



Universidad de Valladolid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

PROPUESTA DE REFORMA
DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN
EN EL ESTADIO JOSÉ ZORRILLA DE VALLADOLID:
FUNCIONAMIENTO SOSTENIBLE
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Presentado por:

Diego Guerra Diez

Tutelado por:

Alberto Meiss

Departamento de Construcciones arquitectónicas, Ingeniería del terreno
y Mecánica de los medios constitutivos y Teoría de estructuras.

Valladolid, 3 de julio de 2019



ETSAVA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

PROPUESTA DE REFORMA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN
EN EL ESTADIO *JOSÉ ZORRILLA* DE VALLADOLID:
FUNCIONAMIENTO SOSTENIBLE
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Autor:

Guerra Diez, Diego

Tutor:

Alberto Meiss

Departamento de Construcciones arquitectónicas, Ingeniería del terreno
y Mecánica de los medios constitutivos y Teoría de estructuras



AGRADECIMIENTOS

Para empezar, quiero agradecer a mis profesores en la Escuela de Arquitectura de Valladolid los amplios y variados conocimientos que me han transmitido durante los cinco años de formación que ha durado el Grado y, en particular, a mi tutor Alberto Meiss, que me ha contagiado su pasión por hacer que las instalaciones de los edificios sean realmente sostenibles. Con su ayuda, he empezado a entender lo que significa la eficiencia energética, los beneficios que tiene en el confort de los usuarios y en el ahorro económico de un edificio; que no se trata de una simple etiqueta, sino un compromiso real con el medio ambiente.

También quiero agradecer al Real Valladolid CF, SAD, en la persona de su director general, Jorge Santiago Villafañe, la amabilidad en el trato recibido, la disponibilidad que tuvo a la hora de facilitarme las pertinentes visitas al estadio, así como la confianza demostrada al proporcionarme la documentación necesaria (planos y fotos) para la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Como socio del “pucela” he tenido que sufrir en muchas ocasiones las condiciones de nuestro estadio, que muchos conocen como “de la pulmonía”. Por eso, me sentí muy afortunado de poder unir en este trabajo mis dos pasiones: la arquitectura y el fútbol.

Y en tercer lugar, pero no menos importante, quiero dar las gracias a mi familia, por estar siempre ahí y apoyarme. Sin su estímulo diario y su visión positiva de las cosas —sobre todo en los malos momentos—, no hubiera sido posible llegar al final del Grado. En definitiva, les agradezco cada uno de sus consejos y de sus críticas, que me han permitido mejorar el rigor técnico de este trabajo a través de la constancia y del esfuerzo.

Diego Guerra Diez

En Valladolid, a 3 de julio de 2019



RESUMEN

La rehabilitación energética es una apuesta necesaria para que la gestión de los edificios —también de los recintos deportivos— evolucione hacia un modelo de explotación polivalente, capaz de garantizar el confort de los espectadores sin olvidar el necesario equilibrio entre la actividad de ocio y el respeto al medio ambiente.

El estadio *José Zorrilla* fue construido en el año 1982 pero, aunque ha sido objeto de diversas reformas, sobre sus instalaciones apenas se han realizado labores de mantenimiento más allá de las obligadas inspecciones reglamentarias (OCA). Por ello, el presente TFG se propone definir una alternativa más sostenible y eficiente al sistema de climatización actual que existe en el estadio.

Para ello, se ha realizado una recogida de datos en el propio estadio, se han repasado algunas de las mejores reformas de climatización en estadios de todo el mundo y, después de estudiar varios de los sistemas que ofrece el mercado para climatizar grandes espacios, se ha escogido el sistema *Zehnder* de techo radiante.

La parte más extensa del trabajo está dedicada a la aplicación, teórica y gráfica, de este sistema a tres zonas del estadio *José Zorrilla*: En el vestuario y en los palcos VIP se aplica el modelo NIC de *Zehnder*; y en la tribuna oeste, se aplica el modelo ZIP de *Zehnder*.

Como conclusión, la instalación propuesta mejora sensiblemente la eficiencia energética y el confort de los usuarios, revelándose como una opción de rehabilitación muy viable de acometer.

PALABRAS CLAVES

Estadio, Climatización, Calefactores de infrarrojos, Sistemas radiantes, Desarrollo sostenible, Eficiencia energética, Radiación, Convección.



ABSTRACT

Energy rehabilitation is a necessary bet so that the management of the buildings — also of the sporting enclosures— evolves towards a polyvalent exploitation model, able to guarantee the comfort of the spectators without forgetting the necessary balance between the leisure activity and the respect to the environment.

José Zorrilla stadium was built in 1982 but, although it has been subject to various reforms, its maintenance facilities have hardly been carried out beyond the obligatory regulatory inspections (OCA). Therefore, this TFG aims to define a more sustainable and efficient alternative to the current air conditioning system that exists in the stadium.

For this, a data collection was carried out in the stadium itself, some of the best air conditioning reforms were reviewed in stadiums around the world and, after studying several of the systems offered by the market for air conditioning large spaces, it was chosen the *Zehnder* radiant ceiling system.

The most extensive part of the work is dedicated to the application, theoretical and graphic, of this system to three zones of José Zorrilla stadium: In the locker room and VIP boxes the *Zehnder* NIC model is applied; and in the west stand, the *Zehnder* ZIP model is applied.

In conclusion, the proposed installation significantly improves the energy efficiency and comfort of users, revealing itself as a very viable rehabilitation option to undertake.

KEYWORDS

Stadium, Air conditioning, Infrared heaters, Radiant systems, Sustainable development, Energy efficiency, Radiation, Convection.



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN / ABSTRACT.....	3
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	8
INTRODUCCIÓN	19
1. UN ESTADIO PARA LA HISTORIA DEL FÚTBOL	23
1.1. UNA HISTORIA DE 37 AÑOS	23
1.1.1. Partidos internacionales de fútbol.....	24
1.1.2. Conciertos y festivales musicales	24
1.1.3. Partidos de rugby	24
1.2. EL ESTADIO ORIGINAL.....	25
1.2.1 Descripción general.....	25
1.2.2. Características de la estructura	27
1.2.3 Capas del terreno de juego.....	29
1.2.4 Iluminación para retransmisiones por TV.....	29
1.3. REFORMAS Y PROPUESTAS.....	31
1.3.1. Reforma de 1986.....	32
1.3.2. Reforma de 1996.....	32
1.3.3. Reforma de 2000.....	32
1.3.4. Propuesta 2002-2007: Proyecto “Valladolid Arena”	33
1.3.5. Reforma de 2009.....	34
1.3.6. Reforma de 2018.....	34
1.3.7. Remodelación 2019.....	34
2. AUDITORIA: LAS INSTALACIONES DEL ESTADIO	36
2.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA	37
2.1.1. Diagnóstico.....	37
2.1.2. Propuestas de mejora.....	38
2.2. CALDERA DE GAS NATURAL.....	39
2.2.1. Diagnóstico.....	39



2.2.2. Propuestas de mejora.....	40
2.3. ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO	41
2.3.1. Diagnóstico.....	41
2.3.2. Propuestas de mejora.....	43
2.4. CLIMATIZACIÓN (INTERIOR Y EXTERIOR).....	43
2.4.1. Diagnóstico.....	43
2.4.2. Propuestas de mejora.....	45
2.5. DISCUSIÓN.....	45
3. ESTADIOS DEL MUNDO Y SOSTENIBILIDAD	46
3.1. ESTADIO LUZHNIKI MOSCÚ.....	47
3.2. KHALIFA INTERNATIONAL STADIUM RAYÁN.....	48
3.3. ESTADIO MARACANÁ RÍO DE JANEIRO.....	49
3.4. TOTTENHAM HOTSPUR STADIUM LONDRES.....	50
3.5. VITESSE STADION ARNHEM	51
3.6. STAMFORD BRIDGE LONDRES	52
3.7. ŞÜKRÜ SARAÇOĞLU STADYUMU ISTABUL.....	53
3.8. ESTADIO SANTIAGO BERNABÉU MADRID	54
3.9. KEK STADIUM KÜSNACHT	55
4. SISTEMAS RADIANTES DE CLIMATIZACIÓN	56
4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	56
4.2. ZEHNDER: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN POR TECHO RADIANTE.....	59
4.2.1. Funcionamiento y componentes	60
4.2.2. Principios.....	60
4.2.3. Modelos <i>Zenhder</i> elegidos para la propuesta	61
5. APLICACIÓN DE TECHOS ZEHNDER A TRES ZONAS DEL ESTADIO JOSÉ ZORRILLA.....	63
5.1. VESTUARIO Y ESPACIOS COMUNES MODELO NIC.....	63
5.1.1. Componentes	64
5.1.2. Clasificación energética	65
5.1.3. Disposición de los techos NIC 600.....	65
5.1.4. Temperatura irradiada	66
5.1.5. Sensación térmica y confort.....	68



5.2. PALCOS VIP Y DISTRIBUIDORES MODELO NIC.	71
5.2.1. Disposición de los techos NIC 600.....	71
5.2.2. Temperatura irradiada	72
5.2.3. Sensación térmica y confort.....	74
5.3. GRADERÍO DE LA TRIBUNA OESTE MODELO ZIP.	77
5.3.1. Disposición de los módulos ZIP	78
5.3.2. Temperatura irradiada	81
5.3.3. Sensación térmica y confort.....	83
5.4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	85
CONCLUSIONES.....	86
ANEXO I PLANOS DE LA PROPUESTA	
ANEXO II FOTOGRAFÍAS DE LAS INSTALACIONES	
ANEXO III PLANOS DE INFORMACIÓN	

ÍNDICE DE IMÁGENES

1. UN ESTADIO PARA LA HISTORIA DEL FÚTBOL.

Imagen 1 23

Vista aérea del estadio *José Zorrilla* recién construido en 1982, con el centro comercial (abajo a la derecha) y el barrio de Huerta del Rey (fondo).

Fuente: Archivo Municipal de Valladolid.

Imagen 2 25

Planta del estadio *José Zorrilla*, con la propuesta gráfica de futuras ampliaciones previstas en ambos fondos.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la construcción (1981)

Imagen 3 26

Sección constructiva de la tribuna principal, con la distribución por niveles independientes.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la construcción (1981)

Imagen 4 27

Sección constructiva de los fondos, con la situación del acceso, de los bares y de los aseos.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la construcción (1981)

Imagen 5 28

Vista aérea del proceso de construcción de las tribunas laterales del estadio.

Fuente: Archivo Municipal de Valladolid.

Imagen 6 29

Disposición de los pórticos radiales de hormigón armado en la tribuna este, donde aparecen los pilonos sobre el voladizo posterior y los tirantes de acero.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la construcción (1981)

Imagen 7 30

Plano de la iluminancia horizontal, con las curvas *Isolux* calculadas por EUROESTUDIOS, para demostrar que el sistema de iluminación del estadio permitía la retransmisión en color para TV en 1982.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la construcción (1981)

Imagen 8 32

Obras de cerramiento del fondo norte del estadio, para gradas sentadas y palcos. La grada inferior de general todavía se mantuvo para localidades de pie hasta 1996.

Fuente: El Norte de Castilla

Imagen 9 33

Infografía de la propuesta “Valladolid Arena” vista desde el este. El fondo sur del estadio se cierra con un hotel; al norte se localiza una superficie comercial, junto al aparcamiento; y en el lateral oeste se plantea un pabellón “Arena”, multifuncional.

Fuente: 20 minutos

Imagen 10 35

Infografía del estadio sin foso, con las nuevas filas de gradas y la banda de rodadura que preservará el césped del tránsito de las máquinas de mantenimiento.

Fuente: Tribuna de Valladolid

Imagen 11 35

Los banquillos quedarán integrados dentro del graderío. Por encima, varias decenas de butacas VIP.

Fuente: Tribuna de Valladolid

2. AUDITORÍA: LAS INSTALACIONES DEL ESTADIO.

Imagen 12 36

Planta sótano de la tribuna principal. Situación de las instalaciones.

Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor

Imagen 13 37

Bombas del grupo de presión (abastecimiento de agua y riego), situadas en el sótano de la tribuna oeste.

Fuente: Autor

Imagen 14 38

Las tuberías para la conexión entre el aljibe y el grupo de presión están descolgadas del techo para favorecer la manipulación de las válvulas y las llaves del circuito.

Fuente: Autor

Imagen 15 38

El depósito de acumulación de 1000 l. está al servicio del grupo de presión.

Fuente: Autor

Imagen 16	39
Vista de la situación del foso en el estadio, que separa el terreno de juego y el anillo inferior de gradas.	
Fuente: Autor	
Imagen 17	40
Caldera secundaria de gas natural (azul) junto a los depósitos de acumulación de ACS.	
Fuente: Autor	
Imagen 18	40
Caldera principal de gas natural, Modelo ROCA CPA 300.	
Potencia: 348,9 kw Presión máxima: 5 bares Temperatura máxima: 100°	
Fuente: Autor	
Imagen 19	41
Situación de las luminarias en las torres de iluminación.	
Fuente: Autor	
Imagen 20	41
Situación de las luminarias en el borde de la cubierta de las tribunas.	
Fuente: Autor	
Imagen 21	42
Fluorescentes que iluminan la zona mixta (planta sótano).	
Fuente: Autor	
Imagen 22	42
Fluorescentes que iluminan el pasillo de los vestuarios (planta sótano).	
Fuente: Autor	
Imagen 23	42
Cuarto de transformadores (planta sótano) en el que se alinean 30 armarios que contienen los cuadros eléctricos.	
Fuente: Autor	
Imagen 24	44
Sistema <i>inverter</i> : Unidad interior de un palco VIP.	
Fuente: Autor	
Imagen 25	44
Sistema <i>inverter</i> : Unidad exterior para 5 palcos VIP.	
Fuente: Autor	
Imagen 26	45
Calefactor infrarrojo en la tribuna oeste.	
Fuente: Autor	

Imagen 27 45

Calefactor infrarrojo en un pasillo interior de planta sótano.

Fuente: Autor

3. ESTADIOS DEL MUNDO Y SOSTENIBILIDAD.

Imagen 28 47

Uno de los aspectos básicos de la rehabilitación del estadio *Luzhniki* pasó por conservar la fachada histórica del estadio, que es una de las señas de identidad más reconocibles de Moscú.

Fuente: www.construible.es

Imagen 29 48

En la climatización del estadio *Internacional Khalifa*, las boquillas de enfriamiento de las gradas fueron diseñadas especialmente con piezas móviles de plástico que son más duraderas y permiten que el aire sea empujado en mayor volumen y con menos consumo de energía.

Fuente: www.acrlatinoamerica.com

Imagen 30 49

El estadio *Maracanã* recibió la Certificación LEED, concedida por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos.

Entre los parámetros más valorados, destacó por el uso eficiente de la energía y la calidad ambiental conseguida en las dependencias interiores y en el graderío.

Fuente: www.arquimaster.com.ar

Imagen 31 50

En la fase de construcción del estadio *White Hart Lane* se usaron cables para crear un techo más ligero que requirió menos energía y produjo menos desechos durante el montaje. Además, el 75% de los materiales utilizados provenían del antiguo estadio.

Fuente: www.inarquia.es

Imagen 32 51

Estadio *Gelredome*, que cuenta con el sistema de calefacción GoGaS. Exige una mínima labor de mantenimiento porque está especialmente diseñado para su uso al aire libre.

Fuente: www.magnovent.eu

Imagen 33 52

Estadio *Stamford Bridge*, que dispone del sistema *Magnovent* de calefacción radiante.

Al estar descentralizado ofrece la opción de encenderlo por secciones, lo que permite elegir las zonas en las que se desea utilizar la calefacción.

Fuente: www.magnovent.eu

Imagen 34 53

Estadio *Şükrü Saraçoğlu*, cuyas gradas y zonas VIP disponen del sistema *Schwank* de calefacción radiante por infrarrojos.

Es respetuoso con el medio ambiente ya que logra muy bajas emisiones de NOX a la atmósfera.

Fuente: www.schwankgroup.com

Imágenes 35 y 36 54

El estadio *Santiago Bernabéu* será sometido a una profunda renovación que durará cuatro años. Para garantizar el confort en las gradas, se instalará un *Radian Heating System*.

Fuente: www.20minutos.es

Imagen 37 55

Estadio *KEK*, en el que se ha instalado un sistema *Zehnder ZIP* de techo radiante.

La superficie de las chapas está recubierta con un lacado en polvo termoendurecido de alta calidad.

Fuente: www.zehnder.es

4. SISTEMAS RADIANTES DE CLIMATIZACIÓN.

Imagen 38 56

Ejemplo de suelo radiante.

Fuente: www.hidrosun.com

Imagen 39 56

Ejemplo de pared radiante.

Fuente: www.hidrosun.com

Imagen 40 56

Ejemplo de techo radiante.

Fuente: www.presupueston.com.

Imagen 41 58

Subsistemas del sistema radiante de climatización.

Fuente: Autor

Imagen 42 58

Ejemplo de serpentín sencillo, serpentín múltiple y espiral.

Fuente: Autor

Imagen 43 61

Modelo NIC, instalado en una oficina.

Los circuitos mantienen características hidráulicas constantes y se conectan mediante accesorios estándar press fitting y sistema de compresión axial.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 44 62

Modelo ZIP, instalado en un polideportivo.

Los techos radiantes se suministran con un acabado liso. La superficie está galvanizada y, al mismo tiempo, recubierta con una pintura de poliéster de alta calidad (RAL 9016).

Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de *Zehnder*

5. APLICACIÓN DE TECHOS ZEHNDER A TRES ZONAS DEL ESTADIO JOSÉ ZORRILLA

Imagen 45 63

Prototipo de panel NIC-600.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 46 63

Sección de la tubería de agua dentro del panel NIC-600.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 47 64

Dimensiones tipo del panel NIC-600.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 48 64

Esquema de conexión de paneles NIC-600 y circuitos.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 49 64

Despiece del conector *quick-fit*.

Fuente: Catálogo técnico de sistemas NEST de *Zehnder*

Imagen 50 65

Disposición del circuito de climatización desde la sala de calderas hasta el vestuario y las zonas comunes (ver Plano L1).

Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor

Imagen 51 66

Gráfica—planta— de la temperatura irradiada por los calefactores infrarrojos en cada vestuario (ver Plano L3).

Fuente: Autor

Imagen 52 66

Gráfica—sección— de la temperatura irradiada por los calefactores infrarrojos en cada vestuario (ver Plano L4).

Fuente: Autor

Imagen 53	67
Gráfica—planta— de la temperatura obtenida por los techos NIC 600 en vestuarios y zonas comunes (ver Plano L5)	
Fuente: Autor	
Imagen 54	67
Gráfica—sección— de la temperatura obtenida con los techos NIC 600 (convección + radiación) en vestuarios y zonas comunes (ver Plano L6).	
Fuente: Autor	
Imagen 55	68
Gráfica—sección— de la sensación térmica real que proporcionan los calefactores infrarrojos a los usuarios de cada vestuario (ver Plano L7).	
Fuente: Autor	
Imagen 56	68
Infografía del vestuario con el calefactor apagado.	
Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 57	68
Infografía del vestuario con el calefactor encendido y recreación del área calefactada.	
Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 58	69
Gráfica—sección— de la sensación térmica (calefacción) que proporcionan los techos NIC 600 a los usuarios de vestuarios y zonas comunes (ver Plano L8).	
Fuente: Autor	
Imagen 59	69
Gráfica—sección— de la sensación térmica (refrigeración) que proporcionan los techos NIC 600 a los usuarios de vestuarios y zonas comunes (ver Plano L9).	
Fuente: Autor	
Imagen 60	70
Infografía del vestuario con los techos NIC 600 sin poner en marcha.	
Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 61	70
Infografía del vestuario con los techos NIC 600 en marcha y recreación del área calefactada.	
Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 62 y 63	70
Infografía de los pasillos y zonas comunes, con los techos NIC 600 parados (i) y en marcha (d) y recreación del área calefactada.	
Fuente: Autor	

Imagen 64	71
Disposición del circuito desde la caldera hasta los palcos VIP (ver Plano L10). Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 65	71
Disposición de los techos NIC 600 en los palcos VIP y en los distribuidores. (ver Plano L11). Fuente: Autor	
Imagen 66	72
Gráfica—planta— de la temperatura irradiada por los sistemas <i>inverter</i> en los palcos VIP (ver Plano L12). Fuente: Autor	
Imagen 67	72
Gráfica—sección— de la temperatura irradiada por los sistemas <i>inverter</i> en los palcos VIP (ver Plano L13). Fuente: Autor	
Imagen 68	73
Gráfica—planta— de la temperatura obtenida por los techos NIC 600 en los palcos VIP y en los distribuidores (ver Plano L14). Fuente: Autor	
Imagen 69	73
Gráfica—planta— de la temperatura obtenida por los techos NIC 600 (convección + radiación) en los palcos VIP y en los distribuidores (ver Plano L15). Fuente: Autor	
Imagen 70	74
Gráfica —sección— de la sensación térmica real que proporciona el sistema <i>inverter</i> a los usuarios de cada palco VIP (ver Plano L16). Fuente: Autor	
Imagen 71	74
Infografía del palco VIP con el sistema <i>inverter</i> apagado. Fuente: Autor	
Imagen 72	74
Infografía del palco VIP y recreación del área calefactada con el sistema <i>inverter</i> encendido. Fuente: Autor	
Imagen 73	75
Gráfica—sección— de la sensación térmica (Calefacción) que proporcionan los techos NIC 600 a los usuarios de cada palco VIP y los distribuidores. (ver Plano L17). Fuente: Autor	

Imagen 74	75
Gráfica—sección— de la sensación térmica (Refrigeración) que proporcionan los techos NIC 600 a los usuarios de cada palco VIP y los distribuidores. (ver Plano L18). Fuente: Autor	
Imagen 75	76
Infografía del palco VIP con los techos NIC 600 sin poner en marcha. Fuente: Autor	
Imagen 76	76
Infografía del palco VIP con los techos NIC 600 en marcha. Fuente: Autor	
Imagen 77	77
Módulo ZIP tipo: chapa radiante + cuatro tubos de acero de precisión + capa de aislamiento. Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de Zehnder	
Imagen 78	77
Medidas estándar de módulo ZIP. Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de Zehnder	
Imagen 79	78
a. 2 módulos ZIP combinados en serie (vista superior). b. 2 módulos ZIP combinados en serie (vista inferior). c. Detalle de conectores <i>press-fitting</i> entre los módulos ZIP. d. Conjunto radiante ZIP-4 (alzado acotado). e. Conjunto radiante ZIP-4 (planta). Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de Zehnder	
Imagen 80	79
Planta de la tribuna oeste. Los veinte conjuntos ZIP-4 se disponen de forma radial para adaptarse a la curvatura del graderío (ver Plano L19). Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 81	79
Sección de la tribuna oeste. Los veinte conjuntos ZIP-4 se descuelgan de las cerchas metálicas trianguladas, de forma escalonada, para no impedir la visión desde la grada o desde las cabinas de prensa (ver Plano L20). Fuente: Real Valladolid CF, SAD. Tratada por el autor	
Imagen 82	79
Tabla de Temperatura irradiada en función de la Altura. Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de Zehnder	

Imagen 83 y 84	80
Mecanismos de suspensión de los módulos ZIP. Fuente: Catálogo técnico de sistemas ZIP de Zehnder	
Imagen 85	80
Infografía-Vista superior, con la disposición escalonada de los modulos ZIP, que no obstaculizan la visión desde ningún punto de la tribuna oeste. Además, los módulos pueden servir como soporte publicitario. Fuente: Autor	
Imagen 86	80
Infografía-Vista inferior con la disposición escalonada de los modulos ZIP, que no tienen impacto visual desde ningún punto del estadio. Fuente: Autor	
Imagen 87	81
Gráfica—planta— de la temperatura irradiada por los calefactores infrarrojos en la tribuna oeste. Se observa que la radiación es direccional (ver plano L21). Fuente: Autor	
Imagen 88	81
Gráfica—sección— de la temperatura irradiada por los calefactores de infrarrojos en la tribuna oeste. Se observa que la distribución de calor se reduce mucho con la altura a la que se encuentra el aparato (ver plano L22). Fuente: Autor	
Imagen 89	82
Gráfica—planta— de la temperatura irradiada por los módulos ZIP-4, en la tribuna oeste (ver Plano L23). Fuente: Autor	
Imagen 90	82
Gráfica—sección— de la temperatura irradiada por los módulos ZIP-4, con distribución escalonada, en la tribuna oeste (ver Plano L24). Fuente: Autor	
Imagen 91	83
Gráfica—sección— de la sensación térmica real que proporcionan los calefactores de infrarrojos a los espectadores de la tribuna oeste (ver Plano L25). Fuente: Autor	
Imagen 92	83
Infografía de la tribuna oeste y recreación del área calefactada con los calefactores de infrarrojos. Fuente: Autor	



Imagen 93 84

Gráfica—sección— de la sensación térmica real que proporcionan los módulos ZIP-4 a los espectadores de la tribuna oeste (ver Plano L26).

Fuente: Autor

Imagen 94 84

Infografía de la tribuna oeste y recreación del área calefactada con los módulos ZIP-4.

Fuente: Autor



INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) lleva por título “Propuesta de reforma del sistema de climatización en el estadio *José Zorrilla* de Valladolid: Funcionamiento sostenible y eficiencia energética”. Ha sido redactado como parte de los requisitos de graduación en Fundamentos de la Arquitectura, de la ETS de Arquitectura de Valladolid. El periodo de investigación y redacción se ha extendido desde enero hasta junio de 2019.

En diversas asignaturas del grado en Fundamentos de la Arquitectura he podido acercarme al concepto de eficiencia energética como un aspecto fundamental para reducir la demanda y el consumo de energía en las construcciones y, con ello, obtener un importante ahorro económico. De este modo, la búsqueda del necesario confort en los edificios tiene como punto de partida el respeto al medio ambiente.

Alcance y justificación.

Parece que la búsqueda de la eficiencia energética también se empieza a implantar en el mundo deportivo, en concreto en el fútbol. Cada vez son más las organizaciones deportivas y clubes que apoyan el desarrollo sostenible desde sus propias entidades. “Ya no solo existe el *fair play* dentro del terreno de juego, ahora también hay un *fair play* con el medio ambiente”¹.

Con la llegada de Ronaldo Nazario al Real Valladolid CF, SAD² se ha producido un cambio en el modelo de gestión en el club, que afecta también al recinto deportivo y al conjunto de sus instalaciones. El objetivo final es que el estadio se parezca cada vez más a una pequeña ciudad inteligente (*smart city*) sobre todo en lo relativo a la reducción del consumo energético. Esta actitud no solo tendrá un impacto ambiental positivo sino que vendrá asociada a una mejora económica y la entidad deportiva tendrá una imagen más comprometida con el medio ambiente, que los aficionados y los ciudadanos valorarán.

Ámbito.

El estadio *José Zorrilla* fue construido en el año 1982 pero, aunque ha sido objeto de diversas reformas, sobre sus instalaciones apenas se han realizado labores de

¹ AEQ. “Los estadios de fútbol apuestan por la energía renovable”. (10-XII-2018). www.aeqenergia.com

² Ronaldo Nazario es un exfutbolista brasileño que el 3 de septiembre de 2018 se convirtió en el máximo accionista del Real Valladolid CF, SAD con un 51% de las acciones.



mantenimiento más allá de las obligadas inspecciones reglamentarias (OCA). Por ello, el presente TFG se propone estudiar una alternativa más sostenible y eficiente al sistema de climatización actual que existe en el estadio.

Estado de la cuestión.

El fútbol profesional en España genera un impacto socioeconómico que, por su magnitud y relevancia, vale la pena cuantificar: “por cada empleo directo generado por La Liga se crean alrededor de 4 empleos en España, lo que supone un total de 185.000 personas. Además, genera una actividad económica de 15.688 millones de euros y tiene una facturación equivalente al 1,37% del PIB nacional”.³

El consumo generado el «día de partido» es el principal de los efectos tractoros generados por el fútbol profesional, que impacta en otros segmentos de actividad como hostelería, transporte y alojamiento.

Cada español acude entre 2 y 3 veces al año a ver un partido de fútbol en el estadio en España y los dirigentes de los clubes saben que los espectadores no sólo esperan vivir un evento deportivo, sino vivirlo en un ambiente agradable. Un factor importante para ello es la temperatura percibida en las gradas, lo que exige afrontar una rehabilitación para mejorar el confort —acorde a las necesidades actuales de eficiencia energética— de estadios ya existentes, como el *José Zorrilla*, en Valladolid.

Hipótesis de trabajo y condicionantes de partida.

Se considera que la rehabilitación energética en España es un sector de oportunidad para consolidar la recuperación económica a través del sector inmobiliario y de la construcción. Para ello, el Gobierno elaboró una estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación (ERESE) en España⁴.

Por otro lado, la eficiencia energética es el objetivo más importante de la Exigencia Básica HE, que desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE), y la define como el conjunto de “acciones destinadas a conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo”.

³ PWC. “Impacto económico, fiscal y social del fútbol profesional en España” (01-04-2019). Inform elaborado para LaLiga (España).

⁴ La ERESE de España desarrolla el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE. Está coordinada con el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020.



En consecuencia, la rehabilitación energética es una apuesta necesaria para que la gestión de los recintos deportivos evolucione hacia un modelo de explotación polivalente, capaz de garantizar el confort de los espectadores sin olvidar el necesario equilibrio entre la actividad de ocio y el respeto al medio ambiente.

El presente TFG propone un uso más eficiente de la energía que se emplea en el estadio *José Zorrilla*, mediante la rehabilitación energética de su sistema de climatización. (hipótesis de trabajo). Para ello se desarrolla una propuesta de aplicación del sistema *Zehnder* (calefacción + refrigeración) por techo radiante y se justifica su funcionamiento sostenible y su eficiencia energética (condicionantes de partida).

Metodología.

Para el desarrollo del presente TFG se ha seguido una metodología de trabajo analítico-comparativa.

La fase analítica ha tenido cuatro etapas. La primera sirvió para acotar el ámbito del TFG a partir de mi planteamiento inicial: estudiar la rehabilitación energética en diversos edificios dotacionales de Castilla y León. A mi tutor le pareció un tema muy interesante desde el punto de vista docente y profesional, ya que es un campo con presente y futuro para la actividad de un arquitecto. No obstante, me indicó que el estudio fuera sobre un solo edificio: el estadio *José Zorrilla*.

La segunda etapa fue la recogida de datos en el propio estadio, examinando en profundidad sus instalaciones. El Real Valladolid CF, SAD facilitó toda la documentación gráfica necesaria (planos y fotos) y me permitió conocer *in situ* el estado de dichas instalaciones y su funcionamiento.

La tercera etapa fue un intenso proceso de orden y clasificación de todos los datos recogidos, para establecer, finalmente, un diagnóstico y una propuesta de mejora para cada una de las instalaciones.

La cuarta etapa del análisis fue la más importante porque, a partir del examen crítico de todas las instalaciones, se determinó que la propuesta de rehabilitación energética se centraría en la reforma del sistema de climatización del estadio *José Zorrilla*.

La fase comparativa se desarrolló de forma clásica: reunir la documentación sobre múltiples casos similares (revisando las reformas de la climatización en varios estadios del mundo); realizar comparaciones sistemáticas de soluciones diversas (estudiando los sistemas que ofrece el mercado para climatizar grandes espacios); y justificar el cumplimiento de la



hipótesis inicial (aplicando el sistema de techo radiante a los vestuarios, los palcos VIP y la tribuna oeste del estadio *José Zorrilla*).

Esquema

El contenido teórico del presente TFG se organiza en cinco capítulos y un apartado dedicado a las conclusiones:

El capítulo primero es un repaso a los 37 años de la historia del estadio José Zorrilla, se describen sus características constructivas principales y se recuerdan las principales reformas que se han llevado a cabo en él.

El segundo capítulo es una auditoría de las instalaciones del estadio *José Zorrilla*: abastecimiento de agua, caldera de gas natural, iluminación y sistema de climatización. Para cada una se establece un diagnóstico y una propuesta de mejora. Concluye el capítulo con una Discusión en la que se explica que la hipótesis de trabajo será la reforma del sistema de climatización.

El tercer capítulo incluye una serie de ejemplos de estadios e instalaciones deportivas en los que se han realizado recientemente rehabilitaciones energéticas, con especial atención a las instalaciones de refrigeración y calefacción.

El cuarto capítulo comienza explicando el funcionamiento general de los sistemas radiantes de climatización y concluye describiendo las características específicas del sistema *Zehnder* de calefacción y refrigeración por techo radiante.

El quinto capítulo es el más extenso del TFG. Se desarrolla con detalle la propuesta de implantación del sistema *Zehnder* a tres zonas concretas del estadio *José Zorrilla*: la zona de vestuarios, la zona de palcos VIP y el graderío de la tribuna oeste. La propuesta teórica se ilustra con esquemas, planos e infografías del propio autor que permiten enumerar —en el apartado que cierra el capítulo— los resultados obtenidos.

El apartado de conclusiones no solo incluye los resultados más destacados del capítulo quinto sino que verifica el cumplimiento de la hipótesis de trabajo aplicando los dos condicionantes de partida. Además, expresa algunas de las sensaciones vividas por el autor durante el proceso de elaboración del TFG, que se reconoce comprometido con la construcción sostenible, es gran aficionado al fútbol y socio del Real Valladolid.

El documento concluye con tres anexos (planos de propuesta, fotografías de las instalaciones del estadio y planos de información) que ofrecen la posibilidad de ampliar gráficamente los contenidos teóricos del presente TFG.

1

UN ESTADIO PARA LA HISTORIA DEL FÚTBOL

El estadio *José Zorrilla* es un recinto deportivo de titularidad municipal, situado en la ciudad de Valladolid (España). Alberga los partidos como local del primer equipo del Real Valladolid CF, SAD⁵ y fue inaugurado el 20 de febrero de 1982. Se trata de un edificio proyectado por el arquitecto Ricardo Soria y fue el único estadio de nueva planta que se realizó para la disputa del Mundial de Fútbol de 1982, celebrado en España.

1.1. UNA HISTORIA DE 37 AÑOS.

El estadio *José Zorrilla* es sucesor del antiguo estadio, situado en el centro de la capital del Pisuegra, con una capacidad para poco más de 15.000 espectadores, siendo la sede del Real Valladolid Deportivo desde 1942 hasta 1982.



Imagen 1.

Vista aérea del estadio *José Zorrilla*, recién construido en 1982, con el centro comercial (abajo a la derecha) y el barrio de Huerta del Rey (fondo).

Se construyó en terrenos del Pago de “La Barquilla”, propiedad de la Diputación Provincial de Valladolid, que los cedió al Ayuntamiento de Valladolid. Fue edificado en la margen derecha del río Pisuegra, junto a la Avenida del Monasterio del Prado, en la zona oeste de la capital, para potenciar esa área de la ciudad, junto al barrio de Parquesol y una zona comercial.

⁵ Hasta 1992 la denominación de club fue Real Valladolid Deportivo. A partir de ese año, cambió su denominación por Real Valladolid SAD. Y desde 1999 adoptó el nombre actual de Real Valladolid Club de Fútbol, SAD.

Ocupa una extensión de 25 hectáreas, de las que 5 ha son para el recinto deportivo (estadio y campos anexos) y el resto están destinados a los accesos y los aparcamientos.

En su origen, el estadio *José Zorrilla* fue concebido para acoger 30.000 espectadores de partidos de fútbol. No obstante, a lo largo de sus 37 años de funcionamiento, este recinto ha sido escenario también de otro tipo de eventos.

1.1.1. Partidos internacionales de fútbol.

Durante la Copa Mundial de Fútbol de 1982, el estadio *José Zorrilla* fue sede, junto al estadio *San Mamés* (Bilbao), de los partidos de la fase de grupos correspondientes al "Grupo D", formado por las selecciones de Inglaterra, Francia, Kuwait y Checoslovaquia.

El 29 de octubre de 1986, la selección española se proclamó en Valladolid Campeona de Europa sub 21. El encuentro de vuelta de la gran final se disputó en el estadio *José Zorrilla* y España ganó a Italia en la tanda de penaltis.

Además, la selección española absoluta ha disputado tres encuentros en el estadio vallisoletano:

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| - 11 de marzo de 1992 | España - Estados Unidos (2-0) |
| - 1 de junio de 1997 | España - República Checa (1-0) |
| - 1 de marzo de 2006 | España - Costa de Marfil (3-2) |

1.1.2. Conciertos y festivales musicales.

- | | |
|---------------------------|---|
| - 6 de septiembre de 1997 | Último concierto en Europa de Michael Jackson (<i>History World Tour</i>) |
| - 20 de mayo de 2006 | I Festival Valladolid Latino |
| - 7 de septiembre de 2007 | Concierto de Julio Iglesias |
| - 24 de mayo de 2008 | III Festival Valladolid Latino |
| - 30 de mayo de 2009 | IV Festival Valladolid Latino |
| - 8 de julio de 2009 | Concierto de <i>Depeche Mode</i> |
| - 1 de agosto de 2009 | Concierto de Bruce Springsteen |
| - 29 de mayo de 2010 | V Festival Valladolid Latino |

1.1.3. Partidos de rugby.

- Finales de la Copa de SM el Rey de rugby: 2016, 2017

1.2. EL ESTADIO ORIGINAL.

La construcción del estadio *José Zorrilla* fue promovida por el ayuntamiento de Valladolid, que afrontó el presupuesto de las obras con subvenciones oficiales del Consejo Superior de Deportes y de la Real Federación Española de Fútbol.

El programa de necesidades, impuesto por el Comité del Mundial-82 y de la propia corporación municipal, fue el siguiente:

- Aforo mínimo: 30.000 plazas.
- Reserva de 1.800 m² para prensa, 500 m² para autoridades y diferentes espacios para necesidades específicas (sanidad, prensa, control antidoping, etc.).
- Posibilidades de ampliación constructiva, sin grandes demoliciones.
- Nivel de iluminación artificial suficiente para la retransmisión en color por TV.
- Accesos independientes y cómodos para participantes, público, prensa y autoridades.
- Limitación económica estricta a las posibilidades del Ayuntamiento de Valladolid.

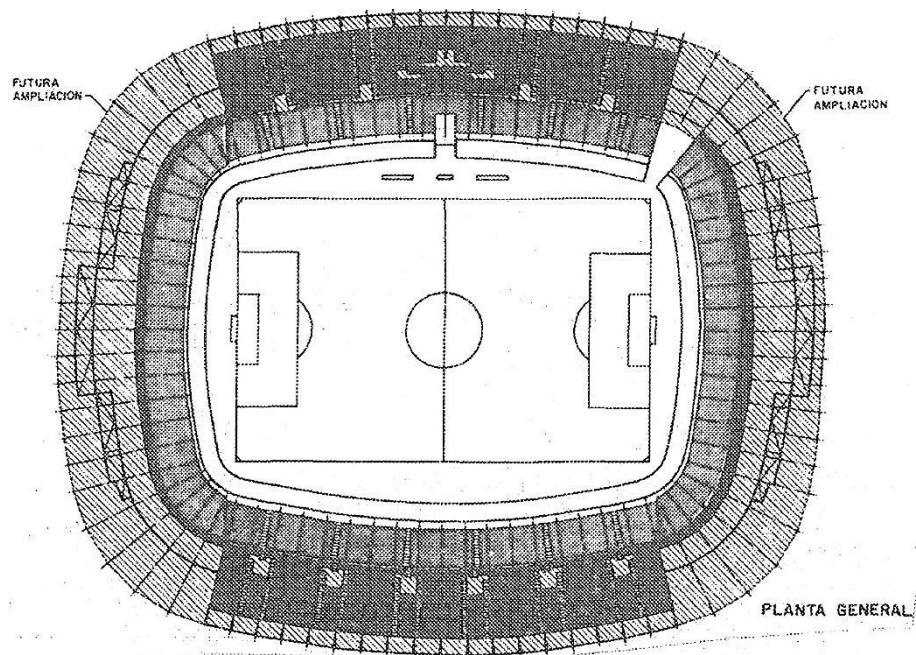


Imagen 2.

Planta del estadio con la propuesta gráfica de futuras ampliaciones en los fondos.

1.2.1. Descripción general.

La planta del estadio está formada por ocho arcos de circunferencia, con la finalidad de garantizar una buena visibilidad del terreno de juego desde cualquier punto del graderío.

Para evitar el acceso del público, alrededor del césped se construyó un foso, una solución mejor que la colocación de una valla de malla metálica (opción adoptada por el resto de los campos de fútbol de España desde 1976 hasta 1989 para cumplir una normativa UEFA). Además, este foso se ha utilizado hasta junio de 2019 como desagüe del drenaje del campo.

A continuación del foso se estableció un primer anillo de público. En los laterales se levantaron 17 gradas de asiento, y en los fondos 32 gradas para espectadores de pie, con una pendiente del 67%. El acceso a este anillo se diseñó desde su nivel superior, que se corresponde con el nivel de cota 7,20 del exterior del estadio, y que constituye el NIVEL DE PÚBLICO.

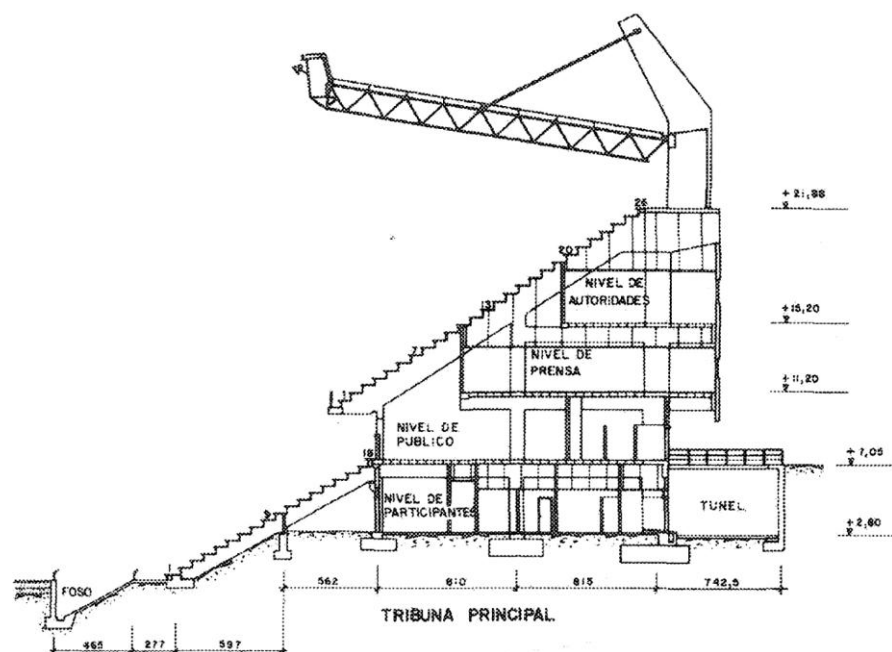
En los laterales del estadio, y volando cinco gradas sobre el anillo inferior, se dispusieron dos tribunas con 26 gradas de asiento cada una, que tienen una pendiente del 64,3%.

Bajo el NIVEL DE PÚBLICO de la tribuna principal (oeste), se dispone el NIVEL DE PARTICIPANTES, con un sótano destinado a vestuarios, acceso al terreno de juego, almacenes de material, salas de instalaciones, etc. A este nivel se accede por un túnel de uso exclusivo de participantes y empleados.

También en la tribuna principal, se disponen dos plantas para uso de prensa y autoridades (NIVEL DE PRENSA Y NIVEL DE AUTORIDADES), cuyo acceso se hace por dos núcleos verticales de escaleras, independientes de los accesos para el público.

Imagen 3.

Sección constructiva de la tribuna principal, con la distribución por niveles independientes.

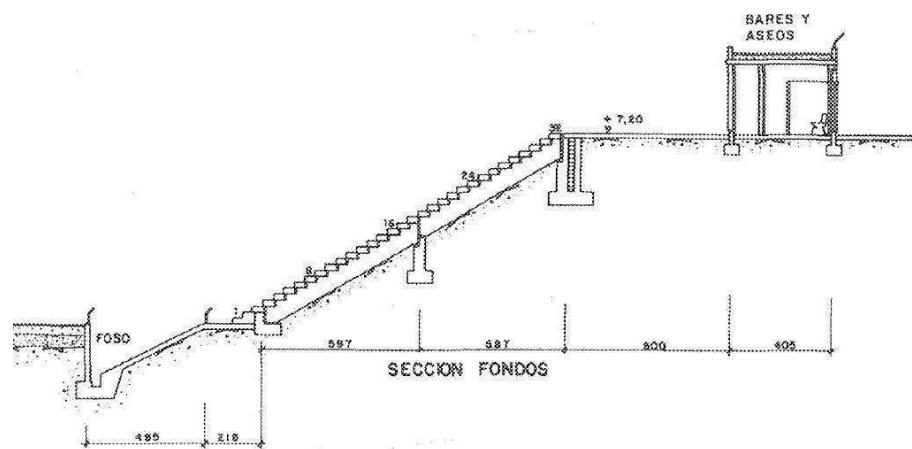


En la tribuna este no se construyeron estas dos plantas, y sólo se planteó la utilización del vestíbulo de público para ubicar los aseos y los bares.

En ambos laterales, se han dispuesto seis vomitorios o accesos, tanto en el anillo inferior como en las tribunas cubiertas, para un cómodo tráfico del público.

La solución en los fondos es mucho más simple: se distribuyeron los espacios necesarios para ubicar los aseos, los bares y los accesos con un diseño elemental que garantiza un movimiento fluido del público y permite posible ampliaciones del estadio sin afectar a su funcionalidad ni acometer obras de demolición.

Imagen 4.
Sección constructiva de los fondos, con la situación del acceso, de los bares y de los aseos.



El acceso de público por un solo nivel permite concentrar las dependencias de uso público y disminuye la cantidad global de escaleras, lo que favorece un rápido desalojo de los espectadores.

Es necesario señalar que se estudiaron cuidadosamente las pendientes de los graderíos, para conseguir una buena visibilidad, sin llegar a inclinaciones incómodas.

1.2.2. Características de la estructura.

“En el anillo inferior se dispusieron pórticos radiales, sobre tres pilares, formados por dos vigas prefabricadas, con su cara superior escalonada para recibir las piezas prefabricadas de las gradas. Estas piezas tienen forma de L para plazas sentadas, y son losas pretensas alveoladas para plazas de pie. Para las vigas de la zona de pie se empleó el mismo encofrado que en la zona de sentados, con unas tabicas añadidas para adaptar el perfil, simplificando así el proceso constructivo”⁶.

⁶ CASAS LÓPEZ-AMOR, LUIS, Ingeniero de Caminos. (1981). <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

Las tribunas cubiertas se construyeron a base de pórticos radiales de hormigón armado *in situ*, de 0,50 m de ancho. Se apoyan en tres pilares y existen dos voladizos (uno delantero y otro posterior). Tanto el dintel (canto 1,20 m), como los pilares (longitud 0,50 m, 0,80 m y 1,50 m), son iguales en todos los pórticos. Además, en los pórticos de la tribuna principal se dispusieron dos dinteles intermedios para construir las plantas de prensa y de autoridades.

Los pórticos se unieron con tres vigas de atado transversales (una por pilar). Para el graderío se emplearon piezas similares a las del anillo inferior y para los forjados de los diferentes niveles se utilizaron piezas pretensas alveoladas prefabricadas.

“Apoyado en el voladizo posterior (ancho de 0,75 m) se dispuso un pilono de ancho 0,50 m y longitud variable (de 1,20 m a 0,50 m). Perpendicularmente al brazo inclinado del pilono, se colocaron tirantes de acero que soportan la cubierta, compuesta por cerchas radiales (todas iguales), de canto (1,40 m) y ancho constantes (0,80 m) y sección triangular, sobre las que apoyan correas de perfil en Z. Todas las barras de las cerchas son tubos. Como los tirantes también pueden actuar a compresión, se les dotó de dos parejas de perfiles UPN empresillados”.⁷



Imagen 5.

Vista aérea del proceso de construcción de las tribunas laterales del estadio.

La disposición radial de la estructura y la realización de pórticos iguales, permitió ejecutar la planta curva del estadio sin complicaciones constructivas y trabajar con series amplias de piezas prefabricadas para el graderío. Conviene indicar que estas piezas respondían a modelos estándar comerciales, lo que permitió un rápido suministro y un abaratamiento de costes de fabricación.

⁷ CASAS LÓPEZ-AMOR, LUIS, Ingeniero de Caminos. (1981). <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>



Imagen 6.

Disposición de los pórticos radiales de hormigón armado en la tribuna este, donde aparecen los pilonos sobre el voladizo posterior y los tirantes de acero.

La solución constructiva de la cubierta, a base de cerchas con sección triangular, evitó la colocación de arriostramientos. De este modo se consiguió una estética mejor, facilitó el montaje en obra y permitió ajustar el presupuesto (una solución con un entramado espacial hubiera resultado mucho más cara).

1.2.3. Capas del terreno de juego.

Se estableció una capa de césped de gran calidad sobre una capa de tierra vegetal de 20 cm. Debajo, se fueron colocando hasta 4 capas drenantes de arena y gravilla, sobre una cama de grava de 50 cm de espesor.

A la base de apoyo de las capas drenantes se le dota de pendiente hacia ambos lados y hacia los fondos, del 0,8%.

En el contorno interior del muro del foso perimetral se dispuso una canaleta, que desagua al foso por medio de tubos embebidos en el muro. El fondo del foso tiene un 0,5% de pendiente, y desagua a la red municipal de saneamiento, en el exterior del estadio, por medio de una galería enterrada.

1.2.4. Iluminación para retransmisiones por TV.

La iluminación del terreno de juego se realizó mediante proyectores equipados con lámpara de halógenos de 2.000 w cuya temperatura y rendimiento

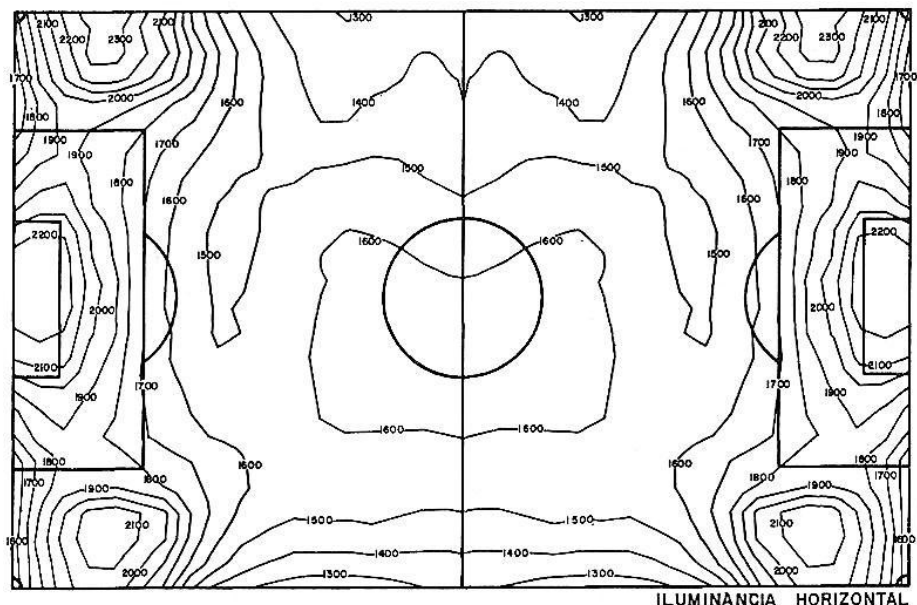
de color eran las idónea para este uso en 1982. Eran lámparas con un magnífico rendimiento de lúmenes por vatio.

La disposición de los proyectores se diseñó en dos bandas laterales a 30 metros de altura sobre el terreno de juego, situadas en los bordes de las cubiertas de las tribunas principal y lateral. Con esta disposición se consiguen, aún hoy, magníficos resultados en iluminancia vertical y horizontal y en uniformidad, evitando que los jugadores proyecten sombras sobre el terreno de juego.

Las zonas de portería se reforzaron mediante un alumbrado adicional situado en cuatro torres (una por cada esquina de córner).

Para estudiar en una amplia cuadrícula de puntos los niveles de iluminación, se utilizó un programa de ordenador de la biblioteca de EUROESTUDIOS.

Imagen 7.
Plano de la iluminancia horizontal, con las curvas *isolux* calculadas por EUROESTUDIOS, para demostrar que el sistema de iluminación del estadio permitía la retransmisión en color para TV en 1982.



El sistema de suministro de energía se organizó con dos fuentes externas independientes y dos fuentes Internas constituidas por grupos electrógenos, uno de ellos destinados exclusivamente al alumbrado de emergencia de graderíos, pasillos y en general zonas de público.

Los proyectores del terreno de juego forman ternas, estando cada elemento de las mismas conectado a una fuente de energía diferente, de modo que si una de ellas falta, el nivel de luz se reduce instantáneamente a $2/3$ del nominal.



1.3. REFORMAS Y PROPUESTAS.

“A finales de febrero de 1982, como todas las tardes, Paquito (entrenador del Real Valladolid, CF) respondía por teléfono a las preguntas de su interlocutor, Javier González (periodista de El Norte de castilla) sobre el estado del equipo. Y Paquito, que ya había sufrido las inclemencias del frío y el viento helador en el recién estrenado estadio José Zorrilla, comentó: «Este no es el Estadio Zorrilla; hace un frío de la leche, es el *estadio de la pulmonía*». El plumilla aprovechó estas declaraciones literales para subirlas al titular y, de esta forma, colocar un apodo al campo de fútbol que se alargaría durante muchos años”.⁸

Todo hubiera quedado en el ámbito local si, pocas semanas después, no se hubiera celebrado en Valladolid un partido muy especial:

“Cuando el 13 de abril de 1982 Real Madrid y Sporting de Gijón se disponían a disputar la final de la Copa del Rey en Valladolid, el *estadio de la pulmonía* quiso reivindicarse con toda la fuerza del mundo y así, en una tarde con un frío de aúpa, el alias del campo de fútbol se metió en todos los hogares españoles. Hasta los propios monarcas llegaron a comentar el frío que habían pasado. En algunos círculos, incluso, alguien comentaba que la Reina Sofía llegó con faldas y se marchó del campo con pantalones”.⁹

Desde ese momento, el estadio *José Zorrilla* es conocido como el *estadio de la pulmonía*. Su localización, a medio camino entre la ciudad de Valladolid y el páramo de Villanubla, siempre ha estado marcada por la climatología, especialmente entre los meses de octubre y abril. El viento y el frío han supuesto un auténtico quebradero de cabeza para los dirigentes del club, que entienden que los espectadores de un partido de fútbol no sólo esperan vivir un evento deportivo, si no vivirlo en un ambiente confortable y agradable.

El estadio *José Zorrilla* estaba diseñado para que sus fondos se cerraran a medio plazo y por eso resultó un recinto inicial muy abierto, favoreciendo una incidencia directa de las condiciones climatológicas adversas. Minimizar esta incidencia sigue siendo un reto a la hora de proporcionar confort a las gradas. Además, el calor debe estar disponible inmediatamente ya que un largo precalentamiento supone un alto consumo de energía.

Estos aspectos se han tenido en cuenta para realizar las diversas reformas y remodelaciones que se repasan en los siguientes apartados.

⁸ HIDALGO CHACEL, SANTIAGO. “El estadio de la pulmonía y otros constipados”. (9-IV-2012). <https://realvalladolid.elnortedecastilla.es>

⁹ HIDALGO CHACEL, SANTIAGO. “El estadio de la pulmonía y otros constipados”. (9-IV-2012). <https://realvalladolid.elnortedecastilla.es>

1.3.1. Reforma de 1986.

Se construyó la actual tribuna norte, con un sistema constructivo similar al del resto del estadio: pórticos radiales de hormigón armado y vigas con el borde superior escalonado. De este modo se logró un graderío de 5 filas y tres plantas de palcos privados (40 en cada planta) pensados especialmente para las empresas que patrocinan al Real Valladolid CF, SAD.



Imagen 8.

Obras de cerramiento del fondo norte del estadio, para gradas sentadas y palcos. La grada inferior de general todavía se mantuvo para localidades de pie hasta 1996.

1.3.2. Reforma de 1996.

El club culmina una profunda remodelación en el estadio *José Zorrilla*, que pasa de 33.000 localidades (de pie y asiento) a 26.512 (todas de asiento), siendo así el primer estadio español en adecuarse a la nueva normativa FIFA.

Ese mismo año, el equipo vallisoletano fue el primer club español en adecuar sus sistemas de seguridad a la normativa más moderna y profesional, con la creación de la UCO (Unidad de Control Operativo), control de esclusas, megafonía de emergencia, sistemas técnicos y comunicación interna.

1.3.3. Reforma de 2000.

Se inauguró la calefacción en el estadio *José Zorrilla*. Se optó por el sistema de radiación infrarroja, por medio de radiadores de alta intensidad con alto factor de radiación, en la tribuna principal. Supuso lograr la mayor superficie calefactada de Europa y fue el primer club español con calefacción en su estadio.

1.3.4. Propuesta de 2002-2007: Proyecto "Valladolid Arena"

Apoyado en el impulso inmobiliario que vivió Valladolid en la última década del siglo XX, el Real Valladolid SAD y el ayuntamiento de Valladolid vieron la posibilidad de acometer una remodelación integral del estadio *José Zorrilla* y su entorno, que permitiera revalorizar la zona y acabar con la deuda económica que estaba ahogando al club.



Imagen 9.

Infografía de la propuesta "Valladolid Arena" vista desde el este. El fondo sur del estadio se cierra con un hotel; al norte se localiza una superficie comercial, junto al aparcamiento; y en el lateral oeste se plantea un pabellón "Arena", multifuncional.

Estaba previsto que los terrenos fueran cedidos a la Fundación del Real Valladolid, que se encargaría de su gestión, y las características más relevantes del proyecto —aprobadas por el Ayuntamiento y la Diputación en 2007—, eran las siguientes¹⁰:

- Hotel de 3.000 m² como cerramiento del fondo sur del estadio.
- Centro comercial de 40.000 m² anexo al estadio.
- Pabellón "Arena", con capacidad para 12.000 espectadores. Sería sede del Club Baloncesto Valladolid y del Club Balonmano Valladolid, además de albergar acontecimientos como espectáculos o conciertos.
- Aparcamiento subterráneo con capacidad para acoger 8.000 vehículos y 197 autocares.
- Ampliación de los anexos del estadio como Ciudad Deportiva del Real Valladolid.

¹⁰ P, A. "El Valladolid Arena se hará realidad hoy... pero sobre el papel". (3-V-2007). www.20minutos.es

1.3.5. Reforma de 2009.

Se acometió una pequeña actuación en la zona del palco de autoridades, lo que supuso la pérdida de 270 plazas de espectadores. El nuevo aforo quedó establecido desde entonces en 26.252 localidades.

1.3.6. Reforma de 2018.

Se tomaron varias medidas para reforzar la estructura del estadio *José Zorrilla*. En consecuencia, 36 años después de su inauguración oficial, se realizó una actuación para garantizar la seguridad estructural.¹¹

En el graderío norte, se reforzó la estructura de hormigón armado del forjado último del graderío norte (palcos) en su encuentro con el pilar extremo y se reforzó la ménsula (o voladizo) del pórtico nº 13 de la cubierta.

También se intervino en el resto de la estructura de hormigón armado (pórticos y forjados), protegiendo las fisuras con un inhibidor anticorrosión y sellándolas con resinas.

Además, se actuó en la estructura metálica de la totalidad de las marquesinas cubiertas y de las torretas de soporte de iluminación, a base de una pintura de protección previo tratamiento de saneado del material.

1.3.7. Remodelación 2019-

El 14 de junio de 2019 se iniciaron en el estadio *José Zorrilla* las obras más importantes desde 1992. El objetivo general es modernizar el recinto deportivo, deprimir 80 centímetros el terreno de juego y suprimir el foso, y lograr que los aficionados vivan una experiencia mucho más cercana.

Las obras, dirigidas por el arquitecto Javier Iribarren, suponen la construcción de tres nuevas filas de asientos (1.594 localidades) de forma que los espectadores contarán con una posición ideal: "Van a sentir que están en el propio césped. Con eso se logrará mantener la presión del público sobre el campo, que los jugadores sientan su cercanía y mejorar la visibilidad en televisión".¹²

¹¹ JOSÉ MARÍA FRANCISCO. "La única actuación en el estadio José Zorrilla se basará, por ahora, en la seguridad". (18/06/2018). <https://www.cadenaser.com>

¹² "Un Zorrilla moderno". (14-VI-2019). <http://www.realvalladolid.es>

Precisamente sobre el verde, se "van a implementar nuevas tecnologías, sistemas de recuperación de agua, sistemas de drenaje... un césped de primera calidad mundial".¹³

Imagen 10 (dcha.).

Infografía del estadio sin foso, con las nuevas filas de gradas y la banda de rodadura que preservará el césped del tránsito de las máquinas de mantenimiento.

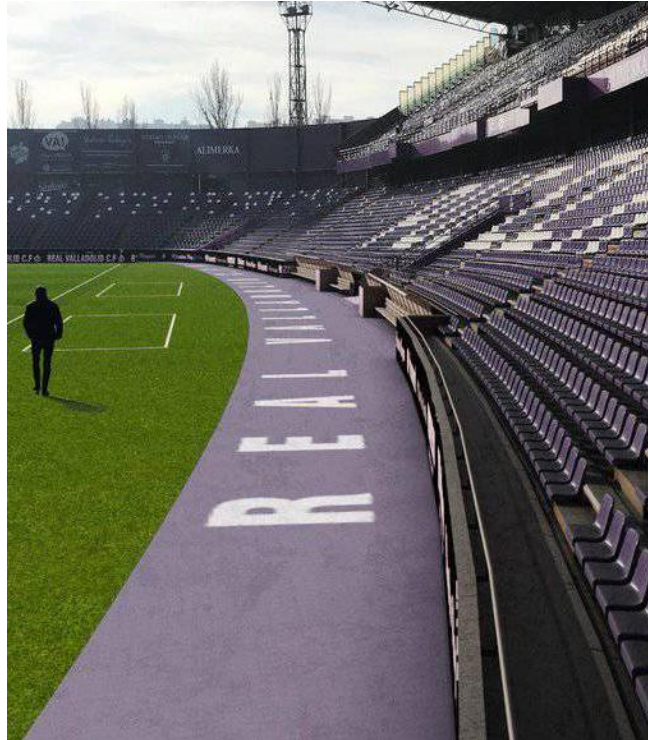
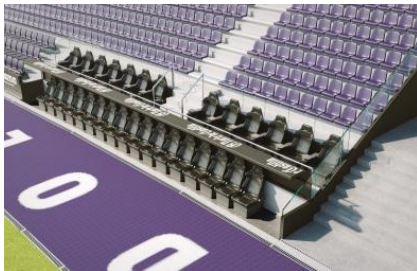


Imagen 11 (abajo).

Los banquillos quedarán integrados dentro del graderío. Por encima, varias decenas de butacas vip.



Una vez concluidas estas obras, la idea del club es trabajar durante toda la temporada 2019-2020 para cambiar la iluminación, los baños, ... de modo que "el estadio crezca con sus abonados". (David Espinar, director de Gabinete de Presidencia el Real Valladolid, SAD)

El objetivo final del presidente de la entidad blanquvioleta, el exjugador brasileño Ronaldo Nazario, es que el club compre al ayuntamiento de Valladolid el estadio *José Zorrilla*, aunque esta operación aun requerirá de un tiempo.

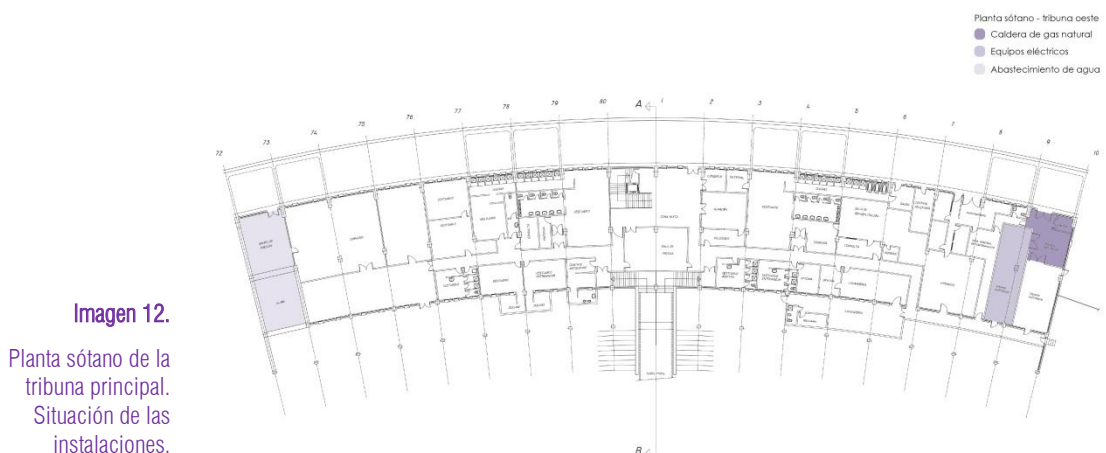
¹³ "Un Zorrilla moderno". (14-VI-2019). <http://www.realvalladolid.es>

2

AUDITORÍA: LAS INTALACIONES DEL ESTADIO

Como se indicó en la introducción, el presente TFG se desarrolla con una metodología analítico-comparativa. En este capítulo se expone, en primer lugar, la recogida de datos de la fase analítica, que tuvo lugar en el estadio *José Zorrilla* durante los días 10 de enero y 8 de febrero de 2019.¹⁴

Los cuartos de producción y control de las instalaciones principales se encuentran en la planta sótano de la tribuna oeste (principal), donde también están los vestuarios (local y visitante), la zona mixta, los gimnasios, etc.



En la parte sur de la planta, se dispone la instalación de abastecimiento de agua del estadio. Un tabique divide el recinto en dos partes: A un lado queda el aljibe de recogida de aguas pluviales, para regadío del campo y cisternas de inodoros; al otro está el grupo de presión. Este grupo cuenta con un único depósito de acumulación, pero se divide en dos circuitos con dos bombas diferenciadas: una para riego y otra para los cuartos húmedos del estadio (vestuarios, aseos y baños).

En la parte norte de la planta, se encuentra tanto la instalación de gas natural como los equipos eléctricos. La caldera de gas funciona para calentar el agua de las duchas de los vestuarios, así como los lavabos de baños y aseos de todas las plantas de la tribuna oeste. El resto de aseos del estadio únicamente cuentan con agua fría en sus lavabos.

¹⁴ En el Anexo Fotográfico (pág. XX) se muestran todas las fotografías realizadas durante las visitas al estadio, ordenadas y agrupadas por zonas: graderío exterior, palcos VIP, vestuarios e instalaciones.

La caldera cuenta, además, con un depósito de acumulación para ACS, así como su correspondiente conducto de extracción de humos, exigido por la normativa.

Por otro lado, previo al cuarto de la caldera, está el cuarto eléctrico donde se disponen los transformadores para la iluminación de todos los focos del estadio, así como para las luminarias de los espacios interiores y vomitorios de las tribunas y fondos.

Respecto a la climatización, existen dos sistemas diferenciados: sistema de compresión con refrigerante (*inverter*) y calefactores infrarrojos. El primero se utiliza en las dependencias de la tribuna oeste (planta de oficinas y zonas interiores del palco de autoridades) y en los palcos VIP de la tribuna norte. El segundo sistema se emplea en los vestuarios y zonas comunes de la planta sótano de la tribuna oeste, así como para climatizar el graderío.

A continuación, se ofrece un examen crítico de las instalaciones señaladas y se realiza un análisis sistemático de cada una. La auditoría concluye con una discusión para deducir la instalación en la que es posible realizar la mejor rehabilitación energética.

2.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA.

2.1.1. Diagnóstico.

La instalación de abastecimiento se encuentra en un buen estado de funcionamiento. Sus tuberías, de fundición dúctil, son las originales del estadio inaugurado en 1982, pero no presentan manchas de humedades ni condensaciones, sus encuentros y codos están bien resueltos y no hay presencia de fugas.

El depósito de acumulación, también se encuentra en buen estado, y el conjunto de bombas de cada circuito, sigue teniendo un rendimiento óptimo.



Imagen 13.
Bombas del grupo de presión (abastecimiento de agua y riego), situadas en el sótano de la tribuna oeste.

Cada una de las bombas se apoya y ancla por su zona inferior en un basamento de hormigón, para soportar el peso de máquinas y equipos. Las tuberías descolgadas, que conectan el aljibe con el grupo de presión, se soportan por unas barras metálicas ancladas al forjado. Un sistema que parece adecuado, al no presentar síntomas de deterioro.



Imagen 14.

Las tuberías para la conexión entre el aljibe y el grupo de presión están descolgadas del techo para favorecer la manipulación de las válvulas y las llaves del circuito.



Imagen 15.

El depósito de acumulación de 1000 l. está al servicio del grupo de presión.

Por tanto, se considera que la instalación de abastecimiento de agua está en buenas condiciones —gracias al buen uso que se ha hecho desde su puesta en marcha en 1982—, funciona correctamente, no presenta síntomas de deterioro y cuenta con un mantenimiento muy eficaz.

2.1.2. Propuestas de mejora.

- Disponer unos elementos anti-vibraciones en la base de las bombas.
- Sustituir el actual sistema convencional de bombeo (solo funciona a encendido 100% o apagado), por otro de caudal variable (regulable).

- Aprovechar el agua recogido en el foso perimetral del terreno de juego y reutilizarlo, después de su paso por un filtro, para el regadío del propio césped y para llenar las cisternas de los inodoros. Hasta ahora, esa agua se dirige directamente a la red de saneamiento general. Esta propuesta es compatible con la intención del club de eliminar el foso¹⁵. Bastaría con situar debajo del nuevo graderío una tubería drenante.



Imagen 16.

Vista de la situación del foso en el estadio, que separa el terreno de juego y el anillo inferior de gradas.

2.2. CALDERA DE GAS NATURAL.

2.2.1. Diagnóstico.

La caldera principal de gas instalada en el estadio, modelo Roca CPA, es una de las mejores que se pueden encontrar en el mercado. Proporciona una potencia óptima cuando la demanda de ACS es muy elevada.

Se trata de una caldera de chapa que cuenta con micro-acumulación y sistema *QuickTap*, programador digital semanal integrado para agua caliente, *multidisplay* con indicación de códigos de averías y además es compatible con sistemas solares de energías renovables. El conducto de extracción de humos exigido por la normativa.

Por otro lado, el depósito de acumulación para ACS está recubierto de un material aislante para evitar la pérdida calorífica del agua que contiene, así como las tuberías metálicas, con lo que se evita la formación de manchas negras por condensaciones.

¹⁵ Ver página 13 del presente TFG, en el que se describen las reformas en el estadio planteadas por el club para el año 2019.



Imagen 17.

Caldera secundaria de gas natural (azul)
junto a los depósitos de acumulación de ACS.



Imagen 18.

Caldera principal de gas
natural,
Modelo ROCA CPA 300
Potencia: 348,9 kw
Presión máxima: 5 bares
Temperatura máxima: 100°

La instalación se completa con una caldera secundaria, también de gas natural, y su correspondiente depósito de acumulación, que se emplea en situaciones de baja demanda. De este modo, el estadio tiene cubierta con holguras su necesidad de ACS para vestuarios, baños y aseos.

2.2.2. Propuestas de mejora.

- Sustituir al menos una de las calderas de gas por una caldera de biomasa de 600 kilovatios, además de delimitar un espacio suficiente (silo) para el acopio de pellets.

El cambio a biomasa garantiza un precio estable del combustible vegetal mientras el gas natural está sometido a las oscilaciones del mercado y a la inestabilidad política internacional.¹⁶

- Mantener la instalación de gas para la cobertura de imprevistos o de posibles picos de demanda de ACS.

¹⁶ "Cambio de gas natural por biomasa: una tendencia, no una excepción". (27-II-2017). <https://www.energias-renovables.com>

2.3. ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO.

2.3.1. Diagnóstico.

En España, la normativa de La Liga establece unos requisitos mínimos de iluminación para la retransmisión de partidos de fútbol por televisión:

- Requerimiento TV (el mínimo para la Liga 123).
- Requerimiento HD (el mínimo para la Liga Santander).
- Requerimiento 4K (el máximo para la Liga Santander).

El estadio cumple con el requisito mínimo para la Liga Santander (HD). Para ello cuenta con ternas de luminarias de descarga (500 ud.), colocadas en el borde las cubiertas y en dos torres de iluminación (colocadas en los extremos de las tribunas laterales).



Imagen 19.

Situación de las luminarias en las torres de iluminación.

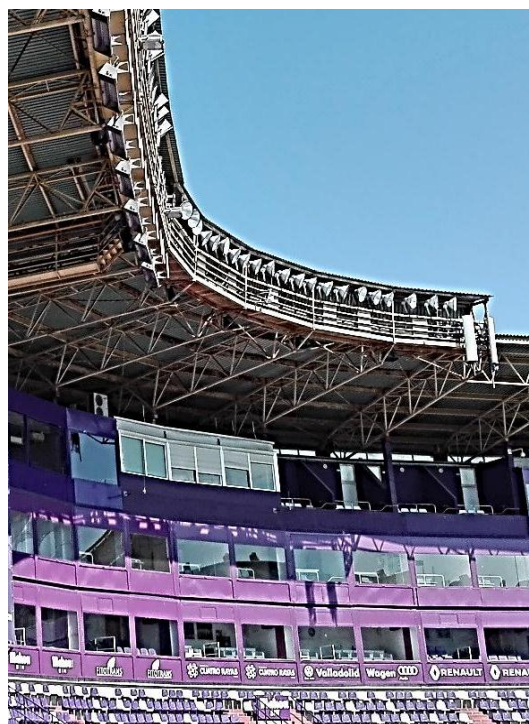


Imagen 20.

Situación de las luminarias en el borde de la cubierta de las tribunas.

Las luminarias de las dependencias interiores (palcos VIP, oficinas, etc.) son tubos fluorescentes de descarga, de calidad estándar.

Para garantizar el suministro de energía eléctrica, en el cuarto de transformadores (planta sótano) se alinean 30 armarios que contienen los cuadros

eléctricos. En ellos se configura y protege cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación del estadio a través de fusibles, protecciones magnetotérmicas y diferenciales. Además, el suministro eléctrico es de media tensión, lo que optimiza el coste eléctrico.



Imagen 21.

Fluorescentes que iluminan la zona mixta (planta sótano).



Imagen 22.

Fluorescentes que iluminan el pasillo de los vestuarios (planta sótano).



Imagen 23.

Cuarto de transformadores (planta sótano) en el que se alinean 30 armarios que contienen los cuadros eléctricos.

En general, el sistema de iluminación del estadio está en perfectas condiciones y tiene capacidad contrastada para soportar toda la potencia eléctrica que requiere un evento de las condiciones de un partido de fútbol de primer nivel. No obstante, en la temporada 2018-2019 se ha producido un apagón total (encuentro Real Valladolid-Real Madrid CF) y varios parciales.

2.3.2. Propuestas de mejora.

- Cambiar todas las luminarias de descarga, interiores y exteriores, por tecnología LED. Con ello se lograría un mayor ahorro y una mayor eficiencia energética. Además, el estadio pasaría a cumplir el máximo requisito de La Liga: LED-4K.¹⁷
- Dotar al recinto con iluminación de balizamiento en las escaleras de las gradas y en los vomitorios, actualmente inexistente y requerida por la normativa de Castilla y León para espectáculos de gran asistencia.

2.4. CLIMATIZACIÓN (INTERIOR Y EXTERIOR).

2.4.1. Diagnóstico.

El estadio tiene instalados dos sistemas independientes de climatización (frío-calor), distribuidos del modo siguiente:

- Sistema de compresión con refrigerante (*inverter*), para palcos VIP, oficinas y estancias interiores del palco de autoridades.
- Calefactores infrarrojos.

El primer sistema es muy eficaz a nivel de climatización. Cuenta con una unidad exterior, un compresor (*inverter*), y una unidad interior. Funciona tanto para calefacción como para refrigeración, modificando la temperatura del aire de la estancia, además de permitir un control absoluto de la temperatura. El compresor se adapta a la temperatura de cada dependencia, regulando su velocidad y potencia, lo que conlleva un mayor confort, estabilidad y vida útil frente a otros modelos de tipo *on-off*.

¹⁷ La tecnología LED-4K, para retransmisiones de máxima calidad por TV está presente en estadios como el Benito Villamarín y Sánchez-Pizjuán (Sevilla) o Wanda Metropolitano (Madrid).

La debilidad de este sistema es su manera de climatizar: Al calentar o enfriar el aire, este asciende o desciende por efecto de la convección natural hasta la parte superior o inferior de la estancia. Aunque la sensación de confort es buena, hay zonas de la estancia que no se climatizan correctamente. Además, es un sistema que emite flujos de aire que pueden ser molestos para el usuario.



Imagen 24.

Sistema *inverter*: Unidad interior de un palco VIP.



Imagen 25.

Sistema *inverter*: Unidad exterior para 5 palcos VIP.

El segundo sistema son los calefactores infrarrojos. Se emplea en vestuarios y zonas comunes de la planta sótano, así como en el graderío de la tribuna oeste. Funcionan conectados a la red eléctrica, por lo que no se necesita realizar obras de instalación, emitiendo energía a modo de radiación infrarroja sobre un espacio concreto. Al no calentar la temperatura del aire, esa energía solo se percibe cuando entra en contacto con personas, objetos o paramentos.

Es un sistema bastante extendido en numerosos estadios del mundo pero que adolece de algunas debilidades:

- Solo irradian temperatura sobre un área concreta, por lo que si la superficie es grande son necesarias muchas unidades.
- Aunque el precio de cada unidad es económico, al ser necesarios muchos aparatos, el coste total es elevado.
- A este coste hay que añadir el de mantenimiento (como se indica en el apartado 1.3.3. los calefactores se instalaron en el año 2000).

- Los calefactores que se encuentran en la grada, al estar tan elevados, requieren de mucha potencia para lograr una sensación de confort agradable.



Imagen 26.

Calefactor infrarrojo en la tribuna oeste.



Imagen 27.

Calefactor infrarrojo en un pasillo interior de planta sótano.

2.4.2. Propuestas de mejora.

- Unificar la climatización del estadio mediante la instalación de un único sistema de calor-frío.
- Aprovechar la potencia y capacidad de las dos calderas de gas para cubrir las necesidades de calefacción del estadio con un sistema hidrónico.¹⁸
- Extender la climatización a otras zonas comunes del estadio sin incrementar los costes de combustible.

2.5. DISCUSIÓN.

Del examen crítico, sistemático y detallado de las instalaciones principales del estadio *José Zorrilla* se deduce que la mejor propuesta de rehabilitación energética es implantar un único sistema de climatización calor-frío (**hipótesis de trabajo**).

Y, para demostrar que esta reforma cumple los **condicionantes de partida** (funcionamiento sostenible y eficiencia energética), en los siguientes capítulos se describen soluciones posibles para casos similares (estadios), se elige la que mejor se adapta al estadio *José Zorrilla* y se desarrolla la propuesta a nivel teórico y gráfico.

¹⁸ Hidrónico es el término que describe el empleo de agua como un medio de transferencia de calor, en los sistemas de calefacción, y un medio de transferencia de frío, en los sistemas de refrigeración. (2018). <https://es.grundfos.com>

3

ESTADIOS DEL MUNDO Y SOSTENIBILIDAD

La creciente demanda en el fútbol está obligando a los clubes a afrontar importantes reformas en los estadios. No se trata solo de ofrecer una imagen atractiva y moderna a través de las retransmisiones televisivas sino de garantizar a los aficionados que asisten en directo, unos graderíos cómodos y climatizados. A esto se añade el componente de negocio que rodea el espectáculo futbolístico, que exige salones exclusivos para personalidades VIP en los ámbitos de los negocios y la política, donde es obligatorio un alto nivel de confort.

La gran mayoría de las actuaciones incluyen, junto a las mejoras en las características arquitectónicas de los estadios, la rehabilitación energética de las instalaciones para garantizar su sostenibilidad y su eficiencia.

Que actividades como el fútbol se preocupen por el planeta es algo positivo, puesto que son muchos los seguidores de este deporte que entenderán, de la mano de sus equipos de fútbol, lo importante que es respetar el medio ambiente.

Los espectadores que se desplazan a un estadio de fútbol ya no entienden que existan zonas no confortables y reclaman un ambiente agradable para disfrutar del espectáculo. Esta evidencia va en aumento ya que, en la mayoría de los países este deporte ha dejado de ser *solo para hombres* para convertirse en una experiencia familiar en compañía de mujeres y niños.

Como se indicó en el apartado 1.3.7. el final de la temporada 2018-2019 ha supuesto la puesta en marcha de un remodelación integral del estadio *José Zorrilla* y un cambio en el modo de gestionar el club: “La reforma del estadio es para la gente. No se trata de una operación del club o de los políticos, sino de un legado para las personas que forman parte de la ciudad y de la afición del Real Valladolid”.¹⁹

En las páginas siguientes se describen diferentes sistemas de climatización instalados en estadios a los que se ha sometido a reformas sostenibles y rehabilitaciones energéticas. Los estadios seleccionados fueron construidos antes del año 1998.

¹⁹ “Ronaldo, su estrategia para convertir al Real Valladolid en una marca global”. (7-IV-2019). <http://www.castillayleoneconomica.es>

3.1. ESTADIO *LUZHNIKI* | MOSCÚ.

El principal estadio de Rusia y el más grande del país, el *Luzhniki*, se abrió en 1956 con una capacidad de 100.000 espectadores. Desde entonces ha recibido varios eventos deportivos importantes como los Juegos Olímpicos de 1980, la final de la Copa de la UEFA en 1999 y la final de la Liga de Campeones en el 2008. En agosto del 2013 se celebró el Campeonato Mundial de Atletismo, momento tras el cual comenzaron las obras de reconstrucción del estadio para acoger el Mundial de Fútbol 2018.

Este Mundial, celebrado en Rusia, se caracterizó por experiencias y sorpresas futbolísticas, pero también estuvo marcado por la construcción sostenible de los estadios en los que se desarrolló la competición y la eficiencia energética de sus infraestructuras.

El estadio *Luzhniki* cuenta con la certificación internacional verde BREEAM.²⁰ En su interior, el estadio se renovó completamente, y su capacidad se dejó definitivamente en 80.000 espectadores, manteniéndose como el estadio al aire libre más grande de Rusia.

El ahorro energético en el estadio *Luzhniki* se consigue mediante modernos sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como reuniendo todos los servicios esenciales en un sistema central automatizado, lo que permite realizar un completo seguimiento y control de la cantidad de energía consumida por el edificio.

La tecnología de gestión del agua en el estadio permite que se ahorren cientos de miles de litros durante un partido que se desarrolle con plena capacidad operativa.

Imagen 28.

Uno de los aspectos básicos de la rehabilitación del estadio *Luzhniki* pasó por conservar la fachada histórica del estadio, que es una de las señas de identidad más reconocibles de Moscú.



²⁰ “Estadios verdes, sostenibles y energéticamente eficientes en la Copa Mundial de Fútbol Rusia 2018”. (05-07-2018). <https://www.construible.es>

3.2. KHALIFA INTERNATIONAL STADIUM | RAYÁN.

El Estadio Internacional Khalifa, también conocido como Estadio Nacional está ubicado en Rayán (Catar). Fue construido en 1976 con un aforo inicial de 20.000 espectadores. Fue sede principal de los Juegos Asiáticos de 2006, de los partidos de la Copa Asiática de Fútbol 2011 y del Campeonato Mundial de Atletismo de 2019.

El estadio ha sido ampliado hasta los 68.030 espectadores para la Copa Mundial de Fútbol de 2022 que se celebrará en Catar.

La Copa Mundial en Qatar representa un gran desafío para la competición, debido a las temperaturas extremadamente altas en verano. Es por eso que un equipo de trabajo de la FIFA decidió que el torneo se llevaría a cabo entre noviembre y diciembre cuando las temperaturas pueden llegar a los 30° C.

La tecnología de climatización se basa en un Cooling District²¹. Probado durante la final de la Copa Emir el 19 de mayo de 2017, las temperaturas alcanzaron los 20° C en el campo de juego, y 23° C en los graderíos.

La instalación de este novedoso sistema ha sido coordinado por el *College of Engineering at Qatar University*: “El distrito de enfriamiento garantiza que la tecnología es un 40 % más sostenible que las técnicas convencionales. Tenemos un centro de energía ubicado a un kilómetro del estadio, desde donde se trae el agua helada en una tubería hasta el lugar. Una vez que llega aquí empujamos el aire frío sobre el campo de juego y las áreas de asientos de los espectadores”.²²

Imagen 29.

En la climatización del estadio Internacional Khalifa, las boquillas de enfriamiento de las gradas fueron diseñadas especialmente con piezas móviles de plástico que son más duraderas y permiten que el aire sea empujado en mayor volumen y con menos consumo de energía.



²¹ “Instalación del sistema de climatización en estadio de Qatar”. (18-VI-2017). <https://www.aclatinoamerica.com>

²² Saud Ghani, profesor del College of Engineering at Qatar University. www.goal.com

3.3. ESTADIO MARACANÁ | RÍO DE JANEIRO.

El Estadio *Maracanã* (oficialmente denominado estadio *Jornalista Mário Filho*), en Río de Janeiro (Brasil), fue inaugurado en 1950 con una capacidad superior a los 190.000 espectadores. Fue sede de la Copa del Mundo de Fútbol en 1950, de la Copa América 1989, de la Copa Mundial de Clubes de la FIFA 2000, de la Copa FIFA Confederaciones 2013 y de la final de Fútbol en los Juegos Olímpicos de Río de Janeiro 2016.

Este mítico monumento del fútbol fue sometido a importantes reformas para cumplir con las normas de la FIFA para estadios mundialistas, ya que Brasil fue anfitrión del mayor evento del fútbol mundial en el año 2014. Con eso, su capacidad pasó a ser de 80 000 personas sentadas.

Para este Mundial, la mayoría de los estadios-sede afrontaron rehabilitaciones energéticas en sus sistemas de climatización instalando el sistema *Carrier*, a base de equipos centrales de agua fría.

En el estadio *Maracanã* se optó por estos equipos para la climatización de las dependencias internas y los graderíos de los espectadores. En concreto, se instalaron máquinas condensadoras de agua fría (*chillers*) y unidades de tratamiento de aire.²³

Entre los datos de sostenibilidad más destacados, el sistema *Carrier* logró reducir el uso del agua en la instalación de refrigeración en un 68% y, gracias a su moderno sistema de automatización de consignas de temperatura (que permite discriminar las zonas según su grado de ocupación), logró disminuir el uso de energía en un 13%.

Imagen 30.

El estadio *Maracanã* recibió la Certificación LEED, concedida por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos. Entre los parámetros más valorados, destacó por el uso eficiente de la energía y la calidad ambiental conseguida en las dependencias interiores y en el graderío.



²³ "Aire de Mundial: Carrier climatiza 7 estadios de Brasil 2014". (30-06-2014). <https://www.arquimaster.com.ar>

3.4. TOTTENHAM HOTSPUR STADIUM | LONDRES.

El mítico estadio *White Hart Lane*, sede del equipo Tottenham Hotspur, fue inaugurado en el norte de Londres en 1899, con una capacidad de 36.285 espectadores.

Con bastante retraso sobre las fechas previstas, en abril de 2019 se pudo inaugurar el nuevo estadio de los 'Spurs', que trasciende lo meramente deportivo: la construcción de este recinto deportivo forma parte de la remodelación del conjunto de *White Hart Lane*.²⁴

Esta remodelación, diseñada por el estudio Populus, es la parte central del *Northumberland Development Project*, un plan que incluye la construcción de nuevas casas, zonas verdes, una escuela, un centro de salud, supermercados o un recinto para practicar deportes extremos. En definitiva, una pequeña ciudad dentro de otra ciudad.

En lo que se refiere a la sostenibilidad, el foco se puso en la climatización. Así, el estadio forma parte de la red *District Energy*, que incluye la llamada calefacción de distrito o urbana, una instalación dependiente de una central desde la que se distribuye a toda el barrio de *White Hart Lane*. Este sistema se apoya en las energías renovables.

Para la gestión energética dentro del estadio se ha confiado en los sistemas *Schneider Electric*, que han implementado las mejores soluciones tecnológicas para las operaciones (OT) con lo último en tecnología de la información (TI). De esta manera, se proporciona una monitorización constante en tiempo real para un mantenimiento preventivo y personalizado de la temperatura del graderío, de las zonas de ocio y de las áreas destinadas a vestuarios y oficinas.

Imagen 31.

En la fase de construcción del estadio *White Hart Lane* se usaron cables para crear un techo más ligero que requirió menos energía y produjo menos desechos durante el montaje. Además, el 75% de los materiales utilizados provenían del antiguo estadio.



²⁴ "Los nuevos estadios de fútbol comprometidos con el desarrollo sostenible". (30-IV-2019). <https://inarquia.es>

3.5. VITESSE STADION | ARNHEM.

El *Gelredome* es un estadio multiuso de la ciudad de Arnhem, capital de la provincia Güeldres en los Países Bajos. El fútbol es la actividad más importante del estadio (donde juega el Vitesse, equipo de la máxima categoría del fútbol neerlandés), pero también se organizan conciertos, fiestas de música, encuentros de la Copa Davis de tenis y eventos como el Monsterjam.

Este estadio se inauguró en 1998, cuenta con un techo retractil y una instalación de climatización que proporciona la temperatura perfecta tanto en invierno como en verano facilitando un uso flexible del mismo todo el año. Los 269 radiadores de alta intensidad del sistema GoGas (de radiación infrarroja) proporcionan a los espectadores un calor confortable de forma inmediata.²⁵

Se trata de un sistema de calefacción para gradas y estadios de fútbol gracias a la calefacción radiante por medio de radiadores de alta intensidad. Su alto factor de radiación proporciona una temperatura confortable incluso en el caso de temperaturas bajo cero. Igual que cuando encendemos una lámpara, el calor está disponible inmediatamente.

Gracias a la capacidad basculante de los radiadores infrarrojos, es posible calentar de manera flexible las gradas, la zona de juego e incluso la cubierta del estadio. En invierno, la eliminación de la nieve se puede evitar con facilidad. Además de soluciones antivientos, GoGas instaló soluciones especiales para los vestuarios.

Imagen 32.

Estadio *Gelredome*, que cuenta con el sistema de calefacción *GoGaS*. Exige una mínima labor de mantenimiento porque está especialmente diseñado para su uso al aire libre.



²⁵ "Sistemas de calefacción para estadios". www.magnovent.eu

3.6. STAMFORD BRIDGE | LONDRES.

Stamford Bridge es un estadio situado en el distrito de Hammersmith y Fulham, en Londres, y es el hogar del Chelsea Football Club. La capacidad del estadio es de 41.841 espectadores y fue inaugurado en 1877.

Durante su última remodelación, en 1990, se puso especial atención en instalar un sistema de climatización eficiente, con el principal objetivo de asegurar, sobre todo en invierno, unas condiciones ambientales óptimas para el público.

Se eligió el sistema *Magnovent* de calefacción radiante²⁶, de gran potencia y capaz de ofrecer calor al instante. De entre las soluciones más eficientes se colocaron radiadores de alta intensidad SERIE-M cuyas principales características son: moderno quemador de inyección que permite un funcionamiento casi libre de gases residuales; cámara de combustión, que fue ganadora del premio Plus X Award 2011 como mejor producto del año; placa cerámica con más de 900 finos poros y temperatura de 950°C; eficiencia térmica del 95%; cubierta de aluminio anticorrosión, para soportar condiciones ambientales adversas.

Este sistema consigue una óptima eficiencia energética en el funcionamiento del estadio ya que utiliza el calor por infrarrojos y el gas como fuente de energía económica, generando al mismo tiempo la cantidad de calor adecuada para los espectadores y distribuyendo el calor a un punto preciso del graderío, sin pérdida de energía. De este modo, los radiadores por infrarrojos permiten disfrutar del fútbol en vivo evitando así que el frío sea un inconveniente.

Imagen 33.

Estadio *Stamford Bridge*, que dispone del sistema *Magnovent* de calefacción radiante. Al estar descentralizado ofrece la opción de encenderlo por secciones, lo que permite elegir las zonas en las que se desea utilizar la calefacción.



²⁶ "Calefacción radiante para la climatización de estadios de fútbol en invierno". (10-XI-2016). www.magnovent.eu

3.7. ŞÜKRÜ SARAÇOĞLU STADYUMU | ISTABUL

El *Şükrü Saraçoğlu Stadyumu* es un estadio de fútbol en el barrio de Fenerbahçe, de Estambul (Turquía). Es el recinto en el que juega como local el equipo de fútbol estambulita Fenerbahçe SK. Fue inaugurado en 1907 y actualmente cuenta con una capacidad total de 50.509 espectadores. Albergó la final de la Copa de la UEFA en el año 2009.

Durante el año 2003 el estadio fue sometido a una profunda remodelación y se instaló el sistema *Schwank* de radiación infrarroja²⁷ para dotar de calefacción las gradas cubiertas.

Los calefactores radiantes *Schwank* soportan perfectamente el viento que, por debajo de la cubierta, provoca corrientes y turbulencias de intensidad y dirección variables.

El impacto de esta técnica de calentamiento es comparable al efecto del sol en los días fríos de invierno: a pesar de las bajas temperaturas exteriores predominantes, es muy confortable estar al sol. Esto es debido a que la energía infrarroja se convierte en calor al entrar en contacto con la piel y la ropa.

Con los radiadores de infrarrojos *Schwank* el calor se dirige precisamente a donde se requiere en el área de los espectadores. El calor se puede sentir casi de inmediato; poco después de encender los sistemas debido al rápido tiempo de reacción de este sistema de calefacción único. Además, como el radiador de infrarrojos siempre está listo para ser puesto en servicio, tampoco hay necesidad de largas fases de calentamiento. Y se minimizan el consumo de energía y los costes asociados.

Imagen 34.

Estadio *Şükrü Saraçoğlu*, cuyas gradas y zonas VIP disponen del sistema *Schwank* de calefacción radiante por infrarrojos. Es respetuoso con el medio ambiente ya que logra muy bajas emisiones de NOX a la atmósfera.



²⁷ "¿Por qué instalar un sistema de calefacción Schwank para estadios?". (2019). <https://www.schwankgroup.com>

3.8. ESTADIO SANTIAGO BERNABÉU | MADRID

El estadio *Santiago Bernabéu* es un recinto deportivo propiedad del Real Madrid CF, situado Madrid (España). Se inauguró el 14 de diciembre de 1947 y su aforo actualmente es de 81.044 espectadores.

Desde junio de 2019 se está llevando a cabo una profunda remodelación que dotará al recinto deportivo de zonas comerciales, mayor oferta gastronómica, un museo interactivo, un recubrimiento de bandas de acero y una cubierta retráctil y lo convertirá en uno de los estadios más sostenibles del mundo.²⁸

El sistema de calefacción elegido es *Radiant Heating*, a base de superficies con temperatura controlada que intercambian calor con el entorno que lo rodea a través de la convección y la radiación.

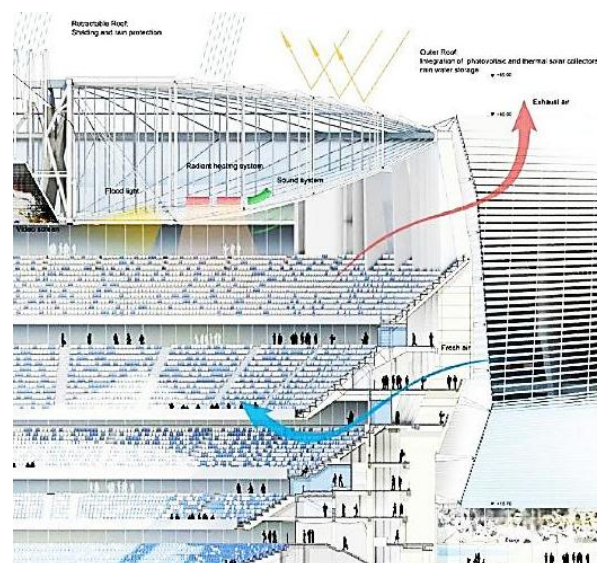
Se trata de un sistema de calefacción radiante hidrónico (a base de agua), que está formado por paneles descolgados de la cubierta. Aunque están al aire libre, permiten la orientación de espacios específicos dentro del graderío, calentando solo a las personas y objetos en su camino.

La naturaleza modular de los paneles previstos para el techo ofrece una total flexibilidad en términos de colocación que permitirá la integración de la iluminación y del resto de los sistemas eléctricos. Además, se adecuarán a las necesidades de los palcos y de otras dependencias VIP cerradas.



Imágenes 35 y 36.

El estadio *Santiago Bernabéu* será sometido a una profunda renovación que durará cuatro años. Para garantizar el confort en las gradas, se instalará un *Radian Heating System*.



²⁸ "Radiografía del nuevo Santiago Bernabéu, el que será el mejor estadio del mundo". (03-04-2019). <https://www.20minutos.es>

3.10. KEK STADIUM | KÜSNACHT.

El *KEK Stadium* es un recinto deportivo situado en la localidad de Küsnacht (Suiza), muy cerca de Zúrich. Aunque se trata de un edificio polifuncional, es la sede del *GCK Lions*, equipo de la liga suiza de hockey sobre hielo.

Fue construido en el año 1997 por iniciativa del ayuntamiento local, con una capacidad total de 2.800 asientos.

En el año 2003 se implantó el sistema *Zehnder ZIP* de climatización²⁹ mediante techo radiante (irradiación por agua caliente en circulación). Al tratarse de una estructura modular permite combinarse de forma flexible lo que le hace idóneo para cualquier posición. En especial su peso, considerablemente menor, no sólo facilita el montaje, sino que lo convierte en la mejor opción en el caso cubiertas que admiten una carga reducida.

Los techos radiantes de *Zehnder ZIP* están compuestos por una chapa de acero con molduras de gran profundidad donde se alojan los tubos. Si así se desea, el aislamiento puede colocarse en la parte superior del techo a modo de aislamiento térmico que sirve también para la absorción acústica. Todos los componentes están protegidos contra la corrosión, de modo que también puede utilizarse a la perfección en espacios húmedos abiertos con una altura de colocación de hasta 30 m.

En el *KEK Stadium* los techos radiantes *Zehnder ZIP* calientan el graderío de una forma tan eficiente como agradable. Según la norma DIN V 18599, se ha obtenido un ahorro energético superior al 40% con respecto a otros sistemas radiantes.

Imagen 37.

Estadio *KEK*, en el que se ha instalado un sistema *Zehnder ZIP* de techo radiante. La superficie de las chapas está recubierta con un lacado en polvo termo-endurecido de alta calidad.



²⁹ "Climatización confortable, de alto ahorro energético y flexible. (2016). <https://www.zehnder.es>

4

SISTEMAS RADIANTES DE CLIMATIZACIÓN

De los ejemplos de estadios expuestos en el capítulo 3, los sistemas radiantes de climatización son los que mejor cumplen los **condicionantes de partida** para la propuesta de reforma energética del estadio *José Zorrilla*.

Según la norma UNE-EN 1264 existen tres tipos de sistemas de climatización radiantes, para refrigeración/calefacción:

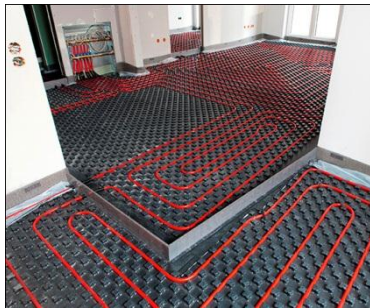


Imagen 38.

Ejemplo de suelo radiante.



Imagen 39.

Ejemplo de pared radiante.

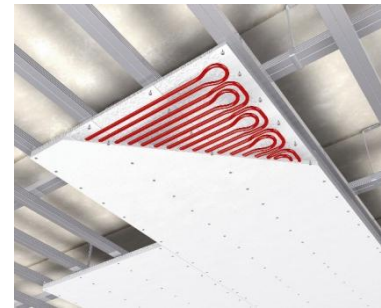


Imagen 40.

Ejemplo de techo radiante.

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Son sistemas que se componen de tuberías, por las que circula agua caliente o fría, y superficies planas. Las tuberías se disponen ocultas tras las superficies y las transmiten la temperatura del agua en circulación. Así, las superficies alcanzan una temperatura superficial más caliente o fría que el ambiente circundante, y lo climatizan de tres formas:

- Por convección natural.
- Por radiación infrarroja.
- Por radiación + convección.

En la convección natural, la superficie radiante caliente o enfría el aire de la estancia. Si el aire se calienta, asciende hasta la parte superior, y si se enfría sucede lo contrario, desciende hasta la inferior. Este modelo funciona bien para suelos calientes y la energía transmitida se aprovecha al 100% ya que el aire se encuentra en constante movimiento desde el cuerpo caliente inferior hasta la parte superior de la estancia,

generando una gran sensación de confort en todo el volumen interior. Lo mismo sucede con los techos refrigerantes. Las tuberías ocultas se enfrían y el techo transmite la energía disminuyendo la temperatura del aire interior. De manera que este desciende hasta la parte inferior de la dependencia, abarcando, de nuevo, todo el volumen del espacio.

En la radiación infrarroja, las superficies radiantes no calientan o enfrían el aire de la estancia en la que se encuentran, sino que emiten la energía en forma de radiación que solo se percibe cuando entra en contacto con objetos, paramentos y personas; de manera que la temperatura del aire permanece invariable, sin embargo, se aprecia una variación en la sensación térmica.³⁰

El tercer caso es la suma de las dos anteriores.

El funcionamiento óptimo de los sistemas de climatización radiantes tiene las siguientes propiedades:

- La temperatura superficial máxima para el suelo es de 29°C para las zonas definidas como de ocupación.
- La temperatura superficial máxima para zonas perimetrales y cuartos de baño es de 35°C.
- La temperatura suficiente para conseguir un suelo refrescante en verano puede ser de 20°C.
- La temperatura de impulsión del agua de las tuberías debe estar entre 30 y 50°C, no superando nunca los 55°C.
- Posibilidad de emplear caldera convencional, bomba de calor o energía solar térmica para calentar el agua.
- Las dependencias interiores adquieren una temperatura interior muy uniforme.
- La velocidad del aire de la estancia no supera los 0,05 m/s-
- Se consigue un ahorro energético respecto a un sistema convencional de calefacción.
- Posibilidad de fugas que supongan una reparación costosa.
- Preferible utilizar estos sistemas en edificios de uso continuado.
- El mobiliario de la estancia puede reducir sensiblemente la emisión de calor.

³⁰ El ser humano no puede sentir la temperatura del aire, lo que percibe es la llamada temperatura sensitiva, o también temperatura ambiente operativa, la que se define como media entre la temperatura del aire y la media de la temperatura de radiación. Así pues, para la temperatura sensitiva, la que es clave para el confort y el bienestar, vale la ecuación: $T^{\text{sensitiva}} = (\text{media } T^{\text{aire}} + \text{media } T^{\text{rad}}) / 2$. El sistema de techo radiante fue fabricado por primera vez en Holanda en 1953.

La estructura de los sistemas radiantes de climatización se compone de cuatro subsistemas:

- A. Red de abastecimiento de agua.
- B. Caldera, bomba de calor o energía solar térmica.
- C. Circuito de ida y retorno.
- D. Superficies radiantes.

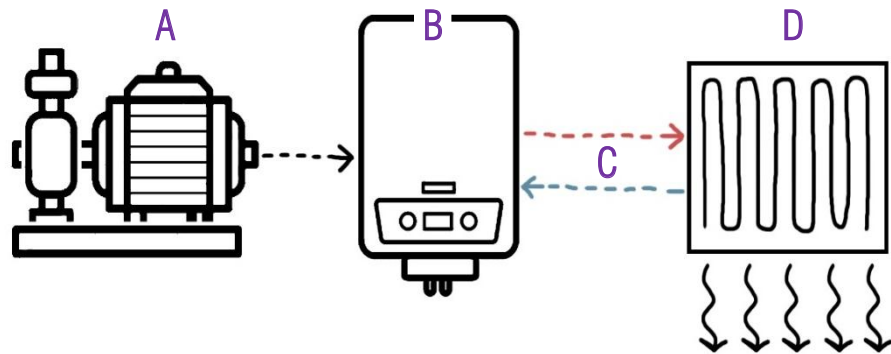


Imagen 41.
Subsistemas
del sistema radiante
de climatización.

Las tuberías que componen el sistema pueden ser de los siguientes materiales:

- Metálicas (hierro o cobre).
- Termoplásticas.

Las tuberías de hierro solamente se encuentran ya en edificios antiguos a rehabilitar, empotradas en el hormigón, como alternativa al yeso con el cobre (aunque puede ser recomendable para instalar paneles en ambientes exteriores), ya que los coeficientes de dilatación del acero y del hormigón son muy parecidos. Son tuberías que suelen dar muchos problemas de corrosión y son difíciles de montar, por lo que se encuentran obsoletas.

Por otro lado, las tuberías de materiales termoplásticos —como el polipropileno copolímero (PP-c), el polibutileno (PB) o el polietileno reticulado (PER o VPE)— soportan mucha más presión de servicio, son más flexibles para su instalación y permiten la ejecución de superficies más lisas al ocupar menos espacio (16 o 20 mm de diámetro).

Estas tuberías se pueden disponer en las superficies radiantes de tres formas diferentes:

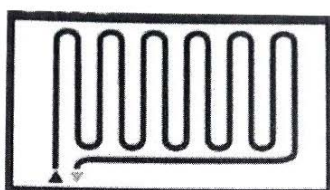
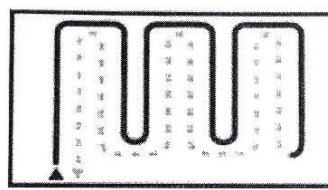
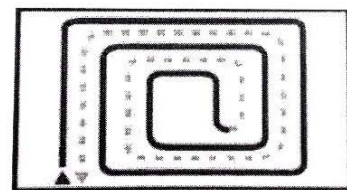


Imagen 42. Serpenteo sencillo



Serpenteo múltiple



Espiral

Para suelos, la distribución en serpentín es la más sencilla, pero presenta el inconveniente de que el agua se va enfriando a lo largo del circuito, a pesar de tener la misma cantidad de tubo por metro cuadrado en cualquier parte de la estancia.

Si se disponen las tuberías en doble o triple serpentín se soluciona esa desventaja, además de poder adaptarse con facilidad a espacios con formas irregulares.

Para suelos y techos, la mejor distribución es en espiral. De esta manera, el tubo de ida se alterna sucesivamente con el de retorno y se consigue una temperatura uniforme en todo el suelo o techo de la estancia.

En resumen, las superficies radiantes son una solución eficaz para climatizar una estancia o espacio. A pesar de contar con los inconvenientes de posibles fugas, problemas de purga de aire o de humedad incontrolada; son unos sistemas que no presentan ningún aparato calefactor a la vista, que permiten aprovechar al máximo el espacio interior, que transmiten el calor a temperaturas muy bajas y que permiten aplicar sistemas de generación térmica más sostenibles con el medioambiente.

4.2. ZEHNDER: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN POR TECHO RADIANTE.

ALB sistemas, Fegeca, Fenercom, Polytherm, Zehnder, ... son solo algunas de las marcas que comercializan sistemas de climatización por techo radiante.³¹ Del examen crítico, sistemático y detallado de sus características principales se tomó la decisión de aplicar el **sistema Zehnder**³² para climatizar los espacios interiores y exteriores del estadio *José Zorrilla* (hipótesis de trabajo).

Los techos radiantes *Zehnder* calientan y refrigeran una edificación de una forma tan eficiente como agradable. Pueden utilizarse en cualquier espacio con una altura de entre 3 y 30 m. Según la norma DIN V 18599, es posible obtener un ahorro energético superior al 40% con respecto a otros sistemas.

³¹ "Climatización por techo radiante. Tipologías y ventajas. Caso de práctico". (17-IV-2018). www.asetub.es

Los sistemas hidrónicos por techo mediante superficies radiantes se presentan como una alternativa a los sistemas "sólo aire" tanto en calefacción como en refrigeración, y ofrecen grandes ventajas como es el intercambio de energía entre las superficies y las zonas adyacentes mediante radiación y sin que haya movimiento de aire y polvo o se genere ruido.

En el intervalo de temperatura ambiente comprendido entre 20 y 28 °C, el óptimo confort/equilibrio térmico está relacionado principalmente con la justa proporción entre los modos de intercambio.

³² Historia de Zehnder. www.zehnder.es

Con más de 100 años de experiencia (fundada en 1895), *Zehnder* es una empresa multinacional con sede central en Suiza. Está presente en todo el mundo y es líder europeo en la fabricación de climatización a base de techos radiantes.

4.2.1. Funcionamiento y componentes.

Los techos radiantes *Zehnder* calientan el aire por convección natural y emiten energía en forma de radiación infrarroja, lo que permite no solo calefactar sino también refrigerar de forma eficaz. Están formados por unas placas radiantes sobre las que se disponen las tuberías de agua (caliente o fría), para que puedan transmitir esa energía al ambiente.

Al emitir radiación infrarroja, el calor solo se percibe cuando entra en contacto con el cuerpo humano o con objetos y paramentos. De esta forma, no necesitan calentar todo el aire del espacio para conseguir una sensación de confort agradable, por lo que pueden funcionar con bajas temperaturas de impulsión y así reducir el consumo energético.

4.2.2. Principios.

Los techos radiantes de *Zehnder* están basados en los principios de rentabilidad, confort y flexibilidad de montaje:³³

- Rentabilidad:
 - Ahorro superior al 40% de energía.
 - Temperatura del aire hasta 3° K menor (calefacción) o mayor (refrigeración).
 - Compatible con diversos tipos de calderas y enfriadoras.
 - Mínimos gastos de mantenimiento.
- Confort:
 - Sistema basado en la radiación solar.
 - Distribución uniforme de calor/frío por todo el espacio.
 - Distribución uniforme de la temperatura por toda la altura del edificio.
 - No hay dispersión de polvo.
 - Sistema completamente silencioso.
- Flexibilidad y facilidad de montaje:
 - Concepción modular. Combinable tanto en longitud como en anchura. Longitudes 2, 3, 4, 5 y 6 m | anchura 320mm.
 - Soluciones especiales, ideales para montar en espacios exteriores.
 - Sistema de fijación flexible (sin soldaduras).

³³ "Sistemas de calefacción y refrigeración por techo radiante". Catálogo técnico 2018. Zehnder Group España, SA

- Las superficies de suelo y paredes de los espacios climatizados son aprovechables en su totalidad.
- Peso reducido de la instalación que no exige refuerzos ni estructuras auxiliares.

4.2.3. Modelos Zehnder elegidos para la propuesta.

Entre los modelos que comercializa Zehnder, los que mejor se adaptan a las necesidades de climatización del estadio José Zorrilla son dos:

- El Modelo NIC (para interiores).³⁴

Adopta una forma muy convencional de falso techo modular que permite una fácil instalación en cualquier espacio. Emplea agua a temperaturas muy bajas en invierno (27-30 °C) y relativamente altas en verano (15-20° C).

El panel radiante es un sándwich prefabricado compuesto por una capa de cartón-yeso de espesor de 15 mm y otra capa de poliestireno expandido EPS 200, clase 1. Este poliestireno cuenta con una densidad de 30 kg/m³ y espesor 27 mm. En el interior de la lámina de cartón-yeso se encuentran alojados los circuitos de tubería, con barrera de oxígeno.

Incluye la opción de regular todo el conjunto mediante un sistema digital de control y deshumidificación que garantiza la máxima seguridad en condiciones extremas: entrada del agua a temperatura calculada en relación al “punto de rocío”, controlada por las cronosondas.



Imagen 43.

Modelo NIC, instalado en una oficina. Los circuitos mantienen características hidráulicas constantes y se conectan mediante accesorios estándar *press fitting* y sistema de compresión axial.

³⁴ “Principios del dimensionado”. (2018). www.zehnder.es

Los paneles de techo radiante del modelo NIC realizan una emisión suave y uniforme, no exigen mantenimiento, no generan gases ni ruidos y tienen la posibilidad de enfriar. Además, se caracterizan por su baja inercia térmica, por garantizar rendimientos térmicos y frigoríficos (Según DIN V 4706 y 4715) y nos suponen movimiento de aire.

- El Modelo ZIP (para exteriores).³⁵

Es una tipología empleada en grandes espacios, con alturas que llegan a los 30 m. Se trata de un tipo de techo radiante descolgado, con elementos alargados (módulos de hasta 6 metros de longitud y 320 mm de anchura), que permite conectar unos a otros en serie e incluso en batería para cubrir la totalidad del área a climatizar.

Imagen 44.

Modelo ZIP, instalado en un polideportivo. Los techos radiantes se suministran con un acabado liso. La superficie está galvanizada y, al mismo tiempo, recubierta con una pintura de poliéster de alta calidad (RAL 9016).



³⁵ "Principios del dimensionado". (2018). www.zehnder.es

Para la instalación de los módulos ZIP, la carga térmica del espacio a climatizar se calcula según la normativa local vigente. Si la renovación de aire en la estancia supera las magnitudes habituales por infiltración (máx. 1/h), especialmente en caso de instalaciones de aspiración, se debe precalentar el aire de alimentación. La incidencia del aire frío en puertas o en áreas de carga no se puede evitar exclusivamente mediante climatización radiante. En estos casos se deben emplear dispositivos auxiliares, p. ej. cortinas de tiras, cortinas de aire, etc.

5

APLICACIÓN DE TECHOS ZEHNDER A TRES ZONAS DEL ESTADIO JOSÉ ZORRILLA

Como último paso de la metodología analítico-comparativa que ha marcado el presente Trabajo Fin de Grado (TFG), este capítulo desarrolla la **hipótesis de trabajo**: aplicar un único sistema de climatización (techo radiante Zehnder) a los vestuarios y espacios comunes, a los palcos VIP y la tribuna oeste del estadio *José Zorrilla*.

5.1. VESTUARIO Y ESPACIOS COMUNES | MODELO NIC.

Para estos espacios interiores se ha elegido el modelo NIC 600 de Zehnder. Está formado por un panel sándwich prefabricado con una placa de yeso de 15 mm de espesor en su cara inferior y una capa de espuma de poliestireno de clase 1 EPS 200 de 27 mm de espesor en su cara superior. Entre ambas caras se disponen las tuberías de agua formando dos circuitos en espiral. El material de las tuberías es de PE-Xa Ø8x1 mm con una barrera de oxígeno.

Gracias al aislamiento térmico del panel se evita que el calor del circuito escape por la parte superior del techo. La placa de yeso es la que cumple la función radiante del modelo.



Imagen 45.

Prototipo de panel NIC-600.

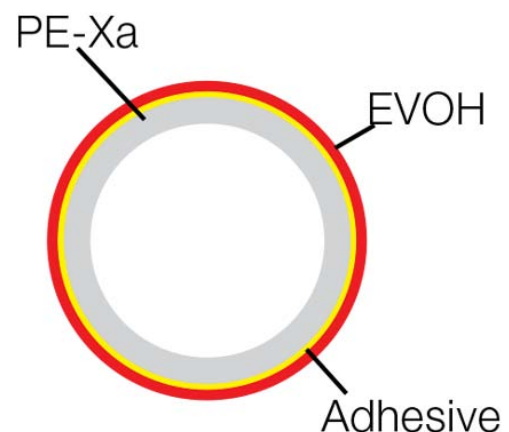


Imagen 46.

Sección de la tubería de agua dentro del panel NIC-600.

5.1.1. Componentes.

Cada panel NIC 600 tiene las dimensiones establecidas por el fabricante: 2000x1200mm. Nos permiten cubrir el área total del vestuario así como de los espacios comunes.

A través de unos tubos aislantes multicapa 20x2 de ida y retorno, el agua circula desde la caldera del estadio a los distintos paneles.

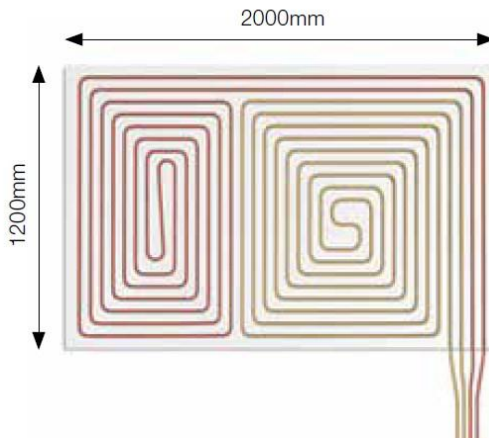


Imagen 47.

Dimensiones tipo del panel NIC-600.

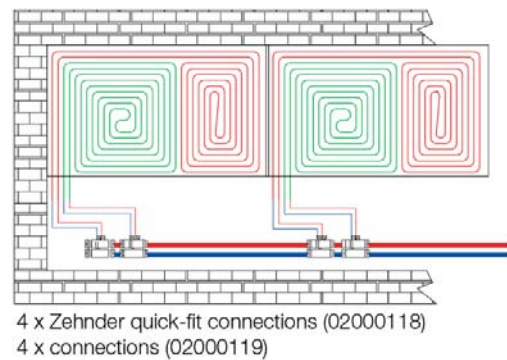
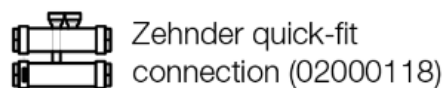


Imagen 48.

Esquema de conexión de paneles NIC-600 y circuitos.

La conexión entre el tubo multicapa y el circuito en espiral del panel se resuelve con conectores *quick-fit*.



Zehnder quick-fit connection (02000118)

Imagen 49.

Despiece del conector *quick-fit*.



Estas conexiones hidráulicas entre los circuitos y los colectores de las líneas de aducción lineales se realizan con acoplamientos de liberación rápida. Los “colectores lineales” se colocan adyacentes a los paneles, garantizando una mínima pérdida de carga. Estas conexiones permiten que la presión máxima de servicio sea de 4 bar (a una temperatura del fluido de 40 ° C).

Además, es necesario contar con un deshumectador Isotérmico del aire interior, capaz de integrarse al sistema en verano (refrigeración) e invierno (calefacción). Lo ideal es instalarlo en horizontal mediante conexión BUS.

5.1.2. Clasificación energética.

El sistema NIC de *Zehnder* cuenta con la clasificación A+ de eficiencia energética calculado a partir de la "energía específica de consumo" (SEC).³⁶

Todas las unidades de climatización incorporan la etiqueta que indica su consumo de energía.

De este modo, *Zehnder* ofrece al consumidor final mayor transparencia sobre el consumo real de los equipos y al profesional le facilita la elección de productos homologados a nivel Europeo.

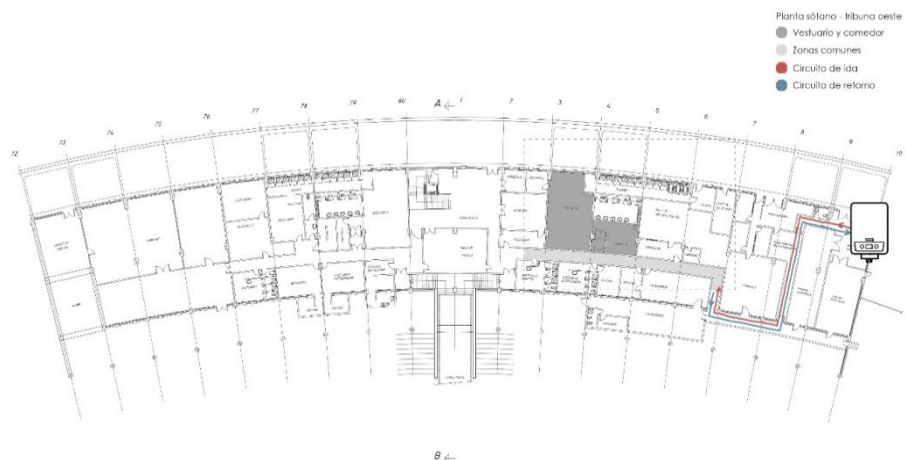
Para garantizar esta clasificación es fundamental disponer de una unidad de control que regule la demanda de caudal con dos sensores (por ejemplo, temperatura y humedad).

5.1.3. Disposición de los techos NIC 600.

Gracias a la versatilidad del sistema, los conductos que distribuyen el agua (caliente/fría) desde la sala de calderas hasta los vestuarios están colocados en el techo de los pasillos de las zonas comunes, logrando que la irradiación sea eficaz en todo momento y reduciendo al mínimo las pérdidas de temperatura.

Imagen 50.

Disposición del circuito de climatización desde la sala de calderas hasta el vestuario y las zonas comunes (ver Plano L1)



³⁶ "Zehnder incorpora la nueva Etiqueta Energética en su catálogo de ventilación". (31-10-2017). <https://www.eseficiencia.es>
La etiqueta fue introducida en toda la Unión Europea para las unidades de climatización el 1 de enero de 2016.

5.1.4. Temperatura irradiada.

La calefacción actual de los vestuarios se consigue con calefactores de infrarrojos. Se trata de unidades conectadas individualmente a la red eléctrica del estadio y que irradian zonas muy delimitadas de la estancia, sin cubrir el total de la superficie. Para lograr una temperatura uniforme en todo el vestuario sería necesario una inversión importante en calefactores y en consumo eléctrico.

A continuación se ofrecen dos gráficas en las que se indica la distribución espacial de la irradiación de cada calefactor instalado en los vestuarios y el gradiente de temperatura que se consigue.

Imagen 51.
Gráfica—planta—
de la temperatura
irradiada por los
calefactores infrarrojos
en cada vestuario
(ver Plano L3)

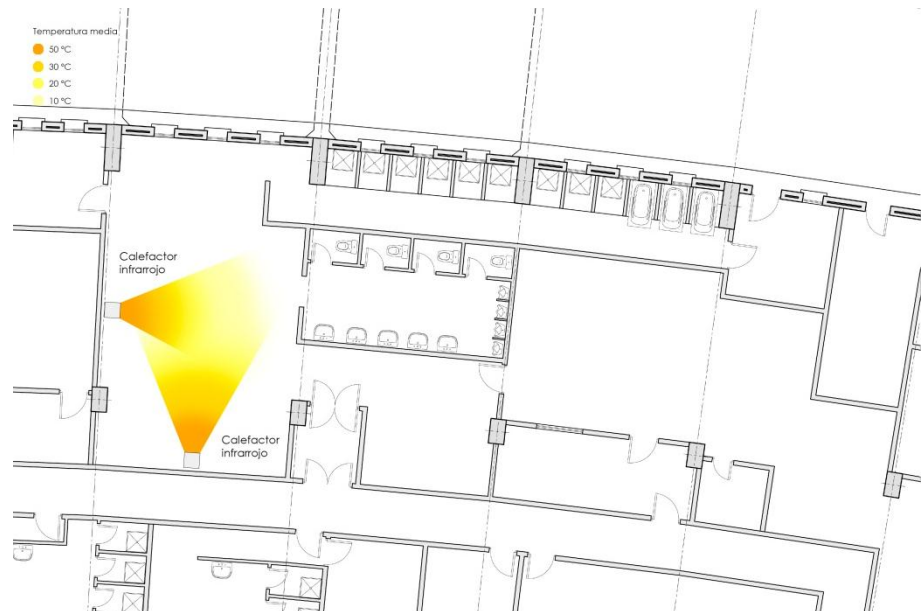


Imagen 52.
Gráfica—sección—
de la temperatura
irradiada por los
calefactores infrarrojos
en cada vestuario
(ver Plano L4)



La climatización con los paneles NIC de Zehnder, permite refrigerar y calentar los vestuarios y las zonas comunes con la misma instalación. En invierno, el agua circula a temperaturas entre 27 y 30°C; en verano entre 15 y 20°C. Esto permite calefactar o refrigerar el espacio sin necesidad de calentar o enfriar el agua excesivamente, con lo que se consigue un ahorro energético importante. Además, como el calor se irradia uniformemente por todo el espacio, la sensación de confort también es más elevada.

A continuación se ofrecen dos gráficas en las que se indica la distribución espacial de los techos radiantes NIC 600, instalados en los vestuarios y en los pasillos, y el gradiente de temperatura que se consigue.

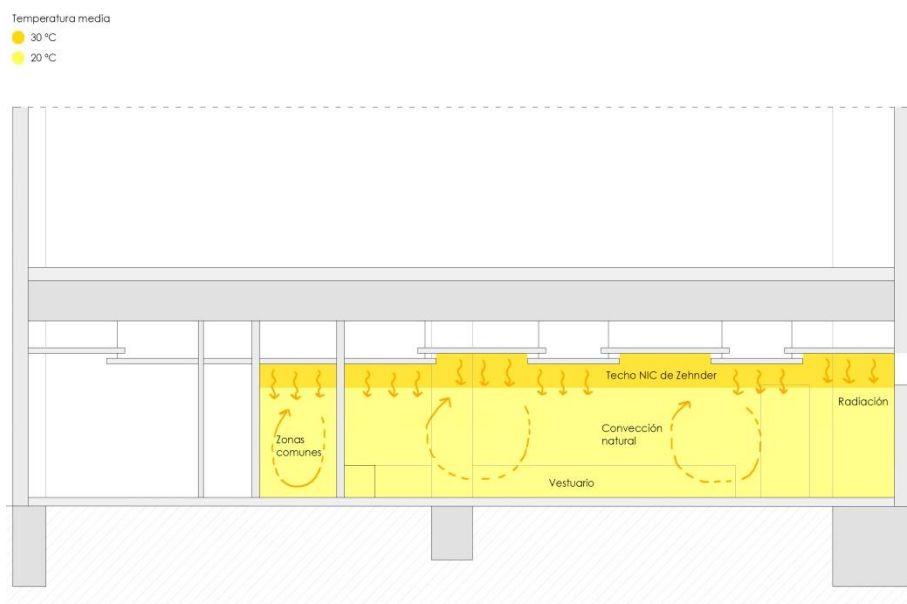
Imagen 53.

Gráfica—planta—
de la temperatura
obtenida con los techos
NIC 600
(ver Plano L5)



Imagen 54.

Gráfica—sección—
de la temperatura
obtenida con los techos
NIC 600
(convección + radiación)
en vestuarios
y zonas comunes
(ver Plano L6)



5.1.5. Sensación térmica y confort.

Los calefactores de infrarrojos instalados en los vestuarios funcionan emitiendo calor, pero no calientan el aire de la estancia sino que ese calor irradiado se percibe solo cuando entra en contacto con objetos, paramentos o personas.

Por esta razón, la sensación de confort térmico solo se percibe dentro del área de irradiancia —magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie y se mide en W/m^2 — del calefactor, provocando importantes saltos térmicos dentro de la estancia. Además, para conseguir una sensación térmica elevada, los calefactores requiere una potencia eléctrica muy alta.

A continuación se ofrece una gráfica en la que se representa la sensación térmica que proporcionan los calefactores de infrarrojos en los vestuarios. También se ofrecen dos fotografías del vestuario local, en las que se compara el alcance de la radiación con el calefactor apagado o encendido.

Imagen 55:

Gráfica—sección—
de la sensación térmica
real que proporcionan
los calefactores
de infrarrojos
a los usuarios
de cada vestuario
(ver Plano L7)

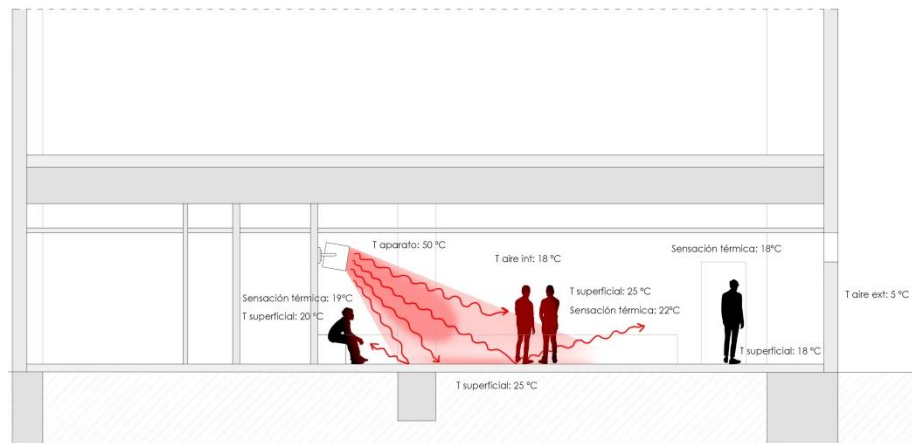


Imagen 56.

Infografía del vestuario con el calefactor apagado.



Imagen 57.

Infografía del vestuario con el calefactor encendido
y recreación del área calefactada.

Los techos NIC de Zehnder garantizan un ambiente confortable gracias a una irradiación uniforme y constante.

Para calefactar, el agua que circula por los tubos en espiral calienta el panel y éste emite la energía por convección, elevando la temperatura del aire de la estancia. A su vez, la temperatura superficial de los paneles es superior a la temperatura del aire interior y lo calientan aprovechando el efecto de la radiación. Hay que tener en cuenta que esta radiación solo calienta al entrar en contacto con personas, objetos o paramentos. De esta manera, combinando convección y radiación, se consigue un notable aumento en la sensación térmica de los usuarios y en la temperatura superficial de toda la estancia.

Para refrigerar, el agua fría fluye por los paneles del techo convirtiéndolos en el elemento más frío de la estancia. Los objetos y seres humanos calientan el aire que luego pasa por encima de la superficie fría del panel y se enfría. Ese aire enfriado fluye de nuevo hacia la estancia por convección natural. A su vez, los paneles del techo alcanzan una temperatura superficial más fría que la del ambiente interior y lo climatizan aprovechando el efecto de la radiación. Así, los techos NIC 600 de Zehnder refrigeran combinando convección y radiación.

Imagen 58.

Gráfica—sección—
de la sensación térmica
(calefacción)
que proporcionan los
techos NIC 600
a los usuarios
de vestuarios
y zonas comunes
(ver Plano L8)

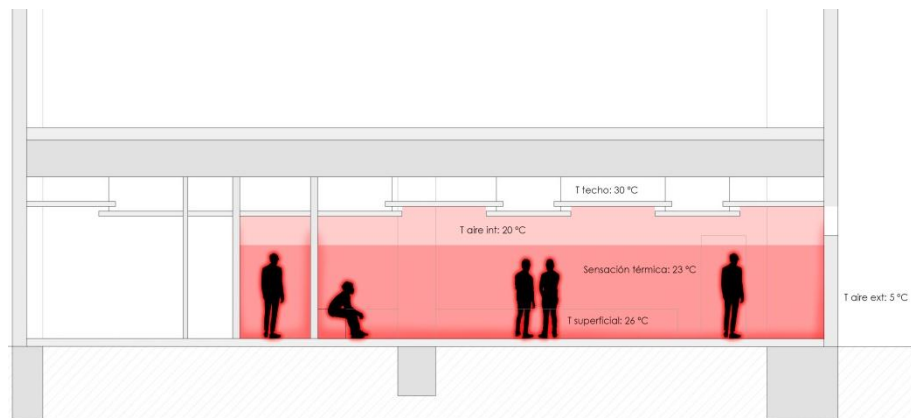


Imagen 59.

Gráfica—sección—
de la sensación térmica
(refrigeración)
que proporcionan los
techos NIC 600
a los usuarios
de vestuarios
y zonas comunes
(ver Plano L9)

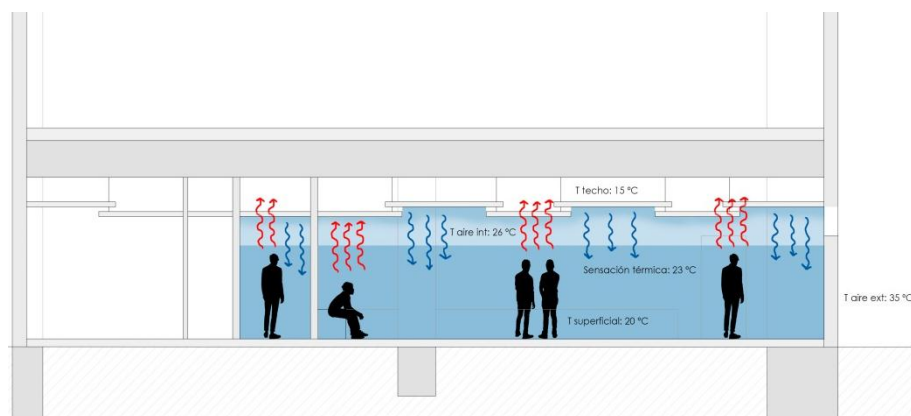




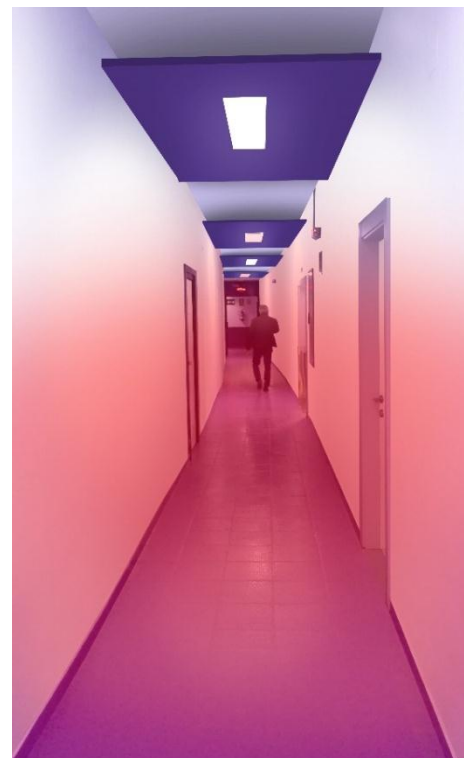
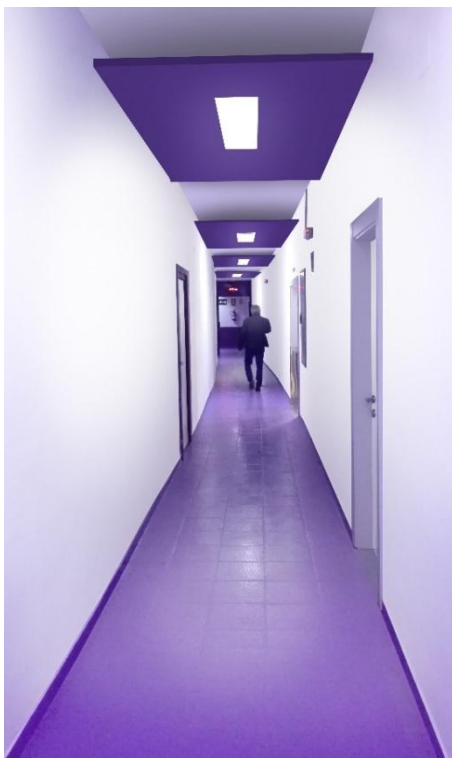
Imagen 60.

Infografía del vestuario con los techos NIC 600 sin poner en marcha.



Imagen 61.

Infografía del vestuario con los techos NIC 600 en marcha y recreación del área calefactada.



Imágenes 62 y 63.

Infografía de los pasillos y zonas comunes, con los techos NIC 600 parados (i) y en marcha (d) y recreación del área calefactada.

5.2. PALCOS VIP Y DISTRIBUIDORES | MODELO NIC.

Para climatizar los 120 espacios VIP interiores, situados en la tribuna norte, se ha elegido el mismo modelo que en los vestuarios: paneles NIC 600 de Zehnder con sus componentes y accesorios.

5.2.1. Disposición de los techos NIC 600.

Gracias a la versatilidad del sistema, los conductos que distribuyen el agua (caliente/fría) desde la sala de calderas hasta cada uno de los palcos VIP están colocados en el techo de los distribuidores de las zonas comunes, logrando que la irradiación sea eficaz en todo momento y reduciendo al mínimo las pérdidas de temperatura.

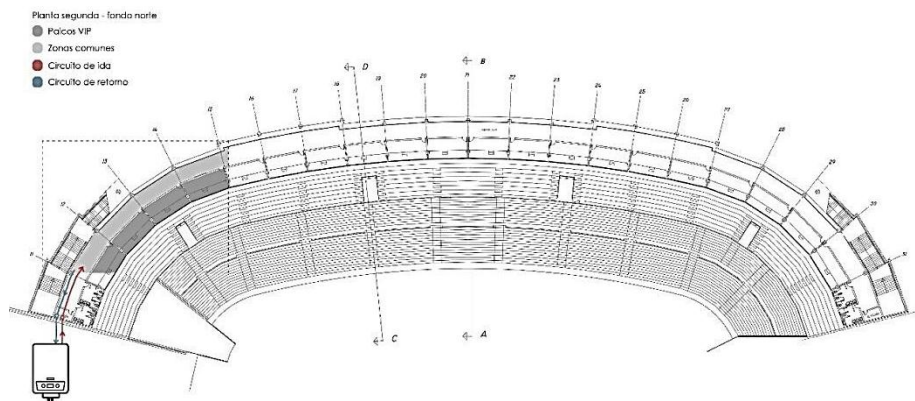


Imagen 64.

Disposición del circuito desde la caldera hasta los palcos VIP (ver Plano L10)

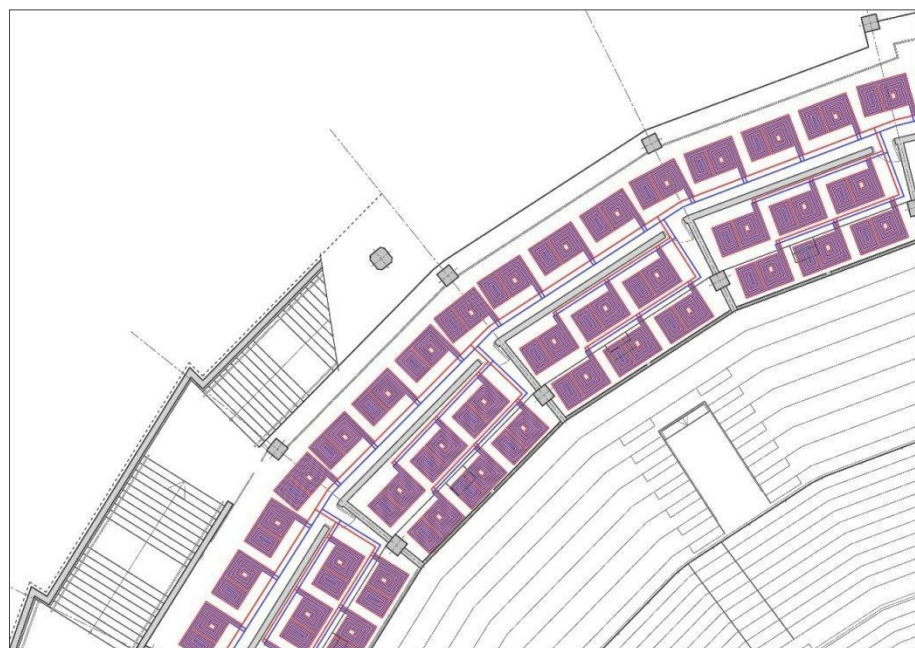


Imagen 65.

Disposición de los techos NIC 600 en los palcos VIP y en los distribuidores (ver Plano L11)

5.2.2. Temperatura irradiada.

Para climatizar los palcos VIP, el estadio cuenta actualmente con un sistema de compresión con refrigerante (*inverter*), formado por una unidad exterior, un compresor y una unidad interior.

Este modelo de climatización permite calefactar o refrigerar el espacio interior de manera eficaz pero de forma direccional.

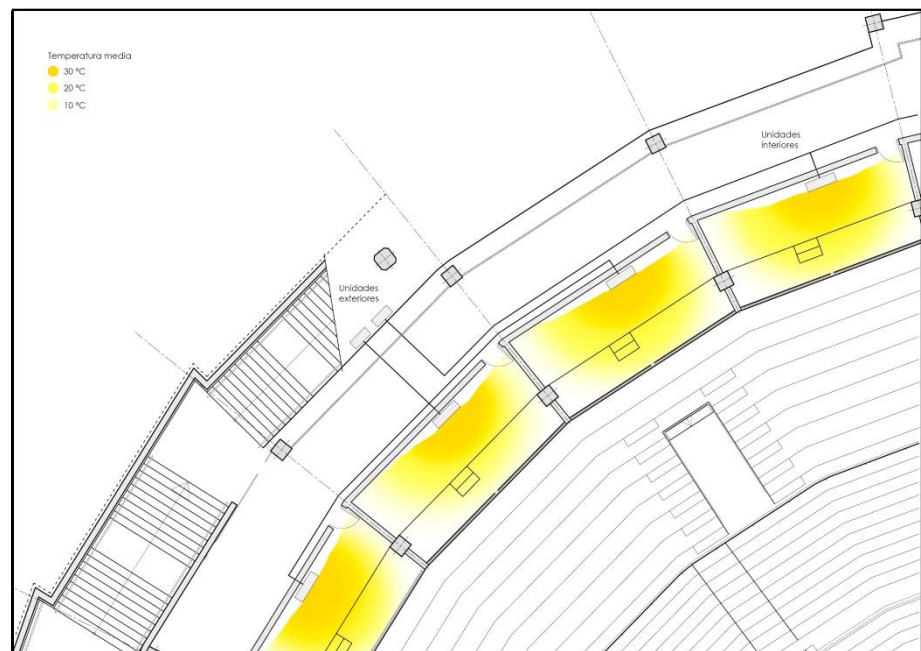


Imagen 66.

Gráfica—planta—
de la temperatura
irradiada por los
sistemas *inverter*
en los palcos VIP
(ver Plano L12)

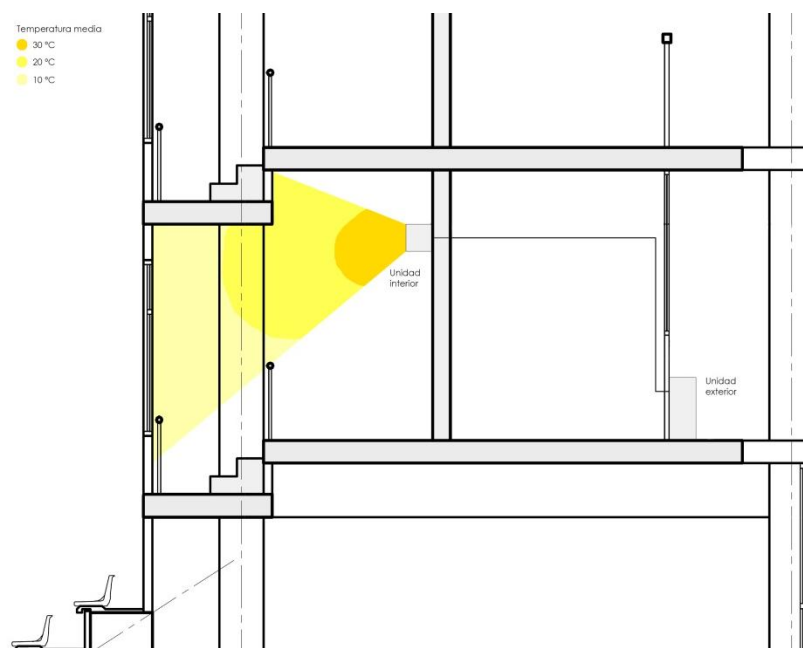


Imagen 67.

Gráfica—sección—
de la temperatura
irradiada por los
sistemas *inverter*
en los palcos VIP
(ver Plano L13)

Sin embargo, los techos radiantes NIC de Zehnder ofrecen la ventaja de no necesitar una unidad exterior, sino que funcionan con la potencia de la caldera existente en el estadio, que calienta el agua de los tubos que fluyen por encima de los paneles radiantes. Tampoco necesitan unidad interior ya que los propios paneles actúan de falso techo de la estancia, dotándola de una mayor calidad estética y sin el impacto visual de una unidad de climatización anclada en la pared.

Otra ventaja que proporciona el techo radiante es la combinación de radiación y convección, que garantiza la distribución uniforme de temperatura por todo el espacio.



Imagen 68.

Gráfica—planta—
de la temperatura
obtenida por los
techos NIC 600
en los palcos VIP
y en los distribuidores
(ver Plano L14)

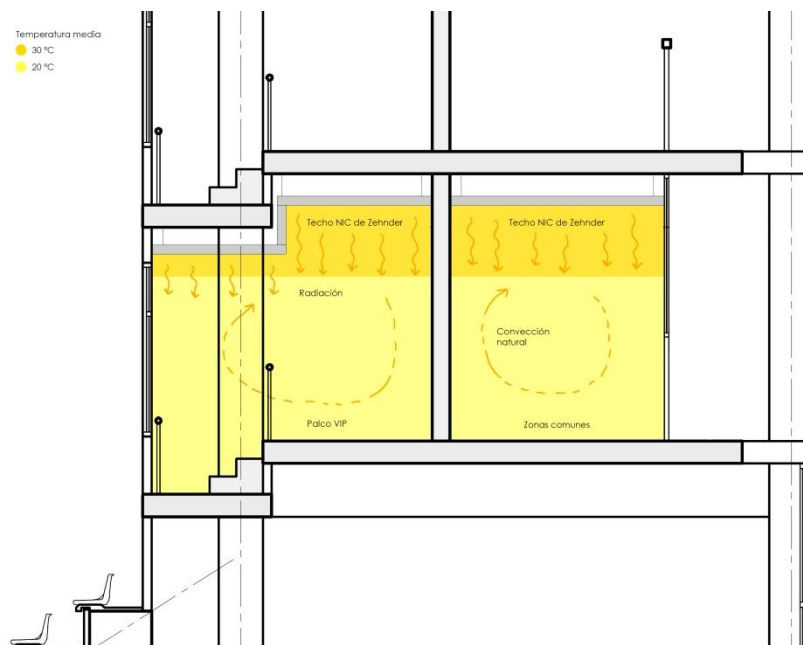


Imagen 69.

Gráfica—planta—
de la temperatura
obtenida por los
techos NIC 600
(convección + radiación)
en los palcos VIP
y en los distribuidores
(ver Plano L15)

5.2.3. Sensación térmica y confort.

El sistema de compresión con refrigerante *inverter* funciona gracias al efecto de la convección natural: Calienta o enfría el aire de la estancia y aumenta la sensación térmica de sus ocupantes.

La principal desventaja es que la transmisión de calor/frío se hace mediante impulsión de aire a velocidad elevada, generando corrientes molestas. Además, el aire caliente, asciende por efecto de la convección y se acumula en la parte superior del palco. Al enfriar el aire, sucede al contrario: el aire frío desciende hacia la parte inferior del espacio. Por ello, aunque el sistema *inverter* proporciona un confort agradable, no consigue climatizar la estancia de forma uniforme.

Imagen 70.

Gráfica —sección—
de la sensación térmica
real que proporciona el
sistema *inverter*
a los usuarios de cada
palco VIP
(ver Plano L16)

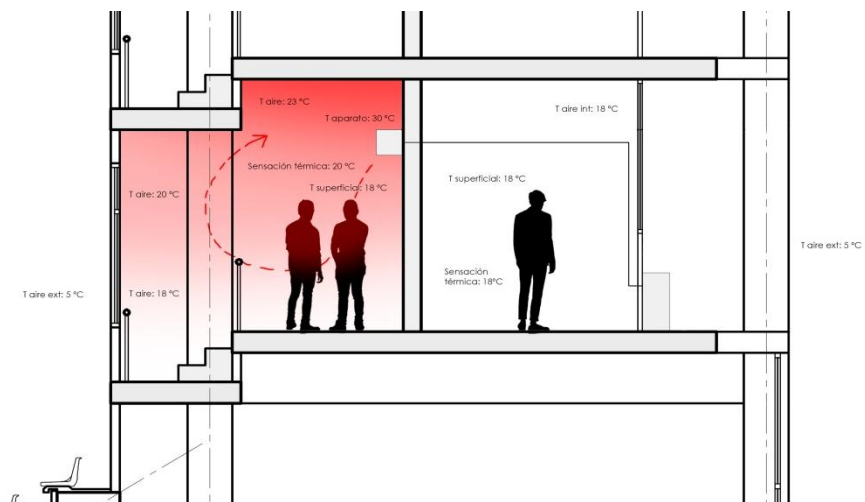


Imagen 71.

Infografía del palco VIP
con el sistema *inverter* apagado.



Imagen 72.

Infografía del palco VIP
y recreación del área calefactada
con el sistema *inverter* encendido.



Los techos radiantes NIC de *Zehnder*, funcionan combinando la convección y la radiación. Los paneles calientan o enfrían el aire de la estancia y emiten la radiación gracias a la diferencia entre su temperatura superficial y la temperatura del aire interior.

En el proceso de calefacción se consigue un notable aumento en la sensación térmica de sus ocupantes, así como en la temperatura superficial de objetos y paramentos.

Lo mismo sucede en la refrigeración. Aprovecha la energía térmica que desprenden las personas y los paramentos, y que asciende por convección, para enfriarla y hacerla descender de nuevo hacia la estancia.

Imagen 73.

Gráfica—sección—
de la sensación térmica
(Calefacción)
que proporcionan los
techos NIC 600
a los usuarios
de cada palco VIP
y los distribuidores
(ver Plano L17)

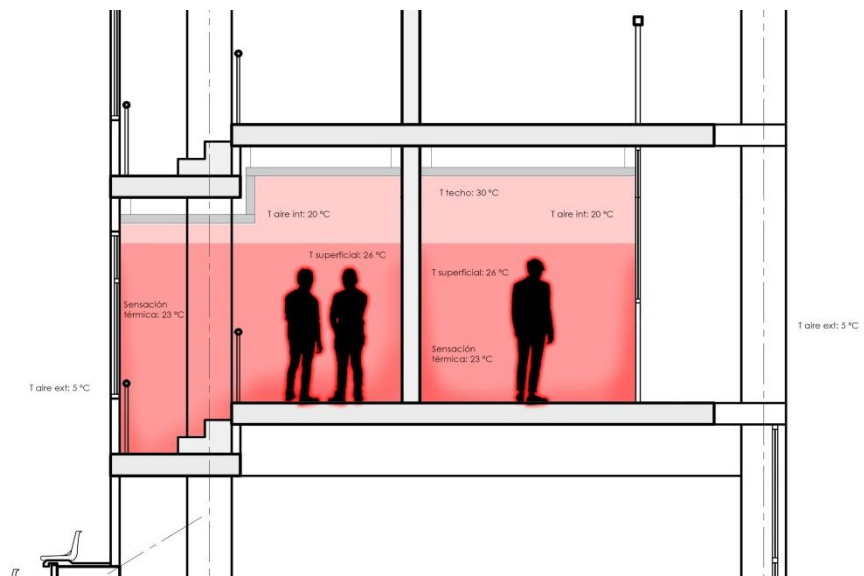
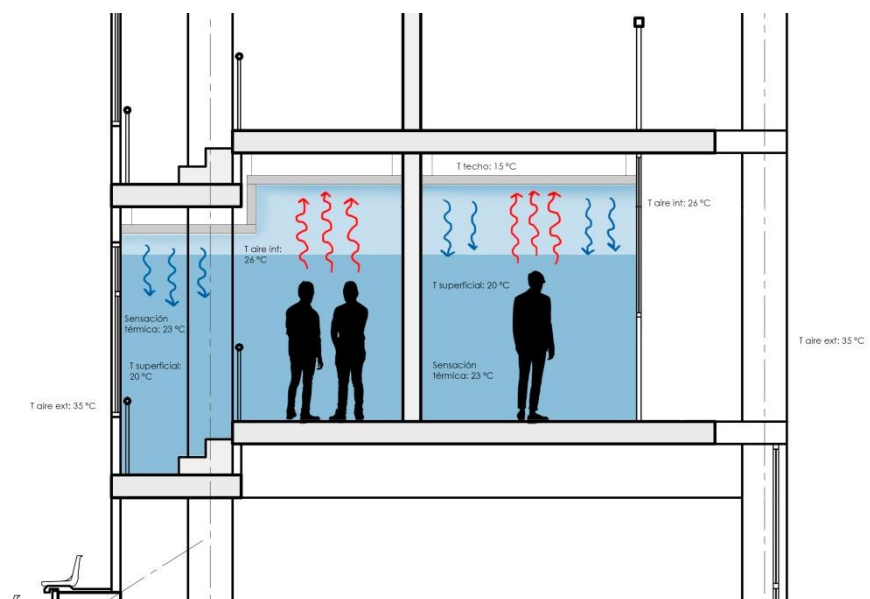


Imagen 74.

Gráfica—sección—
de la sensación térmica
(Refrigeración)
que proporcionan los
techos NIC 600
a los usuarios
de cada palco VIP
y los distribuidores
(ver Plano L18)



Por tanto, el techo radiante NIC de *Zehnder* aprovecha la energía existente en el espacio de cada uno de los palcos. Además, no necesita una temperatura de impulsión elevada para climatizar, es más eficiente energéticamente, es más barato y más limpio.

El montaje del techo radiante NIC de *Zehnder* es muy versátil porque pertenece a las instalaciones denominadas “Nuevas Energías Optimizadas”. Combina la eficiencia energética con múltiples opciones de diseño.

De dimensiones estilizadas y líneas elegantes, los paneles NIC sorprenden por su esbelta ligereza, su perfil lineal y sus diversos acabados.

En las infografías que se ofrecen a continuación se recrea la aplicación de los paneles NIC en un palco VIP. Garantiza la climatización y permite una actuación de interiorismo sugerente, que incluye la incorporación del color y de apliques de luces LED.

Imagen 75.

Infografía del palco VIP con los techos NIC 600 sin poner en marcha. Se observa que la solución NIC también ofrece la posibilidad de diseñar estéticamente los interiores.



Imagen 76.

Infografía del palco VIP y recreación del área calefactada con los techos NIC 600.



5.3. GRADERÍO DE LA TRIBUNA OESTE | MODELO ZIP.

La solución propuesta para climatizar esta zona es, sin duda, la que requiere un diseño más exigente. Por un lado, se trata de calentar un espacio cubierto pero abierto (no interior). Por otro lado, la superficie que se debe calentar es de grandes dimensiones y elevada altura libre.

Por ello, la mejor opción de techo radiante *Zehnder* es el modelo ZIP (para exteriores). Cada módulo ZIP está compuesto de una chapa radiante con un perfilado *Special Clip*, sobre la que se disponen cuatro tubos, longitudinalmente en la dirección de la chapa, de acero de precisión.

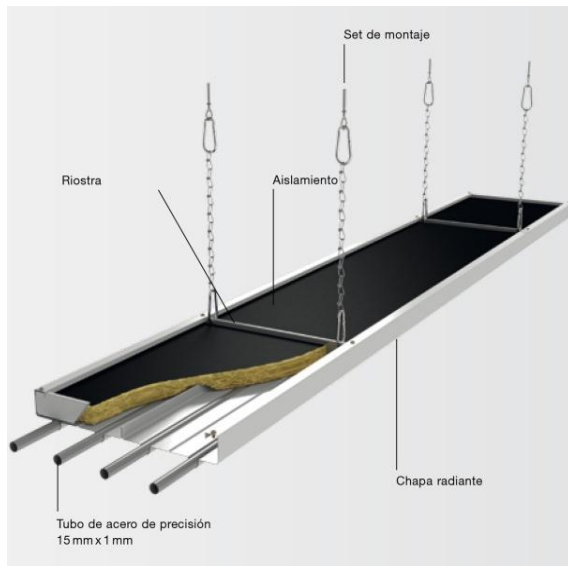


Imagen 77.

Módulo ZIP Tipo:
chapa radiante + cuatro tubos de acero + capa de aislamiento.

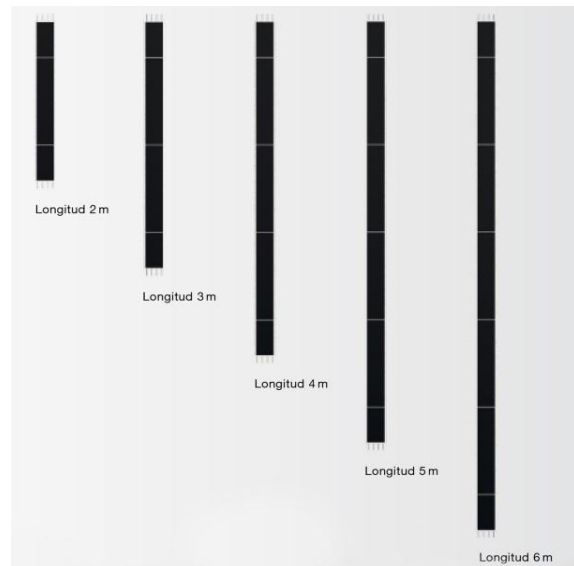


Imagen 78.

Medidas estándar de módulo ZIP.

Para evitar las pérdidas térmicas se coloca una capa de aislamiento térmico como remate superior del módulo. “La placa se refuerza con biseles y bordes para evitar que se pueda deformar. Los techos radiantes se suministran con un acabado liso. Su superficie está galvanizada y, al mismo tiempo, recubierta con una pintura de poliéster de alta calidad (similar a RAL 9016)”.³⁷

El módulo ZIP tiene siempre 320 mm de anchura, pudiendo variar su longitud de 2 a 6 metros. Para este caso, el mejor modelo es el más largo (6 m), para poder abarcar más superficie ahorrando uniones entre módulos.

³⁷ “Sistemas de calefacción y refrigeración por techo radiante”. Catálogo técnico 2018. Zehnder Group España, SA

5.3.1. Disposición de los módulos ZIP.

Para la climatización del graderío de la tribuna oeste la mejor solución es combinar el módulo ZIP (6000x320mm) en bandas de 24 m de longitud. Es el resultado de unir cuatro módulos de 6 m en serie, mediante conectores *press-fitting*.

Los enlaces se ocultan con una tapa embellecedora del mismo acabado que la chapa radiante.

Cada banda se combina con otras tres en batería para formar un conjunto radiante ZIP-4 de 24 m de longitud y 1472 mm de anchura.

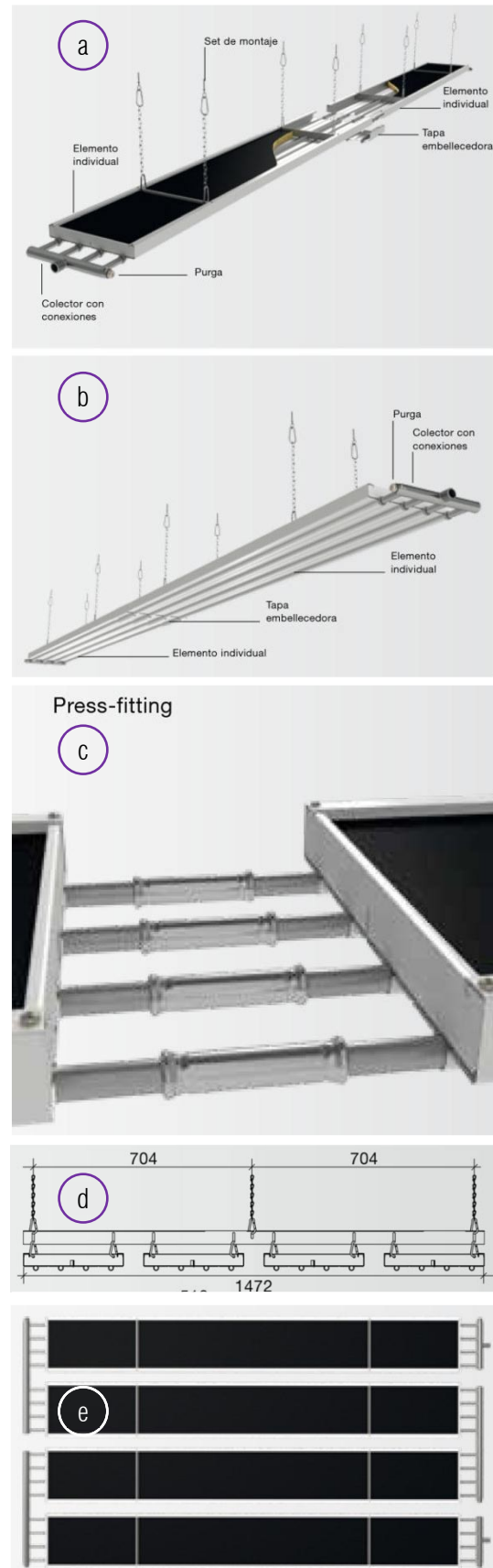


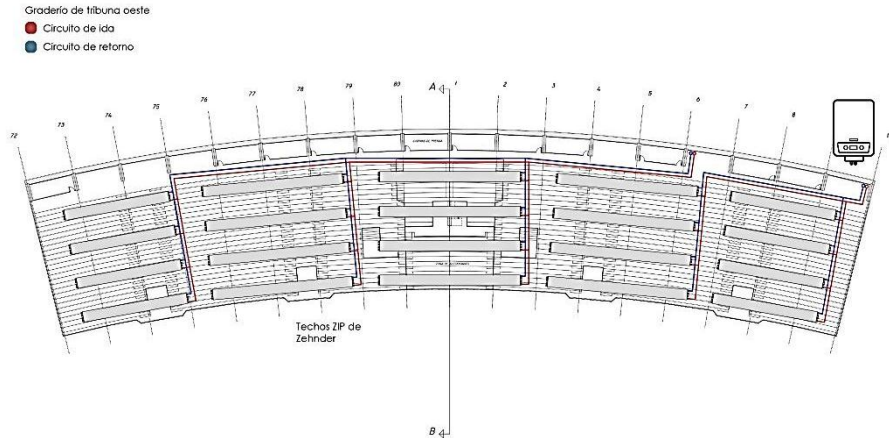
Imagen 79.

- a. 2 módulos ZIP combinados en serie (vista superior).
- b. 2 módulos ZIP combinados en serie (Vista inferior).
- c. Detalle de los conectores *press-fitting* entre los módulos ZIP.
- d. Conjunto radiante ZIP-4 (alzado acotado).
- e. Conjunto radiante ZIP-4 (planta).

Para cubrir eficazmente toda la superficie de la tribuna oeste, es necesario combinar módulos hasta configurar veinte conjuntos ZIP-4, que se adaptan a la curvatura del graderío con un montaje radial.

Imagen 80.

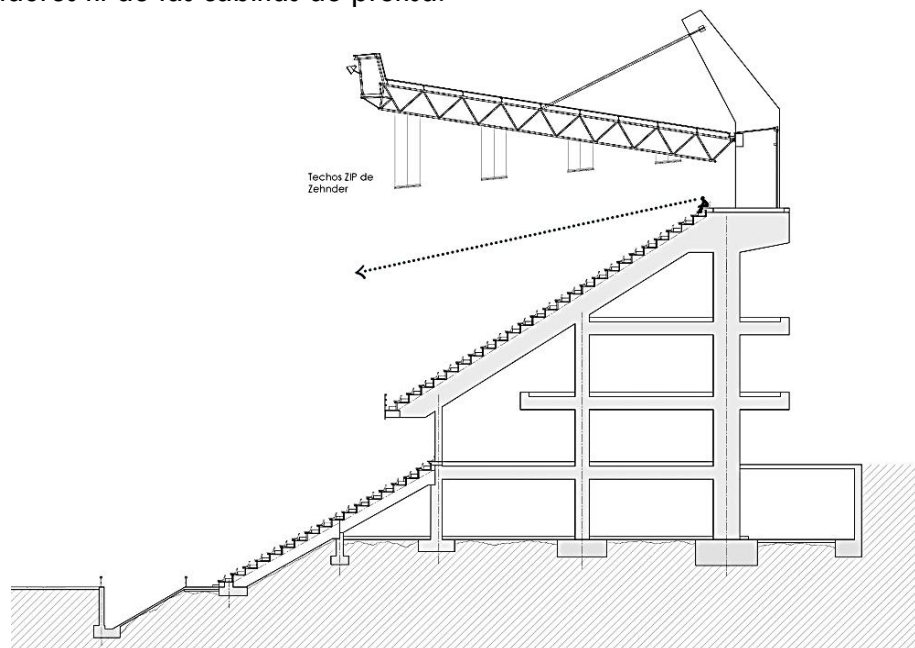
Planta de la tribuna oeste. Los veinte conjuntos ZIP-4 se disponen de forma radial para adaptarse a la curvatura del graderío (ver Plano L19)



En sección, los conjuntos ZIP-4 se colocan descolgados progresivamente desde la parte superior de la grada hasta la inferior, sin interferir en la línea visual de los espectadores ni de las cabinas de prensa.

Imagen 81.

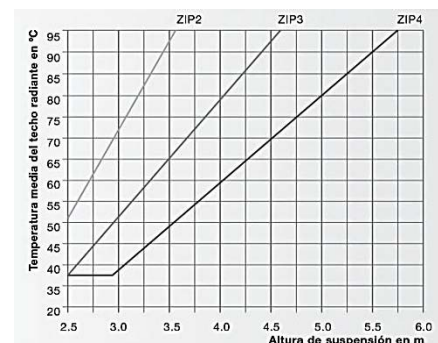
Sección de la tribuna oeste. Los veinte conjuntos ZIP-4 se descuelgan de las cerchas metálicas trianguladas, de forma escalonada, para no impedir la visión desde la grada o desde las cabinas de prensa (ver Plano L20)



Cada uno de ellos irradia una temperatura diferente en función de la altura a la que se encuentre siguiendo la tabla (dcha.) proporcionada por Zehnder.

Imagen 82.

Tabla de Temperatura irradiada en función de la Altura.



El mecanismo de suspensión se resuelve con múltiples barras, dispuestas cada 3 m como máximo, que permiten sujetar las cuatro bandas ZIP en batería. A su vez, las barras se descuelgan de la cubierta gracias al set de montaje KN 56, que, con un mecanismo de mosquetones y cadenas, permite disponer el conjunto ZIP-4 a la altura deseada, atornillándose a la parte inferior de cada una de las cerchas con sección triangular que resuelven la cubierta del estadio.



La opción de las múltiples barras de suspensión permite colocar los conjuntos ZIP-4 con una inclinación de 5° respecto de la línea horizontal. Esta estrategia funciona bien para reducir el impacto visual de los elementos colgados, tanto desde las gradas como desde otros puntos del estadio.

Imagen 85.

Infografía-Vista superior, con la disposición escalonada de los módulos ZIP, que no obstaculizan la visión desde ningún punto de la tribuna oeste. Además, los módulos pueden servir como soporte publicitario.

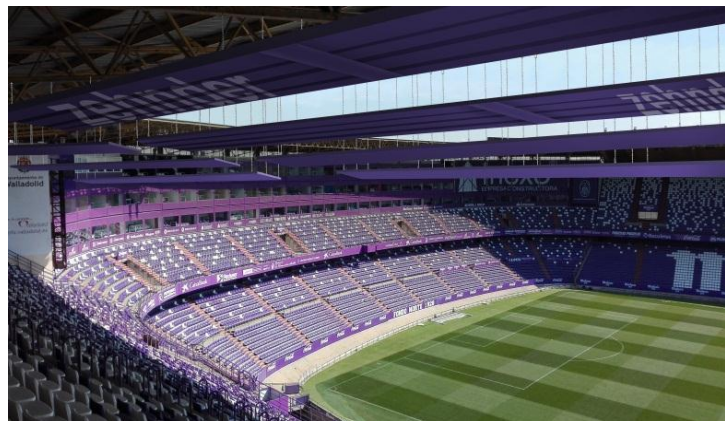
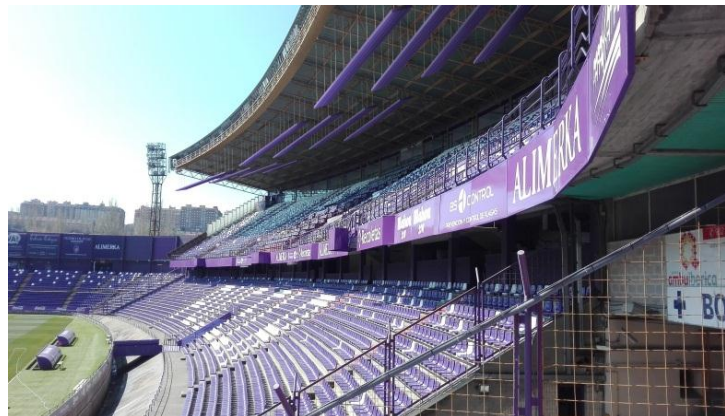


Imagen 86.

Infografía-Vista inferior con la disposición escalonada de los módulos ZIP, que no tienen impacto visual desde ningún punto del estadio.

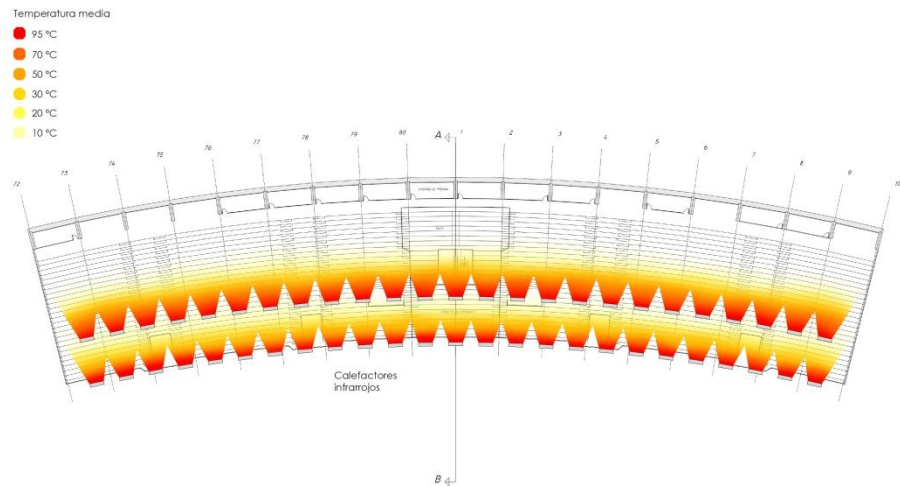


5.3.2. Temperatura irradiada.

Actualmente, el sistema de calefacción se resuelve con dos bandas de calefactores infrarrojos conectados a la red eléctrica, que emiten calor sobre el público en forma de radiación infrarroja. Esta solución no se ve afectada por la temperatura existente ni por el viento, ya que únicamente calienta cuando entra en contacto con personas, objetos o paramentos.

Imagen 87.

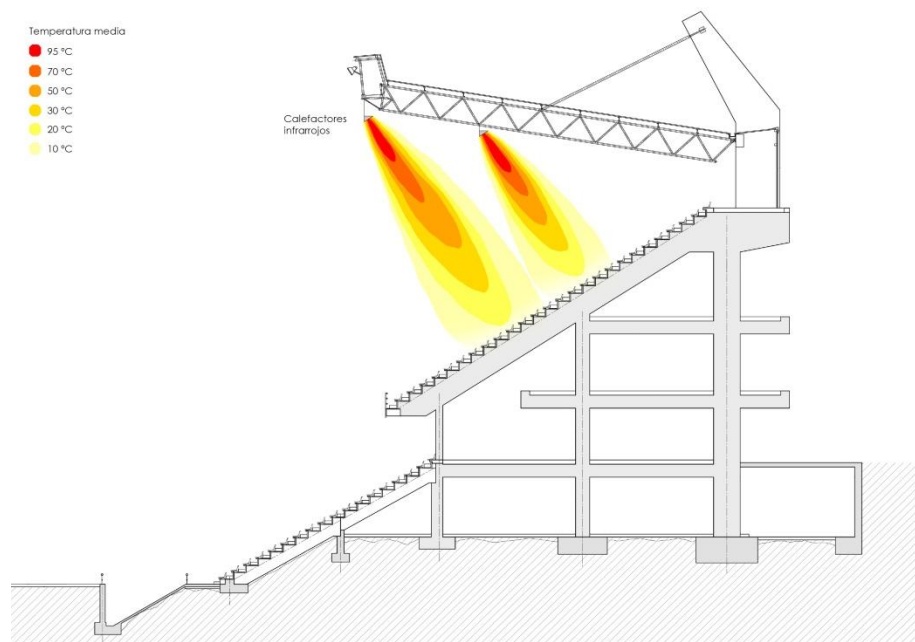
Gráfica—planta—
de la temperatura
irradiada por los
calefactores infrarrojos
en la tribuna oeste.
Se observa que la
radiación es direccional
(ver plano L21)



Sin embargo, este sistema presenta algunos puntos débiles: solo hay dos bandas de calefactores, por lo que el calor emitido por ellos no llega de igual forma al público de la parte superior de la grada que al de la inferior; además, los calefactores no calientan radialmente, sino que lo hacen direccionalmente, de forma que, para calentar un área se necesita un gran número de unidades que enfoquen en direcciones diferentes para cubrir todo el espacio

Imagen 88.

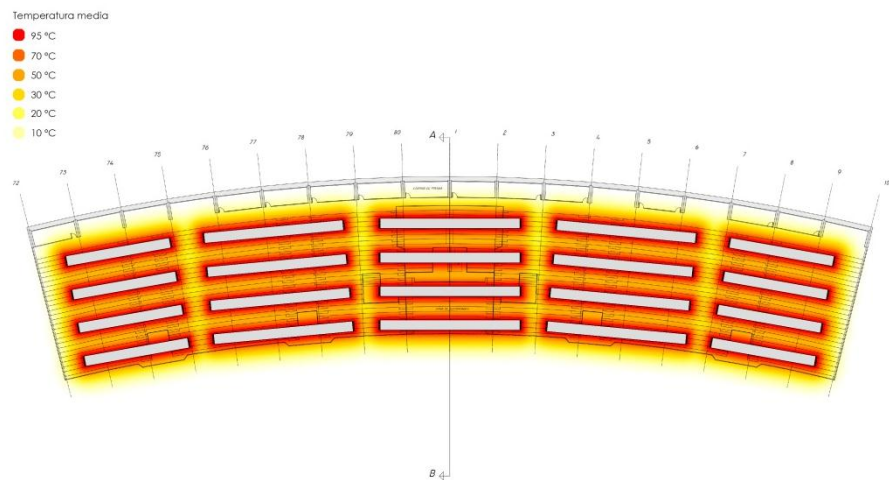
Gráfica—sección—
de la temperatura
irradiada por los
calefactores de
infrarrojos
en la tribuna oeste.
Se observa que la
distribución de calor se
reduce mucho con la
altura a la que se
encuentra el aparato
(Ver plano L22)



El sistema ZIP de Zehnder resuelve los puntos débiles de los calefactores existentes. Al descolgarse de la cubierta escalonadamente, cada conjunto ZIP-4 emite calor a distinta temperatura en función de la altura a la que se disponga. De esta manera, la sensación de confort es uniforme en todo el graderío.

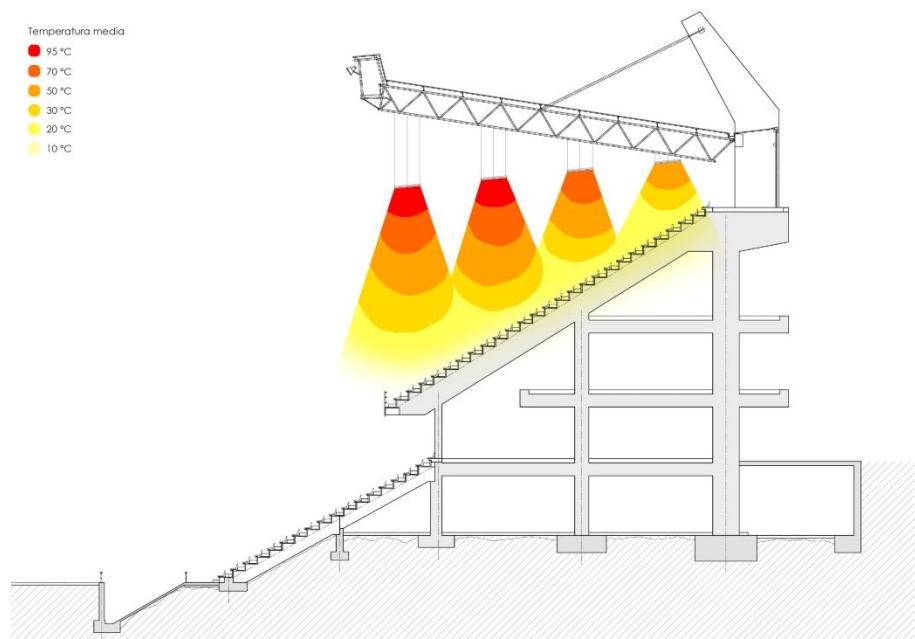
Por otro lado, cada conjunto ZIP-4 emite calor radialmente en lugar de hacerlo focalmente, como hacen los calefactores actuales. Así, se calienta toda la superficie del graderío con menor coste y mayor eficiencia energética.

Imagen 89.
Gráfica—planta—
de la temperatura
irradiada por los
módulos ZIP-4,
en la tribuna oeste
(ver Plano L23)



A su vez, los techos radiantes no funcionan conectados a la red eléctrica, sino que son las tuberías de agua que circulan sobre la chapa radiante las que la calientan y hacen que emita calor. Una energía mucho más limpia, más barata y que no requiere apenas mantenimiento.

Imagen 90.
Gráfica—sección—
de la temperatura
irradiada por los
módulos ZIP-4,
con distribución
escalonada,
en la tribuna oeste
(ver Plano L24)



5.3.3. Sensación térmica y confort.

Los calefactores emiten calor en forma de radiación infrarroja que solo se percibe cuando entra en contacto con personas, objetos o paramentos. No calienta la temperatura del aire ni se ve afectada por el viento.

El punto débil de esta solución es que la excesiva altura a la que se sitúan los calefactores supone que gran parte de esa radiación se pierde y exige el consumo de una gran potencia eléctrica para conseguir una sensación de confort agradable en la grada.

El conjunto representa una instalación con eficiencia energética limitada y un coste de servicio que no está optimizado.

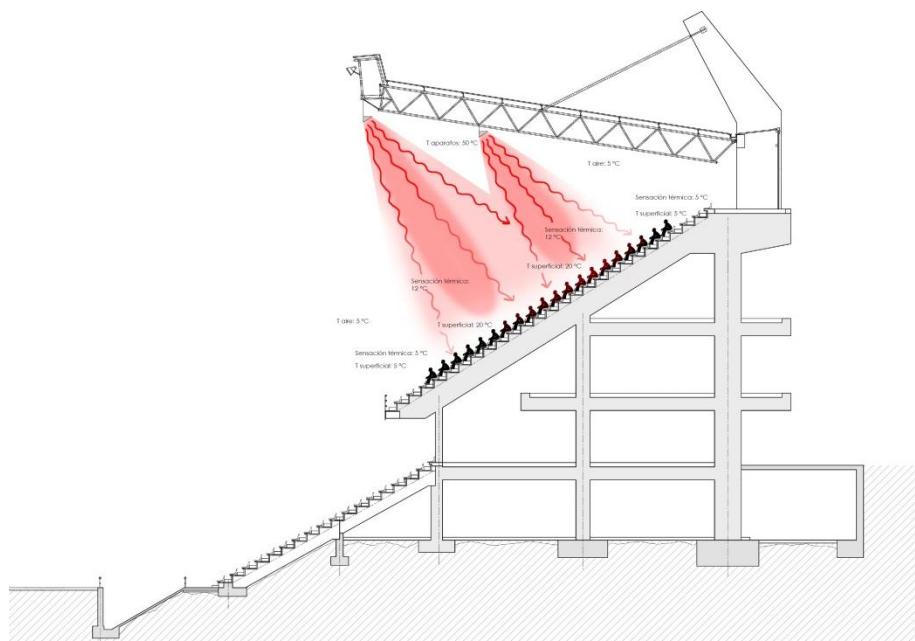


Imagen 91.

Gráfica —sección— de la sensación térmica real que proporcionan los calefactores de infrarrojos a los espectadores de la tribuna oeste (ver Plano L25)

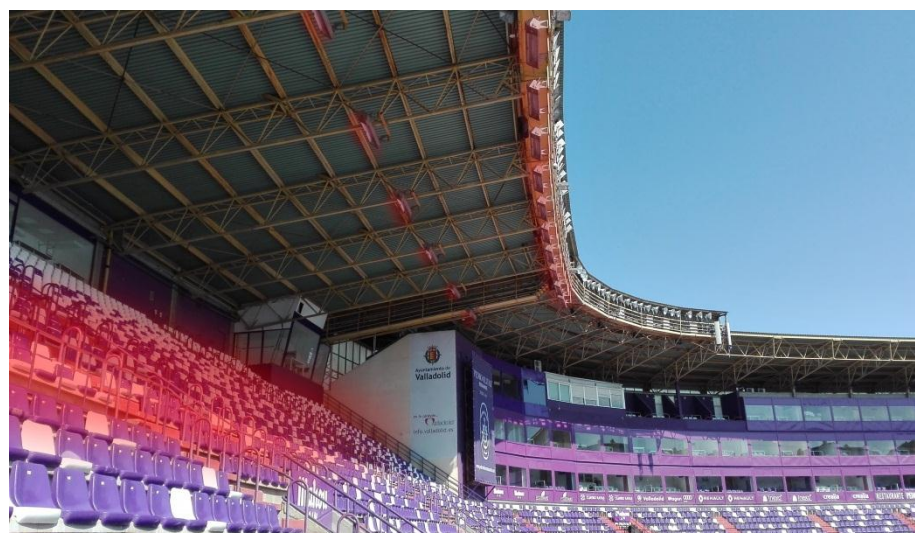


Imagen 92.

Infografía de la tribuna oeste y recreación del área calefactada con los calefactores de infrarrojos.

Sin embargo, el sistema ZIP de Zehnder no solo permite cubrir todo el espacio, sino que también funciona irradiando calor.

La temperatura del aire exterior se mantiene invariable, mientras que la sensación térmica de los espectadores se incrementa consiguiendo una sensación de confort en todo el graderío, superior a la obtenida con los calefactores.

Un sistema que, de la energía que emite, aprovecha mucha más; lo que supone una mayor eficiencia de la instalación, una reducción de la demanda energética y un mayor ahorro energético.

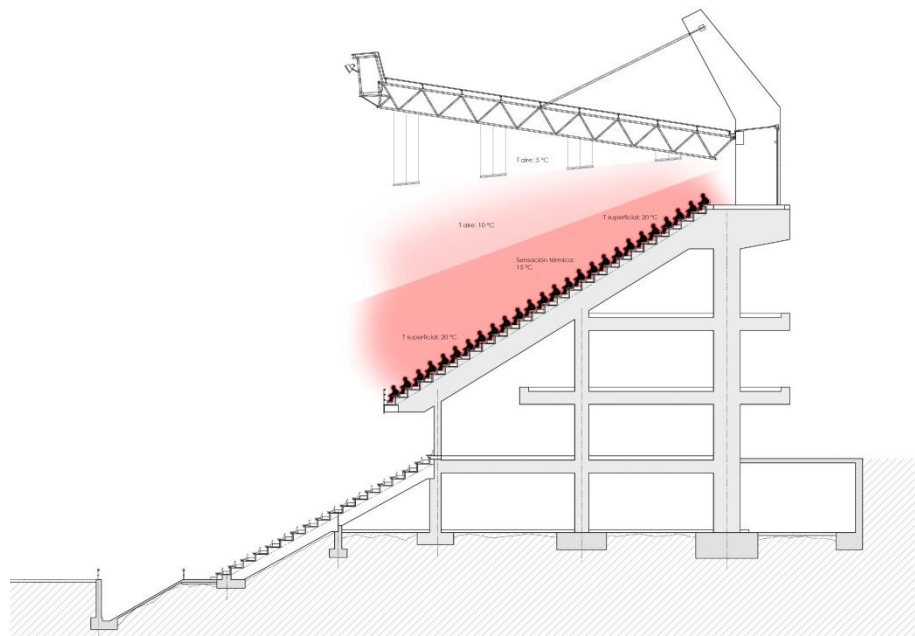


Imagen 93.

Gráfica —sección— de la sensación térmica real que proporcionan los módulos ZIP-4 a los espectadores de la tribuna oeste (ver Plano L26)

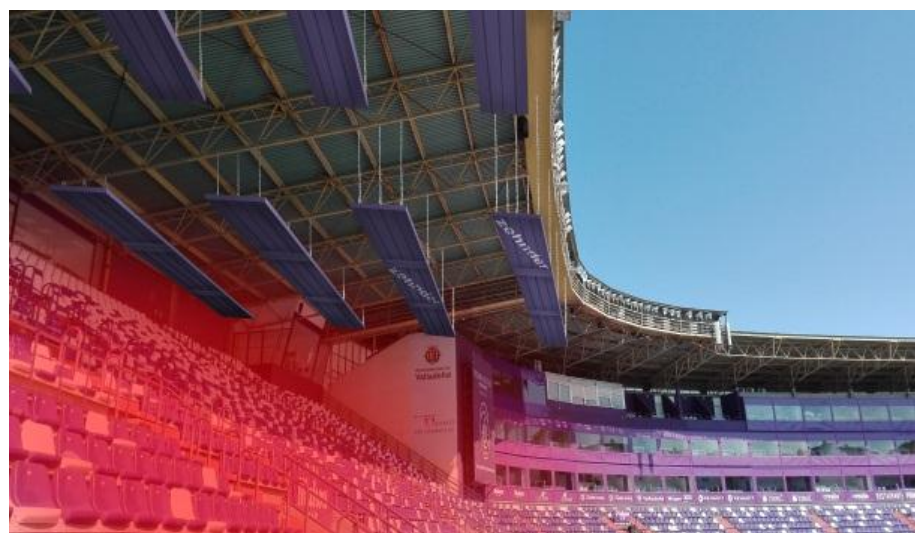


Imagen 94.

Infografía de la tribuna oeste y recreación del área calefactada con los módulos ZIP-4.

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS.

Del estudio desarrollado en este capítulo sobre la aplicación de un único sistema de climatización (techo radiante *Zehnder*) en el estadio *José Zorrilla*, se desprenden los siguientes resultados:

- 1° Implantar un único sistema de climatización calor-frío es viable, pero no es posible hacerlo en todo el recinto deportivo debido a la capacidad limitada de las instalaciones existentes (calderas y red de abastecimiento de agua). Por eso la propuesta de techo radiante *Zehnder* se ha concretado en las tres zonas más importantes: los vestuarios; los palcos VIP y la tribuna oeste (principal).
- 2° El sistema de techo radiante *Zehnder* muestra su máxima eficacia para calentar y refrigerar cualquier recinto que tenga alturas comprendidas entre 3 y 30 m, dimensiones que cumplen las tres zonas estudiadas del estadio.
- 3° El sistema de techo radiante *Zehnder*, proporciona una temperatura ligera de alrededor de 21°C (tanto en frío como en calor), con un ahorro de hasta el 40% de energía en comparación con los sistemas convencionales de climatización.
- 4° El sistema de techo radiante *Zehnder* ofrece modelos específicos para estancias interiores y espacios cubiertos exteriores, basados en el mismo principio de funcionamiento (combinar convección y radiación) por lo que se integran en la misma instalación y se regulan con una sola central de control.
- 5° El sistema de techo radiante *Zehnder* permite climatizar no solo los recintos específicos sino también los espacios comunes por los que se accede a ellos: pasillos, vestíbulos, corredores, zona mixta. De este modo, la inercia térmica de las dependencias interiores del estadio se reduciría al mínimo.
- 6° En caso de querer extender el sistema de techo radiante *Zehnder* al resto de las zonas del estadio, sería necesario completar las redes existentes con la instalación de una unidad principal de refrigeración (*chiller*) que, por compresión de vapor, enfría e impulsa un mayor caudal del agua.

CONCLUSIONES

En la introducción del presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se planteó la hipótesis de trabajo: implantar un único sistema de climatización calor-frío en el estadio *José Zorrilla* de Valladolid. Además, se plantearon dos condicionantes de partida para determinar las características que debe cumplir el sistema: funcionamiento sostenible y consumo eficiente de energía.

Después de aplicar una metodología analítico-comparativa al estudio de las instalaciones del estadio *José Zorrilla*, se pueden establecer cinco conclusiones:

I. Hipótesis de trabajo.

La reforma de la climatización del estadio *José Zorrilla* mediante la implantación de un único sistema calor-frío para espacios interiores y exteriores, es viable. Se demuestra mediante el estudio teórico de las características fundamentales del sistema *Zehnder* de techos radiantes y se contrasta con 37 referencias técnicas y profesionales.

La demostración se completa con una explicación gráfica exhaustiva (70 fotos, 14 infografías y 20 planos) que describe la aplicación específica del sistema en cada una de las zonas.

II. Condición de partida 1: Funcionamiento sostenible.

El sistema de techo radiante *Zehnder* se basa en el principio básico de la radiación solar, que consiste en irradiar calor en todas las direcciones de manera uniforme y natural. Hay que tener en cuenta que esta radiación solo calienta al entrar en contacto con personas, objetos o paramentos, por lo que no calienta ni reseca el aire ya que éste no pierde su humedad natural. El sistema se completa con la convección natural, que calienta o enfría el aire ambiente.

Se considera, por tanto, que el sistema elegido es sostenible.

III. Condición de partida 2: Eficiencia energética.

Se ha estudiado la implantación del sistema de techo radiante *Zehnder* en tres zonas concretas del estadio (vestuarios, palcos VIP y tribuna oeste) para aprovechar la red de abastecimiento de agua y las calderas de gas existentes en el estadio. De su análisis se



desprende que se encuentran en buen estado y no es necesario realizar instalaciones complementarias.

Además, por tratarse de un mismo sistema de climatización para zonas diferentes, se garantiza un óptimo mantenimiento de los elementos que forman la red y la posibilidad de establecer unas consignas de temperatura que maximicen los efectos en el ambiente del agua (fría/caliente) circulante.

Se considera, por tanto, que el sistema descrito es eficiente.

IV. Equilibrio abierto.

No obstante la conclusión III, el sistema de techo radiante *Zehnder* podría extenderse al resto de espacios del estadio, tanto interiores (oficinas, tienda, bar, etc.) como exteriores (vomitorios, resto de gradas).

Esta ampliación del sistema reduciría aún más la demanda energética y se lograría un mayor equilibrio entre consumo, economía y sostenibilidad.

V. Objetivo de un TFG.

Con este trabajo he podido profundizar e investigar más acerca del mundo de las instalaciones en edificios existentes y, en concreto, de cómo mejorar la climatización, aplicando y ampliando los conocimientos que he adquirido como estudiante.

Y también me ha permitido el acercamiento al ámbito de la rehabilitación energética, que en los próximos años se presenta como una opción de largo recorrido para el desarrollo profesional. Reformar y adaptar las instalaciones de un edificio para garantizar el máximo confort de los usuarios y reducir la demanda y las pérdidas energéticas no son funciones menores para el arquitecto.

En definitiva, si los objetivos de un TFG son: aumentar tus conocimientos acerca de un campo visto durante la carrera, investigar sobre un tema de tu interés y que además te sirva para el futuro; creo que en mi caso he cumplido las expectativas con creces.



ANEXO I | PLANOS DE LA PROPUESTA

El contenido teórico del presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se ha ilustrado con esquemas, planos e infografías que permiten comprender mejor el alcance de la propuesta de reforma del sistema de climatización del estadio *José Zorrilla*.

A continuación se adjuntan, a escala, todos los planos realizados por el autor para describir y justificar la aplicación de techos *Zehnder* en tres zonas del estadio: vestuarios, palcos VIP y tribuna oeste.

Plano L1:

Planta sótano (tribuna oeste) | 1:500

Conexión entre la caldera y los vestuarios y zonas comunes.

Plano L2:

Zoom planta sótano (tribuna oeste) | 1:100

Disposición de techos NIC 600 en vestuario y zonas comunes.

Plano L3:

Zoom planta sótano (tribuna oeste) | 1:100

Temperatura irradiada por calefactores infrarrojos en vestuario.

Plano L4:

Sección por el vestuario y zonas comunes | 1:75

Temperatura irradiada por calefactores infrarrojos en vestuario.

Plano L5:

Zoom planta sótano (tribuna oeste) | 1:100

Temperatura irradiada por los techos NIC 600 en vestuario y zonas comunes.

Plano L6:

Sección por el vestuario y zonas comunes | 1:75

Temperatura irradiada por los techos NIC 600 en vestuario y zonas comunes.

Plano L7:

Sección por el vestuario y zonas comunes | 1:75

Calefacción calefactores infrarrojos en vestuario.

Plano L8:

Sección por el vestuario y zonas comunes | 1:75

Calefacción techos NIC 600 en vestuario y zonas comunes.



Plano L9:

Sección por el vestuario y zonas comunes | 1:75
Refrigeración techos NIC 600 en vestuario y zonas comunes.

Plano L10:

Planta segunda de fondo norte | 1:500
Conexión entre la caldera y los palcos VIP.

Plano L11:

Zoom planta segunda de fondo norte | 1:100
Disposición de techos NIC 600 en palcos VIP y distribuidor.

Plano L12:

Zoom planta segunda de fondo norte | 1:100
Temperatura irradiada por sistemas *inverter* en palcos VIP.

Plano L13:

Sección por el palco VIP | 1:50
Temperatura irradiada por sistemas *inverter* en palco VIP.

Plano L14:

Zoom planta segunda de fondo norte | 1:100
Temperatura irradiada por techos NIC 600 en palcos VIP y distribuidor.

Plano L15:

Sección por el palco VIP | 1:50
Temperatura irradiada por techos NIC 600 en palco VIP y distribuidor.

Plano L16:

Sección por el palco VIP | 1:50
Calefacción sistema *inverter* en palco VIP.

Plano L17:

Sección por el palco VIP | 1:50
Calefacción techos NIC 600 en palco VIP y distribuidor.

Plano L18:

Sección por el palco VIP | 1:50
Refrigeración techos NIC 600 en palco VIP y distribuidor.

Plano L19:

Planta Graderío alto (tribuna oeste) | 1:500
Disposición de techos ZIP y conexión con la caldera.

Plano L20:

Sección principal de (tribuna oeste) | 1:50
Disposición de techos ZIP.

Plano L21:

Graderío alto de tribuna oeste | 1:500
Temperatura irradiada por calefactores infrarrojos.



Plano L22:

Sección principal de tribuna oeste | 1:200
Temperatura irradiada por calefactores infrarrojos.

Plano L23:

Graderío alto de tribuna oeste | 1:500
Temperatura irradiada por techos ZIP.

Plano L24:

Sección principal de tribuna oeste | 1:200
Temperatura irradiada por techos ZIP.

Plano L25:

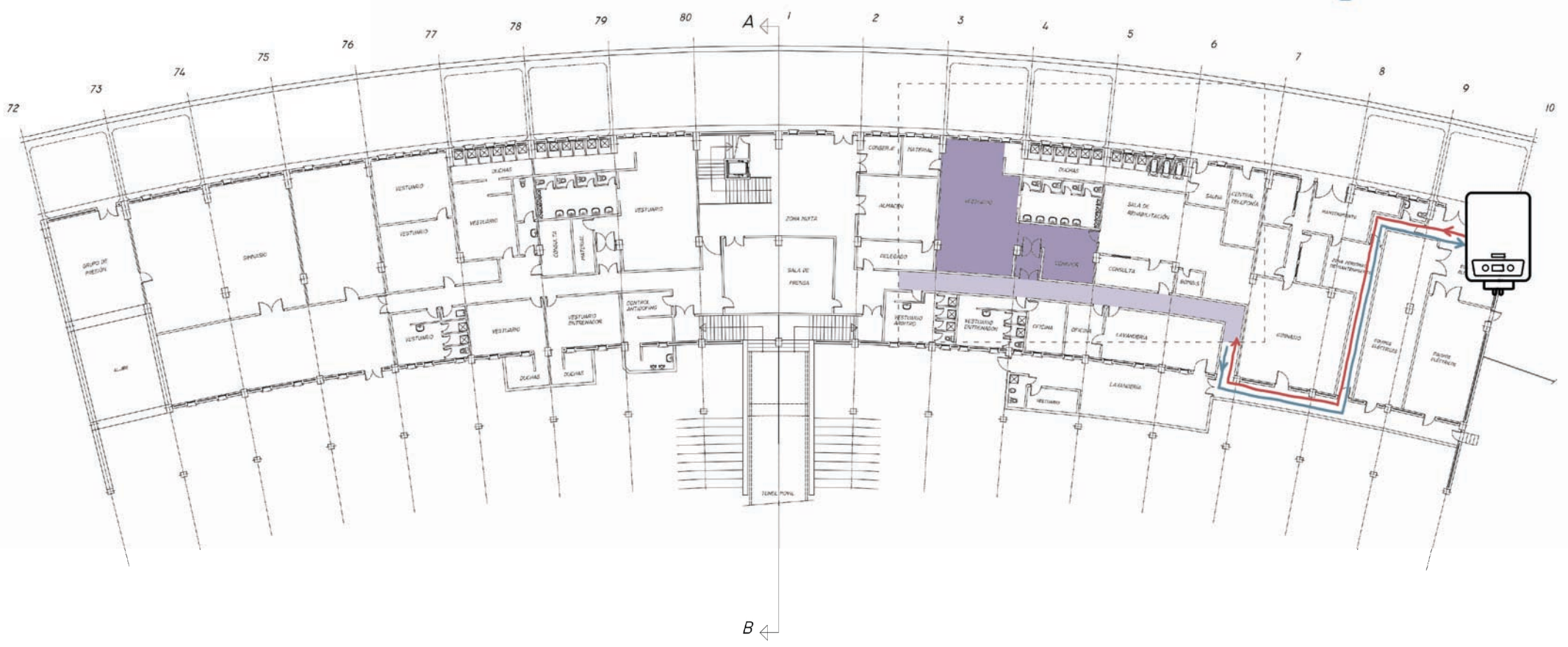
Sección principal de tribuna oeste | 1:200
Calefacción calefactores infrarrojos.

Plano L26:

Sección principal de tribuna oeste | 1:200
Calefacción techos ZIP.

Planta sótano - tribuna oeste

- Vestuario y comedor
- Zonas comunes
- Circuito de ida
- Circuito de retorno



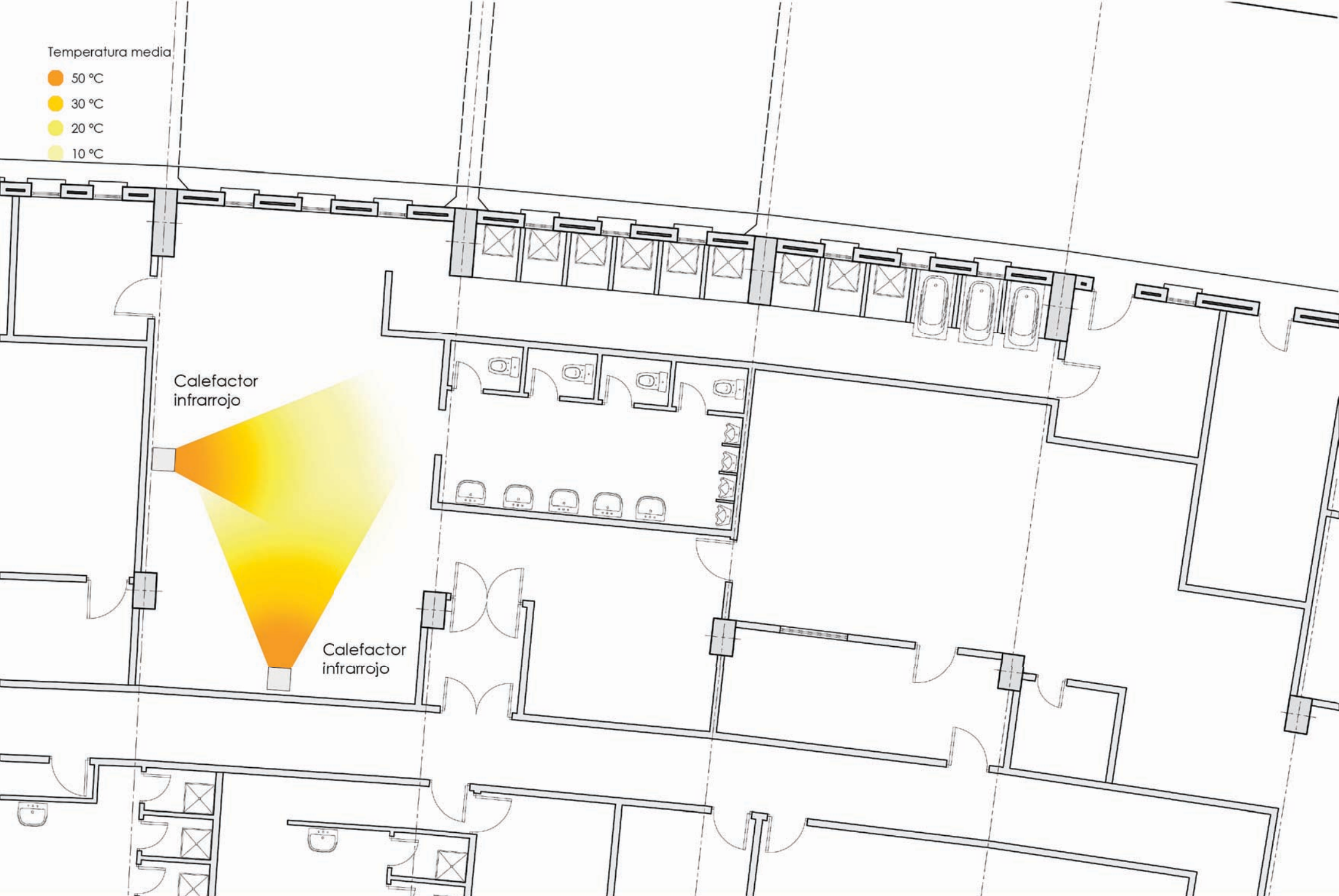
Planta sótano - tribuna oeste

- Circuito de ida
- Circuito de retorno



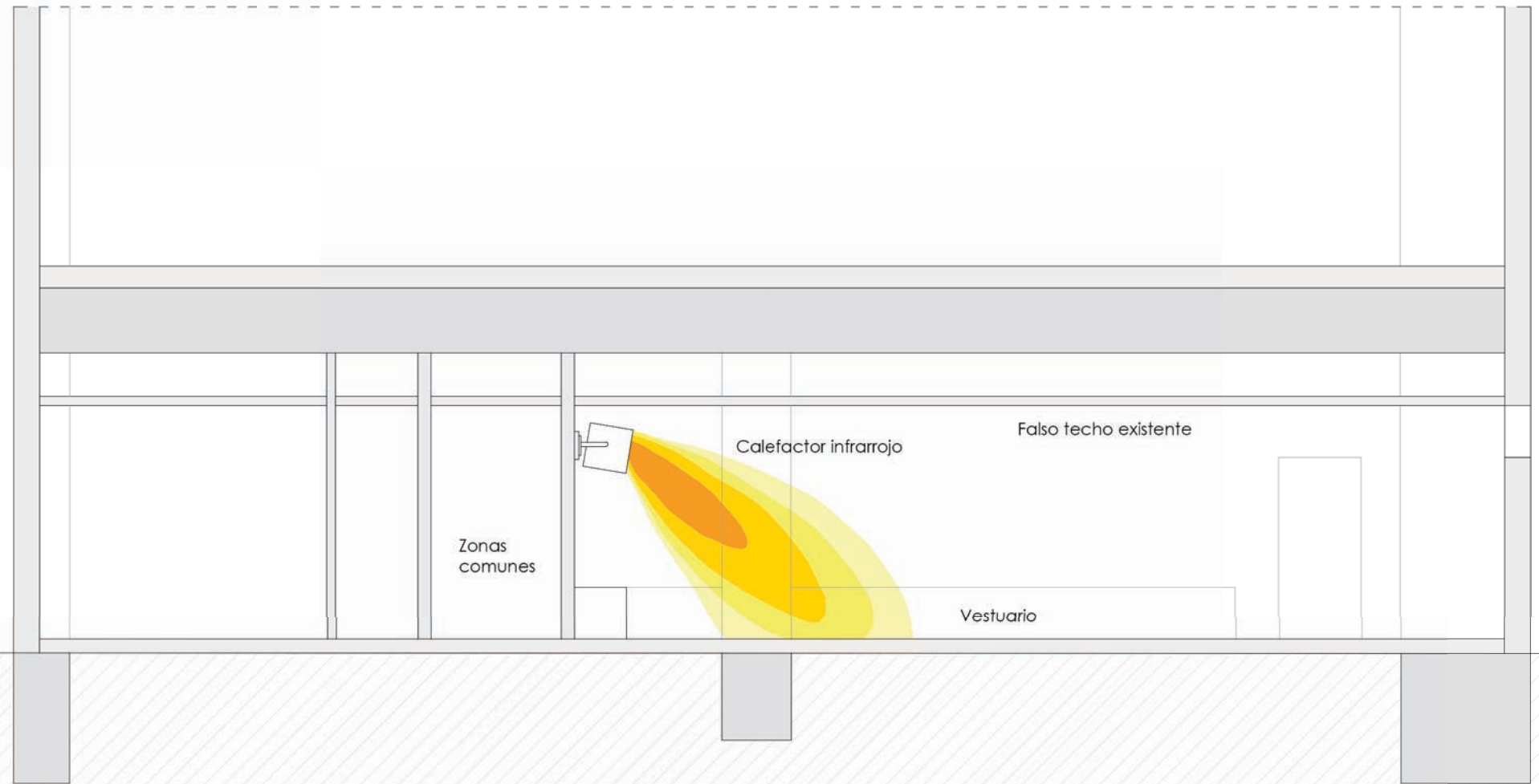
Temperatura media

- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C



Temperatura media

- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C



Temperatura media

● 30 °C

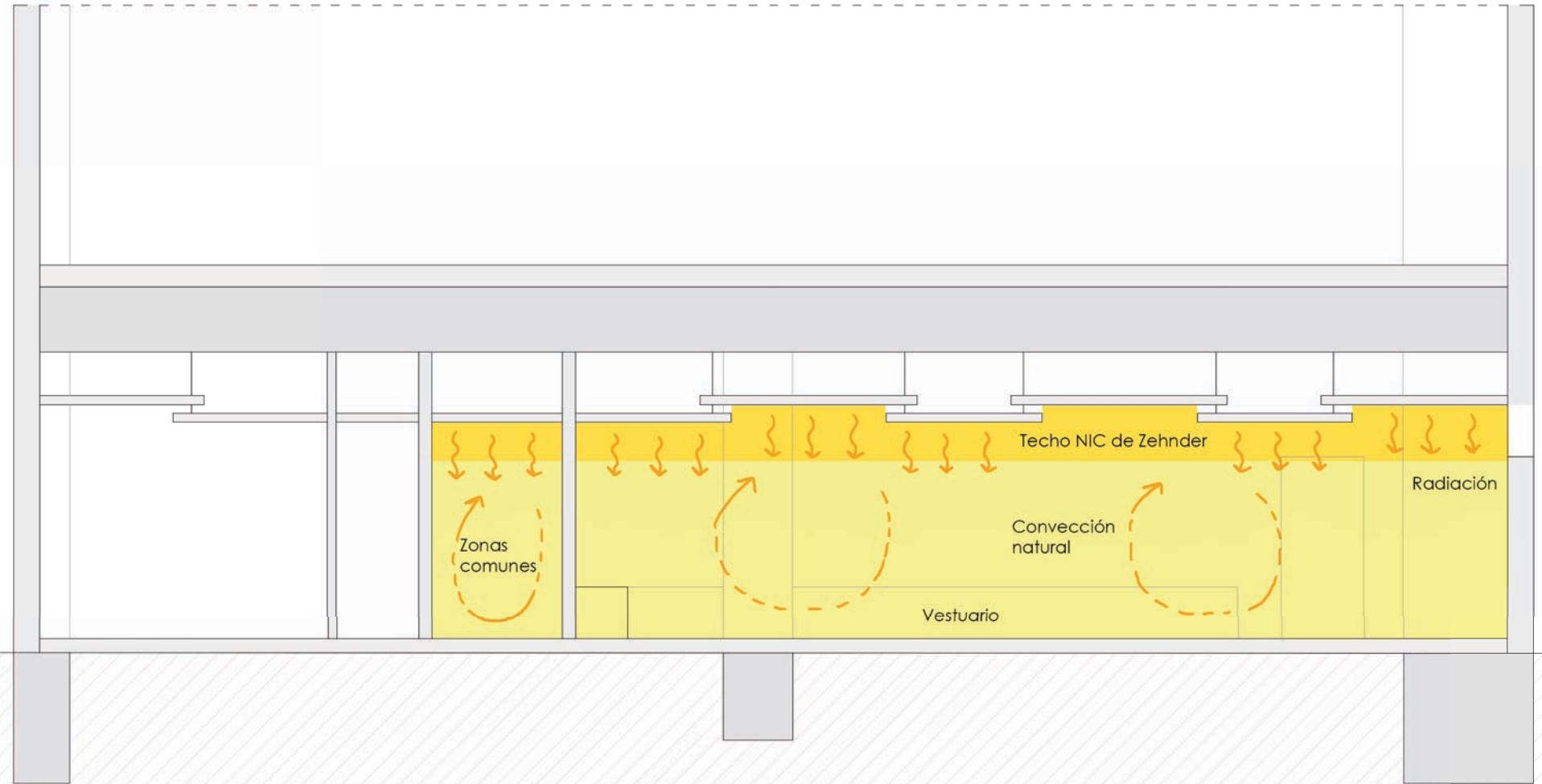
● 20 °C

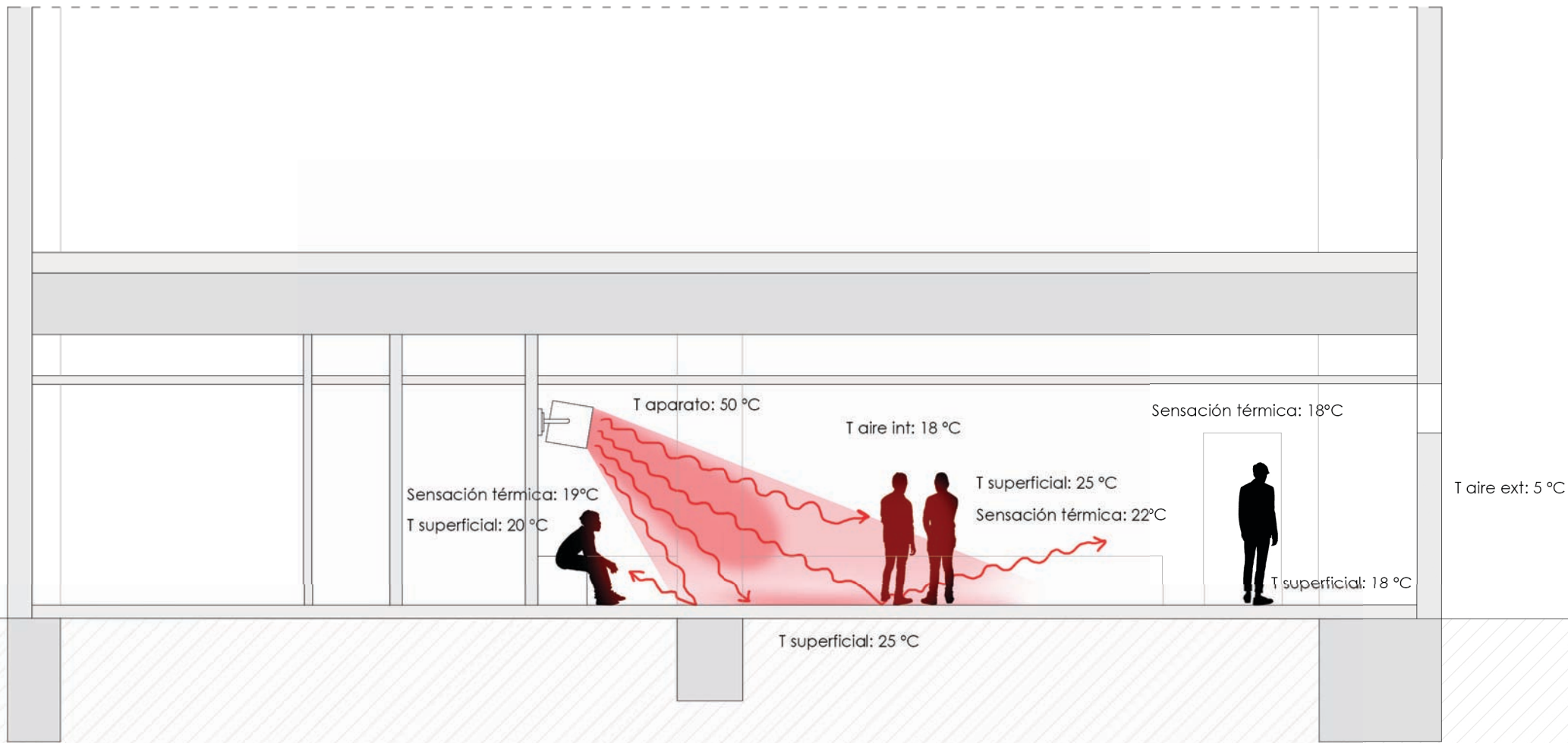


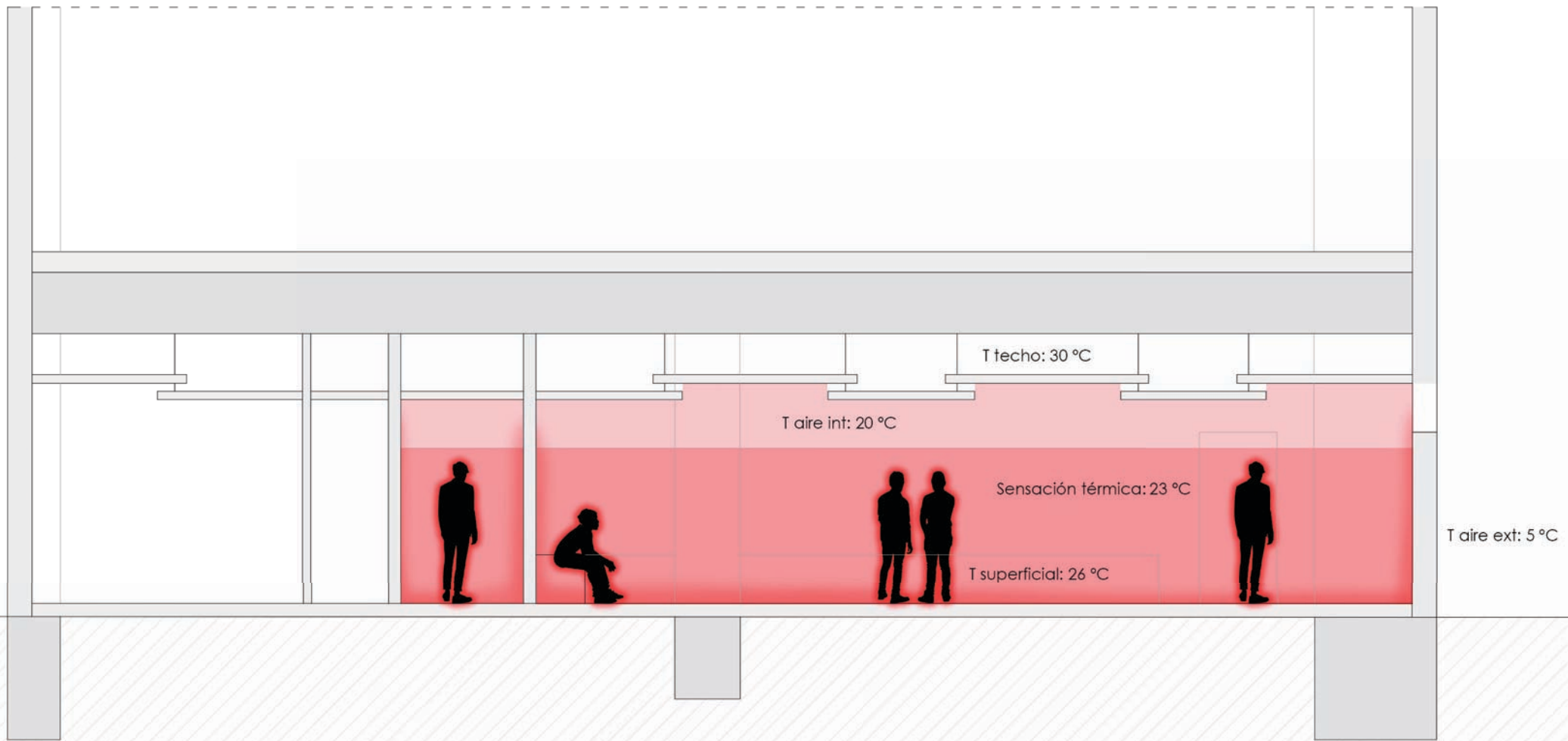
Temperatura media

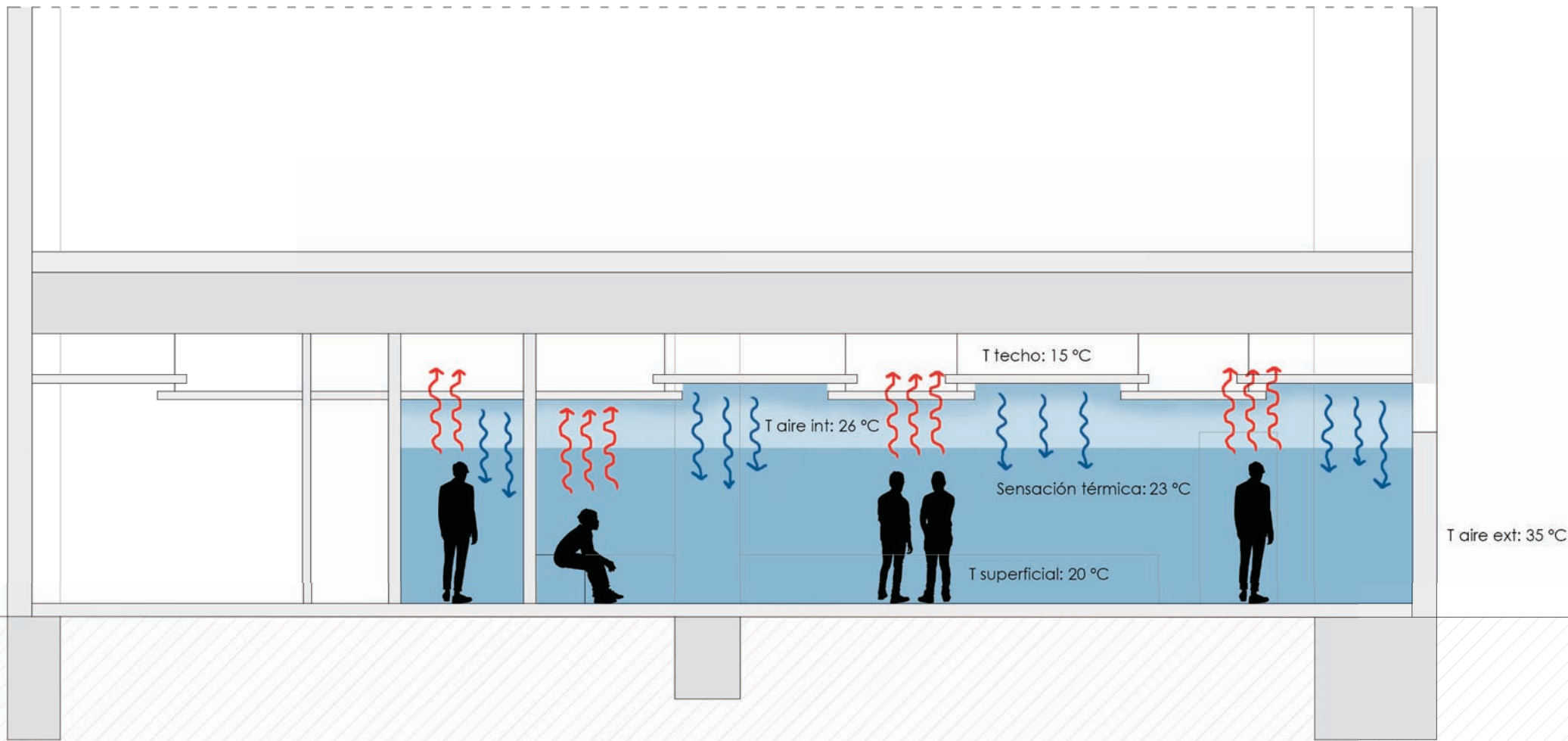
● 30 °C

● 20 °C



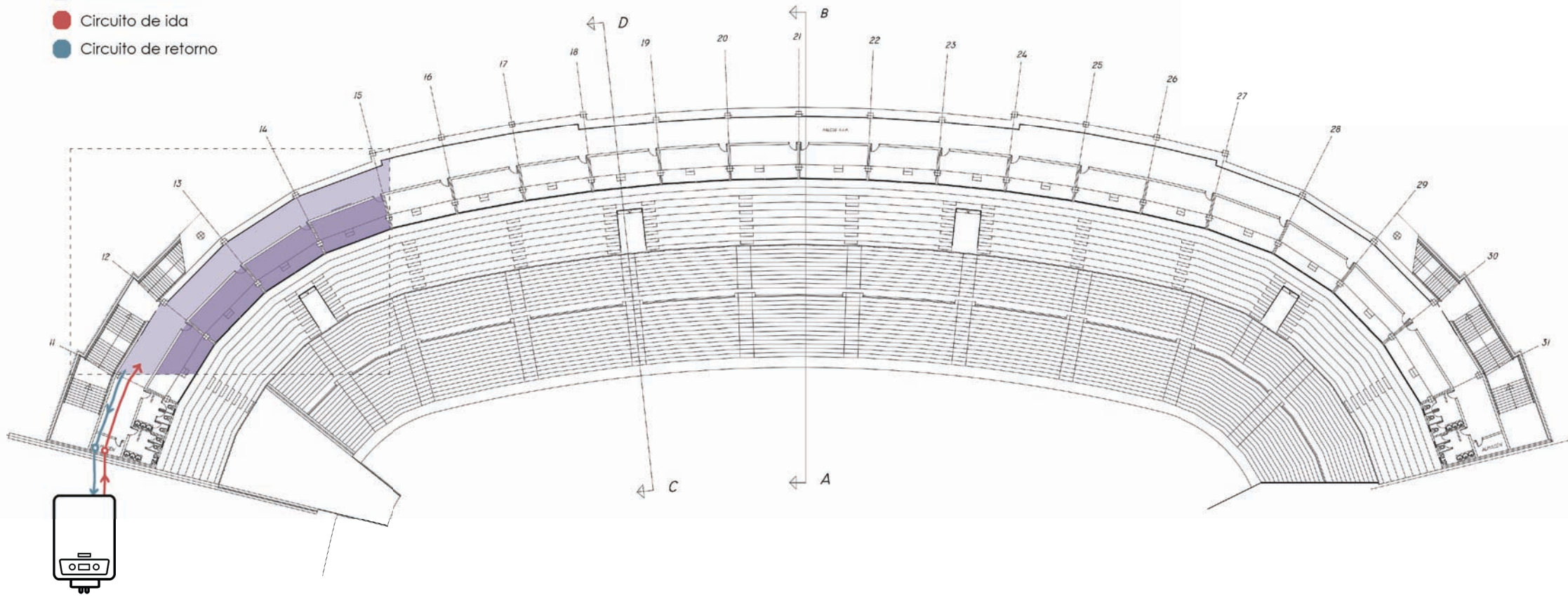






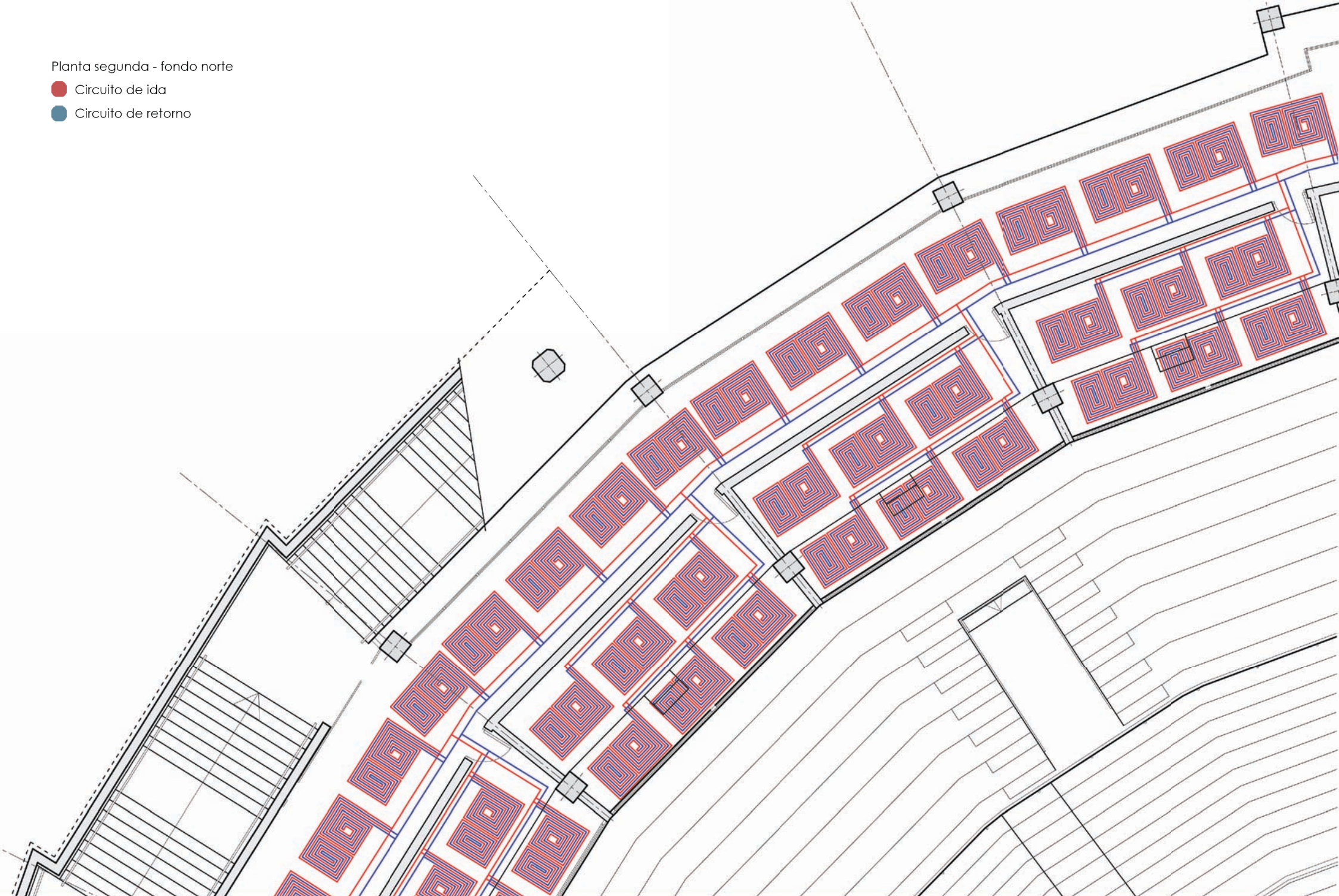
Planta segunda - fondo norte

- Palcos VIP
- Zonas comunes
- Circuito de ida
- Circuito de retorno



Planta segunda - fondo norte

- Circuito de ida
- Circuito de retorno

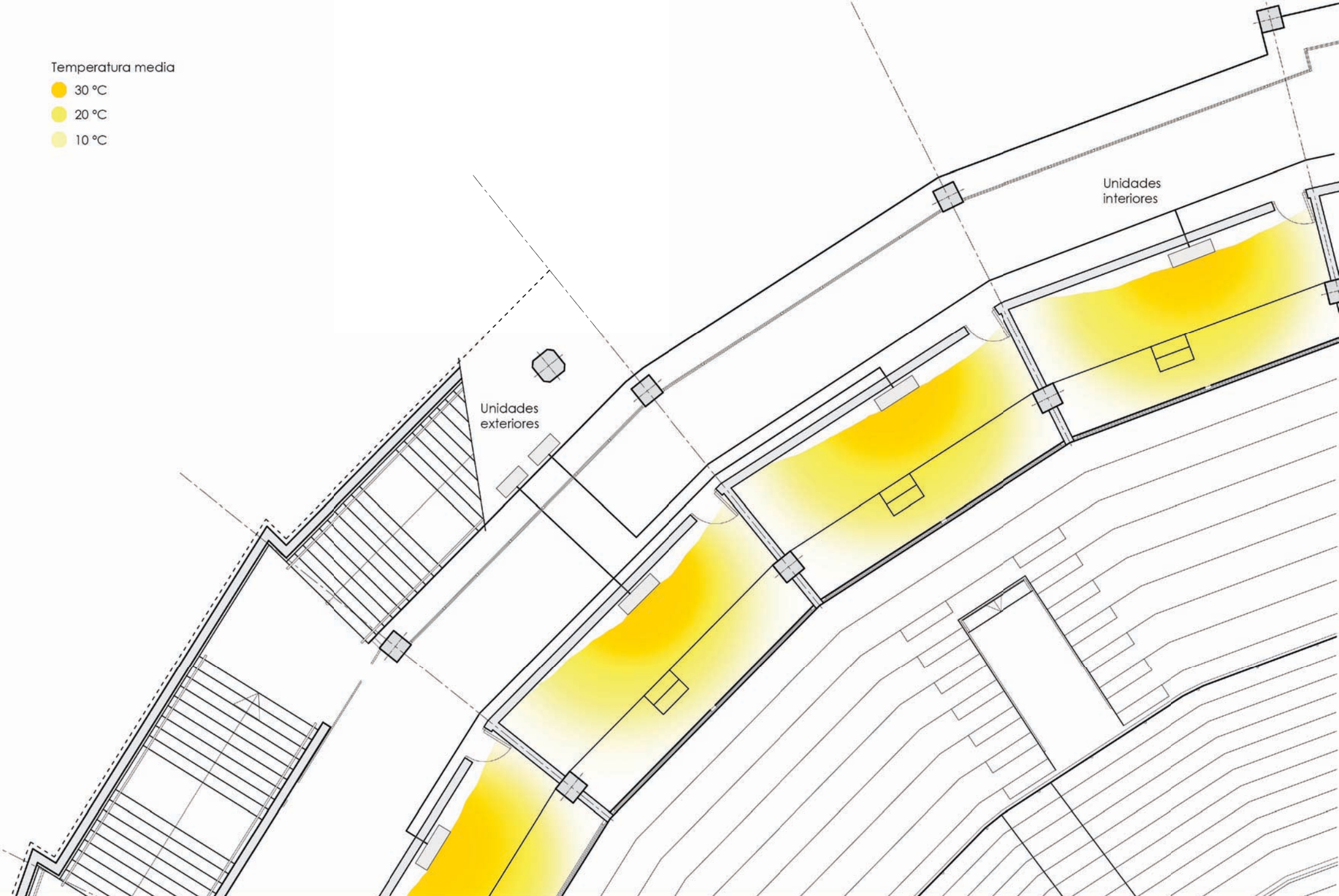


Temperatura media

30 °C

20 °C

10 °C

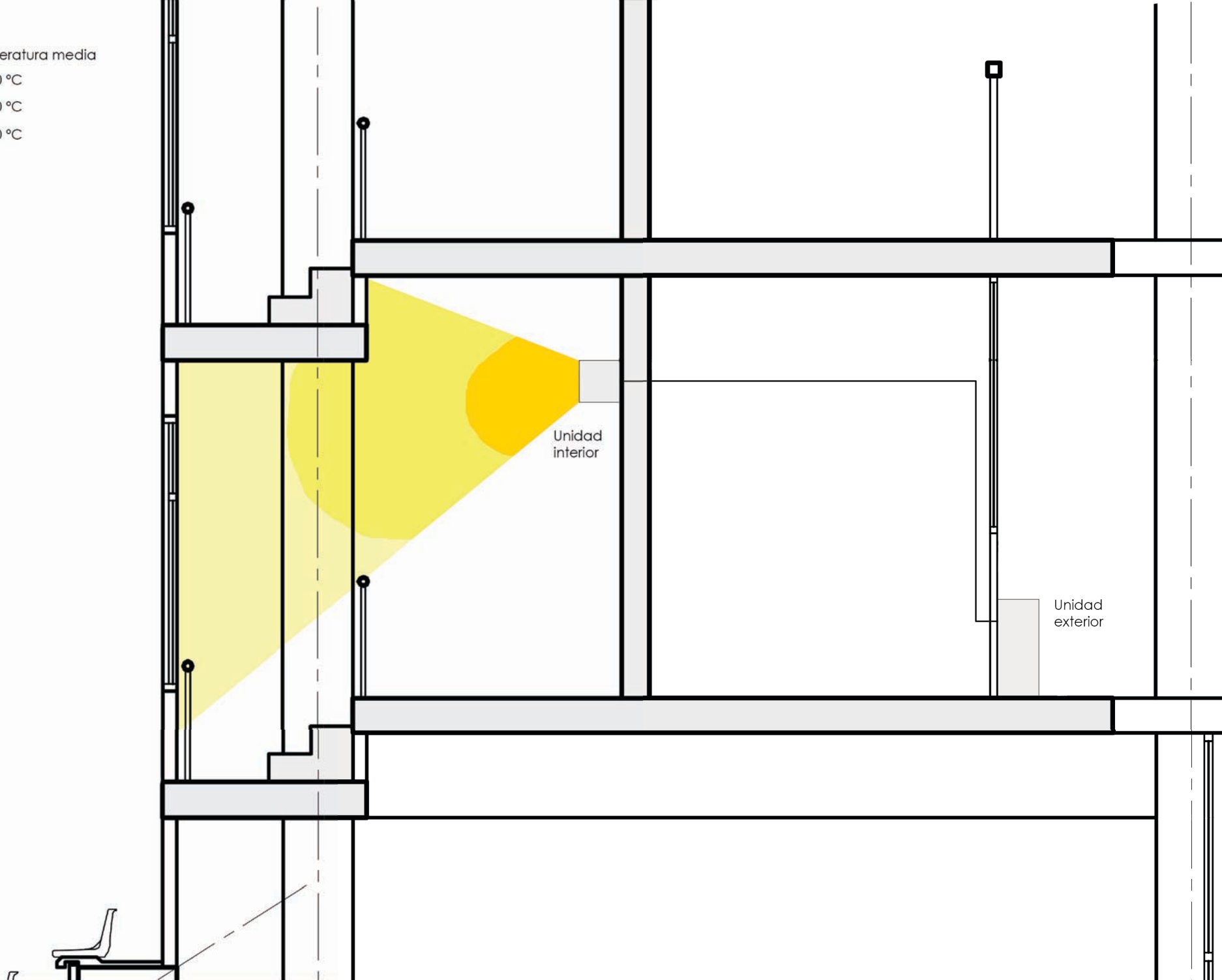


Temperatura media

● 30 °C

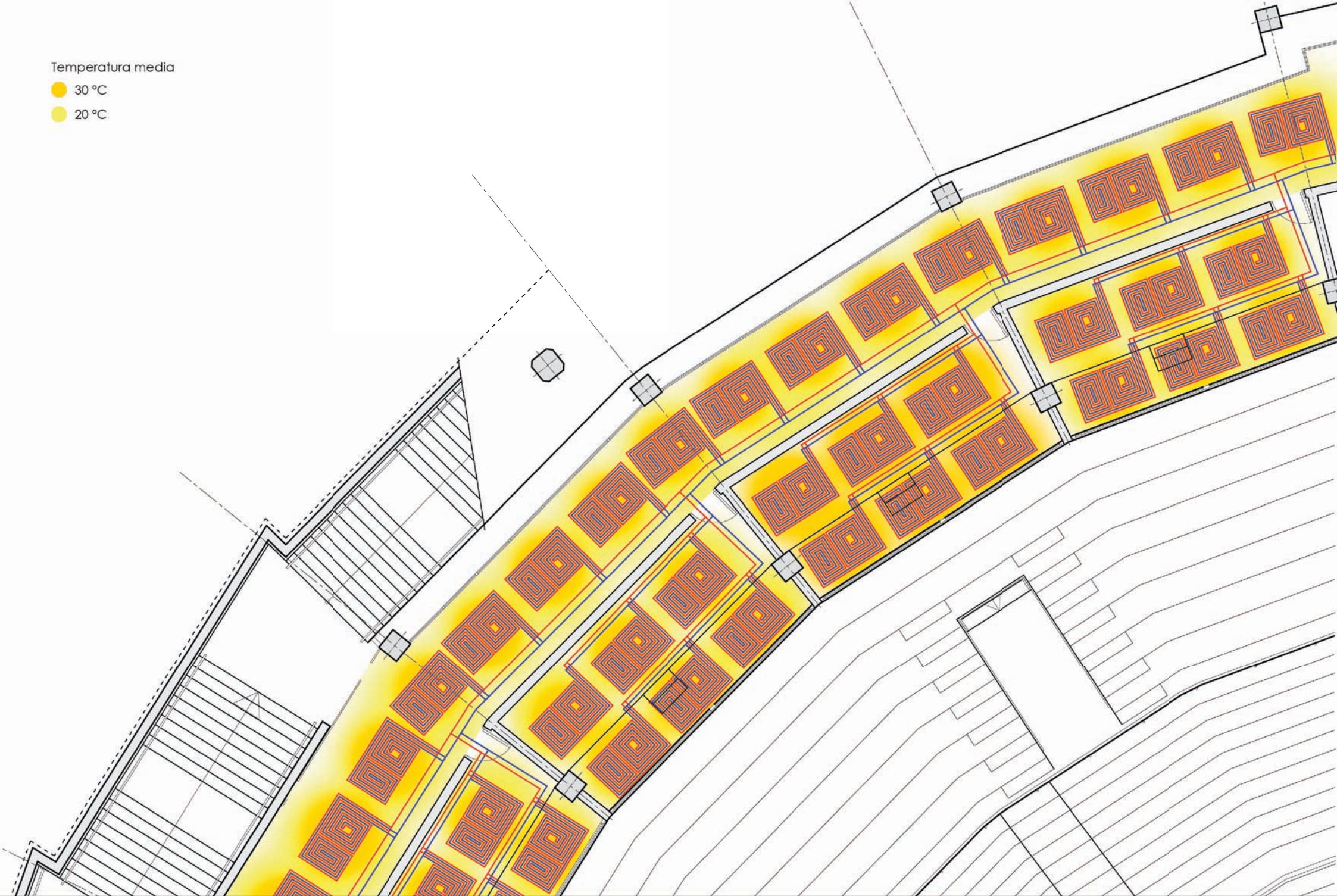
● 20 °C

● 10 °C



Temperatura media

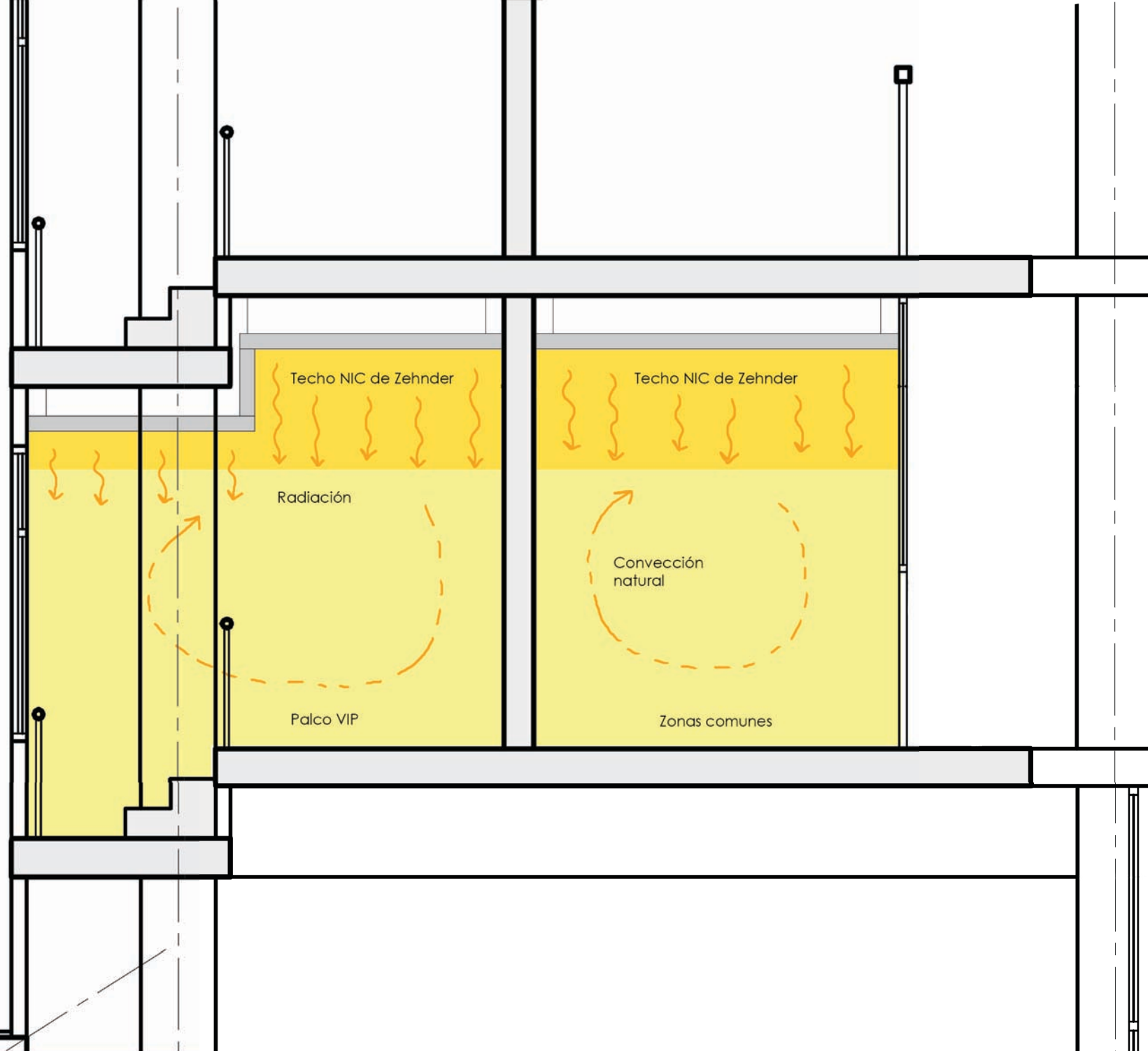
- 30 °C
- 20 °C

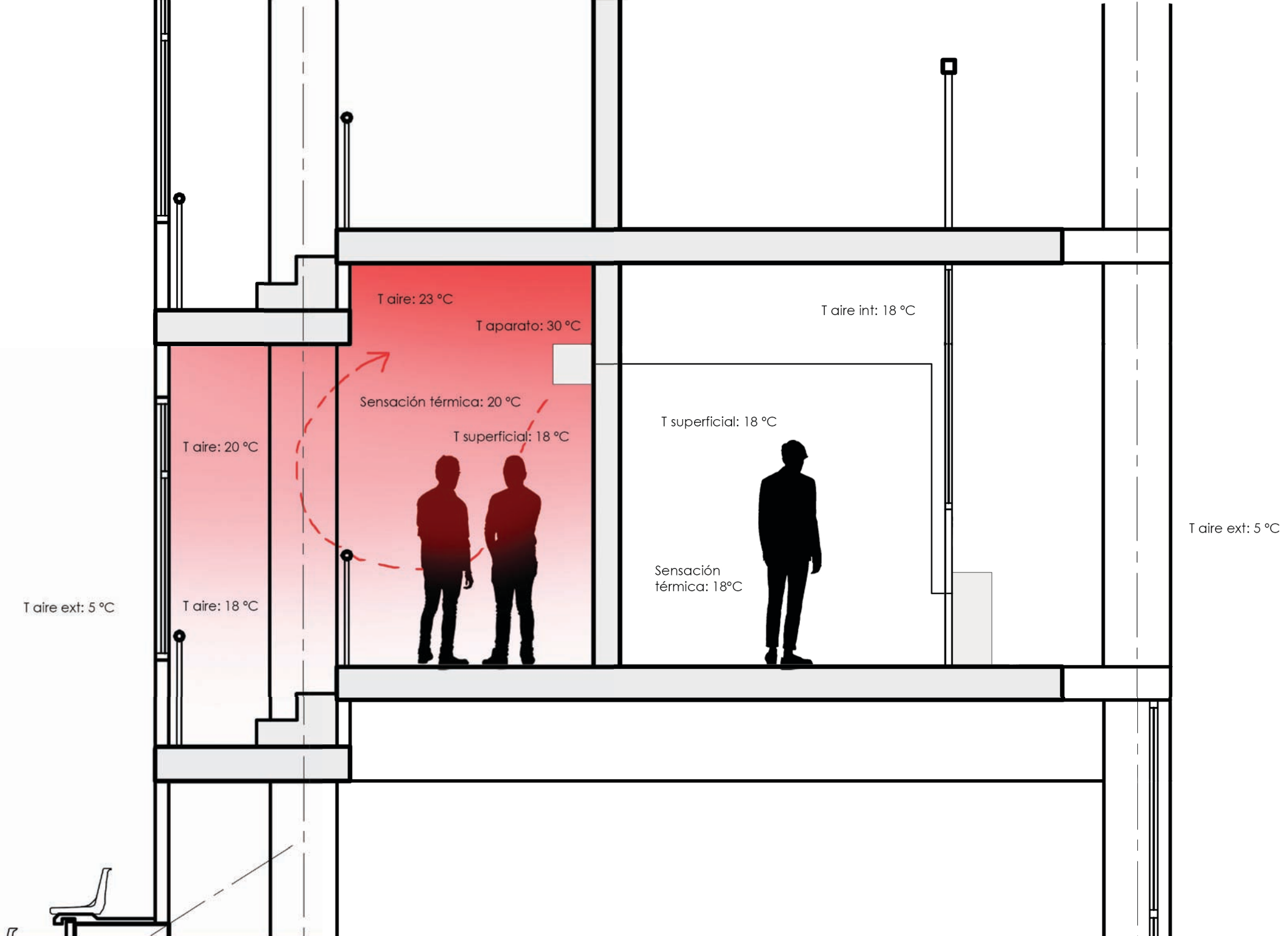


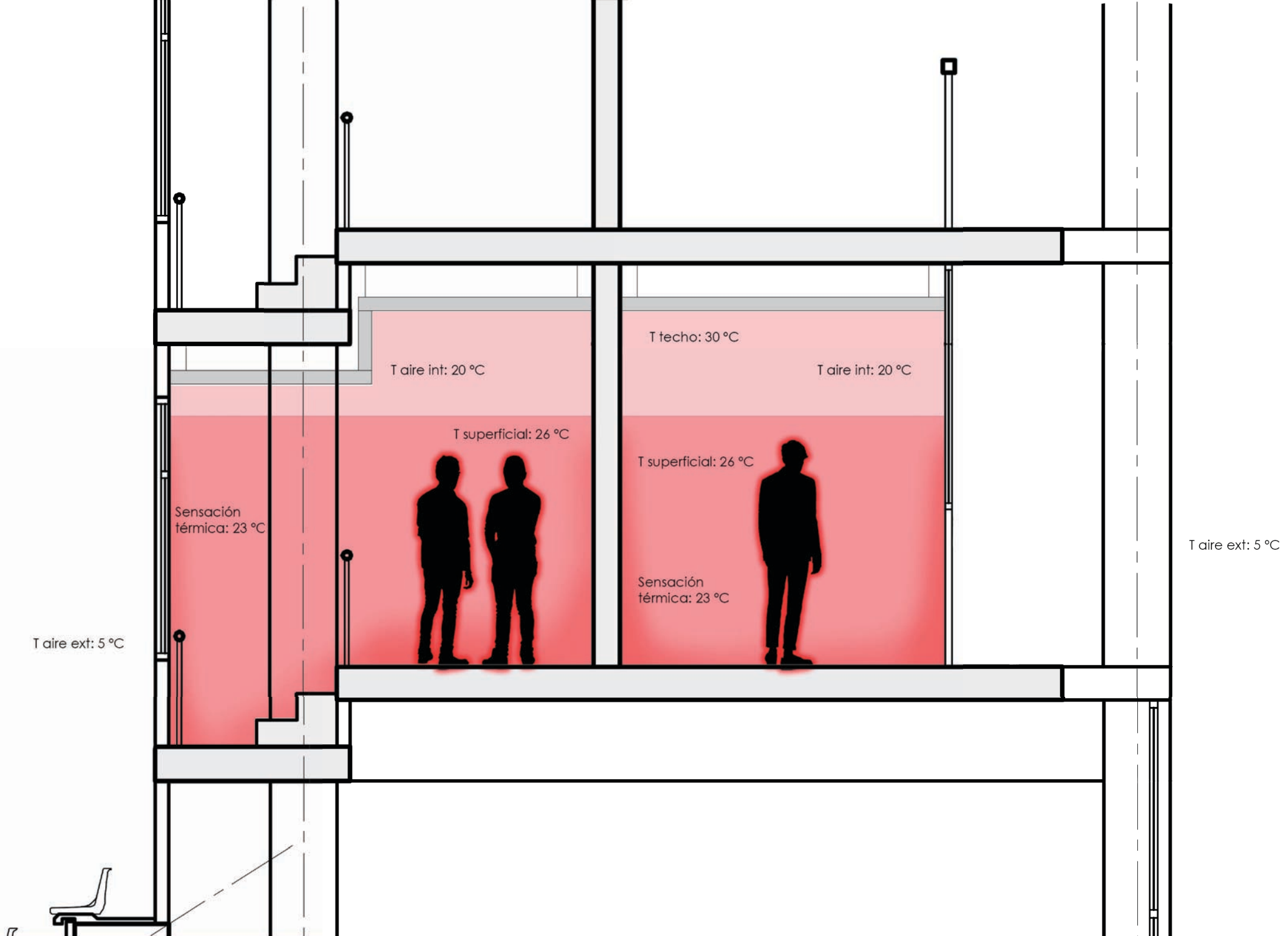
Temperatura media

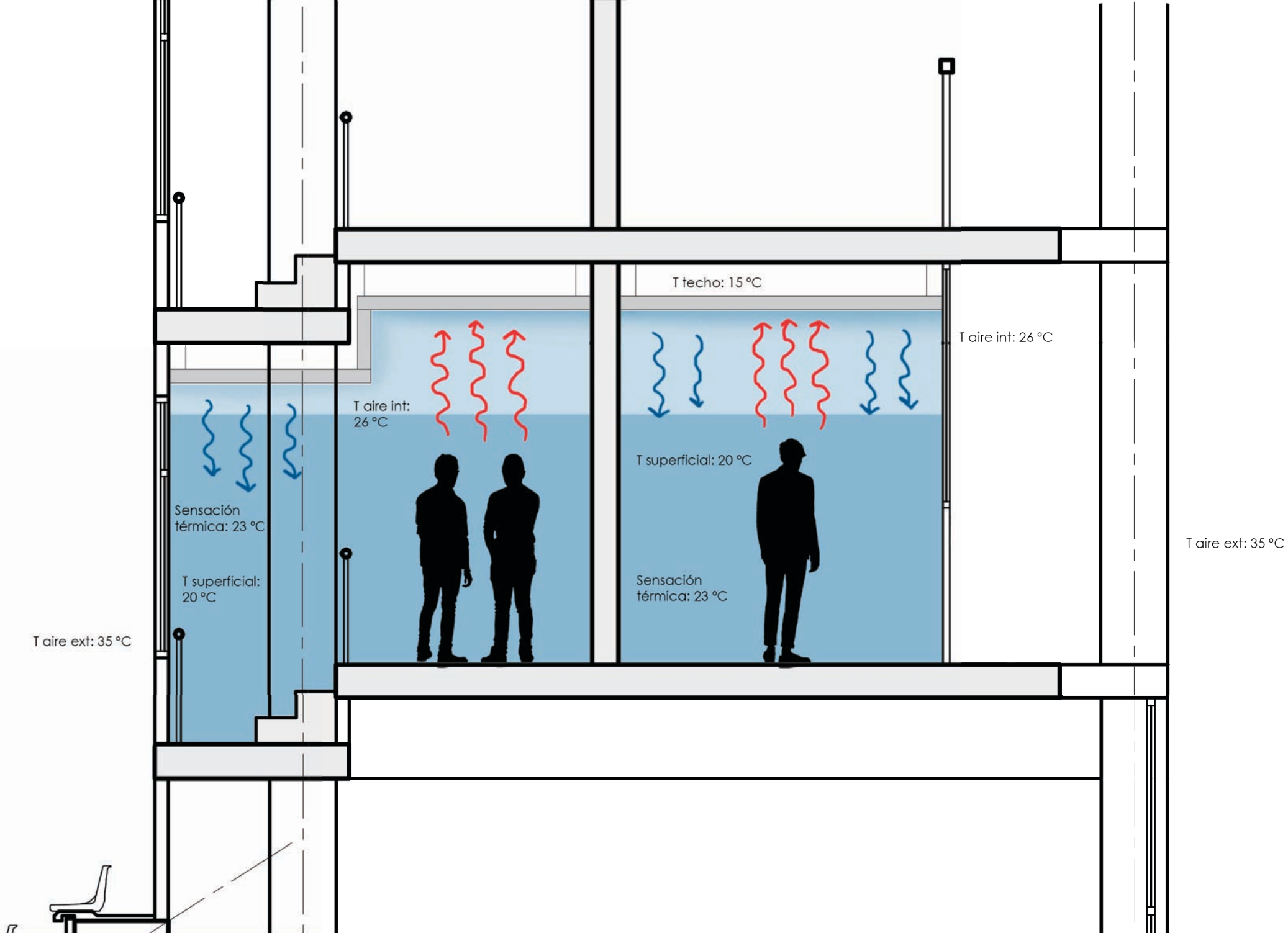
● 30 °C

● 20 °C





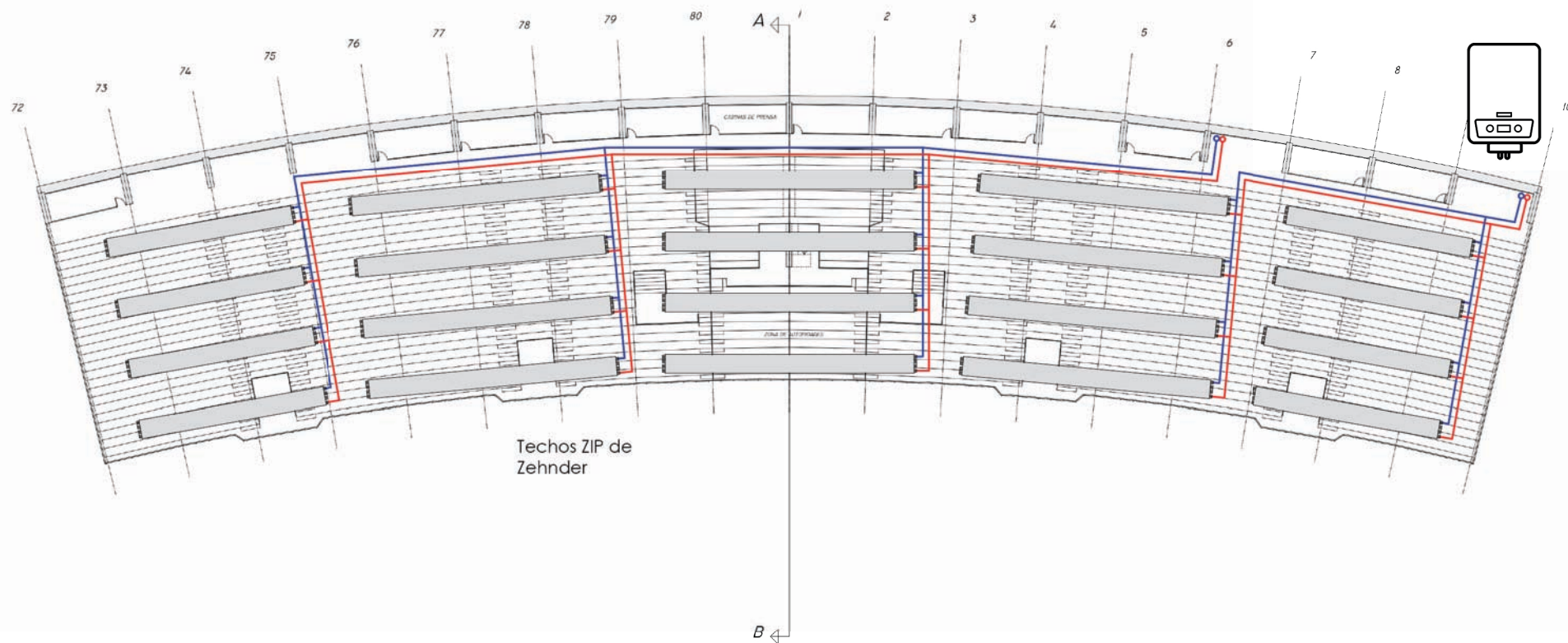


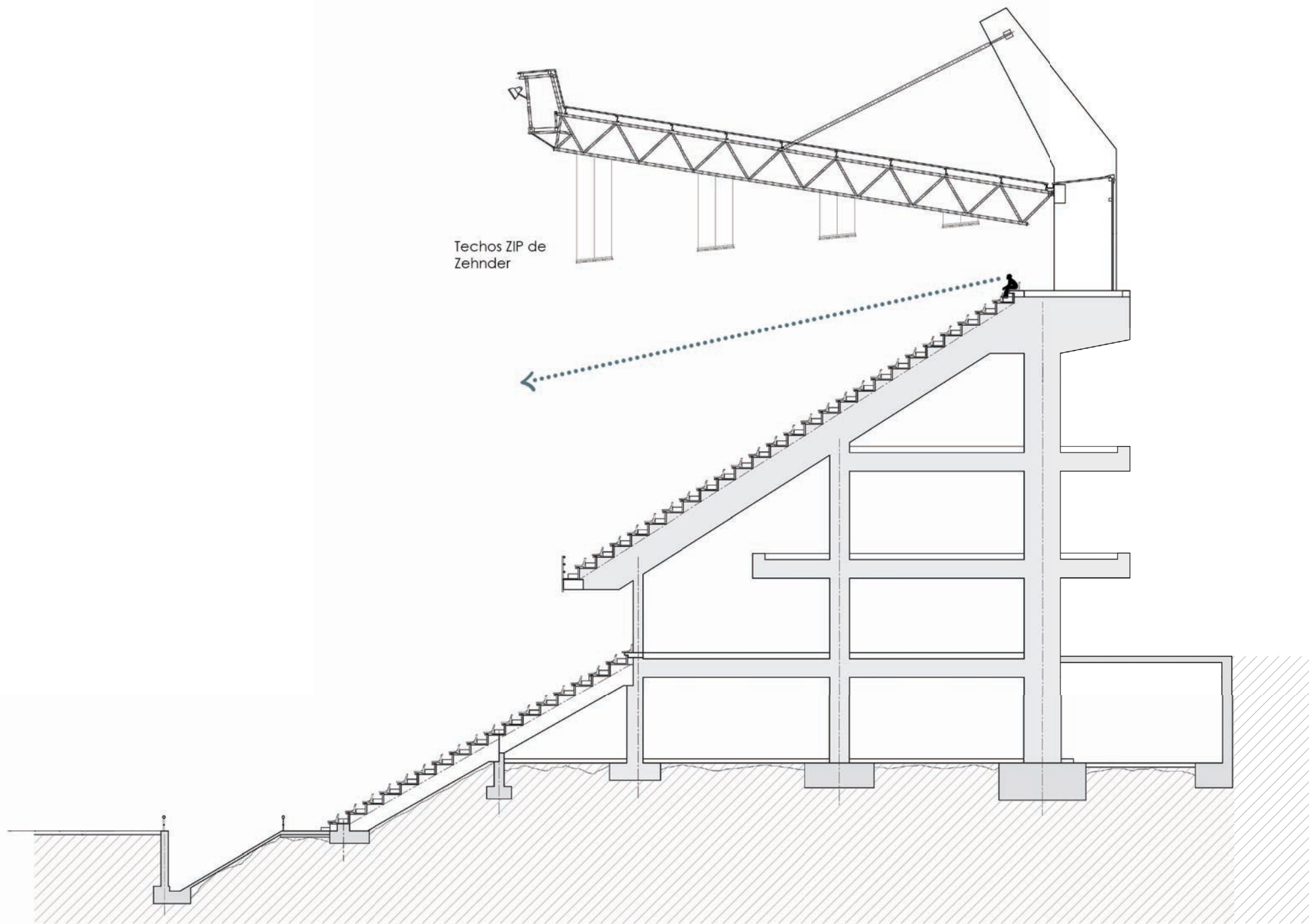


Graderío de tribuna oeste

● Circuito de ida

● Circuito de retorno

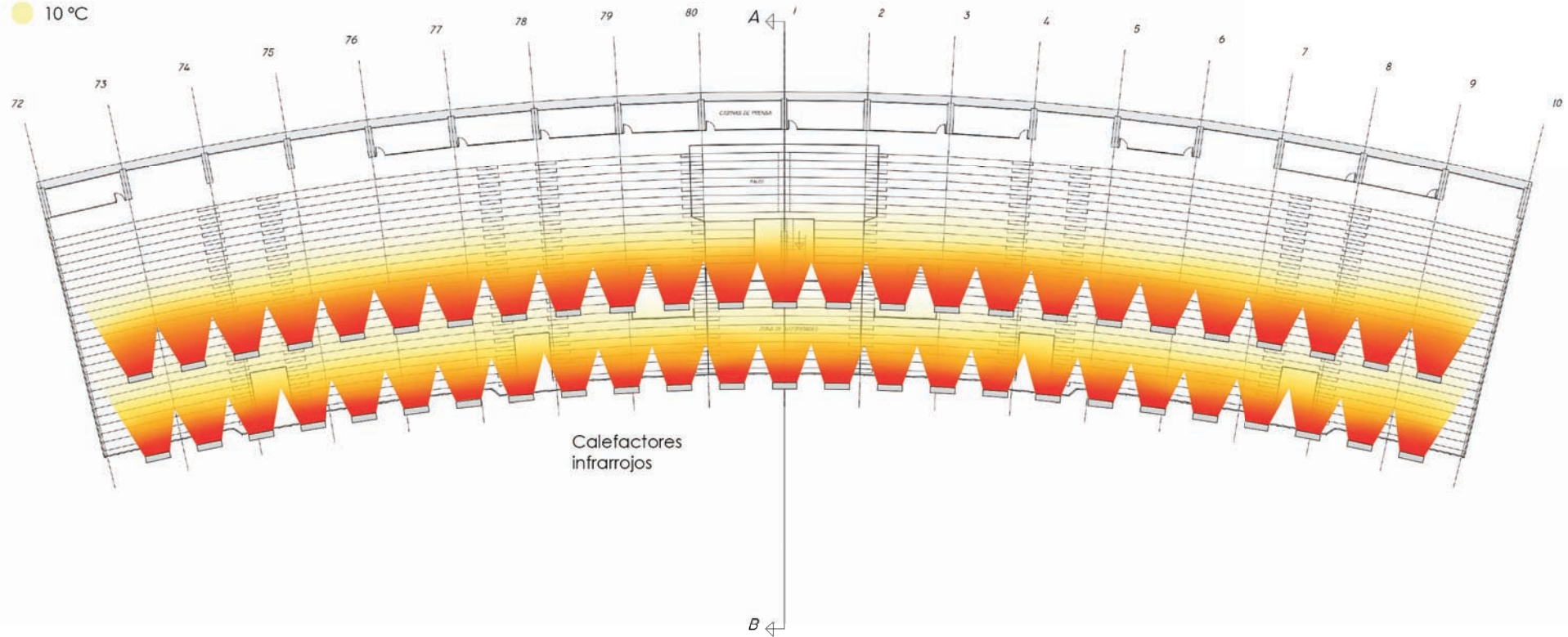




Techos ZIP de Zehnder

Temperatura media

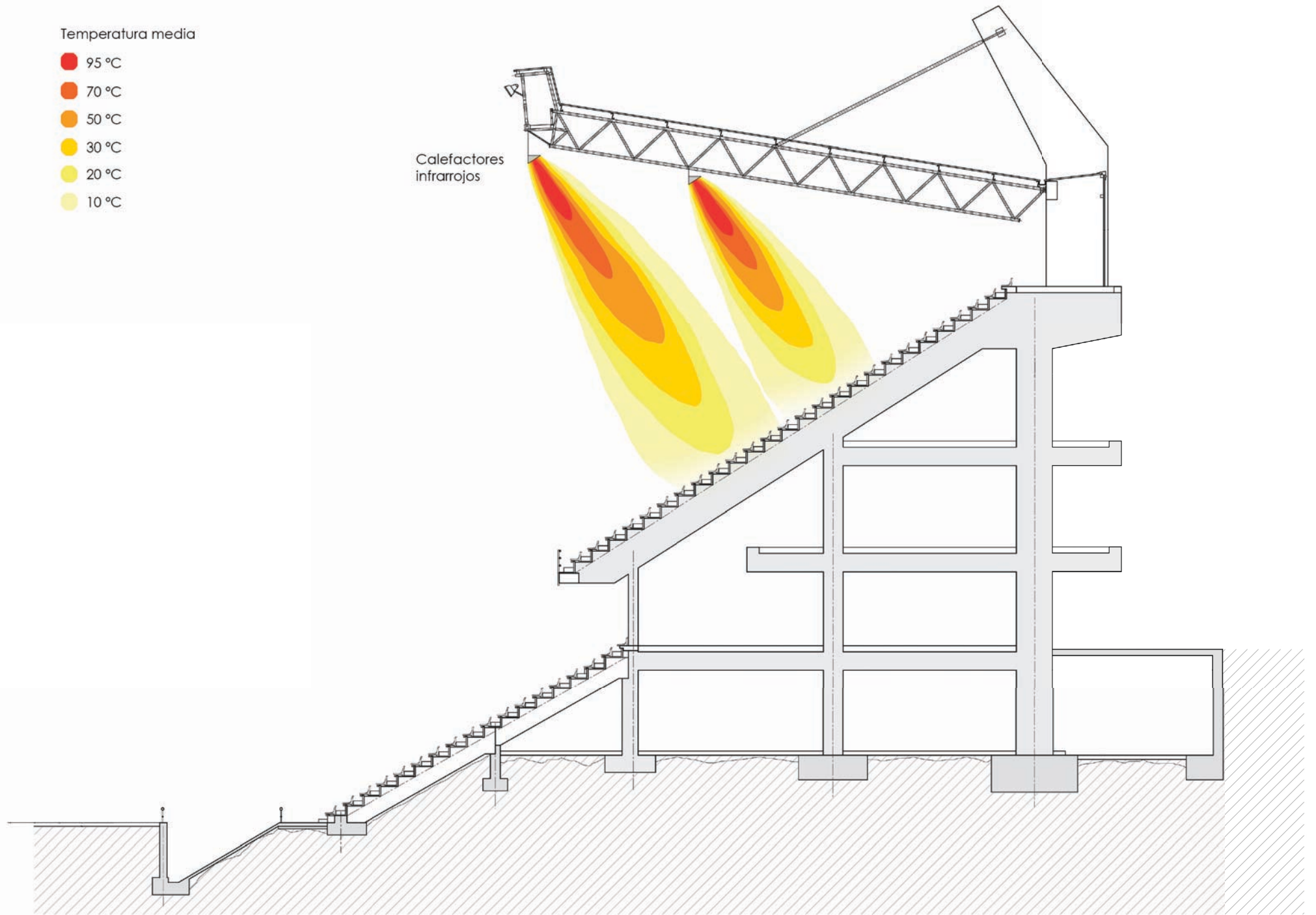
- 95 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C



Temperatura media

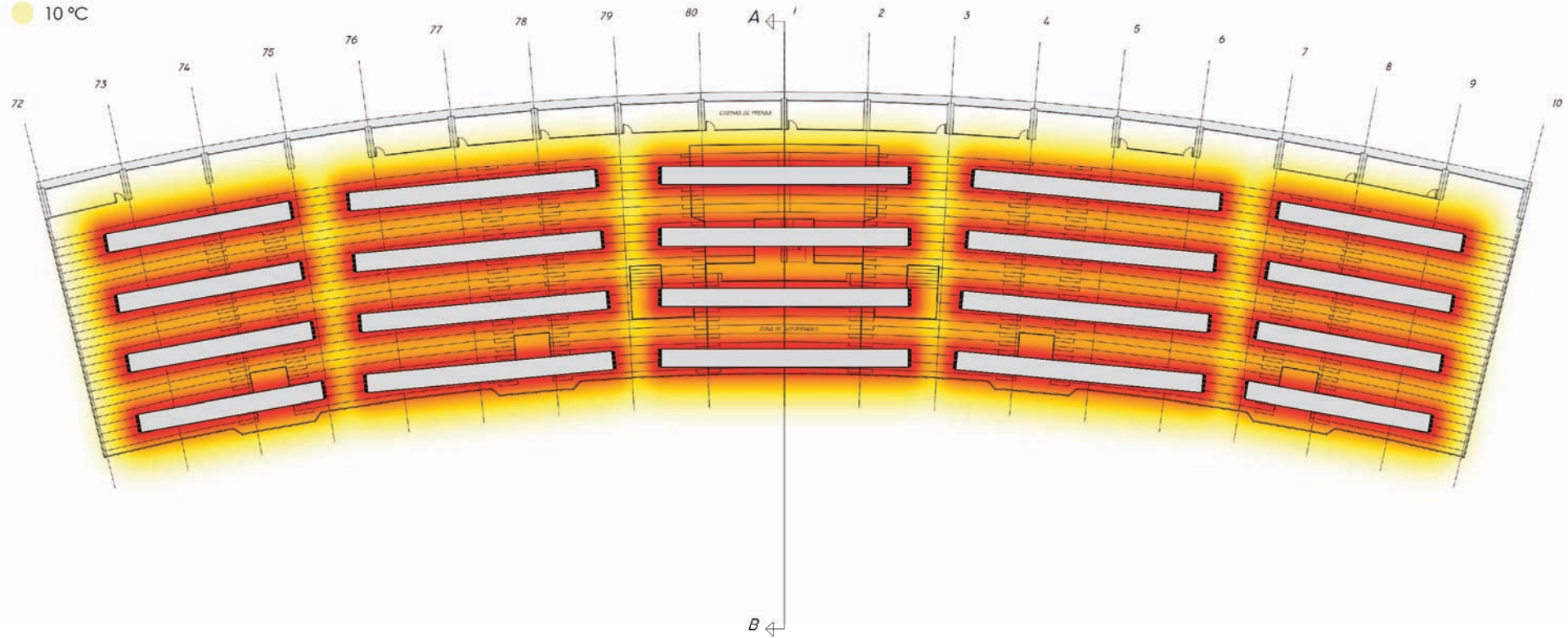
- 95 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C

Calefactores infrarrojos



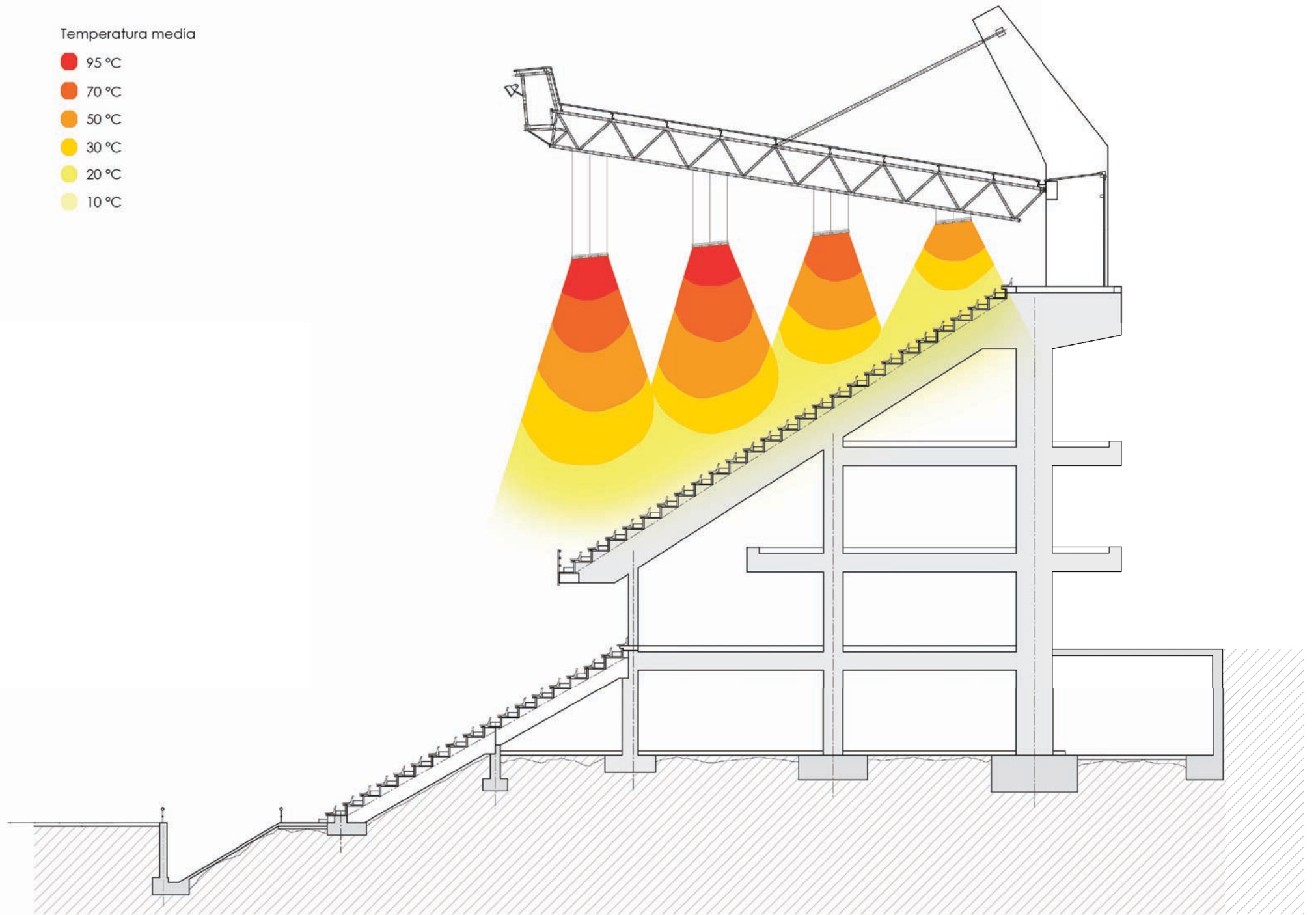
Temperatura media

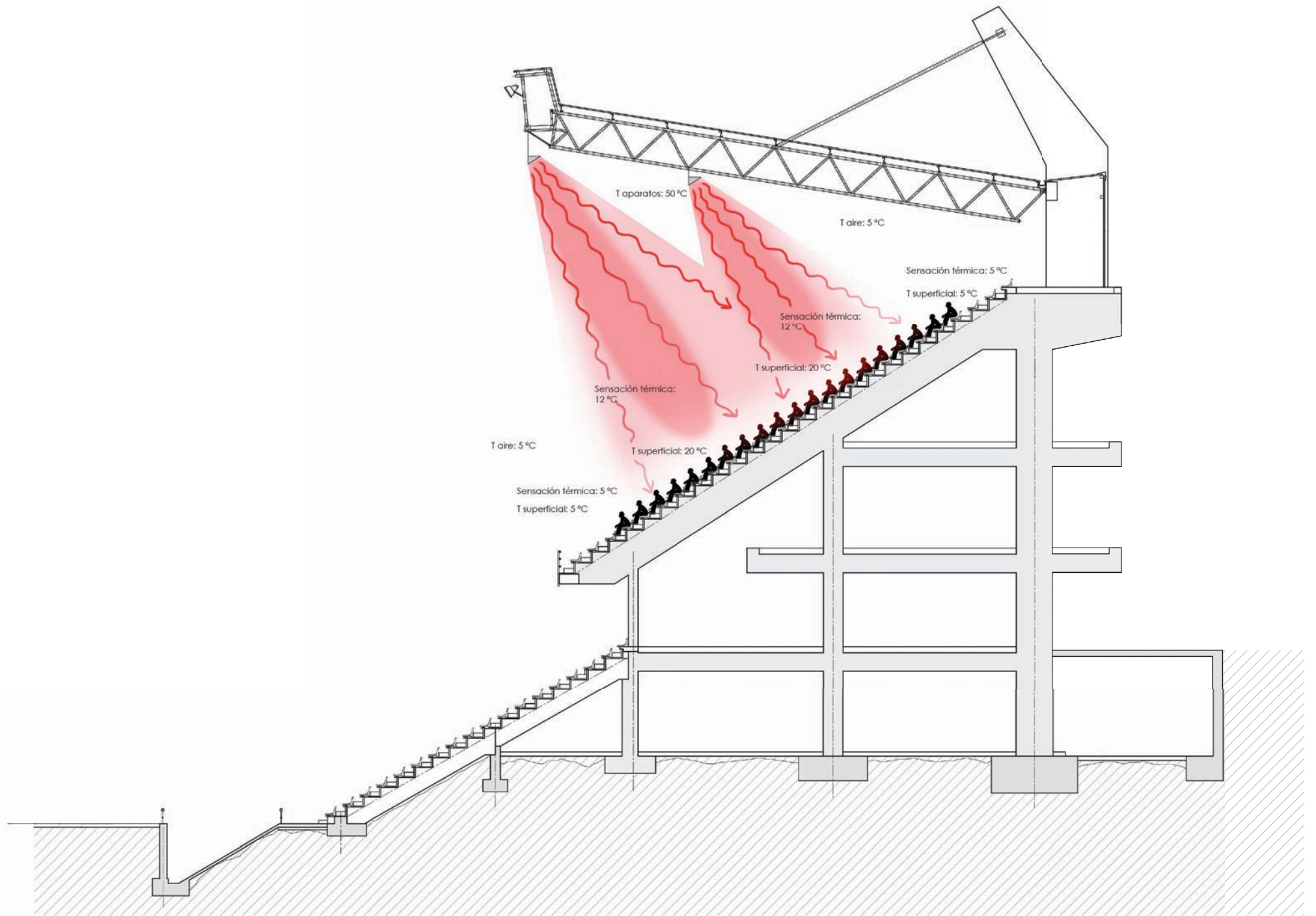
- 95 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C

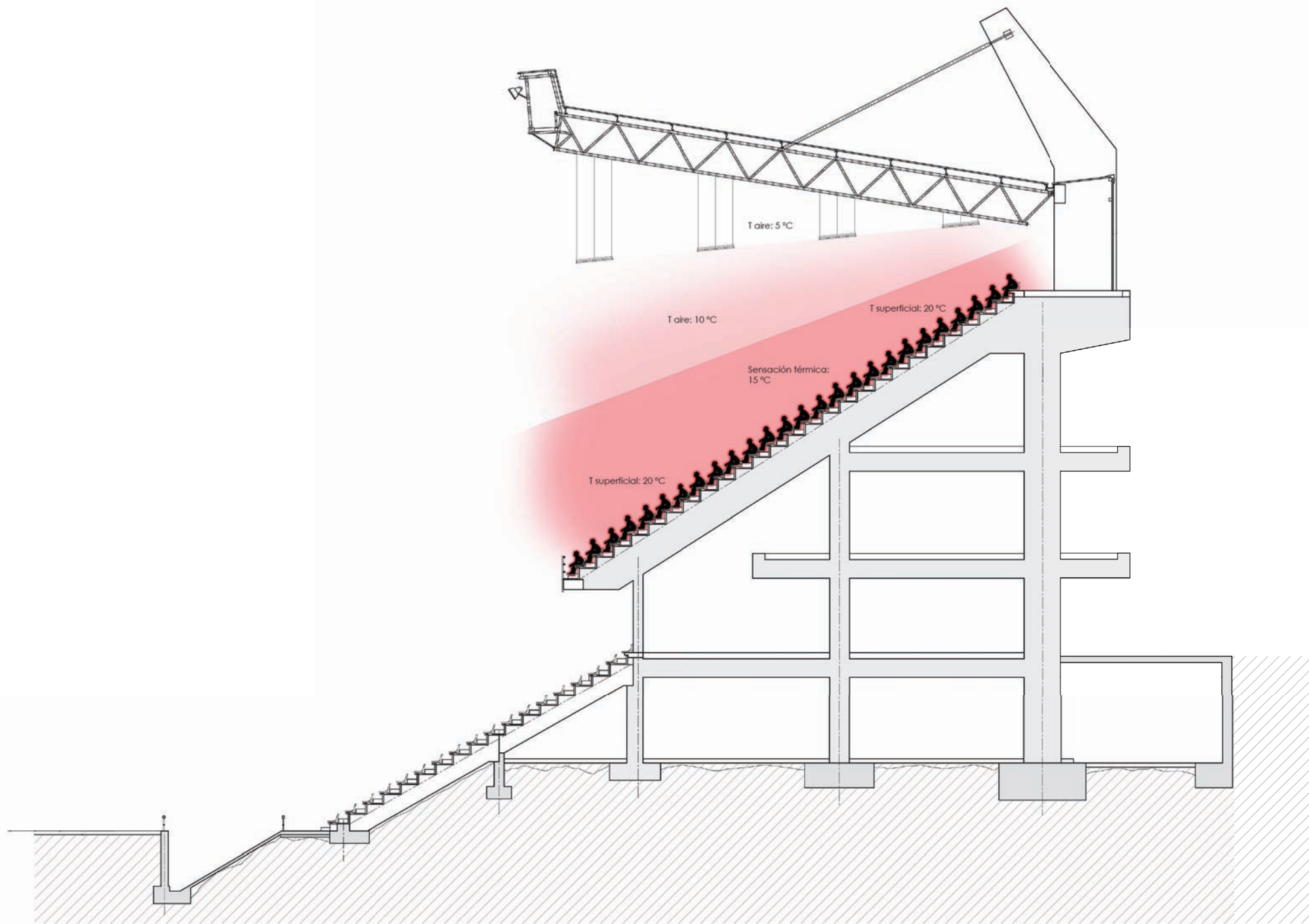


Temperatura media

- 95 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 30 °C
- 20 °C
- 10 °C









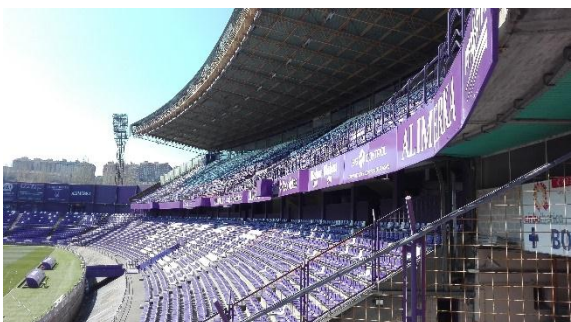
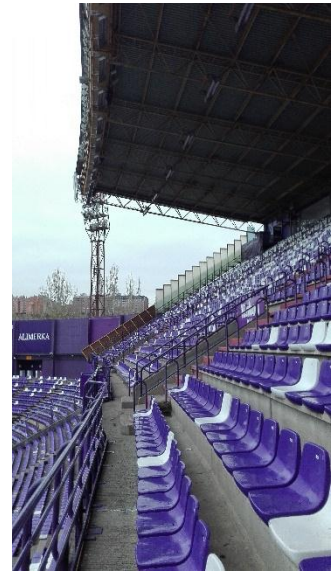
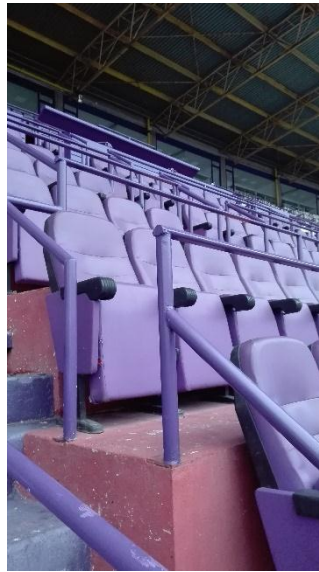
ANEXOII | FOTOGRAFÍAS DE LAS INSTALACIONES

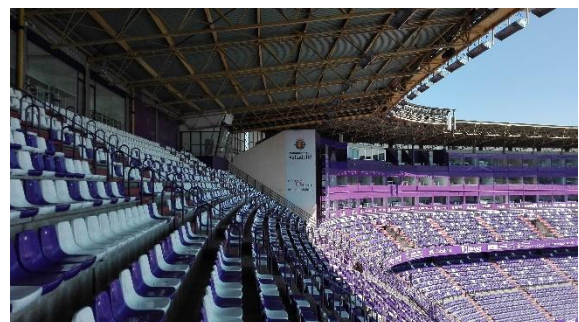
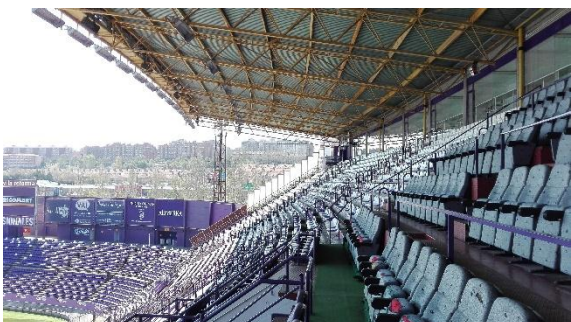
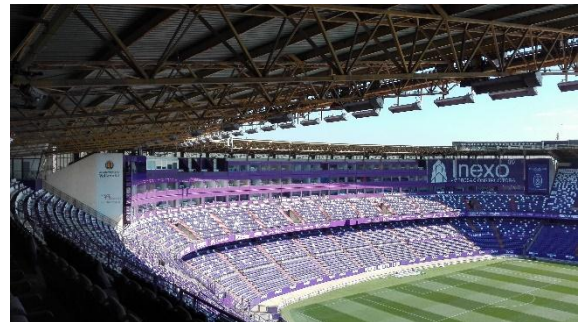
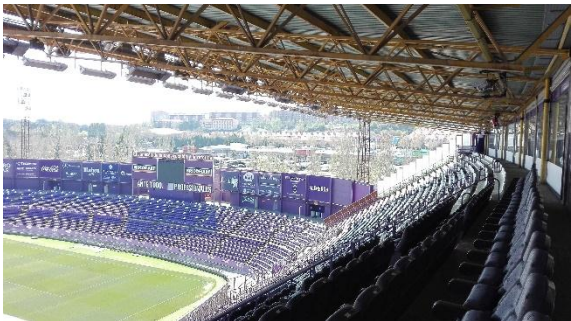
El segundo capítulo del TFG se ha ilustrado con una serie de fotografías realizadas durante la visita al estadio *José Zorrilla*. Pero, en el trabajo de campo, se obtuvieron más imágenes que sirven para conocer, con mayor detalle, las zonas estudiadas.

A continuación, se muestran todas ellas, ordenadas y agrupadas desde el graderío exterior hasta cada uno de los cuartos de instalaciones.



A. GRADERÍO EXTERIOR.

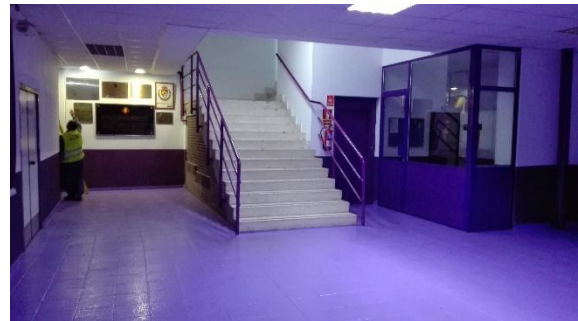




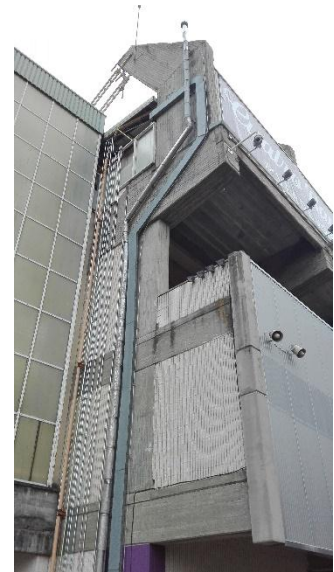
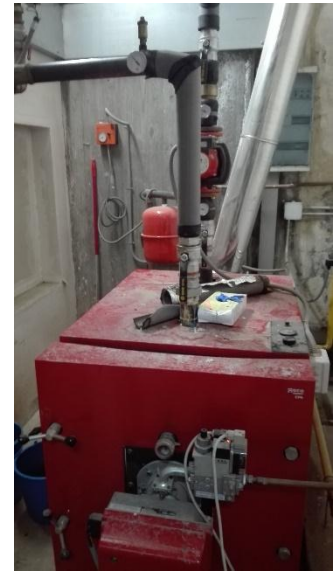
B. PALCO VIP.



C. ZONAS COMUNES.



D. CUARTOS DE INSTALACIONES Y CONDUCTO DE EXTRACCIÓN.

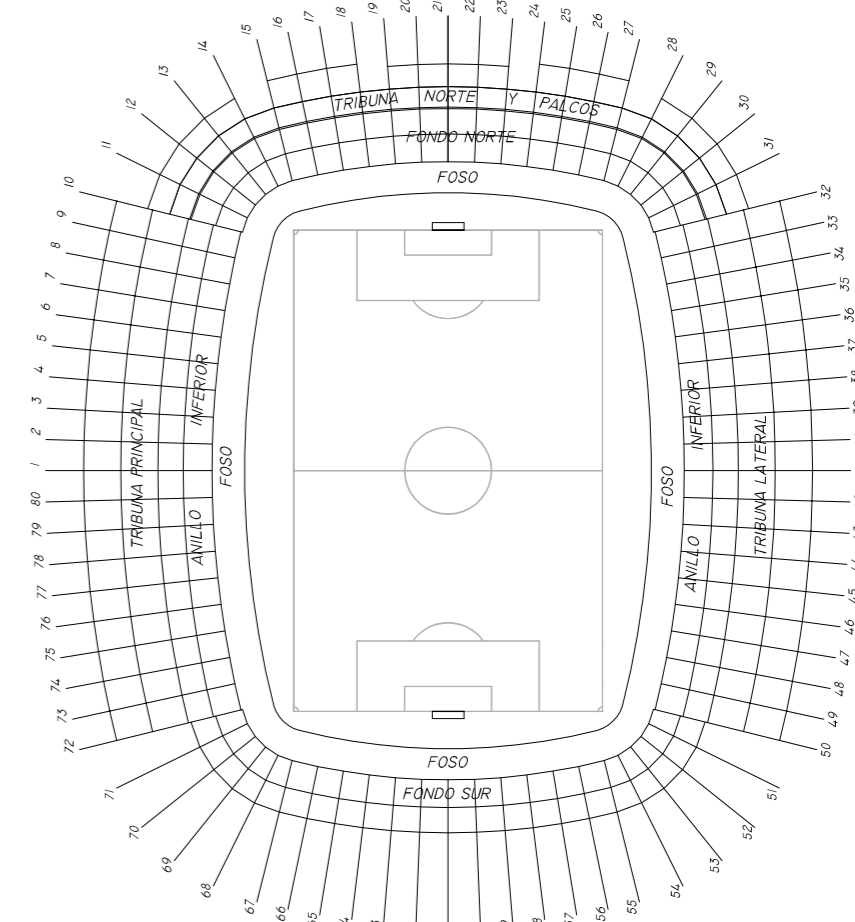




ANEXO III | PLANOS DE INFORMACIÓN

Como parte fundamental de la recogida de datos para la realización del presente TFG, el Real Valladolid CF, SAD facilitó toda la documentación gráfica necesaria.

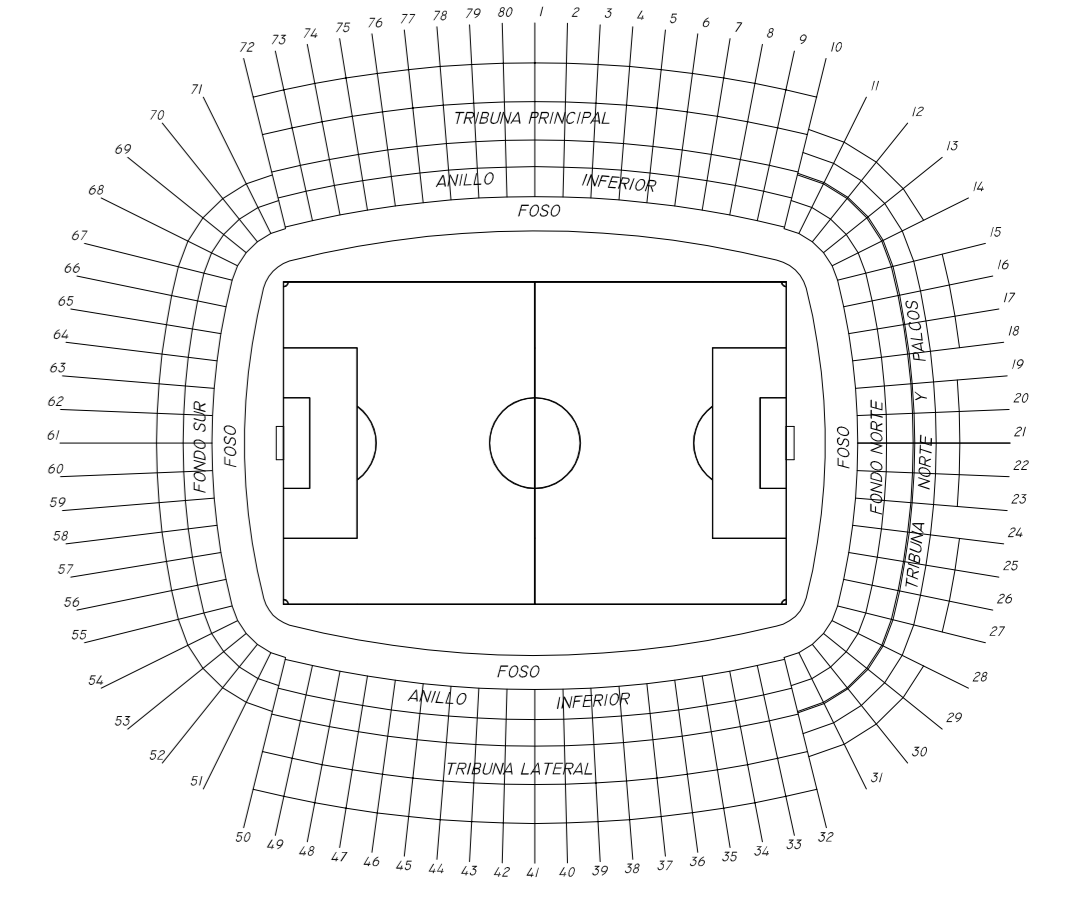
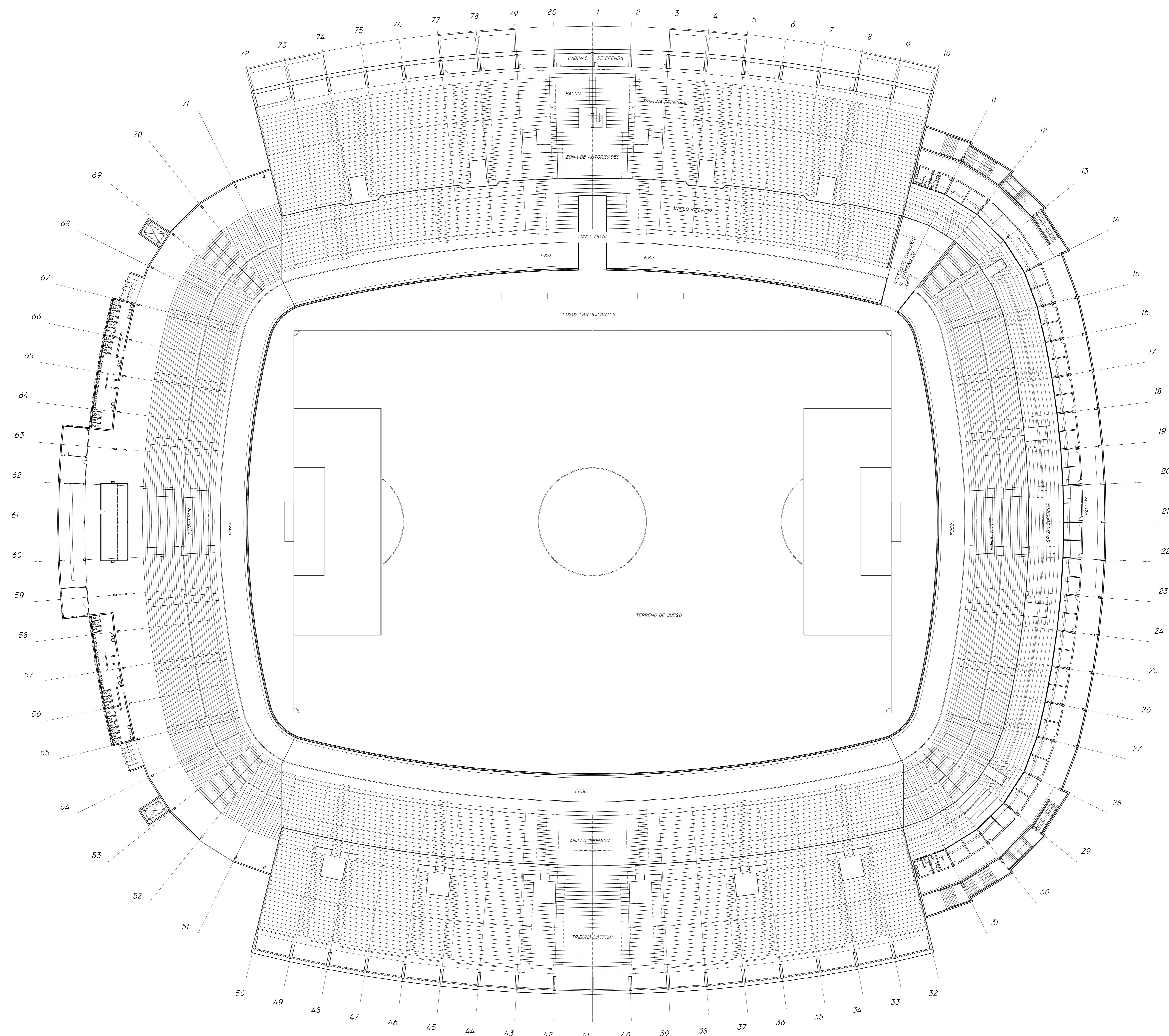
En este anexo se adjuntan los planos informativos del estadio *José Zorrilla* que incluyen las reformas realizadas hasta 2012. Su autor es Luis Fernando Toribio.



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

PLANO DE SITUACIÓN	ESCALA 1:2000	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
		PLANO 0



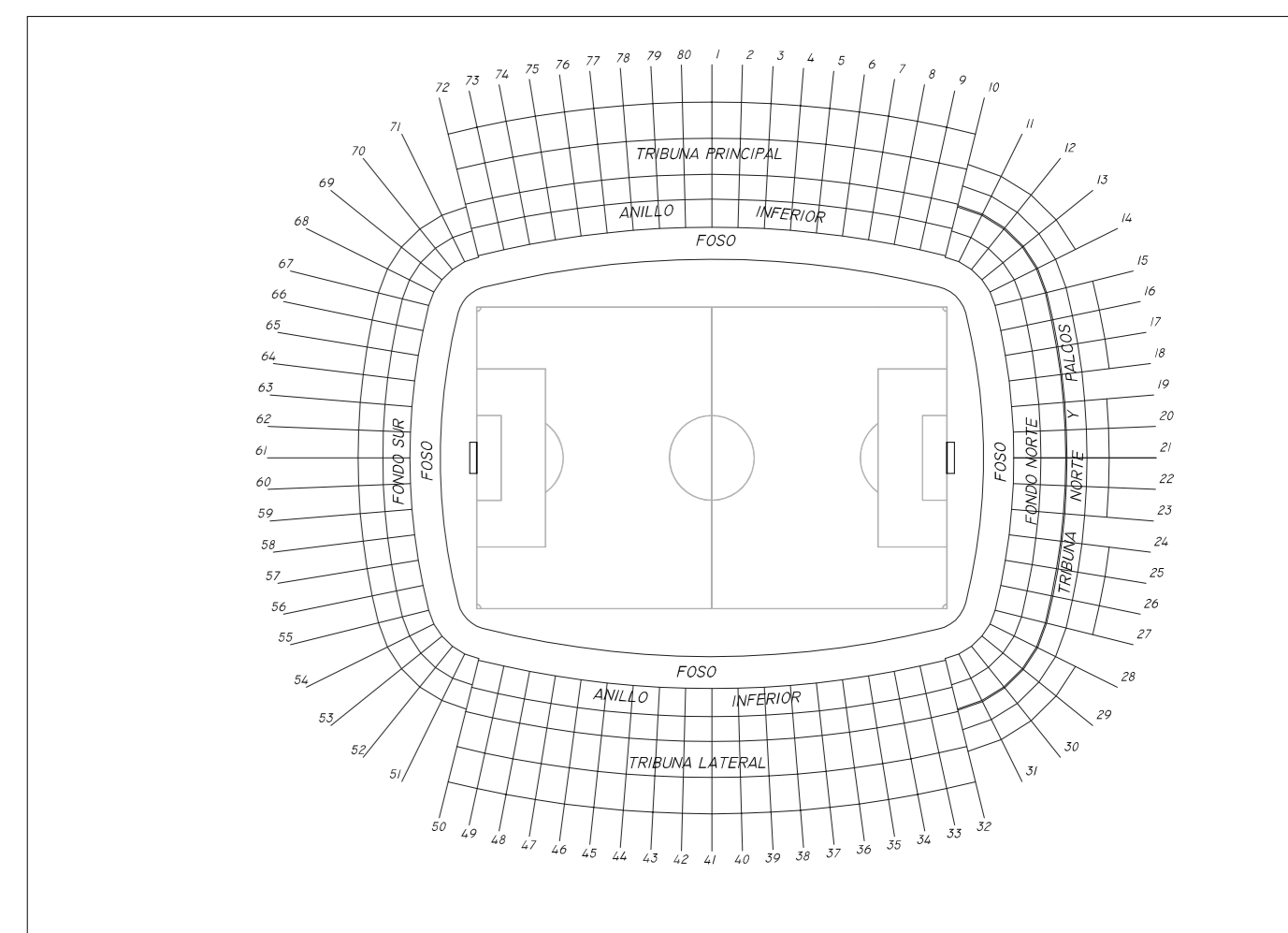
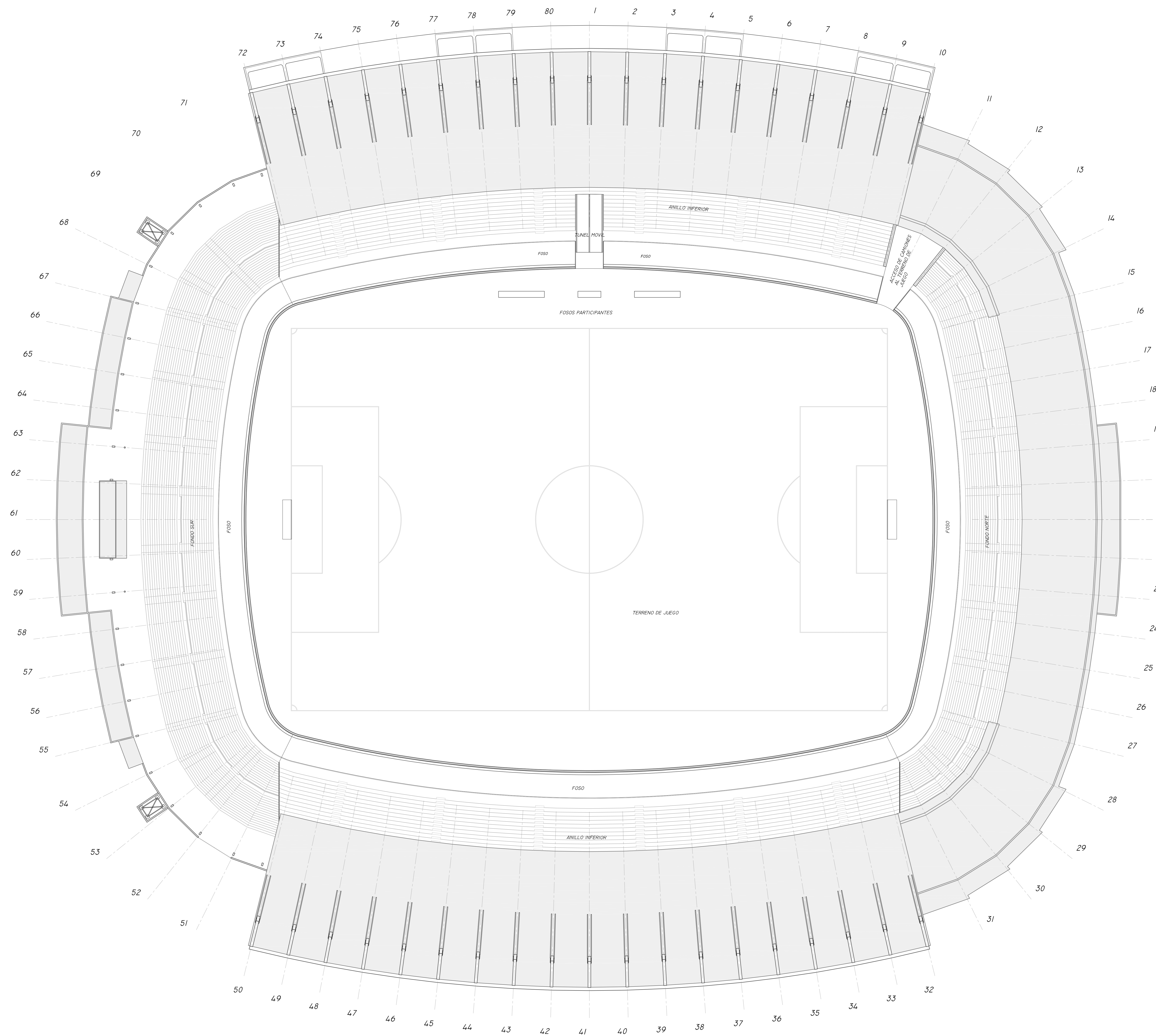
NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

PLANTA GENERAL

ESCALA
1:250

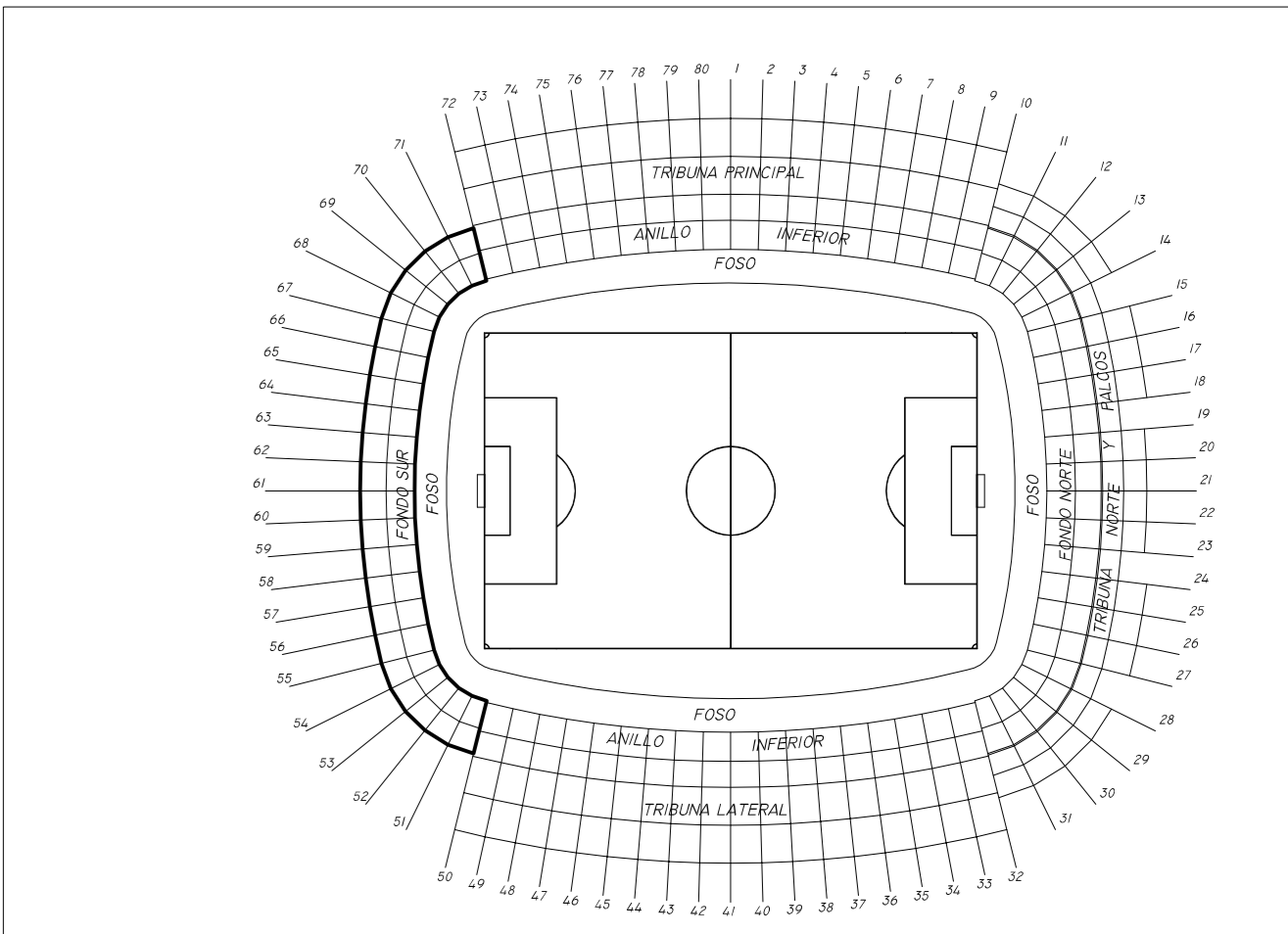
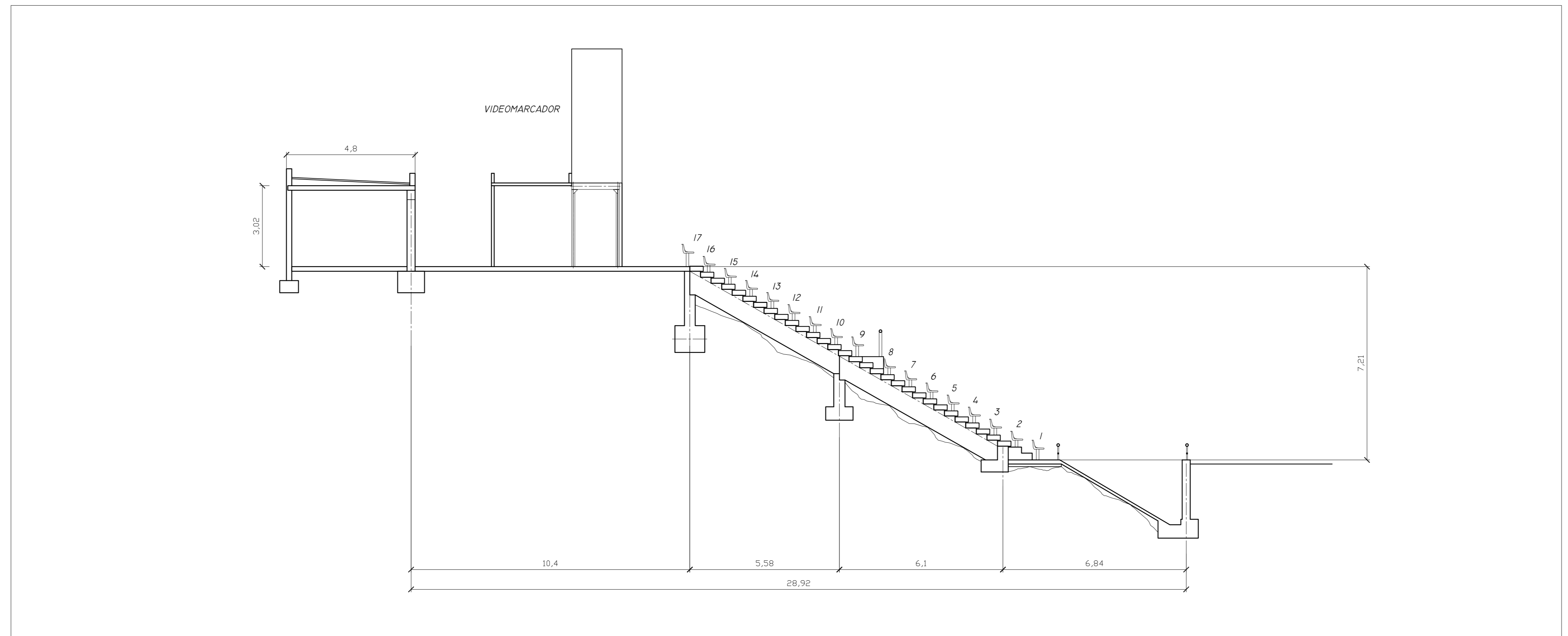
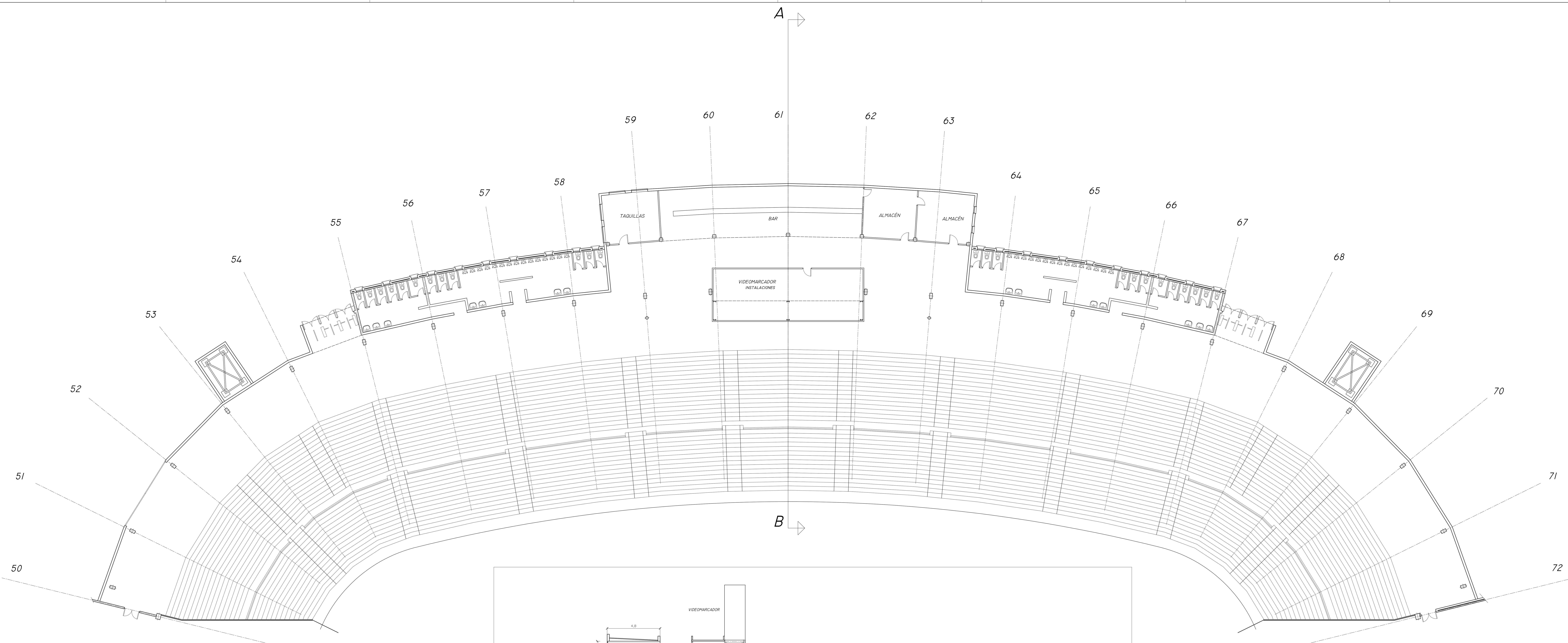
FECHA: OCTUBRE 2012
DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

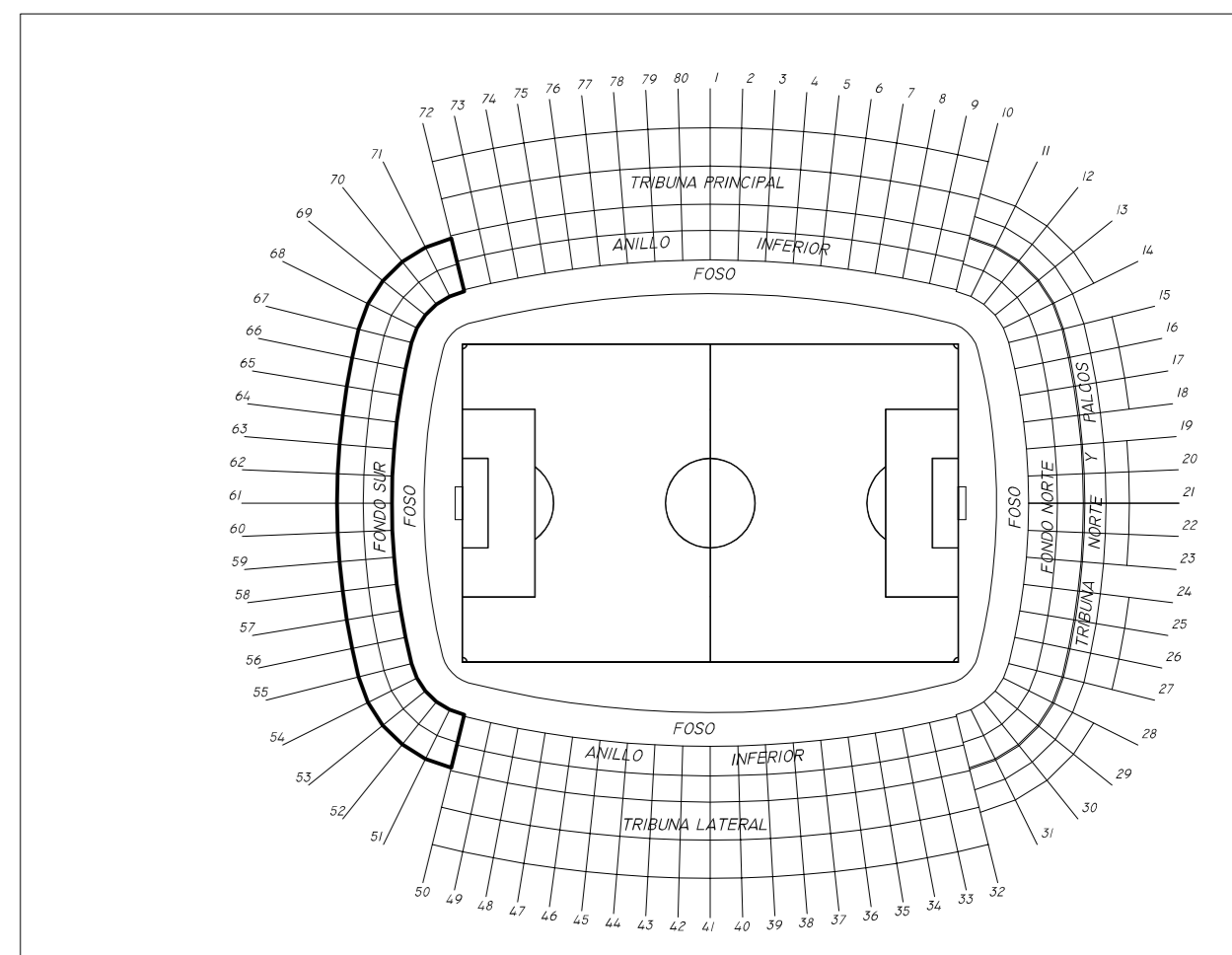
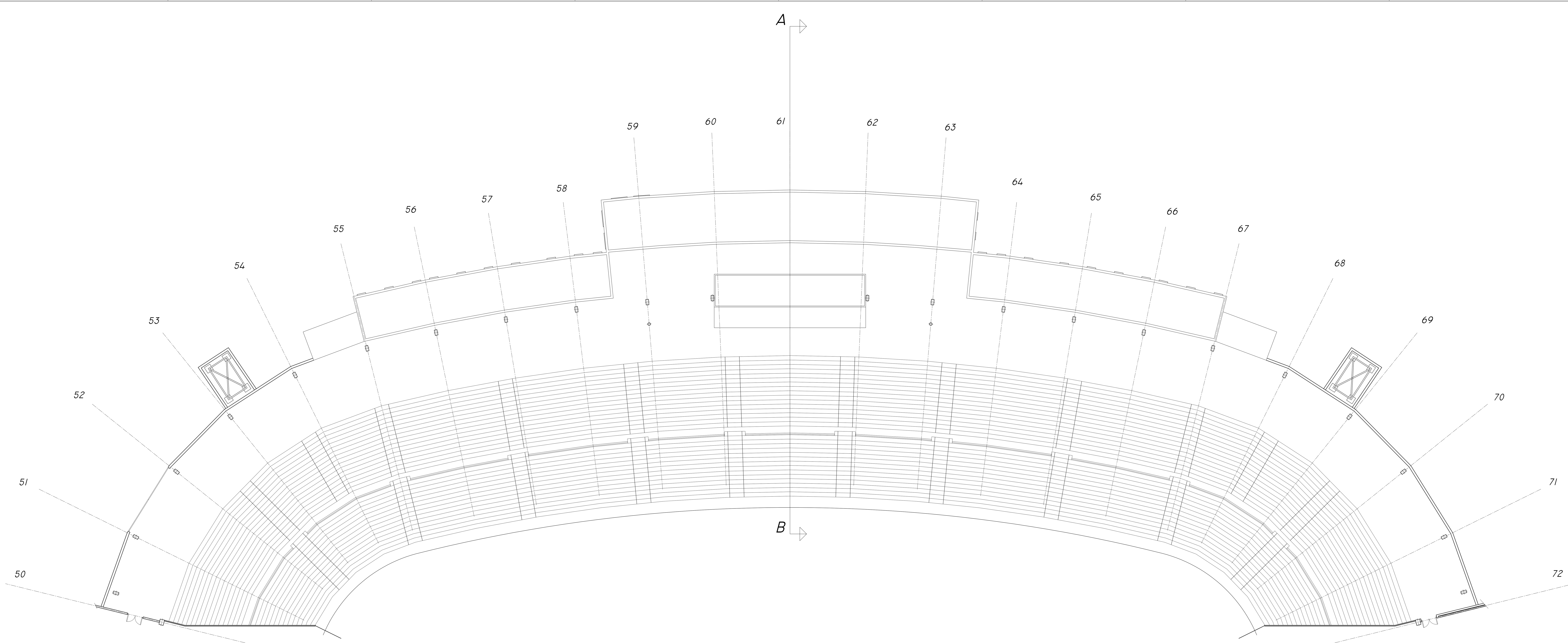
PLANTA GENERAL PLANTA DE CUBIERTAS	ESCALA 1:250	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
--	-----------------	--



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

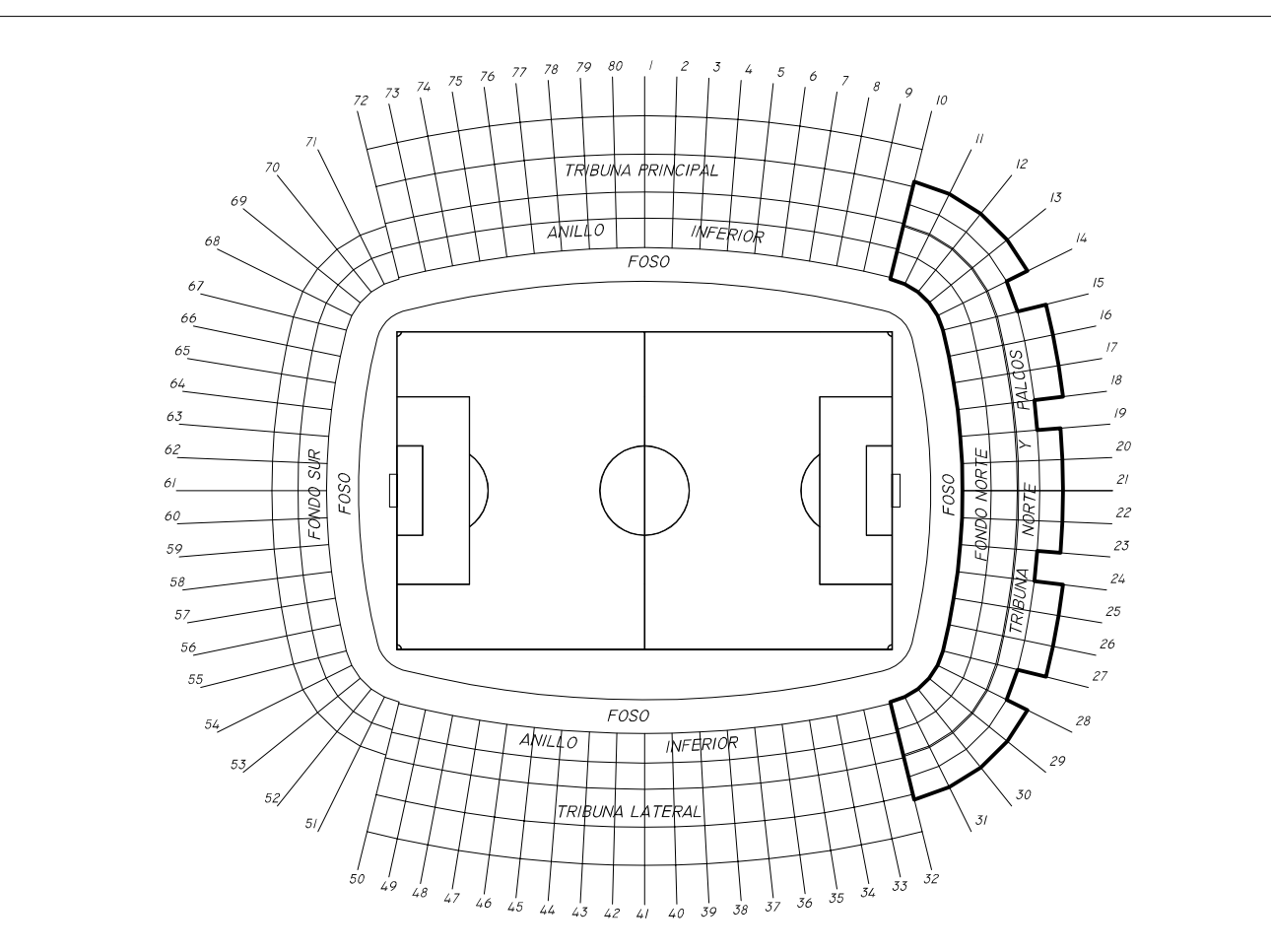
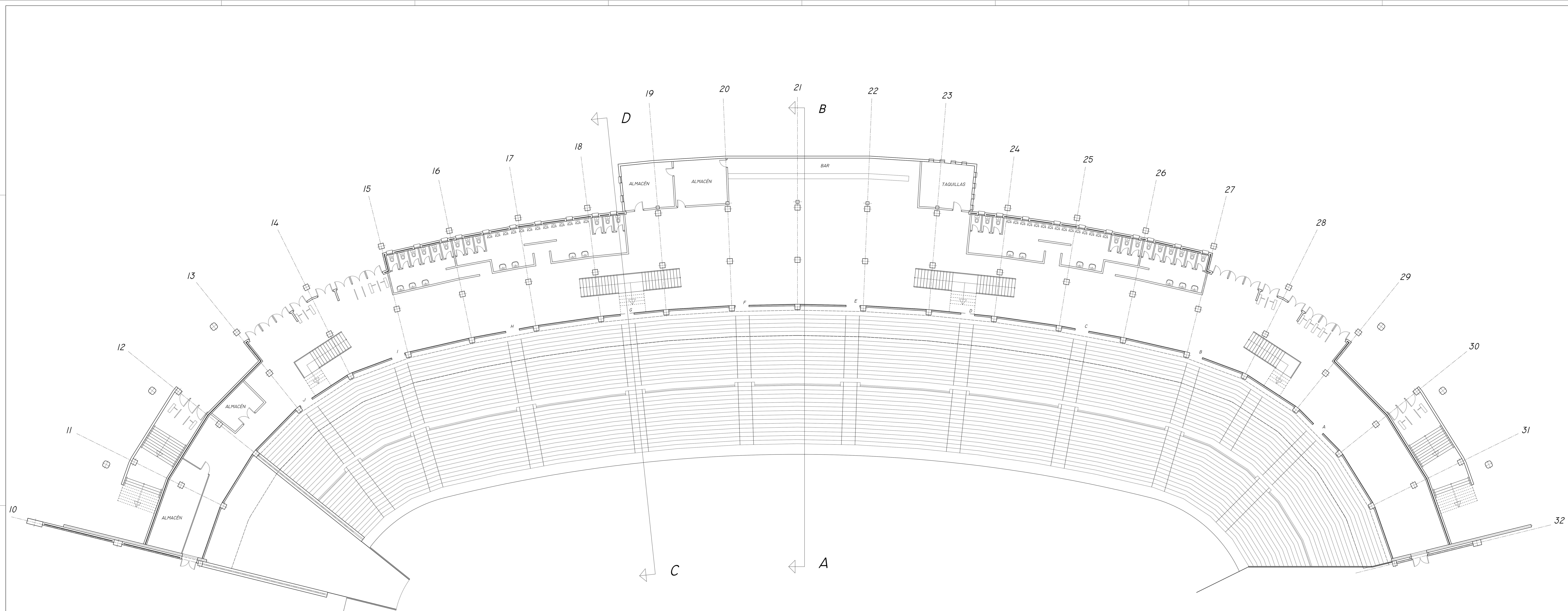
FONDO SUR PLANTA BAJA Y SECCIÓN A-B	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORRIBO PLANO 3
---	-----------------	---



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO SUR PLANTA DE CUBIERTA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
---------------------------------	-----------------	--

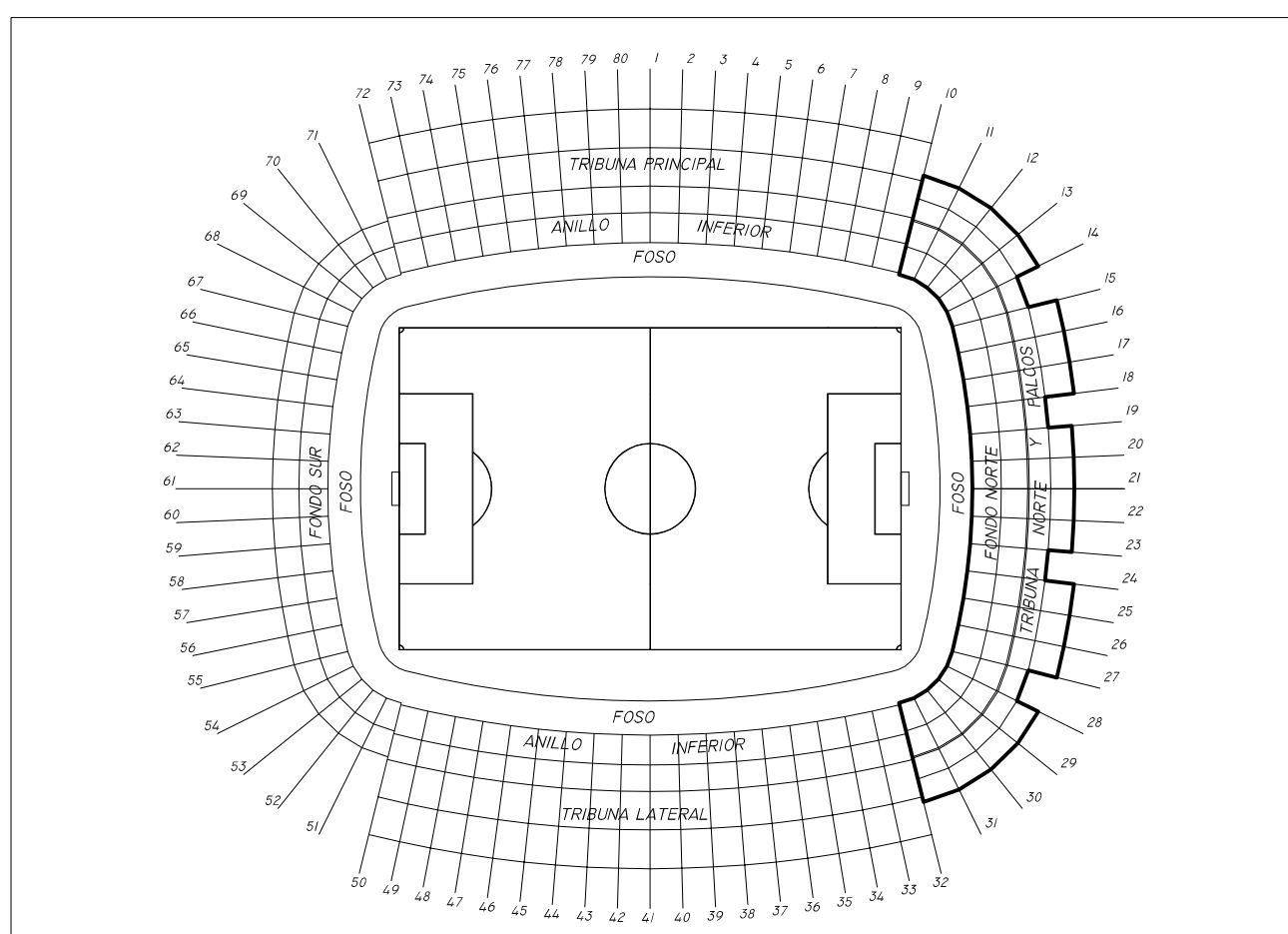
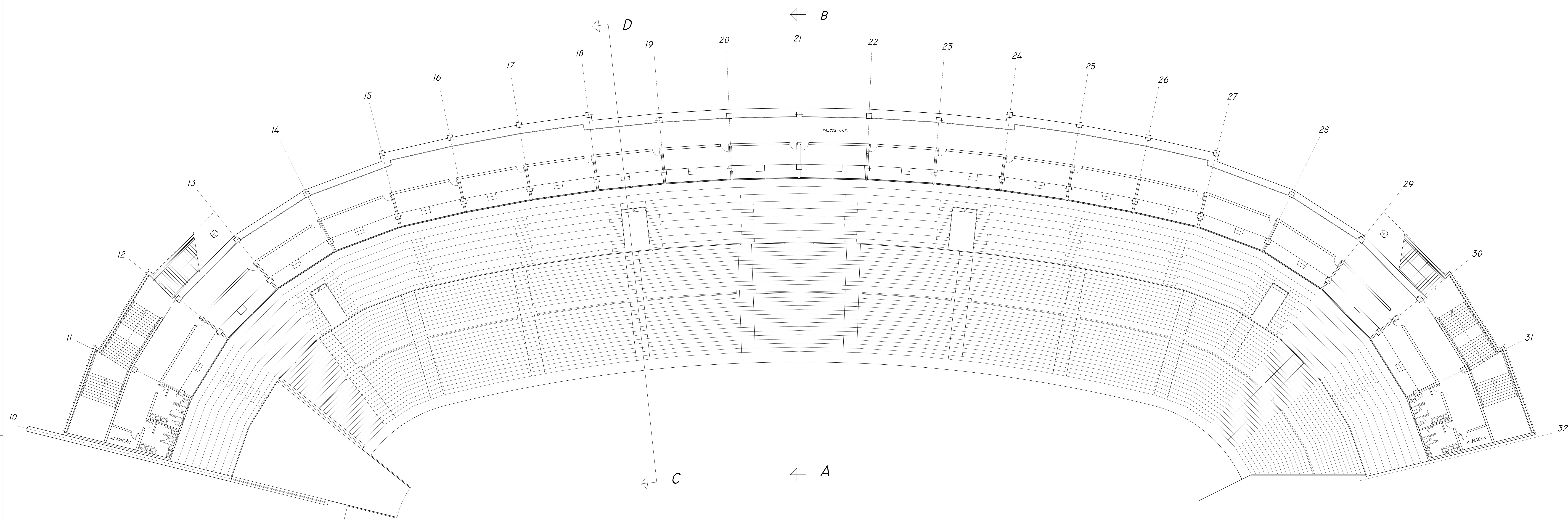
PLANO 4



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO NORTE PLANTA BAJA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
----------------------------	-----------------	--

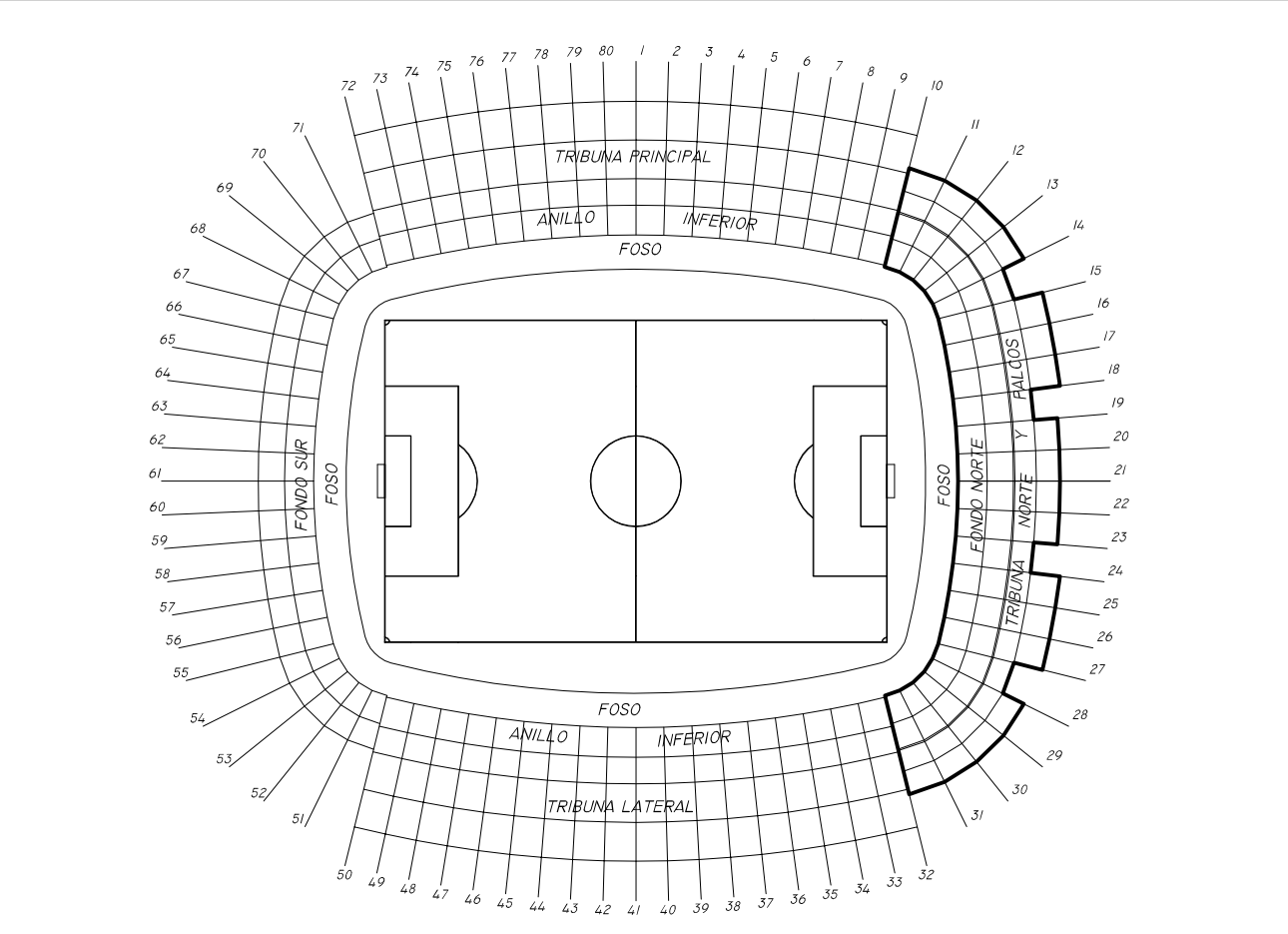
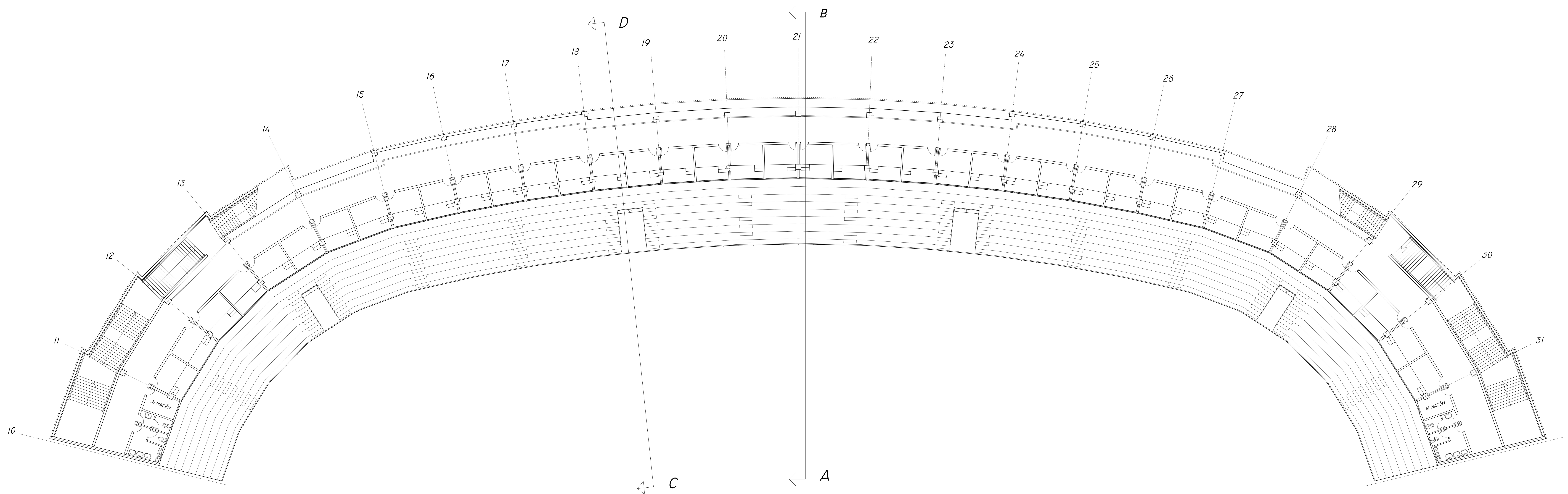
PLANO 5



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO NORTE PLANTA PRIMERA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO PLANO 6
-------------------------------	-----------------	---

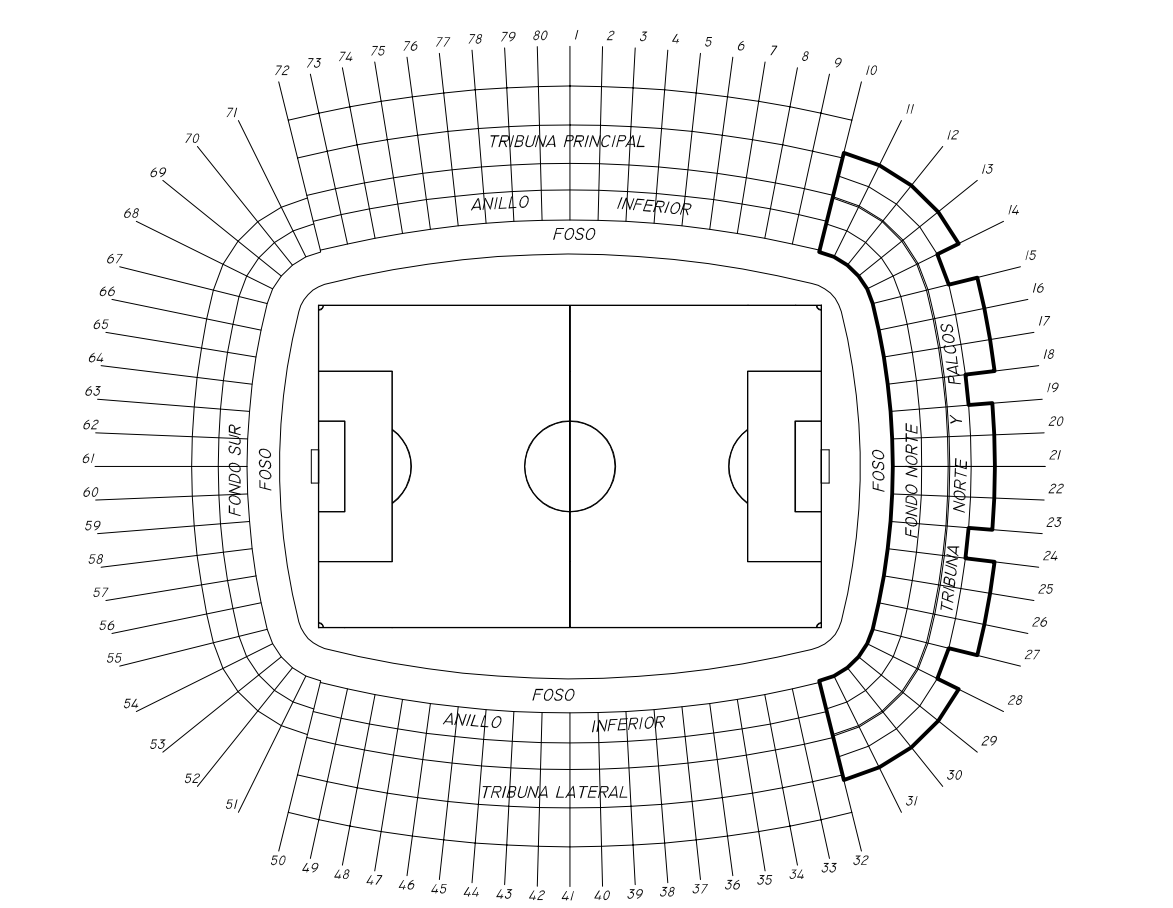
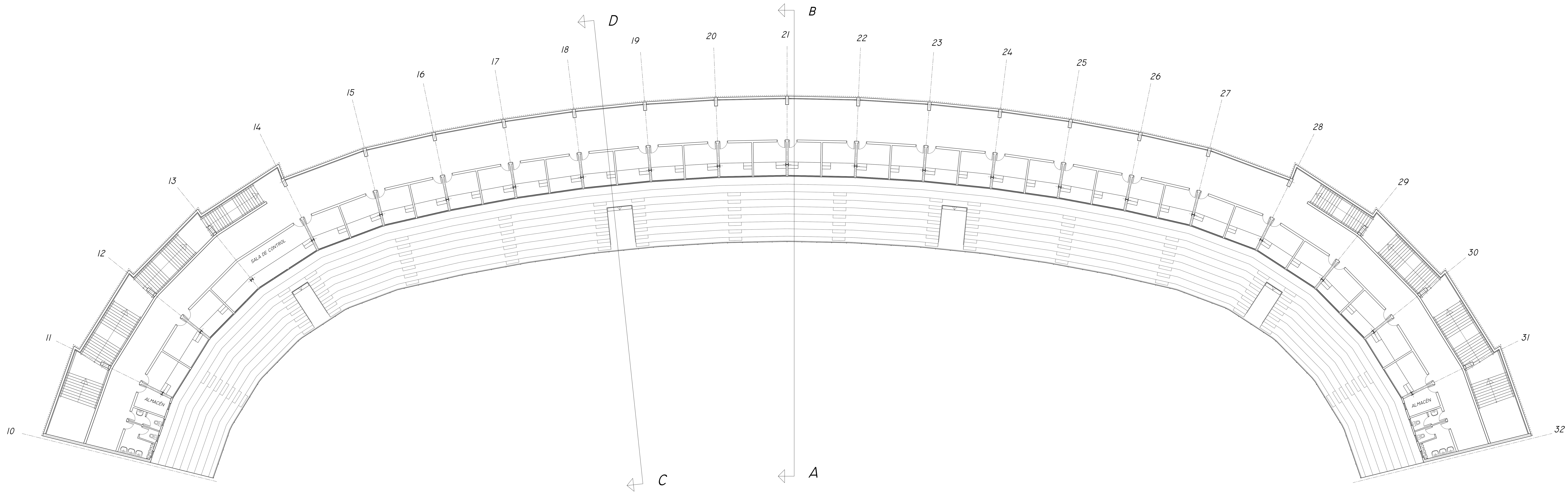
LOS PALCOS QUE NO ESTÁN EN USO
SE ENCUENTRAN CON ACABADOS DE OBRA



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO NORTE PLANTA SEGUNDA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
-------------------------------	-----------------	--

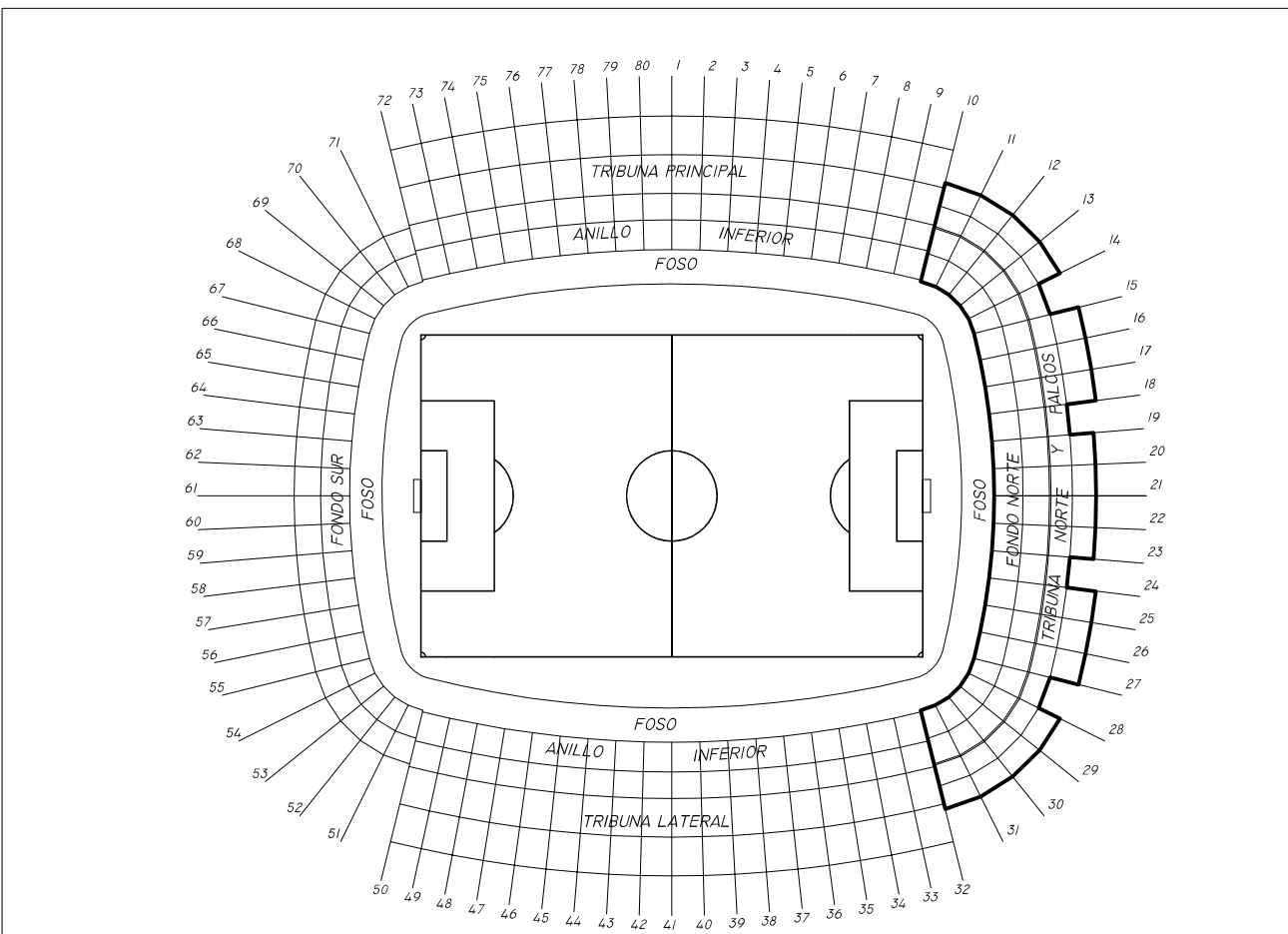
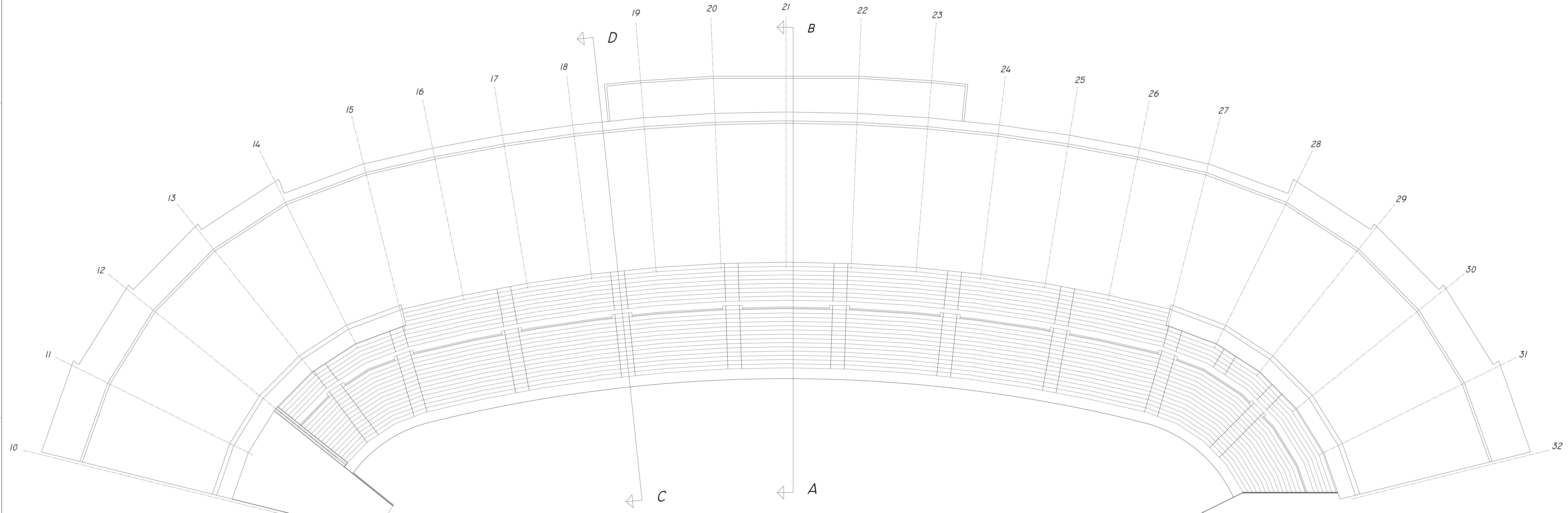
LOS PALCOS QUE NO ESTÁN EN USO
SE ENCUENTRAN CON ACABADOS DE OBRA



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

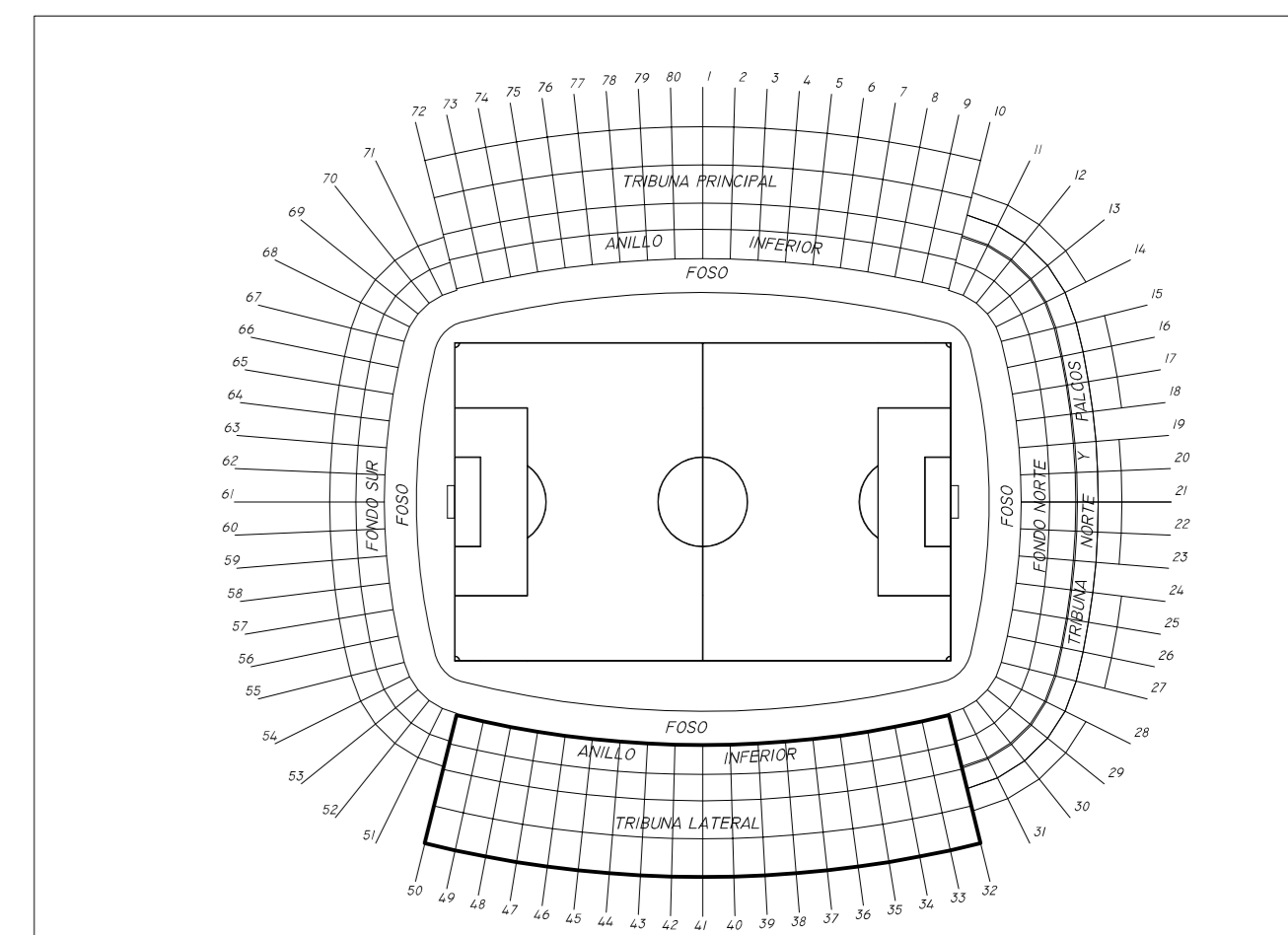
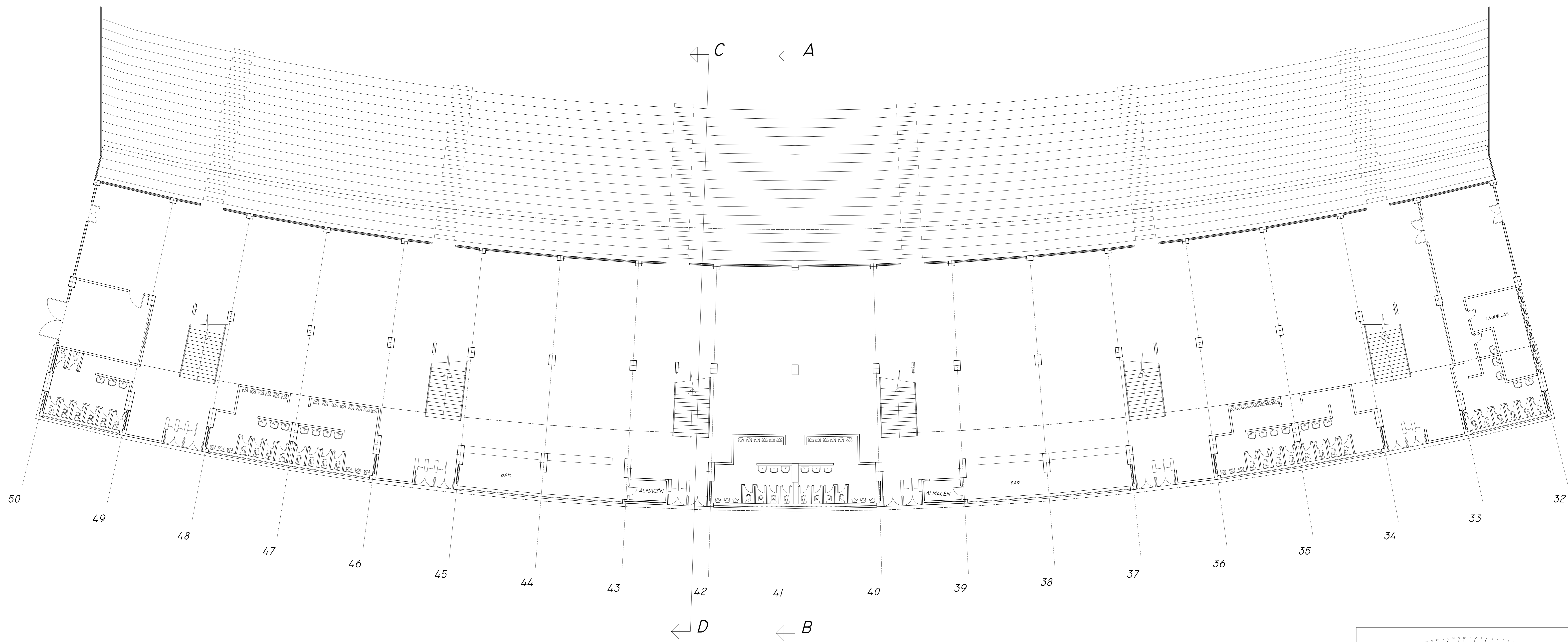
ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO NORTE PLANTA TERCERA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO PLANO 8
-------------------------------	-----------------	---



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

FONDO NORTE PLANTA DE CUBIERTA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO PLANO 9
-----------------------------------	-----------------	---



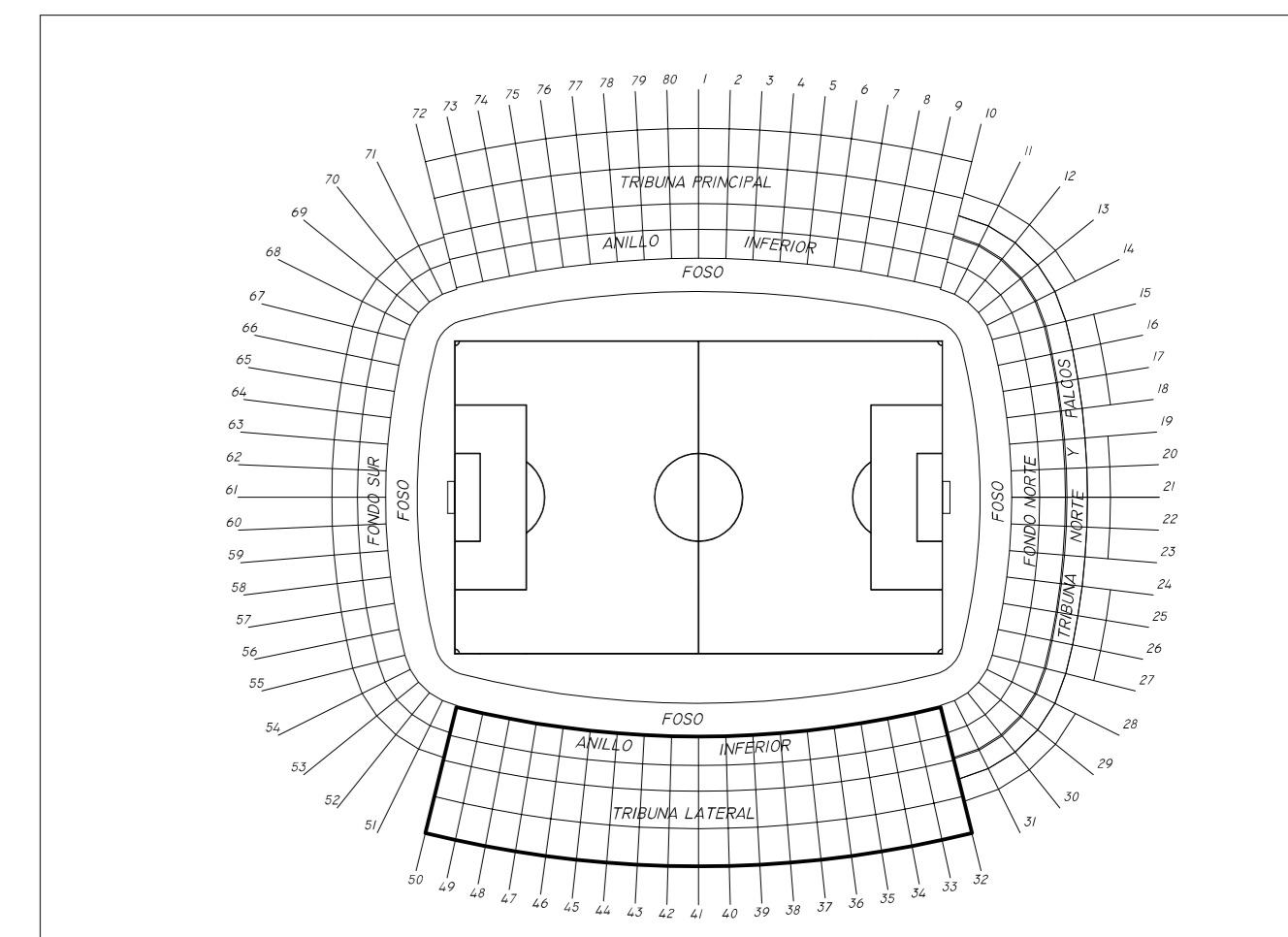
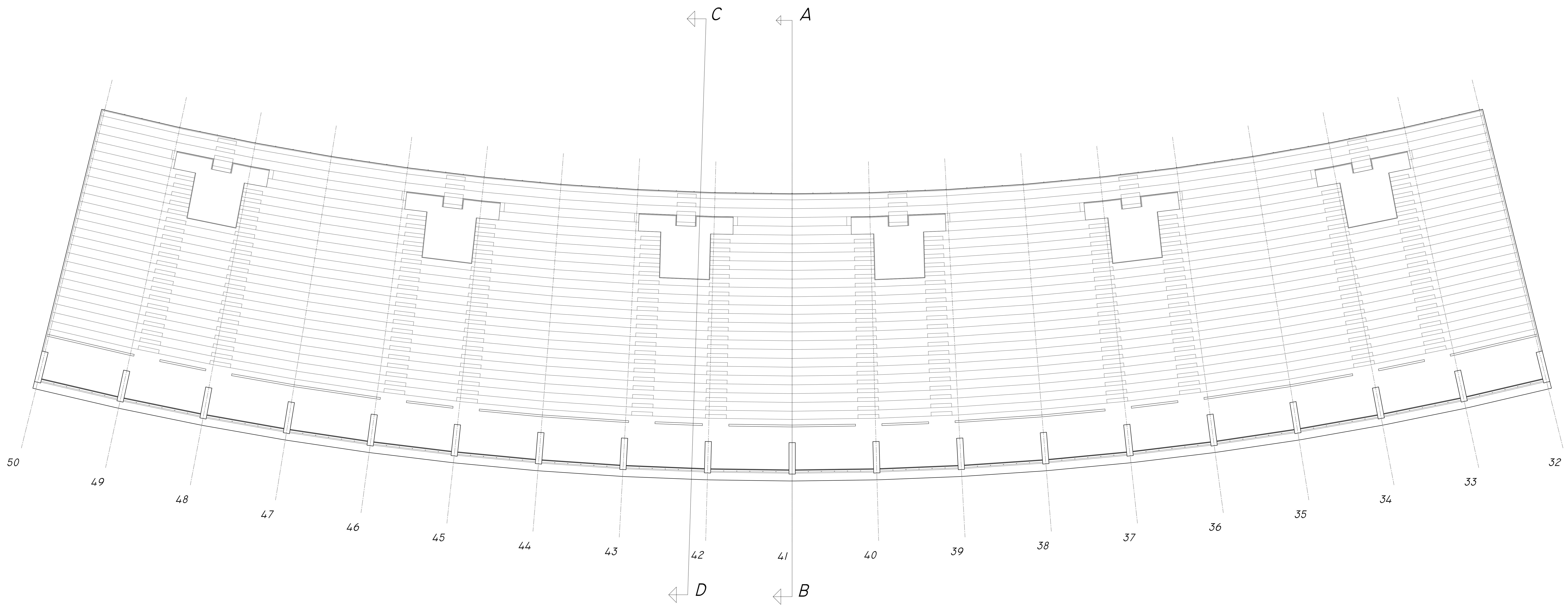
NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

TRIBUNA LATERAL
PLANTA BAJA

ESCALA
1:100

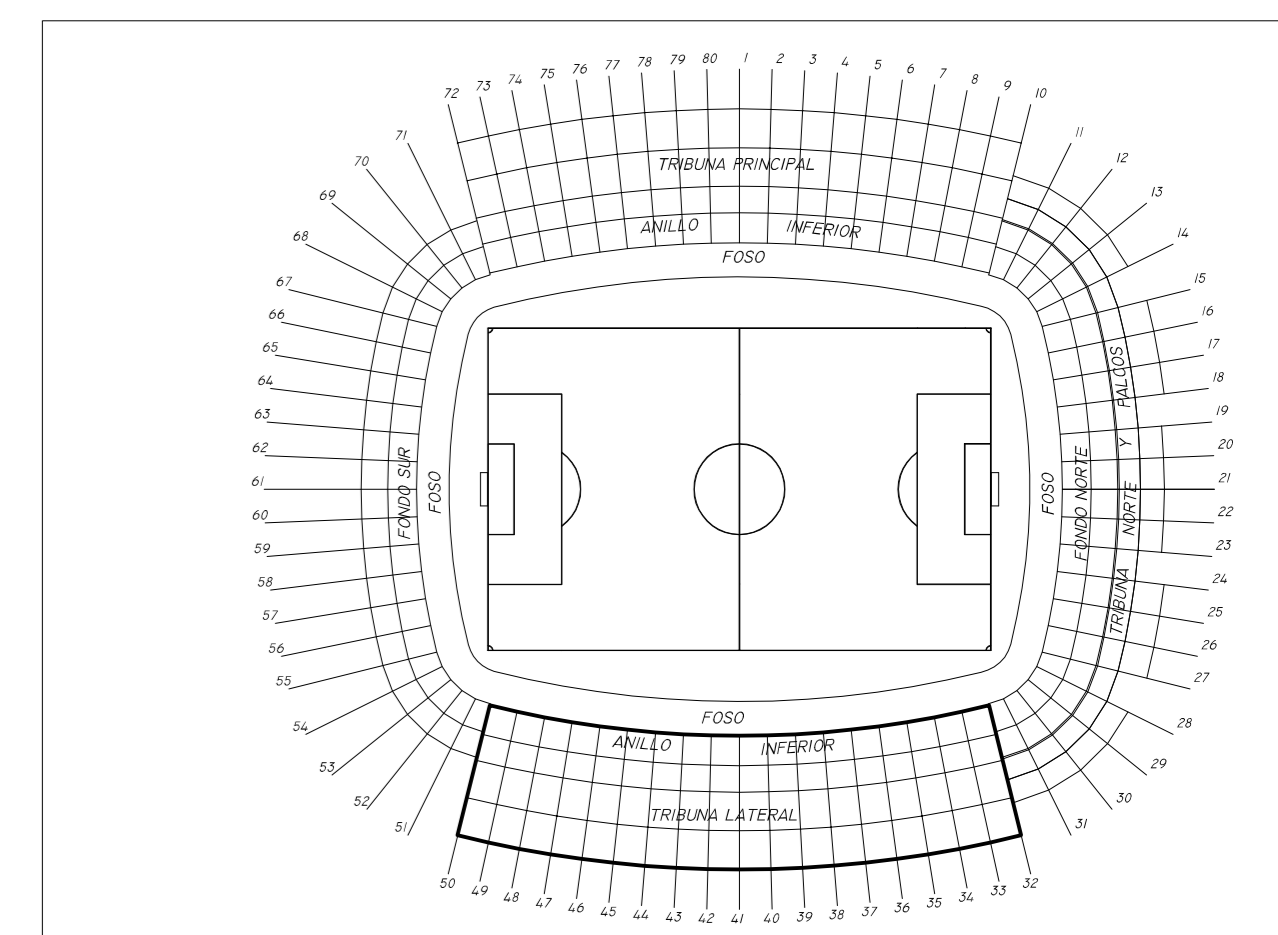
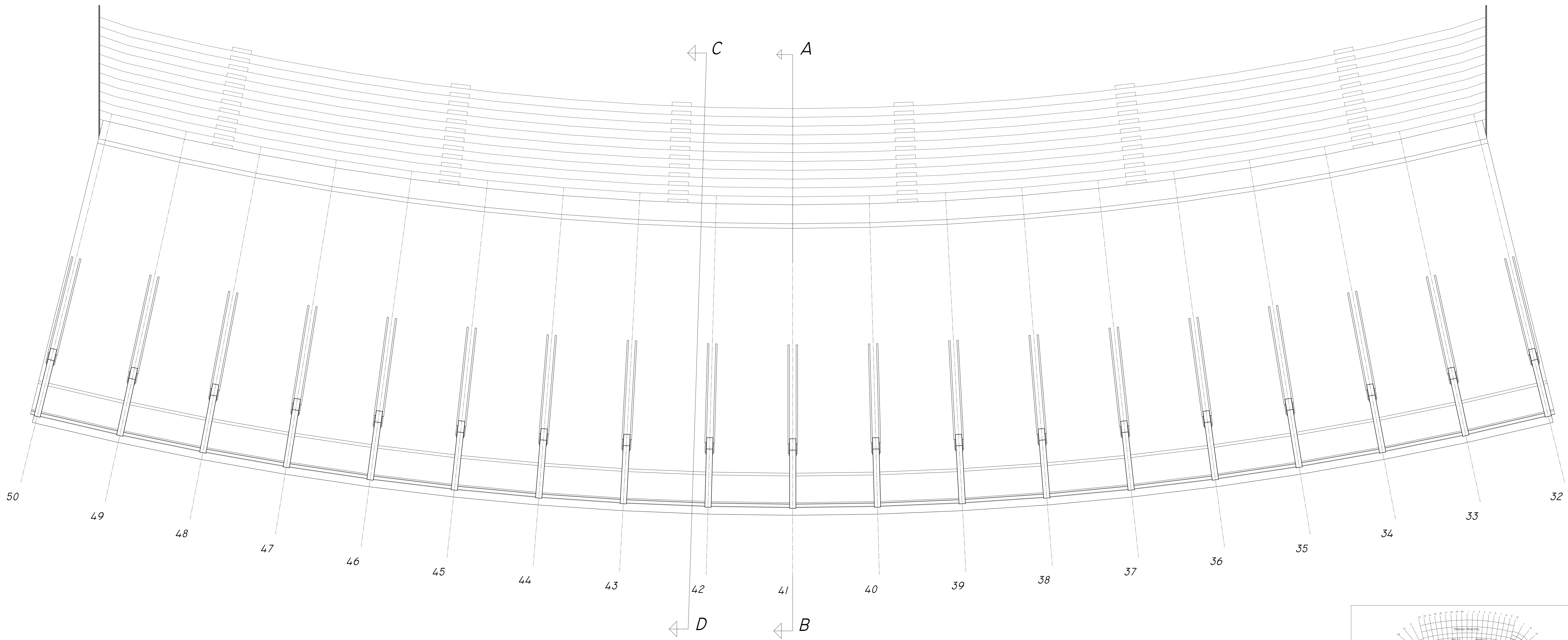
FECHA: OCTUBRE 2012
DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

TRIBUNA LATERAL PLANTA ALTA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
---------------------------------------	-----------------	--

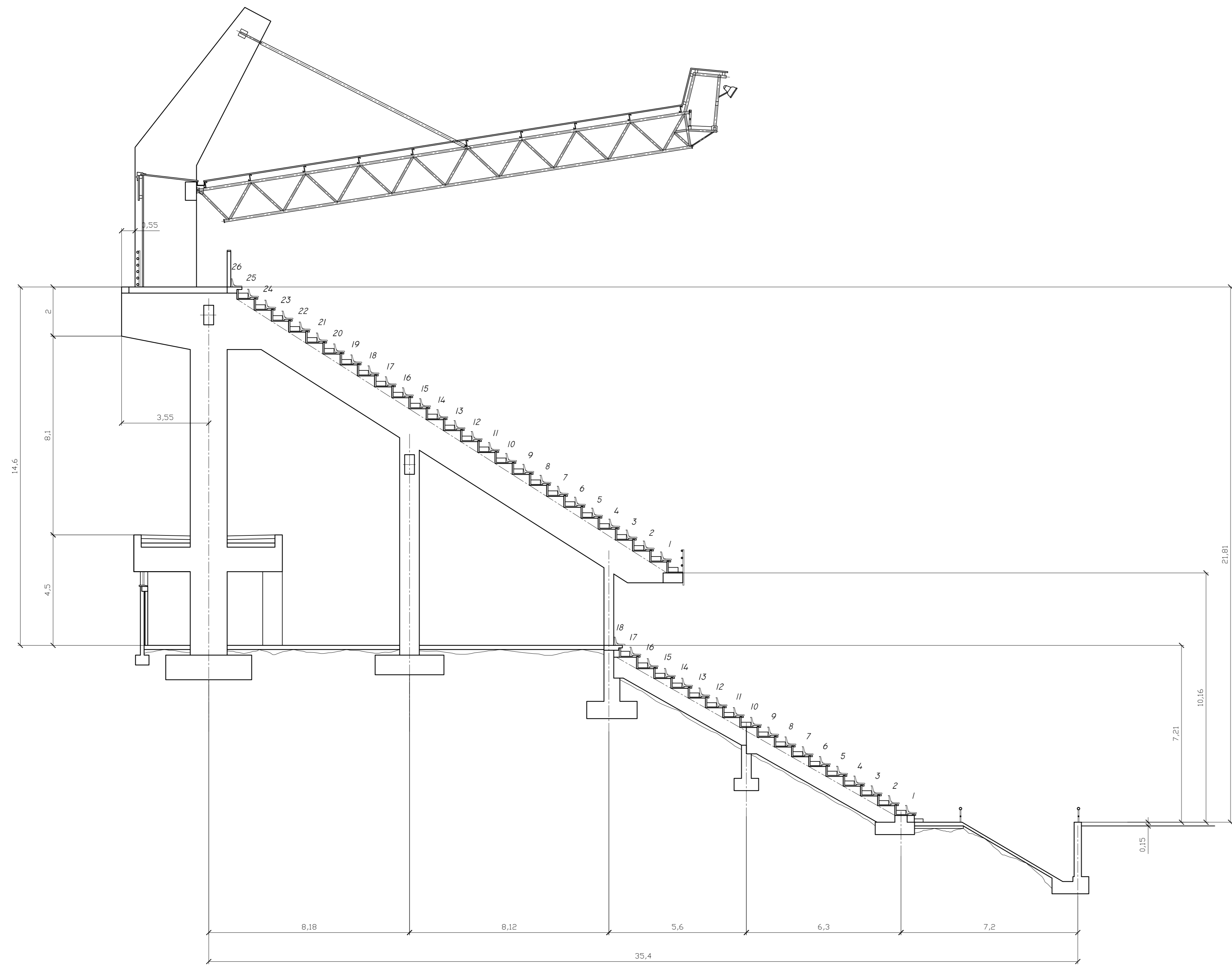
PLANO 13



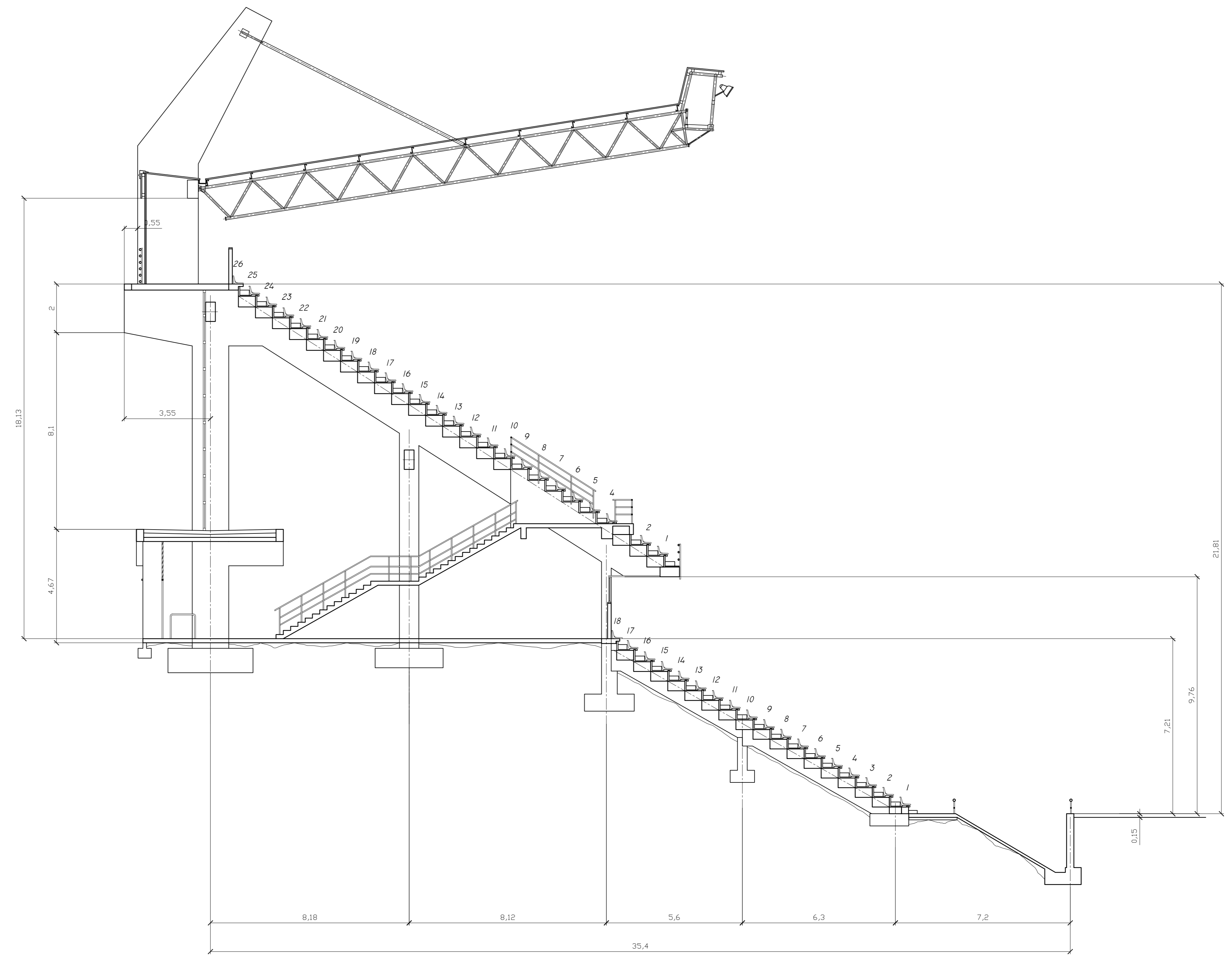
NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

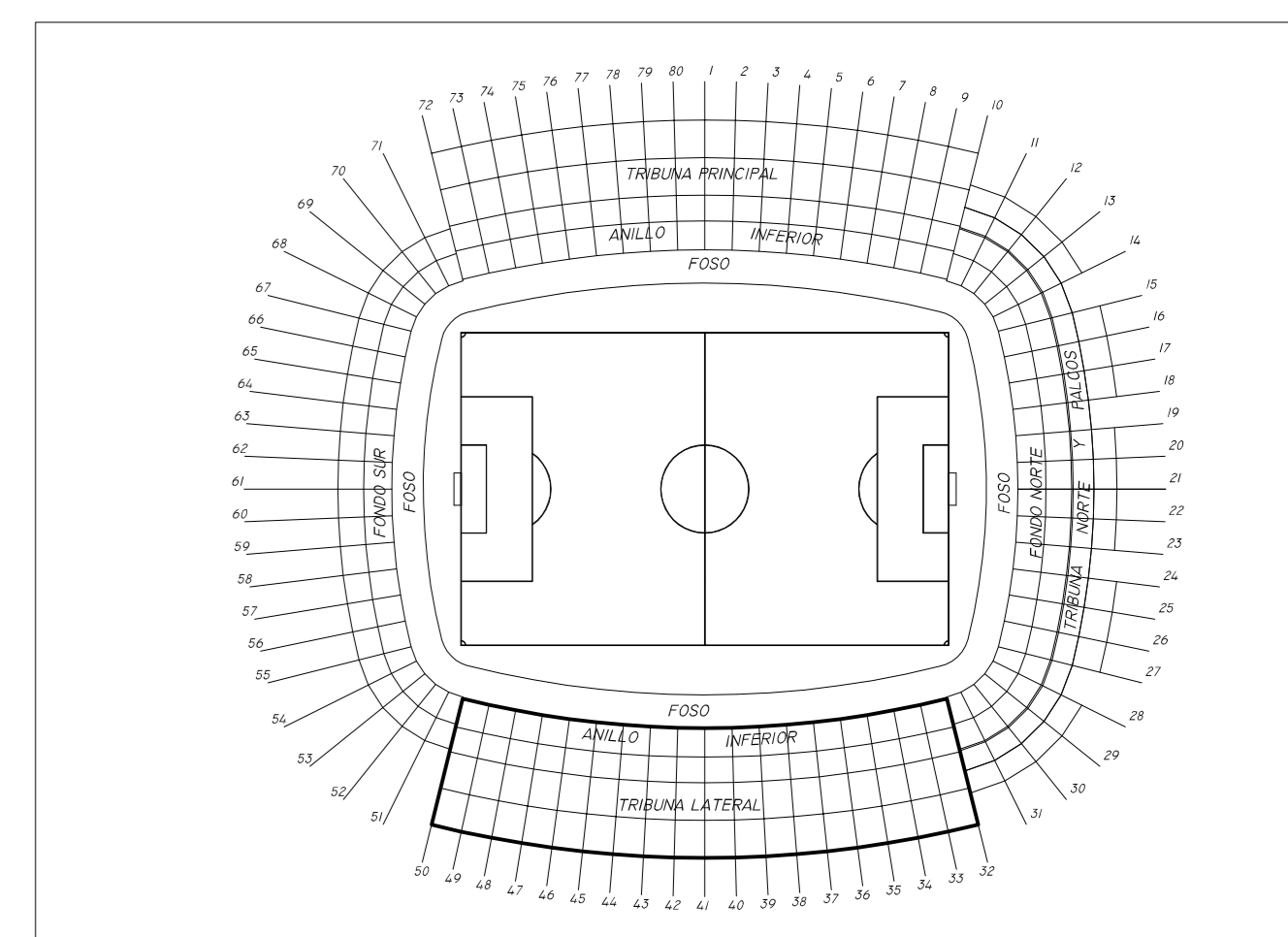
TRIBUNA LATERAL PLANTA DE CUBIERTA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
--	-----------------	--



SECCIÓN TRANSVERSAL A-B



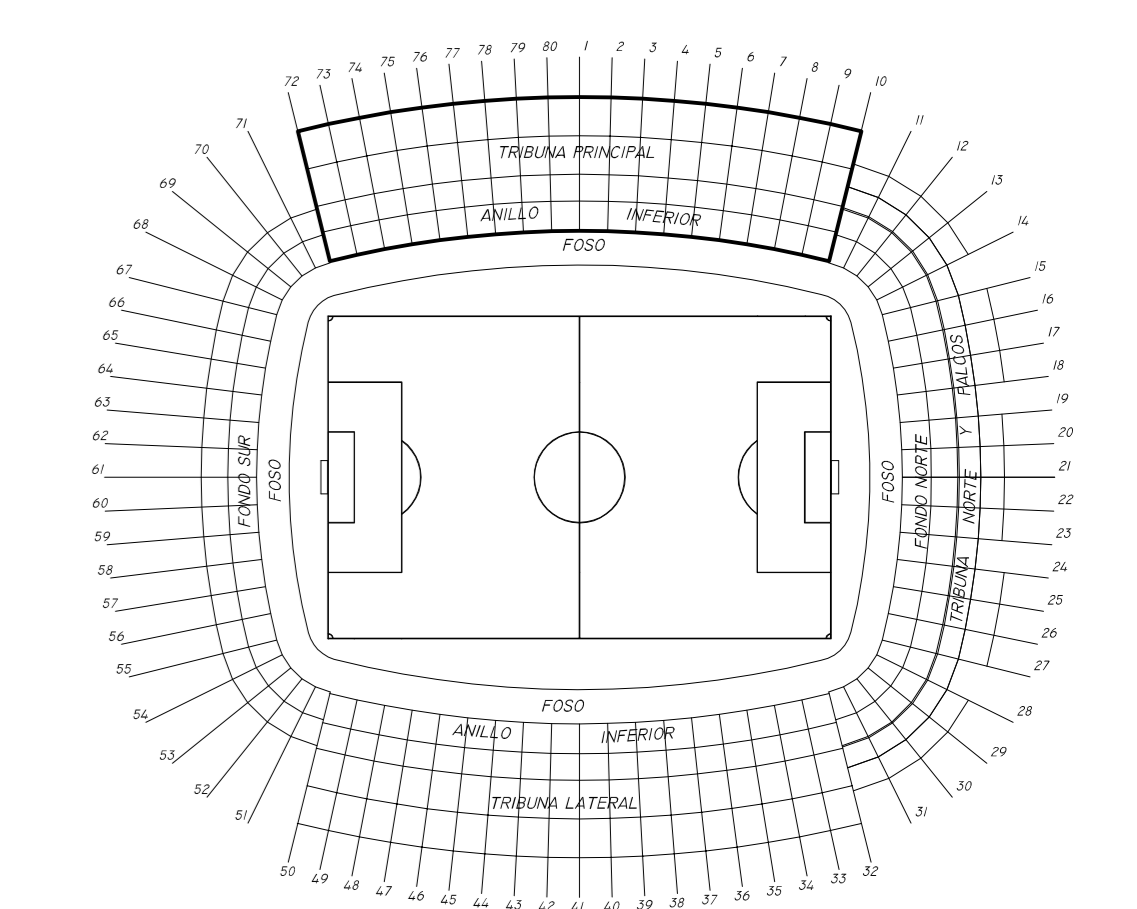
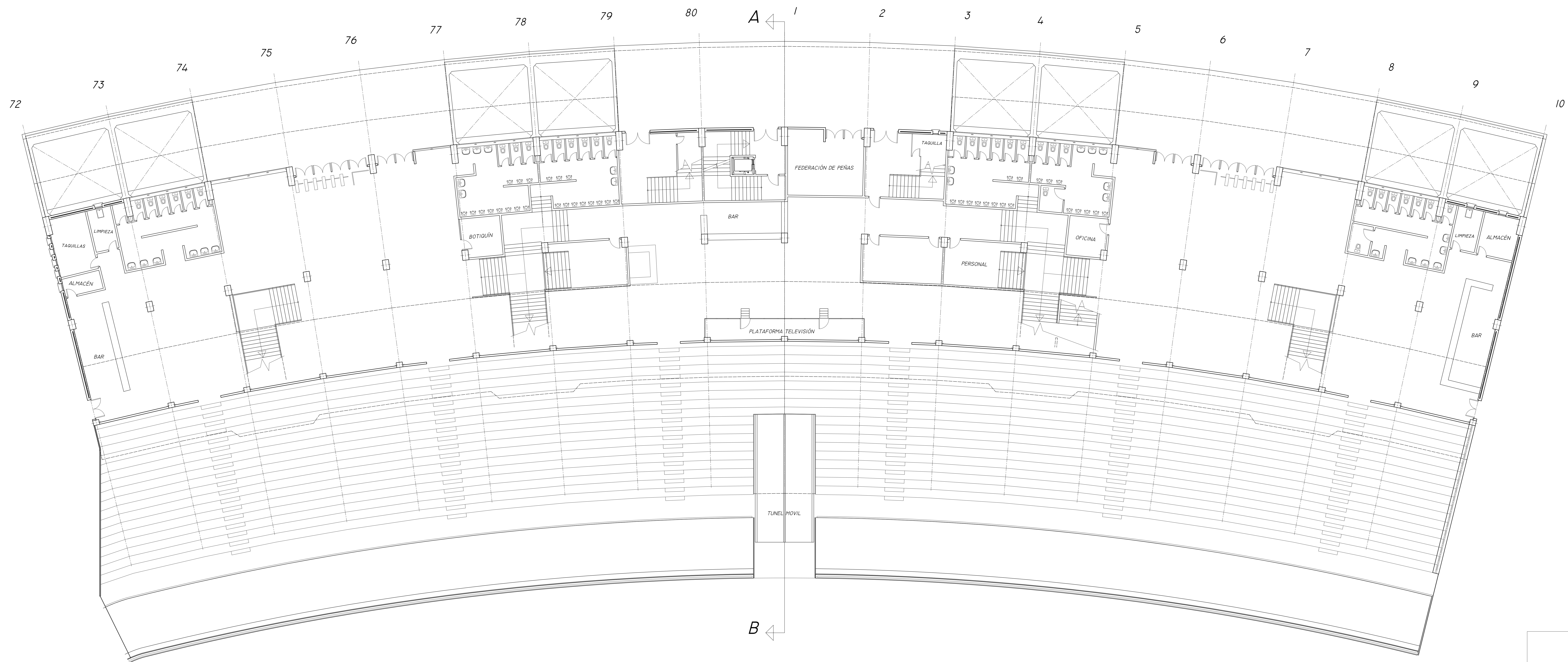
SECCIÓN TRANSVERSAL C-D



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

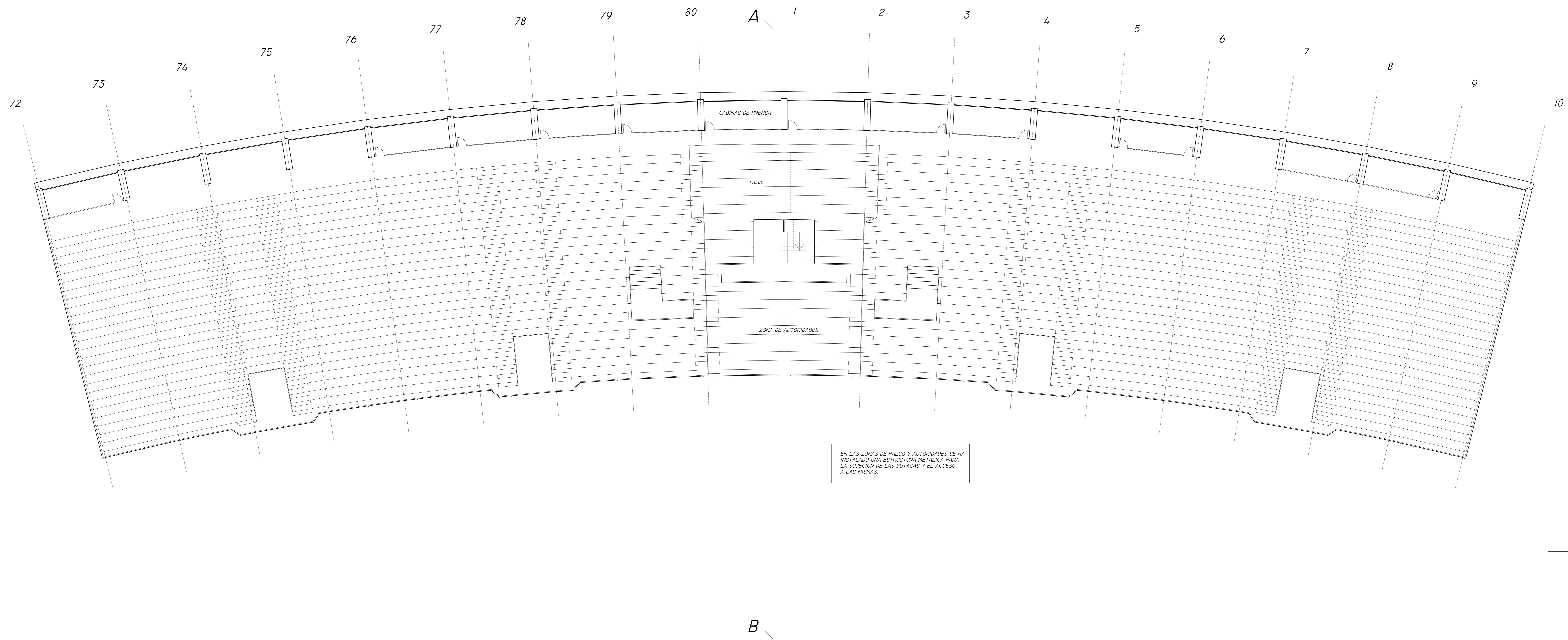
TRIBUNA LATERAL SECCIONES	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
------------------------------	-----------------	--



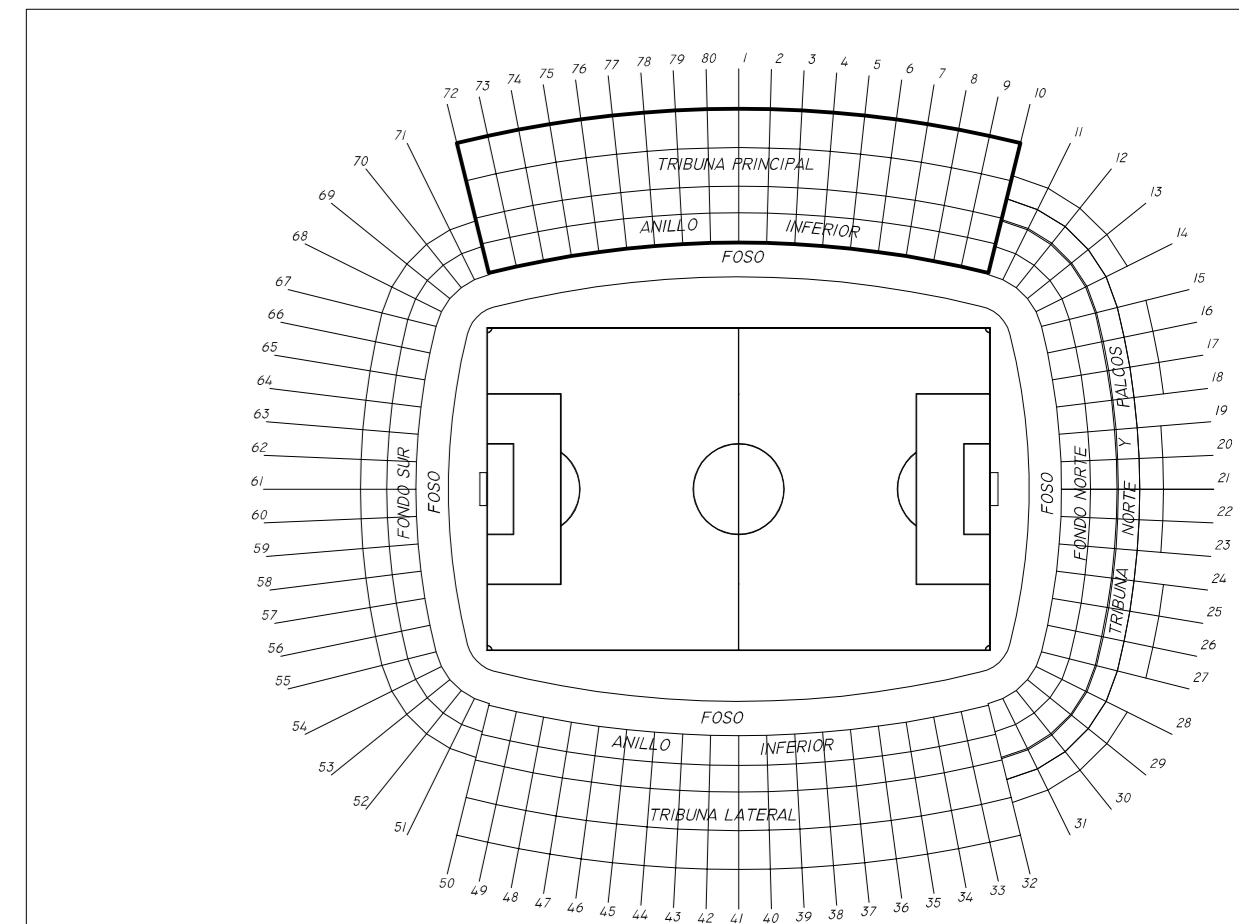
NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA BAJA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
---	-----------------	--

PLANO 16

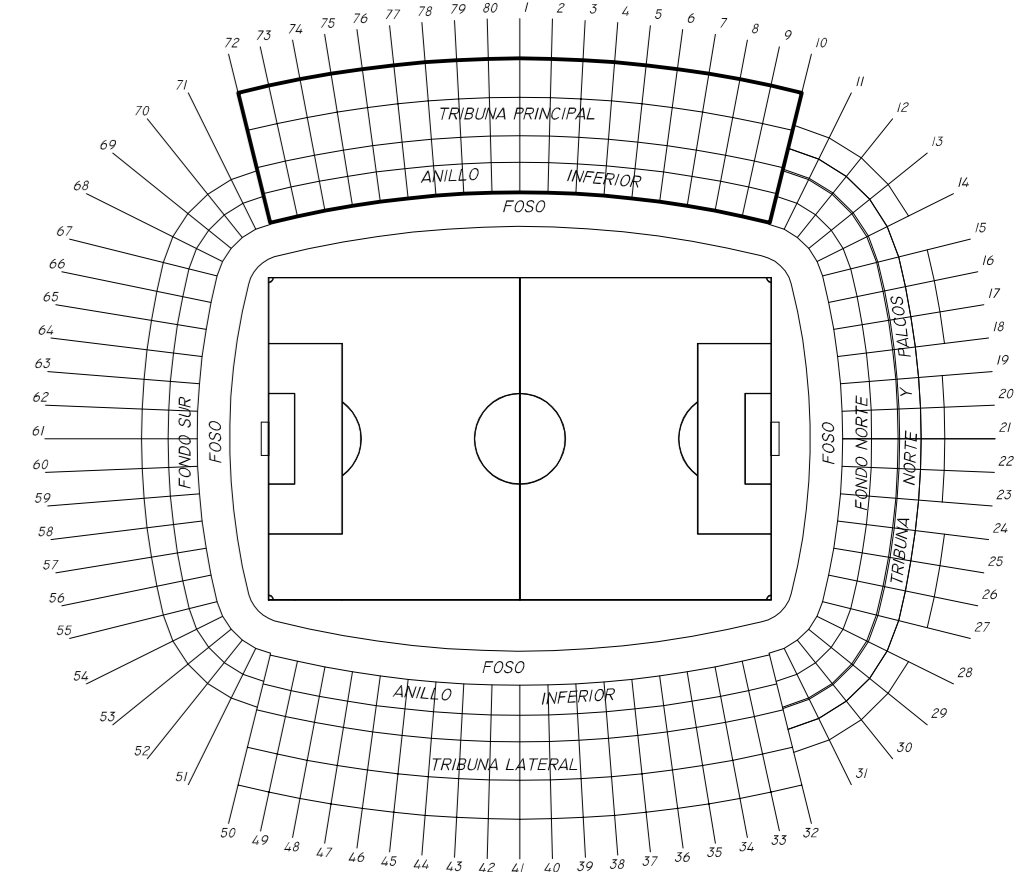
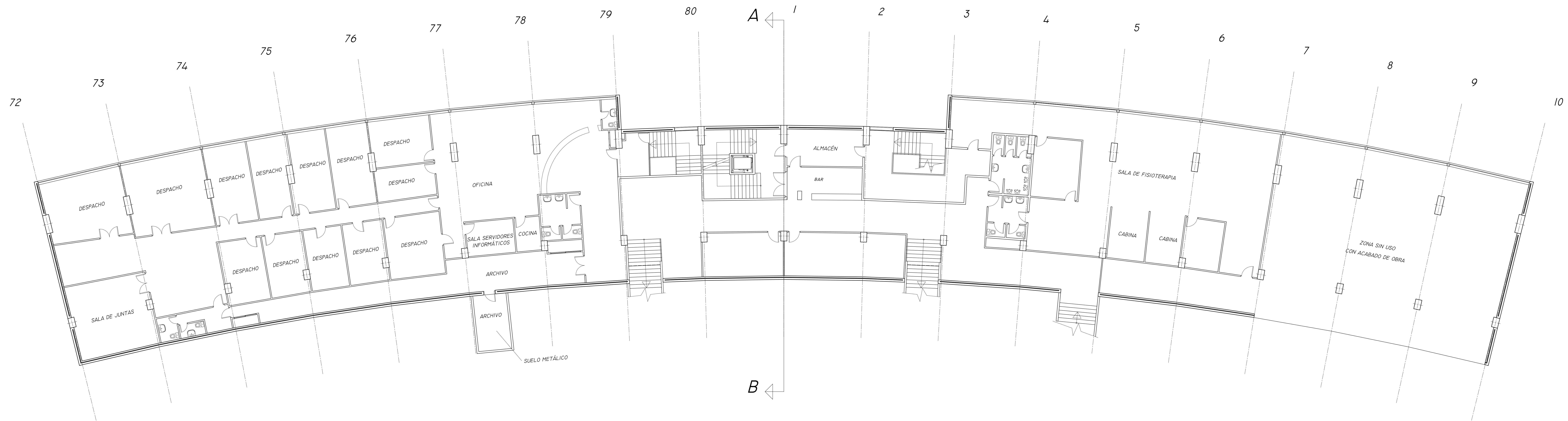


EN LAS ZONAS DE PALCO Y AUTORIDADES SE HA INSTALADO UNA ESTRUCTURA METALICA PARA LA SUJECION DE LAS BUTACAS Y EL ACCESO A LAS MISMAS.



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

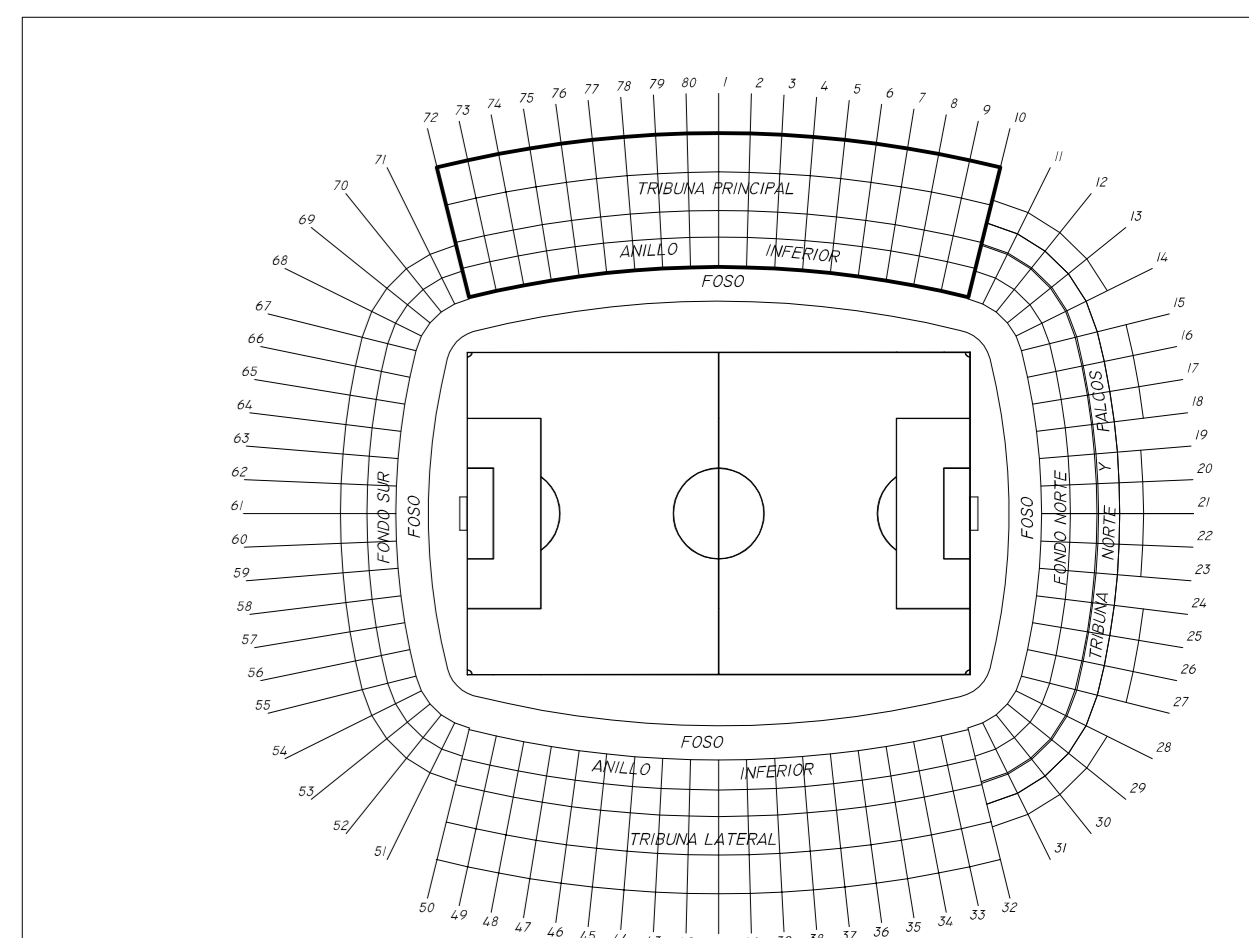
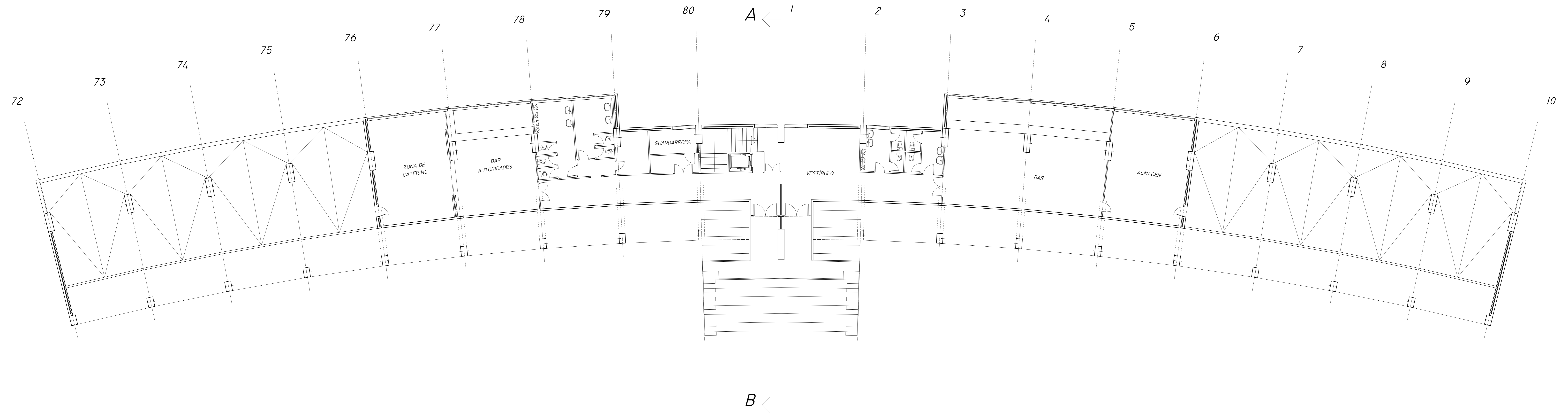
TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA ALTA ESCALA 1:100 FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO PLANO 17



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

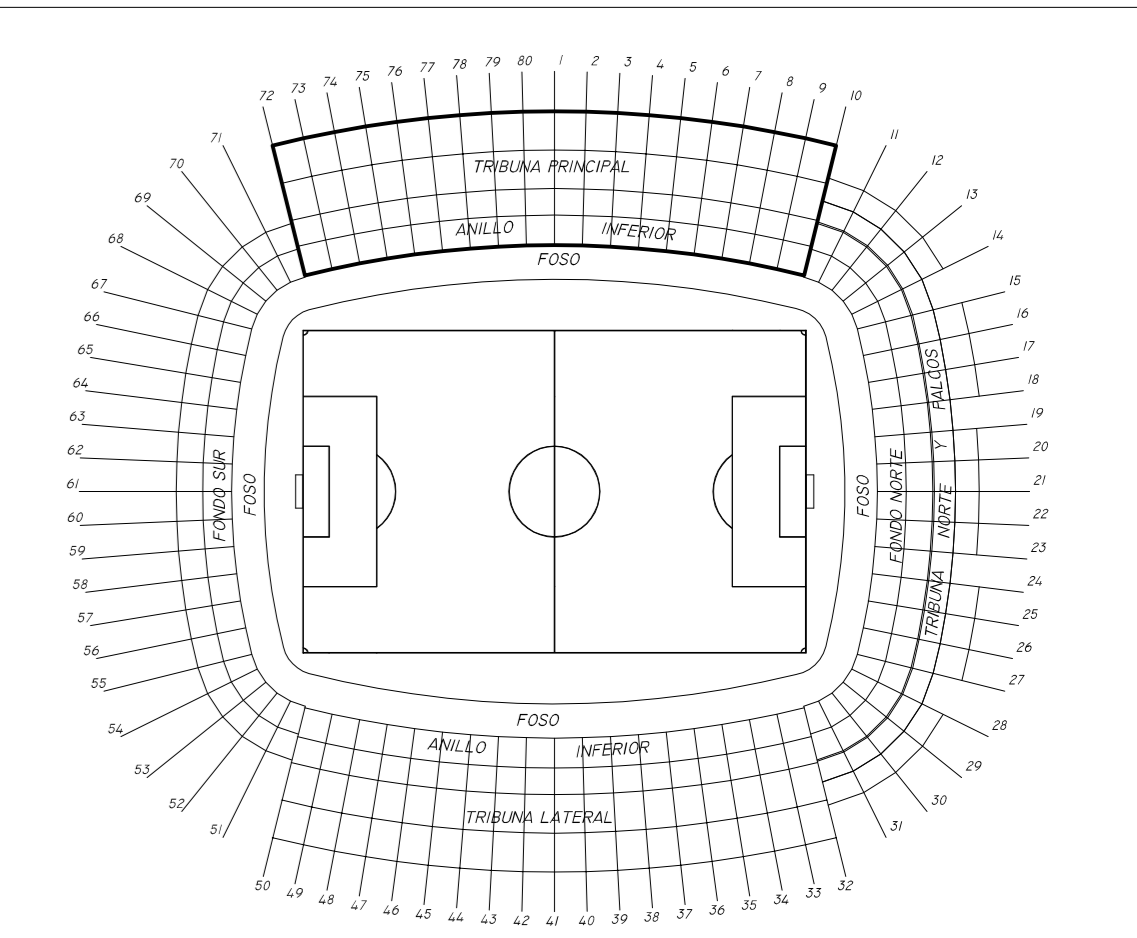
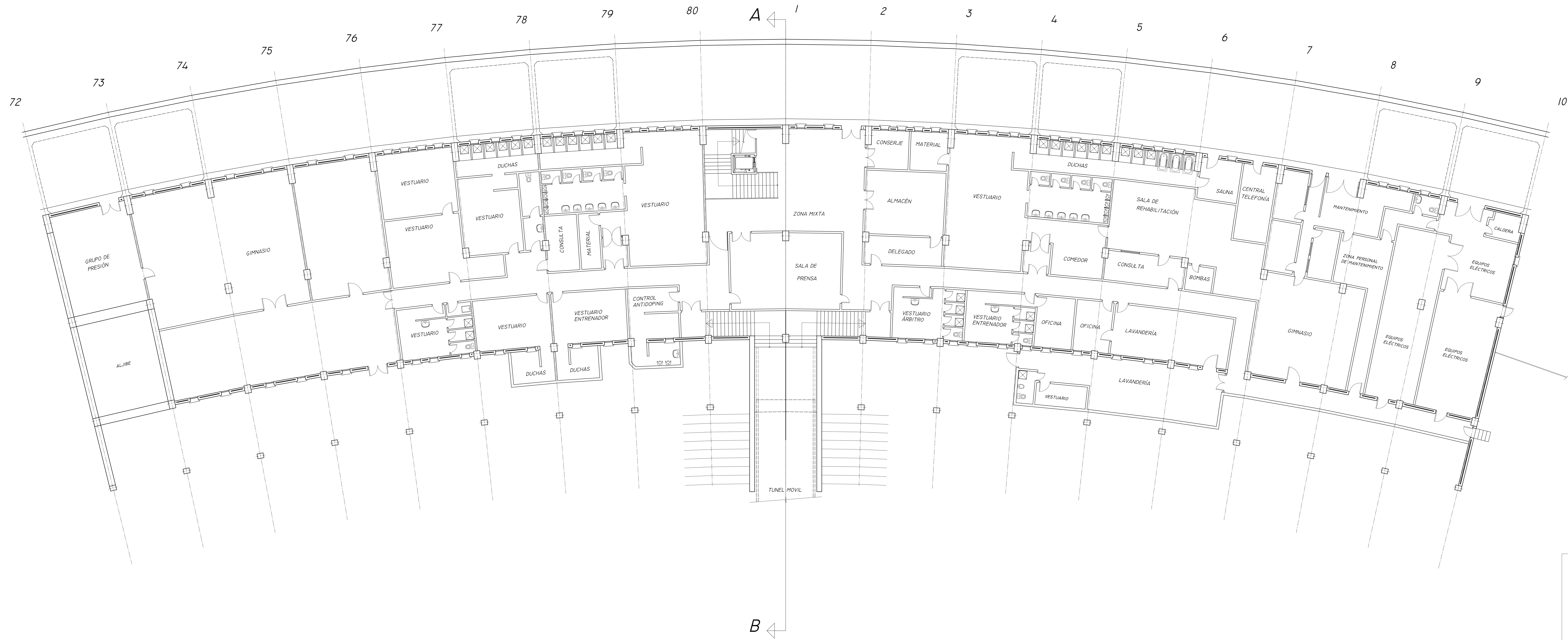
TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA DE OFICINAS	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
--	-----------------	--



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

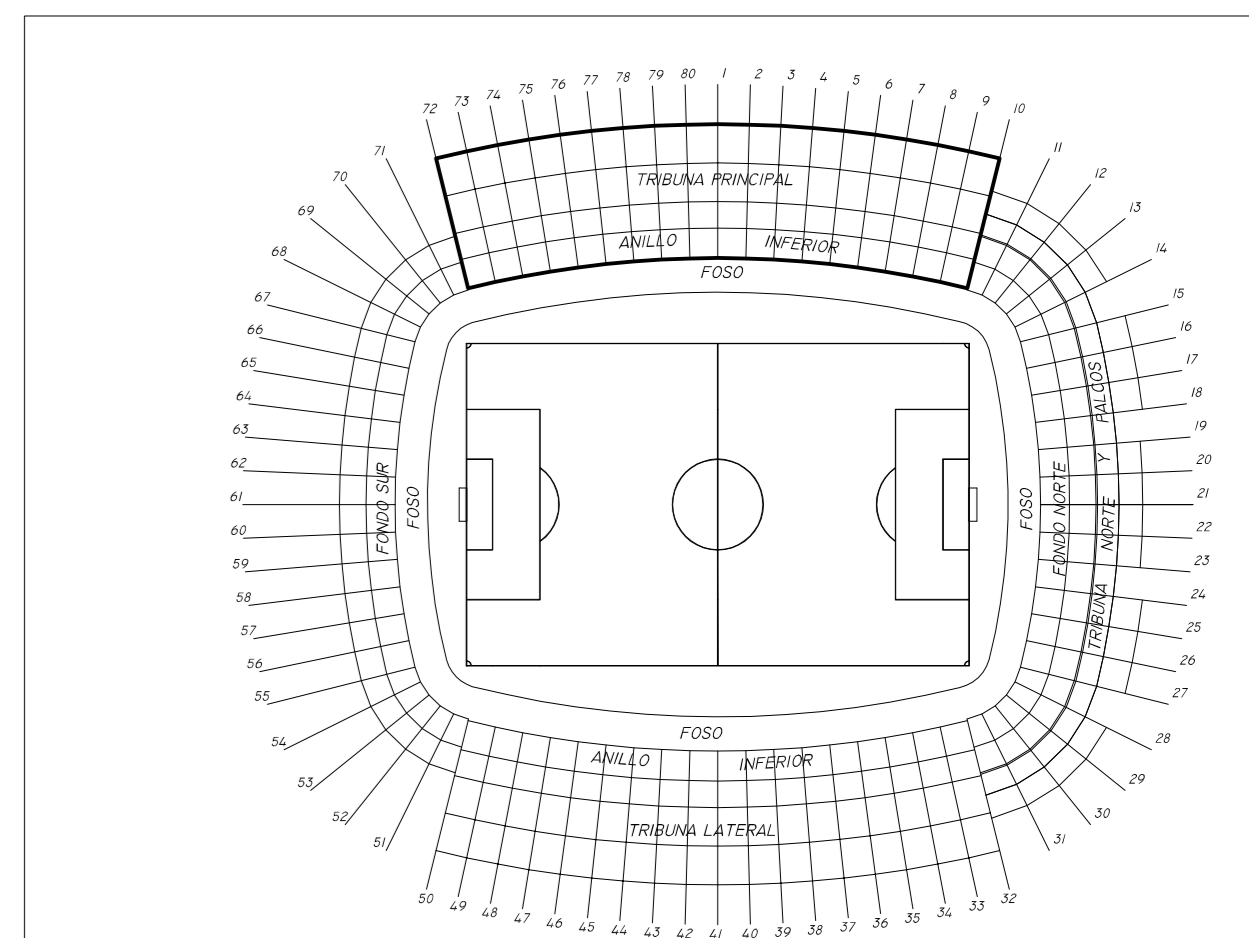
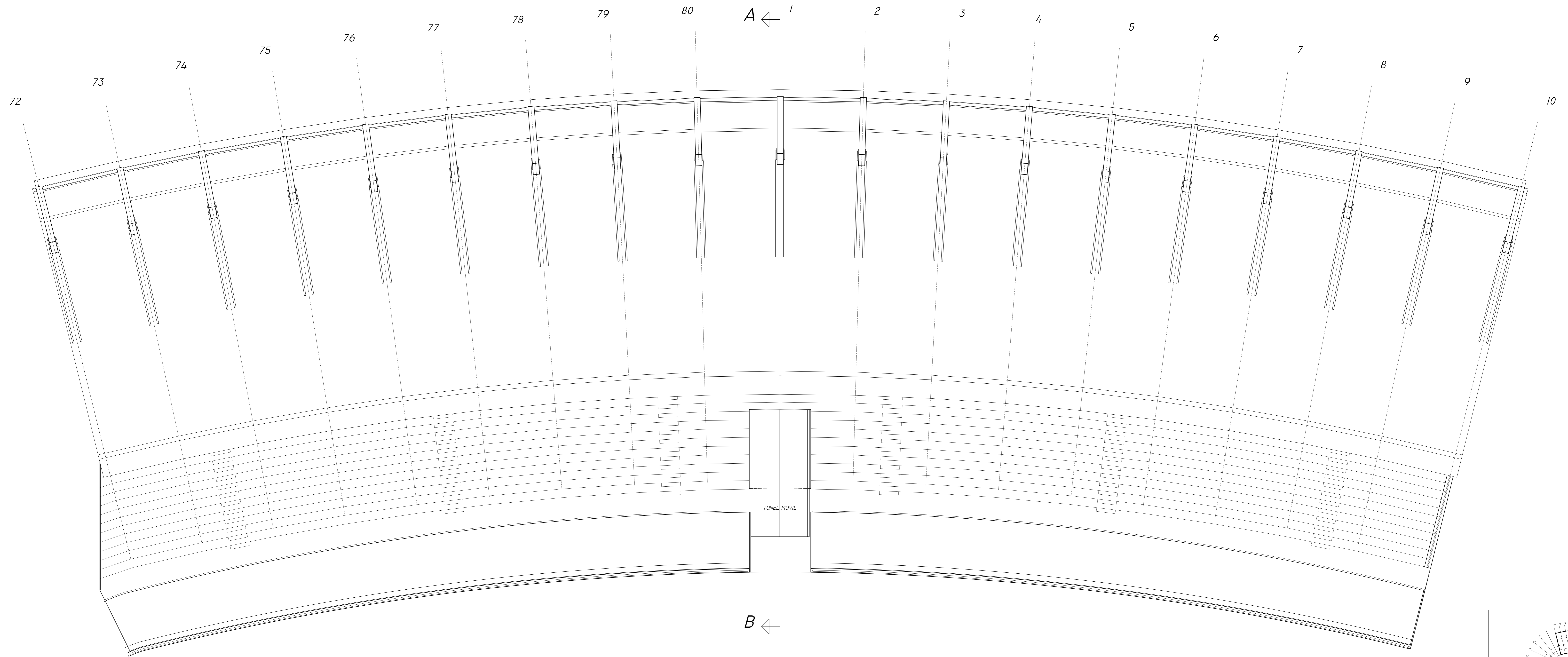
TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA DE AUTORIDADES	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
---	-----------------	--



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"
 ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
 INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA SÓTANO	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORRIBO
---	-----------------	--

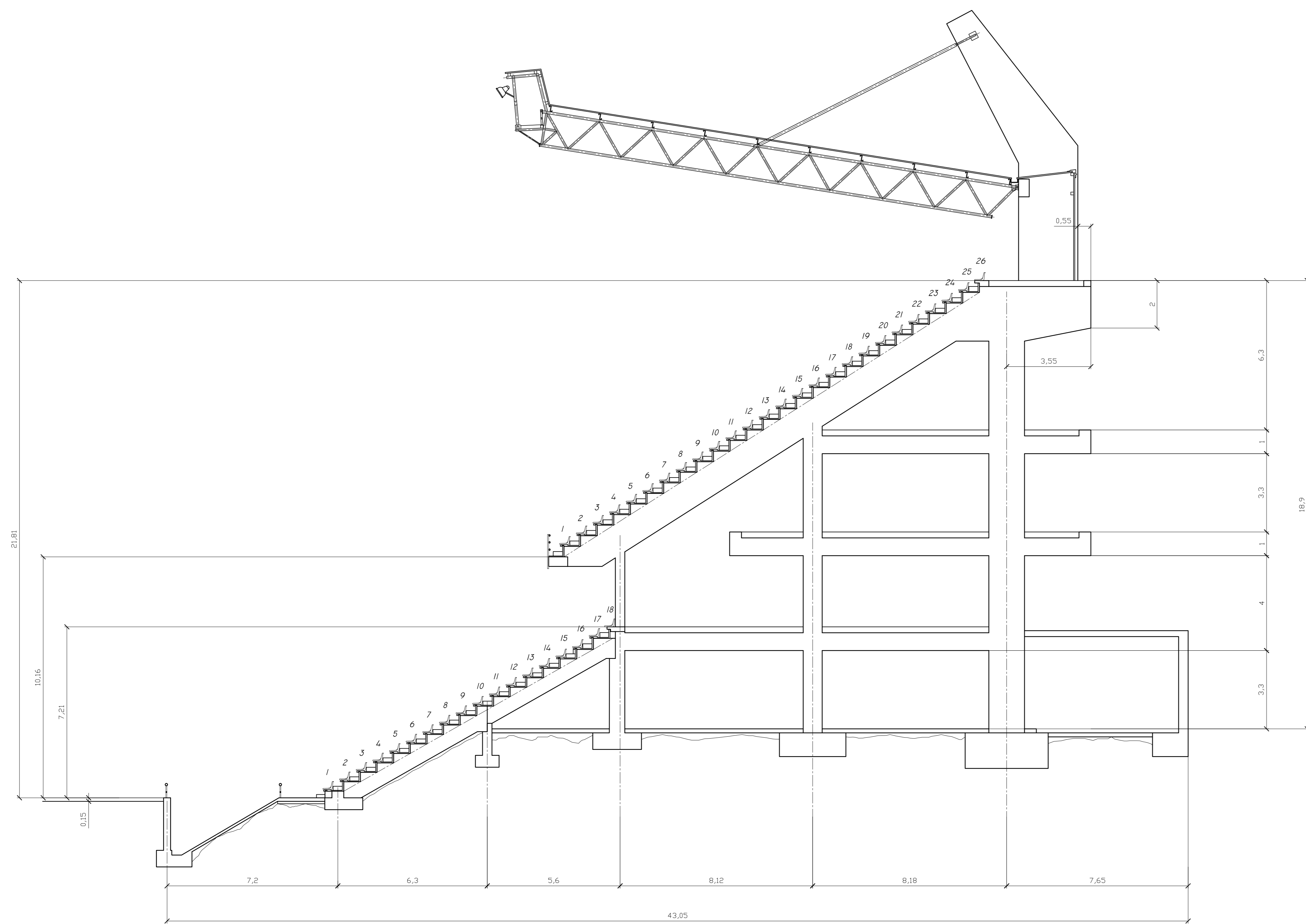
PLANO 20



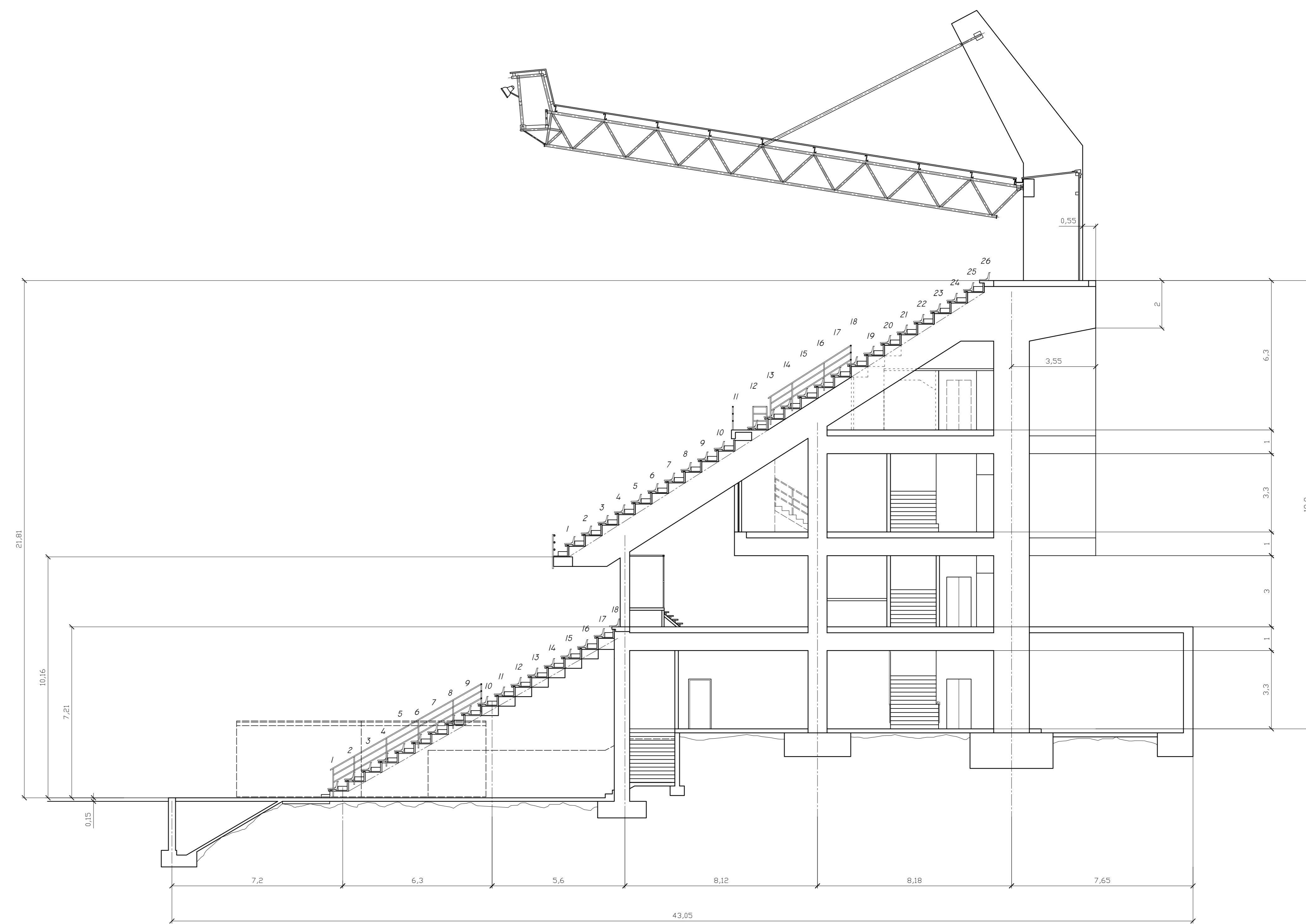
NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

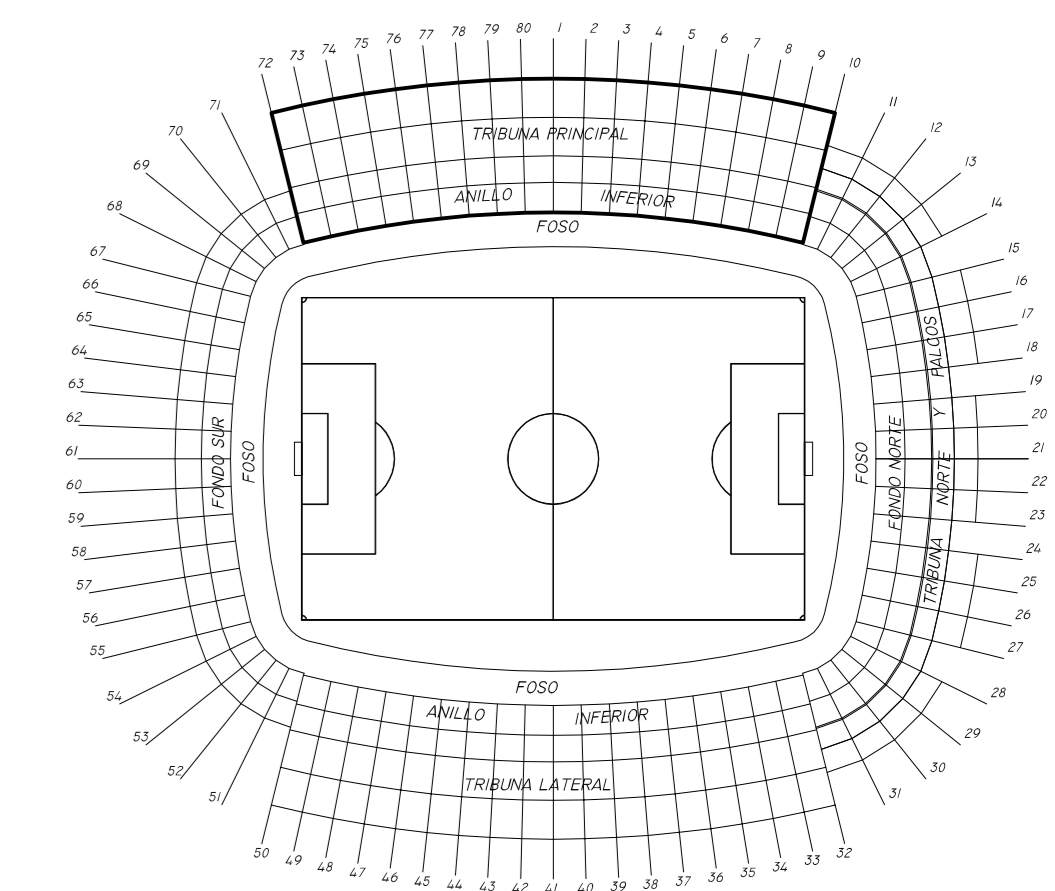
TRIBUNA PRINCIPAL PLANTA DE CUBIERTA	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
--	-----------------	--



SECCIÓN TRANSVERSAL GENERAL



SECCIÓN TRANSVERSAL A-B



NUEVO ESTADIO "JOSÉ ZORRILLA"

ADAPTACIÓN DEL PROYECTO INICIAL A FORMATO DE CAD
INCLUYENDO LAS LAS MODIFICACIONES REALIZADAS

TRIBUNA PRINCIPAL SECCIONES	ESCALA 1:100	FECHA: OCTUBRE 2012 DIBUJADO: LUIS FERNANDO TORIBIO
--------------------------------	-----------------	--