

2^{er} CyR_t: Torres acartonadas

Material(es): cartón ondulado

Rotura: En el aula YG2, el 13-11-2017

Objetivo: Construir una torre de pisos de 1,2m de altura y no más de 10 plantas. La superficie del solar sobre el que se contruirá la torre es de $240\text{ mm} \times 240\text{ mm}$. De toda la superficie posible $240\text{ mm} \times 240\text{ mm} \times 10 = 576000\text{ mm}^2$, la ocupación será como máximo del 40 %, esto es 230400 mm^2 . El objetivo es que el proyecto agote esa edificabilidad.

La torre deberá soportar, al menos, la carga correspondiente a toda la superficie construida cubierta de cilindros y lingotes, lo que representan una sobrecarga de uso de valor $1,3\text{ kN/m}^2$. Para ello, la planta deberá modularse para que sobre ella se puedan colocar los cilindros de carga, suponiendo que ocupan una superficie de $120\text{ mm} \times 24\text{ mm}$. Los soportes deberán adaptarse a la disposición que se decida de tan manera que se puedan colocar los cilindros fácilmente.

Por otra parte, el último piso, situado a la altura de 1200 mm del suelo, deberá tener, al menos, el 40 % de la superficie del solar sobre el que se edifica la torre, esto es $0,4 \times 240\text{ mm} \times 240\text{ mm} = 23040\text{ mm}^2$. Además, la torre se realizará sobre una plataforma de base, también de cartón ondulado, de planta cuadrada de 290 mm de lado.

La separación entre los pisos será al menos de 120 mm, de modo que si se contruyen 10 pisos esa sería la altura entre pisos. Sin embargo, si se opta por construir un número menor de plantas, la separación entre los pisos ha de ser mayor en alguna zona, ya que la altura total del edificio tiene que ser de 1200 mm.

Toda la torre, forjado y soportes, se construirán con cartón ondulado de diferentes espesores según en que parte se vayan a colocar, se puede utilizar un tipo para los forjados y otro para los soportes.

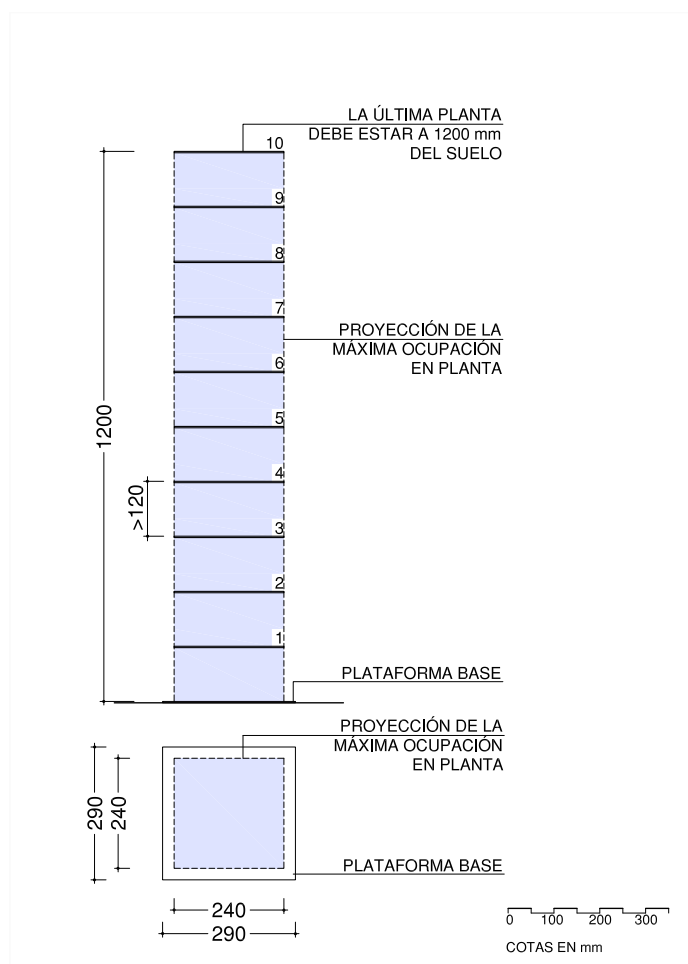
La superficie que se puede construir es únicamente una parte de la que cabría en el volumen posible. Por tanto, una de las cuestiones a resolver, es la manera en que se va a distribuir la superficie en la altura del edificio.

La organización de la superficie es libre, pero habrá que tener en cuenta que la superficie de cada planta debe estar modulada para admitir un número entero de lingotes de carga.

Los miembros del equipo constructor serán los encargados de aplicar la carga en la torre. Para ello irán rellenando cada planta con lingotes de acuerdo con la distribución que hayan decidido y que deberá estar dibujada en la planta. Se comenzará a rellenar por la planta inferior y, una vez que se haya completado, se continuará con la planta siguiente. Si la torre soporta toda la superficie cargada con cilindros, soportará la carga para la que está diseñada. En ese caso, se procederá a colocar otra capa de pesos siguiendo la misma secuencia que con la primera.

En caso de que soporte la segunda capa, se colocarán pesos hasta completar la tercera capa. En ese caso, la construcción tendrá un coeficiente de seguridad de 3.

Llegados a este punto, con la torre soportando tres capas de bloques, se procedera a aplicar una carga horizontal a la altura del extremo superior.



Las dimensiones son las siguientes:

$$\text{m}{\acute{a}}\text{xima superficie construida} = 0,4 \times 240 \text{ mm} \times 240 \text{ mm} \times 10 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$\text{m}{\acute{a}}\text{xima ocupaci}{\acute{o}}\text{n en planta} = 240 \text{ mm} \times 240 \text{ mm} = 57600 \text{ mm}^2$$

$$\text{altura m}{\acute{a}}\text{xima} = 1200 \text{ mm}$$

La masa de la estructura est{a} limitada a 1,20 kg.

Salvo en el caso de que alg{u}n equipo presente un argumento muy fuerte, no se admitir{a} en las piezas otro tipo de cart{on} que el ondulado. Los materiales para uniones son libres: cola blanca, pegamento universal UHU, costuras de hilo, grapas met{a}licas, etc. Pero en ning{u}n caso se admitir{a}n piezas que en toda su longitud est{e}n dopadas con otros materiales.

Data: El cart{on} ondulado corriente tiene un alcance estructural de 2 km aproximadamente. Sabiendo el gramaje del cart{on} es f{a}cil saber la resistencia esperable por unidad de longitud de secci{on}. Por ejemplo, un cart{on} de gramaje 200, tendr{a} un peso espec{f}ico de 2 N/m^2 , y una resistencia de $2000 \text{ m} \times 2 \text{ N/m}^2 = 4 \text{ kN/m}$: una tira vertical de 10 cm de ancho aguantar{a} el peso de unos 40 kg.

El acopio del cart{on} ondulado, de gramaje 400 o mayor, de tres o cinco papeles, corre a cuenta de cada equipo: en la basura es abundante; en la escuela: principalmente, trasera de Sancer y/o contenedor de papel al lado de las pistas deportivas; y en muchos otros lugares: taller de maquetas, papeleras y contenedores en pasillos y aulas, etc.

Fases de realizaci{on}

Este ejercicio se realizar{a} en fases, con entregas parciales en alguna de ellas:

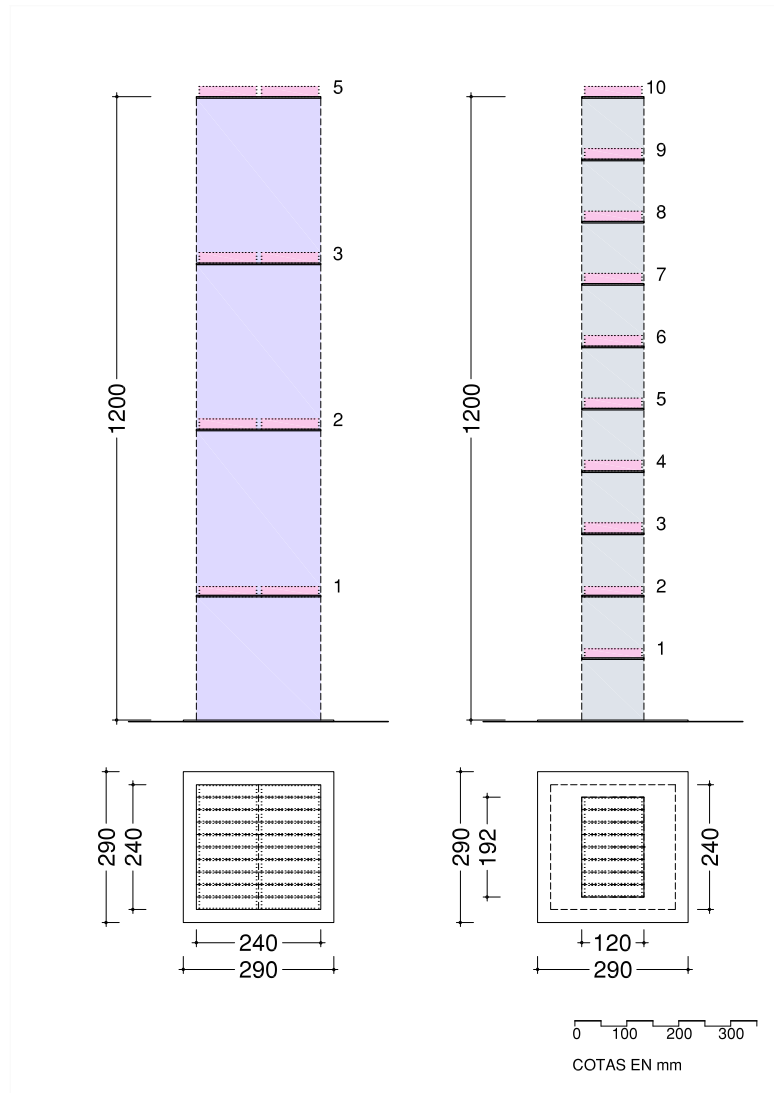
1. Lectura colectiva del enunciado y, en su caso, discusi{on} y aprobaci{on} de enmiendas (1h)
2. Redacci{on} de un proyecto de la soluci{on} ideada. Se entregar{a} un PDF con la informaci{on} suficiente *como para que otro equipo (distinto del redactor) pudiera o pudiese acometer la construcci{on} del dise{\~{n}}o ideado*. Aunque se trata de un PDF, la confecci{on} del original puede realizarse tanto digitalmente (programa de dibujo) como manualmente (croquis a mano alzada convenientemente acotados y textos manuscritos, escaneados), o por cualquier hibridaci{on} de los dos m{e}todos anteriores. (4h+homework)

Para la redacci{on} del proyecto pueden hacerse pruebas con modelos a escala en cart{on}, papel o cartulina. Para ello pueden emplearse cilindros de acero como cargas (que representan $1,23 \text{ kN/m}^2$ tumbados en una capa; o $6,78 \text{ kN/m}^2$, verticales en cuadr{f}cula de 20 mm). Se recomienda que se documenten estos ensayos previos que permiten concretar el dise{\~{n}}o definitivo.

3. Construcci{on} del dise{\~{n}}o seg{u}n las especificaciones del proyecto (6h+homework)
4. Rotura de la estructura construida (el tiempo que haga falta)
5. Entrega final en PDF

Pistas

- **Las pesas son cilindros y lingotes de acero.** Las pesas son cilindros de acero, de 20 mm de di{a}metro y 110 mm de longitud, los lingotes de secci{on} cuadrada de 20 mm de lado y la misma longitud.
- **Estados de carga.** El edificio se cargar{a} rellenando la planta de cilindros y lingotes seg{u}n la distribuci{on} definida por el equipo redactor del proyecto. Como las cargas pueden ser cilindros que pueden “rodar” y salir del edificio, se recomienda que se prevean elementos que evitan la caida de los pesos.
- **El forjado.** El forjado deber{a} ser suficientemente resistente para soportar los pesos entre los soportes.
- **Los soportes.** Piezas usualmente comprimidas sujetas a fen{om}enos de inestabilidad o pandeo, si no tienen suficiente rigidez a la flexi{on} y/o presentan imperfecciones iniciales respecto a su trazo te{or}ico. Por ello, se recomienda poner especial atenci{on} al plantear el modo de construirlos, para reducir en lo posible las imperfecciones. Cargas asim{e}tricas pueden solicitarlos a flexi{on}.
- **La distribuci{on} de las plantas.** La diferencia entre la superficie total que se podr{f}a edificar en el volumen permitido y la que realmente es posible ejecutar, obliga a plantear el problema de la distribuci{on} de la planta. Hay que tener en cuenta que la principal condici{on} que tiene que cumplir es que pueda alojar un n{u}mero entero de bloques de carga. La disposici{on} de los bloques de carga condiciona la disposici{on} de los soportes. Por esa raz{on}, aunque la disposici{on} puede variar de una planta a otra, habr{a} que tener en cuenta la situaci{on} de los soportes para que sean compatibles las distribuciones de las diferentes plantas. En la figura siguiente se muestran dos casos extremos, en la izquierda se ha decidido ocupar toda la planta y construir 4 plantas, con lo que se agota la edificabilidad permitida: $4 \times 240 \times 240 \text{ mm} = 230400 \text{ mm}^2$; por otra parte, en la figura derecha se ha optado por construir 10 plantas pero con una superficie menor que la que ocupa el solar: $10 \times 120 \text{ mm} \times 192 \text{ mm} = 230400 \text{ mm}^2$.



Una posible fuente de inspiración será examinar diseños reales de torres de pisos en las que varía la forma de la planta.

Versión del 05/11. J. Antuña, 5 de noviembre de 2017