



ESTUDIO HISTÓRICO, TIPOLÓGICO  
Y ESTRUCTURAL DEL PARQUE DE  
LOS PRINCIPES (PARÍS)

Curso 2021-2022  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura

David Munuera Ortuño  
Tutor: Ivan Cabrera i Fausto



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



## RESUMEN

Actualmente, el fútbol está sin duda considerado como uno de los deportes con más repercusión social de todos los tiempos. Esto se puede justificar tanto con las grandes cantidades de dinero que se invierte, como por el rol crucial que desempeña en nuestra sociedad.

Dada la gran expectación y resonancia que ha tenido este deporte en las últimas décadas, los clubes deciden invertir grandes cantidades de dinero tanto en remodelaciones, como en la construcción de nuevas instalaciones, ya sean campus, escuelas o estadios con el fin de crear espacios singulares seguros y con el máximo confort para sus usuarios. Este trabajo de Final de Grado va a concentrarse en analizar uno de los estadios más emblemáticos del fútbol, el Estadio del Parque de los Príncipes. Esta construcción posee unas particularidades excepcionales. Se trata de un verdadero reto de la ingeniería. Es el primer proyecto con vocación deportiva utilizando una estructura de hormigón armado pretensado y por ello consiguió el Gran Premio de Arquitectura de Francia en 1976.

El objetivo principal de este Trabajo de Final de Grado es el estudio estructural del Estadio del Parque de los Príncipes situado en la ciudad de París. Para ello, investigaremos el vínculo y la importancia de los distintos elementos empleados en el estadio y los relacionaremos con su diseño y construcción.

Para lograr nuestro propósito, comenzaremos por un estudio de la trayectoria del club de fútbol PSG, seguiremos comentando ciertos aspectos del campo y la ciudad de París. Seguidamente realizaremos un análisis exhaustivo de esta emblemática infraestructura, lo cual nos proporcionará la información necesaria para identificar la disposición de los distintos elementos constructivos y, especialmente, los estructurales así como indagar en su relación con determinados aspectos como la funcionalidad

### Palabras clave:

París; París Saint-Germain; Estadio del Parque de los Príncipes; fútbol; estructura; hormigón armado pretensado; sistema estructural; deporte; construcción; instalaciones deportivas

## RESUM

Actualment, el futbol és sens dubte considerat com un dels esports amb més repercussió social de tots els temps. Això es pot justificar tant amb les grans quantitats de diners que s'inverteix, com pel rol crucial que exerceix en la nostra societat.

Donada la gran expectació i ressonància que ha tingut aquest esport en les últimes dècades, els clubs decideixen invertir grans quantitats de diners tant en remodelacions, com en la construcció de noves instal·lacions, ja siguin campus, escoles o estadis amb la finalitat de crear espais singulars segurs i amb el màxim confort per als seus usuaris. Aquest treball de Final de Grau es concentrarà a analitzar un dels estadis més emblemàtics del futbol, l'Estadi del Parc dels Prínceps. Aquesta construcció posseeix unes particularitats excepcionals. Es tracta d'un vertader repte de l'enginyeria. És el primer projecte amb vocació esportiva utilitzant una estructura de formigó armat pretensat i per això va aconseguir el Gran Premi d'Arquitectura de França en 1976.

L'objectiu principal d'aquest Treball de Final de Grau és l'estudi estructural de l'Estadi del Parc dels Prínceps situat a la ciutat de París. Per a això, investigarem el vincle i la importància dels diferents elements emprats en l'estadi i els relacionarem amb el seu disseny i construcció.

Per a aconseguir el nostre propòsit, començarem per un estudi de la trajectòria del club de futbol \*PSG, continuarem comentant uns certs aspectes del camp i la ciutat de París. Seguidament realitzarem una anàlisi exhaustiva d'aquesta emblemàtica infraestructura, la qual cosa ens proporcionarà la informació necessària per a identificar la disposició dels diferents elements constructius i, especialment, els estructurals així com indagar en la seua relació amb determinats aspectes com la funcionalitat

### Paraules clau:

París; París \*Saint-\*Germain; Estadi del Parc dels Prínceps; futbol; estructura; formigó armat pretensat; sistema estructural; esport; construcció; instal·lacions esportives

## ABSTRACT

Currently, soccer is undoubtedly considered one of the sports with the greatest social impact of all time, this can be justified both by the large amounts of money invested, as well as by the crucial role it plays in our society.

Given the great expectation and resonance that this sport has had in recent decades, clubs decide to invest large amounts of money both in remodeling and in the construction of new facilities, whether campuses, schools or stadiums in order to create unique, safe spaces with maximum comfort for its users. This Final Degree project will focus on analyzing one of the most emblematic soccer stadiums, the Parc des Princes Stadium. This construction has some exceptional particularities, it is a real engineering challenge, it is the first project with a sporting vocation using a prestressed reinforced concrete structure and won the Grand Prix d'Architecture de France in 1976.

The main objective of this Final Degree Project is the structural study of the Parc des Princes Stadium located in the city of Paris. To do so, we will investigate the link and importance of the different elements used in the stadium and relate them to its design and construction.

To achieve our purpose, we will begin with a study of the trajectory of the PSG soccer club, continue by commenting on certain aspects of the field and the city of Paris. We will then carry out an exhaustive analysis of the EPP, which will provide us with the necessary information to identify the layout of the various constructive elements, as well as inquire into the functionality of the stadium.

### Keywords:

Paris; Paris Saint-Germain; Parc des Princes stadium; Football; Structure; Prestressed reinforced concrete; Structural system. Sports; Construction; Sports facilities



1. Introducción	
1.1. Interés.....	07
1.2. Objetivos, metodología y límites de la investigación.....	08
1.3. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.....	09
2. Marco geográfico, deportivo, histórico y social.....	11
2.1. El fútbol en el mundo.....	11
2.2. El fútbol en Francia.....	12
2.3. París, capital mundial.....	13
2.4. Historia del París Saint Germain.....	14
2.5. Historia del Estadio del Parque de los Príncipes.....	15
3. El Estadio del Parque de los Príncipes.....	16
3.1. Síntesis.....	16
3.2. Concepto arquitectónico.....	17
3.3. Información del proyecto.....	18
3.4. Proyecto del Parque de los Príncipes.....	23
3.5. Descripción constructiva y estructural.....	24
4. Herramientas de análisis.....	28
4.1. Levantamiento gráfico.....	28
4.2. Análisis estructural mediante medios informáticos.....	30
5. Análisis del pórtico tipo.....	34
5.1. Evaluación y asignación de cargas.....	34
5.2. Análisis de resultados con distintos tipos de modelización.....	35
5.3 Reflexiones sobre la estructura y el proyecto.....	42
6. Conclusiones.....	58
6.1. Conclusiones generales.....	58
6.2. Conclusiones específicas en materia estructural.....	59
6.3. Conclusiones relacionadas con los ODS.....	60
7. Bibliografía.....	61
8. Índice de figuras.....	62



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTERÉS.:

El origen de este trabajo tiene diversas motivaciones. Cabe señalar en primer lugar el interés del autor por el fútbol desde una edad muy temprana, habiendo sido jugador del Club Atlético Cabezo de Torres durante toda su infancia. También como estudiante de Arquitectura he representado a la E.T.S.A en el Torneo Rector en tres ocasiones. He sentido admiración por los jugadores de fútbol considerándolos verdaderos atletas que estaban dispuestos a llegar al límite de sus posibilidades con tal de conseguir lo que se propusieran. Esto, extrapolado a mi actual vocación, lo he relacionado con los arquitectos y sus trabajos constructivos, llevando a cabo proyectos que podrían llegar a ser inimaginables.

Todo lo anterior junto a mi curiosidad respecto a las estructuras deportivas y mi reciente experiencia como estudiante de Erasmus en la ciudad de París, han influido en el enorme interés por El Estadio del Parque de los Príncipes, propiedad del Paris Saint Germain FC. Este estadio posee unas particularidades excepcionales siendo el resultado del proyecto urbanístico de la autovía del periférico de París. Parte del mismo estadio descansa sobre esta autovía. Así mismo he tenido la oportunidad de poder visitar el estadio en una ocasión y, la primera impresión que tuve fue la de reconocer las características arquitectónicas brutalistas al mismo tiempo que se apreciaba la magnitud esta magnífica instalación.

El objeto de este Trabajo Final de Grado consiste en el estudio tipológico y estructural de este estadio parisino. La estructura del mismo tiene varias partes. En primer lugar, se realizará un resumen de la evolución de la historia del club del Paris Saint Germain así como de la influencia del fútbol en la ciudad de París. En segundo lugar, se llevará a cabo un estudio de la composición y tipo de estadio. Para terminar, se procederá al cálculo de un pórtico tipo con la ayuda del programa Architrave, donde se realizará un análisis de un pórtico tipo y así poder indagar sobre el papel del anillo central en el papel de la estructura. En concreto se determinará si el anillo trabaja a compresión o a tracción y qué medidas correctoras induce en la estructura su presencia.

Finalmente y como colofón a esta breve introducción quiero aprovechar estas líneas para agradecer a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura por la ayuda prestada durante este proceso de formación como Arquitecto. Este TFG es el resumen de un conjunto de conocimientos y habilidades adquiridos durante toda mi carrera a lo largo de diversas asignaturas, como las de estructuras y construcción, y con diversos profesores. En especial quiero agradecer al tutor de este trabajo el profesor Ivan Cabrera Fausto por su valiosa ayuda y asesoramiento para la realización de este TFG.

## 1.2 OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN.

Como se ha mencionado, el objetivo fundamental de este Trabajo Final de Grado es entender de qué manera funciona la estructura del estadio del Parque de los Príncipes y cómo se lleva a cabo la realización del proyecto una vez hayamos comprendido la evolución del club, donde a día de hoy, es uno de los equipos más importantes del mundo.

Dada la delicada situación que atravesamos con la Covid-19, las visitas al interior del Parque de los Príncipes quedan muy limitadas, así que decidí no viajar a París, por lo tanto en cuanto a la metodología, he optado por realizar el trabajo a partir de la información recopilada a partir de distintos tipos informáticos.

Con este fin hemos realizado un conjunto de acciones, entre las que cabe señalar las siguientes. Nos pusimos en contacto directamente con el club vía correo, se realizaron llamadas telefónicas a los distintos departamentos del club, además de contactar con el estudio de arquitectura de Roger Taillibert, pero a penas fue posible obtener información acerca del estadio.

Así mismo, la información recopilada a partir de diferentes fuentes de información vía internet se contrastó con el libro 'Le Stade du Parc des Princes' de Alain Orlandini. Este libro me ha servido mucho de apoyo para la investigación de este trabajo tanto para verificar que la información recabada fuese verídica como para la corrección de algunos planos encontrados en internet cuya calidad no era la óptima. Así se ha podido realizar un primer borrador de TFG según la información recopilada a través de fuentes recogidas y analizadas.

En segundo lugar, se ha procedido a ejecutar un levantamiento de un modelo tridimensional de la estructura del estadio mediante barras, estimado en base a los distintos planos y secciones localizados a partir de estas fuentes de información. Una vez creado el modelo 3D del proyecto, ha sido posible lograr obtener una idea del conjunto del proyecto y me ha ayudado a comprender de qué manera estaba construido, pero esta tarea ha favorecido el nacimiento de una nueva incógnita: "averiguar la manera en la que se comportaba el anillo central". Para ello, he realizado un estudio de la estructura en base a un pórtico tipo con el programa de cálculo Architrave, tal y como se verá posteriormente.

### 1.3 LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE NACIONES UNIDAS

Al menos 14 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas tienen relación con las infraestructuras deportivas. Quedan excluidos los objetivos relacionados con la pobreza, hambre cero y la vida submarina. Vamos a explicar estas relaciones suponiendo el mismo orden de los principales Objetivos de Desarrollo Sostenible:

3) Salud y Bienestar: Cuando pensamos en Salud y Bienestar nos referimos a la calidad de vida de los ciudadanos. Las infraestructuras deportivas tienen un fuerte vínculo con esta razón puesto que normalmente promueven la práctica de ejercicio en dichas instalaciones o en los alrededores. De este modo incentivan unos hábitos deportivos que sin duda alguna influyen en la vida de las personas, garantizándoles unas costumbres beneficiosas para su salud.

4) Educación de calidad: Todos los deportes requieren de rigor para su correcta práctica y, cuando son colectivos además es necesario una cooperación entre los integrantes de cada equipo. Se pone en marcha el llamado Fair Play Financiero cuyo objetivo principal es el de evitar desigualdades entre equipos a la hora de fichar jugadores, obligando así a los equipos de fútbol a evitar gastar más de lo que se ingresa.

5) Igualdad de género: Hoy en día somos conocedores de las numerosas divisiones y ligas femeninas existentes en las distintas competiciones, pero también debemos ser sensibles a la desigualdad que hay entre competiciones masculinas y femeninas. Lejos de tener la misma repercusión, el Estadio del Parque de los Príncipes solamente es utilizado por el equipo masculino mientras que el equipo femenino reside en El Estadio Sébastien Charléty.

6) Agua limpia, saneamiento: Es interesante el funcionamiento del proyecto en cuanto al abastecimiento de agua limpia, y, en este caso, el estadio tiene un sistema particular de recogida de aguas. Así el agua se reutiliza viniendo de la cubierta hasta hacerla llegar a distintos puntos, ya sea para el riego del césped o para el agua de los baños públicos.

7) Energía asequible y no contaminante: En algunos estadios el uso de placas fotovoltaicas contribuye a la iluminación del estadio de una manera más sostenible, desarrollando así una actividad eléctrica no contaminante colaborando con el medio ambiente.

8) Trabajo decente y crecimiento económico: Esta infraestructura deportiva en un determinado distrito, desarrolla una actividad económica y favorece el barrio donde se encuentra. Ya sea en las afueras o, en el interior del EPP se crean distintos espacios destinados para empresas como palcos, actividades comerciales y de restauración, que promueven el desarrollo económico.

9) Industria innovación e infraestructura: Como infraestructuras construidas próximas al estadio solemos pensar en parkings colindantes, pero en el caso del EPP no se proyectan parkings adyacentes al mismo, con el fin de promover el transporte público y evitar grandes aglomeraciones de coches.

10) Reducción de las desigualdades: Todos los deportes abogan por la igualdad de género, y en este caso, el fútbol contribuye igualmente a que no haya desigualdades, creando un clima auténtico donde el nexo entre la gente es el fútbol. A medida que crece y avanza la sociedad, en el ámbito deportivo se alcanza una igualdad entre diferentes clases sociales y este deporte fomenta la mezcla e inclusión de etnias de todo tipo.

11) Ciudades y comunidades sostenibles: El EPP tiene una clara influencia en la ciudad y juega un rol importante, en lo urbano, la autovía del periférico se adapta al estadio pasando por debajo del él y las líneas de metro, facilitan la comunicación con la ciudad. Como hemos dicho, la ausencia de parkings adyacentes al estadio promueve la utilización del transporte público. La ciudad se acomoda en cierto modo al estadio para convivir en armonía, en algunos casos, la creación de estas infraestructuras deportivas cambia por completo el funcionamiento de la ciudad, afectando al tejido urbano, usos y costumbres.

12) Producción y consumo responsables: En cuanto al diseño, el proyecto del EPP se caracteriza por su método constructivo, la casi totalidad de la estructura del estadio se fabrica in situ, su carácter de hormigón armado es fruto de una cadena de montaje y fabricación digna de reconocer.

Además tiene un jardín botánico próximo al estadio, donde tienen distintos animales de granja tales como gallinas además de cultivar diversas hortalizas y practicar la apicultura. Además queremos hacer hincapié en la manera que se consume el fútbol, donde los sponsors juegan un rol crucial a la hora de patrocinar equipos e influenciarnos en nuestros gustos, de la manera que nos comportamos y compramos.

13) Acción por el clima: Como hemos evocado anteriormente, este estadio tiene un sistema de renovación y aprovechamiento del agua pluvial, lo que colabora directamente con el consumo responsable y sostenible de aguas limpias, sin embargo, la producción de cemento y áridos para el hormigón consume grandes cantidades de energía.

14) Vida de ecosistemas terrestres: En pequeña escala pero la creación del jardín botánico colabora directamente con la vida de los ecosistemas terrestres, las gallinas que tienen en dicho jardín son alimentadas con los restos de alimentos de los restaurantes del estadio. Los desechos producidos por las gallinas sirven para el compost del mismo jardín.

15) Paz, justicia e instituciones sólidas: Se debe mejorar algunos aspectos, tanto dentro del terreno de juego como fuera. Dentro, en el desarrollo de un partido, algunos aficionados tienen un comportamiento indeseado e injusto tanto con jugadores como con árbitros, llegando a veces al insulto y a faltas de respeto. Fuera del terreno de juego, se conoce de disputas entre hinchas de equipos rivales que tienen en ocasiones finales trágicos con encuentros agresivos y desperfectos en bienes urbanos públicos y privados, sin embargo, durante muchos años, el lema de la Champions ha sido “Fair play” incentivando el comportamiento deportivo y que éste se extendiera también a las gradas.

16) Alianzas para lograr objetivos: En el caso de un club, no solo el equipo es el responsable de cumplir ciertos objetivos, un club está formado por una cantidad de personas, todas ellas participes e indispensables que colaboran cada una de ellas en una tarea asignada. A esto hay que sumarle como por ejemplo la afición, creando así alianzas para lograr objetivos determinados. Otro ejemplo podría ser el club creando una alianza con su propia ciudad.

## 2. MARCO GEOGRÁFICO, DEPORTIVO, HISTÓRICO Y SOCIAL

### 2.1 EL FÚTBOL EN EL MUNDO

Aunque no podemos estimar el origen exacto del fútbol, entre los siglos II y I a.C en la antigua China se fomenta la práctica del Kémari (fig.1), que más adelante estaría basado en el funcionamiento del deporte griego 'la pahininda', o en el Antiguo Imperio Romano desarrolló el suyo propio llamado 'harpastum'. También sabemos que todos estos deportes tenían en común el objetivo de crear entretenimiento a la vez que el fomento del ejercicio físico (Martín 2020).

A lo largo de la Edad Media surgieron distintas variantes de este deporte que tuvieron una gran expansión por Inglaterra e incluso Italia dando lugar a deportes parecidos. En algunas competiciones, ante la ausencia de reglas de juego era frecuente que hubiera roces entre rivales concluyendo estos encuentros incluso en enfrentamientos violentos entre los equipos. La práctica en auge de estas nuevas tendencias de fútbol primitivo concluyeron en la creación de las primeras reglas de juego que fueron establecidas en Londres en 1863 y diferenciando claramente el rugby del fútbol (Margarit 2018).

El fútbol tiene sus primeros comienzos en Inglaterra como hemos dicho, y donde se creó la primera asociación de fútbol, mediante la English Football Association (fig.2). Este deporte ha tenido una larga evolución a lo largo de la historia donde se conoce que tras el hallazgo de una tribu en Brasil aislada de toda civilización (fig.3), los primeros jugadores de esta actividad fueron los guaraníes (Smink 2014).

Las primeras competiciones oficiales tienen lugar en Inglaterra en los años 1870 donde se concibe la Copa de Inglaterra al igual que el primer partido internacional y los protagonistas principales son Inglaterra y Escocia (fig.5). A principios del siglo XX, países como Francia, España, Suiza, Bélgica, Holanda, Dinamarca y Suecia, fundan la Federación Internacional de Fútbol también conocida como la F.I.F.A a la que más tarde se adherirán numerosos países. La fundación de esta institución no hizo otra cosa más que promover el desarrollo de este deporte originando de esta manera la primera Copa del Mundo en Uruguay (fig.4) en 1930 (Margarit 2018).



Figura 1. Representación de la práctica del Kémari



Figura 2. Escudo English Fa.



Figura 3. Muran en Teotihuacan.



Figura 5. Representación de los primeros partidos de fútbol



Figura 4. Cartel del primer campeonato del mundo en Uruguay

## 2.2 EL FÚTBOL EN FRANCIA

La competición detonante que hizo que comenzara la evolución del fútbol en Francia fue la Copa de Francia en 1917, un campeonato donde se enfrentaron 48 equipos franceses creado para rendir homenaje a Charles Simon, líder deportivo que murió durante la Primera Guerra Mundial. Debido a la guerra, numerosos equipos del norte no pudieron participar, siendo así la mitad de participantes equipos de la región Parisina y los demás provenientes principalmente de Lyon, Borgoña, Bretaña y del sur de Francia. En esta primera edición el Olympique de Pantin (fig. 6) obtuvo el primer puesto (Betremieux 2013).

A principios de los años 1930 tuvo lugar la profesionalización del fútbol francés que a su vez estableció la entrada del deporte galo en la economía de mercado. Como hemos mencionado anteriormente, el fútbol como deporte tuvo una gran repercusión en países como Inglaterra, Italia o España, pero en cuanto al desarrollo del mismo en el país galo, debido a la falta de infraestructuras y al amateurismo de los directores y administradores de clubes, tuvo un crecimiento más sosegado que en los otros países (Lanfranchi & Wahl 2008).

La actual Ligue 1 es el resultado del primer campeonato de Francia, bautizado como 'Division Nationale', cuya primera edición tuvo lugar en 1932, se seleccionaron un total de 20 clubes franceses que tendrían que disputar 38 encuentros. Se dividirán en 2 grupos de 10 equipos y los que resultaron primeros de cada grupo, el Olympique de Lille (fig.7) y el FC Antibes se enfrentarían en una final, siendo el primer ganador de este campeonato el Olympique de Lille (Bétremieux 2013).

La Ligue 1 (fig. 8), actualmente llamada Ligue 1 Uber Eats trata de hacerse un hueco entre las mejores ligas del mundo como lo son la de España, Inglaterra o Alemania.. Para esta nueva temporada, La Ligue 1 ha planteado la colaboración con Uber Eats, además, la creación de infraestructuras deportivas como la consolidación de este deporte en la sociedad francesa y las considerables inversiones de dinero que se llevan a cabo colaborarán en el auge de interés por la liga francesa. La llegada de Sergio Ramos o Lionel Messi al Paris Saint-Germain contribuirán a hacer crecer este equipo y a su vez La Ligue 1, podríamos catalogarla como una liga con una muy buena proyección de futuro y una capacidad de evolución pudiendo llegar a convertirse algún día en una de las más importantes en el mundo.



Figura 6. Ilustración de Olympique de Pantin en la Copa de Francia, 1917.



Figura 7. Ilustración del Olympique de Lille, 1932.



Figura 8. Logo de la actual Ligue 1.

## 2.3 PARÍS, CAPITAL MUNDIAL

La ciudad de París atrae por su abundante patrimonio cultural, con alrededor de 42 millones de visitantes al año. Además de capital mundial, se trata de la ciudad más poblada del país, contando el centro de ciudad con alrededor de 2 300 000 habitantes y con una población total de 12 400 000 habitantes en toda la región metropolitana de atracción (Díaz 2021).

Debido al gran desarrollo que tuvo la ciudad durante la revolución industrial, París fue el centro de desarrollo de proyectos arquitectónicos tales como Les Grands Halles o la Torre Eiffel, encontrando una gran variedad y cantidad de monumentos a lo largo de la ciudad. Monumentos conocidos como La catedral de Notre Dame (fig.9)(monumento más visitado de Europa), el Arco del Triunfo, La Défense, la Ópera Garnier, la avenida de los Campos Elíseos, la Basílica del Sagrado Corazón en el distrito de Montmartre hacen de esta ciudad un completo museo por las calles. Además de conocida por los monumentos que existen en la ciudad, es famosa por albergar museos de alto prestigio tales como el Louvre (fig.10), el Museo de Orsay o el Museo Nacional de Historia Natural de Francia.

También encontramos el distrito de la Défense (fig.11), donde se acogen gran parte de las empresas francesas. En 2011 el INSEE estimó el PIB de Ile de France en 607 mil millones de euros. Esta economía es muy diversa y aunque no tiene una especialidad en concreto en la economía global, casi el 50% del PIB de esta región es una combinación de redes financieras, “Bienes raíces” y recursos comerciales. Igualmente, esta ciudad es célebre por haber acogido distintas exposiciones universales, el evento más importante fue en 1889 para conmemorar el centenario de la revolución francesa.



**Figura 11.** Fotografía de la Défense



**Figura 9.** Fotografía de Notre Dame



**Figura 10.** Fotografía del Museo Louvre

## 2.4 HISTORIA DEL PARÍS SAINT-GERMAIN FC

El Paris Saint-Germain fue fundado en 1970, fruto de la fusión entre los equipos el París FC y el Stade Saint-Germain, años más tarde, en 1974 el equipo consiguió ascender a Ligue 1 donde permanece desde entonces, siendo el único equipo de la liga que jamás ha descendido. El club era propiedad de empresarios locales y tuvo un buen inicio en esta Ligue 1 consiguiendo repetidas veces el primer puesto en los años 1982, 1983 y 1986. (Williams 2019).

En los años 1990, el PSG fue comprado por la cadena televisiva Canal + y se realizó una gran inversión de dinero para comenzar a efectuar los primeros fichajes extranjeros centrándose así en crear un equipo de estrellas a nivel internacional. De esta forma se convirtieron en el segundo equipo francés en hacerse con un título europeo (fig.12) ganando la copa de la UEFA en 1996 (Williams 2019).

Tras una década de declive, en 2011 el PSG fue comprado por Qatar Sports Investments (fig.13) y desde entonces, el club ha invertido grandes cantidades de dinero por estos jugadores de fútbol. En la temporada de 2013/2014 el PSG realizó una inversión de casi 328 millones de €, convirtiéndose en el equipo con mayor presupuesto de todos los equipos franceses (Gay de Liébana 2016).

En el año 2017 con la llegada de Neymar por la astronómica suma de más de 260 millones de Euros o el fichaje del jugador Kylian Mbappé el año siguiente por 160 millones siguió batiendo récords en cuanto a cantidades de dinero invertidas en concepto de fichajes (Williams 2019).

La ciudad de París es famosa internacionalmente por albergar deportes célebres como el rugby, ciclismo o tenis. El club tiene un afán por mantener una imagen de supremacía que es posible gracias a estas inversiones de dinero que realiza, tiene un alto poder de atracción de los mejores jugadores de fútbol, a lo largo de toda su historia encontramos leyendas del fútbol como Ronaldinho, Ibrahimovic o Thiago Silva o ya en la actualidad Mbappé, Neymar, Sergio Ramos o Lionel Messi (fig.15).



Figura 12. Fotografía de los jugadores del PSG, 1996.



Figura 13. Fotografía del propietario del PSG Football Club.



Figura 14. Imagen de Neymar



Figura 15. Últimas incorporaciones del PSG FC

## 2.6 HISTORIA DEL ESTADIO DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES

Originalmente llamado ‘Stade Velodrome du Parc des Princes’ y ubicado en el distrito 16, fue inaugurado el 18 de julio de 1897. Su nombre se debe a que se situaba en un parque boscoso utilizado por la familia real. Este primer estadio, concebido por el ciclista Henri Desgrange, contaba con más de 3.000 localidades y una pista de 660 metros de largo (fig.16). El estadio sólo acogía competiciones relacionadas con el ciclismo (fig. 17), hasta que en 1903 se disputó el primer partido de fútbol (Orlandini 2008).

El fútbol empezó a coger importancia y se llegaron a disputar 4 finales del campeonato francés de la USFSA, además de la Copa de Francia de 1919. El estadio también acogió al rugby en su primer partido internacional contra el equipo de Nueva Zelanda. Así mismo, se remodeló el estadio para poder llegar a acoger a 20.000 espectadores en los Juegos Olímpicos de 1924, aunque finalmente no fue el anfitrión del evento (Orlandini, 2008).

En los años 30 se realizaron obras para ampliar su capacidad, pasando de los 20.000 asientos a los 45.000 de los cuales unos 26.000 estaban cubiertos. Pero al no poder disponer todos los espectadores de un cierto confort, se redujo el número de localidades a 40.000, garantizando mayor seguridad. Esto marcó un cambio en lo que respecta a la importancia del estadio en distintas áreas deportivas, acogiendo todo tipo de eventos importantes como la inauguración de la Copa Mundial de la FIFA de 1938, la final de la Copa del Mundo de la Rugby League en 1954 o el Tour de Francia teniendo aún la pista ciclable de 454 metros. Además, a nivel europeo también fue la sede de la final de la Copa de Europa de 1956 y la final de la Copa de Naciones Unidas de 1960 (Orlandini, 2008).

En diciembre de 1968 comienzan los trabajos de demolición de la pista ciclable (fig.18) y de unas 17.000 localidades que dejarán paso a la autovía del periférico y a un nuevo estadio. Comienza entonces la construcción del actual Estadio del Parque de los Príncipes, un proyecto ambicioso cuyo objetivo principal era el de crear un túnel por el cual pasaría la autovía del periférico de la ciudad. Este túnel soporta la estructura del estadio en la que se podrá llegar a acoger alrededor de 20.000 espectadores. Este proyecto llevado a cabo por Roger Taillibert, hace posible que ningún asiento se encuentre a más de 45 metros del terreno de juego y, debido a su nueva forma y estructura, hace que todos los espectadores tengan una excelente visibilidad posible (Orlandini, 2008).

El Estadio del Parque de los Príncipes fue inaugurado el 4 de junio de 1972 por el presidente Georges Pompidou y el primer partido que se disputó fue en la Copa de Francia entre el Marsella y el Bastia. En los siguientes años, el estadio desempeñó un importante rol ya que fue anfitrión de partidos de la selección francesa () y fue la sede de diversas copas de Europa. La primera tuvo lugar en 1975 entre el Bayern de Múnich y el Leeds, más tarde se disputó la Recopa entre el Anderlecht y Austria Wien y la final del europeo entre el Liverpool y el Real Madrid. (PSG C.F 2021).

Además de acoger numerosas citas deportivas importantes como lo pudieron ser partidos de la Copa del Mundo de 1998 o de la Eurocopa de 2006, este estadio también fue protagonista a la hora de hacer ceremonias extra-deportivas. La primera visita del Papa Juan-Pablo II en 1980, la entrega del trofeo al jugador del siglo a Pelé en 1981 o el concierto del ‘Rey del Pop’ en 1997 nos demuestran la capacidad y versatilidad que ofrece este estadio a la hora de organizar eventos con una gran afluencia de público.



Figura 16. Vuelta ciclista, 1930.



Figura 17. Vista general del antiguo estadio.



Figura 18. Trabajos de demolición del estadio Velódromo



Figura 19 Vista aérea del Parque de los antiguos Príncipes y el estadio Jean Moulin, 1960.

### 3. EL ESTADIO DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES

#### 3.1 SÍNTESIS

En 1963, fue lanzado un concurso de arquitectura para la realización del proyecto de un estadio para acoger cerca de 100.000 espectadores en el distrito de Vincennes, (fig.22) pero no se llevó a cabo y animó al Ayuntamiento de París a la creación de una nueva infraestructura deportiva en la ciudad (Orlandini, 2008).

Debido al proyecto de la futura autovía del periférico de París que pasaría por una parte del Estadio del Velódromo, se tuvo que demoler una parte de las tribunas del estadio para dejar paso a dicha autovía. Por otro lado intervendría la ley Borotra, una ley que obliga a la reconstrucción de toda infraestructura deportiva demolida por causa de cualquier operación urbanística. Teniendo en cuenta el coste de la remodelación de esta tribuna y la importancia del proyecto urbanístico que supondría esta autovía, la ciudad de París aprovechó esta oportunidad para demoler la totalidad del estadio y construir uno nuevo a la vez que se llevaría a cabo el proyecto urbanístico. El proyecto fue confiado al arquitecto Roger Taillibert quien debió concebir un estadio con una capacidad para 50.000 personas al mismo tiempo que se construiría la nueva autovía del periférico. Así mismo este programa se llevará a cabo utilizándose el espacio de terreno de juego como lugar destinado para la prefabricación de unas 1800 piezas de hormigón imprescindibles para la creación de pórticos y graderíos (Orlandini, 2008).

Una de las características urbanísticas de este proyecto es la armoniosa comunicación que hay entre el estadio y la propia ciudad (fig.21), encontrándonos con una ausencia de parkings próximos al proyecto. Esto obligará a los aficionados a dejar sus vehículos en parkings alejados al estadio o a utilizar el transporte público ya sea el metro o autobús, despejando los alrededores del estadio de coches y por consiguiente atascos.

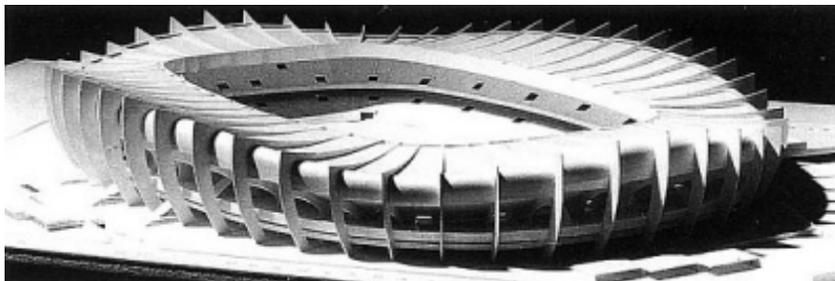


Figura 20. Fotografía de la maqueta del proyecto.



Figura 21. Plano planta acceso general.



Figura 22. Fotografía Roger Taillibert y su proyecto del EPP.

### 3.2 CONCEPTO ARQUITECTÓNICO

Proyectos de la antigüedad como anfiteatros, circos o teatros poseen una serie de características comunes. Todos poseen como particularidad la voluntad de acoger a numerosas personas simultáneamente para que puedan disfrutar de un espectáculo. La distribución de accesos, salidas y circulaciones en los alrededores de la arena, y la disposición de graderíos en forma circular o semicircular son algunas de las particularidades comunes que tienen proyectos como el Coliseo de Roma (fig.24) o el Teatro Griego de Epidauro (fig.23) (Orlandini, 2008).

En la actualidad, los estadios de fútbol son en parte, fruto de la inspiración de aquellos proyectos, adaptando la forma circular de los anfiteatros de entonces a una forma de elipse en planta. En el caso del Estadio del Parque de los Príncipes, la configuración se adecua a la forma del césped de un campo de fútbol de 105 x 68 metros. Se ajustan los graderíos en altura a esta nueva forma y, como objetivo principal de mantener a los espectadores con un confort óptimo y protegerlos lo máximo de las posibles inclemencias climatológicas a la vez que ofreciéndoles las mejores vistas posibles. Con el paso del tiempo las necesidades de los espectadores se han visto cubiertas cada vez más debido a las actuales infraestructuras construidas, dando como resultado espacios singulares y seguros. La incorporación de servicios de restaurante o cafetería mejoran las prestaciones que ofrece el estadio, así como la posibilidad de tener asientos individuales, acceso a baños públicos o puestos de enfermería de primeros auxilios. Además de estos servicios ofrecidos al público, debido a la multitud de gente que acuden a los eventos deportivos, un partido de fútbol se convierte en un auténtico espectáculo. Esto queda garantizado por los equipamientos tecnológicos de última generación que gozan los estadios, tanto con los sistemas de iluminación, como de altavoces, sistemas de videoproyección o incluso en ocasiones el uso de fuegos artificiales.

Aparte de estas prestaciones dedicadas al público asistente, los eventos deportivos son emitidos por televisión instantáneamente por todo el mundo, asimismo los estadios cuentan con los medios de retransmisión más eficaces. Con el fin de ofrecer las mejores imágenes, hay espacios dedicados exclusivamente para periodistas, como lo pueden ser tribunas de prensa equipadas con cabinas únicamente para los comentaristas deportivos.

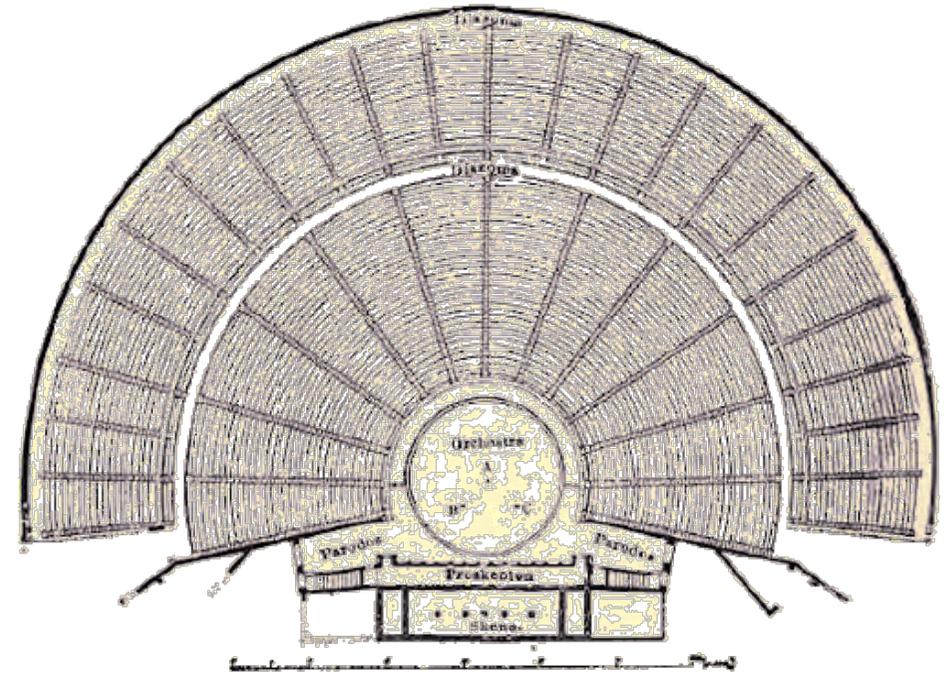


Figura 23. Plano del Teatro Griego de Epidauro



Figura 24. Fotografía Teatro Griego



Figura 25. Vista aérea del Coliseo de Roma.

### 3.3 INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Como ya sabemos, la construcción de este estadio fue posible gracias al proyecto urbanístico de la autovía del periférico, donde Roger Taillibert proyectó un nuevo estadio exactamente en el mismo sitio donde se encontraba el antiguo Velódromo. Este proyecto debía albergar 50.000 personas y contó con dos tribunas independientes, cada una con su propio acceso, baños y servicio de cafetería. No encontramos ningún punto de apoyo en el campo visual de cualquier espectador por lo tanto se prioriza la visibilidad de la totalidad del terreno de juego.

Las magnitudes de esta infraestructura deportiva son tales que se distinguieron entre los diferentes usuarios posibles y las necesidades de los mismos hasta cuatro subgrupos: deportistas, público, prensa y administración (Orlandini, 2008).

Por lo que respecta a los deportistas, este proyecto del Estadio del Parque de los Príncipes contará con 4 vestuarios equipados con salas de masaje y relajación, vestuarios independientes para los árbitros, un servicio médico deportivo con saunas, enfermería y sala de gimnasio, vestuarios con capacidad de acoger a 500 gimnastas, una sala para conferencias de prensa con capacidad para 200 personas y un terreno de calentamiento. En cuanto al público, que tendrá que hacer el acceso pasando por un puesto de control, habrá una tribuna de honor adyacente al salón presidencial y un gran salón de recepciones, dos tribunas independientes, lavabos públicos, restaurante, cafeterías y puestos de enfermería. Todos estos servicios se encontrarán repartidos a lo largo del estadio. Para la prensa, se dispone una tribuna exclusiva equipada para la prensa escrita, un gran salón con un bar, sitios reservados en el subsuelo en relación directa con el terreno de juego y una galería para las cámaras. Por lo que corresponde a la administración, habrá despachos administrativos, un puesto de policía anexo a sus vestuarios y puesto de vigilancia centralizado, locales técnicos y tres alojamientos oficiales (Orlandini, 2008).



Figura 26. Modelo 3D explicativo de las tribunas.



Figura 27. Fotografía de Roger Taillibert.

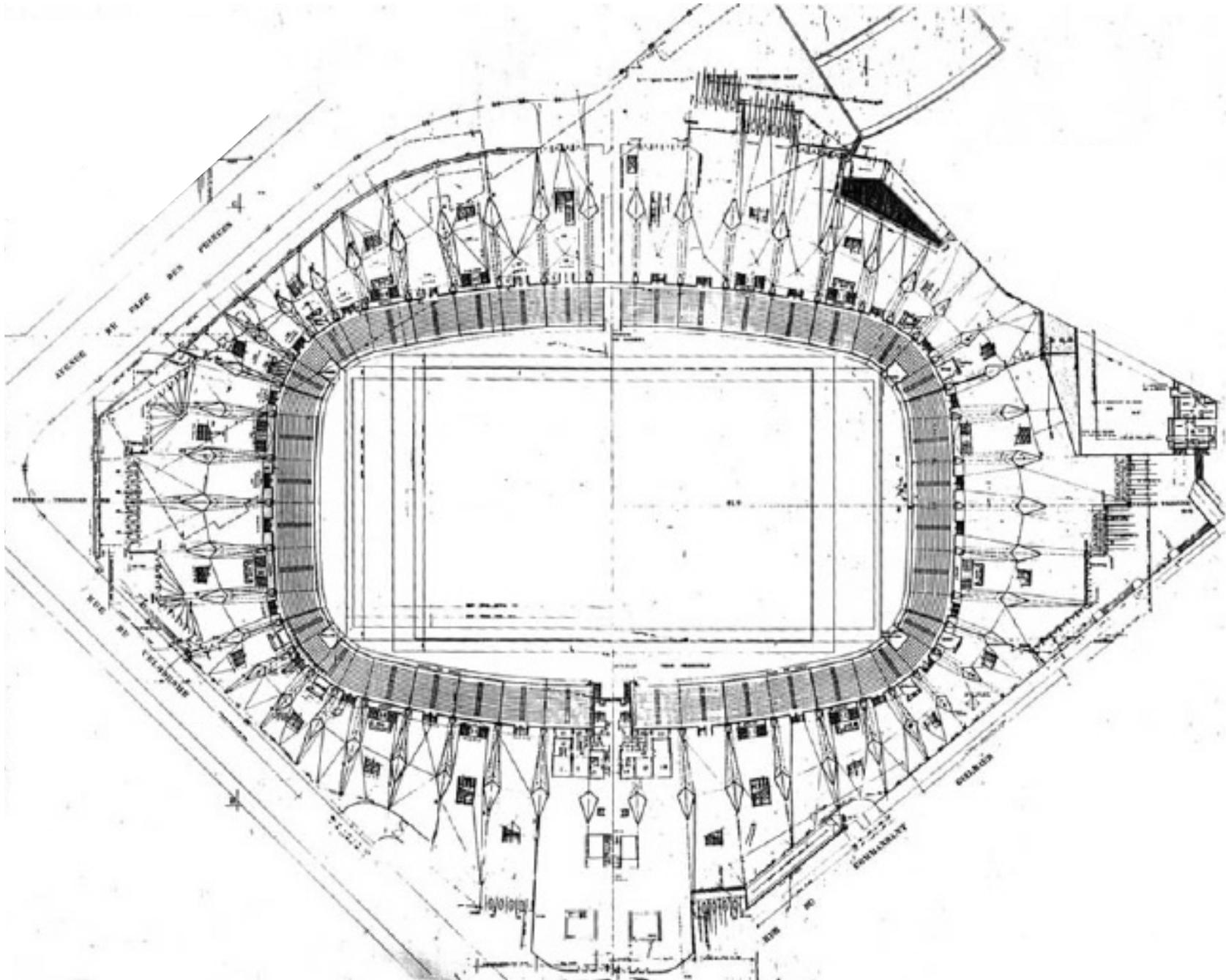


Figura 28. Nivel planta baja.

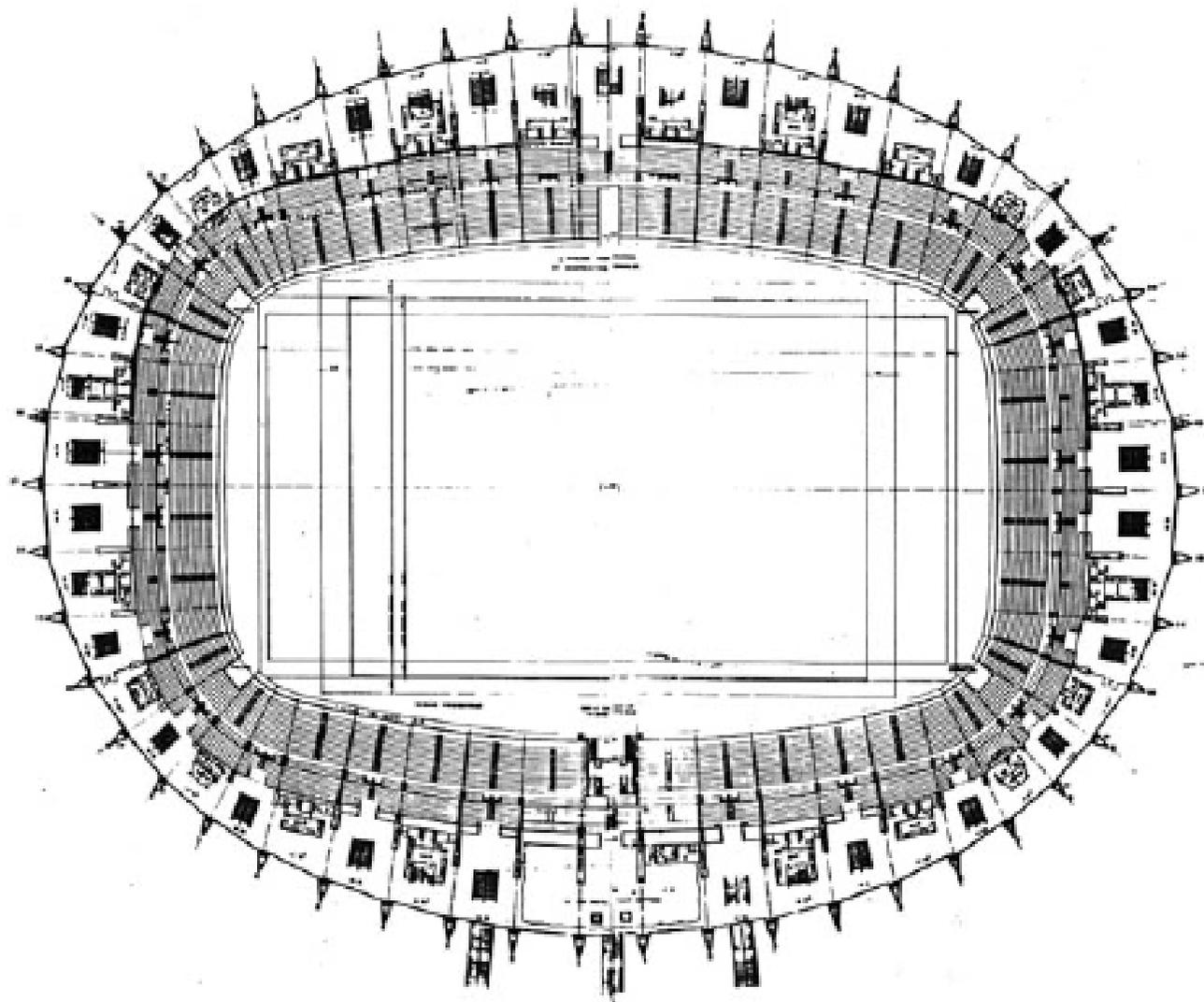


Figura 29. Nivel planta primera.

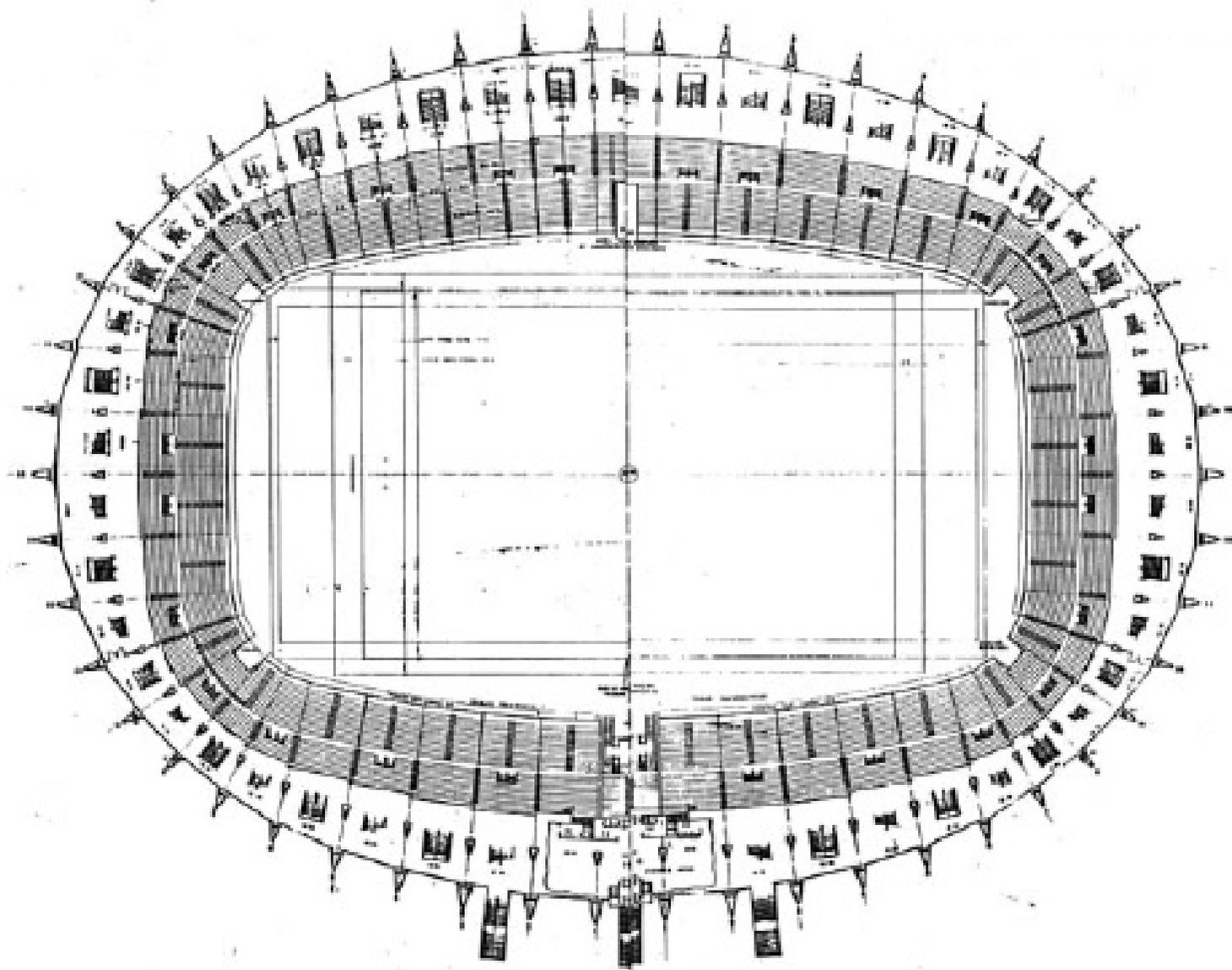


Figura 30. Nivel planta segunda.

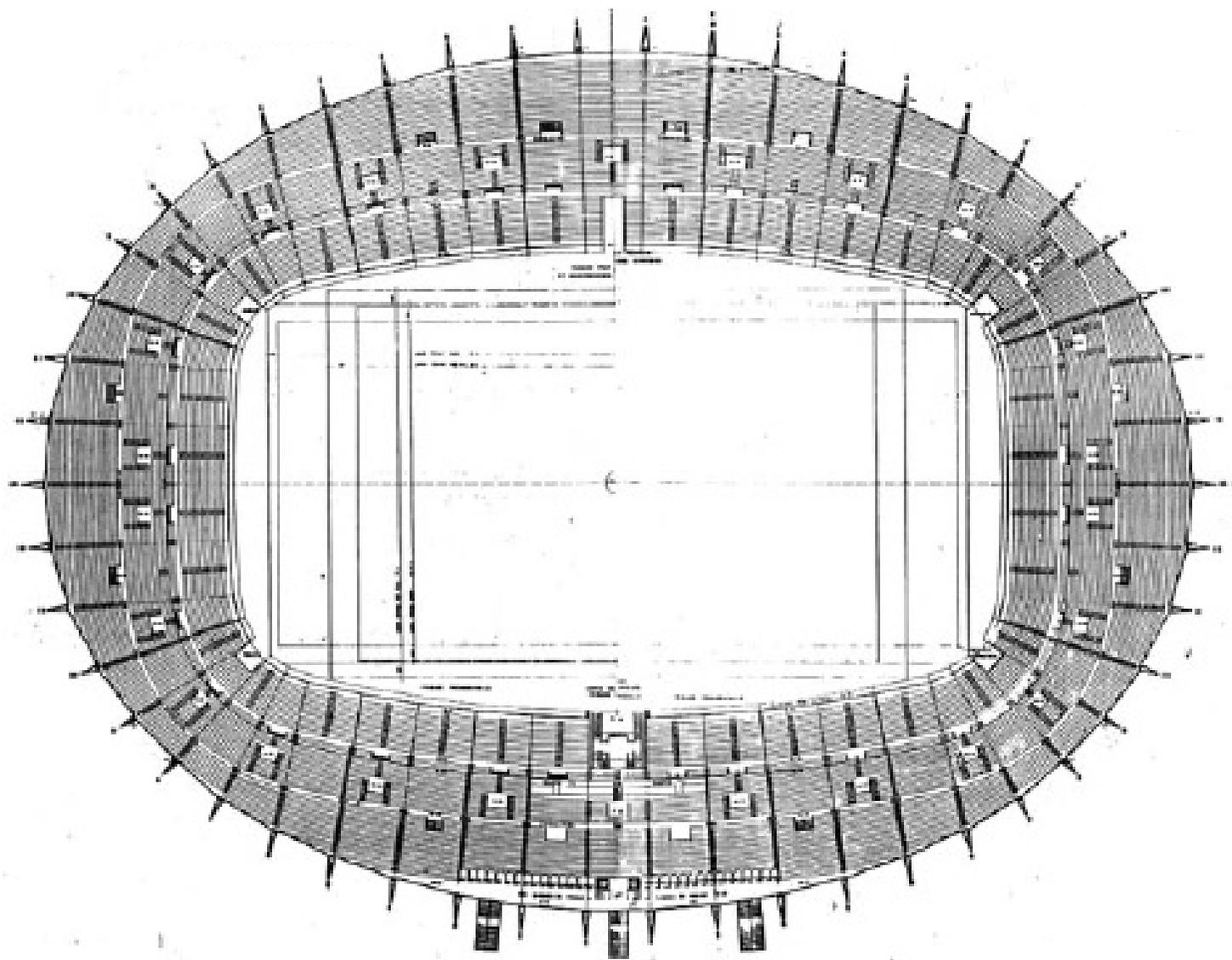


Figura 31. Nivel planta tercera.

### 3.4 PROYECTO DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES.

Las características principales de este proyecto son su arquitectura brutalista de fuertes inspiraciones en el futurismo italiano de entre guerras, y su forma de elipse de 250 de largo por 190 metros de ancho. Esta impresión de movimiento es el resultado de una totalidad de 50 nervaduras tubulares de hormigón pretensado de alrededor de 30 metros de altura, todas ellas dispuestas en el perímetro de manera que esta altura va variando pudiendo llegar a soportar voladizos de entre 25 y 45 metros. En materia estructural, esta pieza arquitectónica posee doble eje de simetría y los elementos portantes están contruidos a partir de elementos prefabricados, de los cuales algunos son variables, siempre respetando la geometría del conjunto.

Las tribunas, con una capacidad para 17.000 espectadores cada una, conectan la planta baja con el nivel 1. Se diseñaron 4 tribunas distinguidas, la tribuna 'Presidencial', 'Paris', 'Auteuil' y 'Boulogne'.

Ubicada en el lado oeste, en el lado Boulogne, la tribuna 'Presidencial' es considerada como la entrada principal además de la más importante. Se distingue de las otras ya que hay tres escaleras monumentales exteriores (fig.33) que conectan directamente el nivel de cota 0 exterior con el salón presidencial. Es una de las más polivalentes ya que alberga espacios dedicados para todos los sectores, afición, administración, prensa y deportistas (fig.34). Para la administración se disponen despachos a nivel de acceso al salón presidencial, para los deportistas se disponen vestuarios, salas de masaje y centro médico deportivo. Para la prensa, se dispone la sala de conferencias y reuniones, encontrando en el nivel 2 el salón de prensa. Además se dispone en cota subterránea un parking para coches oficiales (Orlandini, 2008).

Las puertas de acceso se encuentran distribuidas a lo largo de las cuatro fachadas principales del estadio, por la que se accede a la planta cota 0. Una de las grandes problemáticas de este proyecto fue el diseño de la circulación de los espectadores, siendo la cota de entrada la más transitada. Se diseña una circulación perimetral de la elipse alrededor del estadio y se disponen cuatro espacios libres detrás de los puestos de control. Se adhieren grandes portones a la retícula que permiten una efectiva evacuación de los usuarios, un total de 26 accesos se reparten en el interior al mismo tiempo que 38 escaleras que dan acceso a la tribuna.

Dado que se trata de una infraestructura simétrica y no existe una clara entrada principal, se opta por diseñar un edificio de entrada (fig.32) adyacente al estadio frente a la tribuna presidencial Boulogne. Este edificio exento de 4 plantas está conectado al estadio por 2 pasarelas acristaladas, tiene una forma curvilínea que se puede asemejar a la forma del estadio pero a su vez contrasta con la firmeza de la estructura de hormigón. En planta baja es un lugar de acogida para todo tipo de aficionados y abonados VIP que tienen acceso a la tribuna de honor. Además encontramos un espacio de bienvenida para los abonados que cohabita con una boutique en la que se venden productos relacionados con el club. La planta primera se puede dividir en 2 zonas, una dedicada exclusivamente a oficinas y la otra en la que encontramos el famoso restaurante llamado "Le 70".

La segunda planta tiene la funcionalidad administrativa del PSG FC, con una superficie de unos 1200 m<sup>2</sup> y, para dar esa forma de unión a este edificio anexo, se dedica la tercera planta únicamente para el almacenamiento de aparatos refrigeradores y de ventilación, así no pueden ser perceptibles desde el exterior.



Figura 32. Fotografía del complejo adyacente



Figura 33. Acceso a la tribuna presidencial



Figura 34. Fotografía de la tribuna presidencial

### 3.5 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA Y ESTRUCTURAL

El elemento característico de este proyecto es su estructura en hormigón exterior convergente a un anillo central, se diseñó un pórtico tipo de hormigón pretensado, técnica puesta a punto por el ingeniero Eugène Freyssinet. Este proyecto utiliza el área del terreno de juego como si de una fábrica se tratase, en la que todos los elementos utilizados de hormigón ya sean vigas, secciones huecas para los pilares, graderíos etc, son ejecutados in situ. Gracias al sistema constructivo utilizado y a las distintas fases de ejecución observadas, podemos diferenciar dos conjuntos funcionales: la estructura portante en arco para la cobertura y por otro lado, las vigas para el soporte de los deambulatorios y del graderío.

Como hemos mencionado anteriormente, cada pórtico está compuesto con un soporte vertical en forma de arco (fig.36) que va variando en función de los esfuerzos recibidos además de adecuándose a la forma constructiva del conjunto. Este soporte curvo se prolonga actuando como una ménsula en voladizo (fig.39), y es esta forma que se contrarresta por el propio peso de la ménsula y equilibra el conjunto. Un total de 1800 piezas prefabricadas in situ son colocadas con una grúa ensambladas a medida que avanzaban los trabajos, primero pegados con resina epoxy y luego consolidados por posttesado (Sabbah, 2010)

Estos elementos verticales curvos tienen una altura total que oscila entre los 27 m y 31 m, están constituidos por secciones trapezoidales huecas prefabricadas in situ que pueden tener una base que varía entre 1,44 m y 1,76 m y un canto que varía entre los 5,6 m en el extremo superior y los 4,6 m en la base. Solamente encontramos tres secciones macizas de hormigón armado en la cabeza de los soportes, los cuales se componen mediante quince secciones apiladas y encajadas verticalmente. La longitud de los voladizos es variable, desde 32 m hasta los 45 m para conseguir cubrir la totalidad de las tribunas. Su estructura también está compuesta por secciones rectangulares huecas de hormigón armado fabricadas in situ con un espesor de 20 cm. Su base es constante y con una dimensión de 1,4 m, pero su canto varía desde los 6,2 m necesarios en la base del vuelo hasta los 2,72 en el extremo del mismo justo en el punto de confluencia con el anillo central.



Figura 35. Fotografía del proceso constructivo del EPP sobre la autovía del periférico



Figura 36. Fotografía del esqueleto de la estructura

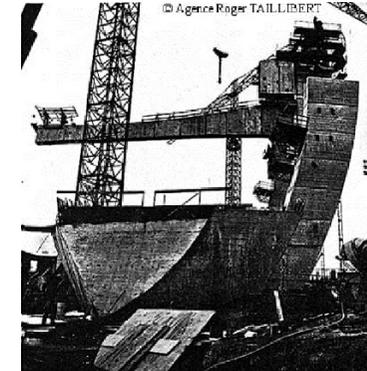


Figura 37. Proceso constructivo del soporte la construcción del estadio

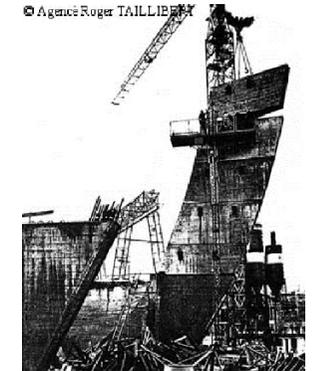


Figura 38. Construcción del soporte principal



Figura 39. Fotografía del soporte tipo



Figura 40. Plataformas para la puesta a punto del pretensado en cabeza de soporte.

Desde la base estas secciones están unidas por dos grupos de cableado de pretensado vertical, colocados en el intradós y en el extradós de cada sección lo que favorece la transmisión de esfuerzos flectores y torsores. Se incorporan anclajes. Se incorporan anclajes en dirección vertical para el soporte principal y en dirección horizontal para el vuelo actuante como cobertura.

En lo que respecta a la tribuna baja, el graderío reposa sobre vigas oblicuas que son conectadas en la parte superior a otras vigas horizontales aguantadas por la base del pórtico, y en la parte inferior a unas cimentaciones de hormigón armado a la altura del césped.

Para la tribuna alta, el graderío descansa sobre una viga oblicua de 60° apoyada en la parte superior sobre unas placas de neopreno a la ménsula de hormigón pretensado y en la parte inferior empotrada sobre la base del pórtico. En cuanto al deambulatorio del nivel 2, su estabilidad queda garantizada por las vigas horizontales conectadas a los bloques de hormigón que conectan los graderíos oblicuos. Estas vigas horizontales quedan dispuestas en voladizo en ambos extremos, resultando no estar conectadas al arco directamente (fig 46). Esta desunión permite las dilataciones de los distintos elementos de la estructura y evita la transmisión del graderío a la estructura de la cobertura. Alternando esta disyunción de estructuras entre el nivel 1 y el nivel 2, los forjados se comportan como juntas de dilatación (fig.46). Por último los graderíos son igualmente prefabricados y ensamblados in situ, descansan sobre las vigas oblicuas (fig.45) en apoyos de Neopreno (Orlandini, 2008).

En este proyecto el anillo central es un elemento constructivo decisivo que consolida el conjunto, como se demostrará posteriormente. Tiene la función de atado de los pórticos y es un componente que queda suspendido por encima del terreno a una altura de 25 m. Este anillo central es el producto de un conjunto de elementos trapezoidales de una altura constante de 5 m de hormigón armado prefabricados in situ. Este anillo central tiene dispuestas 4 juntas de dilatación en sus cuatro esquinas y la estabilidad de las piezas prefabricadas queda garantizada por cables longitudinales que las unen (fig.44).

Al igual que en los soportes, los elementos prefabricados de estas secciones son variantes según en qué posición se dispongan, identificamos entonces 2 tipos de secciones, las que se instalan en la extremidad del vuelo y las secciones que se colocan entre las extremidades. Las secciones que se disponen en las extremidades del voladizo tienen la función de asegurar una buena transición entre el vuelo y el sistema longitudinal del anillo central. Por otro lado existen las secciones longitudinales, las que están entre las secciones anteriormente mencionadas cuya longitud igualmente aumenta o disminuye dependiendo si se disponen en tramos rectos o curvilíneos respectivamente. De este modo, el anillo central es el único elemento encargado de unir rigidamente todos los pórticos.



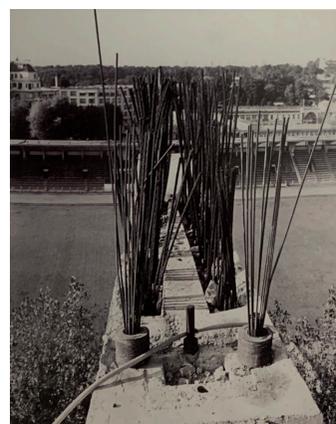
**Figura 41.** Huecos para cables de pretensado



**Figura 42.** Módulos de hormigón armado fabricados in situ



**Figura 43.** Levantamiento de los las piezas para su puesta en obra



**Figura 44.** Vista de las vainas de los cables de posttesado.



**Figura 45.** Fotografía de la tribuna presidencial

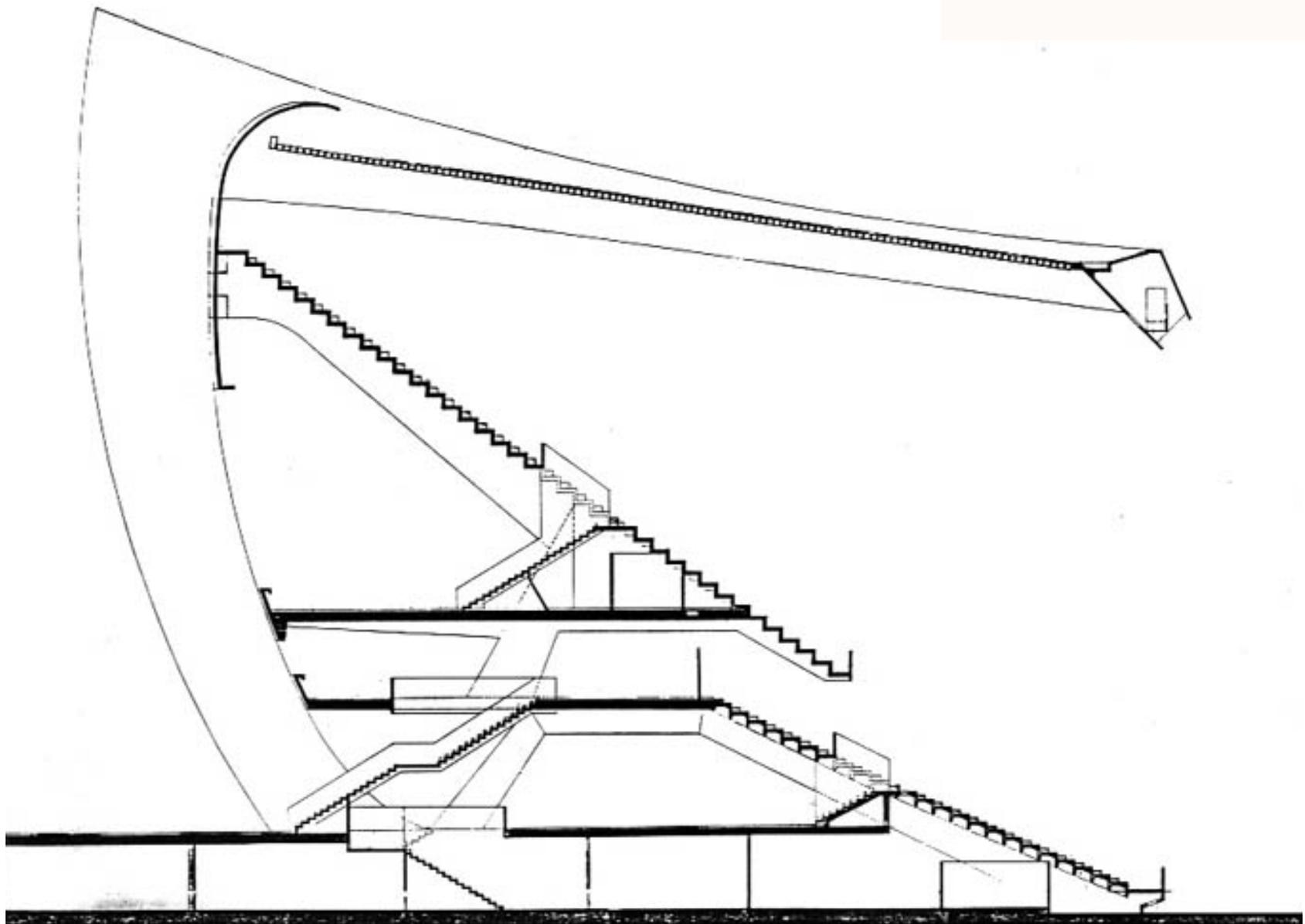


Figura 46. Sección pórtico tipo

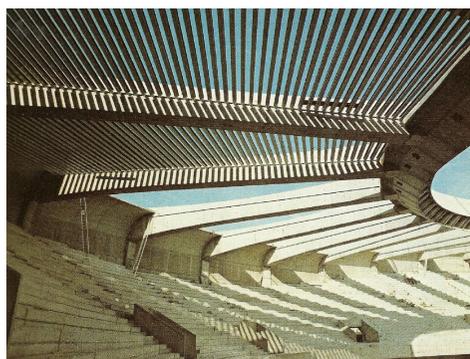
Sin duda alguna la evacuación de las aguas pluviales juega un rol decisivo a la hora del diseño de este estadio, la forma en elipse con unas alturas variantes no fue una decisión tomada meramente por una causa estilística, sino para diseñar de una manera efectiva la evacuación de estas aguas.

Somos conocedores de las consecuencias graves que puede tener una mala evacuación de aguas o un posible estancamiento de la misma en cubierta como por ejemplo un aumento de las cargas, posible crecimiento de vegetación y por consiguiente un posible deterioro de la superficie de cobertura. Por este mismo motivo vemos de qué manera en la parte longitudinal del estadio hay una pendiente inclinada hacia el césped y por otro lado, en las cuatro extremidades del estadio que coincide con la parte del giro de la estructura, la pendiente es hacia el exterior de las tribunas. El agua es conducida por unos conductos de acero inoxidable a lo largo del extremo del voladizo en la parte interior del anillo y, como hemos mencionado anteriormente, una vez llega a la zona con pendiente hacia el exterior el agua es evacuada. De esta forma el agua tiene un recorrido dictado por la gravedad donde es evacuada en estas esquinas del estadio.

Para la Eurocopa de 2016 se realizan algunas mejoras en lo que respecta las tribunas, del mismo modo se detecta un problema que afecta directamente a los aficionados. La falta de cobertura en sus aparatos telefónicos desencadena en la propuesta de instalar un conjunto de 28 antenas telefónicas sobre la cubierta del estadio. Estas antenas de telefonía son dispuestas para los cuatro operadores más famosos de Francia (Orange, Free, SFR y Bouygues) permitiendo una red de 2G, 3G y 4G. De esta totalidad de antenas 16 estarían destinadas a las tribunas y 12 para la zona de juego, a esto se le suma la incorporación de un total de 54 armarios técnicos y 18 cofres técnicos deberían instalarse en un cuarto técnico en el nivel de sótano (Goguet, 2015).



**Figura 47.** Pórticos con doble dirección de cables de pretensado



**Figura 48.** Fotografía de la cubierta en proceso de construcción



**Figura 49.** Vista interior del anillo central.



**Figura 50.** Instalación de la última pieza del anillo central



**Figura 51.** Perspectiva general del anillo central.

## 4. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

### 4.1 Levantamiento gráfico

En esta primera parte del trabajo se ha realizado una aproximación a la historia del club, el proyecto del EPP y los distintos procesos constructivos que se llevaron a cabo. Para un mejor entendimiento de esta infraestructura con la ayuda de fotografías y planos recopilados por internet he podido realizar un levantamiento en 3D que se asemeje lo máximo posible a la realidad. Dada la ausencia de colaboración del club a la hora de facilitar información acerca del proyecto, se decide realizar una primera aproximación a su estructura mediante un levantamiento en tres dimensiones de uno de sus pórticos.

Debido a que la idea principal para el estudio de trabajo era la de abordar este TFG de una manera más técnica, con la finalidad de poder calcular un pórtico tipo y obtener unas conclusiones acerca del anillo central, me propuse llevar a cabo una primera aproximación más superficial del conjunto ejecutando un modelado.

De esta forma hago un estudio exhaustivo sobre qué planos utilizar, y me decanto por coger como base un pórtico tipo de la tribuna presidencial de una sección del proceso constructivo encontrado en internet. Debido a la mala calidad de los planos, para su correcta recreación he debido contrastar estos planos con artículos de revistas relacionadas con el estadio, fotografías y con la ayuda de google maps.

Primero me dedico a modelar un pórtico aislado con la ayuda del programa Autocad, puedo simular de qué manera podría ser el soporte principal (fig.52). En un principio calco la sección y la extruyo y, con la ayuda de fotografías y con herramientas de corte, esculpo y le doy una forma aproximada a la realidad a dicho soporte (fig.53).

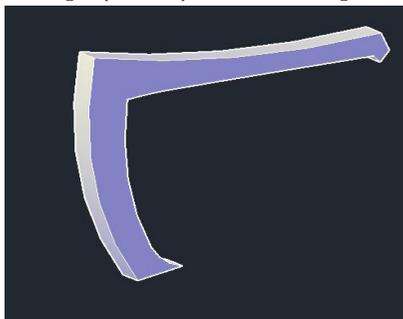


fig 52. Aproximación soporte

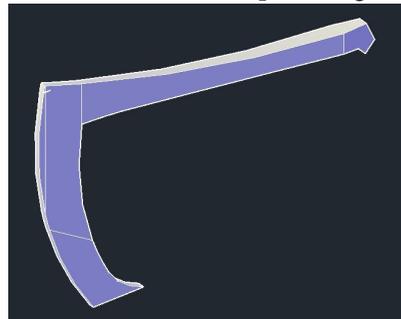


fig 53. Modelado soporte

A partir del plano general de planta, se ha constatado que el estadio es simétrico en sus 2 ejes (fig.54), por lo tanto me dispongo a simular la disposición de los pórticos según deban situarse en la realidad. Así mismo se obtiene un cuarto de estadio que, con la ayuda de simetrías es posible llegar a obtener un resultado rápido y consistente para analizar el conjunto (fig.55).

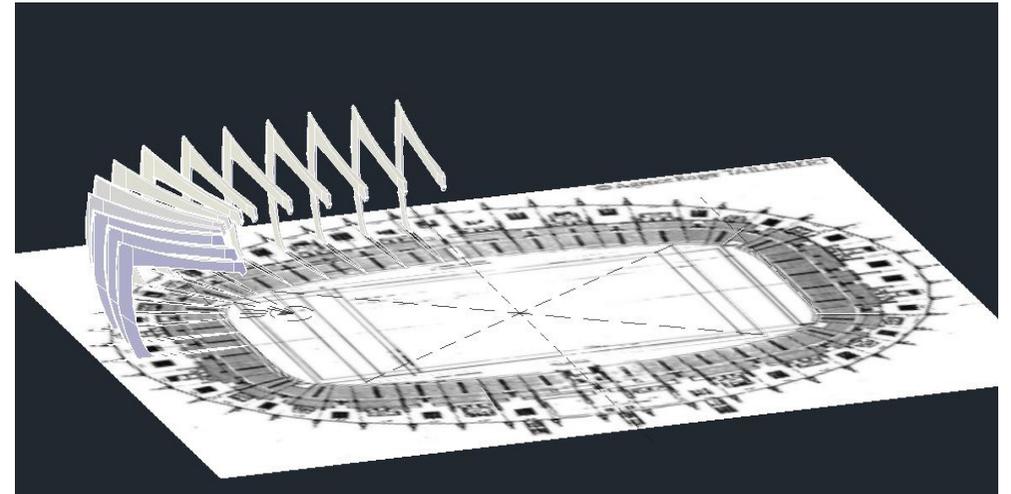


fig 54. Modelado de una fracción del estadio

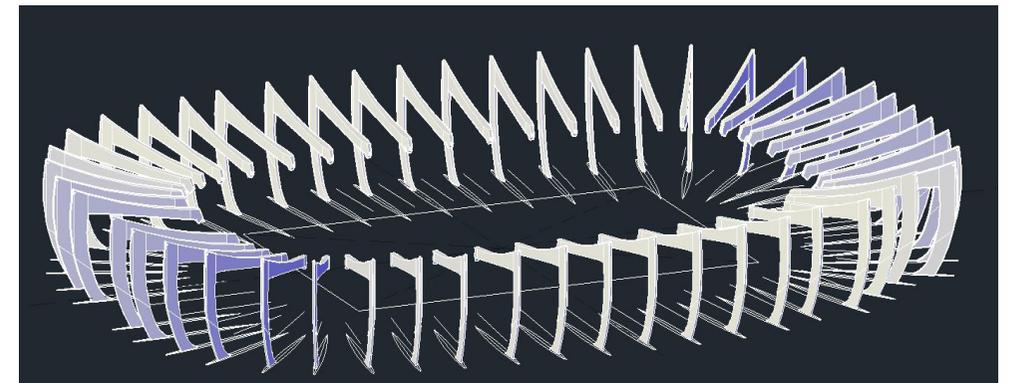


fig 55. Modelado estructura primitiva del estadio

Una vez obtenido una primera volumetría del conjunto, tras un estudio meditado sobre la estructura y siempre apoyándome con el programa de Autocad, mi interés por el modelado sigue creciendo de modo que indago sobre la variación de las alturas de los soportes (fig.57).

Así mismo, la metodología de trabajo con este programa me permite observar en la porción de estadio un total de 13 tipos de pórticos distintos, todos ellos con una pendiente distinta, variando su altura total de los 31m a los 27. En este momento del análisis, gracias a este modelado pude constatar que el conjunto creaba una serie de desniveles en cubierta para tener una correcta evacuación de aguas en la misma (fig.58).

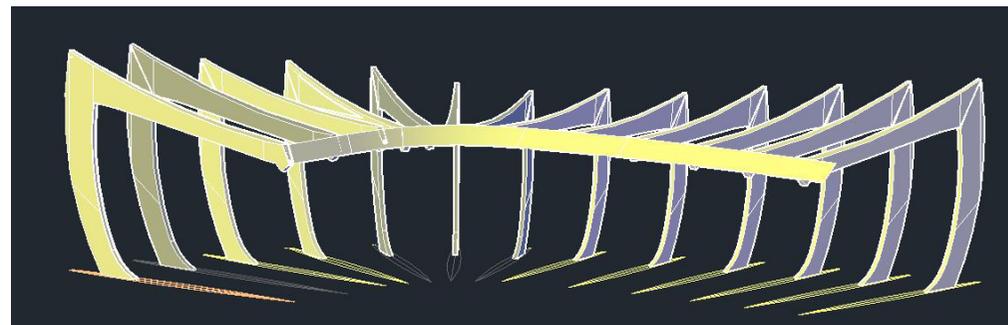


fig 56. Resultado del modelado con variación de altura de soporte.



fig 57. Modelado de los distintos pórticos

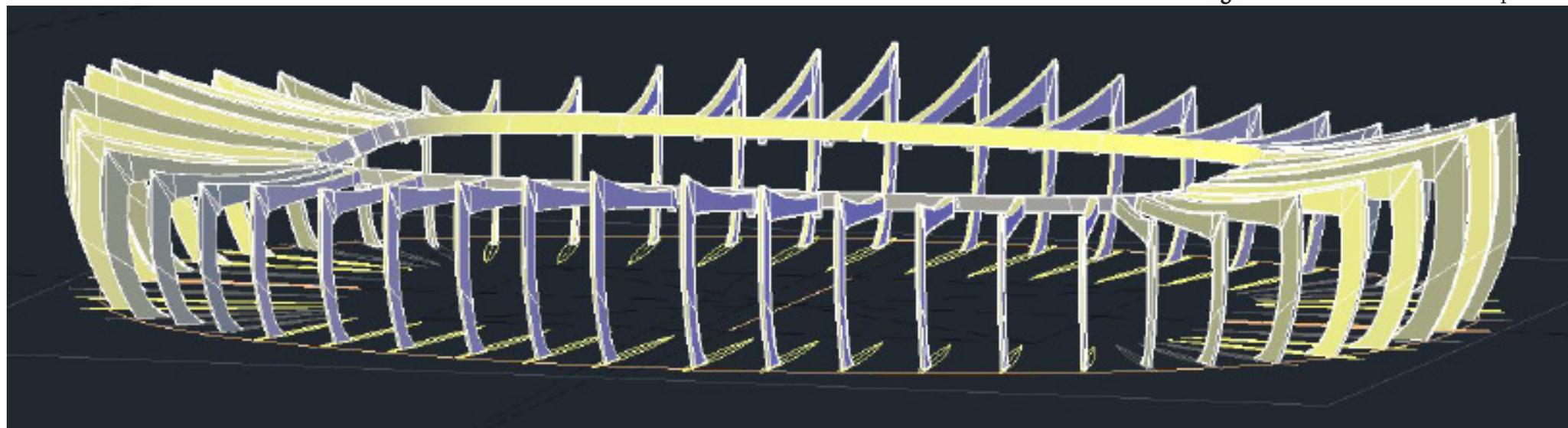


fig 58. Modelado de la estructura principal.

## 4.2 Análisis estructural mediante medios informáticos

Una vez obtenido el esqueleto del estadio, se plantea la opción de realizar el levantamiento del pórtico por completo, incluyendo la estructura de hormigón armado y del graderío. Este alzado (fig.59) nos proporciona la información suficiente para poder realizar el alzado en 2 dimensiones habiendo tenido que interpretar algunas de las cotas pero siempre ajustándonos lo máximo posible a la realidad.

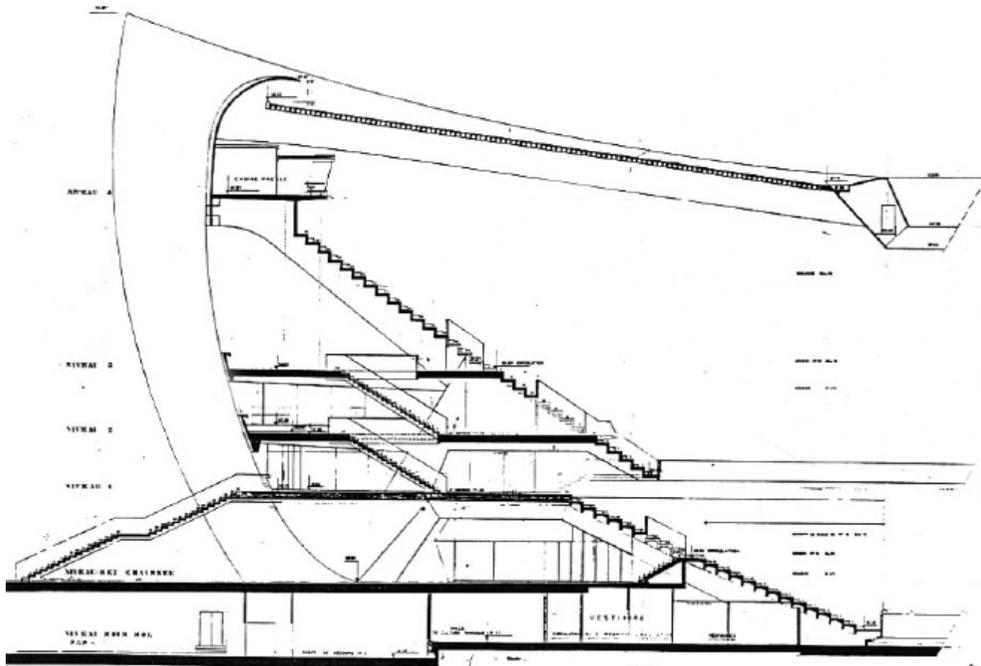


fig 59. Sección tribuna Boulogne

La longitud del graderío de la tribuna superior es variante, cambiando su longitud al ritmo que varían las alturas de los soportes. De este modo se diseñan 7 pórticos (fig.62) con alturas de graderíos que varían y se adecuan a los soportes modelados anteriormente.

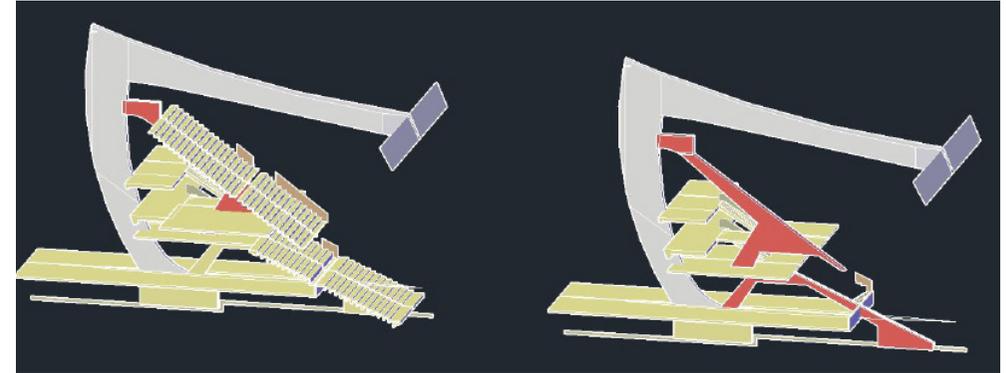


fig 60. Modelado sección tipo

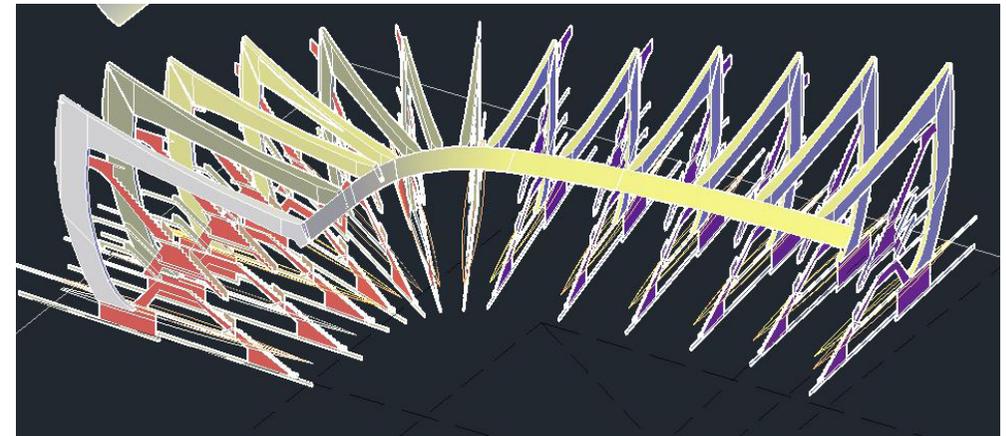


fig 61. Proceso modelado fracción estadio

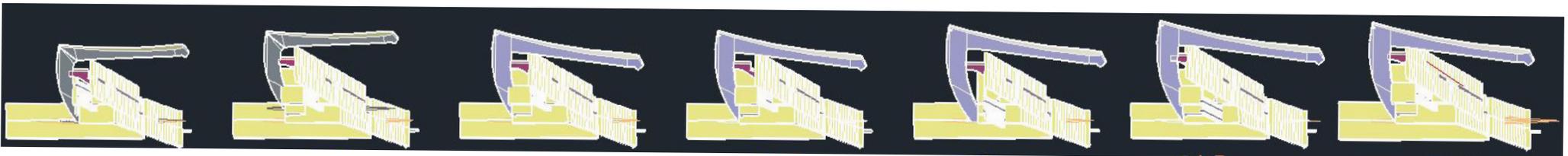


fig 62. Modelado de 7 pórticos tipo

Seguimos el mismo proceso de ejecución para el modelado del estadio diseñando un cuarto del mismo, se plantea el elemento de atado interior y se le da un espesor aproximado a las vigas de las plantas 1 y 2 al igual que las inclinadas que soportan el graderío, así como la cobertura exterior del conjunto (fig.63).

De esta manera habiendo modelado primeramente la estructura del soporte y por otro lado la del graderío, se llega a plantear una primera hipótesis en cuanto al funcionamiento del pórtico.

En edificaciones antiguas con arquitectura románica observamos la utilización de contrafuertes para poder contrarrestar el peso proveniente de los esfuerzos generados por las pesadas cubiertas, bóvedas o arcos. De este modo se conocen varias técnicas para compensar estos esfuerzos como aumentando el ancho de los muros portantes y, en el caso del gótico, se disponían pilares adosados al muro exterior o la utilización de arbotantes.

Son estos últimos elementos que trasladan el peso en diagonal que nos pueden ayudar a realizar una primera hipótesis de trabajo en la que la parte del graderío actuaría como contrafuerte, contrarrestando el peso del propio soporte que es atraído por el anillo central hacia la zona interior de juego. Más adelante se verificará con ayuda de los cálculos que el funcionamiento de este elemento a flexión descarta esta hipótesis de comportamiento como contrafuerte o arbotante (fig.64).

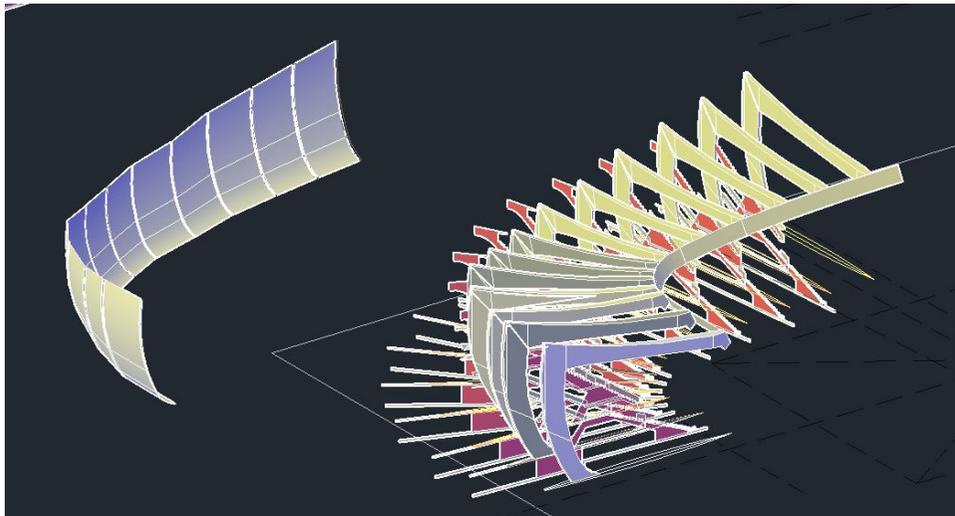


fig 63. Vista modelado del cerramiento exterior.

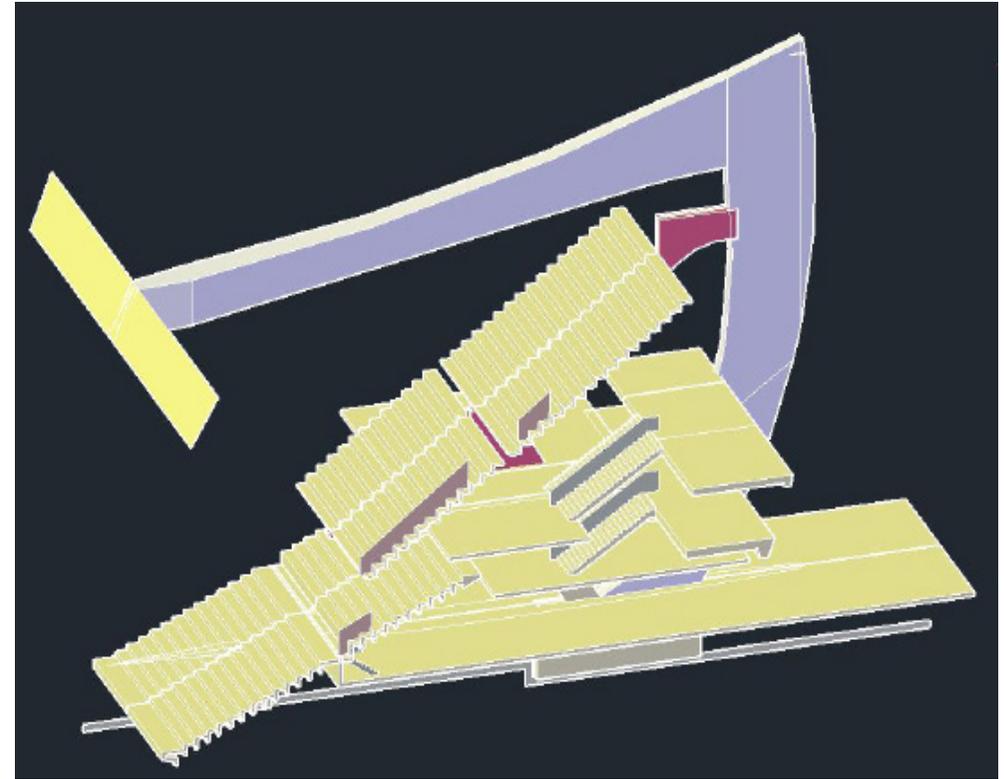
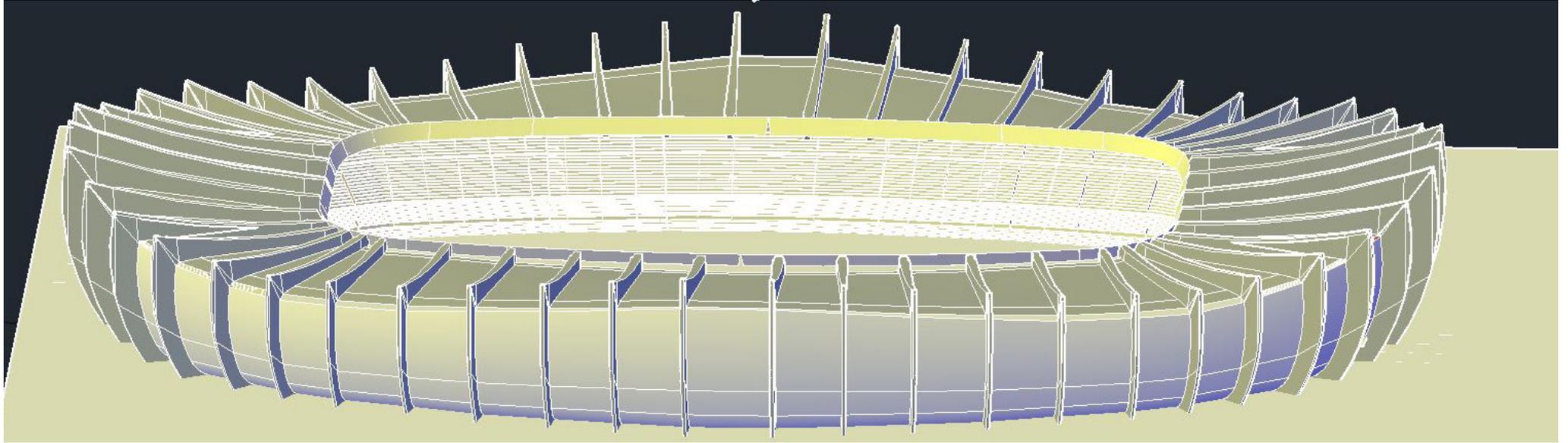


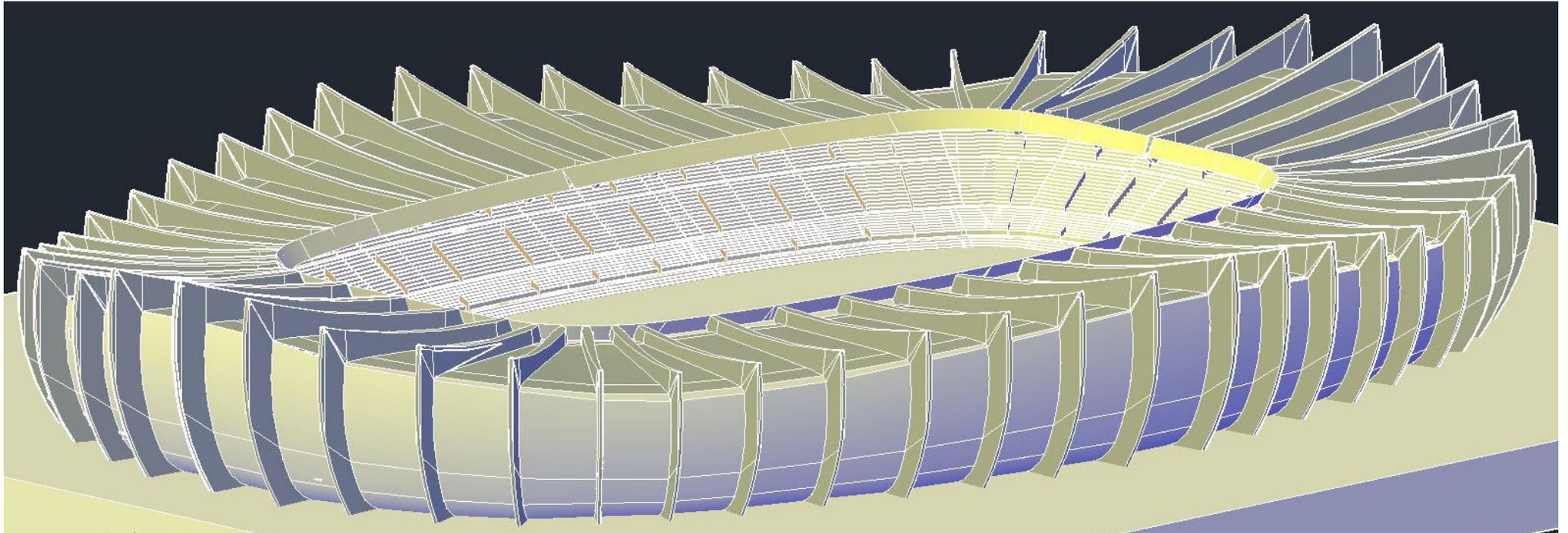
fig 64. Pórtico tipo con graderío .



fig 65. Captura del modelo de una fracción del estadio.



**Figura 66.** Vista del modelado completo obtenido.



**Figura 67.** Vista del modelado completo obtenido.

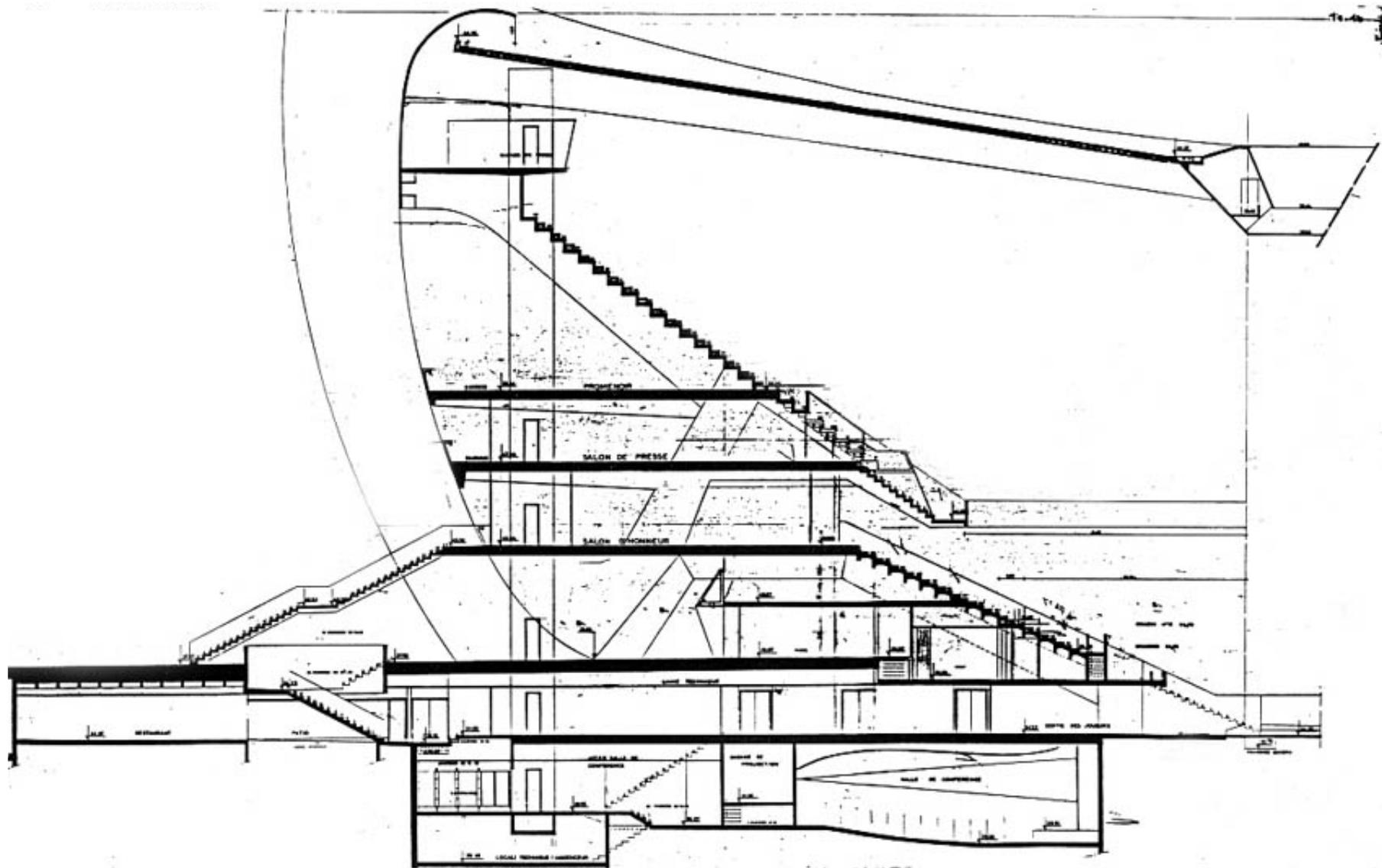


fig 68. Sección tipo.

## 5. Análisis del pórtico tipo

En este apartado del trabajo, nos centraremos en el análisis y cálculo del estadio. Como sabemos, la composición de esta infraestructura está dictada por la repetición de un pórtico que va variando en altura y longitud y, para el análisis que realizaremos hemos elegido un pórtico tipo en el que ni forjados ni grade- ríos están interrumpidos por escaleras.

De este modo analizaremos este pórtico tipo a partir del programa de cálculo Architrave, en el que compararemos diferentes modelos, un pórtico aislado, el mismo pórtico con un apoyo en el extremo del voladizo que tendrá la función de simular la reacción del anillo central y por último un modelado del estadio completo.

### 5.1. Evaluación y asignación de cargas

Para cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural se deben establecer las acciones que intervienen en esta infraestructura. Según el Código Técnico de la Edificación español, encontramos acciones permanentes, variables y accidentales (Ministerio de Fomento 2015).

-CARGAS PERMANENTES (Vigas Planta Baja y Planta Primera ámbito de 12 m)

Teniendo en cuenta el DBSE-AE

$5\text{KN/m}^2$  = carga del peso propio del forjado 0.35 m

$1\text{KN/m}^2$  = pavimentación

5 KN/m = tabicón (elemento union de forjados)

$(5\text{ KN/m}^2 \times 12\text{ m}) + (1\text{ KN/m}^2 \times 12\text{ m}) + 5\text{ KN/m} = 77\text{ KN/m}$

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

Elemento	Peso
<b>Forjados</b>	<b>kN / m<sup>2</sup></b>
Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
<b>Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m</b>	<b>5</b>
<b>Cerramientos y particiones</b> (para una altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido	<b>kN / m</b>
Tablero o tabique simple; grueso total < 0,09 m	3
Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5
Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7
<b>Solados</b> (incluyendo material de agarre)	<b>kN / m<sup>2</sup></b>
Lámina pegada o moqueta; grueso total < 0,03 m	0,5
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,0
<b>Placas de piedra, o peldañado; grueso total &lt; 0,15 m</b>	<b>1,5</b>
<b>Cubierta, sobre forjado</b> (peso en proyección horizontal)	<b>kN / m<sup>2</sup></b>
Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,0
Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5
<b>Rellenos</b>	<b>kN / m<sup>3</sup></b>
Agua en aljibes o piscinas	10
Terreno, como en jardineras, incluyendo material de drenaje <sup>(1)</sup>	20

<sup>(1)</sup> El peso total debe tener en cuenta la posible desviación de grueso respecto a lo indicado en planos.

Figura 69. Leyenda Cargas Permanentes.

-CARGAS PERMANENTES (vigas inclinadas, graderío ámbito de 12 m)

Teniendo en cuenta el DBSE-AE

$5\text{KN/m}^2$  = carga del peso propio del forjado 0.35 m

$1\text{KN/m}^2$  = pavimentación

$(5\text{ KN/m}^2 \times 12\text{ m}) + (1\text{ KN/m}^2 \times 12\text{ m}) = 72\text{ KN/m}$

Teniendo en cuenta el DBSE-AE

-CARGAS PERMANENTES (cubierta)

Estimamos una carga de  $5\text{ KN/m}^2$  para la cubierta.

$5\text{ KN/m}^2 \times 12\text{ m} = 60\text{KN/m}$

## -CARGAS VARIABLES

-Sobrecarga de uso para Vigas de Planta Baja y Planta Primera, y Vigas inclinadas para el graderío contando con un ámbito de 12 m

Zona aglomeración C5 -> sobrecarga de uso de 5KN/m<sup>2</sup>

5KN/m<sup>2</sup>x 12 m= **60 KN/m**

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 70. Leyenda Sobrecarga de Uso

-Sobrecarga de uso para planta cubierta

Puesto que esta cubierta es transitable sólo exclusivamente para mantenimiento, la sobrecarga de uso para planta cubierta es de 1 kN/m<sup>2</sup>

1 kN/m<sup>2</sup> x 12m= **12 KN/m**

-Sobrecarga de nieve

$$s_k = 0.45 \text{ kN/m}^2$$

$$0.45 \text{ kN/m}^2 \times 12\text{m} = \mathbf{5.4 \text{ KN/m}}$$



Figura 71. Sobrecarga de nieve en la región de París

-Sobrecarga de viento

Para el estudio del modelado de esta infraestructura nos hemos centrado únicamente en lo que respecta las cargas gravitatorias por lo tanto no tendremos en cuenta las cargas de viento a la hora de realizar el cálculo.

## 5.2 Límites de la investigación

Procedemos al modelado de un pórtico tipo, como hemos constatado anteriormente, la morfología de la costilla principal está compuesta por una serie de piezas de hormigón armado de naturaleza trapezoidal huecas de canto variable superpuestas entre sí.

Se modeliza en Autozad una simplificación de la costilla principal, se reproduce asemejando la morfología lo máximo posible a la realidad, que posteriormente se le asignará la materialidad de las piezas huecas que la constituyen.

A la hora de asignar a cada porción de línea una sección, se opta por simplificar las piezas trapezoidales por unas piezas rectangulares adaptándolas a este nuevo formato y además se trata que tengan una inercia semejante a la pieza original. La costilla principal la podemos dividir en dos partes, la fracción del soporte y la del voladizo.

De este modo al no poder crear piezas de canto variable, para crear el efecto de una sección inconstante se subdivide el fragmento del soporte en 12 piezas de secciones rectangulares y un total de 16 secciones para la parte del voladizo, todas ellas de sección hueca constante.

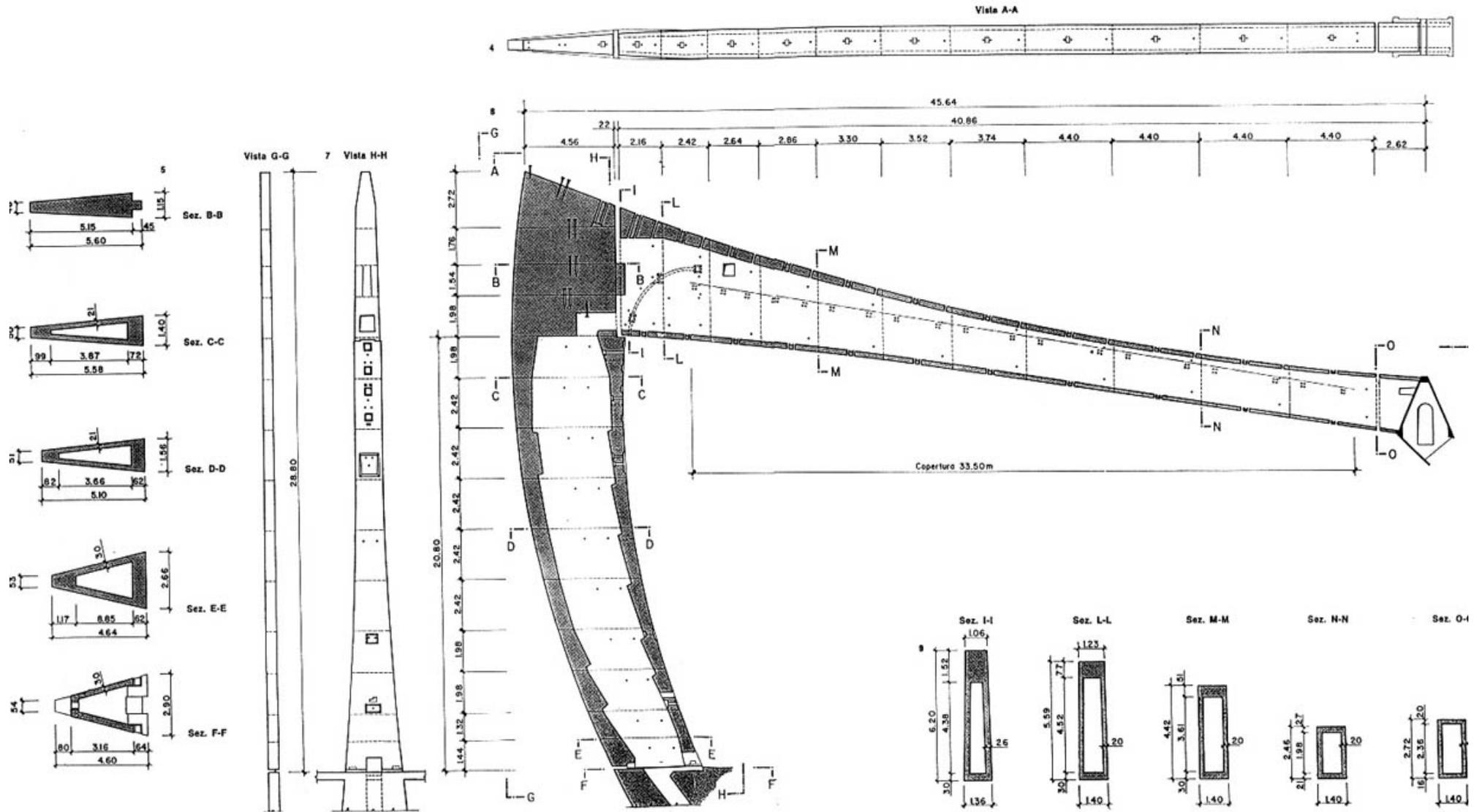


Figura 72. Sección explicativa de las distintas secciones de la estructura de la cubierta

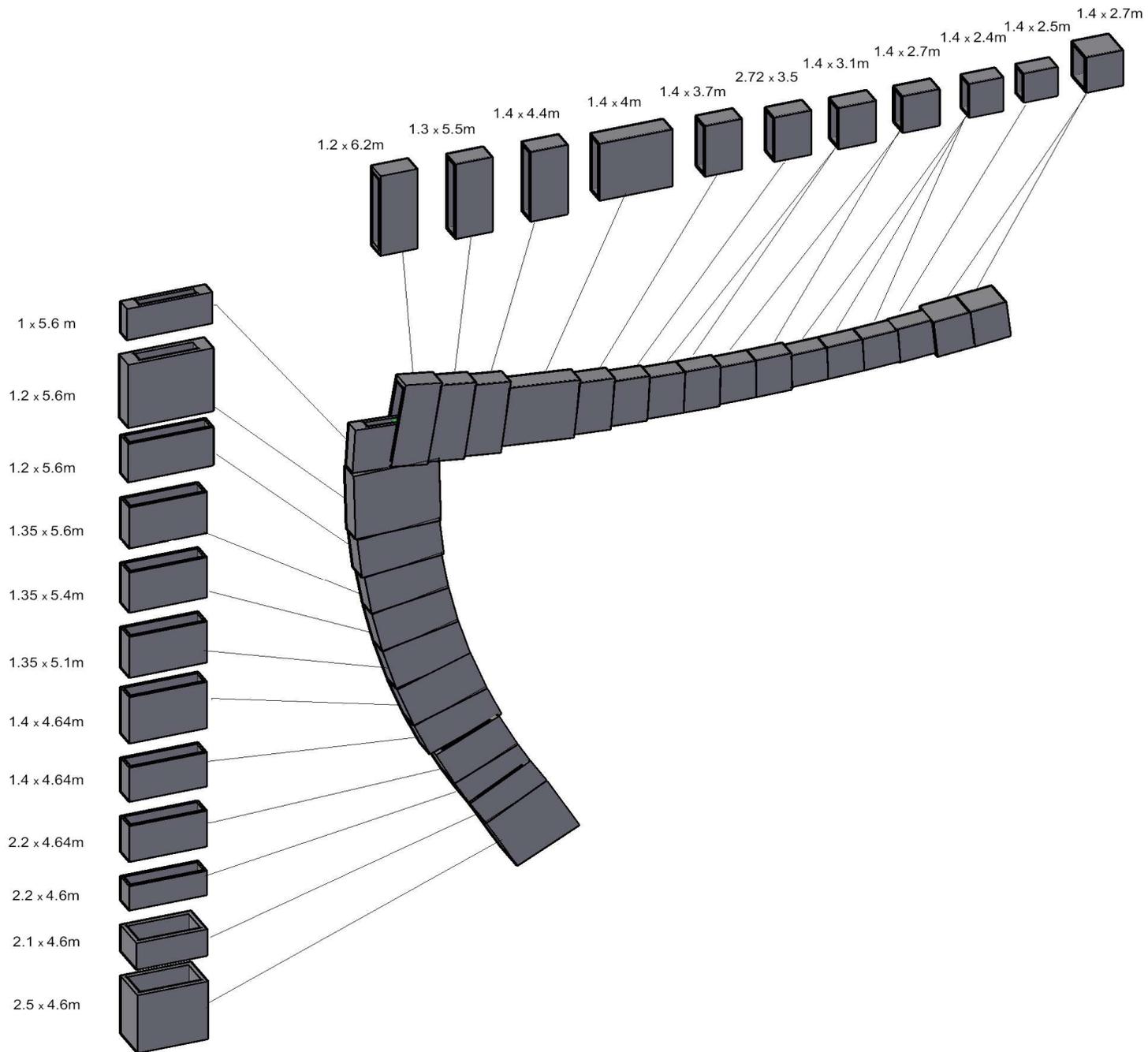


Figura 73. Modelado generado en Architrave con secciones equivalentes

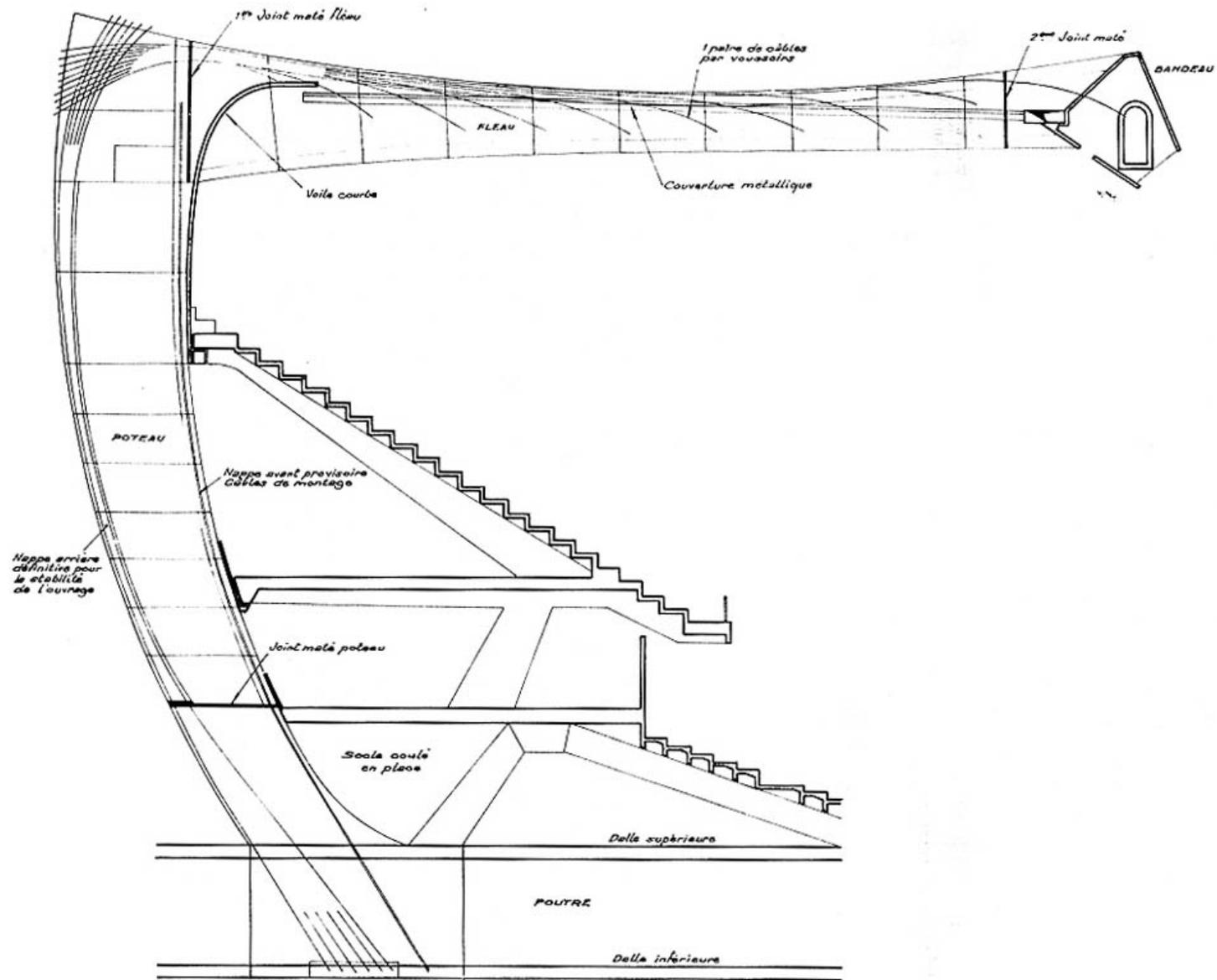
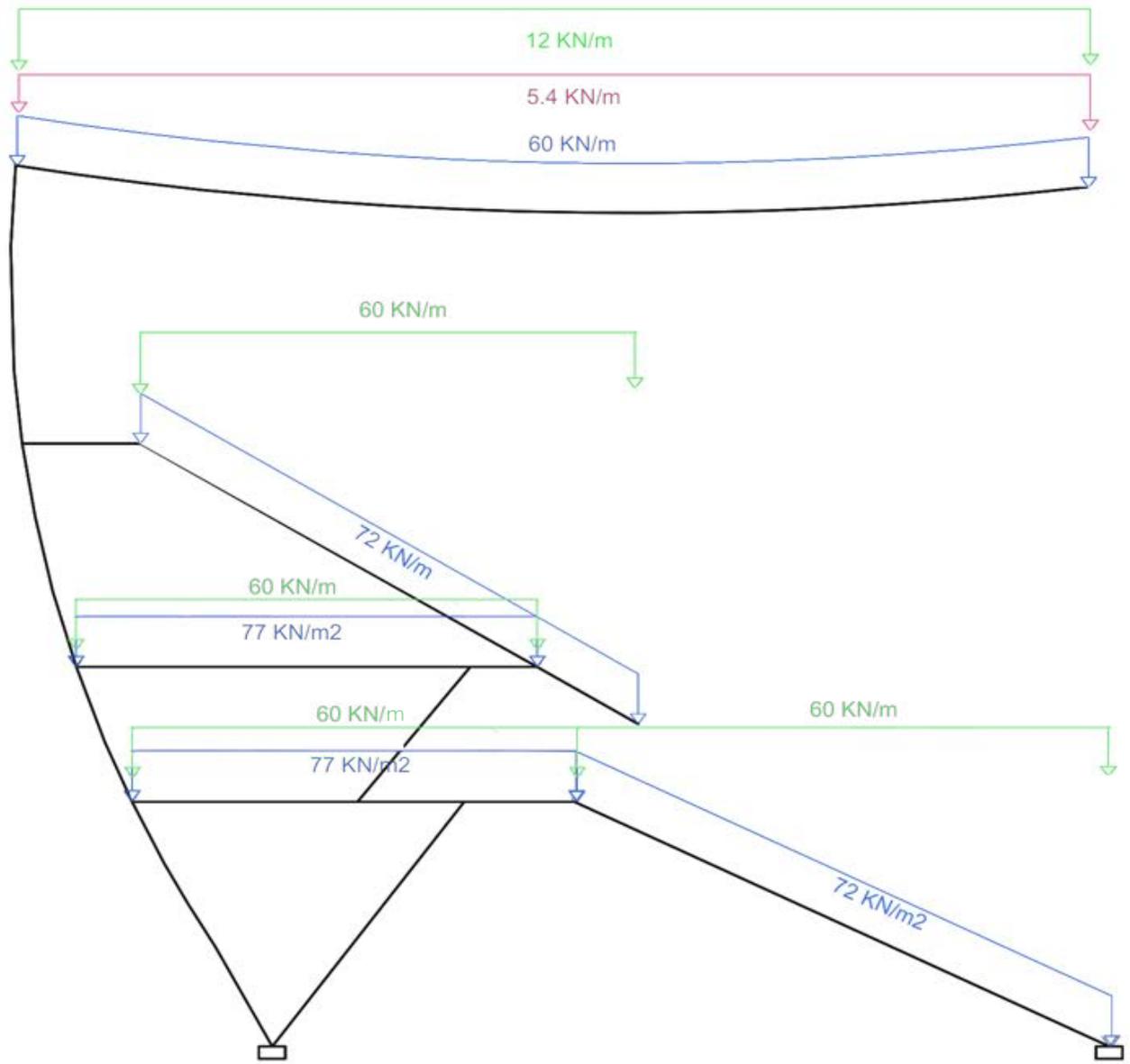


Figura 74. Sección del pórtico tipo utilizado para el modelado de Architrave



- Sobrecarga de Nieve
- Sobrecarga de Uso
- Cargas Permanentes

**Figura 75.** Resumen de las cargas actuantes en el pórtico

Una vez obtenido el soporte principal del pórtico, se disponen 2 pórticos a una distancia de 12 m y se asignan las cargas determinadas en el apartado anterior. Para las vigas inclinadas del graderío se adopta una carga permanente de  $6\text{KN/m}^2$ , para el forjado de planta primera y segunda, se asignan una carga permanente de  $13\text{KN/m}^2$  y una carga variable de  $5\text{KN/m}^2$  y, para la cubierta una carga permanente de  $5\text{KN/m}^2$  y una variable de  $1\text{KN/m}^2$  y  $0.45\text{KN/m}^2$  para sobrecarga de nieve. Esto tan sólo se trata de una primera, ya que a cada pórtico, al margen de su peso propio, le llega únicamente la mitad de la carga. Para evitarlo, en cálculos futuros que implican a un sólo pórtico, se trabajará con un modelo plano,

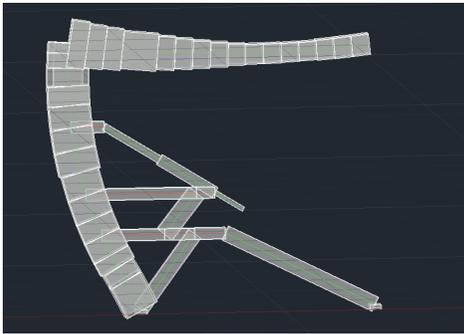


Figura 76. Modelado de un pórtico aislado

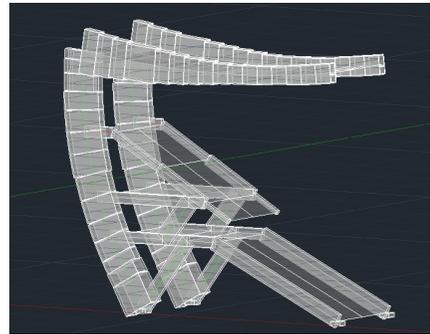


Figura 77. Modelado con cargas en los forjados

Somos conocedores del funcionamiento del pórtico, la costilla principal trabajando como elemento sustentador de la cubierta y la parte de la tribuna a modo de contrafuerte impidiendo cualquier desplazamiento del soporte. Así mismo se plantea un nuevo objeto de estudio: ¿cómo trabaja el anillo central?

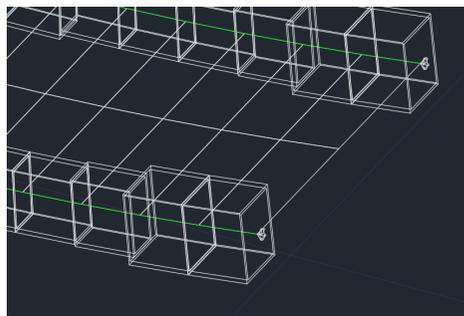


Figura 78. Caso 1, con apoyo deslizante en extremo

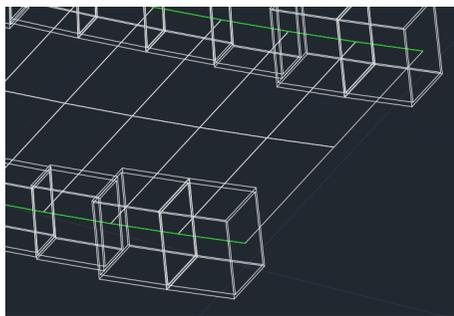


Figura 79. Caso 2, sin apoyo deslizante

Para resolver esta pregunta, se procede a la comparación de 2 modelos distintos. En el primer caso se simula el encuentro del voladizo con el anillo central, disponiendo un apoyo deslizante en el plano Z en el extremo de voladizo (fig.76), impidiendo así cualquier desplazamiento en los ejes X Y y en el segundo caso se añadirá el mismo modelo sin el apoyo deslizante (fig.77).

Analizaremos los resultados obtenidos a partir de estos dos modelos con sus respectivas hipótesis de carga, respecto a cargas permanentes (H1) y respecto a sobrecargas de uso (H2), siempre considerando una estructura plana.

Para finalizar, con la ayuda del modelado del estadio, se realizará una simplificación del conjunto de la infraestructura y se analizará la estructura globalmente además del comportamiento que tiene el anillo central. Se diseña una barra de hormigón de  $1 \times 0.6\text{m}$  para simular el anillo central a modo de elemento de atado (fig.78).

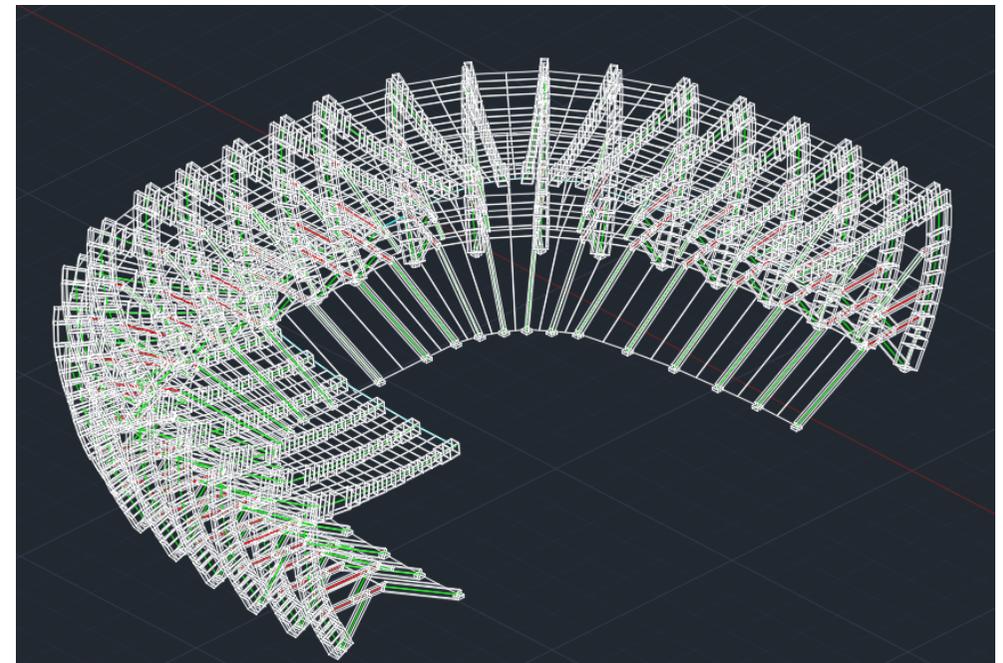


Figura 80. Proceso del modelado del estadio en Architrave

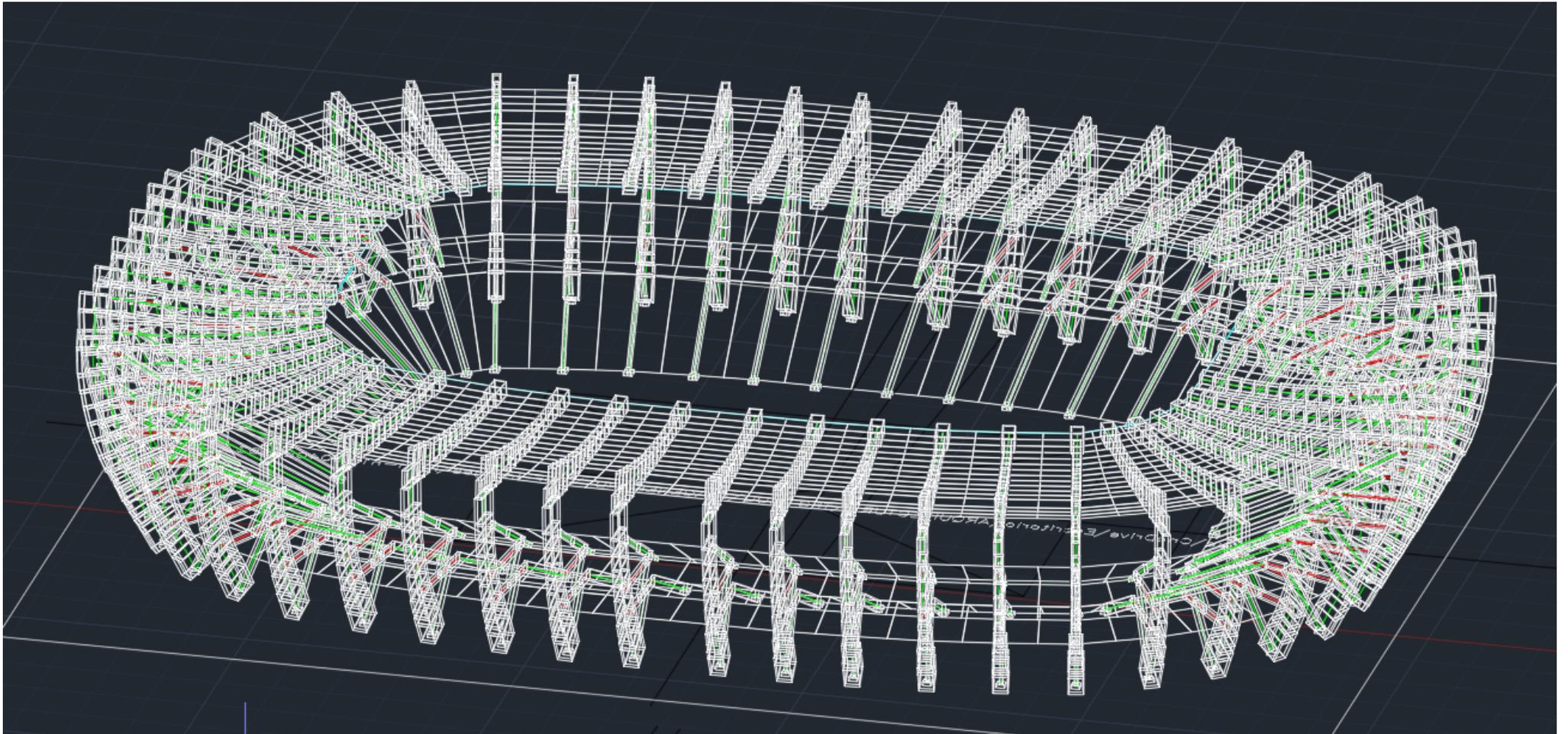
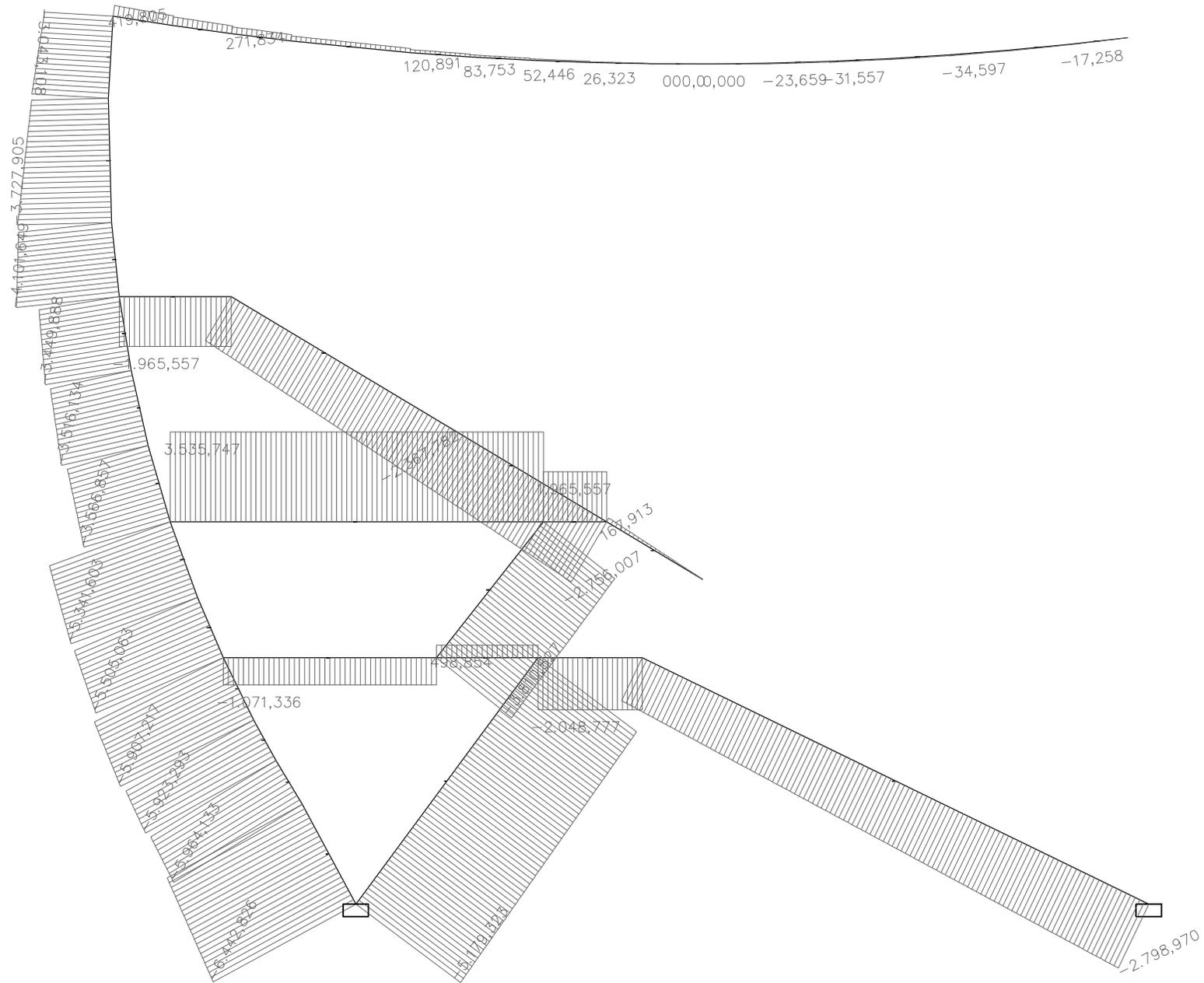
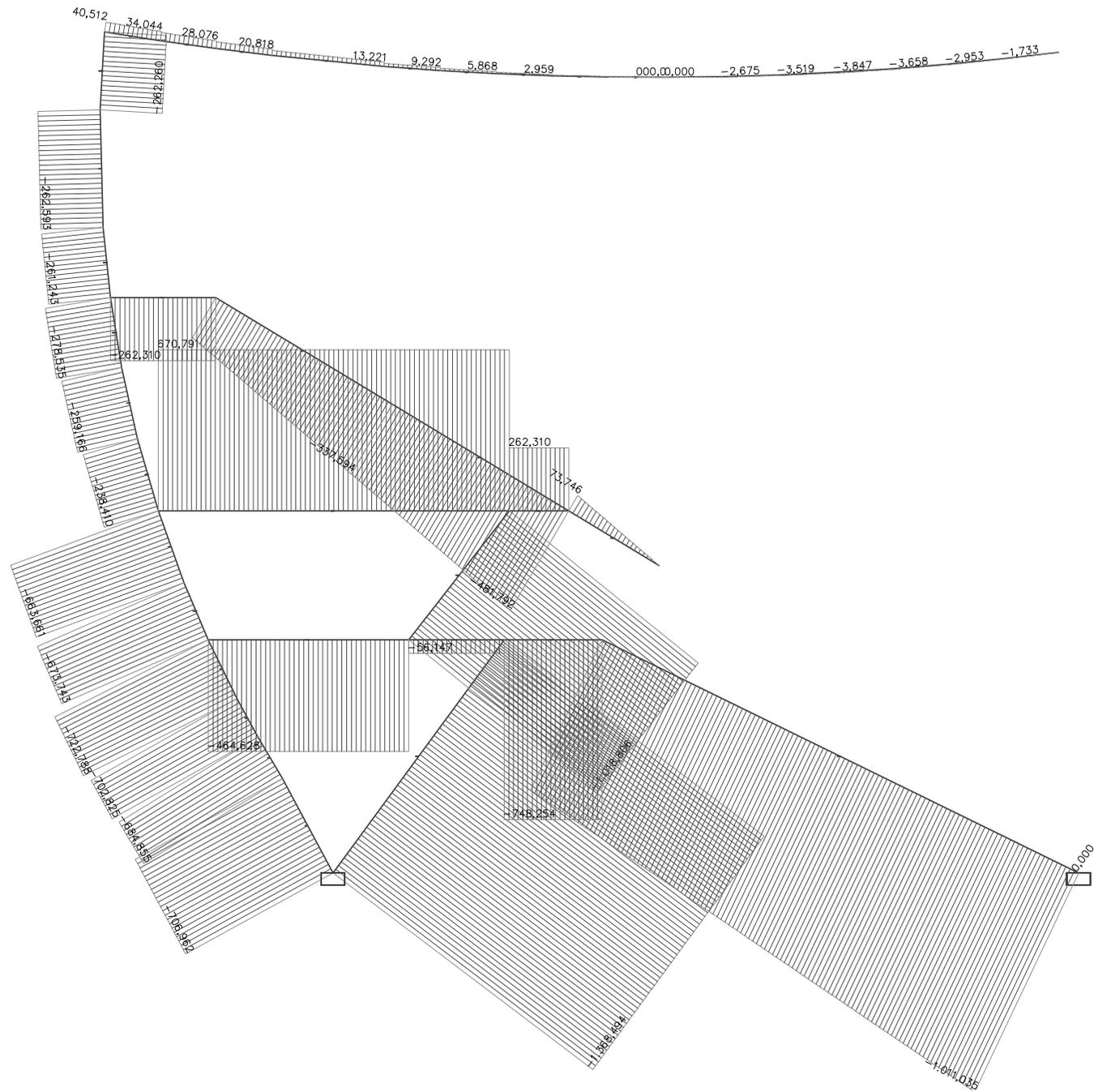


Figura 81. Modelo completo del estadio mediante barras en Architrave

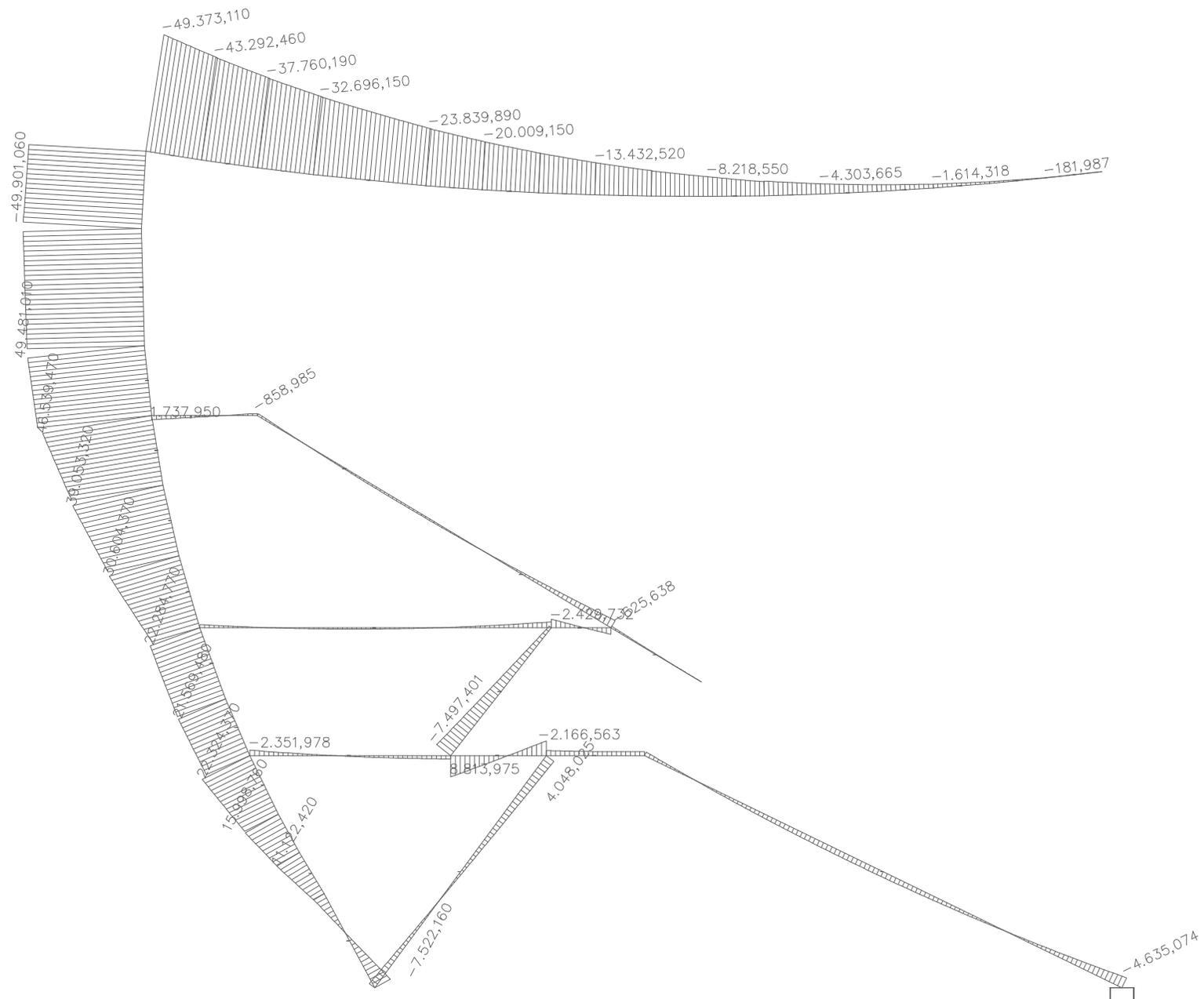
### 5.3 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS



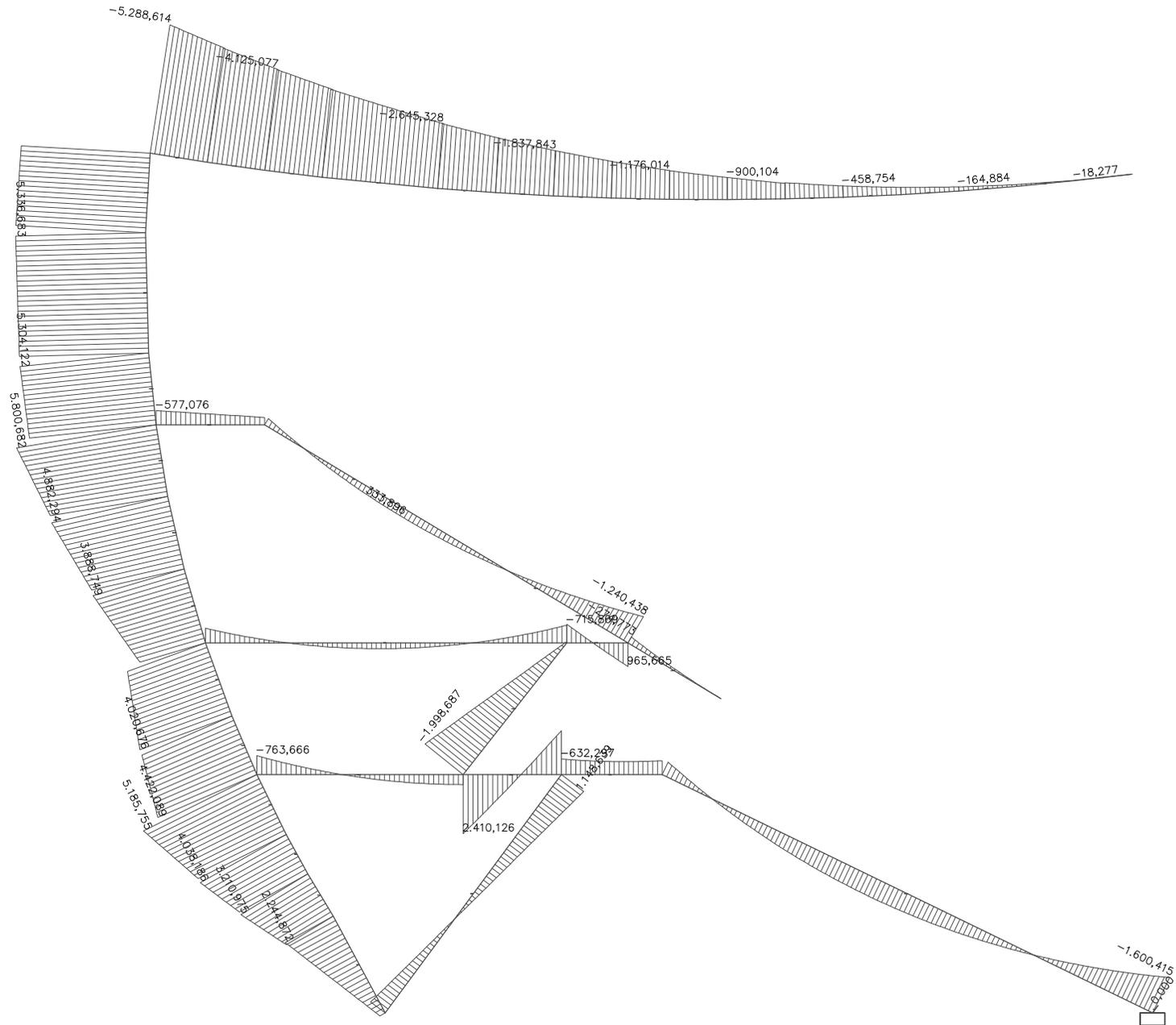
**Figura 82.** Diagrama de Axiles (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de pórtico sin apoyo deslizante en extremo de voladizo



**Figura 83.** Diagrama de Axiles (KN·m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de pórtico sin apoyo deslizando en extremo de voladizo



**Figura 84.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de pórtico sin apoyo deslizando en extremo de voladizo



**Figura 85.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN-m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de pórtico sin apoyo deslizante en extremo de voladizo

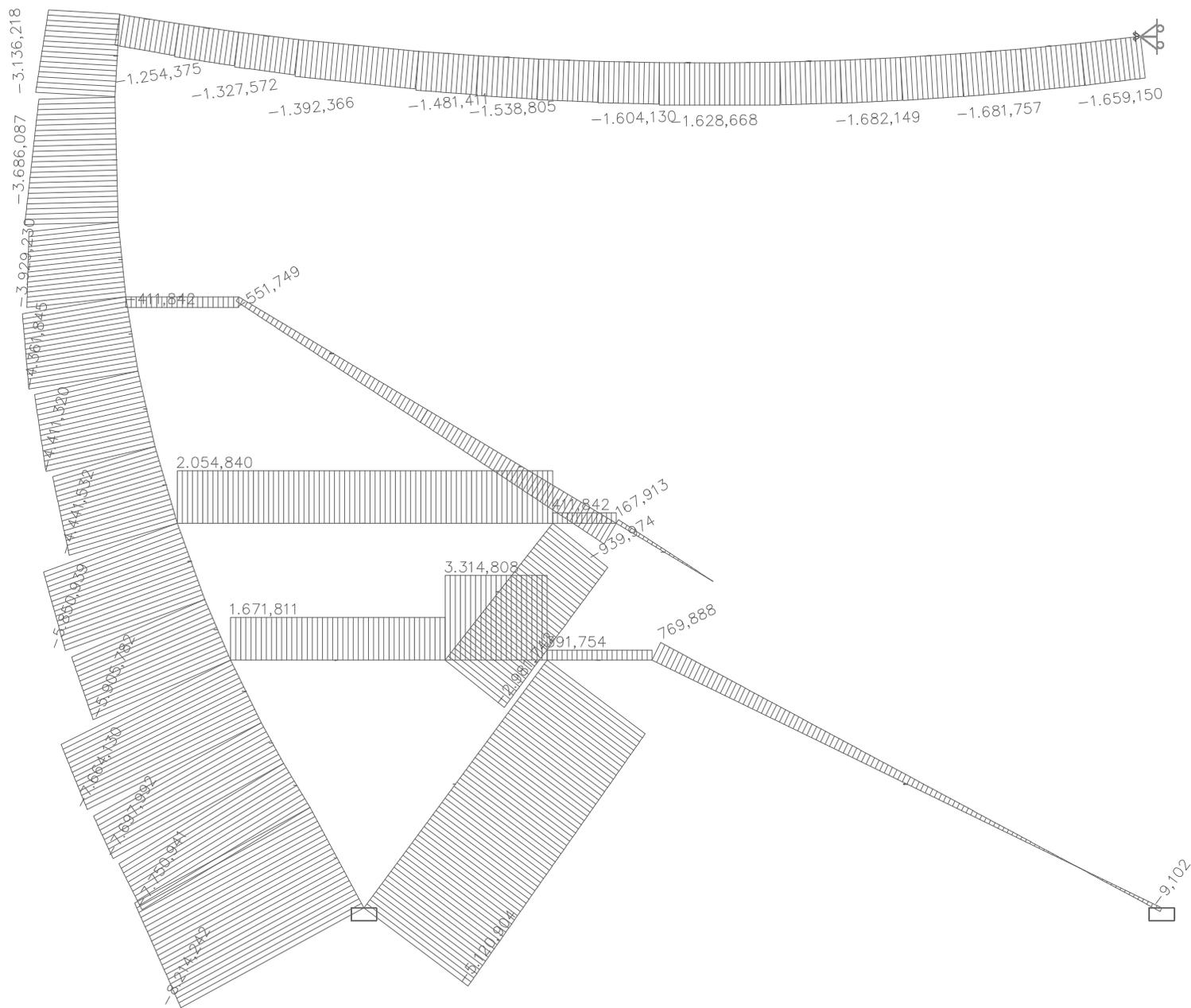


Figura 86. Diagrama de Axiles (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de pórtico con apoyo deslizante en el eje Z en extremo de voladizo

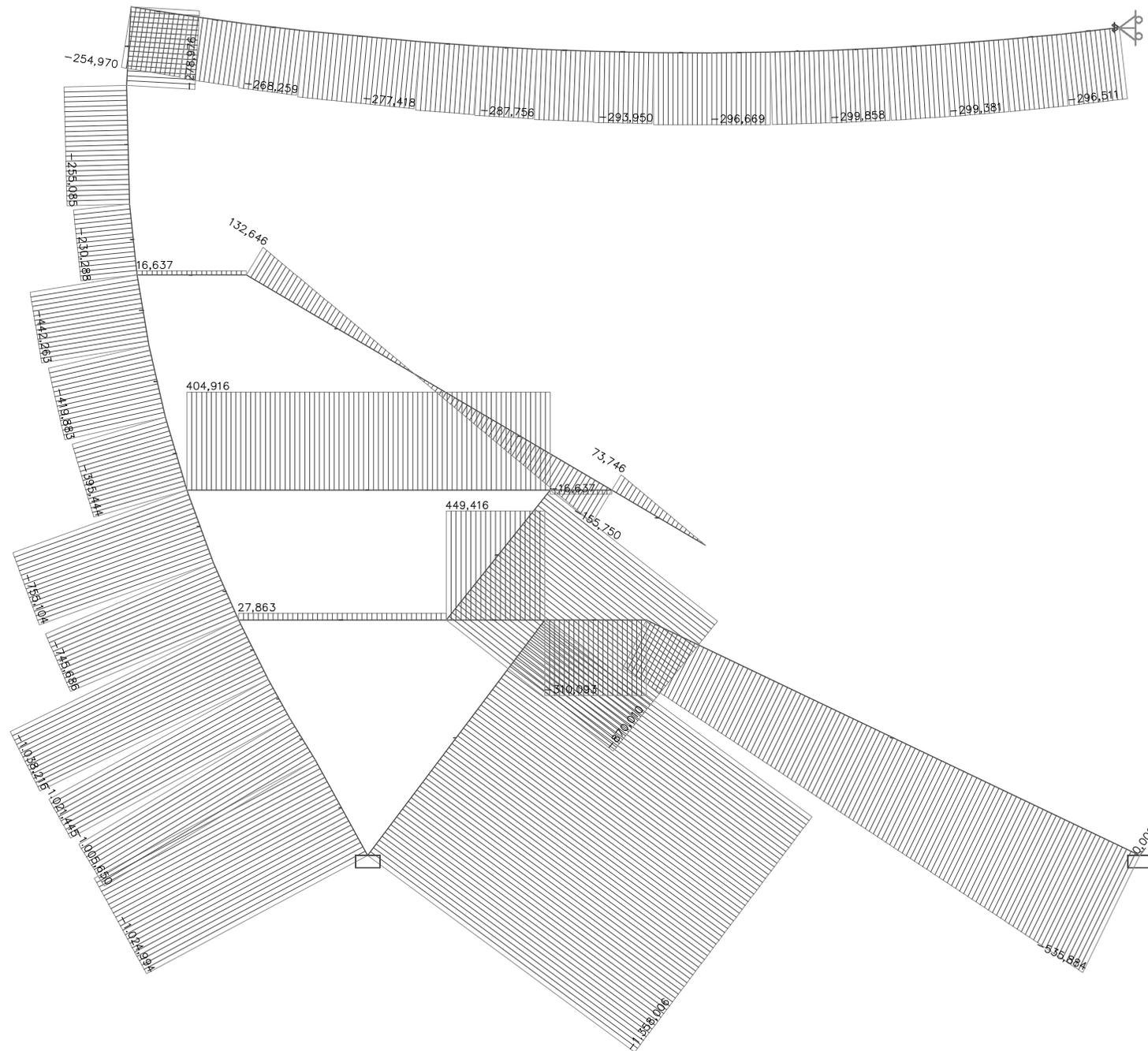
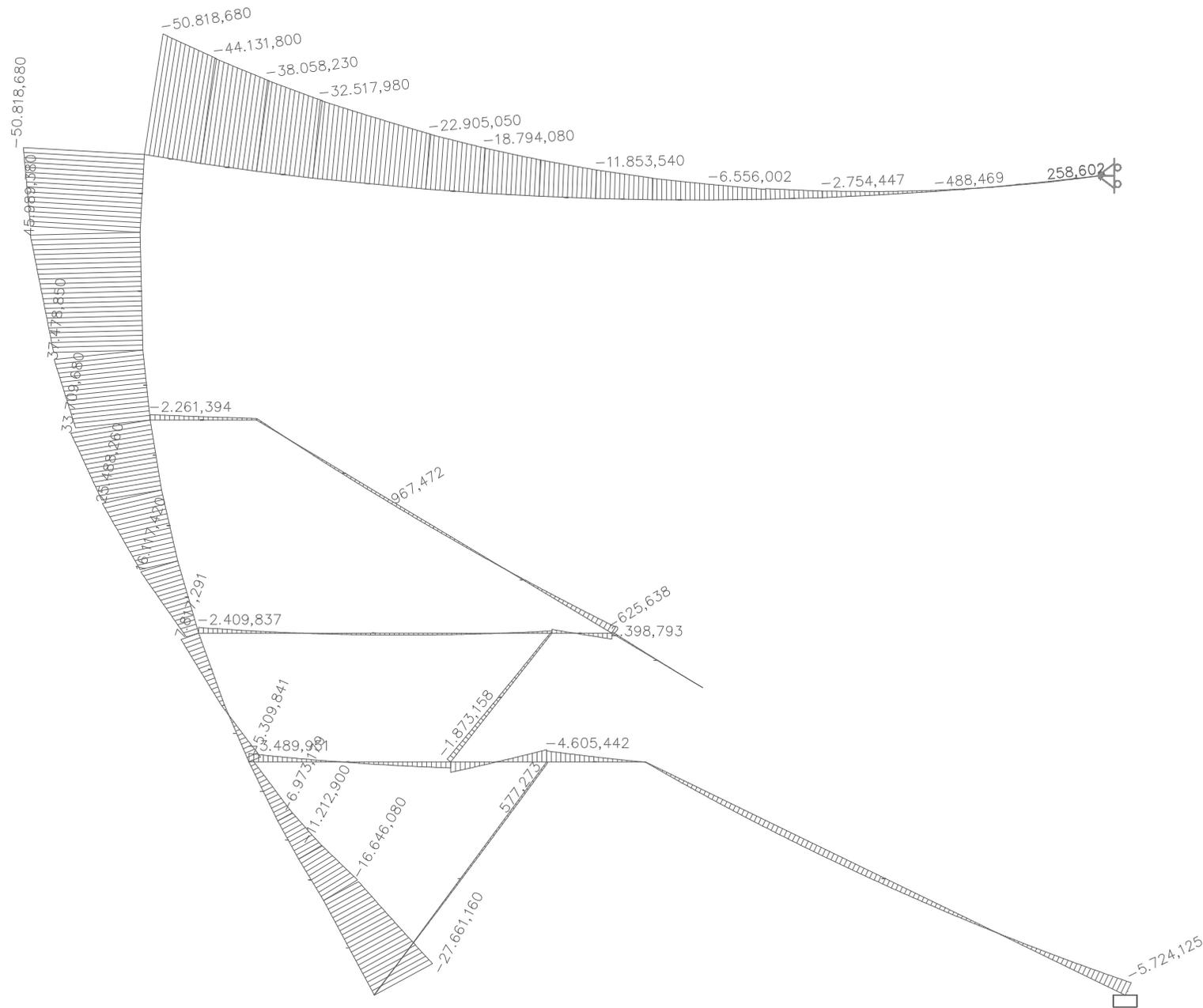
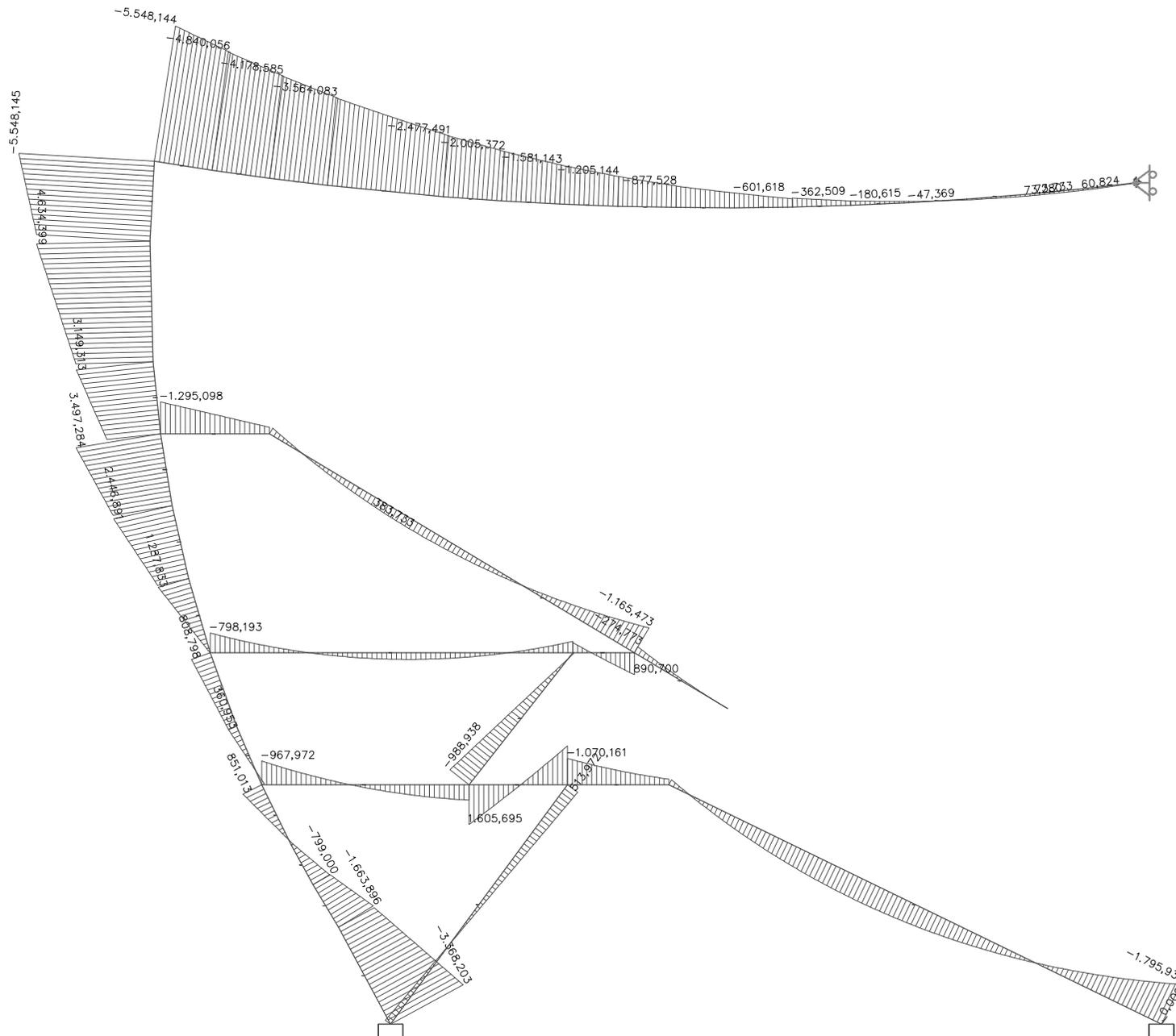


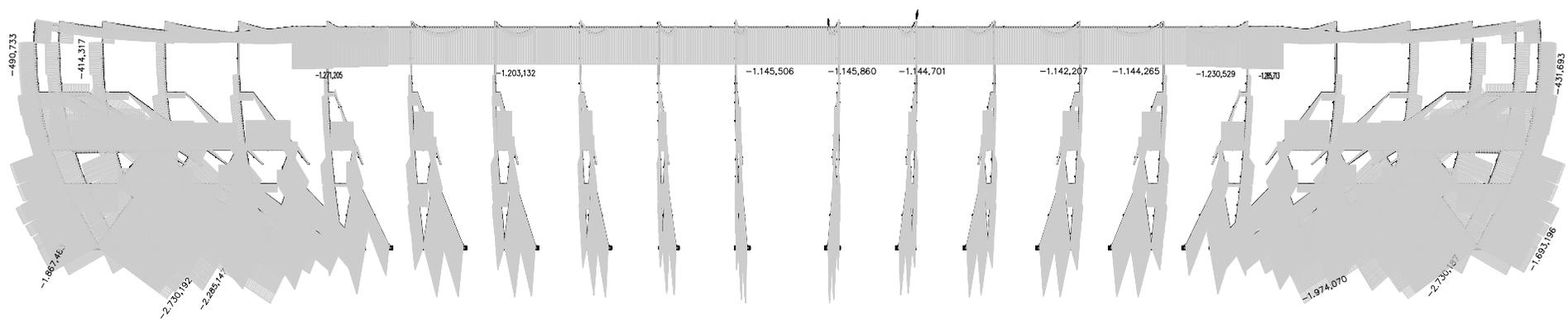
Figura 87. Diagrama de Axiles (KN-m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de pórtico con apoyo deslizante en el eje Z en extremo de voladizo



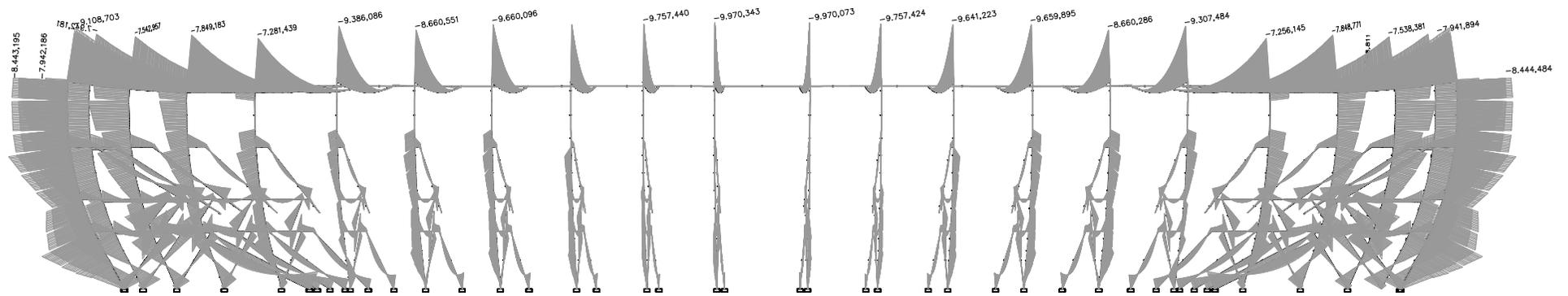
**Figura 88.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de pórtico con apoyo deslizante en el eje Z en extremo de voladizo



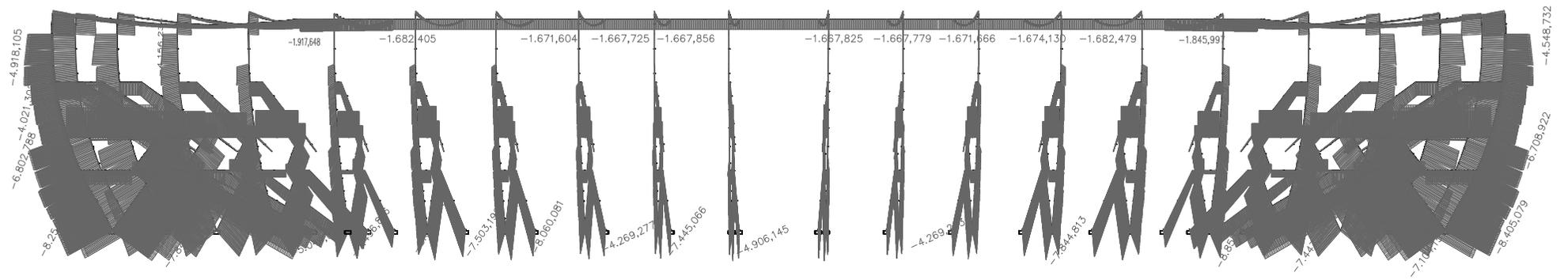
**Figura 89.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN-m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de pórtico con apoyo deslizante en el eje Z en extremo de voladizo



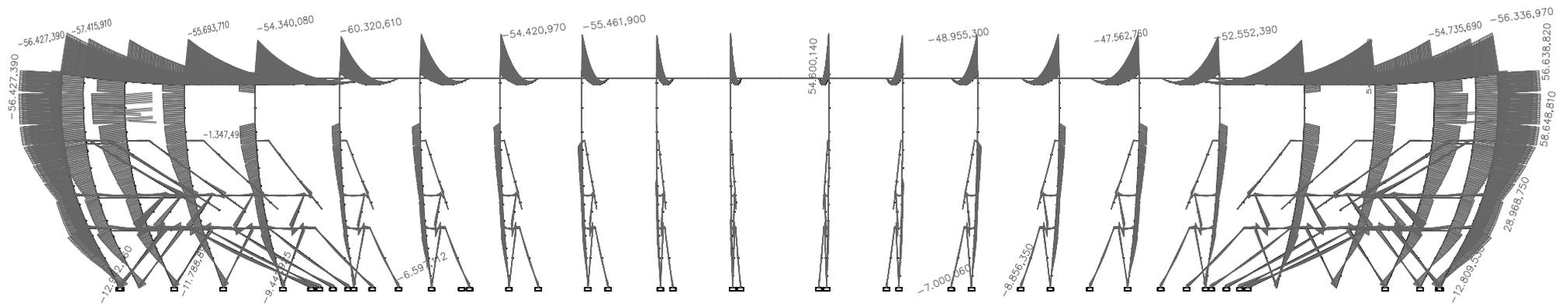
**Figura 90.** Diagrama de Axiles (KN·m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de estadio completo



**Figura 91.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN·m). Combinación ELU-01 (Uso). Modelo de estadio completo



**Figura 92.** Diagrama de Axiles (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de estadio completo



**Figura 93.** Diagrama de momentos flectores en Z (KN-m). Combinación ELU-01 (Peso propio). Modelo de estadio completo

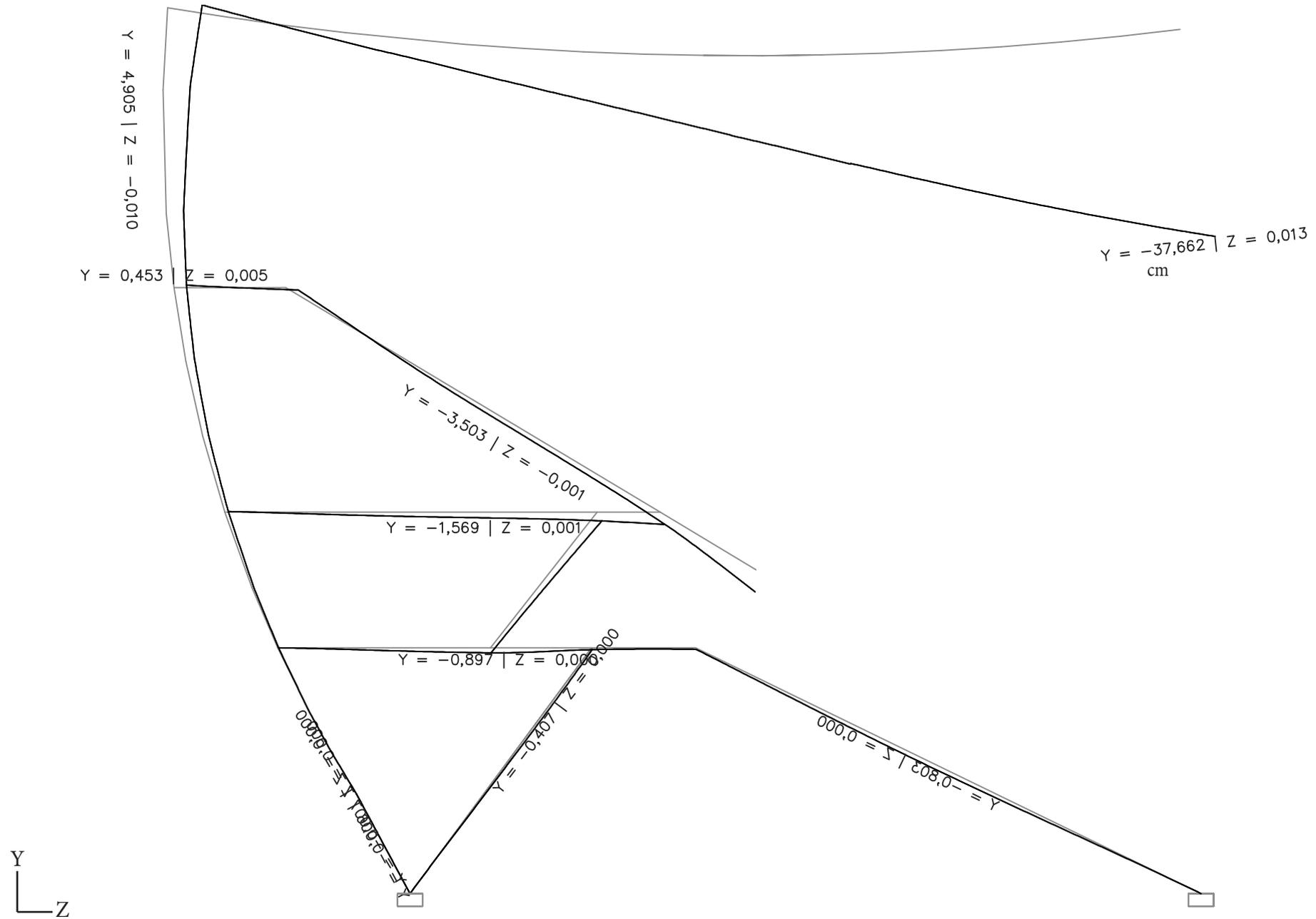
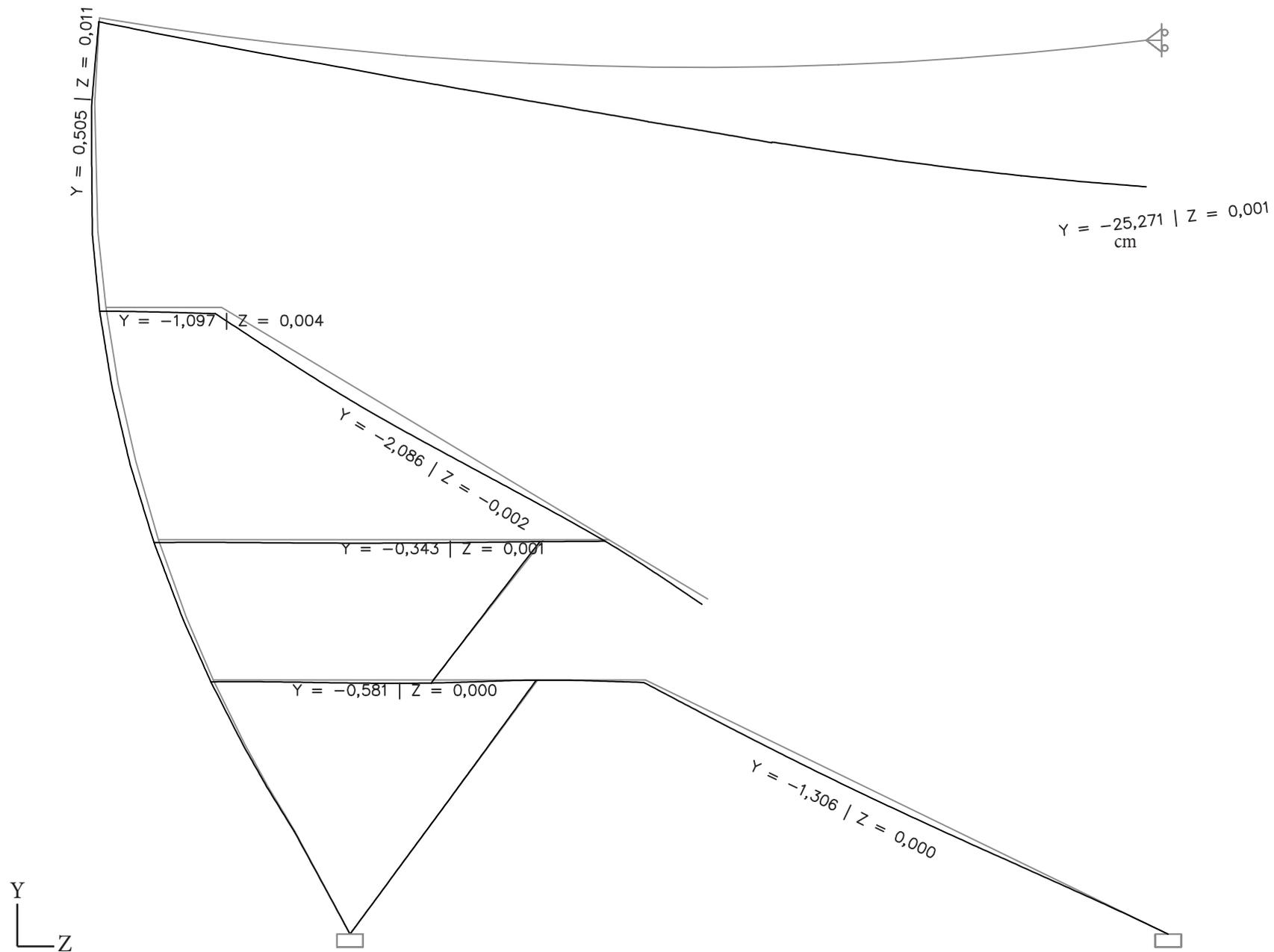


Figura 94. Deformada ELS 01 en cm, pórtico sin apoyo deslizando en extremo de voladizo (YZ Plano del pórtico).



**Figura 95.** Deformada ELS 01 en cm, pórtico con apoyo deslizable en extremo de voladizo.

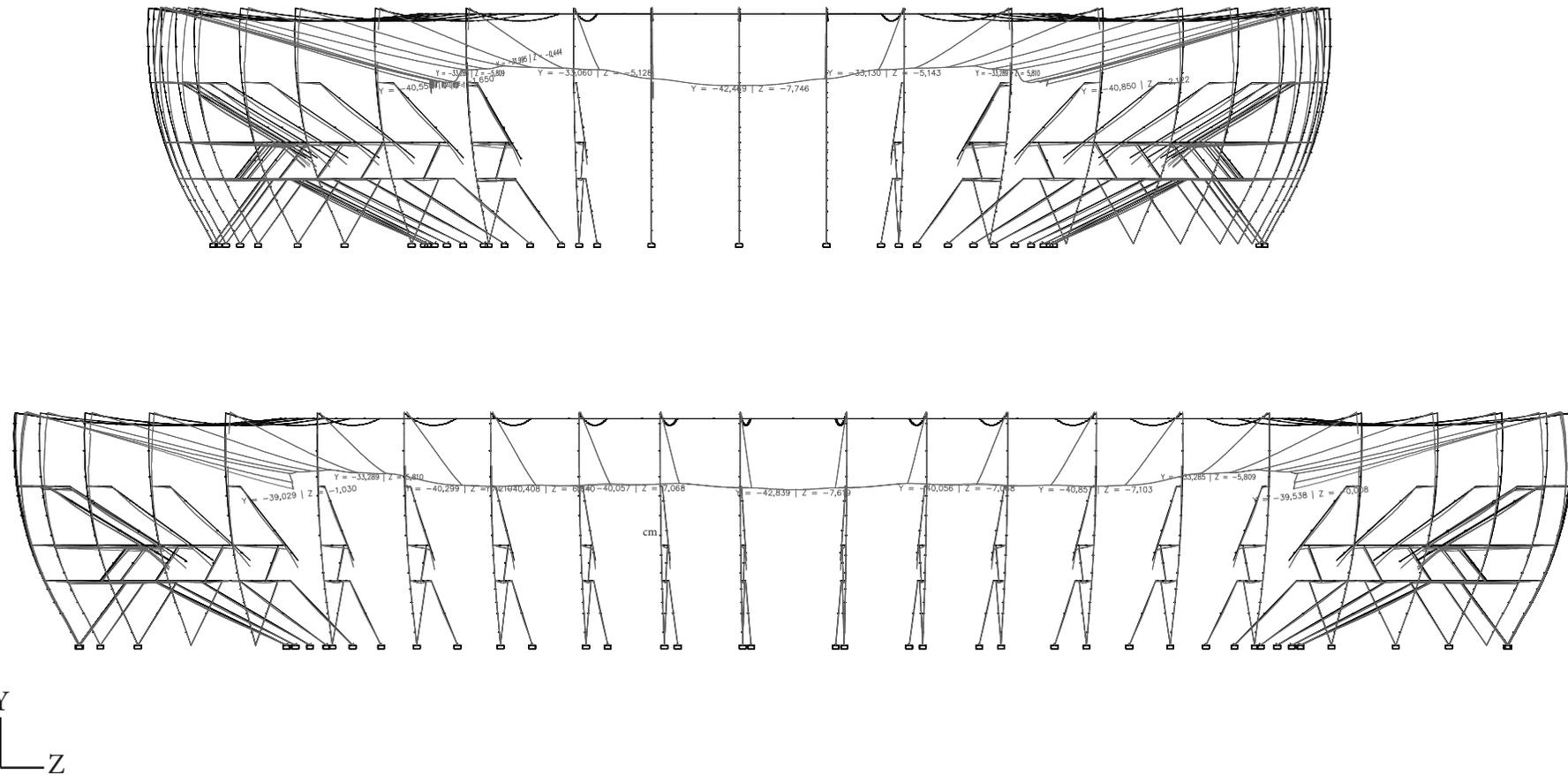


Figura 96. Deformada ELS 01 en cm, estadio completo

### 5.3 Reflexiones sobre la estructura y el proyecto

Se analizan tres casos distintos siempre con modelo de barras:

Caso 1: Pórtico plano sin apoyo en el extremo del voladizo

Caso 2: Pórtico plano con apoyo deslizante en el eje Z (vertical) en el extremo del voladizo, giros libres, pero impidiendo cualquier tipo de desplazamiento horizontal.

Caso 3: Totalidad del espacio en tres dimensiones con anillo central

A partir de los diagramas de esfuerzos obtenidos de los distintos casos estudiados, podemos observar que en el caso 1 dado que no existe ningún apoyo en extremo de voladizo, la cubierta no trabaja a axil. Esto se traduce en que la totalidad de los esfuerzos son asumidos por el soporte y las viga inclinadas que soportan el forjado y el graderío. Sin embargo comparando estos datos con la hipótesis 2, se observa como el voladizo, teniendo el apoyo en extremo hace que este esté trabajando a axil. De este modo el soporte y las vigas inclinadas tienen unos esfuerzos menores que en la hipótesis 1 (13.400 KN frente a 14.500 KN), se valida la hipótesis de que el trabajo tiene papel estructural, estando comprimido y mejorando la distribución de flexiones en el soporte del gran pescante que soporta la cubierta.

Inciendo en las variaciones observadas en el diagrama de flectores, se observa que en el caso 1, en la base del soporte principal hay un momento de 7.500 KN·m, en base de la viga inclinada un momento de 5.500 KN·m y en el punto crítico de la unión del soporte con el voladizo, un momento de 49.900 KN·m. Por otro lado en la hipótesis 2 observamos el mismo valor de momento en la unión soporte con voladizo de 50.000 KN·m pero en base de soporte el momento que se contempla es de 27.600 KN·m pero de signo contrario y en la base de la viga inclinada un momento de 5.724 KN·m. Este aumento de los momentos en la base de soporte y de la viga inclinada es debido al apoyo deslizante en extremo de voladizo que condiciona al conjunto empujando al mismo, de este modo el empuje es absorbido por la cimentación. Sin embargo, tal y como se ha mencionado, la distribución de flectores en el soporte es más benigna.

Se deduce como en la hipótesis 1 el soporte tiene unas solicitaciones mayores que en la hipótesis 2, 46.600 KN·m frente a 37.000 KN·m en la hipótesis 2. Esto nos da una pista acerca de que el soporte en hipótesis 1 está expuesto a más solicitaciones por lo que el apoyo en extremo de voladizo colabora con el correcto funcionamiento del mismo quitándole carga.

Además se reconoce de qué manera la deformada de la hipótesis dos está subordinada por la presencia del apoyo deslizante a modo de anillo central. De esta forma diferenciamos una flecha en extremo de voladizo en la hipótesis 1 de 37,66 cm frente a una flecha de 25,271 cm en la hipótesis 2.

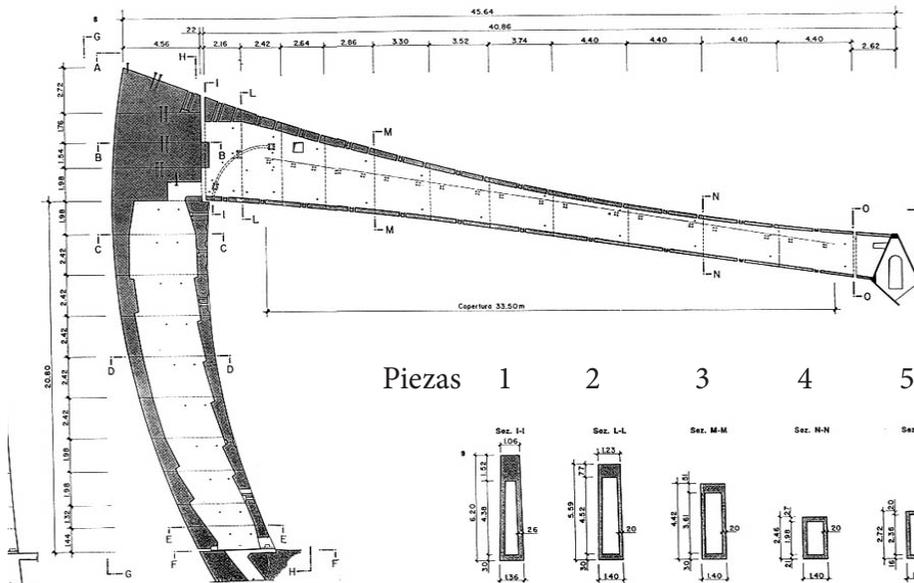
Se observa en la deformada del estadio completo que hay una mayor distorsión en el modelado completo mayor que en las dos hipótesis estudiadas anteriormente. Esta mayor alteración se debe a que la presencia del anillo central no mejora el comportamiento respecto a las deformaciones debido al efecto que su propio peso supone.

## 6. Conclusiones

### 6.1 Conclusiones generales

Con la ayuda de una hoja Excel se trata de estimar el área de acero necesaria para las 5 secciones tipo encontradas en el detalle. Se toma como referencia las 5 secciones tipo y se calcula el área de acero requerida para cada esfuerzo al que está sometida la pieza.

Se toman los esfuerzos de las dos hipótesis de carga para la comprobación del pretensado de cada pieza. Cada una está sometida a su respectivo momento flector y con este estimamos la tensión máxima a compresión. El pretensado tiene la misión de conseguir provocar una compresión uniforme que elimine las tracciones producidas por la flexión. De esta forma se evita la aparición de tensiones de tracción cuyo efecto se suple por descompresión y se comprueba que la nueva tensión de compresión máximo, fruto ahora de la compresión debida a la flexión más la debida al postesado, no supere la tensión admisible del hormigón. Adoptamos un hormigón HA-60 para cumplir con la condición de  $C+T < \text{compresión admisible del hormigón}$ .



Piezas 1 2 3 4 5

SECCION		6 * 1.3 * 2.2	
He	6 m	Hi	5.5 m
Be	1.3 m	Bi	1.1 m
Ymax	he/2	3 m	
Iz	$[(be \cdot he^3)/12] / [(bi \cdot h^3)/12]$	8,149 m <sup>4</sup>	0,008148958333
	Md	Coef mayoraci	Md*coef
Peso propio	49373	1,35	66653,55
Uso	5288	1,5	7932
	total		74585,55 KN*m
$\sigma_{max}(T)$	$(Mz/Iz) \cdot y_{max}$	27458,31	KN/m <sup>2</sup>
Área	$(Be \cdot He) - (Bi \cdot Hi)$	1,75	m <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	1391,30 MPa		
$\sigma_{cmin}(c) = \sigma_{cmax}(t)$			
Npretensado	$\sigma_{cmax}(T) \cdot \text{Área}$	48052,05	N
Área	Npretensado/f <sub>yd</sub>	34,537	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}(T)^2$	54916,62636	KN/m <sup>2</sup>	
	54,91662636	Mpa	< 55 Mpa

Figura 97. Tabla pieza 1

SECCION		5.5 * 1.4 * 2.4	
He	5.5 m	Hi	5 m
Be	1.4 m	Bi	1.2 m
Ymax	he/2	2,75 m	
Iz	$[(be \cdot he^3)/12] / [(bi \cdot h^3)/12]$	6,910 m <sup>4</sup>	
	Md	Coef mayoraci	Md*coef
Peso propio	45500	1,35	61425
Uso	4100	1,5	6150
	total		67575 KN*m
$\sigma_{max}(T)$	$(Mz/Iz) \cdot y_{max}$	26891,47	KN/m <sup>2</sup>
Área	$(Be \cdot He) - (Bi \cdot Hi)$	1,7	m <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	1391,30 MPa		
$\sigma_{cmin}(c) = \sigma_{cmax}(t)$			
Npretensado	$\sigma_{cmax}(T) \cdot \text{Área}$	45715,50	N
Área	Npretensado/f <sub>yd</sub>	32,858	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}(T)^2$	53782,93639	KN/m <sup>2</sup>	
	53,78293639	Mpa	< 55 Mpa

Figura 98. Tabla pieza 2

SECCION		4.4 * 1.4 * 3	
He	4.4 m	Hi	3.9 m
Be	1.4 m	Bi	1.2 m
Ymax	he/2	2,2 m	
Iz	$[(be \cdot he^3)/12] / [(bi \cdot h^3)/12]$	4,006 m <sup>4</sup>	
	Md	Coef mayoraci	Md*coef
Peso propio	32000	1,35	43200
Uso	3500	1,5	5250
	total		48450 KN*m
$\sigma_{max}(T)$	$(Mz/Iz) \cdot y_{max}$	26608,04	KN/m <sup>2</sup>
Área	$(Be \cdot He) - (Bi \cdot Hi)$	1,48	m <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	1391,30 MPa		
$\sigma_{cmin}(c) = \sigma_{cmax}(t)$			
Npretensado	$\sigma_{cmax}(T) \cdot \text{Área}$	39376,94	N
Área	Npretensado/f <sub>yd</sub>	28,302	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}(T)^2$	53212,07785	KN/m <sup>2</sup>	
	53,21207785	Mpa	> 55 Mpa

Figura 99. Tabla pieza 3

SECCION		2.4 * 1.4 * 4.4	
He	2.4 m	Hi	1.9 m
Be	1.4 m	Bi	1.2 m
Ymax	he/2	1,2 m	
Iz	$[(be \cdot he^3)/12] / [(bi \cdot h^3)/12]$	0,927 m <sup>4</sup>	
	Md	Coef mayoraci	Md*coef
Peso propio	500	1,35	675
Uso	600	1,5	900
	total		1575 KN*m
$\sigma_{max}(T)$	$(Mz/Iz) \cdot y_{max}$	2039,05	KN/m <sup>2</sup>
Área	$(Be \cdot He) - (Bi \cdot Hi)$	1,08	m <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	1391,30 MPa		
$\sigma_{cmin}(c) = \sigma_{cmax}(t)$			
Npretensado	$\sigma_{cmax}(T) \cdot \text{Área}$	2202,18	N
Área	Npretensado/f <sub>yd</sub>	1,583	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}(T)^2$	4078,109828	KN/m <sup>2</sup>	
	4,078109828	Mpa	< 55 Mpa

Figura 100. Tabla pieza 4

SECCION	2,7* 1,4* 4,4		
He	2,7 m	Hi	2,2 m
Be	1,4 m	Bi	1,2 m
Ymax	he/2		1,35 m
Iz	$[(be*he^3)/12] / [(bi*hi^3)/12]$		1,232 m <sup>4</sup>
Md		Coef mayoraci3n	Md'coef
Peso propio	500	1,35	675
Uso	600	1,5	900
		total	1575 KN*m
$\sigma_{max}(T)$	$(Mz/Iz)*y_{max}$	1726,48	KN/m <sup>2</sup>
Área	$(Be*He)-(Bi*Hi)$	1,14	m <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	1391,30		MPa
$\sigma_{cmin}(c)=\sigma_{cmax}(t)$			
Npretensado	$\sigma_{cmax}(T)*Área$	1968,19	N
Área	Npretensado/f <sub>yd</sub>	1,415	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}(T)^2$	3452,965775		KN/m <sup>2</sup>
	3,452965775		Mpa
			< 55 Mpa

Figura 101. Tabla pieza 3



Variaci3n del diámetro: de 2,0 mm a 7,0 mm  
 estirado en frío, relajaci3n normal (8%), relajaci3n baja (2,5%)  
 lisos y con dientes de 3 lados  
 Resistencia a la tensi3n: de 1600 a 1800 MPa  
 Compuesto por: rollos con un peso de 100 kg a 1000 kg dependiendo del diámetro

Figura 104. Resistencia acero del pretensado

Clase de hormig3n	Resistencia especificada a compresi3n f <sub>c</sub> (MPa)	A utilizar en hormigones
H - 15	15	simple
H - 20	20	simple y armados
H - 25	25	Simple, armados y pretensados
H - 30	30	
H - 35	35	
H - 40	40	
H - 45	45	
H - 50	50	
H - 60	60	

CIRSOC 2002 (ACI) ENVIENGINA

**Ej. H-25 →**  
f'<sub>c</sub> = 25MPa

Figura 103. Tabla compresi3n admisible del hormig3n

Diámetro [mm]	Secci3n [cm <sup>2</sup> ]	Peso [Kg/m]
6 mm	0.283	0.222
8 mm	0.503	0.395
10 mm	0.785	0.617
12 mm	1.131	0.888
16 mm	2.011	1.578
20 mm	3.142	2.466
25 mm	4.909	3.853
32 mm	8.042	6.313
40 mm	12.566	9.865

Figura 102. Clasificaci3n predimensionado barras de acero seg3n la normativa espaola

## 6.2 Conclusiones espec3ficas en materia estructural

Teniendo en cuenta que se plantea un acero con una resistencia a tensi3n de 1600 MPa y que el área m3xima obtenida es de 34,53 mm<sup>2</sup>, acorde con la tabla (Fig.101) se adoptan redondos de 25 mm. De esta forma las tracciones provocadas por el momento flector principal quedan compensadas y obtenemos una compresi3n m3xima de 54 MPa.

Dado los resultados obtenidos a traves de los diagramas, se ha podido observar el rol crucial que desempeña el anillo central. Aporta estabilidad y mejora el comportamiento de las flexiones y, al estar comprimido, se puede deducir que el brazo horizontal del pescante se apoya sobre el mismo horizontalmente. Del mismo modo y como ya se ha estudiado, al ser el soporte un elemento independiente de la estructura del grader3o, tambi3n puede interpretarse que dicha estructura actúa tambi3n como contrafuerte evitando la tendencia al vuelco hacia el interior del gran pescante de la cubierta.

En definitiva, se ha podido apreciar la complejidad de diseo, ejecuci3n y organizaci3n que tienen proyectos de esta envergadura. Se destaca la capacidad que se ha tenido a la hora de desarrollar este proyecto que, no solo ten3a que destruir el estadio precedente y construir uno nuevo en su mismo sitio, sino que adem3s hay que aadir que parte de la autov3a del perif3rico se construy3 al mismo tiempo. Se utiliz3 un sistema de fabricaci3n en serie de piezas estructurales de hormig3n armado, de esta manera Estadio del Parque de los Pr3ncipes consigue tener una identidad tan caracter3stica por el material utilizado.

Se distingue una repetic3n de un mismo p3rtico tipo cada 13 metros, la altura de estos va variado de modo que esta alteraci3n volum3trica favorece la evacuaci3n de las aguas pluviales. De esta forma como se ha comentado anteriormente, el soporte queda apoyado en extremo de voladizo que reposa sobre el anillo comprimido.

### 6.3. Conclusiones relacionadas con los ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible cuyos objetivos principales propuestos para el año 2030 son acabar con el hambre, proteger el planeta, e impulsando acciones e iniciativas que favorezcan la paz. Tras haber realizado este Trabajo de Final de Grado se pueden establecer diferentes relaciones de estos objetivos con nuestro proyecto.

El mundo deportivo influye directamente impulsando alguno de los objetivos de desarrollo sostenible. Como objetivo que tiene más peso en relación con las infraestructuras deportivas, se puede destacar el objetivo de la 'salud y bienestar'. El fútbol como otros deportes, promueven la práctica de ejercicio físico de manera habitual y con este, una vida saludable es más fácil de alcanzar a esta mayoría de deportistas.

Por otra parte, otro objetivo que se tiene que tener en cuenta es el que respecta a la 'Industria innovación e infraestructura' ya que la evolución de la sociedad está directamente relacionada con las inversiones en infraestructuras, fomentando de esta manera una mayor estabilidad social. Esto se debe ya que la industria es una de las impulsadoras principales de crecimiento económico y de creación de empleo y, en este caso el PSG ha creado una marca que tiene un impacto en la sociedad francesa como a nivel internacional.

Finalmente teniendo en cuenta solamente el ámbito de la producción y consumo responsables se puede añadir que tanto a la hora de la concepción como en la construcción de esta infraestructura se utilizaron unas técnicas innovadoras reconocidas. Cabe destacar que se construyeron dos proyectos al mismo tiempo, la autovía del periférico y el estadio de fútbol. Una de estas técnicas fue la prefabricación de una mayoría de elementos de hormigón armado, para luego su correcto ensamblado y puesta en obra, de esta forma se optimizan los recursos y se contribuye así con el objetivo de Ciudades y comunidades sostenibles.

## 7. Bibliografía

- Bétremieux, F. (2013). “Les origines du football” L'equipe, <<https://www.lequipe.fr/Coaching/Archives/Actualites/Les-origines-du-football/742550>> (20/06/2021).
- Chabas, S (2012) “Le Parc des Princes fête ses 40 ans dans l'incertitude” Web batiactu, < <https://www.batiactu.com/edito/parc-princes-fete-ses-40-ans-dans-incertitude-diaporama-32267.php>> (11/09/2021).
- De Liébana, J. M. G. (2016). “La gran burbuja del fútbol: Los modelos de negocio que oculta el deporte más importante del mundo” Conecta, < <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=80WtCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=paris+saint+germain+inversion+fichajes&ots=JkexpfzvXa&sig=CYus4w6FqsTXbOrsiBMJ9-M6Ac4#v=onepage&q&f=false>> (30/07/2021).
- Díaz, A (2021) “Estas son las 8 áreas metropolitanas más pobladas de la Unión Europea y sólo 1 de ellas está entre las 50 más pobladas del mundo” La Sexta < Estas son las 8 áreas metropolitanas más pobladas de la Unión Europea y sólo 1 de ellas está entre las 50 más pobladas del mundo> (10/06/2021)
- Goguet, P (2015) “28 antenas de telefonía desplegadas en el Parc des Princes” Culture PSG, < <https://www.culturepsg.com/news/club/28-antennes-de-telephonie-deployees-au-parc-des-princes/5869>> (11/05/2021).
- Football Ground Guide. (2020). “Web de Football Ground Guide” <<https://footballgroundguide.com/leagues/europe-1/france/paris-saint-germain-stadium.html>> (11/05/2021).
- Info Stades (2012) “Parc des Princes” Forum Info Stades <<http://www.info-stades.fr/forum/ligue1/paris-parc-des-princes-t10-1230.html>> (11/09/2021).
- Lanfranchi&Wahl,(2008). “La profesionalización del fútbol en Francia” Taylor Francis Online, <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09639489808456436>> (14/08/2021).
- Margarit, I. (2018). “Los orígenes del fútbol” La Vanguardia, < <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/mas-historias/20180706/47311166091/los-origenes-del-futbol.html>> (14/08/2021).
- Orlandini, A, (2009). Le stade du Parc des Princes. Francia. (09/07/2021)
- Pérez-García, A., Alonso Durá, A., Gómez-Martínez, F., Alonso Ávalos, J.M. and Lozano Lloret, P. (2014). Architrave-UPV [Online]. Disponible: [www.architrave.es](http://www.architrave.es) (14/08/2021).
- PSG FC (2021). “Web oficial del PSG” Página web del PSG <<https://www.psg.fr/>> (07/06/2021).
- Sabbah, C (2010). “Le parc des Princes, un stade inscrit dans l'urbanité” Le moniteur, <<https://www.lemoniteur.fr/article/le-parc-des-princes-un-stade-inscrit-dans-l-urbanite.1014584>> (25/07/2021).
- Wikimedia Commons “Cuál es el origen del fútbol” Web bubble football, <<https://www.bubblefootball.es/blog/origen-futbol/>> (04/05/2021)
- Wikimedia Commons “Le nouveau Parc des Princes” [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/presse-p-c.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/presse-p-c.html)> (22/05/2021)
- Smink, V. (2014). “¿Quién inventó el fútbol: los ingleses o los guaraníes?” BBC, < [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140827\\_deportes\\_futbol\\_guarani\\_vs](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140827_deportes_futbol_guarani_vs)> (11/04/2021).
- Wikimedia Commons (2021). ‘Paris’ < <https://en.wikipedia.org/wiki/Paris> > (03/05/2021).
- Wikimedia Commons (2021). “Stade du Parc des Princes” <<https://www.stadium-guide.com/parcdesprinces/>> (11/09/2021).
- Wikimedia Commons (2021). “Parc des Princes” <<https://amp.en.google-info.cn/761302/1/parc-des-princes.html>> (03/05/2021).
- Williams, H. (2019). “Weigl Publishers” <<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VcK2DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=psg+stadium+architecture&ots=6m0YZXiuqx&sig=KE8fhvp6Tdi90XQ42nmt24NH6tg#v=onepage&q&f=false>> (24/08/2021).
- Wikimedia Commons (2021). ‘Parque de los Príncipes’ < [https://es.wikipedia.org/wiki/Parque\\_de\\_los\\_Pr%C3%ADncipes](https://es.wikipedia.org/wiki/Parque_de_los_Pr%C3%ADncipes)> (03/05/2021).

## 8. Índice de figuras.

[Figura.1]: Página 8. Fuente: <https://www.nippon.com/es/jip/p00112/>

[Figura.2]: Página 8. Fuente: Escudo del English Football Association [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Football\\_Association](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Football_Association)

[Figura.3]: Página 8. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/mas-historias/20180706/47311166091/los-origenes-del-futbol.html#foto-3>

[Figura.4]: Página 8. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/mas-historias/20180706/47311166091/los-origenes-del-futbol.html#foto-4>

[Figura.5]: Página 8. Fuente: <https://colgadosporelfutbol.com/el-primer-partido-de-futbol-de-la-historia/>

[Figura.6]: Página 9. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Copa\\_de\\_Francia\\_1917-1918](https://es.wikipedia.org/wiki/Copa_de_Francia_1917-1918)

[Figura.7]: Página 9. Fuente: <https://kriplit.com/olympique-lillois/>

[Figura.8]: Página 9. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ligue\\_1](https://es.wikipedia.org/wiki/Ligue_1)

[Figura.9]: Página 10. Fuente: <https://www.getyourguide.es/catedral-de-notre-dame-l3230/>

[Figura.10]: Página 10. Fuente: <https://www.mochileandoporelmundo.com/cosas-que-hacer-ver-en-paris-lo-mejor/>

[Figura.11]: Página 10. Fuente: <https://buendiatours.com/es/guias/paris/defense>

[Figura.12]: Página 11. Fuente: <https://colgadosporelfutbol.com/la-lucha-imposible-de-los-equipos-franceses/>

[Figura.13]: Página 11. Fuente: <https://www.sportbible.com/football/news-psg-owners-qatar-sports-investments-are-looking-to-buy-an-english-club-20190412>

[Figura.14]: Página 11. Fuente: [https://as.com/futbol/2018/11/10/internacional/1541835842\\_969745.html](https://as.com/futbol/2018/11/10/internacional/1541835842_969745.html)

[Figura.15]: Página 11. Fuente: <https://www.libertaddigital.com/deportes/futbol/2021-08-14/locura-con-la-presentacion-de-messi-y-ramos-con-el-psg-6809760/>

[Figura.16]: Página 12. Fuente: <https://histoiredupsg.fr/120-aujourd'hui-anniversaire-parc-princes>

[Figura.17]: Página 12. Fuente: <https://histoiredupsg.fr/120-aujourd'hui-anniversaire-parc-princes>

[Figura.18]: Página 12. Fuente: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Parc\\_des\\_Princes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Parc_des_Princes)

[Figura.19]: Página 12. Fuente: <https://histoiredupsg.fr/120-aujourd'hui-anniversaire-parc-princes>

[Figura.20]: Página 13. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.21]: Página 13. Fuente: <http://psgcommunity.fr/se-rendre-au-parc-des-princes/>

[Figura.22]: Página 13. Fuente: [https://www.leberry.fr/chatres-sur-cher-41320/actualites/architecte-du-parc-des-princes-le-solognot-roger-taillibert-batisseur-devant-l-eternel\\_12876611/](https://www.leberry.fr/chatres-sur-cher-41320/actualites/architecte-du-parc-des-princes-le-solognot-roger-taillibert-batisseur-devant-l-eternel_12876611/)

[Figura.23]: Página 14. Fuente: <http://www.cosmovisions.com/monuEpidaure.htm>

[Figura.24]: Página 14. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Teatro\\_de\\_Epidauro](https://es.wikipedia.org/wiki/Teatro_de_Epidauro)

[Figura.25]: Página 14. Fuente: <https://coliseoromano.net/medidas/>

[Figura.26]: Página 15. Fuente: <http://www.info-stades.fr/forum/ligue1/paris-parc-des-princes-t10-4335.html>

[Figura.27]: Página 15. Fuente: [https://www.leberry.fr/chatres-sur-cher-41320/actualites/architecte-du-parc-des-princes-le-solognot-roger-taillibert-batisseur-devant-l-eternel\\_12876611/](https://www.leberry.fr/chatres-sur-cher-41320/actualites/architecte-du-parc-des-princes-le-solognot-roger-taillibert-batisseur-devant-l-eternel_12876611/)

[Figura.28]: Página 16. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.29]: Página 17. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.30]: Página 18. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.31]: Página 19. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.32]: Página 20. Fuente: <https://www.bola.com/dunia/read/2430840/stadion-piala-eropa-2016-parc-des-princes>

[Figura.33]: Página 20. Fuente: <https://www.lemonde.fr/blog/latta/2012/01/24/faudra-t-il-sauver-le-parc-des-princes/>

[Figura.34]: Página 20. Fuente: <https://www.culturepsg.com/news/club/les-nouveaux-bancs-de-touche-du-parc-des-princes-devoiles/27829>

[Figura.35]: Página 21. Fuente: <https://www.telarama.fr/scenes/roger-taillibert,-larchitecte-du-parc-des-princes,-est-mort,n6454012.php>

[Figura.36]: Página 21. Fuente: <http://www.psg70.fr/Html/Parc.php>

[Figura.37]: Página 21. Fuente: <https://www.gettyimages.es/detail/fotograf%C3%A1a-da-de-noticias/the-parc-des-princes-stadium-designed-by-fotograf%C3%A1a-da-de-noticias/639620899>

[Figura.38]: Página 21. Fuente: <https://www.gettyimages.es/detail/fotograf%C3%A1a-da-de-noticias/the-parc-des-princes-stadium-designed-by-fotograf%C3%A1a-da-de-noticias/639620899>

[Figura.39]: Página 21. Fuente: <http://www.psg70.fr/Html/Parc.php>

[Figura.40]: Página 21. Fuente: <https://histoiredupsg.fr/120-aujourd'hui-anniversaire-parc-princes>

[Figura.41]: Página 22. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.42] : Página 2. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.43]: Página 22. Fuente: <https://www.pinterest.ca/miguelchuck/stade-olympique-refresh-2017-and-construction-1976/>

[Figura.44]: Página 22. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.45]: Página 22. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.46]: Página 23. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.47]: Página 24. Fuente: <https://www.objectifgard.com/2020/04/01/fait-du-jour-nimes-olympique-il-y-a-50-ans-vent-de-folie-sur-le-parc-des-princes/>

[Figura.48]: Página 24. Fuente: <http://www.info-stades.fr/forum/ligue1/paris-parc-des-princes-t10-4725.html>

[Figura.49]: Página 24. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.50]: Página 24. Fuente: Orlandini, A, (2009), Le estade du parc des Princes

[Figura.51]: Página 24. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/chantier/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/chantier/index.html)

[Figura.52]: Página 25. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.53]: Página 25. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.54]: Página 25. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.55]: Página 25. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.56]: Página 26. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.57]: Página 26. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.58]: Página 26. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.59]: Página 27. Fuente: <http://www.psg70.fr/Html/Parc.php>.

[Figura.60]: Página 27. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.61]: Página 27. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.62]: Página 27. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.63] : Página 28. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.64]: Página 28. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.65]: Página 28. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.66] : Página 29. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.67] : Página 29. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.68]: Página 30. Fuente: [http://mignon.frederic.free.fr/19980630\\_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html](http://mignon.frederic.free.fr/19980630_ParcPrinces/accueil/projet/conception/index.html)

[Figura.69] : Página 31. Fuente: Código técnico de la Edificación.

[Figura.70] : Página 32. Fuente: Código técnico de la Edificación.

[Figura.71]: Página 32. Fuente:<https://www.dlupal.com/es/zonas-de-cargas-para-nieve-viento-y-sismos/nieve-nf-en-1991-1-3.html#&center=46.42926927764792,2.20833250000001&zoom=5&marker=48.854663,2.346203>

[Figura.72]: Página 33. Fuente: <http://www.psg70.fr/Html/Parc.php>

[Figura.73]: Página 34. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.74]: Página 35. Fuente:<https://lh3.googleusercontent.com/u5N3o7CD1zZwDuNxvsQh8qMsYdUKw-1T4Jq-V8g0zYkKkt7sV1Zi393FoTQ9AmOC2dreRKQ=s106>

[Figura.75]: Página 36. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.76]: Página 37. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.77]: Página 37. Fuente:Elaboración propia.

[Figura.78]: Página 37. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.79] : Página 37. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.80] : Página 37. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.81] : Página 38. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.82] : Página 39. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.83]: Página 40. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.84] : Página 41. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.85] : Página 42. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.86] : Página 43. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.87] : Página 44. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.88] : Página 45. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.89] : Página 46. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.90] : Página 47. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.91] : Página 48. Fuente:Elaboración propia.

[Figura.92]: Página 49. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.93] : Página 50. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.94] : Página 51. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.95] : Página 52. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.96] : Página 53. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.97] : Página 55. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.98]: Página 55. Fuente: <https://marcelopardo.com/diametros-de-acero-diferencias-entre-acero-en-mm-y-pulg/>

[Figura.99]: Página 55. Fuente: <http://www.psg70.fr/Html/Parc.php>

[Figura.100]: Página 55. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.101]: Página 54. Fuente: Elaboración propia.

[Figura.102]: Página 54. Fuente: <https://marcelopardo.com/diametros-de-acero-diferencias-entre-acero-en-mm-y-pulg/>.

[Figura.103]: Página 54. Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/7401/apuntesclases/Clase04-FIUBA-Materiales-2013.pdf>

[Figura.104]: Página 54. Fuente: <https://www.bekaert.com/es-MX/productos/construccion/refuerzo-de-hormigon/alambres-para-hormigon-pretensado>