



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Estudio y desarrollo de
gradas modulares transportables

Study and development of
transportable modular stands

Autor

Rubén Cabrejas Merino

Director

Jesús Cuartero Salafranca

Máster en Ingeniería Mecánica

Universidad de Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020





Resumen

Este proyecto consiste en el cálculo y diseño de una grada realizada mediante una estructura metálica, la cual será modular, desmontable y transportable. El objetivo es que esta grada pueda ser transportada en un camión y ser montada y desmontada in situ de forma modular, consiguiendo una gran versatilidad y un bajo costo para el cliente que desee adquirir este producto para un espectáculo de corta duración.

Se elaborarán para ello los documentos técnicos necesarios, aplicando siempre la normativa vigente y los conocimientos adquiridos tanto en el grado como en el máster de ingeniería mecánica, así como una serie de programas informáticos.

Este trabajo de fin de máster se engloba en el proceso de innovación de la empresa HDS metálicas, especialista en la fabricación y montaje de estructuras metálicas, con el objetivo de comercializar este producto.

Palabras clave: GRADA, ESTRUCTURA METÁLICA, MODULAR, DESMONTABLE

Abstract

This project consists in the calculation and design of a stand made by a metal structure, which will be modular, removable and transportable. The objective is that this stand can be transported on a truck and be mounted and disassembled on site in a modular way, achieving great versatility and low cost for the customer who wishes to purchase this product for a short-lived show.

To this end, the necessary technical documents will be prepared, always applying the current regulations and the knowledge acquired both in the degree and in the master's degree in mechanical engineering, as well as a series of software.

This master's degree final project is part of the innovation process of the HDS metálicas company, specialist in the manufacture and assembly of metal structures, with the aim of marketing this product.

Keywords: STAND, METAL STRUCTURE, MODULAR, REMOVABLE



Índice general

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

DOCUMENTO Nº2: ANEXO I – ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS Y DE SERVICIO

DOCUMENTO Nº3: ANEXO II – CÁLCULOS EN CYPE 3D

DOCUMENTO Nº4: ANEXO III – SOLUCIONES Y COMPROBACIONES SOBRE LA GRADA FINAL

DOCUMENTO Nº5: ANEXO IV – PLANOS

DOCUMENTO Nº6: ANEXO V – PRESUPUESTO



Índice de figuras

Figura 1: Grada modular y desmontable	12
Figura 2: Posible disposición para cien espectadores.....	16
Figura 3: Estructura portante en voladizo para una mayor comodidad	16
Figura 4: Sistema de anclaje de rosetas y cuñas.....	17
Figura 5: Base de regulación maciza galvanizada	18
Figura 6: Dimensión de pasillo entre filas de asientos	18
Figura 7: Dimensiones laterales entre asientos.....	19
Figura 8: Dimensión de la contrahuella de la escalera	19
Figura 9: Dimensiones de huellas	20
Figura 10: Inclinación de la grada	21
Figura 11: Profundidad de los asientos	21
Figura 12: Altura de la base de los asientos	22
Figura 13: Asiento CR2	22
Figura 14: Anchura de la escalera.....	23
Figura 15: Chapa perforada.....	25
Figura 16: Idea para mejora en anclaje de cuñas y rosetas	29
Figura 17: Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$	38
Figura 18: Coeficiente de exposición $c_e(z)$ para $c_o=1,0$, $k_f=1,0$	42
Figura 19: Cálculo del coeficiente de exposición $c_e(z)$	43
Figura 20: Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para estructuras de celosía planas y tridimensionales con elementos de sección transversal circular	45
Figura 21: Coeficientes de fuerza $c_{f,0}$ para secciones rectangulares con esquinas vivas y sin considerar el flujo libre de cola	46
Figura 22: Factor de reducción para secciones transversales cuadradas con esquinas redondeadas	47
Figura 23: Valores recomendados de λ para cilindros, secciones poligonales, secciones rectangulares, secciones estructurales con bordes vivos y estructuras de celosía	47
Figura 24: Valores indicativos del factor del efecto cola $\Psi\lambda$ en función de la relación de solidez φ y la esbeltez λ	48
Figura 25: Flujo de aire sobre marquesinas.....	49
Figura 26: Localización recomendada del centro de fuerzas en marquesinas a un agua	50
Figura 27: Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a un agua	51
Figura 28: Numeración de las barras.....	55
Figura 29: Numeración de los elementos de la grada	76
Figura 30: Regiones climáticas europeas.....	92
Figura 31: Zonas climáticas de invierno.....	93
Figura 32: Valores recomendados de los factores Ψ para edificios.....	109
Figura 33: Interfaz del programa CYPE 3D	112
Figura 34: Vista 3D	113
Figura 35: Herramienta "Describir"	113
Figura 36: Herramienta "Describir disposición" en barras	114
Figura 37: Herramienta "Crear grupos de flecha"	114
Figura 38: Herramienta "Describir material"	115
Figura 39: Diferencia entre seleccionar una sola carga o todas con la herramienta "Hipótesis vista"	115



Figura 40: Herramienta "Nueva unión"	116
Figura 41: Herramienta "Calcular"	117
Figura 42: Herramienta "Esfuerzos" con la opción deformada activada para la carga de peso propio.....	117
Figura 43: Herramienta "Deformada e isovalores de la ventana activa" con los resultados del desplazamiento total para la combinación de acciones más desfavorable	118
Figura 44: Herramienta "Comprobar elementos"	118
Figura 45: Datos generales y selección de normas	120
Figura 46: Categorías de uso	120
Figura 47: Combinatoria de acciones de la ventana "Nueva hipótesis adicional"	121
Figura 48: Estructura soporte lateral.....	122
Figura 49: Barra antes de utilizar la herramienta "Describir disposición"	123
Figura 50: Uniones disponibles en CYPE 3D para perfiles tubulares	124
Figura 51: Vinculación interior de las barras	125
Figura 52: Vinculación exterior de las barras	125
Figura 53: Flecha límite	126
Figura 54: Pandeo	127
Figura 55: Cargas de peso propio	128
Figura 56: Sobrecarga de uso horizontal Q2.....	128
Figura 57: Primera grada calculada	129
Figura 58: Deformación excesiva de las láminas	129
Figura 59: Segunda grada calculada	130
Figura 60: Estructura final	131
Figura 61: Comprobación de los elementos de la estructura	131
Figura 62: Barra con mayor aprovechamiento de resistencia	132
Figura 63: Barra con mayor aprovechamiento de flecha.....	133
Figura 64: Nomenclatura de las barras de la primera estructura lateral	134
Figura 65: Nomenclatura de las barras de la segunda estructura lateral	134
Figura 66: Nomenclatura de las barras de la parte trasera	135
Figura 67: Nomenclatura de las barras soporte de las plataformas y las escaleras.....	135
Figura 68: Deformada con la combinación más desfavorable	408
Figura 69: Reacciones en los apoyos ante la acción de viento más desfavorable	409
Figura 70: Base regulable GS80014.F	414
Figura 71: Resistencias de hormigón de C20/25	415
Figura 72: Cargas a tracción	416
Figura 73: Cargas a cortante.....	416
Figura 74: Bloque de hormigón standard 25	417
Figura 75: Barrera trasera del módulo de asiento en CYPE 3D	419
Figura 76: Cargas sobre la barandilla.....	420
Figura 77: Comprobación de los elementos de la barandilla.....	420
Figura 78: Zona más solicitada de la barandilla	421
Figura 79: Reacciones en los apoyos de la barandilla.....	421
Figura 80: Deformación ante la carga más desfavorable de la barandilla	422
Figura 81: Tipo de anclaje utilizado en las plataformas y escaleras	423
Figura 82: Sistema de cuñas y rosetas	423
Figura 83: Asiento CR2	424
Figura 84: Parámetros para el cálculo de la fórmula para las plazas de asiento	427



Índice de tablas

Tabla 1: Valores nominales del límite elástico f_y y de la resistencia a tracción f_u para acero estructural laminado en caliente y para perfiles tubulares estructurales	24
Tabla 2: Categorías de terrenos y parámetros del terreno	40
Tabla 3: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal, s_k [kN/m ²]	93
Tabla 4: Cargas horizontales aplicadas a las barreras en localidades de asiento	418



DOCUMENTO Nº1

MEMORIA

Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

Noviembre de 2020



Índice de documento Nº1: Memoria

1. Introducción.....	10
2. Objetivos.....	10
3. Datos de partida	10
4. Características generales de la estructura	11
5. Herramientas utilizadas.....	12
6. Breve descripción del resto de secciones.....	12
7. Normativa utilizada	13
8. Predimensionamiento y dimensiones de la grada	14
9. Materiales utilizados	23
10. Diseño final y resultados obtenidos	25
11. Conclusiones	28
12. Bibliografía.....	29



1. Introducción

Este proyecto parte de la decisión de la empresa HDS metálicas, especialista desde 25 años en la fabricación y el montaje de estructuras metálicas, de incorporar por primera vez productos estandarizados que puedan ser comercializados, ya que hasta el momento todos los trabajos se realizan por proyecto y de esta forma se pretende conseguir llegar a un mayor número de clientes.

Se estudiaron otras alternativas, pero finalmente se decidió realizar gradas modulares transportables y desmontables ya que en primer lugar se dispone de los medios, conocimientos y experiencia para realizar este tipo de estructuras en esta empresa, se consideró que se podía tratar de un producto interesante si se introducía la palabra modularidad ya que en otras empresas se está haciendo hincapié en este tema, por ejemplo en la construcción de naves metálicas, y también se apostó por las gradas ya que es un producto donde las opciones son muy altas y se podría realizar un producto diferente que puede destacar entre otras opciones.

Además, a nivel personal este proyecto supone poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridos a lo largo del grado y el máster en el ámbito del cálculo y análisis estructural, elaboración de proyectos, diseño gráfico... los cuales son temas que no traté en mi trabajo de fin de grado y por lo tanto entiendo que este trabajo de fin de máster me ayudará a conseguir una formación más completa.

2. Objetivos

En este proyecto encontraremos diferentes objetivos entre los cuales el principal es el diseño, cálculo y análisis de una grada modular, transportable y desmontable realizada mediante una estructura metálica, que cumpla con la normativa vigente y por lo tanto pueda ser comercializada.

Otro de los objetivos es encontrar una disposición idónea de localidades para cada módulo de gradas con el objetivo de que al montarse unas con otras ofrezcan alternativas interesantes para el cliente.

También se buscará un compromiso entre rapidez de montaje y desmontaje, y espacio ocupado en el transporte en el camión, estudiando incluso anclajes con alguna innovación para agilizar las tareas de montaje y desmontaje, el tamaño de los elementos y su forma para que ocupen poco espacio en el transporte, etc.

Por último, se atenderá también al ámbito económico de este proyecto, elaborando un presupuesto que servirá en un futuro para estudiar la viabilidad económica de este proyecto como producto comercializable de la empresa.

3. Datos de partida

No existen demasiados datos de partida ya que este tipo de gradas se pueden utilizar para diversos espectáculos y en diferentes ubicaciones, pero gracias a la búsqueda de información de cómo se realizan estos productos en otras empresas se ha llegado a la conclusión de que habitualmente el número de localidades que exigen los clientes varía en la mayoría de los casos entre cincuenta y cien asientos.



También está decidido que la estructura que soporta la grada sea metálica y específicamente de acero, ya que es el material que más se utiliza en esta empresa y por lo tanto del cual se tiene un mayor conocimiento.

Se tendrá en cuenta el tamaño de las piezas y su forma para que quepan en el remolque del camión ocupando el menor espacio posible.

Se buscará la configuración de piezas formada por diferentes elementos estructurales soldados antes que anclados para que el montaje y el desmontaje se lleven en el menor tiempo posible, y cuando sea necesario el anclaje de piezas o elementos estructurales se evitarán las uniones atornilladas, eligiendo alternativas más rápidas.

4. Características generales de la estructura

La configuración que se ha escogido para elaborar este producto, como aparece en el título de este proyecto, son los módulos. Esta elección permite elaborar distintas gradas rápidamente haciendo uso tan solo de dos tipos de módulos.

El primero de estos módulos será la zona donde se ubican las localidades donde se sentará la gente, y el segundo módulo será la escalera donde además en la última fila encontraremos asientos.

Lo que se busca con esto es que un cliente si bien no puede escoger las plazas exactas, sí que puede elegir una configuración con un número de asientos aproximado, con la ventaja de que la grada está ya construida y por lo tanto no es necesario realizar un estudio a medida de las condiciones específicas que requiere el cliente, además de que el montaje y desmontaje se realiza rápidamente, por lo que este producto se vuelve idóneo para espectáculos ocasionales.

Las dimensiones de la grada, más allá del número de localidades escogidas, vienen bastante determinadas por la normativa, permitiendo habitualmente variaciones pequeñas de estas dimensiones.

La estructura que soporta la grada será metálica y específicamente de acero, y se utilizarán elementos similares a los que se pueden observar en andamios, debido a que este tipo de estructuras se pueden montar y desmontar rápidamente.

También, por supuesto, se cumplirá con la normativa que afecta a este tipo de construcciones, lo que significa por ejemplo que tendrá barandillas en el perímetro exterior.

La empresa en la que se va a desarrollar este producto está especializada en la fabricación y montaje de estructuras metálicas, por lo que los asientos, los cuales están realizados en polipropileno copolímero, serán adquiridos a una organización externa.

Todos los elementos de la grada deberán ser almacenados en el remolque del camión que se utilizará para el transporte de la grada, y se buscarán piezas que pueden ser apilables o que ocupen el menos espacio posible, siempre valorando también la rapidez en el montaje y desmontaje, y llegando a un compromiso entre estos dos aspectos.

Para una mejor comprensión por parte del lector se muestra a continuación una imagen de este tipo de gradas:



Figura 1: Grada modular y desmontable

5. Herramientas utilizadas

En este proyecto se han realizado en primer lugar los cálculos de las acciones, tanto permanentes como variables, a mano, con la excepción del cálculo de las acciones del viento donde además de los cálculos a mano, se confeccionó una tabla en Excel para hallar las cargas que aparecen en cada una de las barras y chapas de la grada debido a este fenómeno climático.

Después estas acciones se introdujeron, junto con el diseño de la estructura en 3D, en el programa de cálculo de estructuras metálicas CYPE 3D, de donde se extrajeron los resultados del análisis global de la estructura, y de cada uno de los elementos que la componen.

También se utilizó el software AutoCAD 2020 para la realización de los planos.

6. Breve descripción del resto de secciones

En esta memoria hemos visto cuales son los objetivos planteados, los datos de partida que se disponen, cuáles son las características generales que debe poseer nuestra grada y los programas utilizados en este proyecto. A continuación, en esta misma memoria se verá la normativa que se ha empleado, un primer predimensionamiento de la grada donde además veremos valores de dimensiones tomadas de la normativa, los materiales utilizados en esta estructura, y el diseño final al que se ha llegado después de obtener los resultados de los cálculos y del programa CYPE 3D, mostrando también el porqué de las diferencias respecto de la solución que se realizó en el predimensionamiento.

Al final de la memoria también se dedicará un capítulo a las conclusiones obtenidas donde se comentarán también posibles trabajos futuros, y la bibliografía utilizada.

Después de la memoria encontraremos una serie de anexos donde el primero estará dedicado a los estados límite últimos y de servicio, donde encontraremos las diferentes cargas que se han de aplicar para cumplir con la normativa, así como las hipótesis de cálculo adoptadas, las distintas combinaciones de cargas debidas a las diferentes situaciones en las que se puede



encontrar nuestra grada, y la explicación de los cálculos que más adelante se realizarán en CYPE 3D.

El segundo anexo estará dedicado al programa CYPE 3D, donde se verán las herramientas que se han utilizado, así como el procedimiento para implantar nuestra estructura en el programa y por último los resultados obtenidos.

En el tercer anexo encontraremos diferentes soluciones técnicas que se aplicarán sobre la estructura final que se ha obtenido en el anterior anexo, como bases regulables, barandillas, embellecedores, uniones, drenaje de lluvia, asientos, así como el montaje y desmontaje recomendado de la estructura y su transporte, las distintas configuraciones realizable con los módulos, y una comprobación de la visión de los espectadores, además de las responsabilidades de las partes.

Más adelante, en el cuarto anexo, aparecerán los planos de la estructura final.

Y finalmente en el quinto anexo encontraremos el presupuesto.

7. Normativa utilizada

Este proyecto se ha elaborado aplicando las siguientes normativas:

La norma UNE-EN 13200-6:2013, la cual está dedicada específicamente a las gradas (temporales) desmontables.

La norma UNE-EN 13200-1:2019, que se encarga de normar las gradas en general.

La norma UNE-EN 13200-3:2019, que habla de las barreras que hay que disponer en este tipo de estructuras.

La norma UNE-EN 1990:2019, en la que encontramos la base para el cálculo de estructuras.

El reglamento general de policía y espectáculos (RD 2816/1982), el cual se ha utilizado para tener un mayor conocimiento normativo en algunas partes de la grada, pero que entra en conflicto en algunos valores con los dados en las normas UNE dedicadas a gradas, y que en estos casos se ha aplicado las normas UNE-EN 13200-6:2013 y UNE-EN 13200-1:2019.

El Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991-1-1:2019) en el cual se tratan los pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso en edificios.

El Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991-1-4:2018) en lo que se refiere a las acciones del viento.

El Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991-1-3:2018) para considerar las cargas debidas a la nieve.

La norma NCSE-02 dedicada a la resistencia de las estructuras frente a sismos.

El Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2013) el cual trata sobre estructuras de acero y que será la normativa implementada en el programa CYPE 3D para el análisis estructural.

El Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-3:2012) que se utiliza en algunas de las comprobaciones de los perfiles en CYPE 3D.

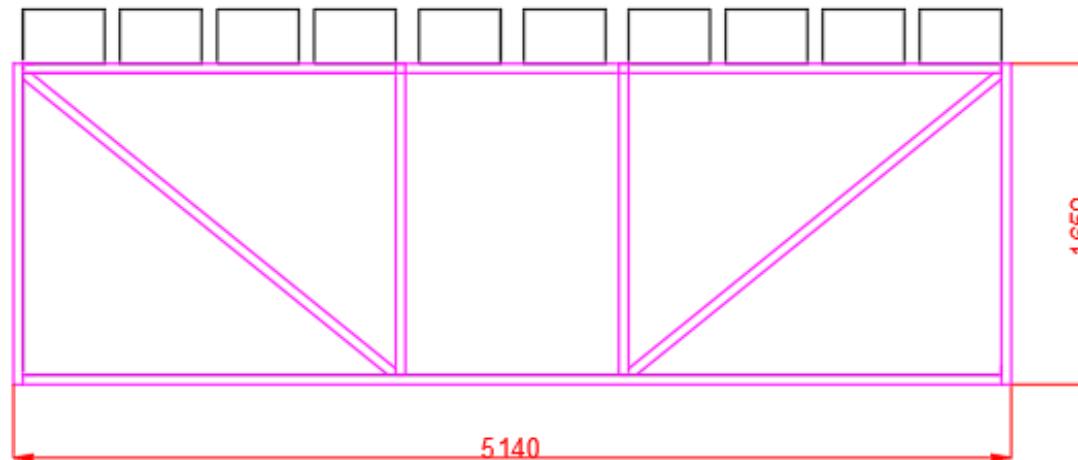
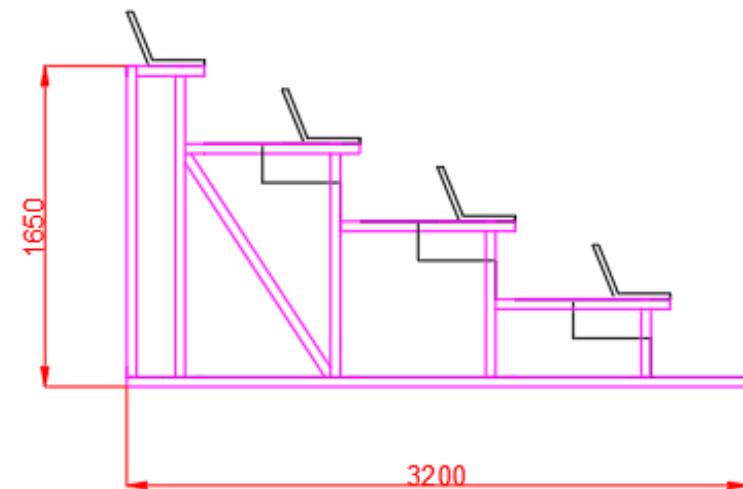
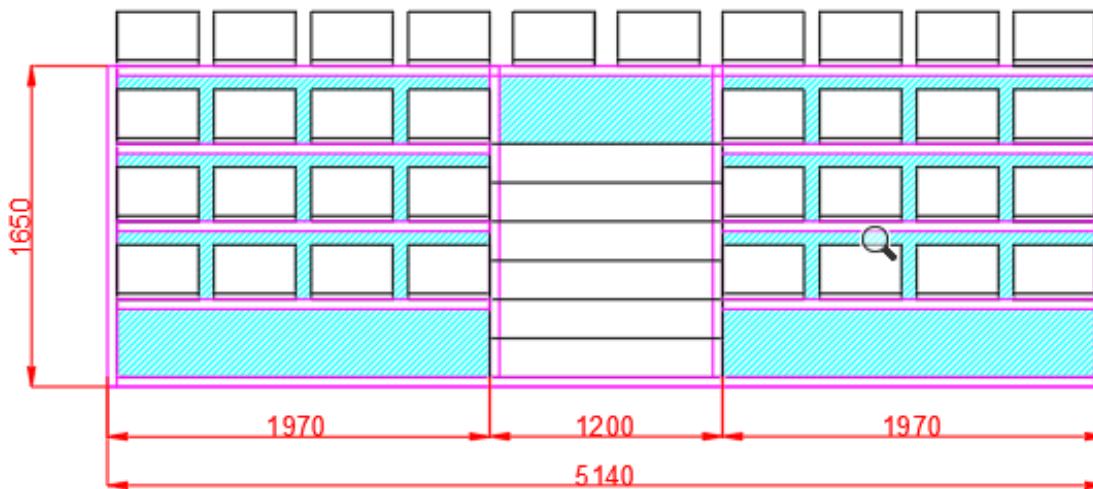
El Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-5:2013) que se aplica en algunas comprobaciones de los elementos en CYPE 3D.



Aunque este producto se va a realizar conforme a la normativa UNE, también se han consultado diferentes apartados del código técnico de la edificación (CTE) y un libro utilizado en la carrera, del Dr. Ing. J. Moreno Revilla, basado en el Eurocódigo 3 el cual habla de las estructuras de acero.

8. Predimensionamiento y dimensiones de la grada

El diseño inicial que se ha elegido para esta grada son dos módulos que se repetirán tantas veces como desee el cliente hasta un máximo, en primera instancia, de hasta cien espectadores.



TÍTULO	GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO	METÁLICAS HDS	01
CLIENTE		FIRMA
ESCALA	1:40	PLANO
FECHA	SEPTIEMBRE 2020	ESTRUCTURA ALZADO FRONTAL Y TRASERO, Y PERFIL

El primer módulo tendrá dieciséis asientos distribuidos a lo largo de cuatro filas y el segundo módulo serán las escaleras donde en la última fila encontraremos dos asientos.

La elección de este número de localidades no es casual puesto que se ha descubierto que la mayoría de los clientes escogen gradas para entre cincuenta y cien espectadores, por lo que con esta solución se tendrían estos dos valores redondos en contraposición con otro tipo de diseño que se estudió en el que se colocaban tres filas con cinco asientos en cada una (tres módulos de dieciséis asientos junto con un módulo de escalera con dos asientos dan cincuenta localidades).

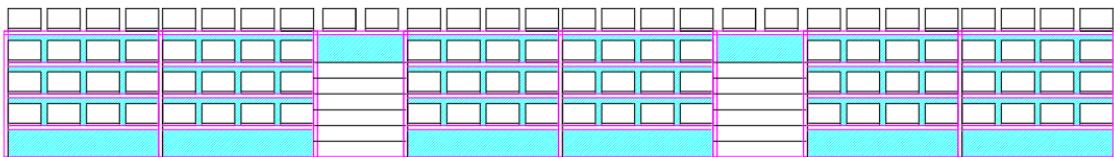


Figura 2: Posible disposición para cien espectadores

Se decidió también que la parte de los lados de la estructura que soportan las gradas fuese una única pieza compuesta de elementos soldados puesto que, aparte de que ofrece una mayor seguridad, hace que el montaje y desmontaje sean más rápidos y en el transporte tampoco ocupa mucho más espacio.

Para una mayor comodidad de los espectadores se desea que los asientos sobresalgan para permitir que las piernas puedan colocarse ligeramente por debajo del asiento.

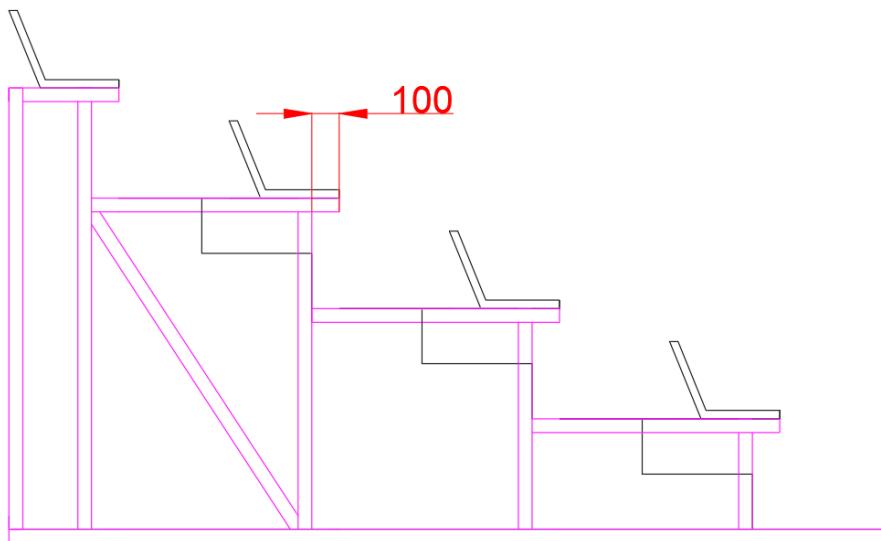


Figura 3: Estructura portante en voladizo para una mayor comodidad

La norma UNE-EN 13200-6:2013 recomienda que una bola de 100 mm no pueda pasar por ninguna parte de la grada (el diámetro máximo es de 120 mm), motivo por el que la parte de debajo de los asientos tiene que ser tapada. Esto, aunque ofrece seguridad, también genera que las cargas debidas al viento sean mayores, motivo por el que se ha decidido colocar chapa perforada, la cuál es una chapa que tiene agujeros de pequeño diámetro, lo que hace que se cumpla con la normativa y que las acciones del viento sean menores. Además, por la forma de montaje de esta chapa que consistirá en introducir unos enganches en agujeros realizados en las vigas se debe dejar un pequeño espacio debajo del asiento (ya que la chapa descenderá la longitud del enganche), y justo esta zona corresponde con la zona donde no hay oposición al

viento por parte de los asientos que se encuentran en la siguiente fila inferior, por lo que todavía las cargas del viento serán menores.

La estructura portante de la grada estará arriostrada longitudinal y transversalmente para soportar las cargas horizontales provocadas principalmente por el viento y el movimiento de los espectadores.

Se evitarán las uniones atornilladas por el tiempo que requieren en el montaje y el desmontaje, motivo por el que se utilizará el sistema de rosetas y cuñas, habitual en la construcción de andamios, que además de ofrecer una gran rapidez en el montaje y el desmontaje, permite también crear un cierto ángulo entre los distintos módulos, lo cual puede servir por ejemplo si en una zona la grada en su totalidad no puede colocarse en línea recta. Los asientos se anclarán disponiendo en la zona inferior una pieza en forma de T soldada al pasador que traen este tipo de asientos, con la idea de que el operario introduzca esta pieza en un agujero y la gire 90º haciendo que el asiento no se pueda extraer (a este anclaje no se puede acceder durante el uso normal de la grada ya que previamente hay que retirar la chapa perforada colocada debajo de los asientos).



Figura 4: Sistema de anclaje de rosetas y cuñas

En las esquinas de la estructura portante de cada módulo se colocarán husillos como base para regular la grada en altura en caso de irregularidades en el terreno.



Figura 5: Base de regulación maciza galvanizada

Las dimensiones de la grada serán de 2020 mm de ancho, 3200 mm de largo y 1650 mm de alto para el módulo de los asientos; y 1200 mm de ancho, 3200 mm de largo y 1650 mm de alto para el módulo de las escaleras. Es posible reducir la anchura del módulo de los asientos 50 mm, que es la anchura del perfil estructural, ya que esta pieza puede ser compartida por dos módulos. Hay que tener en cuenta que esta es la configuración que se ha elegido para el predimensionamiento, pero que con bastante seguridad será modificado hasta llegar a la solución que se considere mejor y que cumpla con la normativa.

Estas medidas vienen determinadas en gran parte por los valores recomendados en las normativas, que se han aplicado y son los siguientes:

- La norma UNE-EN 13200-6:2013 recomienda para los pasillos que existen entre las filas de asientos sean de una distancia de 400 mm, valor que se ha adoptado.

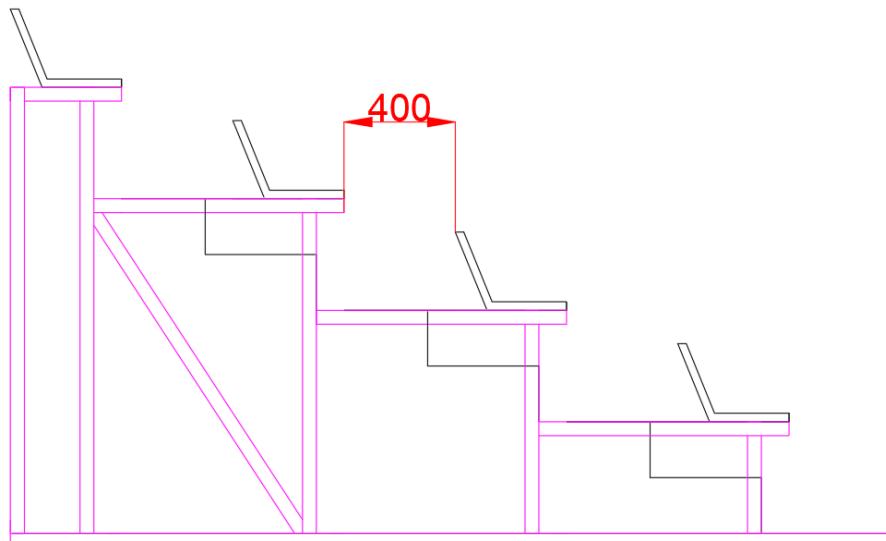


Figura 6: Dimensión de pasillo entre filas de asientos

- La norma UNE-EN 13200-1:2019 recomienda una longitud de 500 mm para los límites laterales de una plaza individual (que es igual que de centro a centro), valor que se ha escogido, con la excepción de los dos asientos que se encuentran en el módulo de la escalera, ya que este módulo mide 1200 mm y para que queden los asientos centrados con los mismos espacios en los laterales que entre ambos asientos se deben colocar a 540 mm. El espacio existente entre los asientos será de 80 mm en el módulo de los asientos y de 120 mm en el módulo de la escalera.

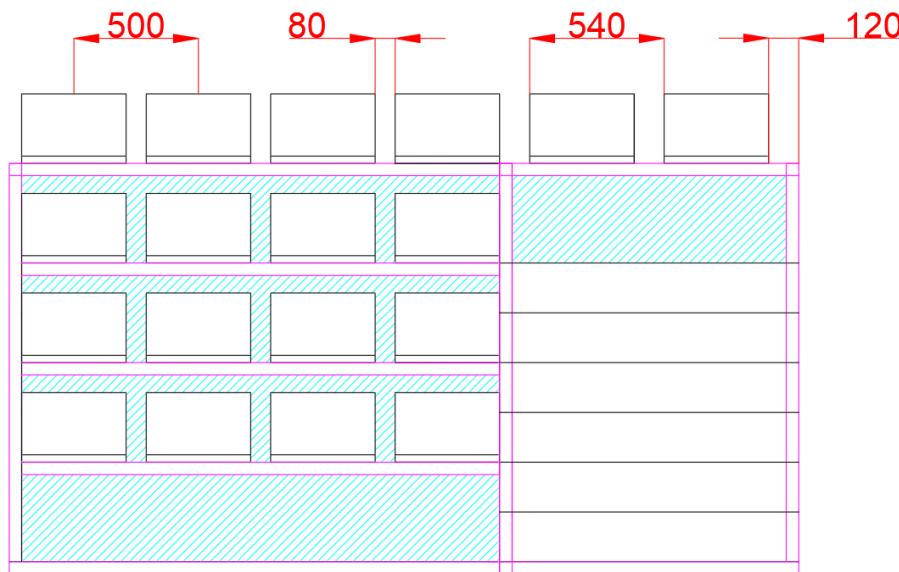


Figura 7: Dimensiones laterales entre asientos

- En el caso de la altura de las contrahuellas de la escalera (parte vertical de los peldaños de una escalera) se ha ido al valor máximo de 200 mm que fija la norma UNE-EN 13200-6:2013 debido a que de esta forma los peldaños quedan alineados con los pasillos que hay entre las filas de asientos.

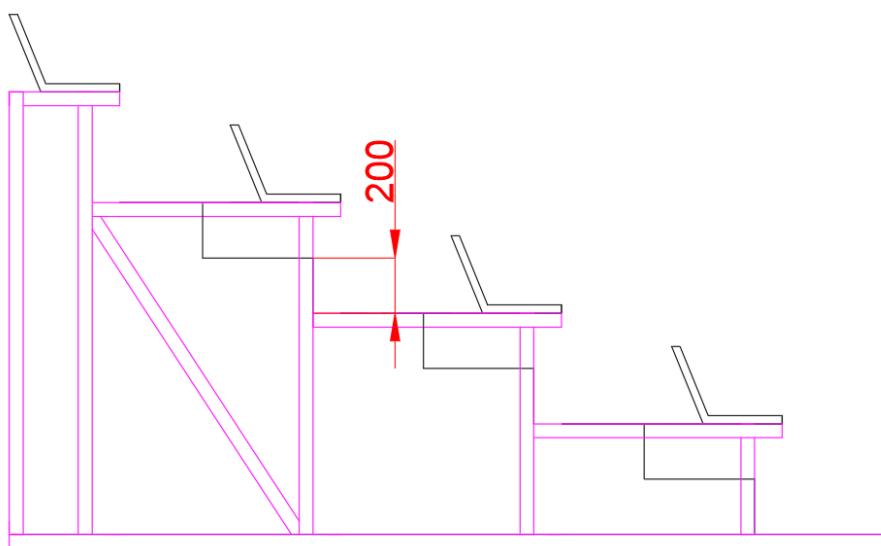


Figura 8: Dimensión de la contrahuella de la escalera



- Los peldaños de la escalera serán ciegos tal y como recomienda la norma UNE-EN 13200-6:2013, para minimizar el riesgo de tropiezos.
- La huella recomendada por la norma UNE-EN 13200-1:2019 es de 800 mm, valor que se ha escogido. Esta huella corresponde con la distancia entre dos puntos idénticos entre dos asientos que se encuentran uno delante del otro, de forma que las huellas de la escalera medirán la mitad, es decir 400 mm, cumpliendo con la huella mínima recomendada de 250 mm que norma la misma normativa.

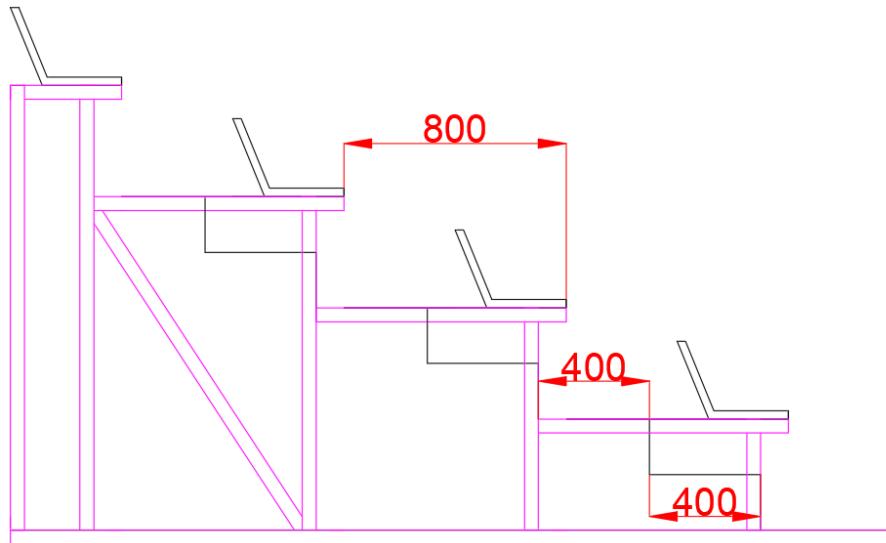


Figura 9: Dimensiones de huellas

- Como ya se comentó anteriormente se diseñará la grada para que una bola de 100 mm no pueda pasar por ninguna parte de la grada. En este punto hay que explicar que la normativa cuando habla de grada no se refiere a la estructura en su conjunto, ya que evidentemente habrá huecos mayores a los 100 mm en la estructura portante. Grada en estas normativas se refiere a la zona donde tienen acceso los espectadores para su uso normal, es decir los asientos, pasillos, escaleras, etc.
- Las barreras serán de 1,1 m de alto tal y como recomiendan las normas UNE-EN 13200-3:2019 y UNE-EN 13200-6:2013.
- La inclinación de la grada será de 27º, cumpliendo con el valor máximo de 35º normado por la UNE-EN 13200-1:2019.

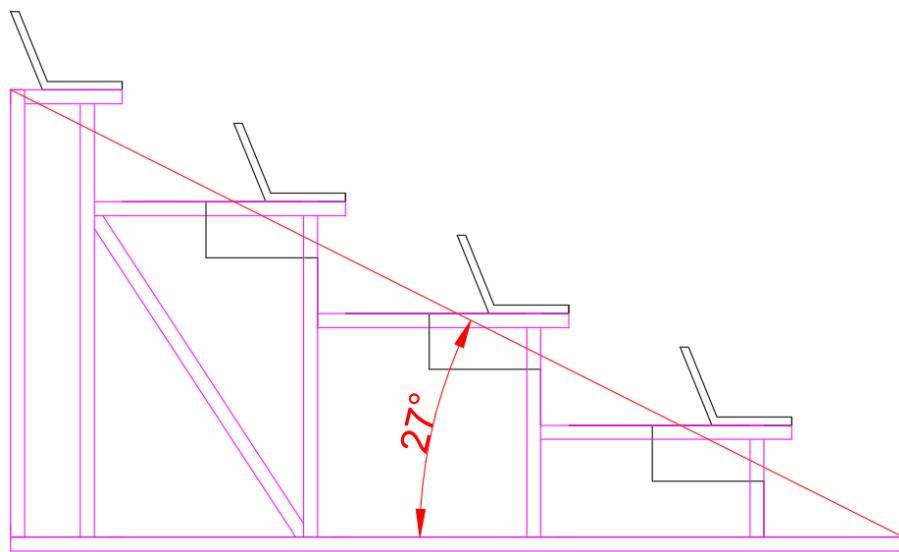


Figura 10: Inclinación de la grada

- La profundidad del asiento será de 400 mm, tal y como recomienda la norma UNE-EN 13200-1:2019. De esta manera y con la contrahuella de 800 mm adoptada anteriormente, tenemos un espacio para el pasillo de 400 mm que de nuevo es el valor recomendado por esta normativa.

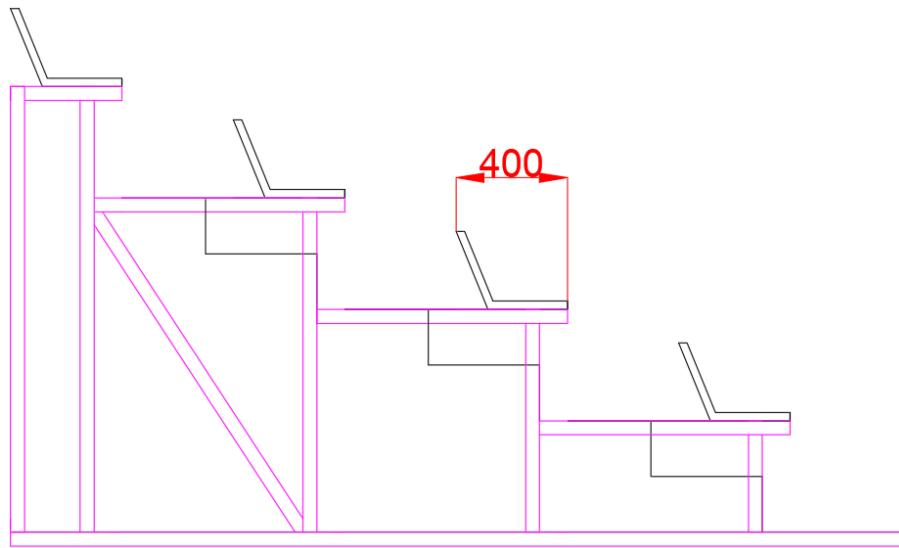


Figura 11: Profundidad de los asientos

- La altura desde el suelo del pasillo hasta el asiento será de aproximadamente 400 mm (400 mm más el espesor del asiento), cumpliendo con la norma UNE-EN 13200-1:2019.

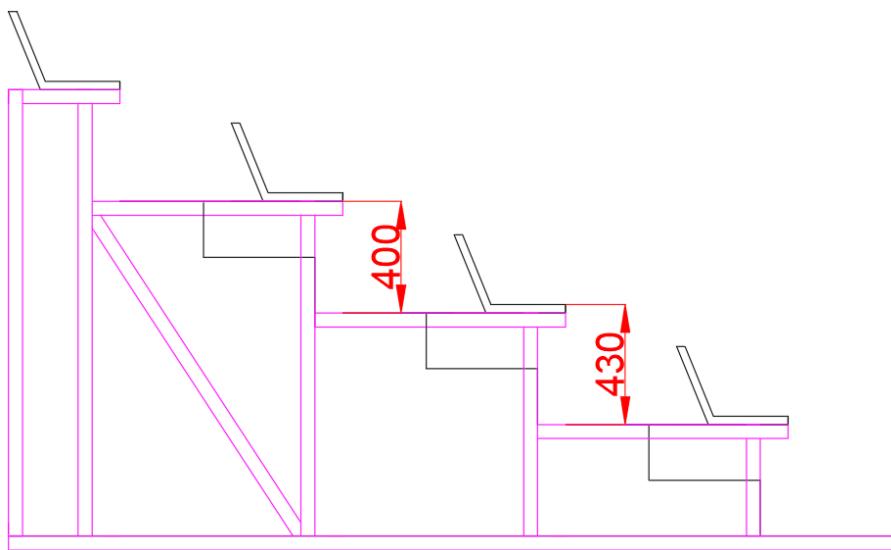


Figura 12: Altura de la base de los asientos

- Los asientos escogidos han sido los asientos CR2, por su compatibilidad con gradas desmontables. Estos asientos tienen una altura del respaldo de 280 mm, valor cercano a los 300 mm recomendados por la norma UNE-EN 13200-1:2019.

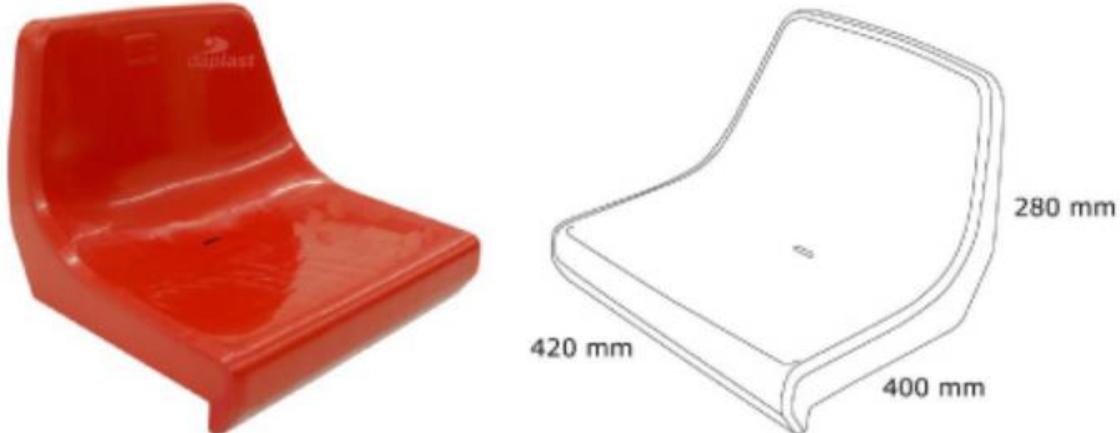


Figura 13: Asiento CR2

- A la hora de realizar las distintas configuraciones de módulos se debe tener en cuenta el valor máximo de asientos seguidos que se pueden colocar en una misma fila. La norma UNE-EN 13200-1:2019 nos dice que, en el caso de una fila con acceso a dos pasillos, la fila debe contener un máximo de 40 asientos en las instalaciones de exterior y un máximo recomendado de 28 asientos en las instalaciones de interior. Cuando una fila tenga acceso a un único pasillo, estas cifras se dividen entre dos [3]. En nuestro caso tan solo habrá que tener cuidado cuando el espectáculo sea en interior de no colocar 4 módulos seguidos de asientos si tan solo hay un pasillo. Por eso se recomienda que en una primera instancia donde el número máximo de localidades será de 100 espectadores colocar el pasillo en medio, ya que de esta forma se cumple con la normativa en el caso más desfavorable que es un espectáculo en interior con un único pasillo.

- El reglamento general de policía y espectáculos RD 2816/1982 dice que las escaleras deben de ser de 1,2 m de ancho por cada 200 espectadores. Este valor ha sido el escogido ya que como ya se ha comentado en un primer lugar esta grada tendrá un número máximo de localidades de 100.

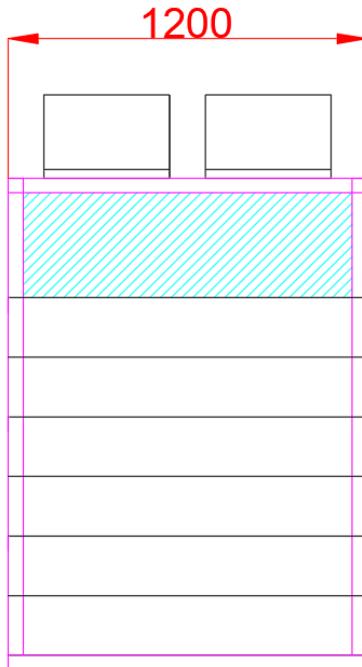


Figura 14: Anchura de la escalera

- No se realizarán pasillos de más de los 400 mm entre filas de asientos ya que tan solo hay cuatro filas de asientos, y por lo tanto no se llega a las doce filas que fija el reglamento general de policía y espectáculos RD 2816/1982 donde habría que colocar un paso de al menos 1,2 m según esta normativa.

Los perfiles estructurales que componen la estructura portante serán tubo cuadrado estructural 50x50x2 mm. La chapa perforada colocada debajo de los asientos será de 1,5 mm de espesor con un porcentaje de agujeros del 63% y la chapa que conforma la superficie superior de las pasarelas que soportan los asientos y sirven de pasillos entre filas será perforada con una perforación de agujeros del 23% y un espesor de 1,5 mm. Evidentemente estos elementos, al igual que el resto del diseño, deben ser estudiados y analizados para ver si cumplen con las normativas de resistencia entre otras y tan solo sirven para realizar un primer análisis.

9. Materiales utilizados

En este apartado se exponen los materiales con los que se ha diseñado en primera instancia la grada y que serán los definitivos en el caso de cumplir con las normativas de cálculo de estructuras y los análisis pertinentes.

Acero: será el material fundamental de esta grada ya que toda ella salvo los asientos será fabricada en acero.



El acero posee las siguientes características, las cuales se adoptarán para los análisis que veremos más adelante:

- Módulo de elasticidad o módulo de Young: $E=210000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de rigidez: $G=81000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson: $\nu=0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Densidad: $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$

Estas son características generales a todos los aceros, pero dependiendo de la calidad o tipo de acero el valor del límite elástico varía al igual que la resistencia a tracción tal y como podemos ver en la siguiente tabla extraída de la norma UNE-EN 1993-1-1:2013:

Norma y tipo de acero	Espesor nominal del elemento t [mm]			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} \leq t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_y [\text{N/mm}^2]$	$f_u [\text{N/mm}^2]$	$f_y [\text{N/mm}^2]$	$f_u [\text{N/mm}^2]$
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550

Tabla 1: Valores nominales del límite elástico f_y y de la resistencia a tracción f_u para acero estructural laminado en caliente y para perfiles tubulares estructurales

En nuestro caso se utilizarán aceros de calidad S275.

Los perfiles utilizados como estructura portante 50x50x2 son perfiles estructurales, los cuales se caracterizan por generarse por laminación en frío, que son ideales cuando se necesitan materiales que aporten fiabilidad y resistencia como es el caso. Además, presentan una serie de ventajas respecto de los perfiles estructurales clásicos o vigas como es su comportamiento a torsión y pandeo debido a su forma cerrada y su menor peso. También son fáciles de montar y se pueden unir mediante soldaduras simples. Sus superficies exteriores reducidas y sin rebabas o ángulos vivos hacen que su mantenimiento sea más sencillo para la protección contra los efectos adversos de los agentes climáticos. Es por eso por lo que pueden recibir multitud de tratamientos protectores como es el caso del galvanizado, el granallado y pintado, etc.

También es posible que se sustituyan los perfiles superiores de la estructura portante 50x50x2 por perfiles en U como el 50x50x50x2 con la idea de apoyar las patillas de las pasarelas en el interior de estos perfiles.

La chapa que se colocará debajo de los asientos será chapa perforada de 1,5 mm con un porcentaje de agujeros del 63%.

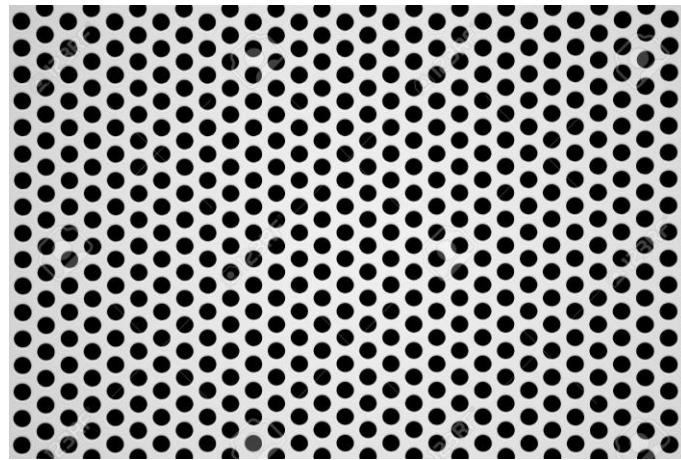


Figura 15: Chapa perforada

Las pasarelas y las escaleras se fabricarán con chapa perforada de 1,5 mm, 23% de perforación de agujeros y diámetro de agujeros de 2 mm. Estas chapas serán reforzadas en los bordes con perfiles en U laminados en frío 40x40x40x2 y pletinas cuando sea necesario.

Se dispondrán debajo de los pilares de sustentación de la grada principales husillos para que la base sea regulable y pueda superar los desperfectos que puedan existir en el pavimento.

Se soldarán a los pilares y vigas las rosetas para su anclaje, así como a las pasarelas y escaleras las patillas para su colocación sobre la estructura portante.

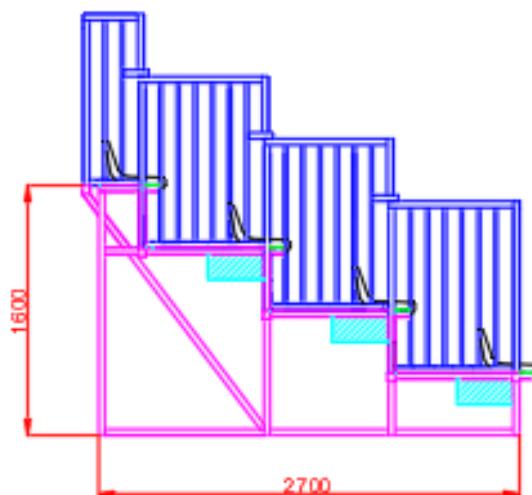
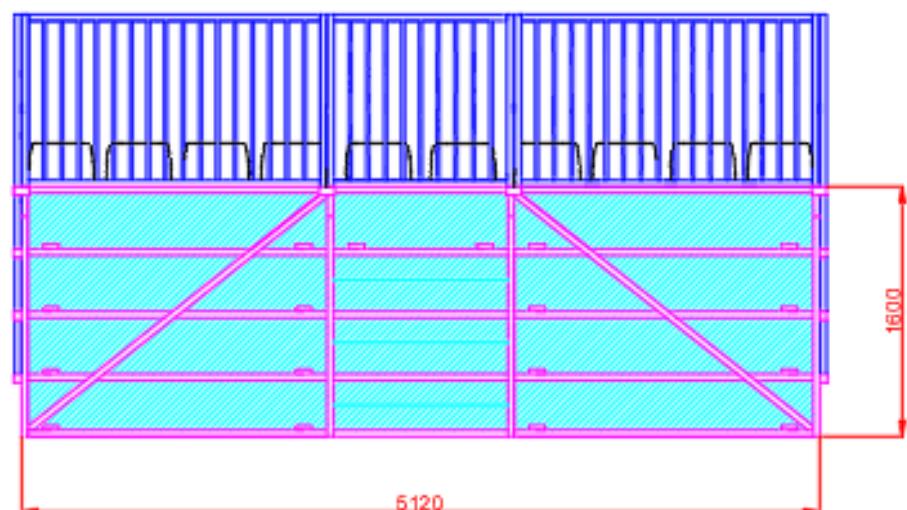
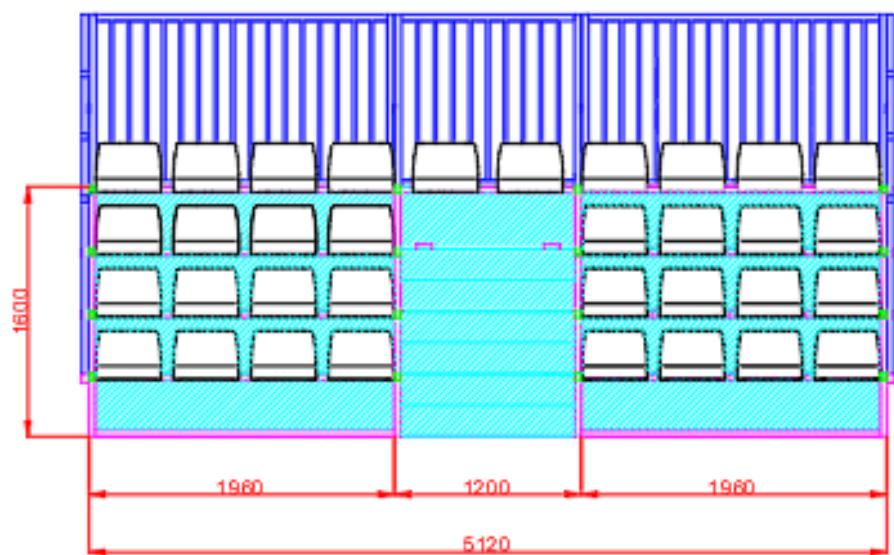
Las barandillas se construirán con perfil 40x40x2 para los barandales y las pilastras, y con redondo de 20 mm los balaustres. Se les acoplarán además los correspondientes anclajes.

Polipropileno copolímero: es un material plástico que presenta una gran elasticidad y muy buena resistencia a la fatiga. Es el material del que son fabricados los asientos CR2 que dispondrá nuestra grada.

10. Diseño final y resultados obtenidos

En este capítulo se mostrarán las diferencias respecto de la grada predimensionada en el capítulo 8, después de haber sido diseñada en el programa CYPE 3D y haberse realizado los cálculos oportunos.

En primer lugar, se mostrará un plano similar al que realizamos en el predimensionamiento, con las dimensiones generales de la grada, para observar las diferencias que se han producido.



TÍTULO	GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	
PROPIETARIO	RUBÉN CABREJAS MERINO	
FORMATO	A4	
ESCALA	1:50	PLANO
FECHA	NOVIEMBRE 2020	
	ESTRUCTURA FINAL. ALZADO FRONTEL Y TRASERO, Y PERFIL	
	20	PLANO N°
		FIRMA

Como podemos ver se han producido ligeros cambios en las dimensiones generales debido a que los elementos estructurales que vimos en el anterior capítulo han sido sustituidos por perfiles más pequeños (se han pasado de barras cuadradas 50x50x2 a 40x40x3, y los perfiles en U 50x50x50x2 han pasado a ser 40x40x40x3) de tal forma que este cambio afecta ligeramente en las dimensiones de la estructura, mientras que se mantienen otras como el ancho de las escaleras y las dimensiones de la grada que vimos en el capítulo 8.

Una de las dimensiones que más ha cambiado ha sido al ancho de la grada, puesto que se retiró el reposapiés de la primera fila. También se han cambiado las barras diagonales de las estructuras laterales, eliminando uno de los pilares, para que esta sobresaliese en forma de ménsula para colocar en su final un soporte para las barandillas que se colocarán en la parte trasera.

En el caso de las barandillas, que en este plano ya aparecen montadas, se han cambiado las dimensiones de los perfiles de los barandales y las pilastras de un 40x40x2 a un 40x40x5, ya que se comprobó en CYPE 3D que el primero no cumplía, mientras que sí que se mantuvo el perfil redondo macizo de 20 en los balaustres.

En este diseño final se añadieron soportes de los que no se habló en el predimensionamiento para el soporte de las barandillas y de las chapas ubicadas debajo de los asientos, de tal forma que ya no será necesario realizar agujeros que debiliten los perfiles, como se dijo en el predimensionamiento. También se incorporaron embellecedores en las zonas de anclaje de las chapas que forman las plataformas que soportan los asientos y las escaleras, las cuales por cierto se anclarán mediante patillas en los perfiles en U de las estructuras laterales de forma similar a como ocurre en los andamios, y las barras de soporte de estas serán perfiles cuadrados en vez de en U.

Los asientos utilizados finalmente serán los mismos que vimos en el predimensionamiento (asientos CR2) y se anclarán como se explicó en el predimensionamiento. También las características de las chapas que vimos en el anterior capítulo se mantienen.

En los resultados pudimos ver que el viento cuando incidía en las condiciones más desfavorables sobre la parte trasera de la grada podía hacerla volcar, por lo que se optó por anclar las bases regulables que se colocarán debajo de los pilares de las estructuras laterales (en todos los pilares y no exclusivamente en las esquinas como se realizó en el predimensionamiento) si en el emplazamiento donde se ubique la grada el pavimento es de hormigón, y en caso de que el terreno no sea apto para este tipo de anclajes se colocarán bloques de hormigón sobre las barras inferiores de la parte trasera a modo de contrapeso.

El sistema de rosetas y cuñas se utilizó en las barras de unión de las estructurales laterales, mientras que la estructural lateral como tal se formará en una pieza única soldando sus elementos, de la misma forma que ocurre con las plataformas de los asientos y los escalones de la escalera, tal y como se explicó en el predimensionamiento.

Para cumplir con el requisito que impone la normativa de que una bola de 100 mm no pueda pasar por ninguna parte de la grada se han realizado los peldaños de la escalera de tal forma que los laterales de los peldaños estén tapados, ya que en el predimensionamiento esto no se consideró y existía un hueco que no cumplía con la norma.



Se debe tener en cuenta que esto es tan solo un breve resumen de los cambios producidos respecto de la grada inicial, y que para comprender en detalle las características de la grada final se deberá acudir a los anexos siguientes.

Las cargas que sufrirá la grada, tanto permanentes como variables se calcularon en primera instancia a mano, para después ser introducidas en el programa CYPE 3D aquellas que no pueden ser calculadas automáticamente por el programa. Los resultados en CYPE 3D nos confirmaron que los perfiles de la grada y la barandilla más desfavorable cumplían tanto a resistencia, como con el límite de flecha que aparece establecido en la normativa de gradas desmontables, después de probar con distintos elementos estructurales. La única comprobación que no se cumplía fue la comprobación frente al vuelco por viento, por lo que se tomaron las medidas que se explicaron anteriormente.

11. Conclusiones

El resultado final a mi modo de ver ha sido satisfactorio ya que se ha logrado diseñar una grada en la cual se han optimizado los elementos que la componen, reduciendo peso, y consiguiendo una solución que cumple con los objetivos que se plantearon al comienzo de este proyecto.

Además, a nivel personal este proyecto ha servido para adquirir conocimientos más específicos en el área del diseño, cálculo y análisis estructural, además de que he podido utilizar un software completamente nuevo para mí como CYPE 3D, por lo que en este aspecto estoy satisfecho.

Estas conclusiones positivas no significan que no se pueda seguir trabajando sobre este proyecto, y evidentemente a nivel personal tengo muchísimo por aprender en esta área.

De hecho, este proyecto no termina en este trabajo de fin de máster, ya que como se comentó en la introducción, este trabajo forma parte del plan de la empresa HDS metálicas para incorporar productos estandarizados, por lo que uno de los trabajos futuros que realizaré será un análisis comercial de este producto. También no ha sido posible realizar el prototipo que se planteó en la propuesta, ya que la situación de la empresa en este momento es más delicada que al comienzo de este proyecto (hay varios operarios de baja por COVID) por lo que encuentro comprensible que se priorice en estos momentos proyectos que puedan arrojar a la empresa dinero más fácilmente que con este proyecto.

También se han quedado ideas en el tintero como el estudio de una posible mejora en los anclajes de rosetas y cuñas para que un solo operario pudiese realizar el anclaje de una barra sin ayuda de otro operario y más rápidamente que con el sistema actual.

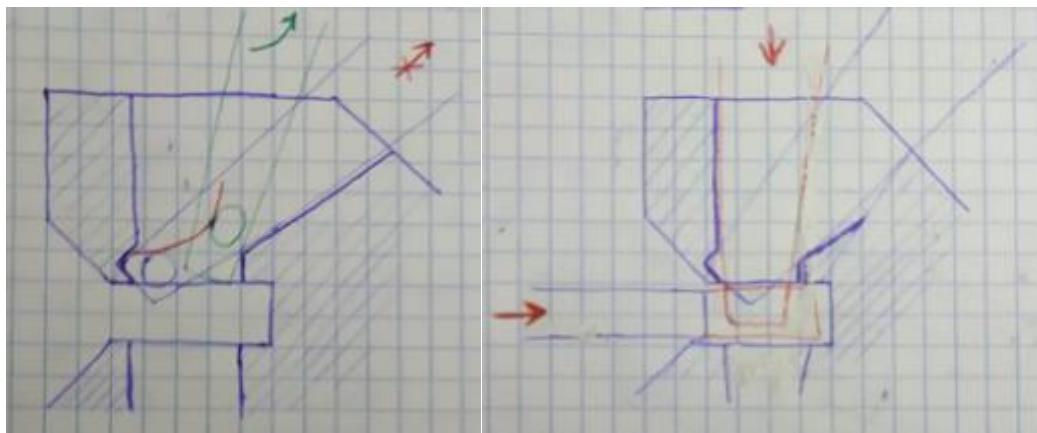


Figura 16: Idea para mejora en anclaje de cuñas y rosetas

Debido a que esta idea requeriría de un estudio para comprobar su funcionalidad no se ha incluido en este trabajo, utilizando en su caso el sistema de anclaje convencional.

12. Bibliografía

- [1] AENOR (10/07/2013) UNE-EN 13200-6:2013 “Instalaciones para espectadores. Parte 6: Gradas (temporales) desmontables”
- [2] AENOR (20/06/2018) UNE-EN 1991-1-4:2018 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento”
- [3] AENOR (09/10/2019) UNE-EN 13200-1:2019 “Instalaciones para espectadores. Parte 1: Características generales de espacios de visión para espectadores”
- [4] AENOR (20/03/2019) UNE-EN 1991-1-1:2019 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1. Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios”
- [5] AENOR (28/02/2018) UNE-EN 1991-1-3:2018 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve”
- [6] AENOR (03/04/2019) UNE-EN 1990:2019 “Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras”
 - AENOR (30/04/2019) UNE-EN 13200-3:2019 “Instalaciones para espectadores. Parte 3: Elementos de separación. Requisitos”
 - BOE (27/08/1982) RD 2816/1982 “Reglamento general de policía de espectáculos públicos y actividades recreativas”
 - BOE (27/09/2002) RD 997/2002 “Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)”
 - Asiento CR2: Daplast Asientos y tribunas
 - Perfiles: Catálogo de Grupo Hierros Alfonso
 - Base regulable: Catálogo de BAUHAUS
 - Bloques de hormigón: Catálogo de Juan Roces, S.A.