/> | Traslacional |
| <input type="checkbox"/> | Intraslacional |

Otras consideraciones sobre acciones

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Comprobación frente a fatiga. Existencia de cargas variables repetidas de origen dinámico que afecten a la estructura: | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | No | |
| <input type="checkbox"/> | Sí. El origen es el siguiente: | |
| <input type="checkbox"/> | Elementos que soportan maquinarias de elevación o cargas móviles | |
| <input type="checkbox"/> | Elementos sometidos a sobrecargas de carácter dinámico (viento, personas en movimiento, máquinas) | |
| <input type="checkbox"/> | Otros. (Describir) | |
| <input type="checkbox"/> | La estructura se ha calculado teniendo en cuenta las solicitaciones transitorias que se producirán durante el proceso constructivo | |

- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Durante el proceso constructivo no se producen solicitaciones distintas a las previstas para la entrada en servicio del edificio. |
| <input type="checkbox"/> | Durante el proceso constructivo no se producen solicitaciones que aumenten las inicialmente previstas para la entrada en servicio del edificio |

4.1.3 Estados Límite Último

Los valores de las acciones se han obtenido según lo dispuesto en el documento CTE SE-AE, y los valores de cálculo correspondientes a cada situación de dimensionado se han hallado mediante las reglas de combinación indicadas en el apartado 6.4 del Anejo 18 del CE.

La verificación de la capacidad portante de la estructura de acero se ha realizado conforme a lo descrito en el anejo 18 apartado 6.4.2. del CE, para el estado límite último de estabilidad, en donde:

| | |
|-----------------------------|---|
| $E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$ | siendo: $E_{d,dst}$ el valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras $E_{d,stab}$ el valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras |
|-----------------------------|---|

y para el estado límite último de resistencia, en donde

| | |
|----------------|--|
| $E_d \leq R_d$ | siendo: E_d el valor de cálculo del efecto de las acciones R_d el valor de cálculo de la resistencia correspondiente |
|----------------|--|

Al evaluar E_d y R_d , se han tenido en cuenta los efectos de segundo orden de acuerdo con los criterios establecidos en el Anejo 18.

Se han adoptado los siguientes coeficientes parciales de seguridad en las comprobaciones de los Estados Límite Último (Apartado 6.1 del anejo 22 del CE):

- a) $\gamma_{M0} = 1,05$ coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia de la sección, para cualquier Clase
- b) $\gamma_{M1} = 1,05$ coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad
- c) $\gamma_{M2} = 1,25$ coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia a fractura de secciones sometidas a tracción

4.1.4 Estados Límite Servicio

Los valores de las acciones se han obtenido según lo dispuesto en SE-AE, y los valores de cálculo correspondientes a cada situación de dimensionado se han hallado mediante las reglas de combinación indicadas en el apartado 6.5 del Anejo 18 del CE.

Para los diferentes estados límite de servicio se ha verificado que:

| | |
|----------------|---|
| $E_d \leq C_d$ | <p>siendo:</p> <p>E_d: valor de cálculo de los efectos de las acciones consideradas para el criterio de servicio, determinado en base a la combinación correspondiente;</p> <p>C_d: valor límite de cálculo para el criterio de servicio correspondiente.</p> |
|----------------|---|

4.1.5 Geometría

En la dimensión de la geometría de los elementos estructurales se ha utilizado como valor de cálculo el valor nominal de proyecto (Apartado 4.3, Anejo 18 CE).

5. Análisis Estructural

El análisis estructural debe basarse en modelos de cálculo de la estructura que sean adecuados para el estado límite considerado.

La comprobación ante cada estado límite se realiza en dos fases: determinación de los efectos de las acciones (esfuerzos y desplazamientos de la estructura) y comparación con la correspondiente limitación (resistencias y flechas y vibraciones admisibles respectivamente). En el contexto del “Código Estructural” a la primera fase se la denomina fase de *análisis* y a la segunda fase de *dimensionado*.

5.1 Análisis global de la estructura

La verificación de la seguridad estructural se realizará según alguno de los métodos presentes en la siguiente tabla, y de acuerdo con lo expuesto por CE en el Anejo 22. El uso de cualquiera de estos métodos debe estar en concordancia con la clase de las secciones transversales definida en el apartado 5.5 del Anejo 22 del CE.

Las solicitaciones internas pueden calcularse de acuerdo con un análisis global elástico incluso si la resistencia de la sección se basa en su resistencia plástica.

El análisis global plástico puede aplicarse cuando los elementos tengan suficiente capacidad de giro para permitir las redistribuciones requeridas de los momentos flectores desarrollados.

| Tipo de análisis / Descripción | |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <p>Análisis global elástico</p> <p>Se basa en la hipótesis de una ley tensión-deformación lineal del acero, independientemente del nivel de tensión que haya. En la práctica, el análisis global elástico supone que la tensión causada por las cargas es menor que la tensión de fluencia del acero, para cualquier punto de la estructura. El análisis global elástico es de aplicación en todos los casos. Aunque los esfuerzos y desplazamientos se obtienen usando un análisis elástico, la resistencia de cálculo de los elementos puede ser comprobada utilizando la resistencia plástica de la sección transversal.</p> |
| <input type="checkbox"/> | <p>Análisis global plástico</p> <p>Este tipo de análisis asume la plastificación progresiva de algunas de las secciones transversales de la estructura, lo que normalmente conlleva la aparición de rótulas</p> |

| | |
|--------------------------------------|--|
| | plásticas y una redistribución de esfuerzos en la estructura. Normalmente se adopta para el acero una ley tensión-deformación elastoplástica. |
| <input type="checkbox"/> | Elementos finitos El Apéndice C del Anejo 25 del CE recoge recomendaciones para el empleo del método de los elementos finitos (EF) para la comprobación de los estados límite último, de servicio o fatiga de las estructuras formadas por chapas. |
| Tipo de efectos / Descripción | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Efectos de 1º orden Los esfuerzos y desplazamiento se obtienen considerando la geometría inicial (sin deformar) de la estructura. |
| <input type="checkbox"/> | Efectos de 2º orden Los esfuerzos y desplazamiento se obtienen teniendo en cuenta la influencia de la deformación de la estructura. Esta influencia debe considerarse siempre que implique un incremento significativo de los efectos de las acciones o una modificación significativa de la respuesta estructural global. |

| Clase de sección | Método para la determinación de las solicitaciones | Método para la determinación de la resistencia de secciones |
|------------------------|--|---|
| Plástica (Clase 1) | Plástico o Elástico | Plástico o Elástico |
| Compacta (Clase 2) | Elástico | Plástico o Elástico |
| Semicompacta (Clase 3) | Elástico | Elástico |
| Esbelta (Clase 4) | Elástico con posible reducción de rigidez | Elástico con resistencia reducida |

5.2 Estabilidad lateral global

De acuerdo con lo prescrito en el CE, el edificio contará con elementos que garanticen la estabilidad estructural del conjunto y una transmisión adecuada de las fuerzas verticales y horizontales, hasta la cimentación. Además, todos los elementos del modelo estructural deben proyectarse con la suficiente resistencia frente a las acciones horizontales, y la suficiente rigidez para satisfacer los ELS descritos en el CE y garantizar las hipótesis de cálculo que se planteen (traslacionalidad, intraslacionalidad, nudos articulados, empotramientos, ...).

En el presente edificio la transmisión de las fuerzas horizontales hasta la cimentación se realiza mediante:

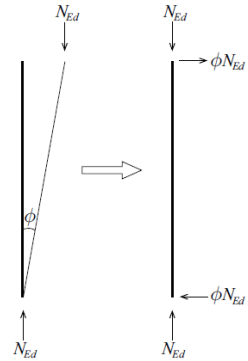
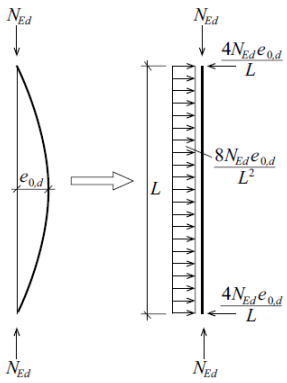
| | Sistema de transmisión de esfuerzos horizontales | Descripción |
|-------------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> | Capacidad a flexión de las barras y uniones. (Pórticos rígidos) | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Capacidad axial de sistemas triangulados (Arriostramientos) | Para garantizar la intraslacionalidad en el plano longitudinal, del edificio, se dispondrá un sistema |

| | |
|--------------------------|---|
| | de arriostramiento en cruces de San Andrés en los pórticos laterales. Se colocarán triangulaciones en los vanos extremos y en los pórticos centrales a ambos lados de la junta de dilatación. La triangulación se formará mediante la colocación de perfiles redondos de acero en marcos de arriostramiento delimitados por los propios pórticos y las vigas de atado. En la cubierta se colocará el mismo sistema de triangulación en X, en ambos faldones tanto en los dos extremos de la nave como en los pórticos centrales. |
| <input type="checkbox"/> | Pantallas horizontales (Diafragmas o forjados) |
| <input type="checkbox"/> | Pantallas verticales (Cerramientos, paneles, muros de hormigón...) |

5.3 Imperfecciones iniciales (Apartado 5.3 Anejo 22, CE)

El análisis estructural debe considerar los efectos de las imperfecciones, incluyendo las tensiones residuales y las imperfecciones geométricas, tales como la falta de verticalidad, de rectitud, de horizontalidad o de ajuste.

| | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Imperfecciones geométricas |
| Imperfección inicial y global. Se aplica un desplome lineal en altura en función de la altura total, h) (Apartado 5.3.2 Anejo 22 CE. | <p>Las imperfecciones de pandeo iniciales y globales se obtienen de la expresión:</p> $\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (5.5)$ <p>donde:</p> <p>ϕ_0 es el valor de base: $\phi_0 = 1/200$</p> <p>α_h es el factor de reducción por la altura h, aplicable a los soportes:</p> $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{con} \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$ <p>h es la altura de la estructura (en metros)</p> <p>α_m es el coeficiente de reducción por el número de soportes en una fila:</p> $\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$ <p>m es el número de soportes en una fila, incluyendo únicamente aquellos que se encuentren solicitados por una carga vertical N_{Ed}, superior o igual al 50% del valor medio de la carga por soporte en el plano vertical considerado.</p> |
| Imperfección inicial local | Los efectos de las imperfecciones locales de los elementos se incluyen en las fórmulas dadas para la comprobación de la resistencia a pandeo del elemento |
| <input type="checkbox"/> | Acciones equivalentes |
| Imperfección inicial global. | El desplome se simula mediante la aplicación de un par |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>Imperfecciones iniciales de verticalidad</p>  | <p>de fuerzas $\phi \cdot N_d$ en los extremos del pilar de la planta, donde ϕ representa la inclinación correspondiente al desplome necesario, y N_d es el esfuerzo axil máximo de compresión que solicita al pilar.</p> |
| | <p>Imperfección inicial local Imperfecciones iniciales en arco</p>  | <p>Se aplicará una carga uniforme horizontal sobre el pilar de valor $(8 \cdot N_d \cdot e_0)/L^2$, y en la dirección opuesta se aplicarán sendas cargas puntuales en ambos extremos del pilar con un valor $(4 \cdot N_d \cdot e_0)/L$, donde N_d es el esfuerzo axil máximo de compresión que solicita al pilar.</p> |

6. Estados Límite Últimos

La comprobación frente a los estados límites últimos supone la comprobación ordenada frente a la resistencia de las secciones (Apartado 6.2 Anejo 22 del CE), y frente a la resistencia a pandeo de los elementos (Apartado 6.3 Anejo 22 del CE).

Se han seguido los criterios indicados en el Apartado 6: “Estados límite últimos” del Anejo 22 del CE para realizar la comprobación de la estructura, en base a los siguientes criterios de análisis:

a) **Descomposición de la barra en secciones y cálculo en cada una de ellas de los valores de resistencia a:**

- Tracción (Apdo. 6.2.3)
- Compresión (Apdo. 6.2.4)
- Momento flector (Apdo. 6.2.5)
- Cortante (Apdo. 6.2.6)
- Torsión (Apdo. 6.2.7)
- Interacción de esfuerzos:
 - Flexión y cortante (Apdo. 6.2.8)
 - Flexión y axil (Apdo. 6.2.9)
 - Flexión, cortante y axil (Apdo. 6.2.10)

b) **Comprobación de la resistencia a pandeo de:**

- Elementos de sección constante a compresión (Apdo. 6.3.1)
- Elementos de canto constante a flexión (Apdo. 6.3.2)
- Elementos de sección constante sometidos a flexión y compresión (Apdo. 6.3.3)

7. Estados Límite de Servicio

Para las diferentes situaciones de dimensionado se ha comprobado que el comportamiento de la estructura en cuanto a deformaciones, vibraciones y otros estados límite, está dentro de los límites establecidos en el Apartado 7.2 “Estados límite de servicio en edificación” del Anejo 22 del CE.

Se ha comprobado que la estructura presenta unas deformaciones verticales (Apartado 7.2.1) y unas flechas horizontales (Apartado 7.2.2) admisibles.

8. Clases de Ejecución – Gestión de la Calidad de Ejecución

Para determinar el Nivel de Control de Ejecución de la estructura o de cada tipo de elemento estructural (Artículo 14 del CE) hay que determinar la Clase de Ejecución conforme se especifica en el Artículo 91 del CE.

La Clase de Ejecución depende del Nivel de Riesgo (CC), de la Categoría de Uso (SC) y Categoría de Ejecución (PC).

El nivel de riesgo de una obra define las consecuencias que podría tener su fallo estructural durante su construcción o en servicio.

| | Nivel de Riesgo | Descripción |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Nivel CC3 | Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, como es el caso de un edificio público, o puede generar grandes pérdidas económicas. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Nivel CC2 | Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, pero no del público en general, o puede generar apreciables pérdidas económicas. |
| <input type="checkbox"/> | Nivel CC1 | Elementos no incluidos en los niveles anteriores |

La categoría de uso depende del riesgo ligado al servicio para el que se diseña la estructura.

| | Categoría de uso | Descripción |
|-------------------------------------|------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | SC1 | Estructuras y componentes sometidas a acciones predominantemente estáticas (edificios). Estructuras con uniones diseñadas para acciones sísmicas moderadas que no requieren ductilidad. Carrileras y soportes con cargas de fatiga reducida, por debajo del umbral de daño del detalle más vulnerable. |
| <input type="checkbox"/> | SC2 | Estructuras y componentes sometidas a acciones de fatiga (puentes de carretera y ferrocarril, grúas y carrileras en general). Estructuras sometidas a vibraciones por efecto del viento, paso de personas o maquinaria con rotación. Estructuras con uniones que requieren ductilidad por requisito de diseño antisísmico. |

La categoría de ejecución depende de la fabricación y montaje de la estructura

| | Categoría de Ejecución | Descripción |
|-------------------------------------|------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | PC1 | Componentes sin uniones soldadas, con cualquier tipo de acero. Componentes con soldaduras de acero de grado inferior a S355, realizadas en taller. |
| <input type="checkbox"/> | PC2 | Componentes con soldaduras de acero de grado S355 o superior. Ejecución de soldaduras en obra de elementos principales. Elementos sometidos a tratamiento térmico durante su fabricación. Piezas de perfil hueco con recortes en boca de lobo. |

| Nivel de Riesgo | | CC1 | | CC2 | | CC3 | |
|------------------------|------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Categoría de Uso | | SC1 | SC2 | SC1 | SC2 | SC1 | SC2 |
| Categoría de Ejecución | PC 1 | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 2 <input checked="" type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> |
| | PC 2 | 2 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |

Por lo tanto, el Nivel de Control de Ejecución según el CE será:

| Clase de Ejecución | Nivel de Control de Ejecución |
|---|-------------------------------|
| Clase 2 <input checked="" type="checkbox"/> | Normal |
| Clase 3 ó 4 <input type="checkbox"/> | Intenso |