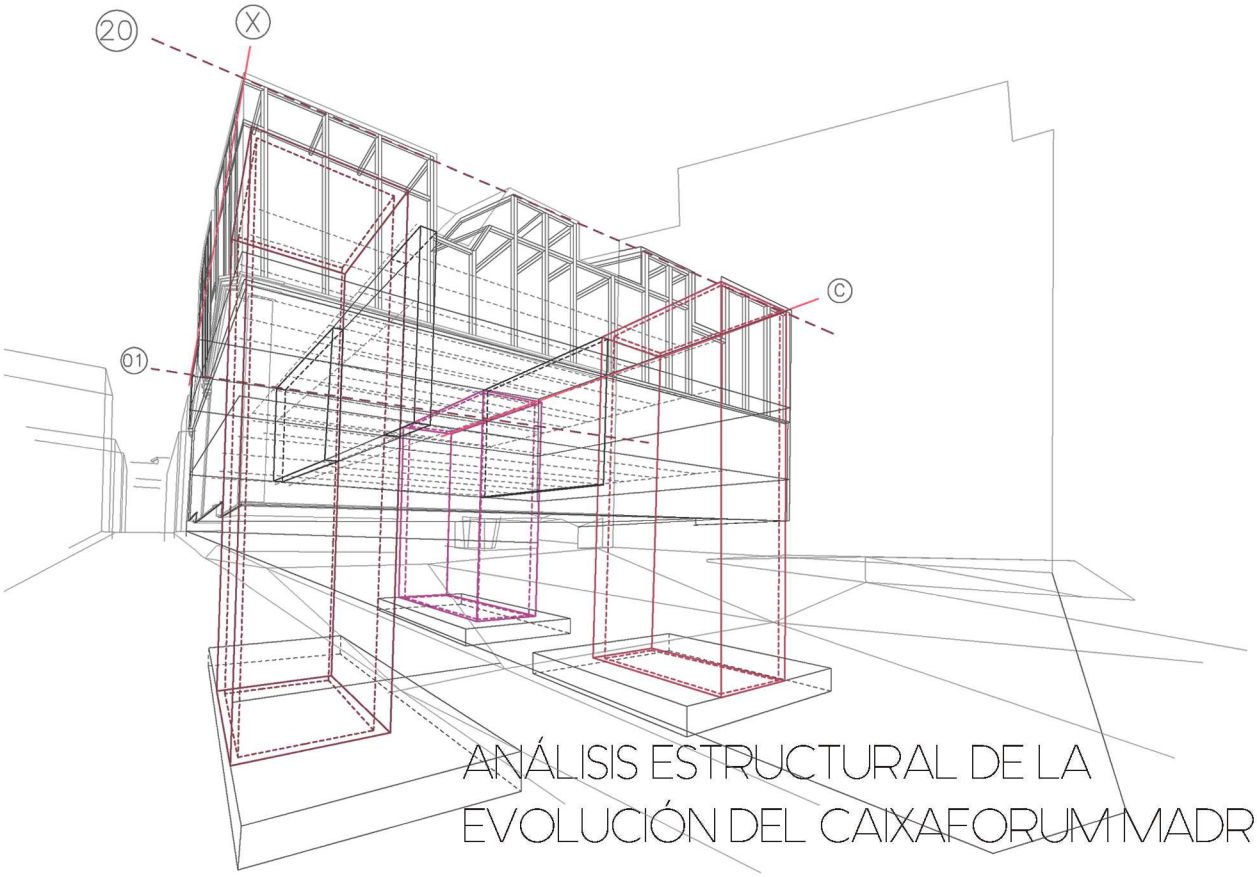
CaixaForum



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CAIXAFORUM MADRID

Cristina Pérez Cámara

Tutor/a: Mónica Martínez Martínez

ETSAG uah Junio 2015

TFG

Trabajo de Fin de Grado
en Fundamentos de la
Arquitectura y el Urbanismo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	Pág.
Resumen - Objetivo	01
Abstract - Objetive	02

FASE 1. CENTRAL ELÉCTRICA DEL MEDIODÍA	Pág.
Reseña Histórica	03
Arquitectura	03
PLANOS	PL. 01-10

FASE 2. PROCESO CONSTRUCTIVO	Pág.
1. Estado previo	04
2. Estabilización de la fachada	04
3. Eliminación zócalo	05
4. Excavación y cimentación	06
5. Muro perimetral postesado	07
6. Montaje de la cubierta	08
Planteamiento estructural	08-09
PLANOS	PL. 11-17

FASE 3. CAIXAFORUM MADRID	Pág.
Planteamiento arquitectónico	10
Estructura bajo rasante	11
Estructura zona de acceso	12-13
Estructura mixta forjados superiores	14
Volumen superior, cubierta	15
Escalera de acceso	15
Cálculos	16-23
PLANOS	PL. 18-31

CONCLUSIONES	Pág. 24

BIBLIOGRAFÍA	Pág. 25

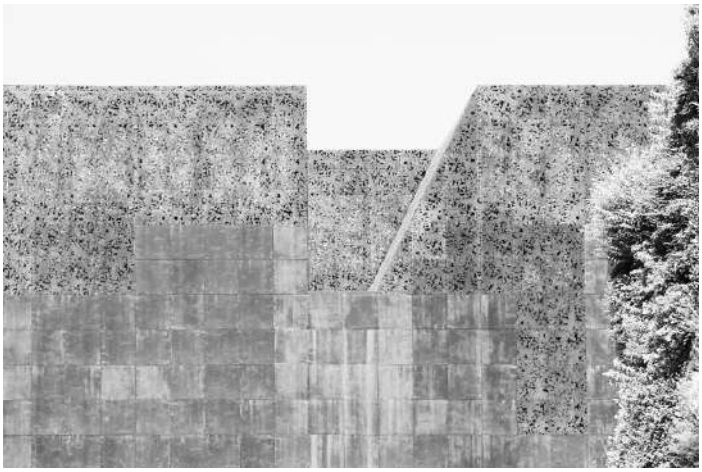


Fig. 1 Detalle de la cubierta

Resumen – Objetivo

El edificio CaixaForum Madrid se basa en la rehabilitación y ampliación de la antigua central eléctrica del Mediodía y parte del objetivo arquitectónico de crear una plaza pública en la zona de acceso. Para ello, la antigua gasolinera, situada en frente, desaparece y se elimina la base inferior del muro existente, quedando el volumen del edificio "suspendido".
De esta forma, la antigua central eléctrica se incorpora de nuevo a la trama urbana del centro de Madrid, ya que el edificio con el paso del tiempo se había quedado oculto e inconexo.

El problema estructural y constructivo consiste en resolver el recorrido de las cargas verticales y transmitirlas a la cimentación, manteniendo la idea de un edificio "suspendido".
Para ello se plantea un macrosistema estructural formado por:

1. Tres núcleos de hormigón, únicos elementos portantes verticales.
2. Muro perimetral continuo de hormigón postesado, conectado al muro de ladrillo preexistente de la central.
3. Dos Vigas-Muro gran canto interiores que conectan los núcleos con el muro perimetral.

Este proyecto parte de la simplicidad constructiva y estructural de la Central Eléctrica, y se transforma en un edificio basado en la complejidad y singularidad, ofreciendo un interesante ejemplo de relación y diálogo entre la idea arquitectónica y su soporte resistente.

Por tanto, a través de este trabajo se hace un recorrido en el tiempo de como esta pieza tan singular ha evolucionado estructural y constructivamente.

INTRODUCCIÓN

El trabajo se divide en tres fases, que corresponden en las tres fases de evolución del edificio. La primera fase está dedicada a la central eléctrica del Mediodía, con su correspondiente evolución que se debe a modificaciones en su función y por tanto un cambio estructural que se adecue a sus nuevas necesidades.

La segunda parte corresponde a fichas que explican los periodos del proceso constructivo del nuevo edificio de Caixaforum Madrid. Cada ficha incluye una axonometrica constructiva del conjunto con fotografías de obra y detalles constructivos. Y así mismo, haciendo una introducción de la siguiente fase, y de su planteamiento estructural.

Y por último la fase tres desarrolla la estructura del nuevo proyecto que se eleva en frente del Jardín Botánico de Madrid. Es un estudio de cada planta, así como de su situación en Madrid y en su zona más inmediata y sus accesos.

La fase primera y tercera el edificio da respuesta una ciudad diferente y evolucionada. La fábrica corresponde a una época en la que la economía se basaba en el sector primario, donde hay una prioridad por la industria y las fábricas. En cambio, el Caixaforum, el edificio actual, da respuesta una sociedad que quiere resaltar culturalmente y así mismo ser un foco turístico.

Cada parte está formada por una memoria descriptiva y su parte gráfica correspondiente.

Palabras clave: rehabilitación, ampliación, icono, singularidad, núcleos de hormigón, muro postesado, losa postesada, vigas-muro de gran canto.

Fig. 2 Encuentro con la cubierta

Abstract – Objetive

The CaixaForum Madrid building is at Mediodía electric power station, which has been renovated and extended. The principal architectural aim was to create a new public space. Therefore, the former gas station, close to the building, disappears, and the lower supporting wall is eliminated, thereby the building gives the impression of being floating on air.

In this way, the electric power station joins up with the Madrid urban scene. Since, this building, over the time, had remained secret and unconnected with the city.

The main structural problem was to design a system capable of collecting all the vertical loads and transferring them to the foundations, supporting this public area.

The solution was to create a structural macro system:

1. Three powerful concrete cores
2. A perimeter wall made of a continuos post-tensioned concrete connected to a brick wall.
3. Two Beam-Wall very thick connecting the cores to the perimeter wall.

This design comes originally from the electric power station, which was an simple structural building. And it changes into a new construction based on the complexity and singularity. This project offers an interesting example of the interrelation and communication between the architectural idea and its supporting framework.

Therefore, this work is a study of the building evolution. It is based on the analysis of the structure and the construction, a how it has evolved.

The work is divided in three phases, corresponding to the evolution of the building. The first deals with the Mediodía electric power station, which structure has evoluted, due to the function changed.

The second part corresponds to explain the constructive process of Caixaforum Madrid. Every stage includes a constructive view, work's photographies and details. And this second phases is also an introdution of the following part.

Finally, the third phase develops the structure of the new project that rises in front of the Botanical Garden of Madrid. It is a study of every floor, as well as of his location in Madrid and his accesses next to public transport, car or how a pedestrian.

The first and third phase the building answers to a different moment of the city. The factory corresponds to a period in which the economy was based on the primary sector, when there was a priority for the industry and the factories. However, the Caixaforum, the current building, answers to a society that wants to highlight culturally and become an important tourist city.

Each part has a memory, graphics and details.

Keywords: renovation, extension, symbol, singularity, complexity, concrete cores, post-tensioned wall, post-tensioned slab, beam-wall very thick.

Fig. 3 Vista exterior de la Central

Reseña Histórica

Fue realizada entre los años 1899-1900 por Jesús Carrasco-Muñoz en colaboración con el ingeniero José María Hernández.

Esta obra ocupaba toda la manzana comprendida entre las calles de Almadén, Cenicero, Alameda y Gobernador. Fue promovida por el empresario José Batllé y se construyó para dar servicio eléctrico a varios distritos del sur de la ciudad, cuya energía generaba a partir de la combustión del carbón.

El 5 de enero de 1916, Modesto López Otero realizó una reforma en la central. En una de las naves se deseaba situar una batería de acumuladores y debido al peso que supone se precisaba reforzar el piso actual.

Arquitectura

El edificio reproducía la tipología industrial de fábrica derivada de las estaciones de ferrocarril, que se compone de dos grandes naves paralelas, de forma rectangular. La manzana tiene un área aproximada de 1.934 metros cuadrados, en los cuales se situaba la central y un patio.

Los muros perimetrales eran de ladrillo macizo visto con zócalo de cantería, cuyas fachadas de doble vertiente se sitúan en los frentes de las calles Almadén y Gobernador. (Fig. 3)

La cubierta a dos aguas era de madera sobre cercha de acero roblonado, configurando así un espacio interior totalmente diáfano. En la cubierta se disponía de un lucernario central y varios laterales, permitiendo la iluminación cenital. (Fig.4)

Es una construcción de gran simplicidad y con poca decoración, solamente se resaltan unas pilastras en sus esquinas, unas molduras y recuadros en sus vanos. Una de las originalidades de la antigua Central Eléctrica del Mediodía es su resolución del remate de las fachadas principales.

Las ventanas están constituidas por el arco rebajado, permitiendo abrir huecos de mayor dimensión y del mismo modo, aligera los empujes trabajando como arco de descarga.

Los forjados de la planta baja, viguetas metálicas y rasilla, se apoyan en el techo del sótano, sustentado por una seria de arcos de medio punto sobre pilares cuadrados.

En la nave reforzada se dispuso un emparrillado de vigas laminadas de 5.50 metros de longitud, apoyadas en ambos muros de la nave y en los soportes de columna de fundición. Estas vigas estarán unidas mediante embrochalamiento a otras vigas longitudinales. En total, se disponían 11 vigas transversales y 72 longitudinales.

Por tanto, estamos ante una obra de arquitectura modernista, pero constructivamente de recursos tradicionales. Todo ello hace que sea uno de los mejores edificios industriales que se conserva en el casco histórico de Madrid.

Otros ejemplos de este tipo de construcciones son la subestación del Cerro de la Plata y la Central Eléctrica de Mazarredo que, aunque todavía continúan en activo, están reducidas a funciones de almacenaje.

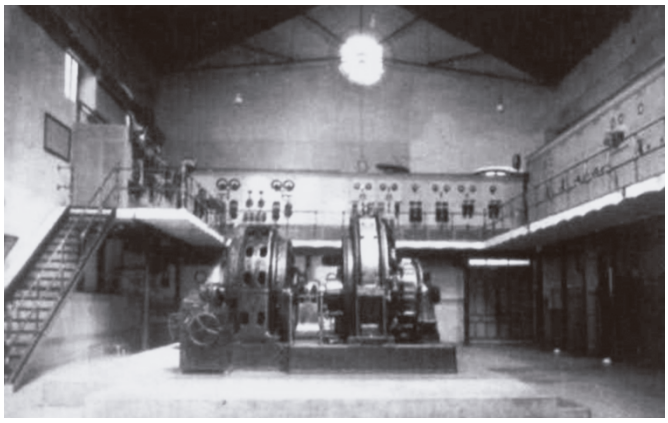
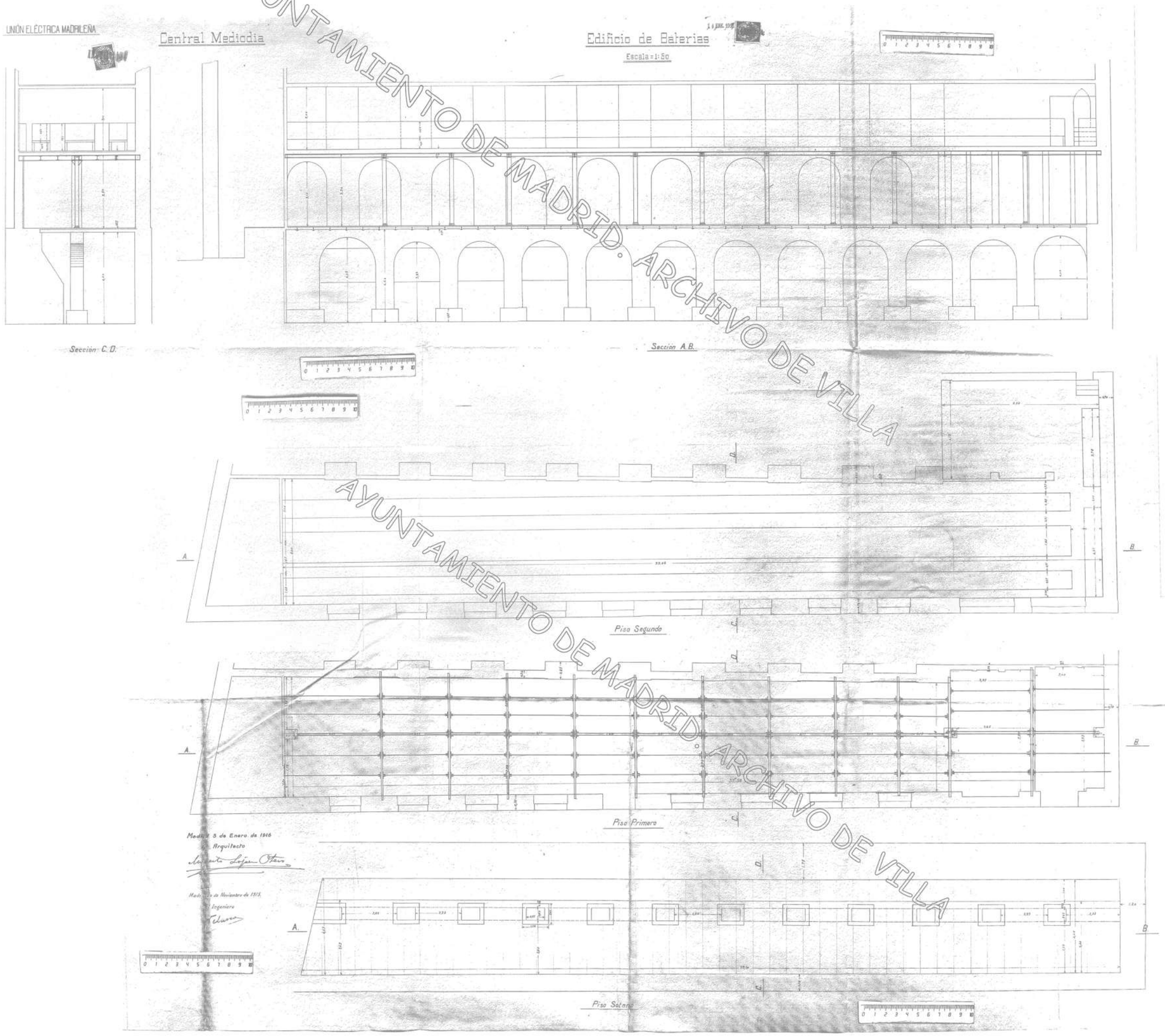


Fig. 4 Vista interior de la Central

Planimetría de la reforma de 1916



AYUNTAMIENTO DE MADRID. ARCHIVO DE VILLA

CENTRAL ELÉCTRICA DEL MEDIODÍA

Obra original de 1900 por Jesús Carrasco-Muñoz y José María Hernández

Datos técnicos:

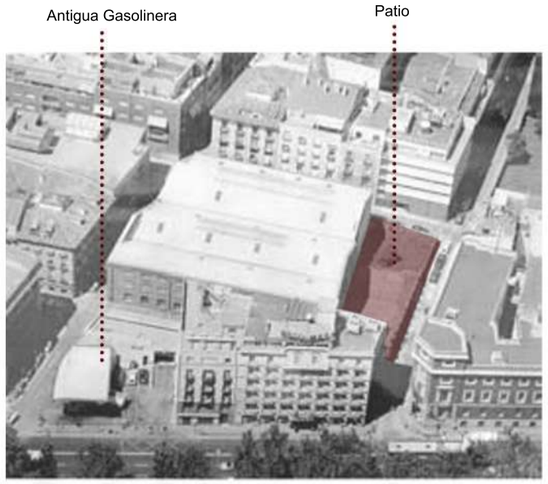
Situación de la obra:	Situada entre las calles Alameda y Gobernador. (Distrito Centro de Madrid)
Fachada:	De ladrillo visto y zócalo de granito
Forjado:	Viguetas de 0.15 metros y tablero de rasilla.
Cubierta:	A dos aguas, de madera sobre cercha de acero roblonado, con un lucernario en la parte central.
Distribución:	Dos grandes naves paralelas, con dos plantas y sótano.
Superficie total:	1286,87 metros
Superficie del patio:	428.52 metros

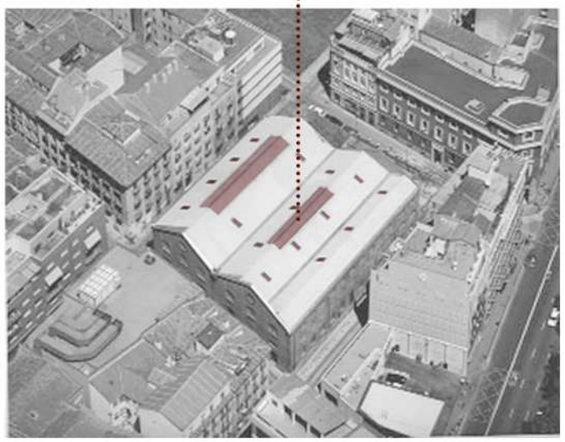
Reforma de 1916 por Modesto López Otero

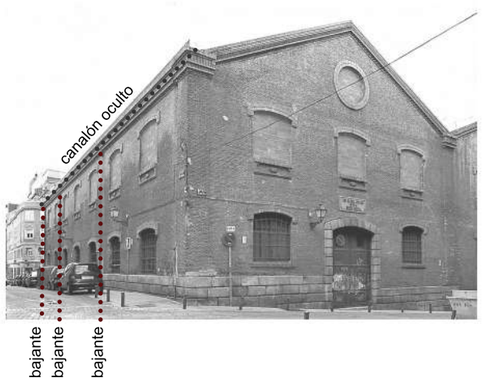
Datos técnicos:

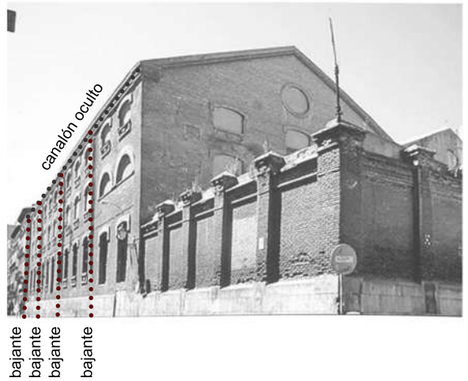
Situación de la reforma:	En una de las naves, edificios de baterías que precisa reforzar su estructura.
Forjado:	Emparrillado de vigas laminadas con una longitud de 5.50 metros. Apoyadas en los muros de la nave y en los soportes de fundición. Estas vigas están embrochaladas a otras vigas de luz media de 0.80 metros.
Número vigas transversales:	11
Número vigas longitudinales:	72
Superficie de la nave:	214.79 metros

EXTERIOR DE LA CENTRAL DEL MEDIODÍA

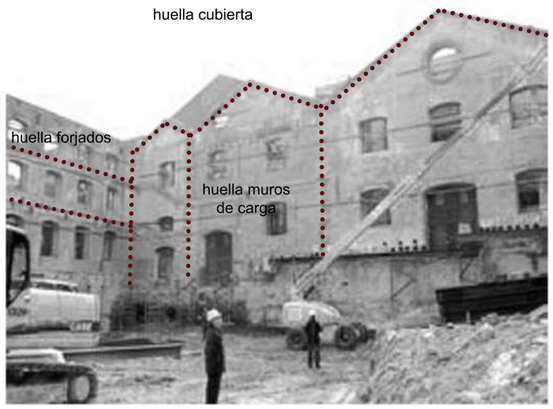


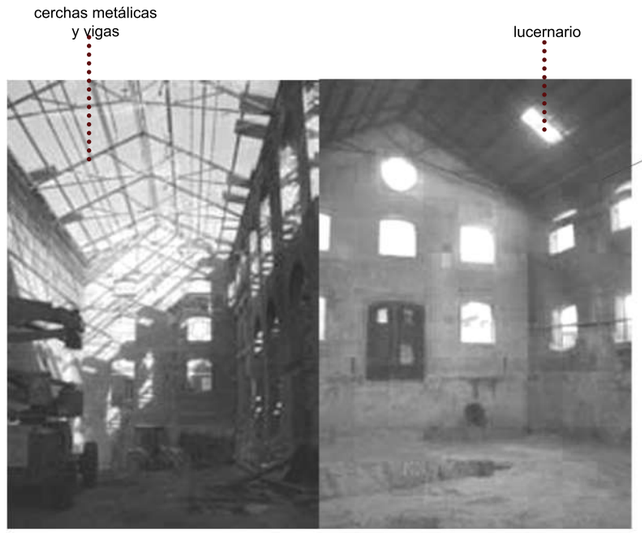


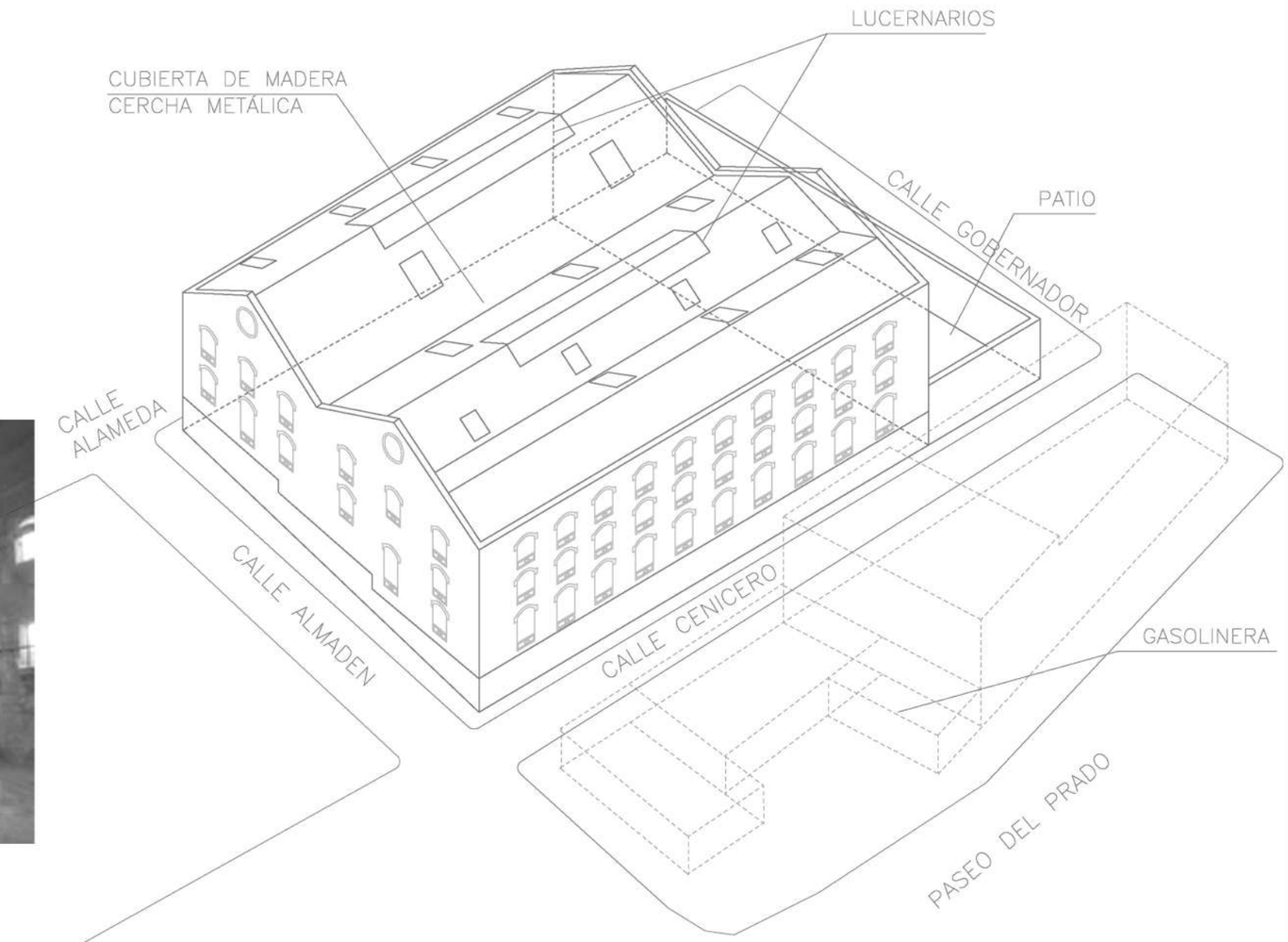


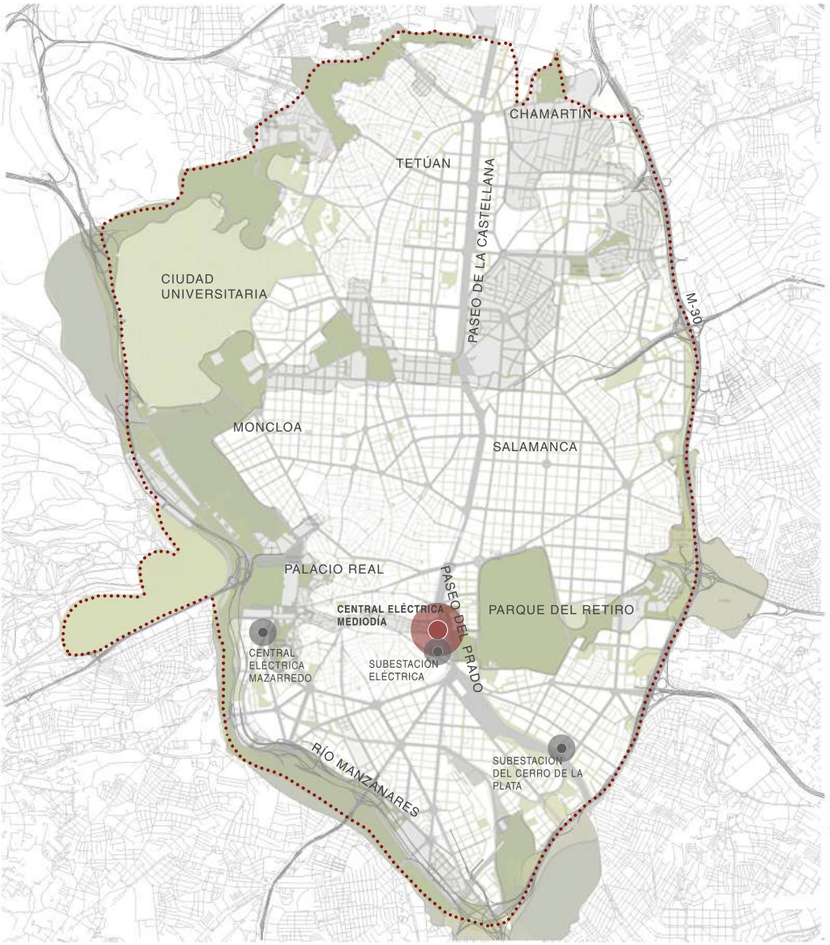


INTERIOR



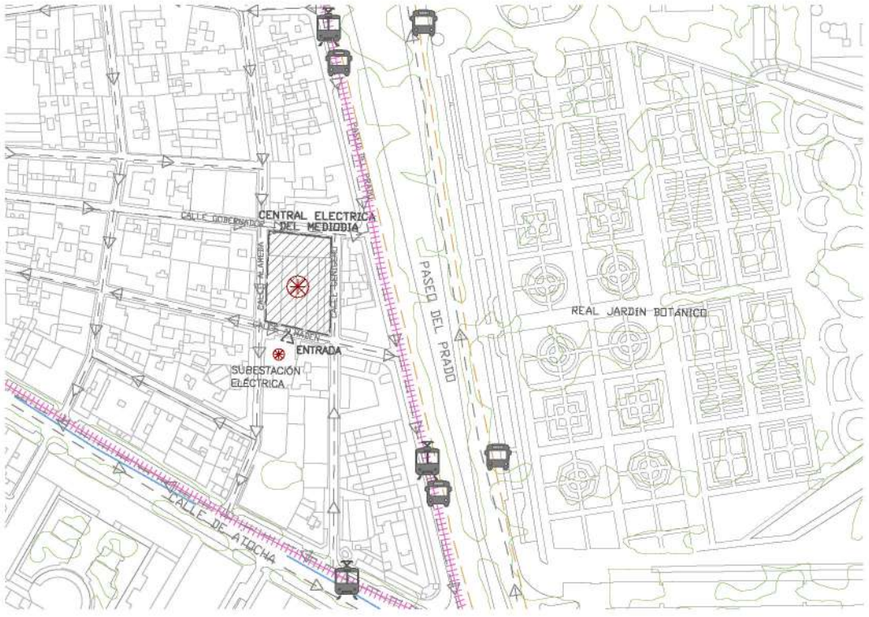


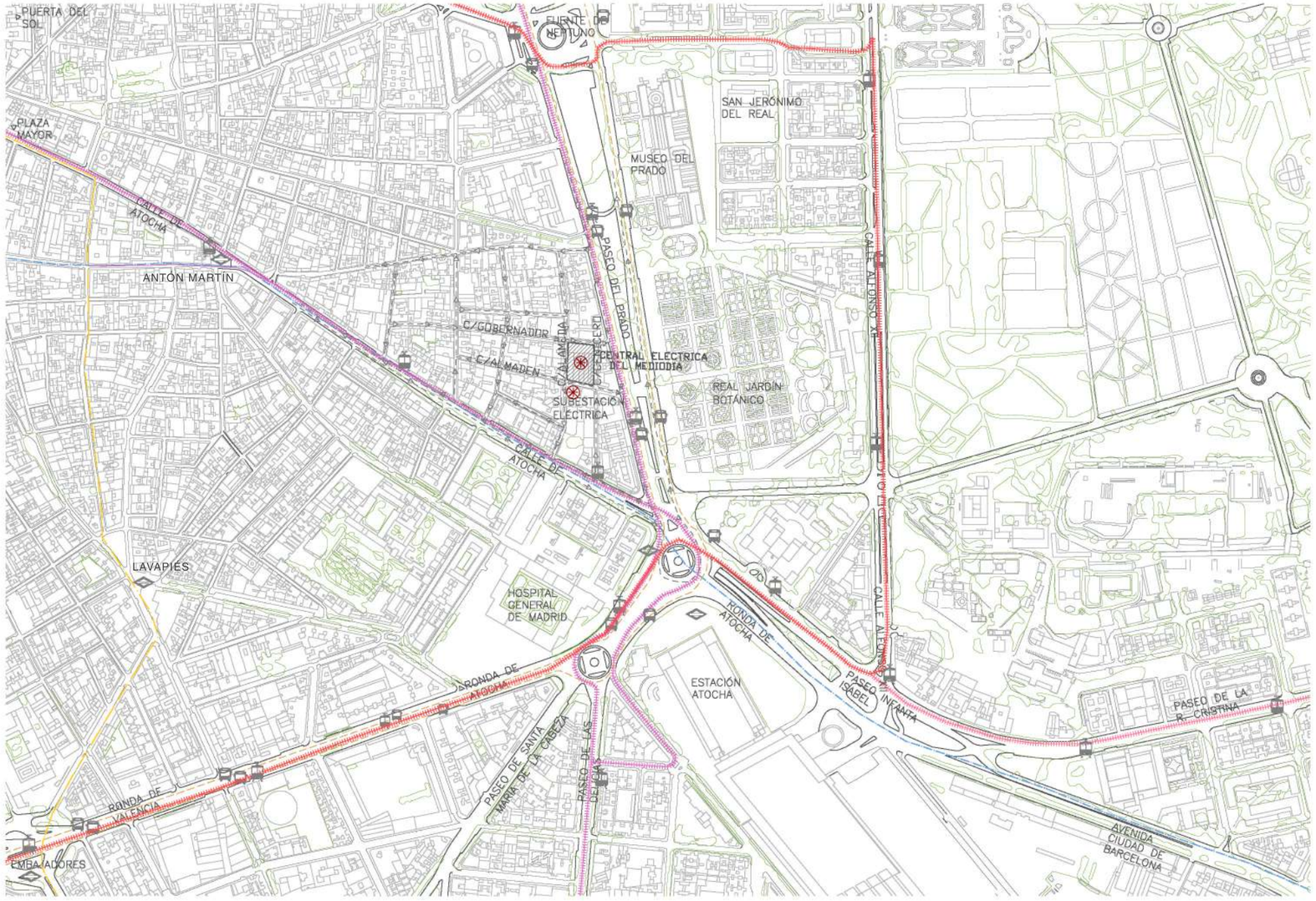




N

MADRID CENTRO, 1970





AUTOBÚS LÍNEA 27
(PLAZA CASTILLA-EMJADORES)

METRO LÍNEA 1
(PLAZA CASTILLA-PORTAZGO)

METRO LÍNEA 3
(MONCLOA-LEGAZPI)

TRANVÍA LÍNEA 26
(CIBELES-ATOCHA-EMBAJADORES-PTE. TOLEDO)

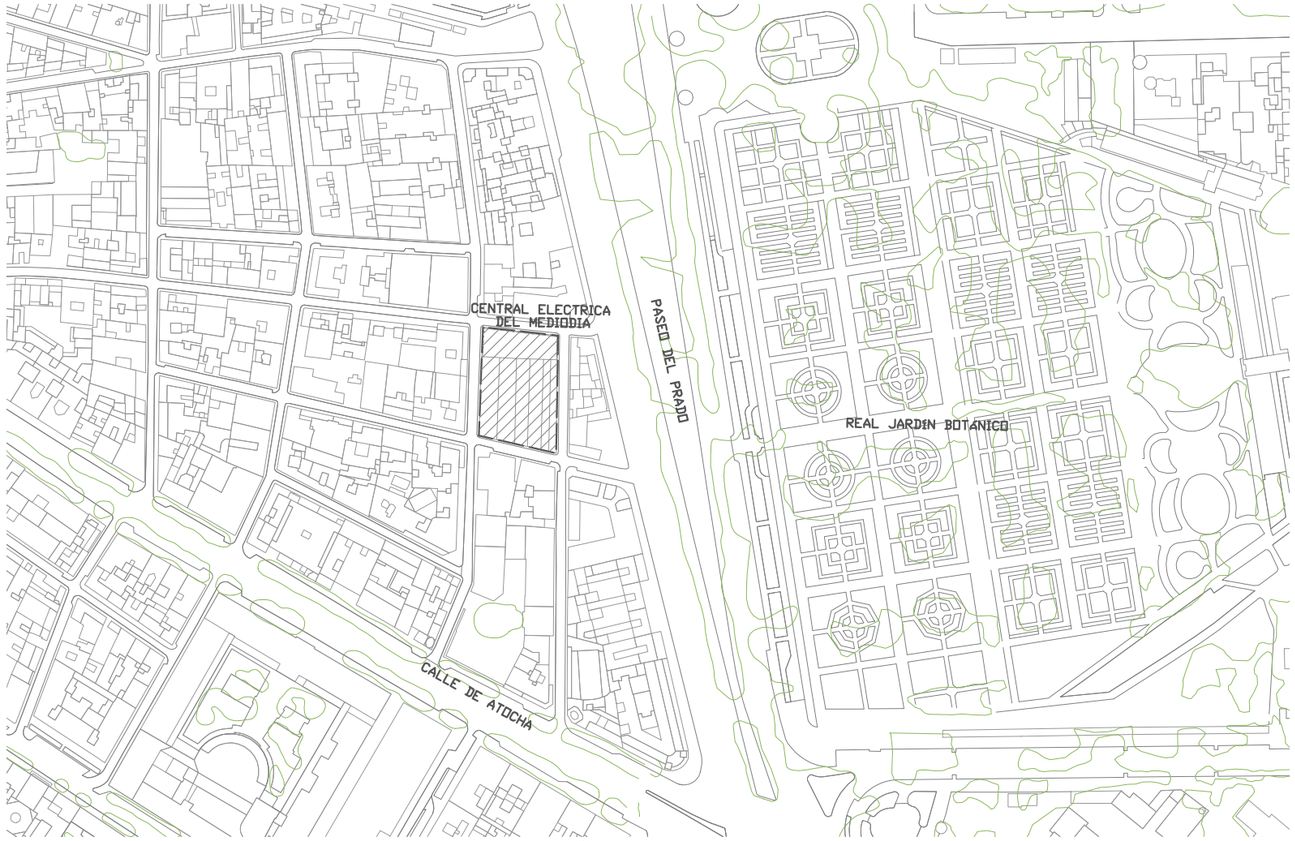
TRANVÍA LÍNEA 37
(CIBELES-ATOCHA-DELICIAS-LEGAZPI)

TRANVÍA LÍNEA E
(ATOCHA NORTE)

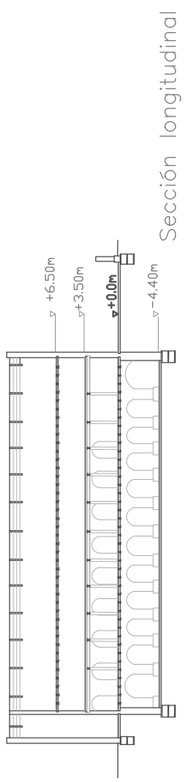
ACCESO RODADO

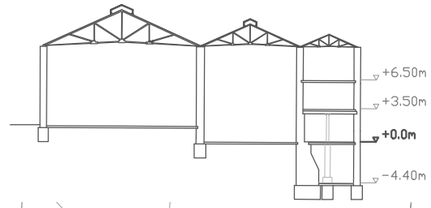
LÍNEA TÉRMINO MUNICIPAL

SUBESTACIONES Y CENTRALES ELÉCTRICAS

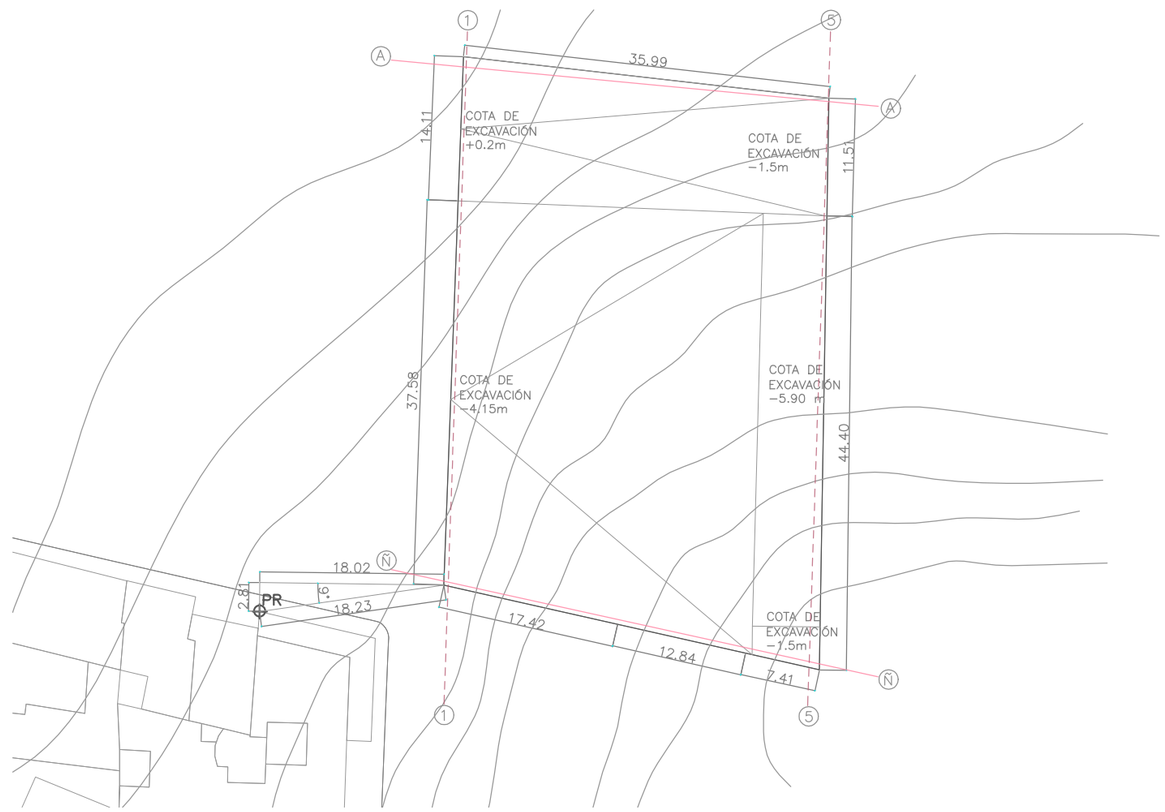


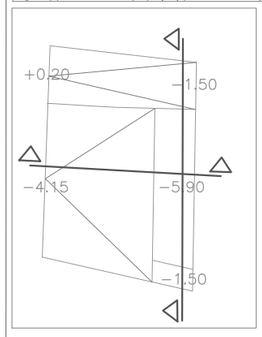
Distrito Centro, Madrid

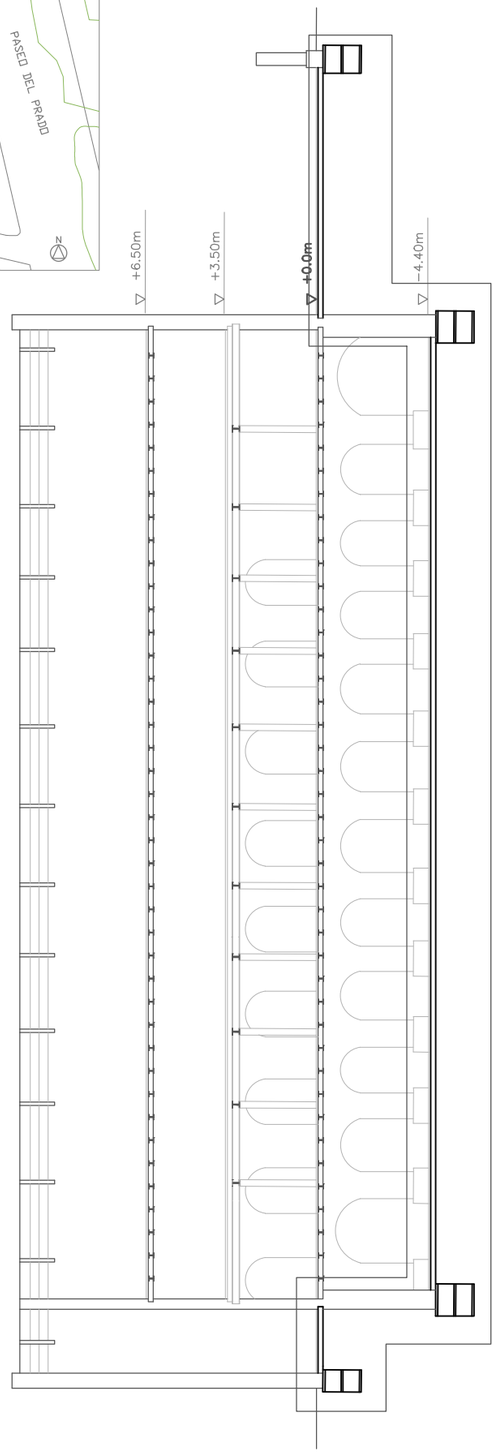


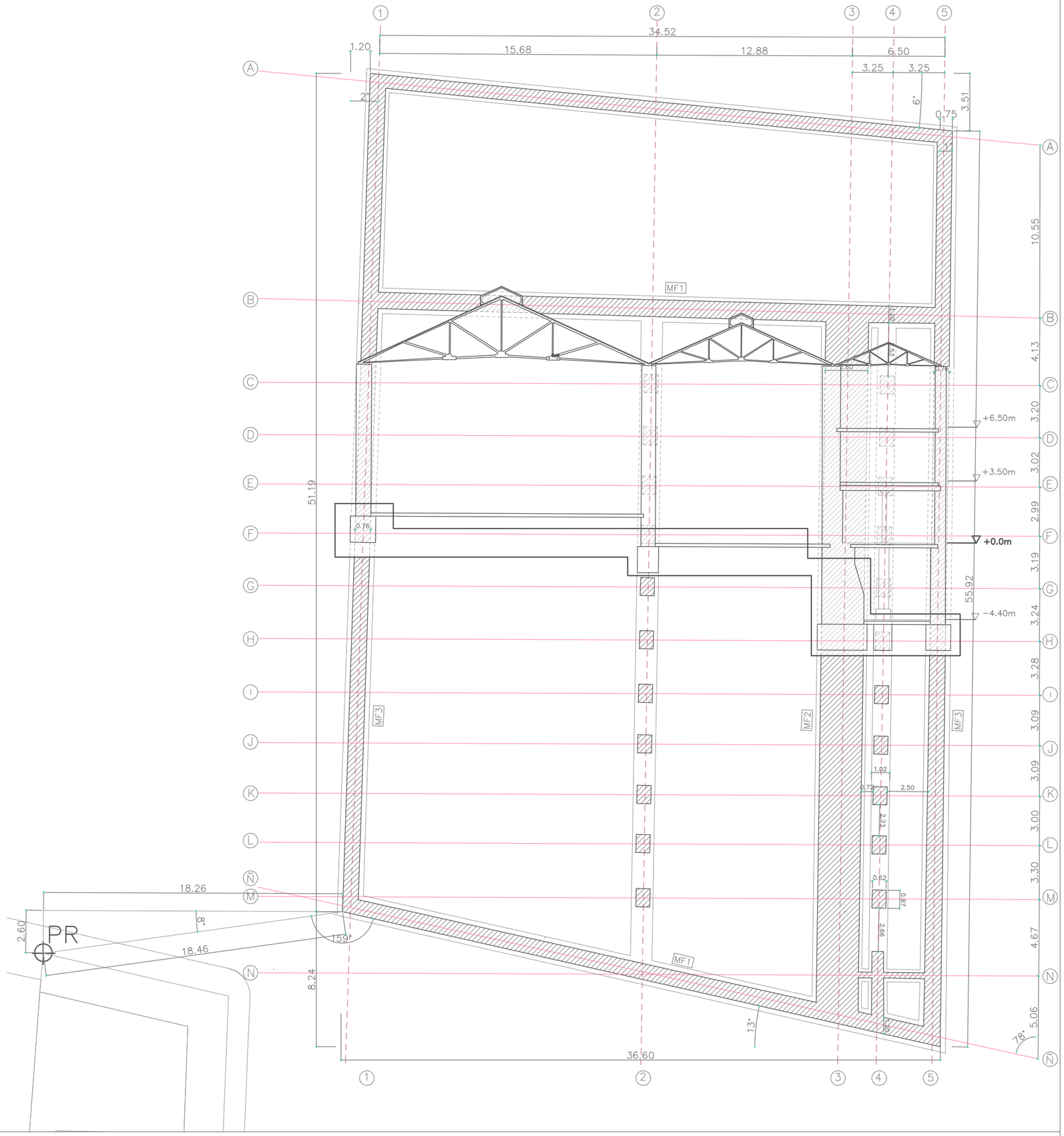


Sección transversal







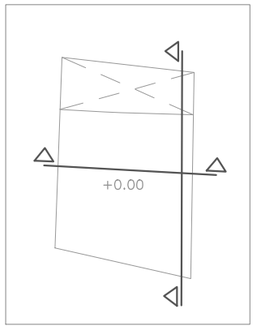


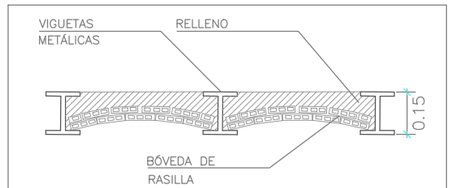
LEYENDA

Forjado unidireccional de viguetas metálicas de 0.15 m y tablero de rasilla

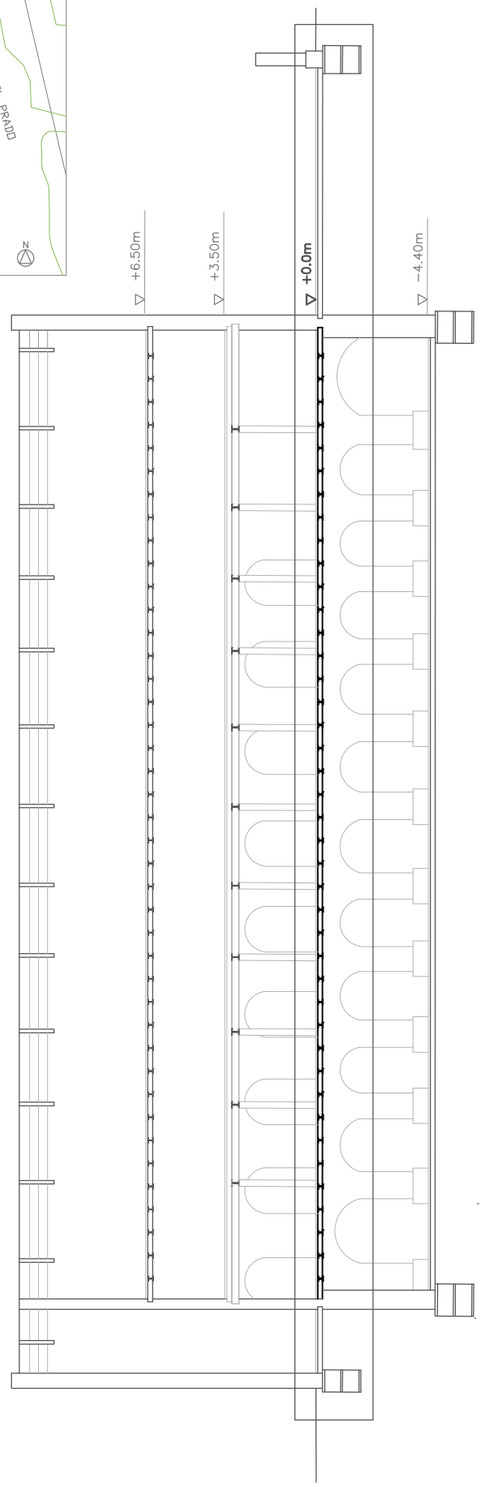
Colummna de fundición

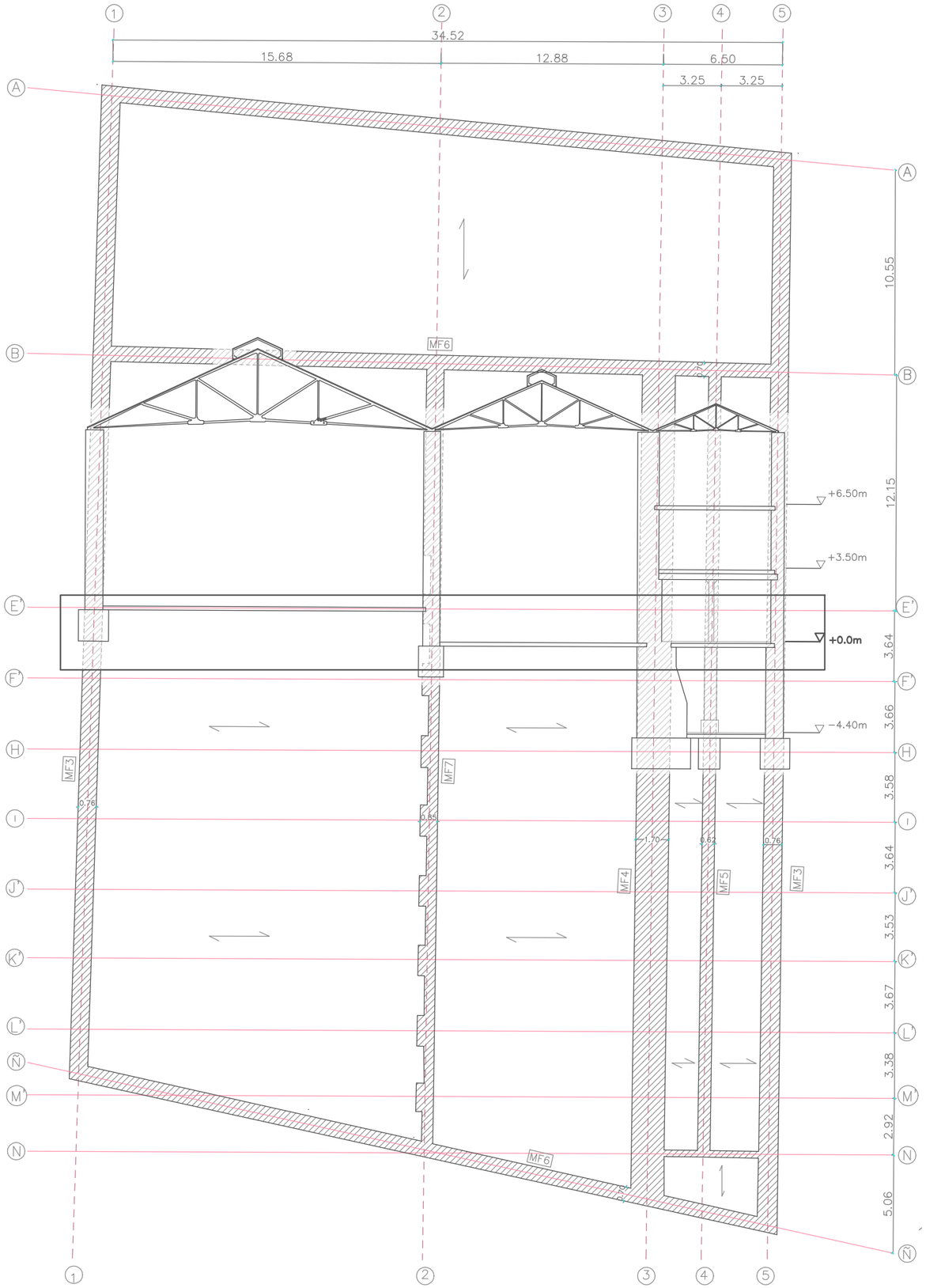
CF1	Colummna de fundición ø13cm
MF1	Muro de fábrica de 4 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF2	Muro de fábrica de 9 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF3	Muro de fábrica de 2 y 3/4 pie (ladrillo tejar)
MF4	Muro de fábrica de 6 pie (ladrillo tejar)
MF5	Muro de fábrica de 2 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF6	Muro de fábrica de 2 y 1/2 pie (ladrillo tejar)
MF7	Muro de fábrica de 3 pie (ladrillo tejar)
BP#	Bajante pluviales plomo Ø70cm
	Ejes
	Ejes estructurales

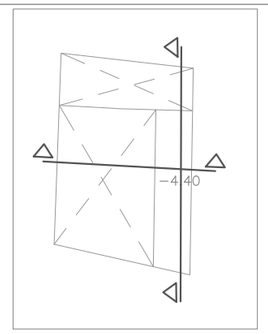


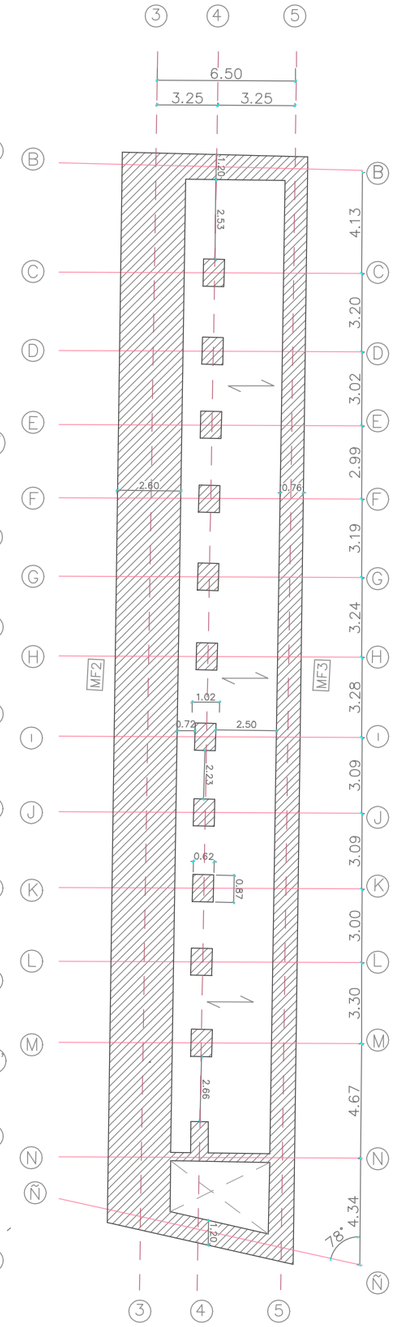


DETALLE: FORJADO VIGUETAS Y DE RASILLA
ESCALA: 1/50







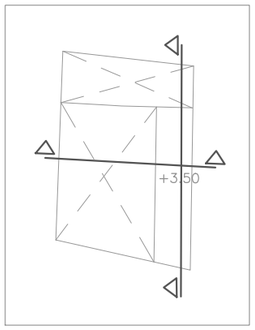


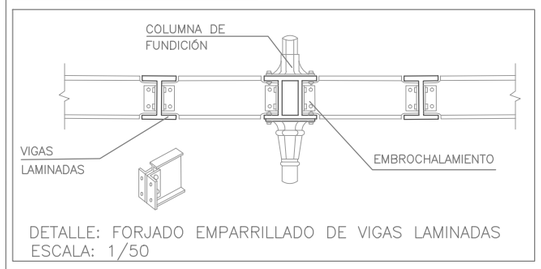
LEYENDA

Forjado unidireccional de viguetas metálicas de 0.15 m y tablero de rasilla

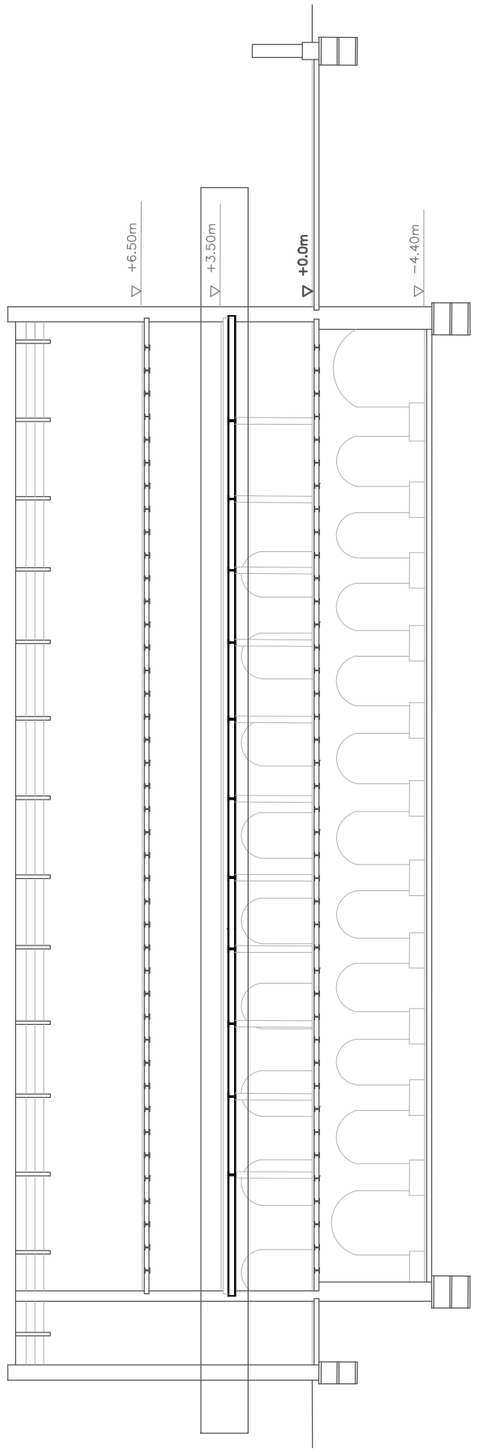
Colummna de fundición

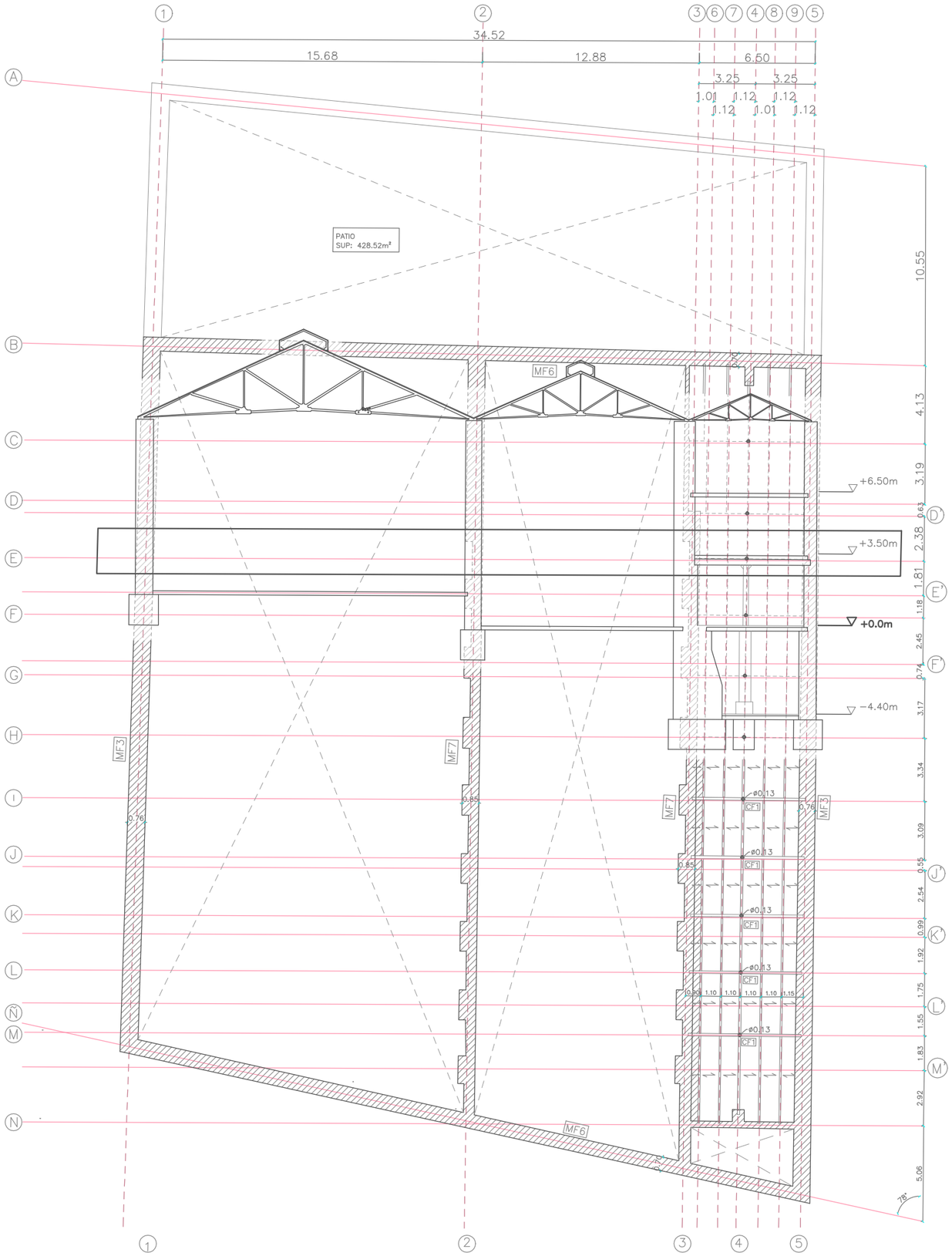
CF1	Colummna de fundición ø13cm
MF1	Muro de fábrica de 4 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF2	Muro de fábrica de 9 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF3	Muro de fábrica de 2 y 3/4 pie (ladrillo tejar)
MF4	Muro de fábrica de 6 pie (ladrillo tejar)
MF5	Muro de fábrica de 2 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF6	Muro de fábrica de 2 y 1/2 pie (ladrillo tejar)
MF7	Muro de fábrica de 3 pie (ladrillo tejar)
BP#	Bajante pluviales plomo Ø70cm
	Ejes
	Ejes estructurales





DETALLE: FORJADO EMPARRILLADO DE VIGAS LAMINADAS
ESCALA: 1/50



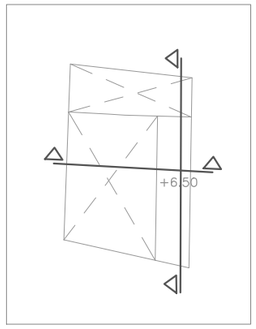


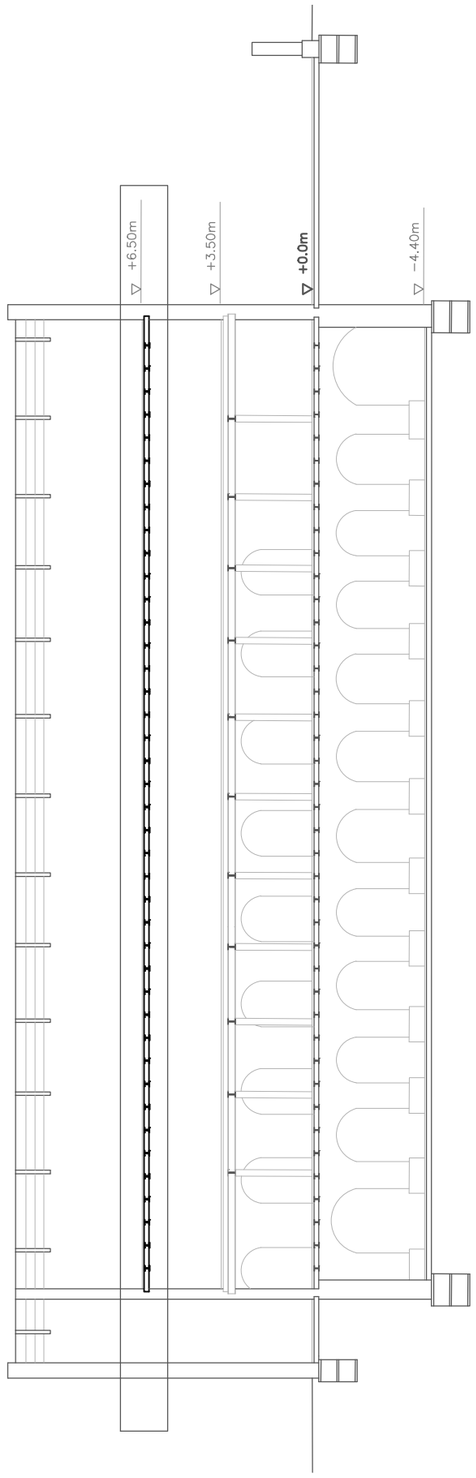
LEYENDA

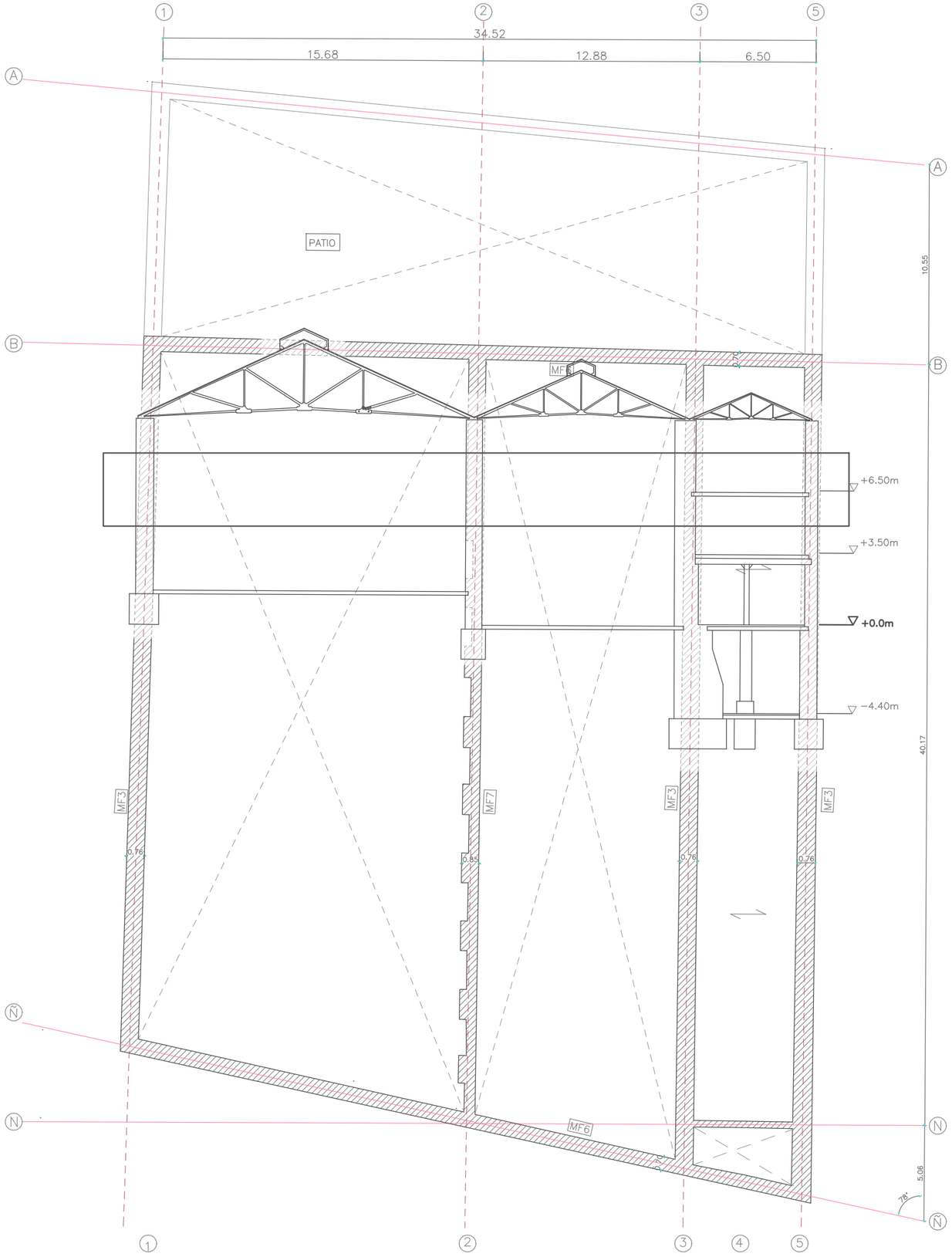
Forjado unidireccional de viguetas metálicas de 0.15 m y tablero de rasilla

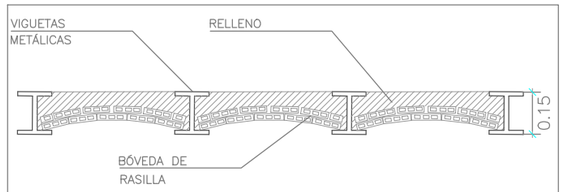
Colummna de fundición

CF1	Colummna de fundición ø13cm
MF1	Muro de fábrica de 4 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF2	Muro de fábrica de 9 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF3	Muro de fábrica de 2 y 3/4 pie (ladrillo tejar)
MF4	Muro de fábrica de 6 pie (ladrillo tejar)
MF5	Muro de fábrica de 2 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF6	Muro de fábrica de 2 y 1/2 pie (ladrillo tejar)
MF7	Muro de fábrica de 3 pie (ladrillo tejar)
BP#	Bajante pluviales plomo Ø70cm
	Ejes
	Ejes estructurales









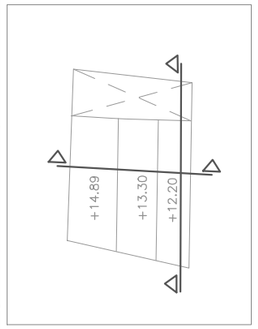
DETALLE: FORJADO VIGUETAS Y DE RASILLA
ESCALA: 1/50

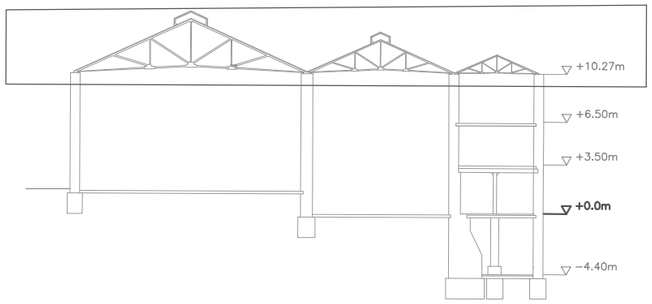
LEYENDA

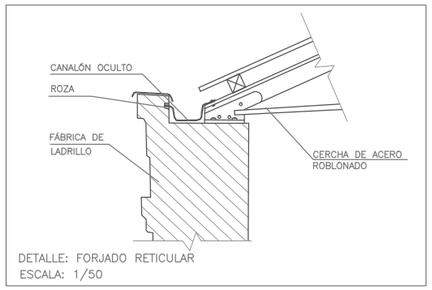
Forjado unidireccional de viguetas metálicas de 0.15 m y tablero de rasilla

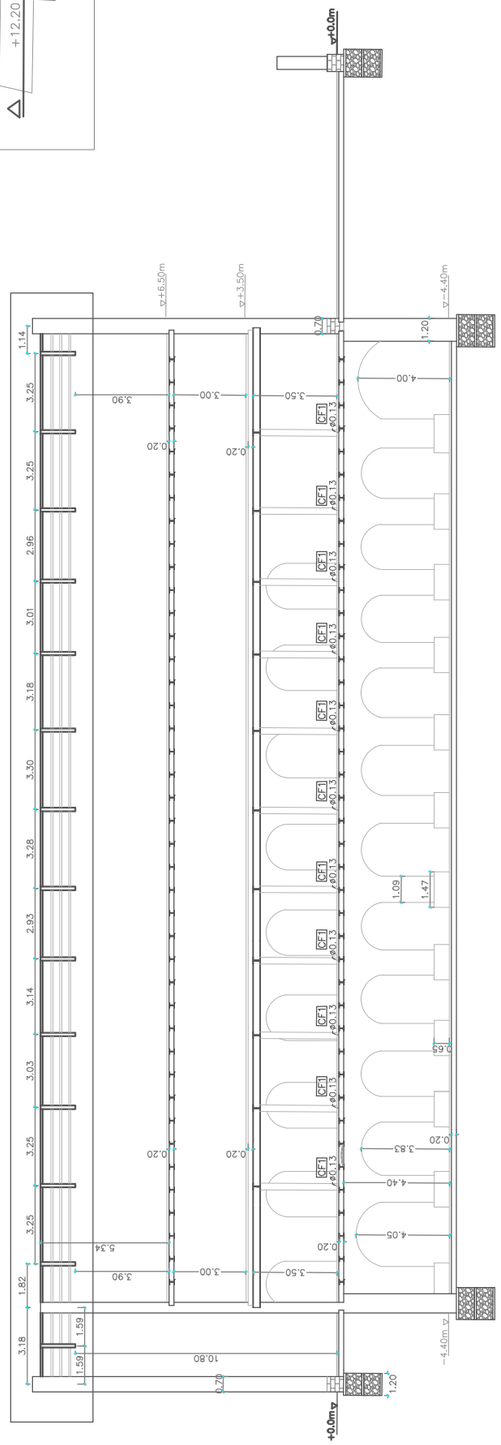
Colummna de fundición

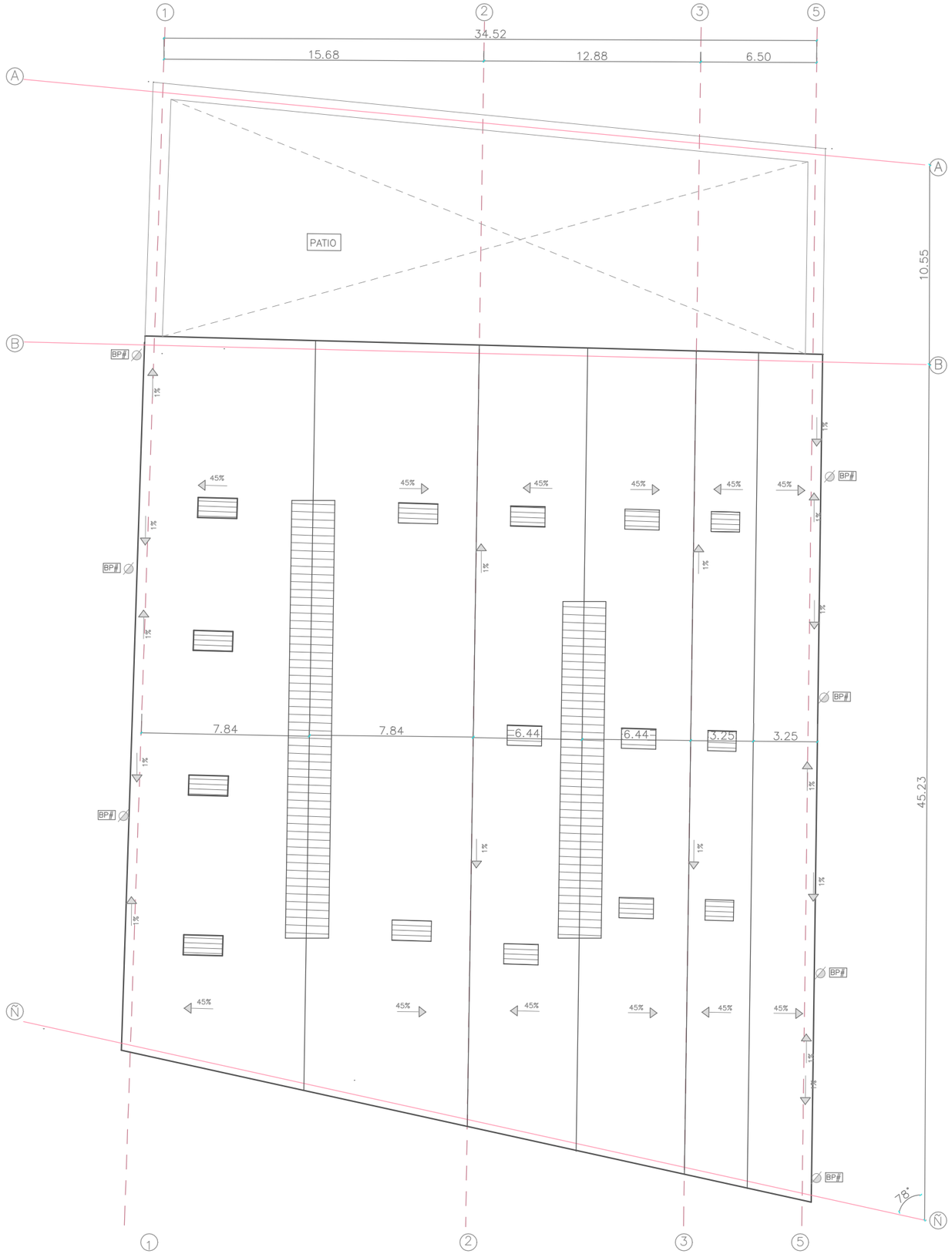
CF1	Colummna de fundición ø13cm
MF1	Muro de fábrica de 4 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF2	Muro de fábrica de 9 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF3	Muro de fábrica de 2 y 3/4 pie (ladrillo tejar)
MF4	Muro de fábrica de 6 pie (ladrillo tejar)
MF5	Muro de fábrica de 2 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF6	Muro de fábrica de 2 y 1/2 pie (ladrillo tejar)
MF7	Muro de fábrica de 3 pie (ladrillo tejar)
BP#	Bajante pluviales plomo Ø70cm
	Ejes
	Ejes estructurales









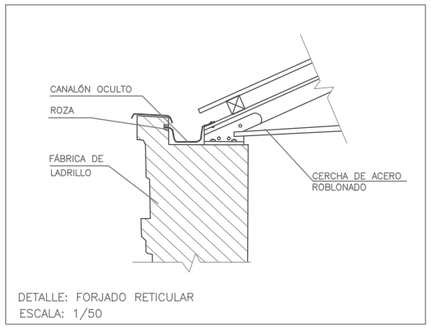


LEYENDA

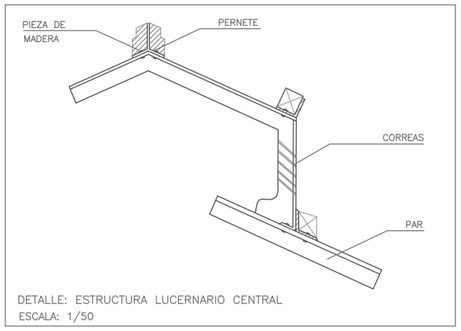
Forjado unidireccional de viguetas metálicas de 0.15 m y tablero de rasilla

Columnna de fundición

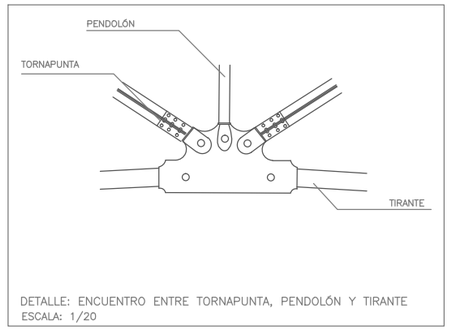
CF1	Columnna de fundición ø13cm
MF1	Muro de fábrica de 4 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF2	Muro de fábrica de 9 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF3	Muro de fábrica de 2 y 3/4 pie (ladrillo tejar)
MF4	Muro de fábrica de 6 pie (ladrillo tejar)
MF5	Muro de fábrica de 2 y 1/4 pie (ladrillo tejar)
MF6	Muro de fábrica de 2 y 1/2 pie (ladrillo tejar)
MF7	Muro de fábrica de 3 pie (ladrillo tejar)
BP#	Bajante pluviales plomo Ø70cm
	Ejes
	Ejes estructurales



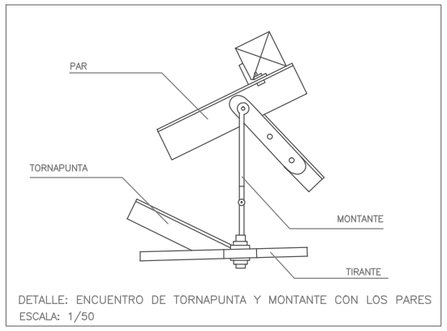
DETALLE: FORJADO RETICULAR
ESCALA: 1/50



DETALLE: ESTRUCTURA LUCERNARIO CENTRAL
ESCALA: 1/50



DETALLE: ENCUENTRO ENTRE TORNAPUNTA, PENDOLÓN Y TIRANTE
ESCALA: 1/20



DETALLE: ENCUENTRO DE TORNAPUNTA Y MONTANTE CON LOS PARES
ESCALA: 1/50

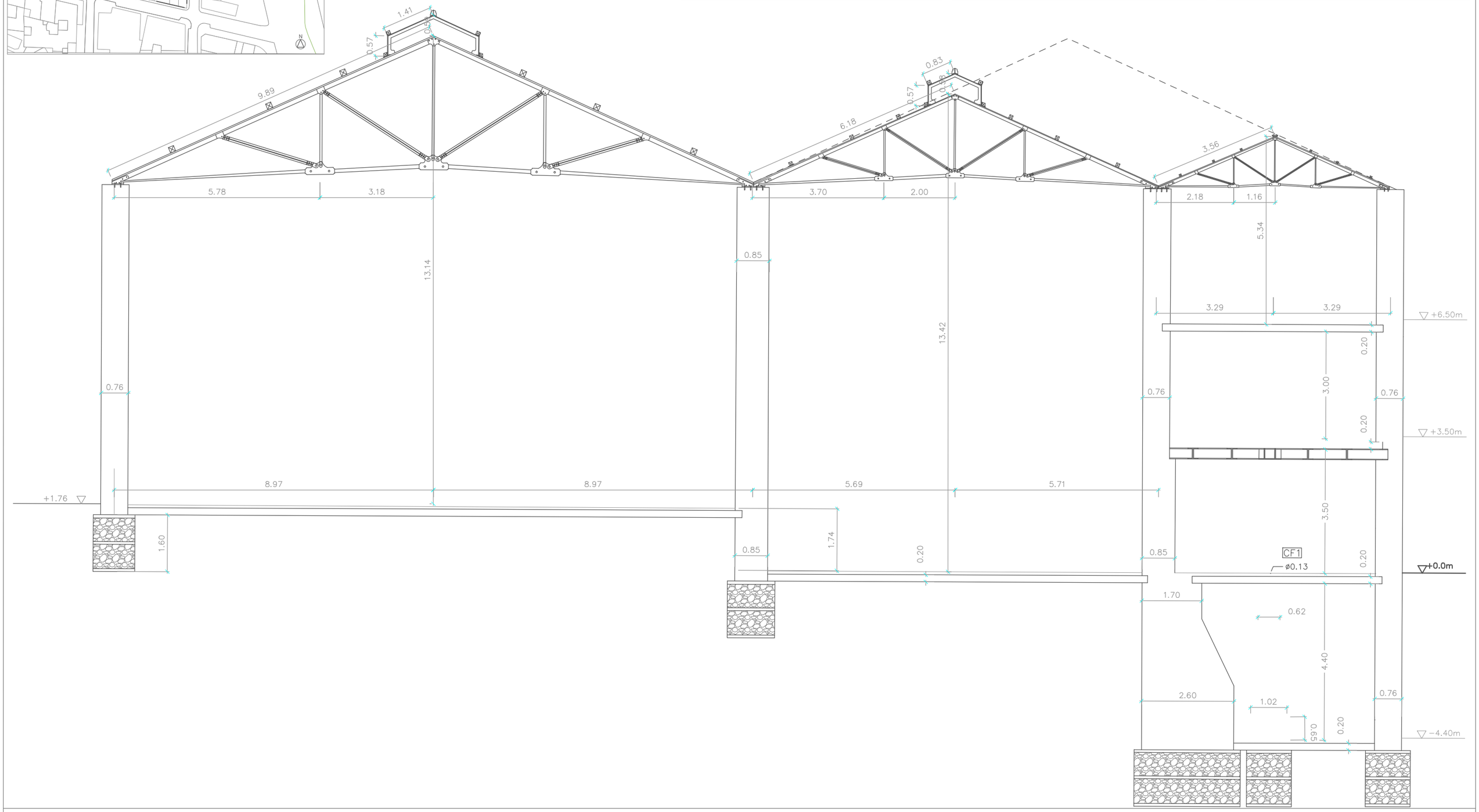


Fig. 5 Fachada a calle Gobernador

1. Estado Previo

La central eléctrica en 2001 estaba declarada en estado de ruina, pero según el PGOUM, debido a su protección, se debía conservar sus cuatro fachadas de ladrillo y de este modo, preservar la imagen industrial de la antigua fábrica.

Esta envolvente, por tanto, se ha restaurado de manera artesanal, de forma que se ha recuperado su apariencia inicial. Cada fachada ha tenido un proceso de rehabilitación diferente debido a las distintas condiciones de estado. Por ejemplo, la mitad de la fachada hacia la Calle Gobernador (Fig. 5) fue derruida completamente y posteriormente se levantó de nuevo con un aspecto similar al inicial. Esto se debió al estado completo de ruina que presentaba, y actualmente es la única parte que no conserva las ventanas originales.
En total, han sido restituidos 40.000 de los 115.000 ladrillos que envuelven al edificio.

No sólo se encontraba en estado de ruina, sino que también estaba atrapada y enclaustrada en el denso tejido urbano, desconectada de la trama urbana y del Paseo del Prado. Esto se debía a la existencia de una gasolinera, que se encontraba enfrente de la central, impidiendo su visión desde el Paseo. Esta gasolinera se eliminó permitiendo mayor permeabilidad, y de este modo se creó una gran plaza pública de acogida y de acceso, que está totalmente excavada. Para acentuar y mejorar el tránsito por la plaza, la Calle Cenicero se ha peatonalizado en la zona correspondiente al nuevo edificio.

FASE 2. PROCESO CONSTRUCTIVO

2. Estabilización de la Fachada

Después de las acciones previas, se llevó a cabo la eliminación de la cubierta, tanto la estructura como el acabado de madera, y así mismo se suprimieron los muros interiores y los forjados, dejando, de este modo, solamente la envolvente de ladrillo de 80 cm de espesor.

Después se realizó la destrucción de la fachada, que se encontraba con peor conservación.

Para asegurar la estabilidad de la fachada, se colocó un andamio estabilizador alrededor, por la cara exterior de la misma. (Fig. 6 y 7)

Fig. 6 Andamio estabilizador

Fig. 7. Vista aérea.

3. Eliminación Zócalo

A pesar de las obligaciones impuestas por el PGOUM, sí se ha podido eliminar el zócalo perimetral de piedra de la fábrica, lo que ha permitido que el edificio parezca levitar sobre el terreno y que su planta baja se una a la plaza pública.

Además de la estabilización de la fachada, para asegurar la transmisión de las cargas verticales al terreno y, de este modo, poder llevar a cabo la eliminación del zócalo, se realizaron perimetralmente castilletes de cuatro micropilotes, separados aproximadamente cada 5 metros. Estos cuatro micropilotes se disponían dos por dentro y los otros dos por fuera de la fachada, quedando enterrados en la acera.

La pareja de micropilotes, que se situaban por el interior, se veían afectados por pandeo, por lo que se dispuso un tercer pilote arriostrados a los anteriores.

Sobre las dos filas de micropilotes se montaron dos anillos (interior y exterior) a base de perfiles laminares HEB-400 y una vez dispuestos, se realizaron taladros en la zona del muro por encima de la línea de corte. En esta área se colocaron unos travesaños que coserían los HEB-400, y se dispusieron nuevos perfiles laminares tipo HEB-180, separados cada medio metro aproximadadamente. Posteriormente se rellenó de mortero para asegurar el apoyo del muro de ladrillo en el travesaño. (Fig. 8 y 9)

Como operación paralera, se llevó a cabo el cierre de las ventanas, colocando medio pie de ladrillo macizo con contrafuertes.

Finalmente, se cortó el muro por debajo, eliminando así el zócalo de piedra. Este corte de fachada se llevó a cabo al nivel del basamento de granito, y se demolieron totalmente las antiguas cimentaciones de la fachada.

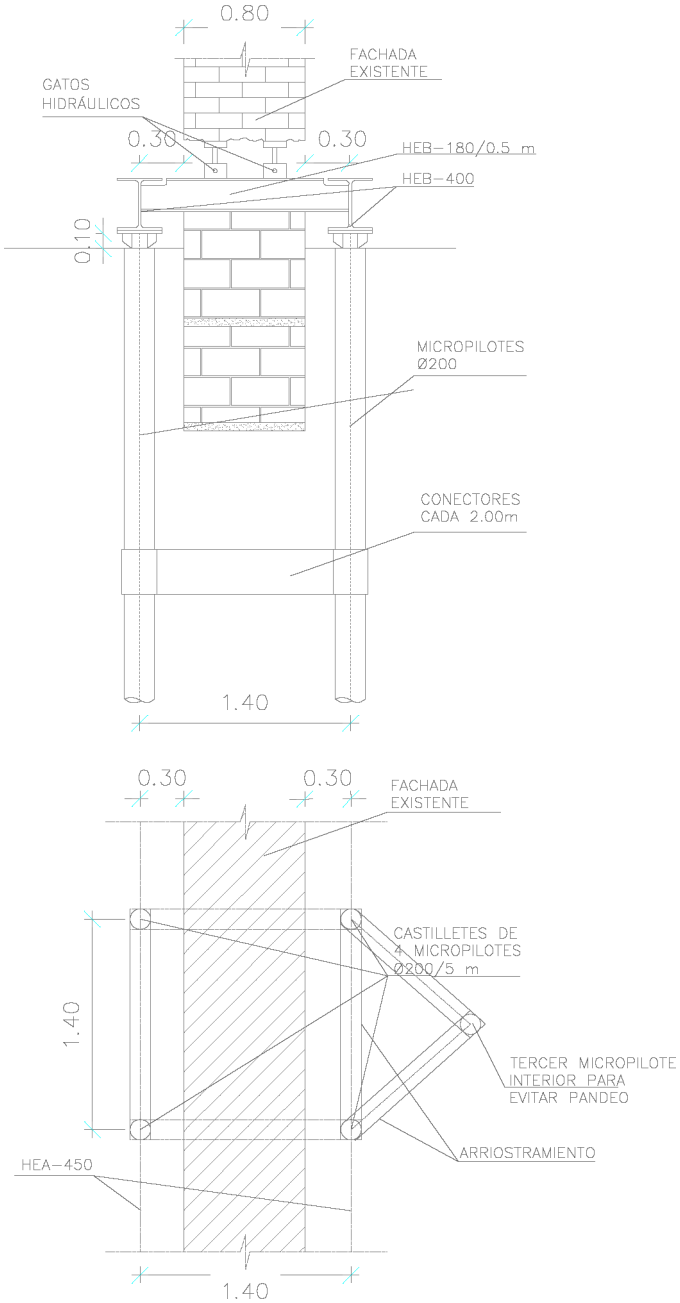


Fig. 8. Disposición de mircopilotes

Fig. 9. Detalle HEB-400 y HEB-180

Fig. 10 Vista de excavaxión

4. Excavación y Cimentación

Con la fachada estabilizada con los andamios y el muro soportado por los micropilotes, se inició el proceso de excavación, hasta la cota de arranque de los muros, 12 metros en relación a la esquina Alameda/Almadén. (Fig. 10)

La cimentación del edificio se basa principalmente en muros pantallas, que se ejecutaron por bataches de 2 y 3 alturas. Y en la zona de mayor altura, que da la calle Alameda, las pantallas acababan en una pequeña zapata.

Una vez ejecutados los bataches, se arriostró el edificio con vigas celosías. Se disponía de dos cerchas arriostradas en el medio, y tres cerchas de menor tamaño situadas en la Calle Alameda, Calle Almadén y Calle Cenicero, las cuales estaban arriostradas al muro pantalla mediante perfiles laminares HEB-450 y HEB-280 y HEB-240. Estos perfiles se encontraban atados entre ellos mediante perfiles tubulares de Ø100x4.00mm. (Fig. 11 y 12).

Fig. 11 Estructura provisional de arriostramiento

Fig. 12. Estructura provisional de arriostramiento

Tras llegar a la cota de la nueva cimentación, se llevó a cabo la cimentación del resto de elementos estructurales. Se realizaron tres losas de cimentación correspondientes a los tres núcleos que sustentan el edificio, actuando como los únicos pilares.

El canto de estas losas es diferente: el núcleo 1 es de dos metros, el 2 es de uno y medio, y el núcleo tres es de 1.2 metros. (Fig. 13)

Fig. 13. Cimentación Losa Núcleo 3

Fig.14. Construcción muro postesado

5. Muro Perimetral Postesado

Los núcleos se elevan hasta el nivel superior del edificio, una vez alcanzada esa cota, se empezó a realizar el muro perimetral postesado, que se elevan hasta la cota +11.01 metros. La envolvente de ladrillo lleva interiormente un muro de hormigón postesado, que es el que realmente soporta las cargas. (Fig. 15).

Inicialmente se consideró un trazado funicular de los cables ajustado a las cargas. Esta solución es adecuada para el control de los esfuerzos en el muro perimetral, pero plantea dificultades constructivas y de ejecución, que obligarían a disponer de un sistema de cableado con su armado, antes de poder comenzar el hormigonado del muro. (Fig. 16)

Finalmente se optó por un trazado recto de los cables, que permite reducir el nivel de tensiones en las zonas más solicitadas, controlando además la fisuración y los efectos derivados del hormigón. Esta solución favorece enormemente el proceso de ejecución, permitiendo el hormigonado del muro por tongadas.

También se consideró la posibilidad de ejecutar el muro de hormigón independiente de la fachada existente, creando la conexión entre ambos, una vez realizado el postesado del muro. Sin embargo, la dificultad constructiva y el hecho de que una vez conectados se producirían transferencias de esfuerzos entre ambos, se aconsejó realizar la conexión durante el proceso de hormigonado.

Finalmente, la fachada de ladrillo visto se ancla al muro de hormigón postesado mediante un apoyo perimetral en la parte inferior, abriendo una roza.

Además, se realizaron una serie de cajeados en la cara interior de la fachada de ladrillo, que permitían que el hormigón entrara en la fachada, y que garantizaban, además, su estabilidad horizontal.

FASE 2. PROCESO CONSTRUCTIVO

Adicionalmente a este sistema de ménsulas se distribuyeron un conjunto de redondos anclados a la fachada de ladrillo, que contribuyen a disponer la transferencia de cargas de manera más suave y uniforme. Para finalizar, se colocaron conectores metálicos a lo largo de la fachada.

El proceso constructivo llevado a cabo fue:

1. Limpieza de la cara interior de la fábrica de ladrillo y ejecución de los cajeados de las ménsulas de conexión de la fachada y colocación de las barras de anclaje.

2. Armada y colocación de los cables el muro de hormigón, por fase de hormigona do. Disposición de apeos y encofrados del muro interior, y hormigonado de la tongada correspondiente.

Fig.15. Cajeado de las ménsulas de conexión y armadura de los cables

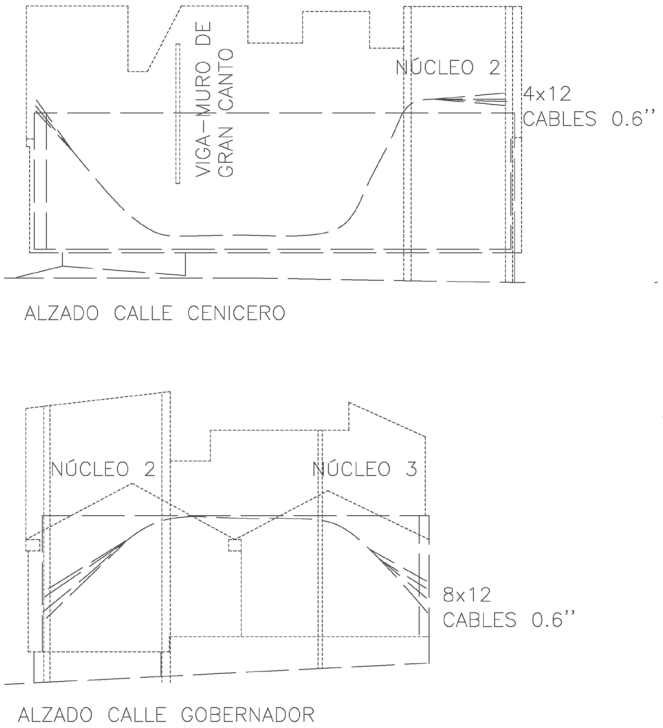


Fig.16. Trazado funicular de los cables

Fig.17. Entramado y pilares de la cubierta

6. Montaje de la Cubierta

A partir de la altura + 11.01 metros, el muro de hormigón lleva unas ménsulas sobre las que van unas placas con unos pilares metálicos, IPE-300, que están distribuidos por toda la fachada, excepto donde hay núcleos que llegan hasta la parte superior. Sobre estos pilares se dispone de un entramado superior de vigas, que resuelven la estructura de la cubierta a dos aguas, ajustándose de esta forma a la geometría requerida en el proyecto.

El entramado está formado por unas vigas principales, HEB-300, que salvan una luz máxima de veinte metros, y unas vigas transversales secundarias, HEB-200. La cumbrera tiene 35 metros de longitud, con apoyos en las vigas-muro de gran canto 1 y 2. (Fig. 17)

Planteamiento Estructural

El requisito principal de la estructura consiste en plantear un sistema que permita la transmisión de las cargas al terreno sin obstaculizar en la plaza creada.
Para ello se planteó un macrosistema estructural formador por: (Fig. 18)

1. Muro perimetral postesado adosado a la fachada preexistente
2. Tres núcleos de hormigón situados en el perímetro, que se comportan como los únicos pilares.
3. Dos vigas-muro de gran canto, que arriostran los núcleos con el muro perimetral postesado.

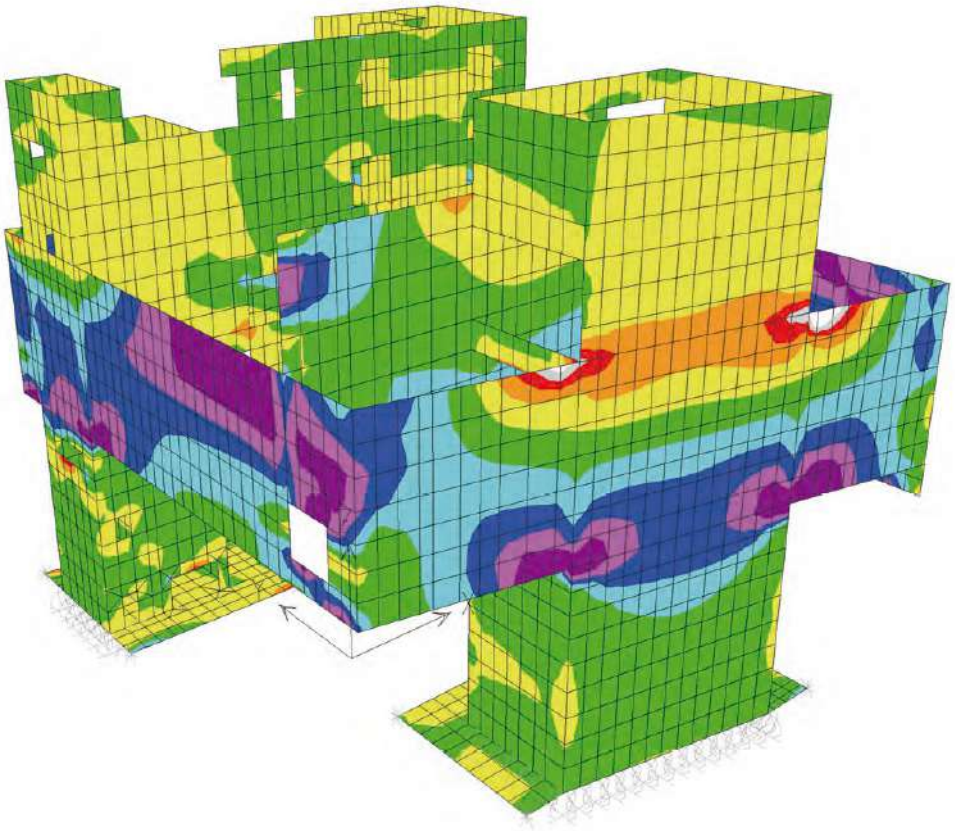


Fig.18. Macrosistema estructural. Vista 3D del modelo de cálculo,

A partir de este sistema, los niveles de planta y cubierta apoyan directamente en el nuevo muro de hormigón, que recoge también el peso del muro existente de ladrillo, y en las vigas-muro de gran canto. Todo ello se apoya en los tres núcleos principales, los cuales son los encargados de transmitir las cargas a la cimentación

Los niveles de planta +4.74 metros, +11.01 metros y +17.28 metros, se han ejecutado mediante 11 vigas armadas metálicas alveoladas de HEB-900 y forjado de chapa nervada, alcanzando el forjado un total de 1.20 metros. Dos muros transversales (vigas-muro de gran canto) arriostran los muros postesados de la fachada, quedando las salas de exposiciones diáfanas, con luces de 20 metros. Estas dos vigas-muro son las que permiten estas grandes luces, una de ellas colocada en el núcleo uno y otra que va del núcleo dos al tres. La primera trabaja con sus extremos en voladizo, abarcando dos plantas y la segunda viga-muro abarca tres plantas.

Finalmente, la estructura bajo rasante se resolvió con un sistema convencional de apoyos verticales (muros pantalla y pilares) y losas macizas de hormigón.
(Fig. 19).

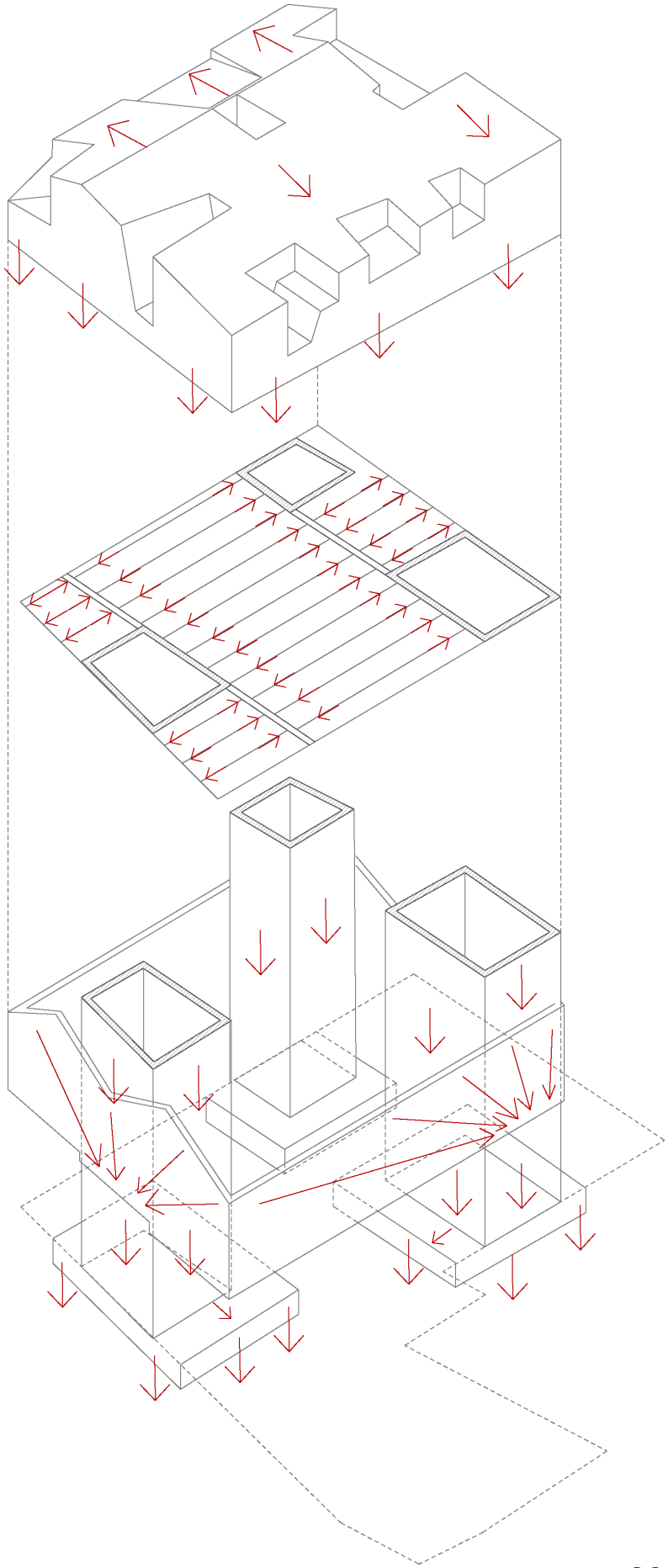
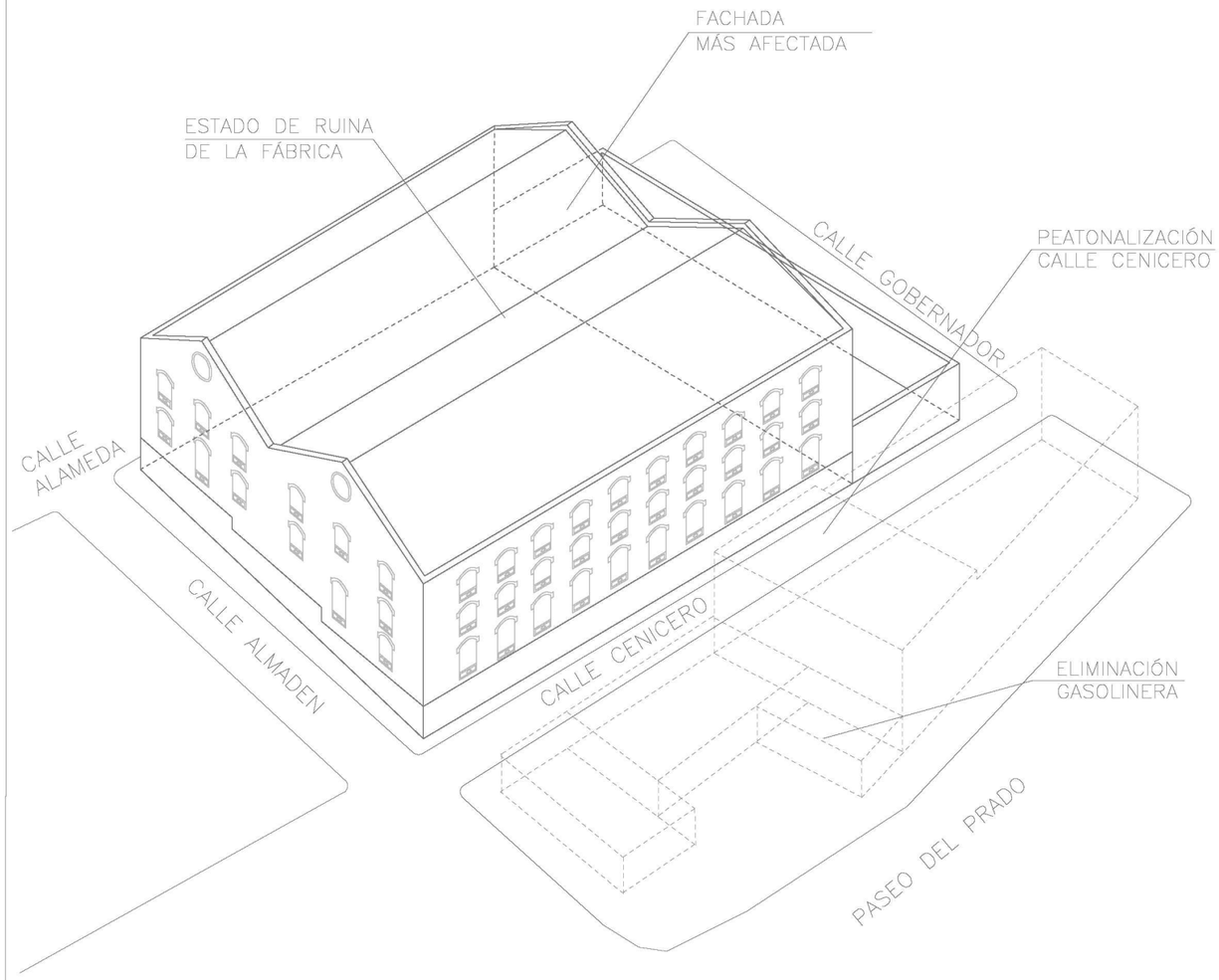


Fig.19. Planteamiento estructural.

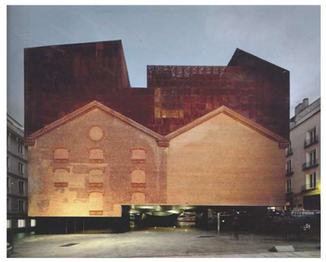
FASE 1 ESTADO PREVIO



FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

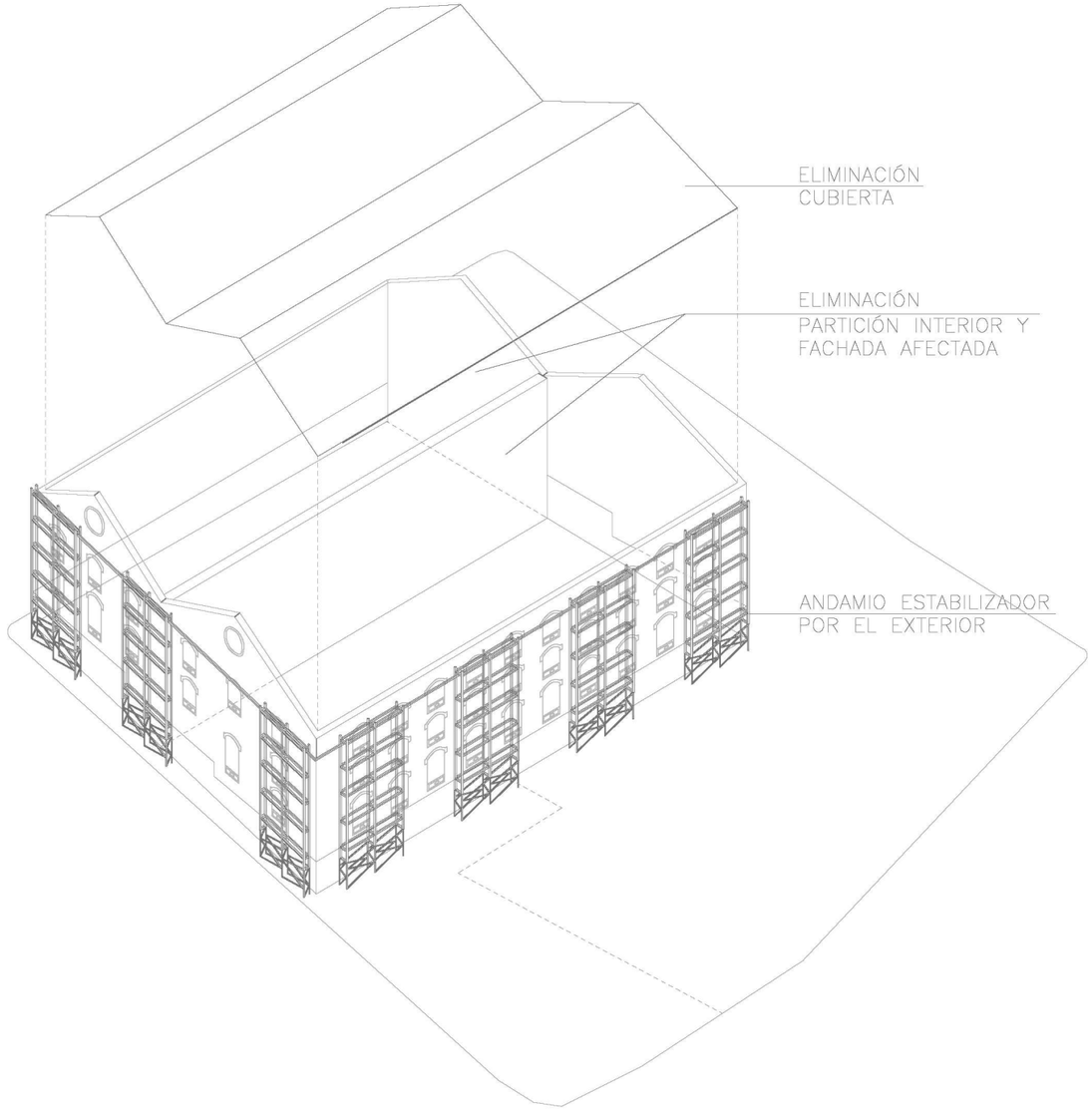
Vista interior

Andamio estabilizador



Vista de fachada rehabilitada y fachada original

FASE 2 ESTABILIZACIÓN DE LA FACHADA



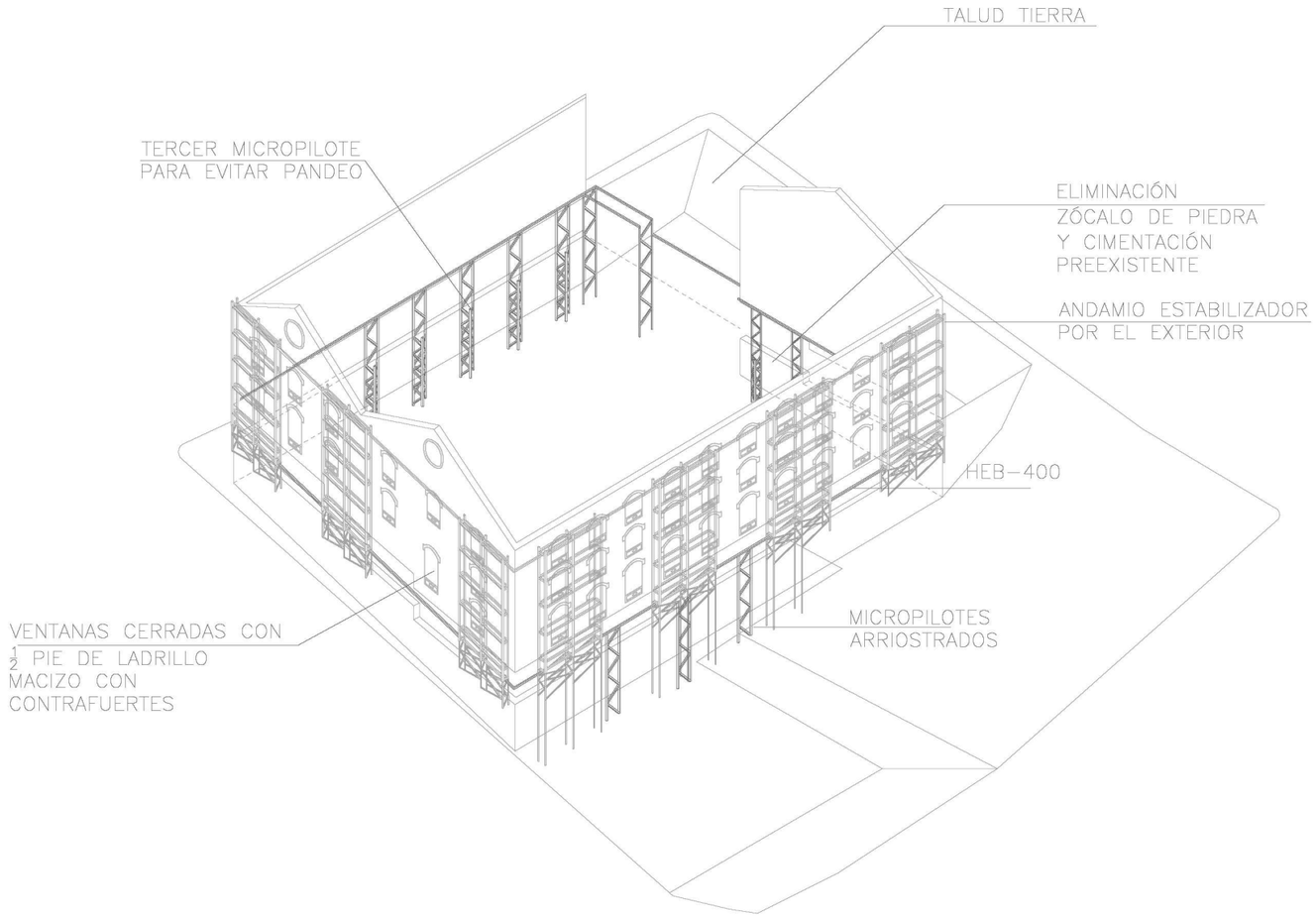
El proceso se inició con el desmontaje de la cubierta de fibrocemento y la eliminación de los muros interiores y los forjados, dejando la envolvente de ladrillo de 80 cm de espesor medio.
A fin de que esta carcasa fuera estable, se colocó un andamio estabilizador por el exterior de la misma.

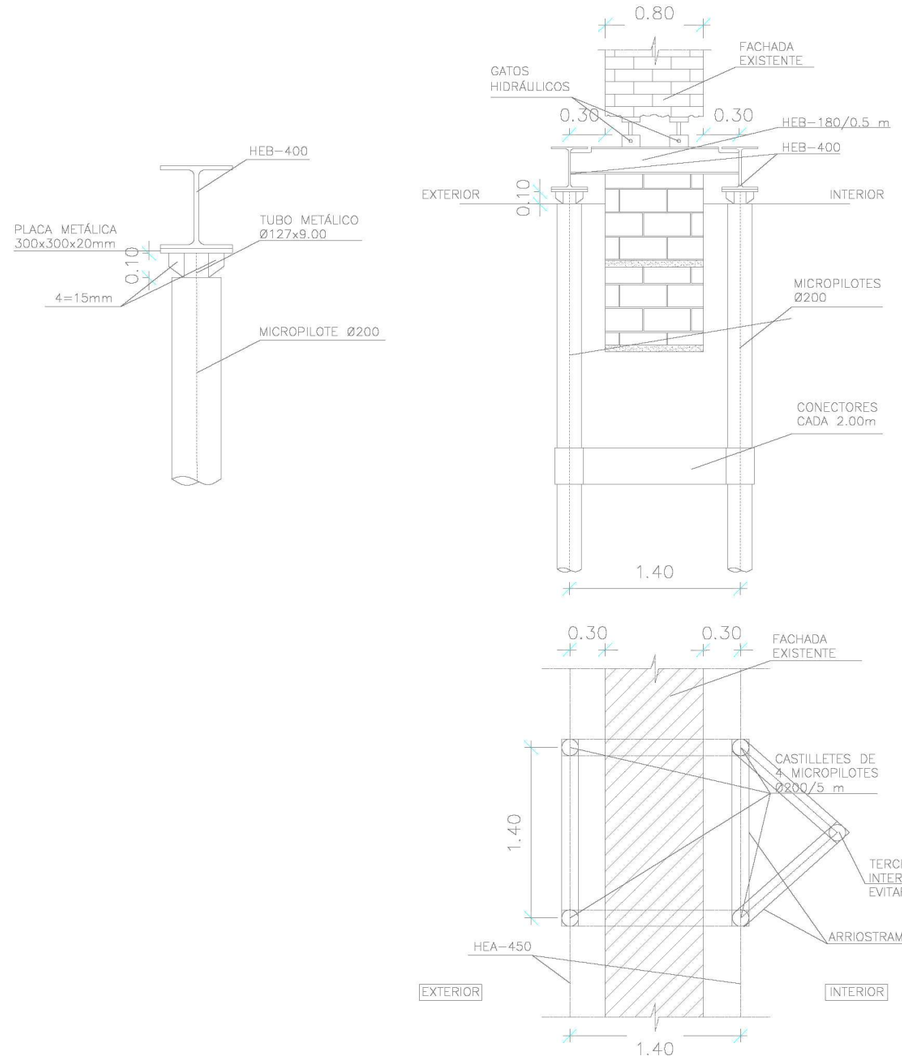
FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

Andamio estabilizador

Vista general de la distribución de andamios

FASE 3 ELIMINACIÓN ZÓCALO DE GRANITO





DETALLE: CASTILLETES PERIMETRALES DE CUATRO MICROPILOTES
ESCALA: 1/50

Para garantizar la transmisión vertical de cargas al terreno, antes del corte de la fachada, se realizaron perimetralmente castilletes de cuatro micropilotes, separados aproximadamente cada 5 metros. La fila que quedaba dentro de la acera no se veía afectado por el pandeo, pero sí el interior, por lo que se realizó una operación paralela a fin de evitar ese pandeo.

El corte de la fachada se realizó al nivel del basamento de granito, y con la fachada sujeta al andamio estabilizador, y con el muro cortado y soportado por micropilotes, se inició el proceso de excavación, hasta la cota de arranque de los muros.

FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

Vista interior

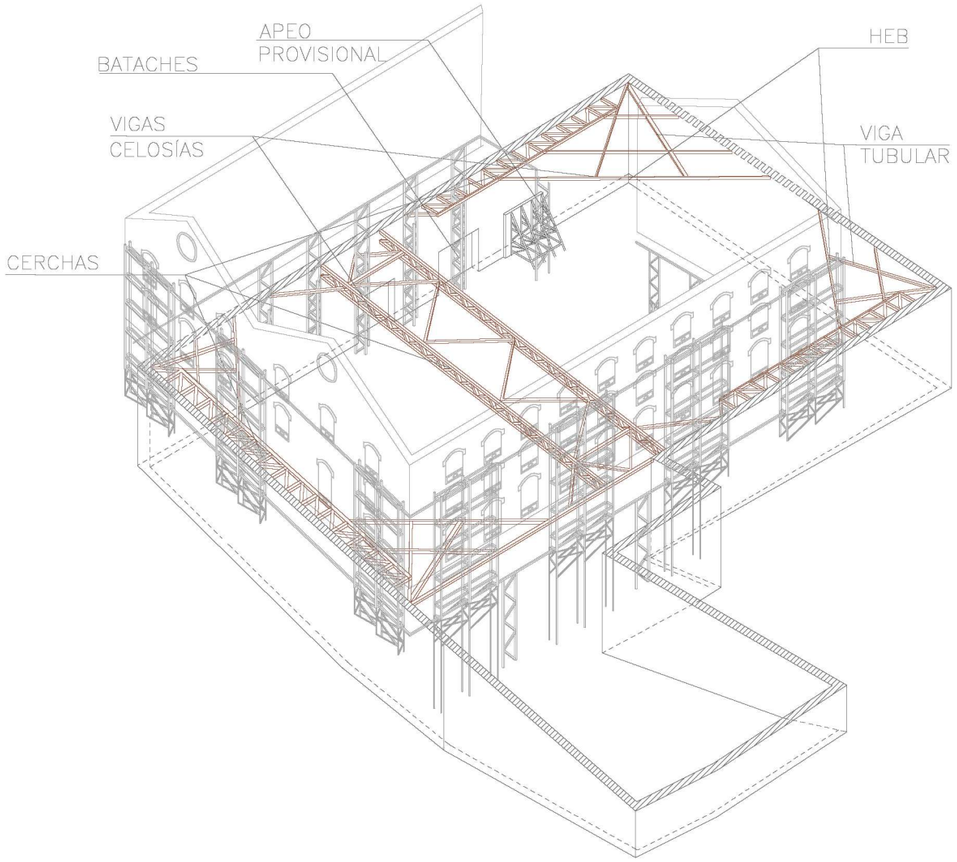
Andamios, viga HEB–400 y micropilotes

Pilotaje

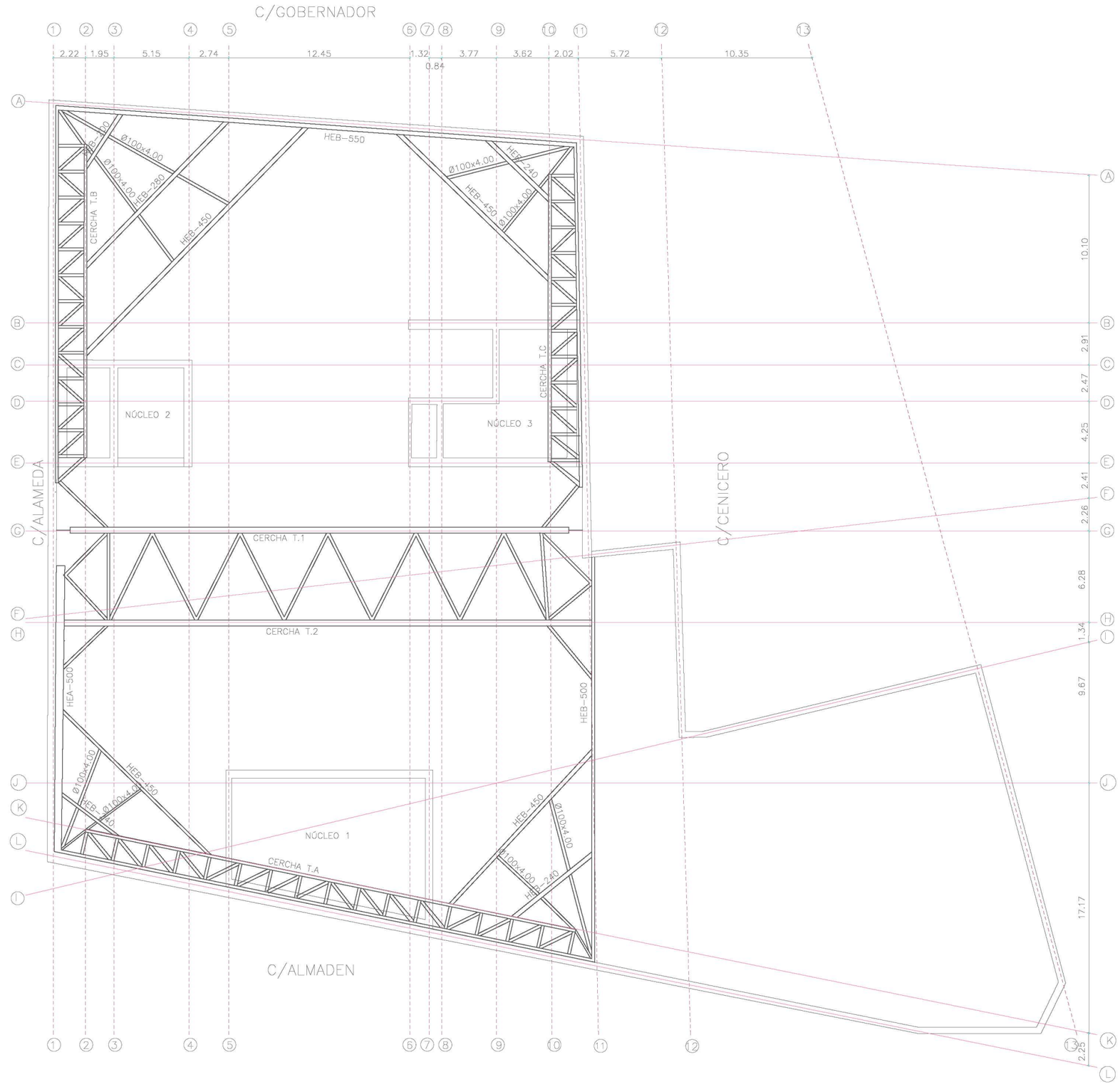
HEB–400

Vista interior

FASE 4 A. EJECUCIÓN DE BATACHES (EXCAVACIÓN)



B. ARRIOSTRAMIENTO DEL EDIFICIO CON VIGAS CELOSÍA DE LADO A LADO

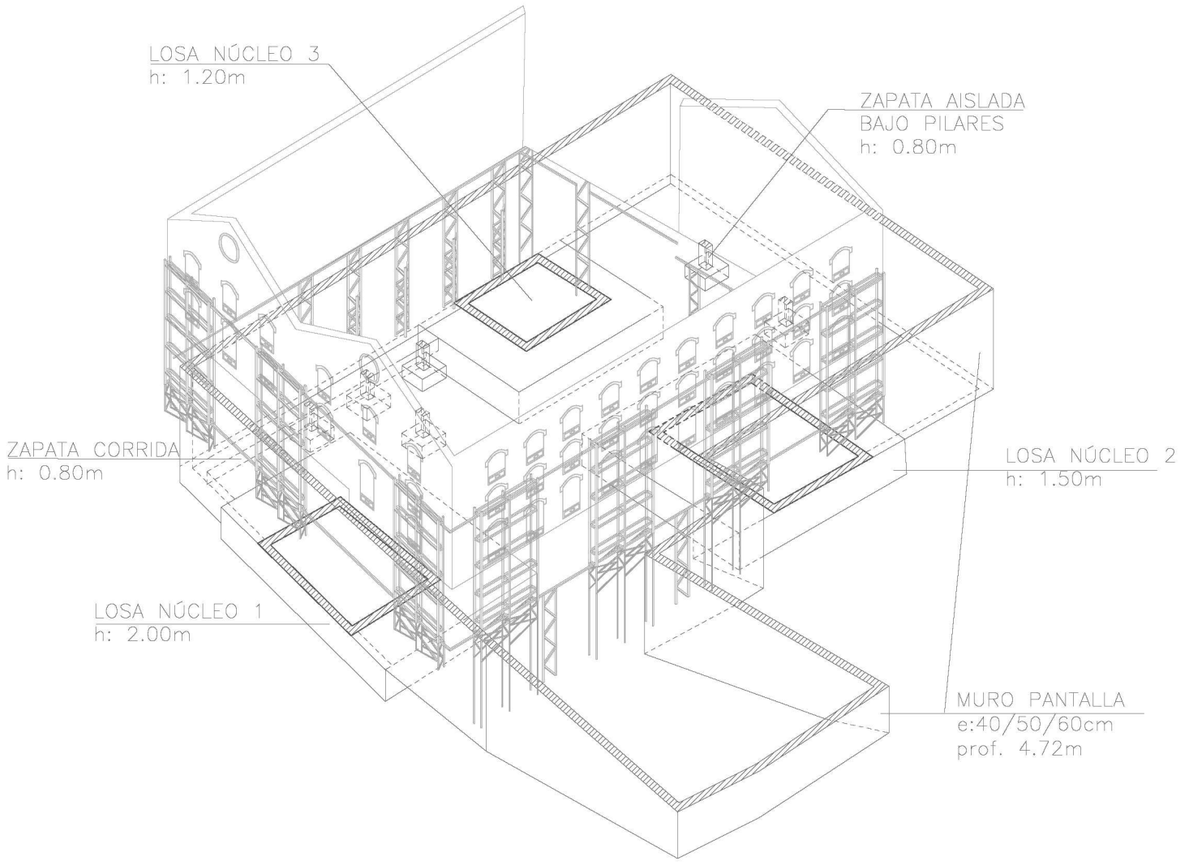


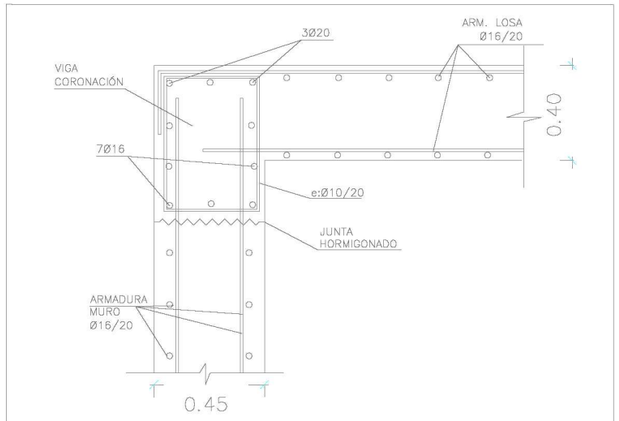
FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

Apeos y vigas celosías

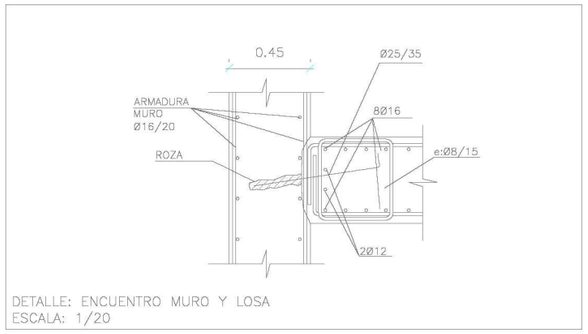
Vista de vigas celosías mirada hacia esquina c/alameda y gobernador

FASE 4 c. PROCESO DE CIMENTACIÓN

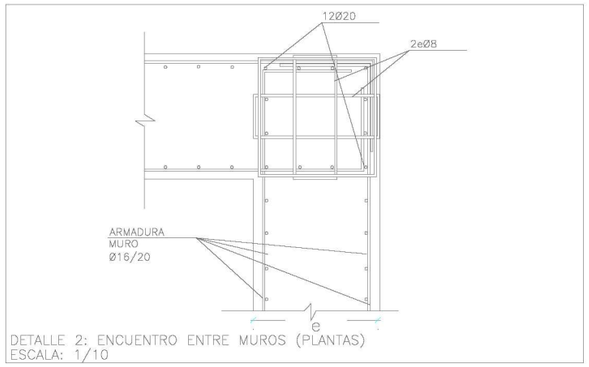




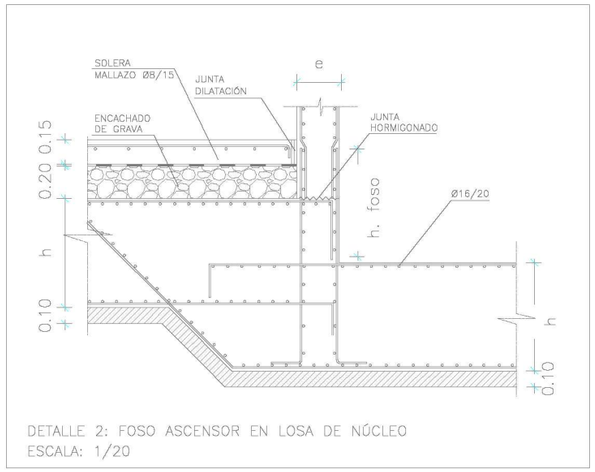
DETALLE: CORONACIÓN MURO PANTALLA
ESCALA: 1/25



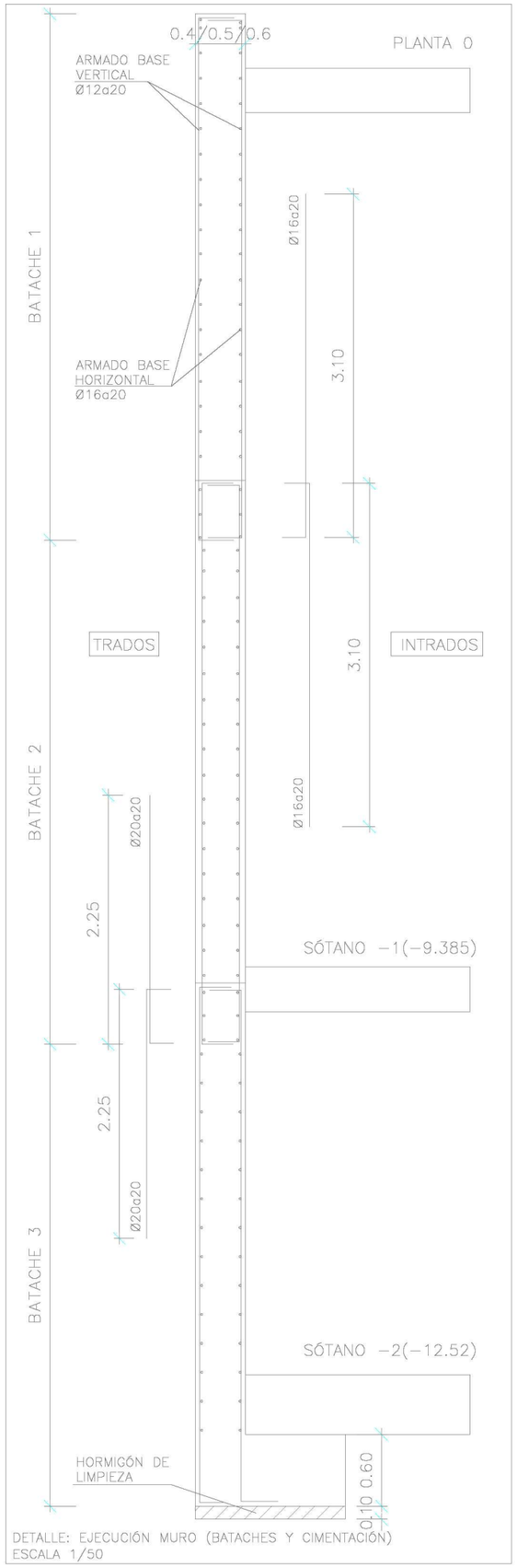
DETALLE: ENCUENTRO MURO Y LOSA
ESCALA: 1/20



DETALLE 2: ENCUENTRO ENTRE MUROS (PLANTAS)
ESCALA: 1/10



DETALLE 2: FOSO ASCENSOR EN LOSA DE NÚCLEO
ESCALA: 1/20



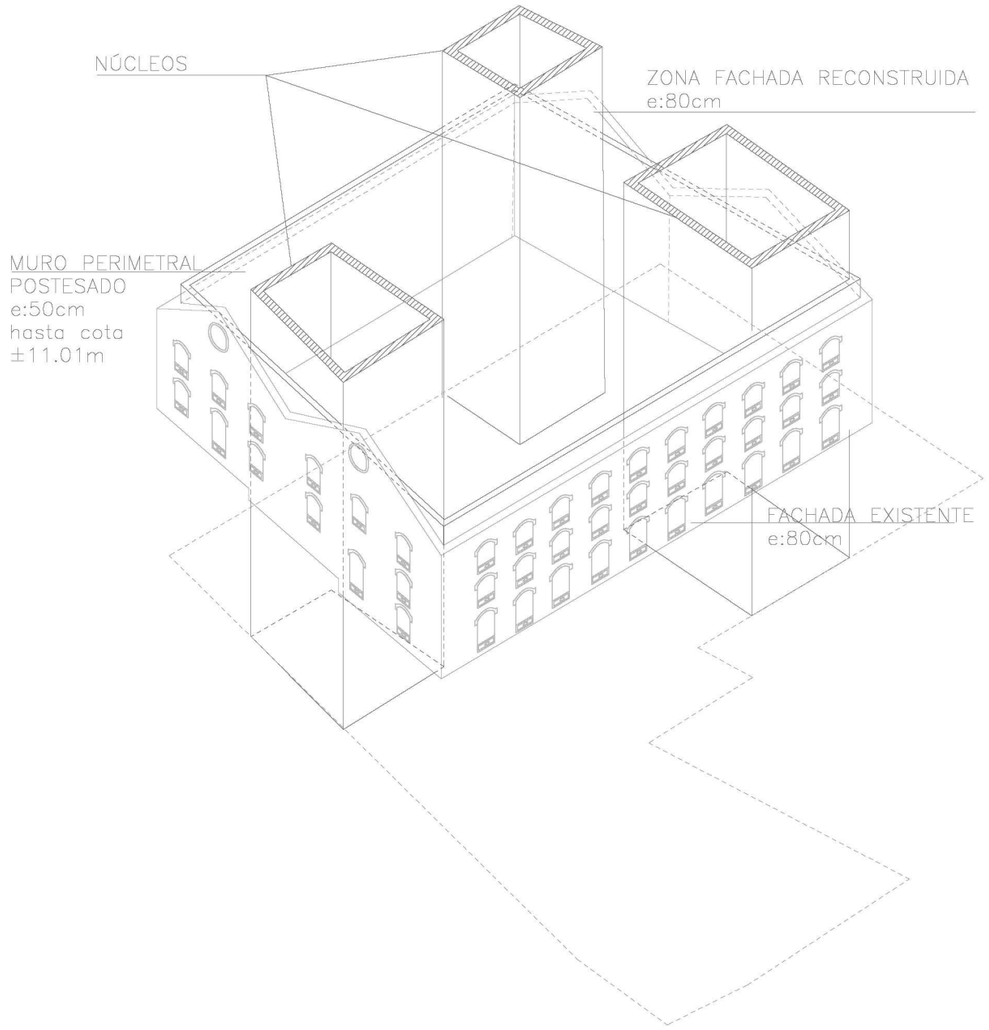
DETALLE: EJECUCIÓN MURO (BATACHES Y CIMENTACIÓN)
ESCALA 1/50

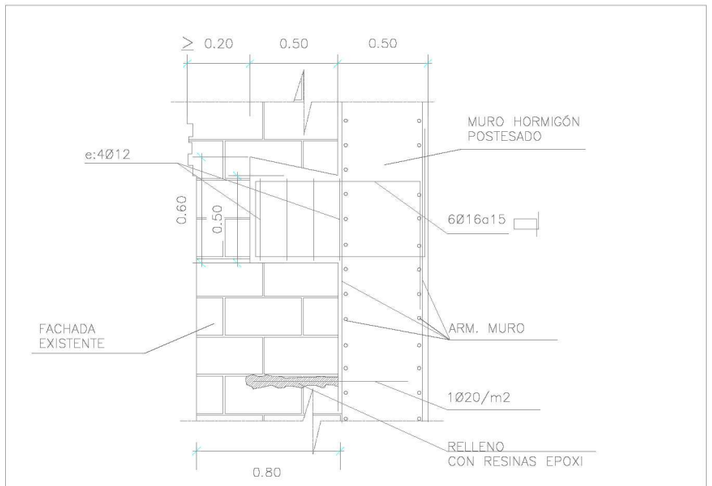
FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001−2008)

Detalle armadura losa

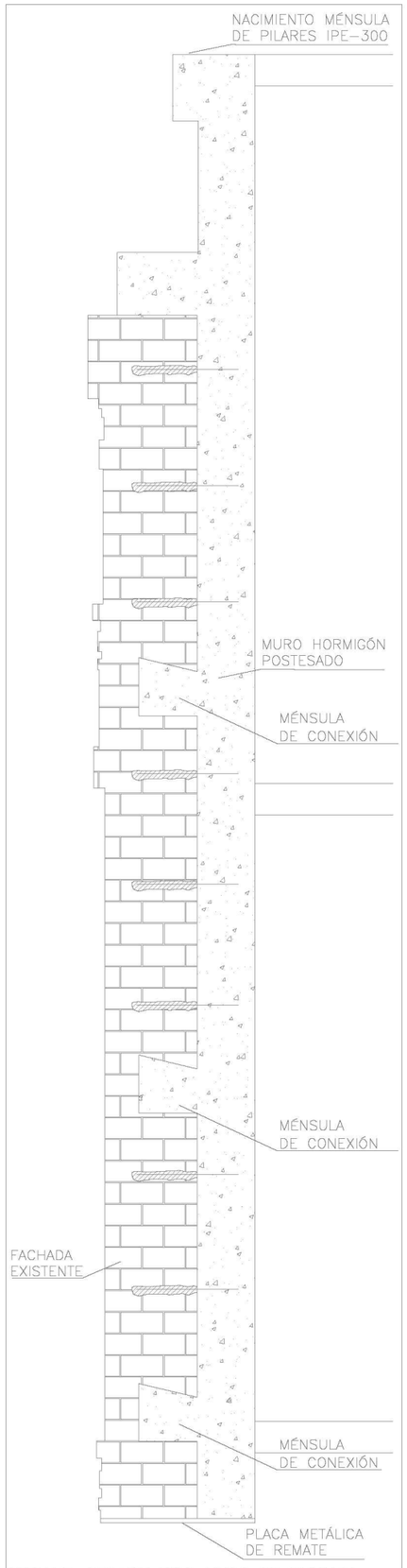
Proceso constructivo núcleo 3

FASE 5 MURO PERIMETRAL POSTESADO

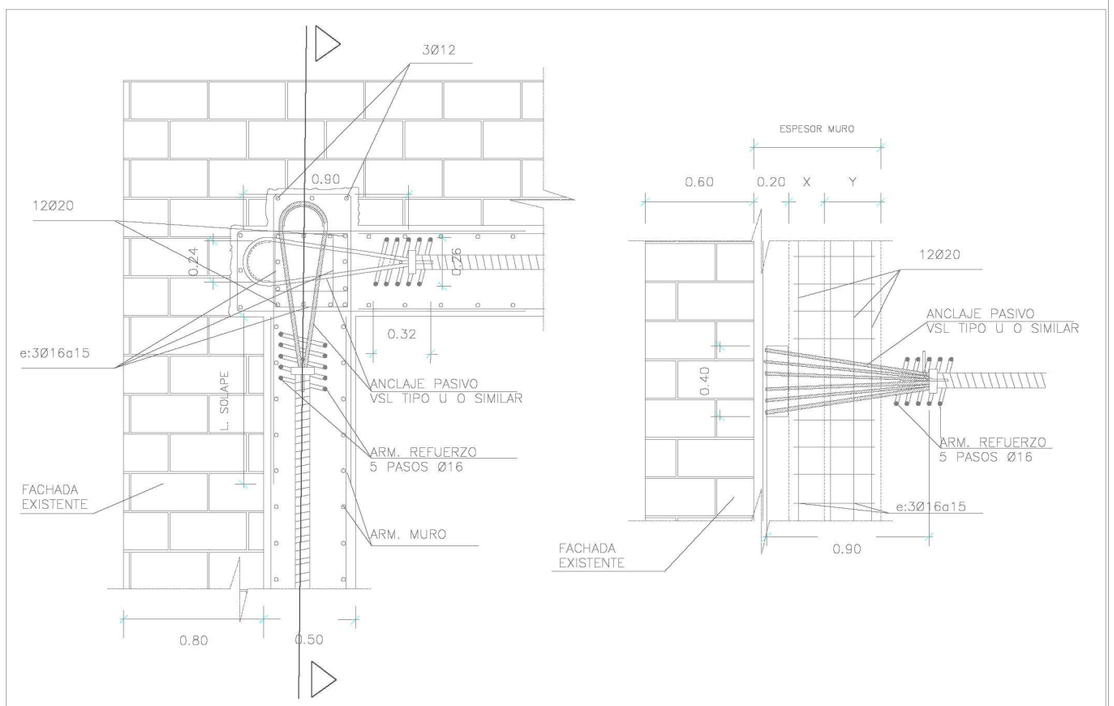




DETALLE: MÉNSULA DE CONEXIÓN
ESCALA: 1/35



DETALLE: SECCIÓN TIPO MURO DE FACHADA
ESCALA: 1/60



DETALLE: ANCLAJE PASIVO
ESCALA: 1/35

FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

Preparación muro

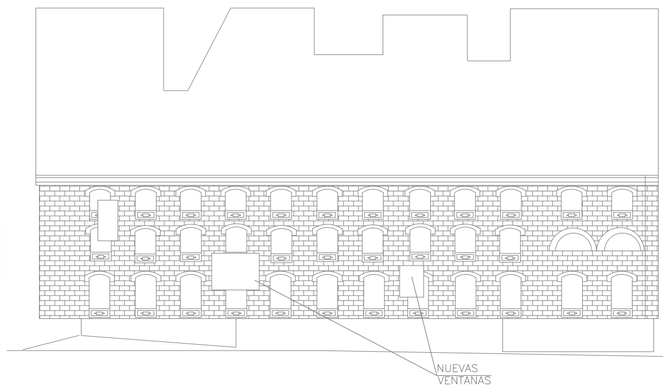
Detalle conexión esquina

Anclaje pasivo

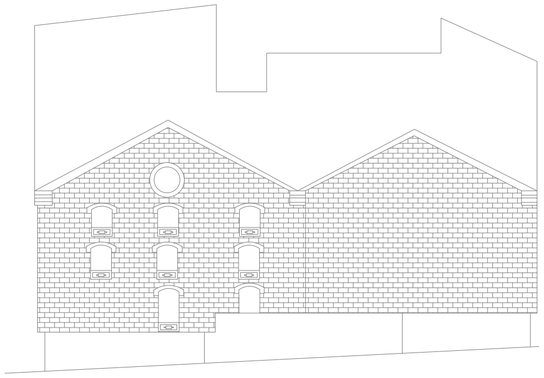
Detalle conexión esquina

FASE 5 MURO PERIMETRAL POSTESADO

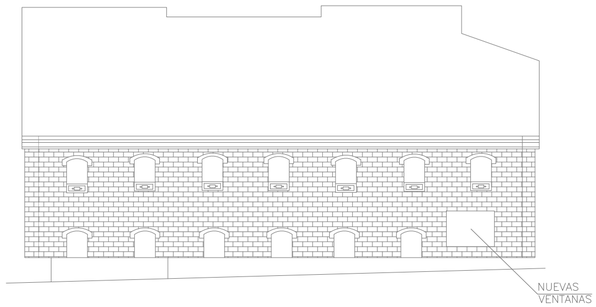
FACHADA DE LADRILLO PREEXISTENTE



ALZADO CALLE CENICERO



ALZADO CALLE GOBERNADOR



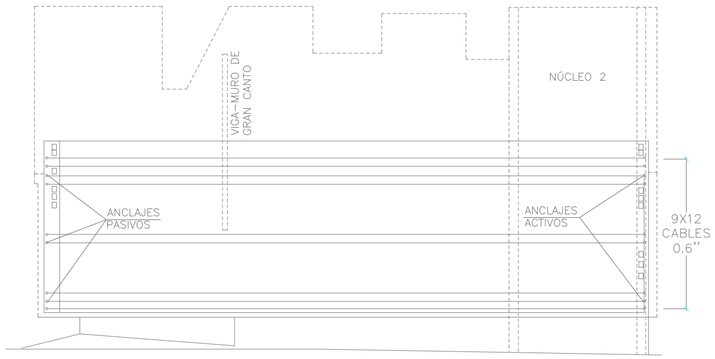
ALZADO CALLE ALAMEDA

ALZADO CALLE ALMADÉN

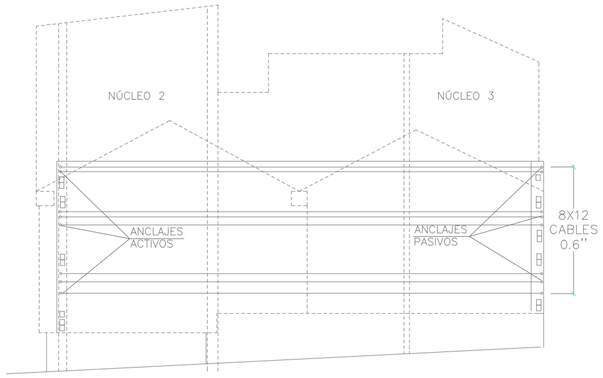
MURO POSTESADO. DISPOSICIÓN Y TRAZADO DE LOS CABLES

Inicialmente se consideró un trazado funicular de los cables ajustado a las cargas. Esta solución es adecuada para control de los esfuerzos en el muro perimetral, pero plantea dificultades constructivas y de ejecución, que obligarían a disponer del sistema de cableado con su armado antes de poder comenzar el hormigonado del muro.

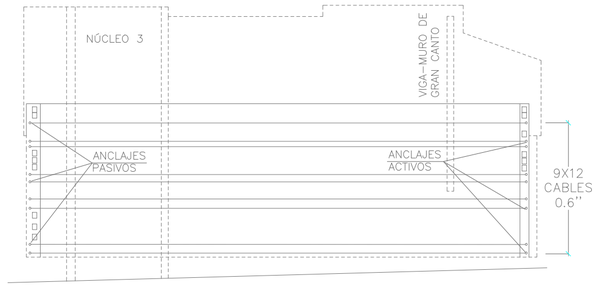
Se optó por un trazado recto de los cables que permite reducir el nivel de tensiones en las zonas más solicitadas, controlando además así la fisuración y los efectos derivados del hormigón. Esta solución favorece enormemente el proceso de ejecución, permitiendo el hormigonado del muro por tongadas.



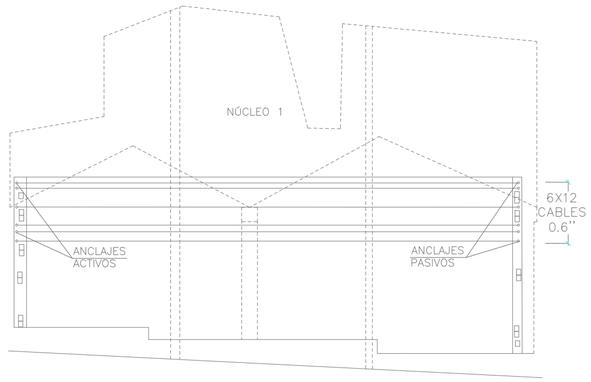
ALZADO CALLE CENICERO



ALZADO CALLE GOBERNADOR



ALZADO CALLE ALAMEDA

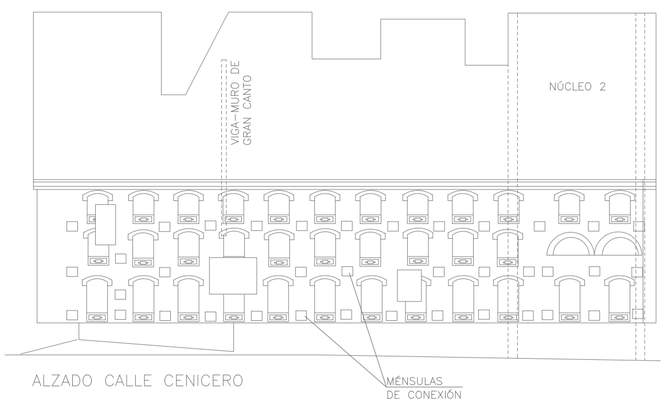


ALZADO CALLE ALMADÉN

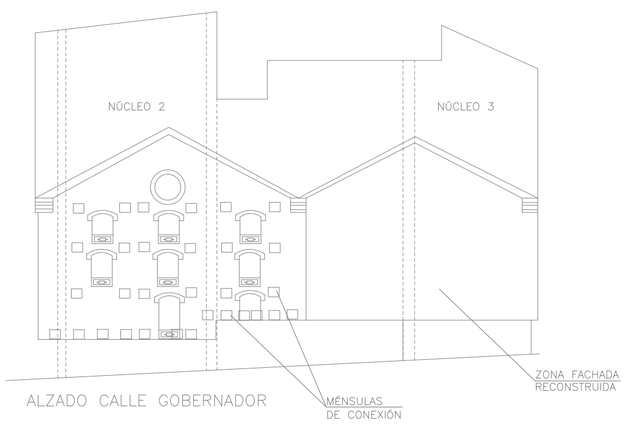
MURO POSTESADO. CONEXIÓN CON FACHADA DE LADRILLO A TRAVÉS DE MÉNSULAS DE CONEXIÓN

Se consideró la posibilidad de ejecutar el muro de hormigón independiente de la fachada existente, creando la conexión entre ambos una vez realizado el postesado del muro. Sin embargo, la dificultad constructiva y el hecho de que una vez conectados se producirían transferencias de esfuerzos entre ambos, aconsejaron realizar la conexión durante el proceso de hormigonado.

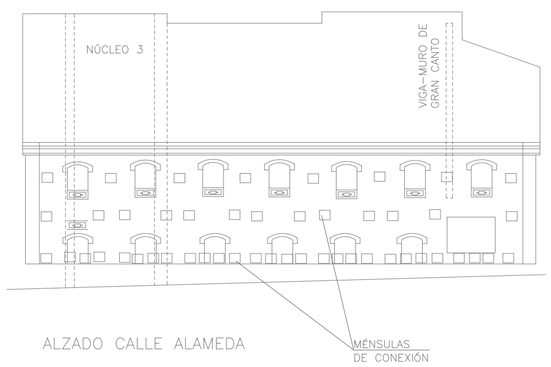
Finalmente, se realizaron una serie de cajeados en la cara interior de la fachada de ladrillo que permitían que el hormigón entrara en la fachada, y que garantizan además su estabilidad horizontal. Adicionalmente a este sistema de ménsulas se distribuyeron un conjunto de redondos anclados a la fachada de ladrillo que contribuyen a disponer la transferencia de cargas de manera más suave y uniforme.



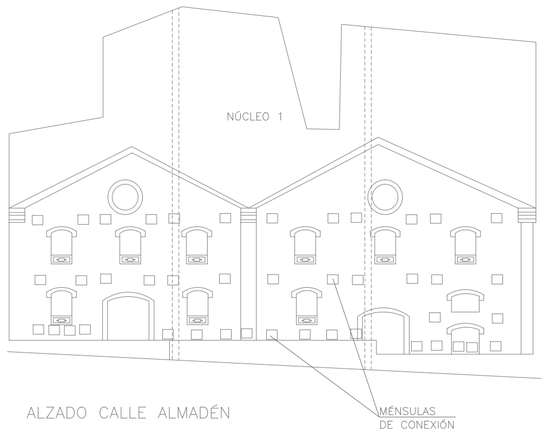
ALZADO CALLE CENICERO



ALZADO CALLE GOBERNADOR

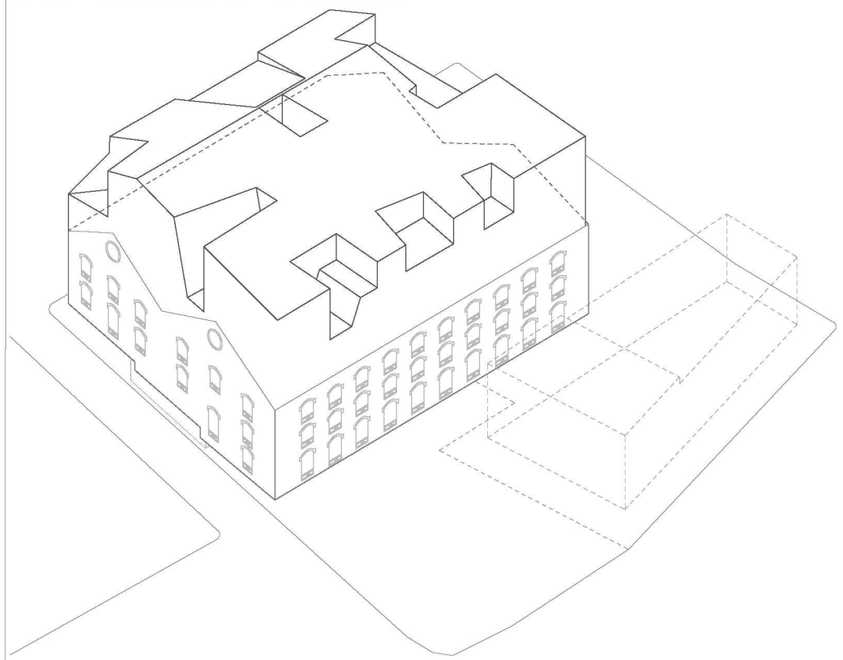


ALZADO CALLE ALAMEDA

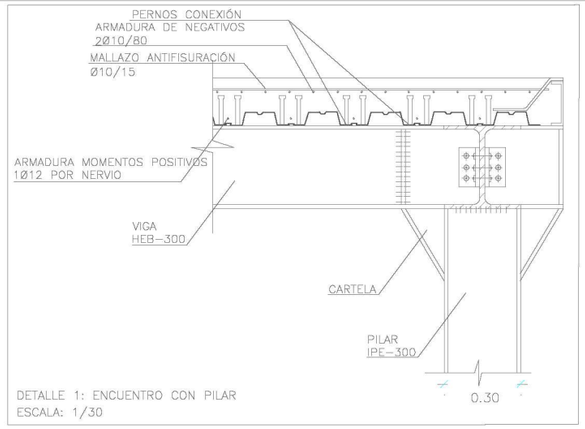


ALZADO CALLE ALMADÉN

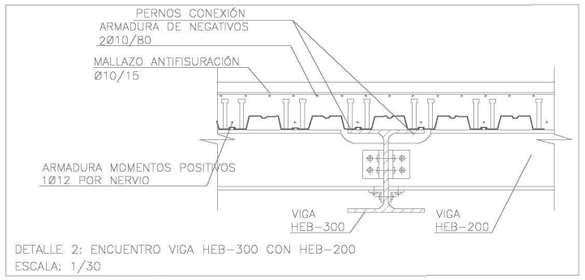
FASE 6 MONTAJE DE LA CUBIERTA



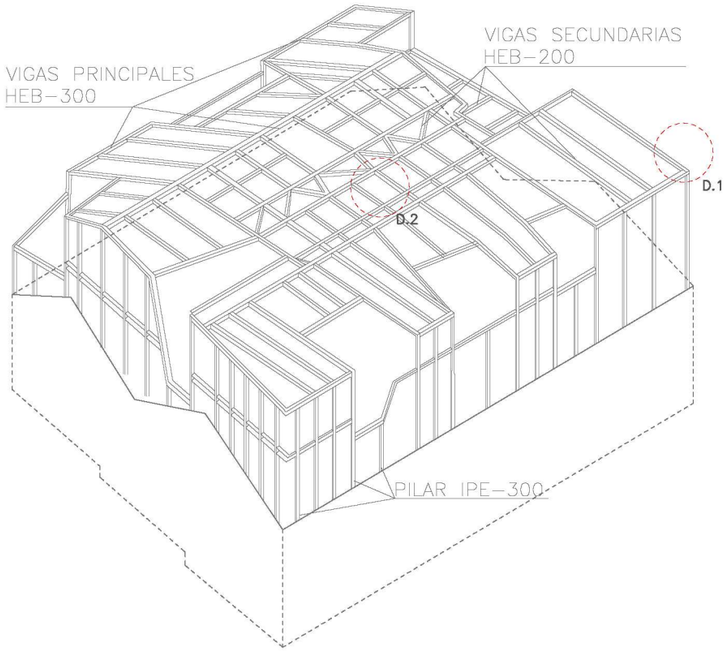
AXONOMETRÍA. ESTRUCTURA METÁLICA DE LA CUBIERTA



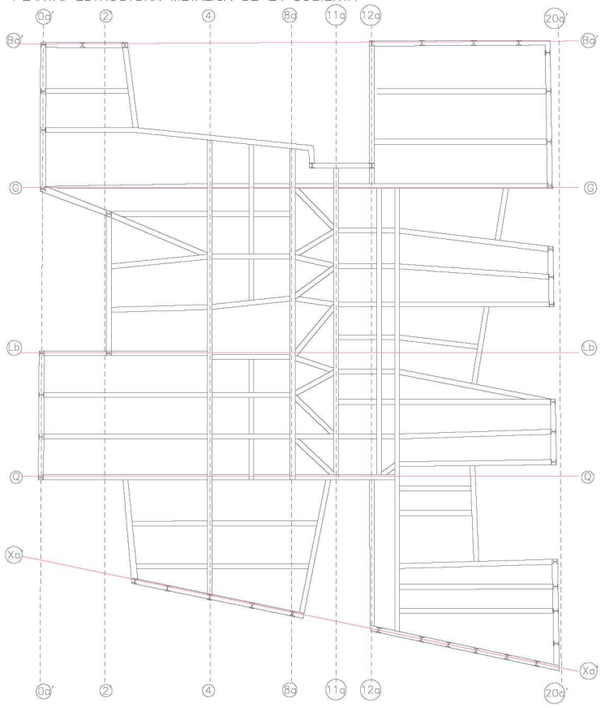
DETALLE 1: ENCUENTRO CON PILAR
ESCALA: 1/30



DETALLE 2: ENCUENTRO VIGA HEB–300 CON HEB–200
ESCALA: 1/30



PLANTA. ESTRUCTURA METÁLICA DE LA CUBIERTA



FOTOGRAFÍAS DE OBRA (2001–2008)

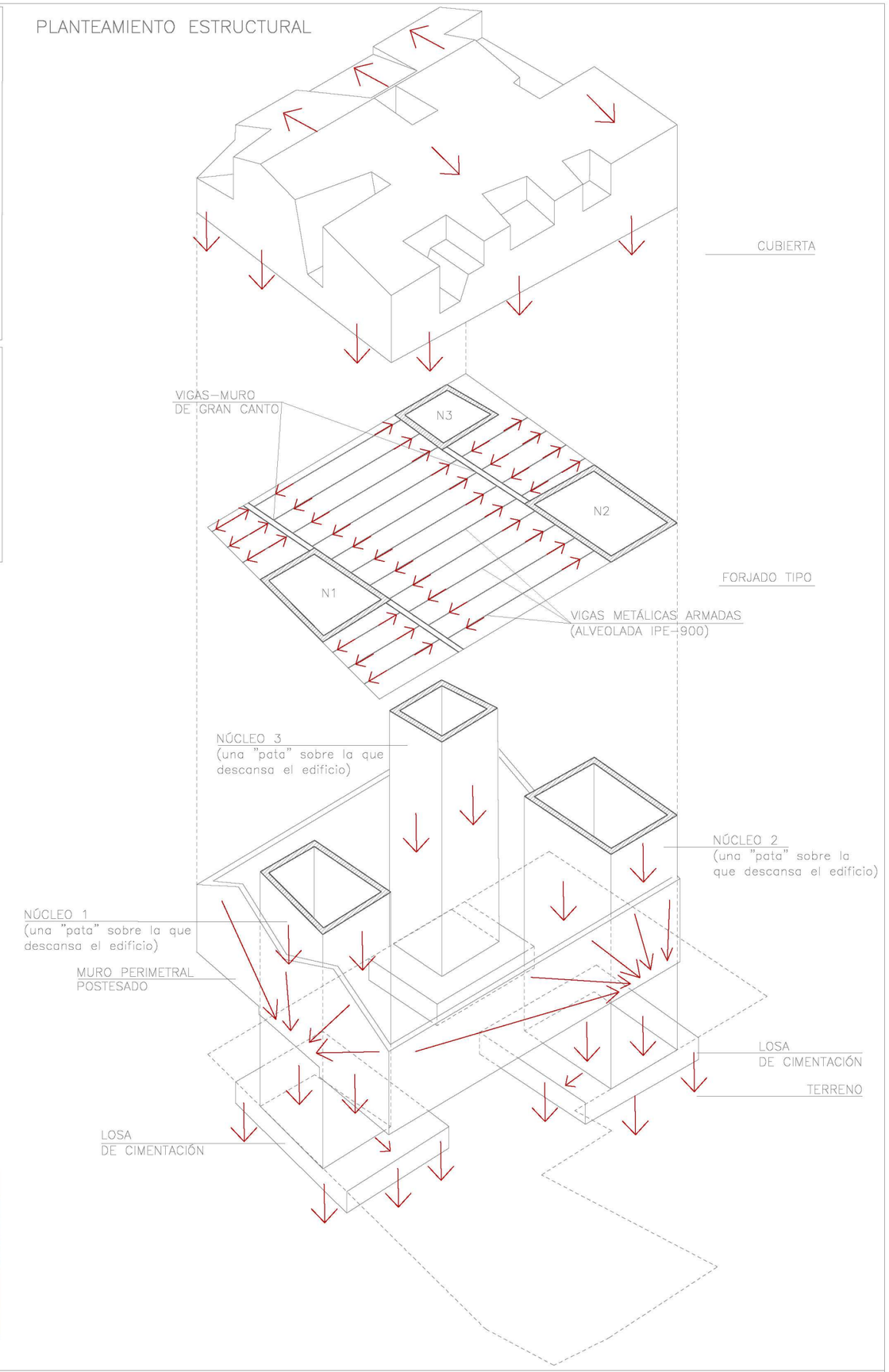
Apoyo a viga–muro de gran canto

Vista general

Encuentro entre vigas HEB–300

Encuentro con pilar IPE–300

PLANTEAMIENTO ESTRUCTURAL



Planteamiento Arquitectónico

El nuevo edificio CaixaForum se sitúa en una zona clave, destacada por la oferta cultural. Por tanto, se suma al triángulo cultural existente, Museo Reina Sofía, Museo del Prado y Museo Thyssen-Bornemisza.

El nuevo centro se enmarca dentro del Proyecto de reordenación del eje Recoletos-Prado, una iniciativa urbanística de gran importancia para Madrid.

El planteamiento de la reforma y rehabilitación ha sido presidido por las siguientes líneas de actuación:

1. La conservación de la imagen del conjunto, manteniendo su geometría original.
2. El incremento de la superficie desde sus 2.000 metros cuadrados originales hasta conseguir un total aproximado de 10.000 metros cuadrados.

Además de ello, el proyecto arquitectónico se basa en otros dos objetivos:

1. Conectar el nuevo edificio de CaixaForum con el Paseo del Prado, mejorando su visibilidad y conexión con la ciudad
2. Configurar un gran espacio público, una plaza, en una zona de Madrid especialmente congestionada. (Fig. 20)

La interación del nuevo edificio con el Paseo del Prado se consigue al disponer del solar contiguo, ocupado por una antigua gasolinera y que se mantiene ahora como un espacio libre, que permite el acceso directo al edificio y aumenta enormemente su visibilidad.

Por otra parte, la creación de la plaza pública se consigue gracias a la eliminación de la base inferior y zócalo de granito de la fachada de ladrillo existente. De esta manera, el volumen del edificio queda “suspendido” en el aire, generando un espacio público cubierto que ocupa la totalidad de la superficie del solar disponible.

La configuración del edificio se completa con la ocupación del espacio bajo rasante en dos niveles de sótano, que se extienden también bajo el solar de la antigua gasolinera.

La suspensión del edificio genera dos zonas programáticas diferenciadas -bajo y sobre rasante-, y separadas por la plaza pública, que actúa como acceso principal del edificio.

El volumen bajo rasante alberga un auditorio de más de 300 plazas, salas polivalentes, almacén, espacios de servicio y plazas de aparcamiento.

En el volumen superior se encuentra el vestíbulo principal, salas de exposición y oficinas de administración y un restaurante con vistas al Paseo del Prado y al Jardín Botánico.

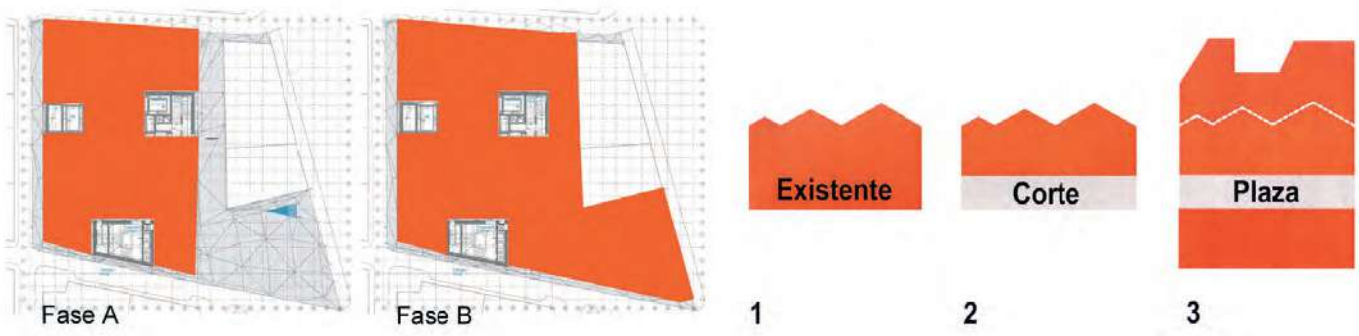


Fig.20 Planteamiento arquitectónico.

Fig.21. Losa postesada

Estructura Bajo Rasante

El forjado de la planta -3.01 metros se dispone de una **losa postesada,** que corresponde a la cubierta del auditorio y del hall principal.

Se optó por la losa postesada debido a la importancia de cubrir una luz de quince metros y las elevadas cargas a soportar, ya que justo corresponde a la zona de acceso del camión de bomberos en los casos necesarios. Gracias a la losa postesada, toda esta problemática se resuelve con un canto del forjado ajustado, 50 centímetros. (Fig, 21 y 22)

El trazado de los cables debe ajustarse en las distintas zonas a la diferente configuración de los apoyos. En la zona central debido a la existencia de dos muros interiores de apoyo muy cercanos provocan que el comportamiento se equipare al de una viga continua de dos vanos. (Fig. 23 y 24).

La marcada direccionalidad del forjado indica una colocación uniforme y unidireccional de cables de 12 cables de 0.6", ajustando su separación uniformemente en los distintos tramos. La cuantía total de activo en la losa es de 18.5 Kg/m2.

Fig.22. Losa postesada

FASE 3. CAIXAFORUM MADRID

La unión de la losa con el núcleo 1 de hormigón se realizó con una junta de hormigonado, que desvinculara temporalmente ambos elementos, a fin de evitar coacciones horizontales.

El apoyo de la losa en los muros perimetrales se llevó a cabo con apoyos provisionales de neopreno, que permitían un desplazamiento horizontal de la losa durante el tesado, evitando de este modo cualquier coacción.

Una vez completado el proceso de tesado, se materializó el apoyo de la losa en el núcleo y se rigidizó la conexión con los muros pantalla.

Fig.23 y 24. Disposición cables de la losa postesada

Fig.25. Módulo poliédrico

Estructura zona de acceso +0.00m

El techo de la plaza es otro elemento singular, de complejidad estructural y constructiva. Esta dificultad se debía a la necesidad de compaginar la geometría triangular quebrada de diferentes pendientes, que define el techo de la plaza, con el forjado horizontal del nivel de planta primera (+0.00m).

La estructura de la zona de acceso está compuesta por triangulaciones que son unas vigas especiales, de canto variables que arrancan en 30 centímetros y acaban en 90 centímetros. El plano va variando según el canto de las vigas. (Fig. 26 y 28)

Este forjado está suspendido, está colgando mediante once tirantes metálicos anclados a las vigas del forjado de la cota +4.74 metros. Además, va apoyado perimetralmente en las ménsulas de borde, que son en total cuarenta y cinco ménsulas de apoyo. De estos once tirantes, todos están a la vista, menos dos de ellos que están empotrados en muros.

Fig.26. Colocación de las triangulaciones

La estructura de este forjado está formada por un conjunto de módulos poliédricos, que se conectan entre sí hasta ocupar la totalidad de la superficie. (Fig. 25).
Cada uno de estos módulos está formado por los siguientes elementos:

1. Placas metálicas inferiores, de 12 mm de espesor y de forma triangular. Estas placas están reforzadas por rigidizadores secundarios. Todas ellas definen la topografía quebrada del techo de la plaza.

2. Rigidizadores verticales principales, de 12 mm de espesor y canto variable, que actúan como alma de la viga. Estos rigidizadores en las aristas de las placas inferiores hace que en un mismo punto se intersecten hasta ocho rigidizadores. Esta intersección se resolvió mediante cilindros metálicos de diversos diámetros. Además, en estos cilindros se sitúa el anclaje de los tirantes metálicos, en aquellos puntos donde se disponga de los mismos. (Fig. 27)

3. Alas metálicas superiores, de 12 mm de espesor y 30 cm de ancho, sobre las que se disponen los pernos conectadores de unión de la estructura metálica con la capa de compresión de hormigón.

Fig.27. Intersección en cilindro

Fig.28. Construcción de las triangulaciones

Fig.29. Tirantes de cuelgue

Un aspecto de importancia y complejidad de este sistema son los elementos de apoyo, en el perímetro del forjado y en una serie de puntos interiores, en los que cuelga del nivel superior.

Los apoyos en el perímetro se localizan en los puntos de intersección de los rigidizadores principales con el muro perimetral. Estos apoyos debían ser capaces de recoger esfuerzos verticales, permitiendo además un cierto desplazamiento horizontal en ambas direcciones, con el objetivo de reducir el efecto de las acciones térmicas. Además de esto, debían acomodarse a las condiciones geométricas de cada zona, resultando en algún caso la altura total disponible, para la estructura del forjado y el sistema de apoyo, de tan sólo 32 cm.

Por tanto, estos apoyos se resolvieron mediante una ménsula embebida en el muro de hormigón sobre la que se dispone la estructura del forjado, que reposa en un neopreno que permite el desplazamiento horizontal. La estructura del forjado se conecta adicionalmente a la ménsula con cuatro tornillos verticales, que resuelven la coacción de las reacciones verticales positivas. La conexión de estos tornillos a la ménsula se configuró con agujeros rasgados, permitiendo así el desplazamiento horizontal en cualquier dirección.

Por otra parte, los tirantes interiores de cuelgue se resolvieron con barras macizas de acero GEWI de 50 y 63,5 mm de diámetro, recubiertas con un tubo metálico, que conectan la estructura del forjado de planta primera (0.00m) a las vigas mixtas del nivel superior (4.74m). (Fig. 29)

Los nudos de conexión de los tirantes se realizaron mediante rótulas, que permiten el giro en sus extremos, garantizando que no se producen esfuerzos de flexión en los tirantes.

El montaje de la estructura se realizó trayendo del taller conjuntos de varios módulos metálicos poliédricos premontados, y realizando en obra el montaje y la conexión entre los distintos módulos.

Una vez realizado el montaje en obra, se dispusieron sobre las alas superiores una serie de placas metálicas triangulares rigidizadas, que cierran el volumen triangular inferior, y actúan como encofrado perdido de la capa de compresión de hormigón. Finalmente se dispusieron los pernos conectadores y se realizó el armado y hormigonado del forjado (Fig. 30).

Fig.30. Vista interior.

Fig.31. Vigas metálicas

Estructura mixta forjados superiores

Los forjados de los niveles superiores están definidos por los tres núcleos de comunicación, el muro perimetral y las dos vigas-muro de gran canto interiores. Estos elementos definen un espacio central, que corresponde a la sala principal de exposiciones, de aproximadamente 20,0 x 36,0 metros, y tres espacios laterales de menor luz, anexos a los núcleos.

La estructura de estos forjados se resolvió mediante un sistema mixto, formado por once vigas metálicas alveoladas HEB-900 (a fin de permitir el paso de conductos de instalaciones) situadas cada 3,0 metros, y forjado de chapa nervada y capa de compresión.

Estas vigas mixtas salvan una luz máxima de 20 metros entre las dos vigas-muro de gran canto y tienen un canto total (viga metálica y capa de compresión) de 110 cm. (Fig. 31, 32 y 33)

En el caso de la estructura de cota +4.74m, algunas de las vigas soportan, además de las cargas propias de este forjado, cargas puntuales correspondientes a los tirantes, que permiten el cuelgue del forjado de la planta primera (+0.00m). En este caso el canto total de la sección mixta es algo mayor, de 120 cm, requiriendo las vigas metálicas espesores de alas importantes, de hasta 80 mm en las de mayor solicitación.

La solución de forjados es muy ligera, lo que supone una enorme ventaja de cara al planteamiento y dimensionado del macrosistema estructural.

Así mismo, la solución adoptada contribuye positivamente a definir la configuración espacial de las salas de exposiciones.

Fig.32 y 33. Vigas metálicas alveoladas y forjado chapa nervada.

Fig.34. Cubierta de la maqueta

Volumen superior, Cubierta

El volumen superior, que completa el proyecto, está definido por cuatro planos verticales, prolongación de las fachadas existentes, y una cubierta a dos aguas.

Esta sencilla geometría se ve, sin embargo, interceptada por una serie de quiebros (nichos) y volúmenes excavados, que derivan del perfil tridimensional de los edificios adyacentes, generando una volumetría final que se integra con el paisaje urbano del entorno más inmediato. (Fig. 34)

Estructuralmente se configuró mediante un sistema metálico formado por un conjunto de pilares verticales IPE-300, distribuidos por todo el perímetro, y un entramado superior de vigas que se ajustan a la volumetría proyectada.

Los pilares de fachada se apoyan directamente sobre el muro de hormigón postesado y recogen la estructura de la cubierta, formada por una serie de vigas principales HEB-300, que salvan una luz máxima de 20 metros, y un conjunto de vigas transversales secundarias HEB-200. Sobre este entramado metálico se dispuso finalmente una subestructura, que recoge las pesadas planchas de fundición que conforman la imagen final del nuevo volumen.

Escalera de Acceso

La escalera está formada por piezas metálicas triangulares similares a las del techo de la plaza que, dispuestas en sus caras interior y exterior, definen en este caso un volumen poliédrico que asciende desde el suelo de la plaza hasta el forjado de la cota +0.00m.

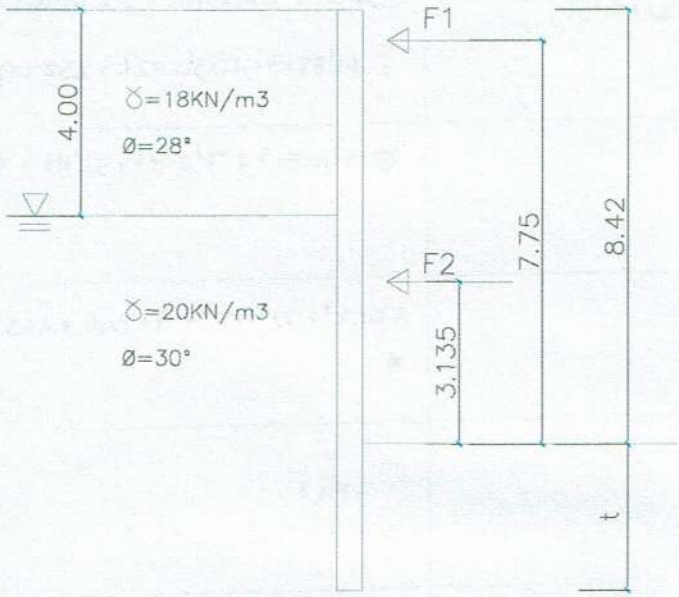
La estructura se llevó a cabo mediante una serie de pórticos metálicos, que se ajustan al volumen de la pieza, sobre los que se disponen las placas triangulares metálicas.

Estos pórticos cuelgan en sus extremos del forjado de planta primera y se apoyan en el contacto con el forjado inferior, produciendo el efecto de que el techo de la plaza se despliega y desciende para recoger a los visitantes del edificio. (Fig. 35)

Fig.35. Escalera apoyo en el forjado inferior

CÁLCULOS

CIMENTACIÓN – Muro pantalla

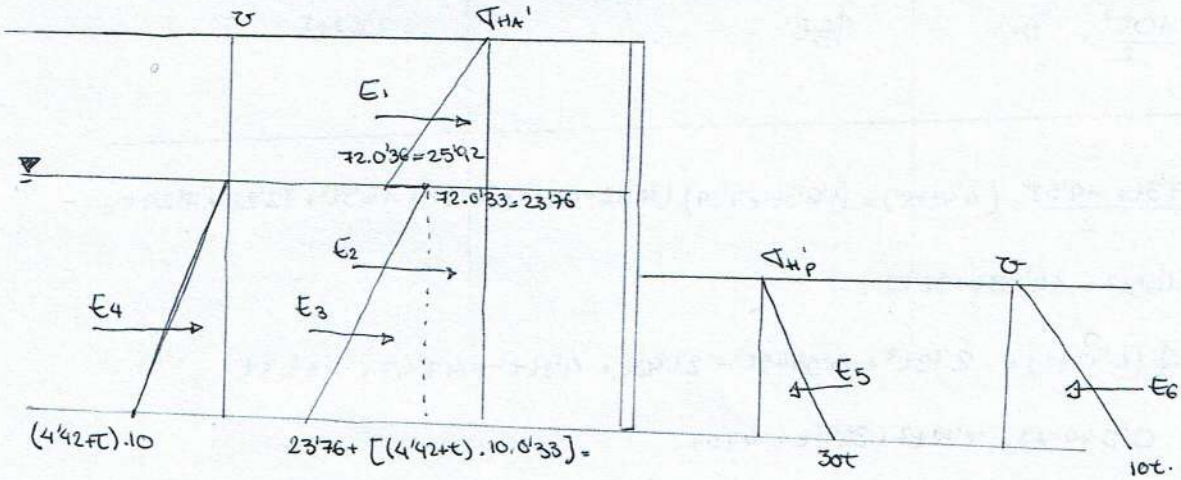


Empujes:

$k_{a1} = tg^2(45 - \phi'/2) = 0'36$

$k_{a2} = tg^2(45 - 30/2) = 0'33$

$k_p = tg^2(45 + 30/2) = 3$



$= 23'76 + 3'3t + 14'58 =$

$= 3'3t + 38'34.$

Empujes	Brazos	Momento
$E_1 = \frac{1}{2}(25'92 \cdot 4) = 51'84$	$\frac{1}{3} \cdot 4 + (4'42 + t) =$ $= 5'75 + t$	$298'08 + 51'84t$
$E_2 = 23'76 \cdot (4'42 + t) =$ $= 105'0192 + 23'76t$	$\frac{4'42 + t}{2} = 2'21 + 0'5t$	$232'09 + 52'5096t + 52'5096t + 11'88t^2 =$ $= 11'88t^2 + 105'0192t + 232'09$
$E_3 = \frac{3'3t + 14'58}{2}(4'42 + t)$ (*)	$\frac{1}{3}(4'42 + t)$	$0'5445t^3 + 7'24t^2 + 32'11t + 47'47$
$E_4 = \frac{[44'2 + 10t] \cdot (4'42 + t)}{2}$ (*')	$\frac{1}{3}(4'42 + t)$	$1'65t^3 + 21'94t^2 + 97'34t + 143'911$ *
$-E_5 = -\frac{1}{2} \cdot 30t^2 = -15t^2$	$1/3t$	$-5t^3$
$-E_6 = -\frac{10t^2}{2} = -5t^2$	$1/3t$	$-1'67t^3$

(*) $E_3 = \frac{3'3t + 14'58}{2}(4'42 + t) = (1'65t + 7'29)(4'42 + t) = 7'293t + 1'65t^2 + 32'22 + 7'29t =$

$= 1'65t^2 + 14'58t + 32'22.$

$E_3 \cdot \frac{1}{3}(4'42 + t) = 2'43t^2 + 0'5445t^3 + 21'48t + 4'81t^2 + 47'47 + 10'63t =$

$= 0'5445t^3 + 7'24t^2 + 32'11t + 47'47.$

(*') $E_4 = \frac{(44'2 + 10t) \cdot (4'42 + t)}{2} = \frac{1}{2}(195'364 + 44'2t + 44'2t + 10t^2) = 97'68 + 22'1t + 22'1t + 5t^2 =$

$= 5t^2 + 44'2t + 97'68.$

$E_4 \cdot \frac{1}{3}(4'42 + t) = 7'3665t^2 + 1'65t^3 + 65'11t + 14'58t^2 + 143'911 + 32'23t =$

$= 1'65t^3 + 21'94t^2 + 97'34t + 143'911.$

$\Sigma M_o = 0$

$$298'08 + 51'84t + 232'09 + 11'88t^2 + 105'0192t + 0'5445t^3 + 7'24t^2 + 32'11t + 47'47 + 1'65t^3$$
$$+ 21'94t + 97'34t + 143'911 - 5t^3 - 1'67t^3 = 0$$

$$-4'4755t^3 + 41'06t^2 + 286'309t + 721'551 = 0$$

$$\underline{t = 14'39\,m}$$

<u>Fuerza</u>

Empuje	Brazo	Momento
$-F_1$	$-(7'75+t)$	$-F_1(7'75+t)$
$-F_2$	$-(3'135+t)$	$-F_2(3'135+t)$

$$\Sigma F = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 - E_5 - E_6 - F_1 - F_2 = 0.$$

$$51'84 + 105'0192 + 23'76t + \left[\left(\frac{3'3t + 14'58}{2}\right)(4'42+t)\right] + \left[\frac{(44'2+10t)(4'42+t)}{2}\right] - 15t^2 - 5t^2 - 2F = 0$$

$$F_1 = F_2$$

$$F = \frac{-18'35t^2 + 185'22t + 189'08}{2}.$$

$\Sigma M_o = 0.$

$$-4'4755t^3 + 41'06t^2 + 286'309t + 721'551 - F_1(7'75+t) - F_2(3'135+t) = 0.$$

$$F_1(7'75+t) = \frac{-18'35t^2 + 185'22t + 189'08}{2}(7'75+t) =$$

$$= -71'10t^2 - 9'175t^3 + 717'72t + 92'61t^2 + 1465'37 + 94'54t$$

$$F_2(3'135+t) = \frac{-18'35t + 185'22t + 189'08}{2}(3'135+t) =$$

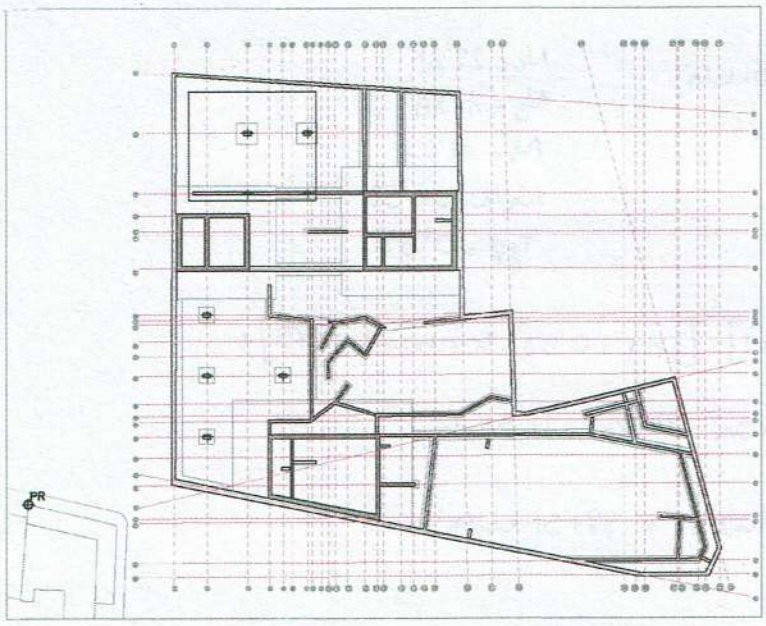
$$= \cancel{-2'69} - 28'76t^2 - 9'175t^3 + 290'33t + 92'61t^2 + 297'63 + 94'54t$$

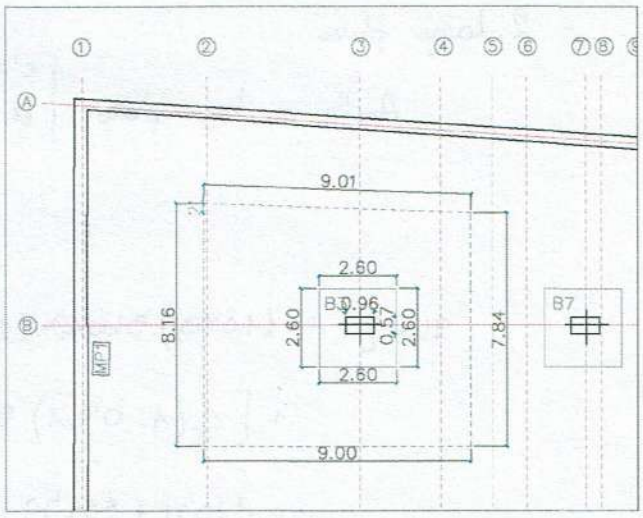
$$13'86t^3 - 44'3t^2 - 910'82t - 1041'449 = 0$$

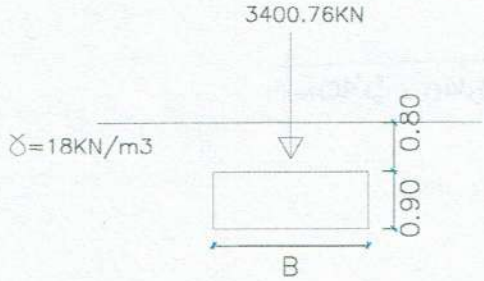
$$\boxed{t = 10'29\,m}$$

CIMENTACIÓN – Zapata aislada sobre pilar

Cargas permanentes: elementos	**Carga (KN)**
Peso propio forjado losa armada (-9.28 y -3.01)	25KN/m3x8.16mx9mx0.5mx2plantas= 1836 KN
Peso propio pilar B3 (0.96x0.57)	25KN/m3x0.57mx0.96mx2.92m= 39.94KN
Peso propio muro h.a. planta -3.01	25KN/m3x0.38mx9mx4.95m= 423.225KN
Sobrecarga	
Uso	5KN/m2x1.5x9mx8.16x2plantas= 1101.6KN (mayorada)
Total	**3400.76 KN**







DATOS:

γ=18KN/m3

zapata cuadrada BxB

c=60KN/m2

c'=5KN/m2

Ø=28° (a largo plazo)

γH=25KN/m3

1. Corto plazo.

Arcilla $\phi = 0$ $\left[\begin{array}{l} N_c = 5'14 \\ N_q = 1{,}00 \end{array}\right.$ $\frac{N_q}{N_c} = 0'20$

$$q_h = \left(1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c}\right) c N_c + \left(1 + \frac{B}{L} tg\phi\right) q_{ok} N_q + \frac{1}{2}\left(1 - 0'4\frac{B}{L}\right) B \gamma N_\gamma.$$

$q_{ok} = 1'70 \cdot 18\,kN/m^3 = 30'60\,kN/m^2.$

$$q_h = (1 + 1.0'20) \cdot 60 kN/m^2 \cdot 5'14 + (1 + 1.0) \cdot 30'6 kN/m^2 \cdot 1 = 370'06 kN/m^2 + 30'6 kN/m^2 =$$

$$= 400'66 kN/m^2$$

$$q_{h\,neta} = 400'66 kN/m^2 - 30'60 kN/m^2 = 370'06 kN/m^2$$

$$q_{adm} = \frac{370'06}{3} kN/m^2 + 30'60 kN/m^2 = 153'95 kN/m^2$$

$$\sigma_{trabajo} = \frac{3400'76 kN + [(B^2 \times 0'90) \cdot 25 kN/m^3] + [(B^2 \times 0'80 m) \times 18 kN/m^3]}{B^2} =$$

$$\frac{3400'76 kN + 22'5 B^2 + 14'4 B^2}{B^2} = 153'95 kN/m^2 \Rightarrow \underline{B = 5'39 m} \simeq 5'40 m$$

2. Largo plazo.

Arcilla a largo plazo $\begin{cases} c' = 5 kN/m^2 \\ \phi = 28° \end{cases}$

$N_c = 22'25$
$N_q = 11'85$
$N_\gamma = 12'05$
$N_q / N_c = 0'53$
$tg\phi = 0'53$

$$q_h = [(1 + (1 \cdot 0'53)) \cdot 5 kN/m^2 \cdot 22'25] + [(1 + 1 \cdot 0'53) \cdot 30'6 kN/m^2 \cdot 11'85] +$$

$$+ \left[\frac{1}{2}(1 - 0'4 \cdot 1) \cdot 5'40 m \cdot 8 kN/m^3 \cdot 12'54\right] =$$

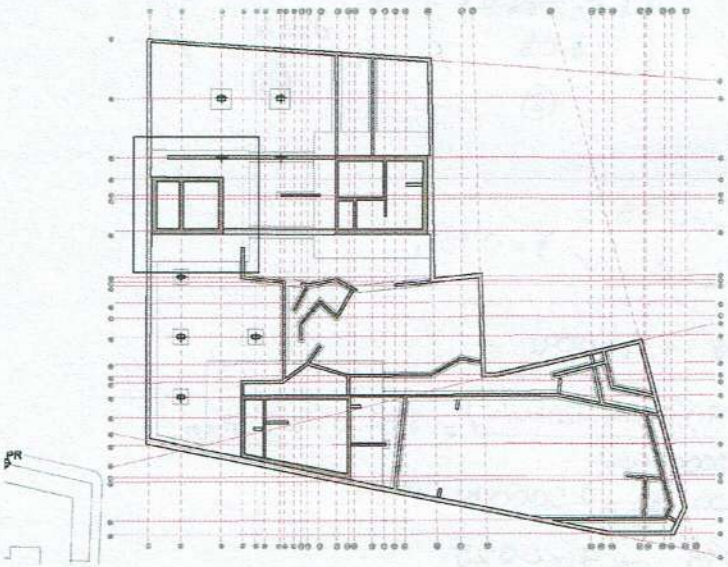
$$= 170'21 + 554'79 + 162'51 = 887'51 kN/m^2.$$

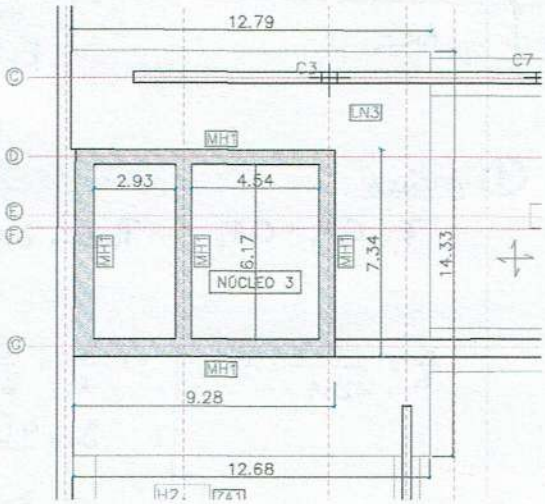
$$\frac{q_h}{\sigma_{trabajo}} = \frac{887'51 kN/m^2}{153'95 kN/m^2} = 5'76 > 3 \quad \underline{VALE}$$

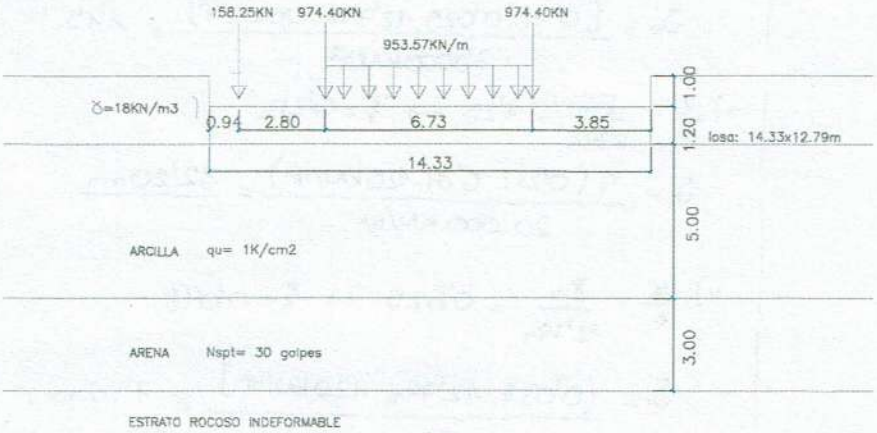
$$\boxed{Zapata = 5'40 \times 5'40 m}$$

CIMENTACIÓN – Losa

Cargas permanentes: elementos	**Carga (KN)**
Peso propio muro núcleo	Horizontal: 25KN/m3x9.28x0.6=139.2KN/m2 x 7plantas= 974.4/m2
	Vertical: 25KN/m3x0.60= 15KN/m2 x 7 plantas= 105KN/m2
Peso propio muro (C3)	25KN/m3x0.60x10.55=158.25KN/m2
Peso propio forjado	25KN/m3x1.46 + 25KN/m3x2.27= 93.25Kn/m2 x 7 plantas=
Sobrecarga	652.75KN/m2
Uso	5KN/m2x1.5x(1.46+2.27)x7plantas= 195.82KN/m2 (mayorada)







Arcilla medio-blanda
- Asiento Instantáneo: $\nu = 0'5$, $E = 500 \cdot C$
- Largo plazo: $\nu = 0'3$, $q_u = 1\,k/cm^2$, $E = 150\,k/cm^2$

Arena floja
$N_{spt} = 30$ golpes
$E = 200\,k/cm^2$
$\nu = 0'3$

Carga de asiento

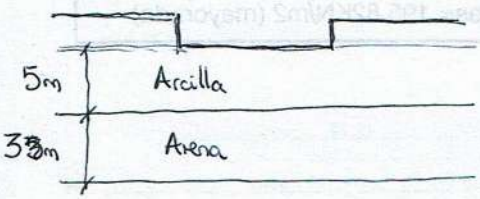
$$P_1 = (25\,kN/m^3)\cdot(14'33 \cdot 12'79 \cdot 1'20) + 158'25\,kN + 974'40\,kN + 974'40\,kN + (953'57 \cdot 6'73 \cdot 0'60 \cdot 3\,ud) =$$

$$= 19157'01\,kN.$$

$$\sigma_{trabajo} = \frac{P_1}{A} = \frac{19157'01\,kN}{14'33 \cdot 12'79} = 104'52\,kN/m^2$$

$$\sigma_{neta} = 104'52\,kN/m^2 - (18\,kN/m^3 \cdot 2'20\,m) = 64'92\,kN/m^2.$$

ASIENTO INSTANTÁNEO



$$= \left(\begin{array}{c} 5\,m \text{ Arcilla} \\ \nu = 0'5 \\ E = 500 \cdot C \end{array} \right) + \left[\left(\begin{array}{c} 8\,m \text{ Arena} \\ E = 200\,k/cm^2 \\ \nu = 0'3 \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} 5\,m \text{ Arena} \\ E = 200\,k/cm^2 \\ \nu = 0'3 \end{array} \right) \right]$$

① ② ③

① ARCILLA

$$\xi = C_1 F_1 + C_2 F_2 \longrightarrow \text{Para} \rightarrow \nu = 0'5 \quad \left| \begin{array}{l} C_1 = 0'75 \\ C_2 = 0 \end{array} \right\rangle \xi = 0'75 F_1$$

$$\frac{a}{b} = \frac{14'33}{12'79} = 1'12$$

o) $\frac{z}{b} = \frac{5\,m}{6'39} = 0'78 \rightarrow F_1 = 0'091$

$$S_o = \frac{4[(0'75 \cdot 0'091) \cdot 6'39\,m \cdot 120\,kN/m^2)}{25000\,kN/m^2} = 8'37 \cdot 10^{-3} = \underline{8'37\,mm}$$

$$E = 500 \cdot C = 500 \cdot \frac{74}{2} = 25000\,kN/m^2$$

v) $\frac{z}{b} = \frac{5\,m}{12'79\,m} = 0'39 \rightarrow F_1 = 0'025$

$$S_o = \frac{[0'75 \cdot 0'025 \cdot 12'79\,m \cdot 120\,kN/m^2)}{25000\,kN/m^2} = 1'15 \cdot 10^{-3} = \underline{1'15\,mm}$$

② ARENA

$\nu = 0'3$

$\frac{a}{b} = 1'12$

o) $\frac{z}{b} = \frac{8\,m}{6'39\,m} = 1'25 \rightarrow \xi = 0'212$

$$S_o = \frac{4(0'212 \cdot 6'39 \cdot 120\,kN/m^2)}{20.000\,kN/m^2} = \underline{32'20\,mm}$$

v) $\frac{z}{b} = \frac{8\,m}{12'79\,m} = 0'625 \rightarrow \xi = 0'098$

$$S_v = \frac{(0'098 \cdot 12'79\,m \cdot 120\,kN/m^2]}{20.000\,kN/m^2} = 7'52\,mm.$$

③ ARENA

$\nu = 0'3$

$\frac{a}{b} = 1'12$

o) $\frac{z}{b} = \frac{5\,m}{6'39} = 0'78 \rightarrow \xi = 0'133$

$$S_o = \frac{4(0'133 \cdot 6'39 \cdot 120\,kN/m^2)}{20.000\,kN/m^2} = 20'39\,mm$$

③ ARENA

v) $\frac{z}{b} = \frac{5m}{12'79m} = 0'39 \longrightarrow \xi = 0'064$

$$S_v = \frac{0'064 \cdot 12'79m \cdot 120 kN/m^2}{20.000 kN/m^2} = \underline{4'91mm}$$

$S_{o\,total} = 8'37mm + 32'20mm - 20'39mm = \underline{20'18mm}$

$S_{v\,total} = 1'15mm + 7'52mm - 4'91mm = \underline{3'76mm}$

ASIENTO A LARGO PLAZO

① ARCILLA

$\nu = 0'3$

$E = 15000 kN/m^2$

$\frac{a}{b} = 1'12$

o) $\frac{z}{b} = \frac{5m}{6'39m} = 0'78 \longrightarrow \xi = 0'133$

$$S_o = \frac{4(0'133 \cdot 6'39m \cdot 120 kN/m^2)}{(150.00 kN/m^2)} = 0'027 = \underline{27'19mm}$$

v) $\frac{z}{b} = \frac{5m}{12'79m} = 0'39 \longrightarrow \xi = 0'064$

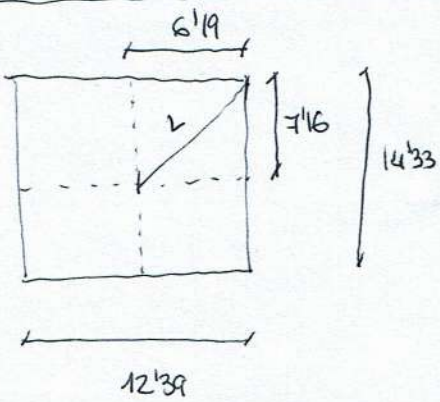
$$S_v = \frac{0'064 \cdot 12'79m \cdot 120 kN/m^2}{15000 kN/m^2} = 6'54mm.$$

② ARENA Largo plazo = corto plazo.

$S_{o\,total} = 27'19mm + 32'20mm - 20'39mm = \underline{39mm}$

$S_{v\,total} = 6'54mm + 7'52mm - 4'91mm = \underline{9'15mm}$

ASIENTO DIFERENCIAL MÁXIMO Y DISTORSIÓN ANGULAR



$L = \sqrt{7'16^2 + 6'19^2} = 9'46m$

$S_o = 39mm$

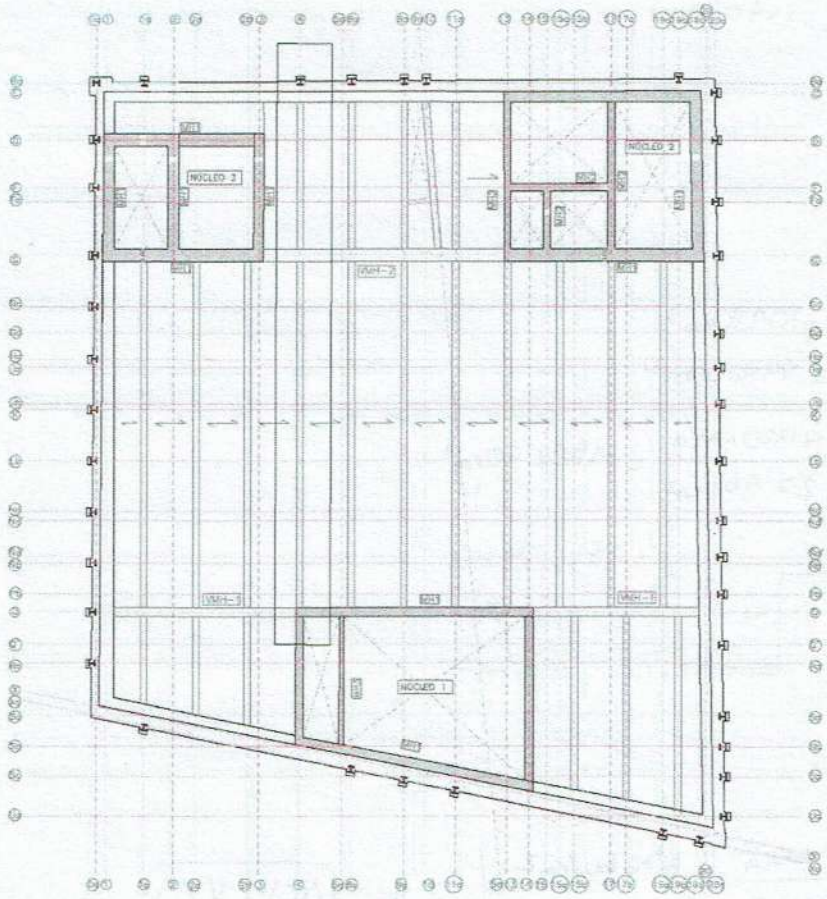
$S_v = 9'15mm$

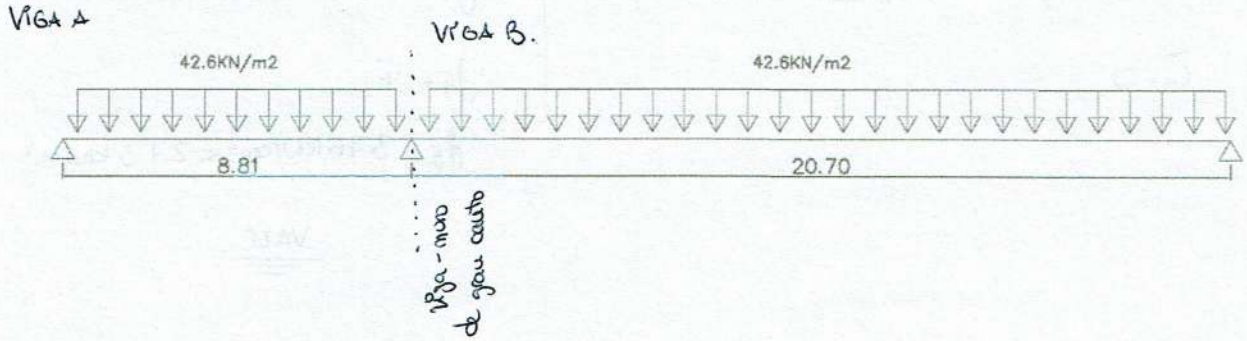
$\Delta_s = (39mm - 9'15mm) = \underline{29'85mm}$ (Asiento Diferencial)

Distorsión angular $\rightarrow \beta = \frac{\Delta_s}{L} = \frac{29'85mm}{9460mm} = \underline{3'15 \cdot 10^{-3}}$

ESTRUCTURA – Viga metálica HEB–900 alveolada

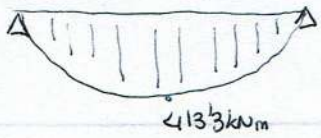
Cargas permanentes: elementos	**Carga (KN)**
Peso propio forjado	5KN/m2x3m= 15KN/m
(chapa colaborante+capa compresión)	
Pavimento	1.2KN/m2x3m= 3.6KN/m
Falso techo	0.5Kn/m2x3m= 1.5KN/m
Sobrecarga	
Uso	5KN/m2x1.5x3m= 22.5KN/m (mayorada)



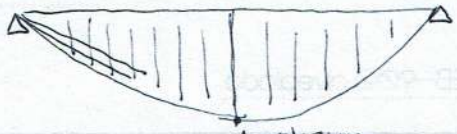


Momentos

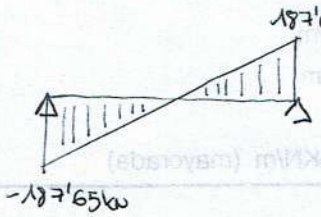
VIGA A

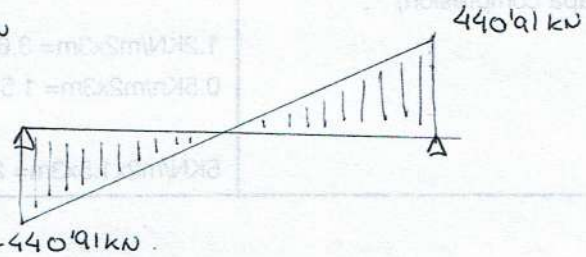


VIGA B



Cortante





Criterios De Resistencia

VIGA A

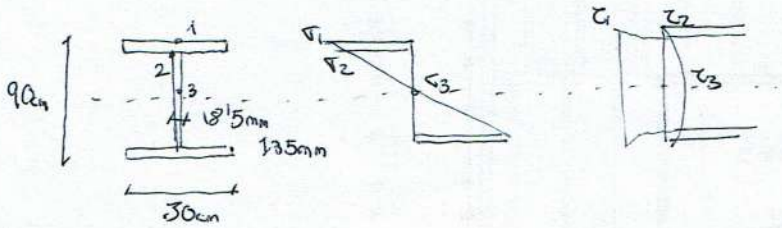
$M_{máx} = 413'3\ kNm$

$T_{máx} = 187'65\ kN$

HEB-900 $\longrightarrow$ $W_{el\,y} = 10980\ cm^3$

$I_y = 494100\ cm^4$.

$$W_{el} = \frac{M_{el,rd}}{f_y} = \frac{41330\ kNcm}{27'5\ kN/cm^2} = 1502'90\ cm^3$$



Punto 1

$$\sigma_1 = \frac{M_{el,rd}}{W_{el\,y}} = \frac{41330\ kNcm}{10980\ cm^3} = 3'76\ kN/cm^2$$

$\tau_1 = 0$

$$f_y = \sqrt{(\sigma_1)^2 + 3(\tau_1)^2}$$

$f_y = \sigma_1$

$f_y = 3'76\ kN/cm^2 < 27'5\ kN/cm^2$

VALE

Punto 2.

$$\sigma_2 = \frac{M_{el,Rd}}{I_y} \cdot z = \frac{41330\,kNcm}{494100\,cm^4} \cdot \left(\frac{90cm}{2} - 3'5cm\right) = 3'47\,kN/cm^2$$

$$\tau_2 = \frac{T}{A_{alma}} = \frac{187'65}{[90cm-(2\,3'5).\,1'85]} = 2'43\,kN/cm^2$$

$$f_y = \sqrt{\sigma_2^2 + 3(\tau_2)^2} = \sqrt{(3'47kN/cm^2)^2 + 3(2'43kN/cm^2)^2} = 5'45 < 27'5\,kN/cm^2$$

VALE

Punto 3

$\sigma_3 = 0$

$\tau_3 \simeq \tau_2 = 2'43\,kN/cm^2$

$$f_y = \sqrt{0 + 3(2'43kN/cm^2)^2} = 4'2\,kN/cm^2 < 27'5\,kN/cm^2$$

VALE

Cumple en todos sus puntos los criterios de resistencia.

VIGA B.

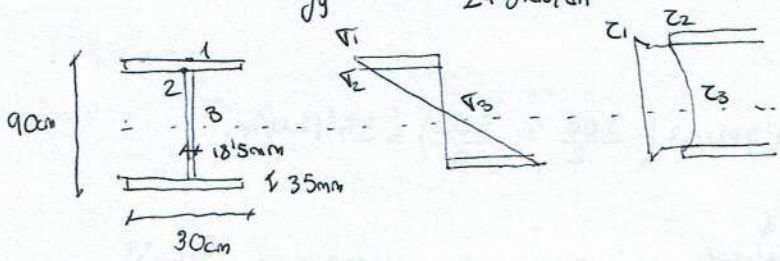
$M_{máx} = 1785'08\,kNm$

$T_{máx} = 440'91\,kN$

$\boxed{HEB-900} \longrightarrow W_{el\,y} = 10980\,cm^3$

$I_y = 494100\,cm^4$

$$W_{el} = \frac{M_{el,Rd}}{f_y} = \frac{178508\,kNcm}{27'5\,kN/cm^2} = 6491'2\,kNcm^3$$



Punto 1

$$\sigma_1 = \frac{M_{el,Rd}}{W_{el\,y}} = \frac{178508\,kNcm}{10980\,cm^3} = 16'25\,kN/cm^2$$

$\tau_1 = 0$

$$f_y = \sqrt{(\sigma_1)^2 + 3(\tau_1)^2} = \sigma_1 = 16'25\,kN/cm^2 < 27'5\,kN/cm^2$$

VALE

Punto 2

$$\sigma_2 = \frac{M_{el,Rd}}{I_y} \cdot z = \frac{178508\,kNcm}{494100\,cm^4} \cdot \left(\frac{90cm}{2} - 3'5cm\right) = 14'99\,kN/cm^2$$

$$\tau_2 = \frac{T}{A_{alma}} = \frac{44091\,kN}{[90cm - (2.3'5cm) \cdot 1'85cm]} = 5'722\,kN/cm^2$$

$$f_y = \sqrt{(\sigma_2)^2 + 3(\tau_2)^2} = 17'97\,kN/cm^2 < 27'5\,kN/cm^2$$

VALE

Punto 3

$\sigma_3 = 0$

$\tau_3 = \tau_2 = 5'722\,kN/cm^2$

$$f_y = \sqrt{(\sigma_3)^2 + 3(\tau_3)^2} = 9'9\,kN/cm^2 < 27'5\,kN/cm^2$$

VALE

Cumple en todos los puntos los criterios de resistencia.

CÁLCULO DE LA FLECHA

Cargas sin mayorar:

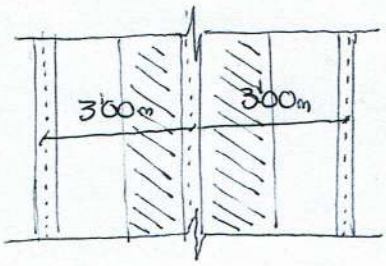
Cargas permanentes → P.p. $5\,kN/m^2$, Pav. $1'2\,kN/m^2$, Falsot. $0'5\,kN/m^2$ | $6'7\,kN/cm^2$

Sobrecarga → Uso → $5\,kN/m^2$

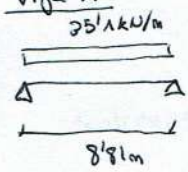
$Q + g = 6'7\,kN/m^2 + 5\,kN/m^2 = 11'7\,kN/m^2$

Viga A = Viga B

$$11'7\,kN/m^2 \left(\frac{3,00}{2} + \frac{3,00}{2}\right) = 35'1\,kN/m.$$

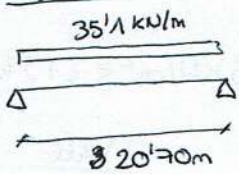


Viga A



$$\delta = \frac{q \cdot L^4}{185EI} = \frac{0'351\,kN/cm\,(881cm)^4}{185 \cdot 2'1 \cdot 10^4 \frac{kN}{cm^2} \cdot 5790cm^4} = 4'84 \cdot 10^{-11}$$

Viga B



$$\delta = \frac{q \cdot L^4}{185 \cdot EI} = \frac{0'351\,kN/cm\,(2070cm)^4}{185 \cdot 2'1 \cdot 10^4 \frac{kN}{cm^2} \cdot 5790cm^4} = 1'49 \cdot 10^{-9}$$

EFECTOS DE DEFORMACIÓN

Viga A → $\delta_{max} = \frac{L}{500} = \frac{881cm}{500} = 1'762 > 4'84 \cdot 10^{-11}$

Viga B → $\delta_{max} = \frac{L}{500} = \frac{2070cm}{500} = 4'14 > 1'49 \cdot 10^{-9}$

VALE

HEB-900 es válido tanto por los criterios de resistencia como rigidez.

PANDEO LATERAL

HEB-900

$I_y = 494100 cm^4$

$I_z = 15820 cm^4$

$W_{el,y} = 10980 cm^3$

$i_{f,z} = 6'53 cm$

$I_T = 1137 cm^4$

Viga A

$m_{ed} = 413'3 kN/cm$

$L_c = 8'81 m$

$c_1 = 1'88$

$$M_{LTV} = c_1 \frac{\pi}{L_c} \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV} = 1'88 \cdot \frac{\pi}{88 cm} \sqrt{8100 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1137 cm^4 \cdot 2'1 \cdot 10^4 kN/cm^2 \cdot 15820 cm^4} = \underline{128720'43 \, kNcm}$$

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L^2_c} c_1 (i_{f,z})^2$$

$$M_{LTW} = 10980 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2'1 \cdot 10^4 \cdot kN/cm^2}{(881)^2} \cdot 1'88 \, (6'53 cm)^2 = \underline{225044'51 \, kNcm}$$

$$M_{cr} = \sqrt{(M_{LTV})^2 + (M_{LTW})^2} = 259256'59 \, kNcm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{10980 cm^3 \cdot 27'5 kN/m^2}{259256'59}} = 1'079.$$

Para obtener χ_{LT}:

$$\phi_{LT} = 0'5 \left[1 + 0'21 (1'079 - 0'2) + (1'079)^2 \right] = 1'17.$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0'61 < 1$$

$$M_{b,Rd} = 0'61 \cdot 10980 cm^3 \cdot \frac{27'5}{1'05} = 175418'57 \ kNcm$$

$$1754'18 \ kNm > 413'3 kNm$$

No hay pandeo lateral.

Viga B

$M_{Ed} = 1785'08 \ kNm$

$L_c = 20'70 m$

$C_1 = 1'88$

$$M_{LTV} = C_1 \frac{\pi}{L_c} \left(\sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} \right) = 54783'91 \ kNcm$$

$$M_{LTW} = W_y \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 (i_{f,z})^2 = 40764'26 \ kNcm$$

$M_{cr} = 68286'17 \ kNcm$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{10980 cm^3 \cdot 27'5 kN/cm^2}{68286'17 kN/cm}} = 2'10$$

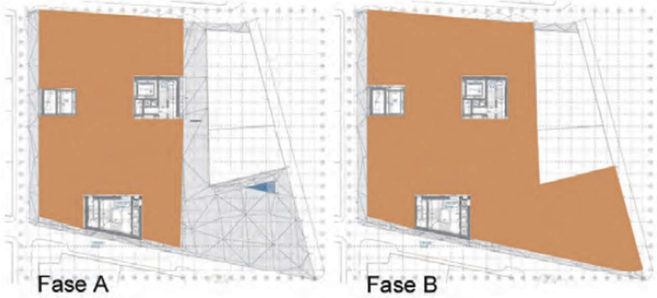
$\phi_{LT} = 2'90$

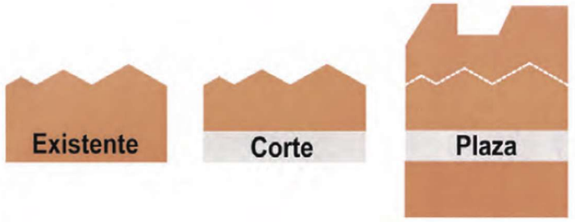
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0'20 < 1$$

$$M_{b,Rd} = 0'20 \cdot 10980 \cdot \frac{27'5}{1'05} = 57514 2'85 \ kNcm$$

$$5751'42 kNm > 1785 kNm$$

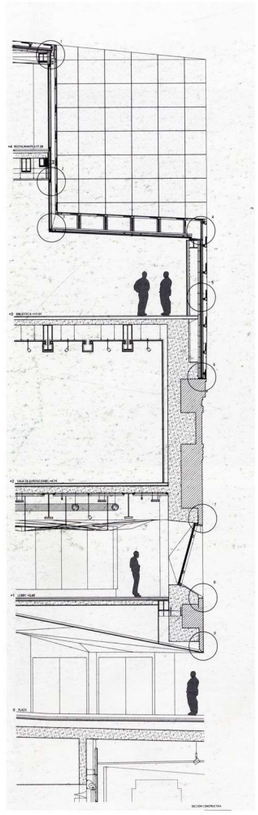
No hay pandeo lateral

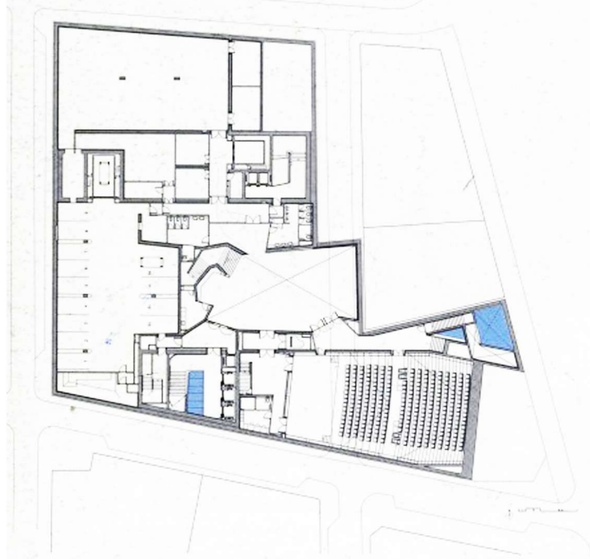




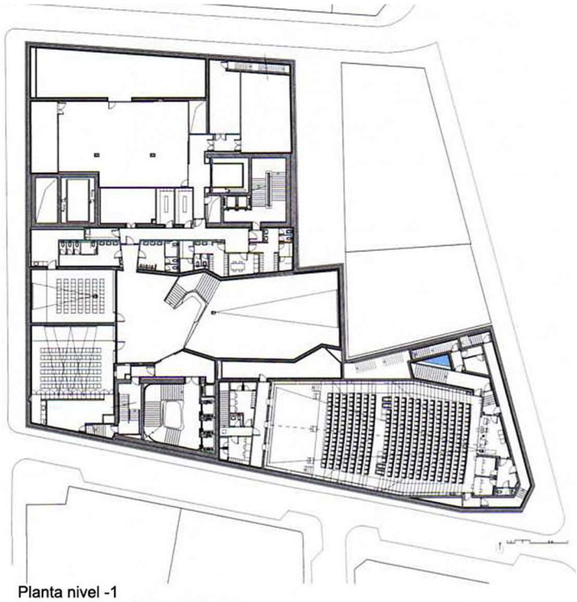
Alzado calle Almadén.

Alzado calle Alameda.

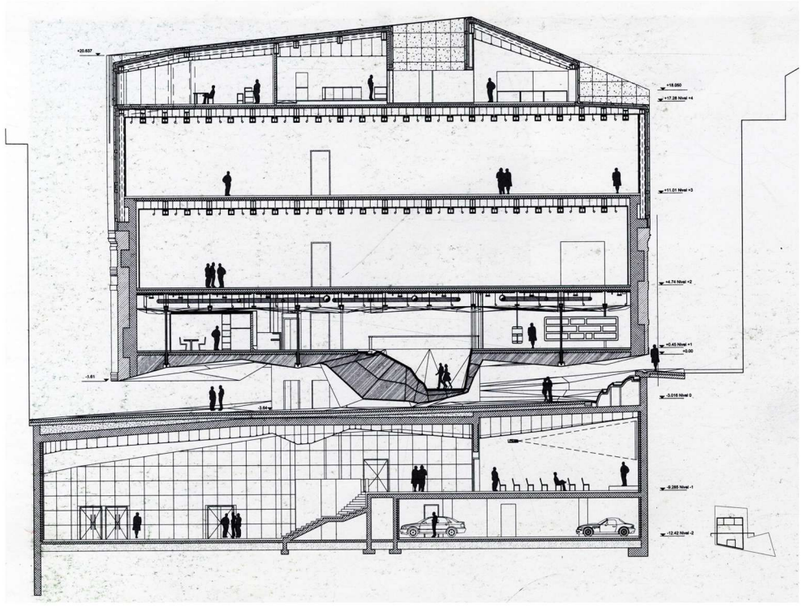


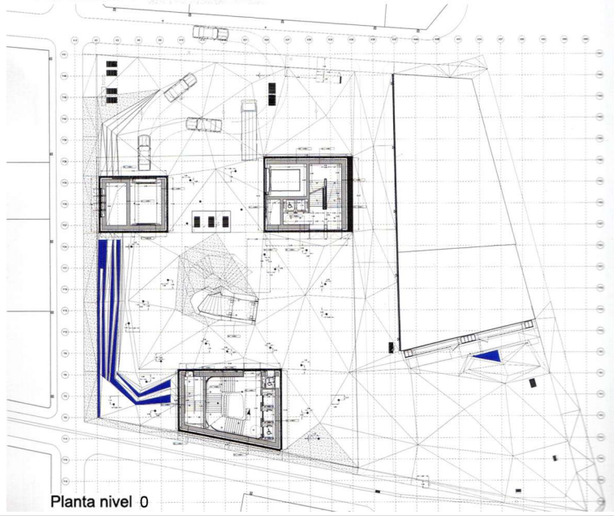


Planta nivel -2

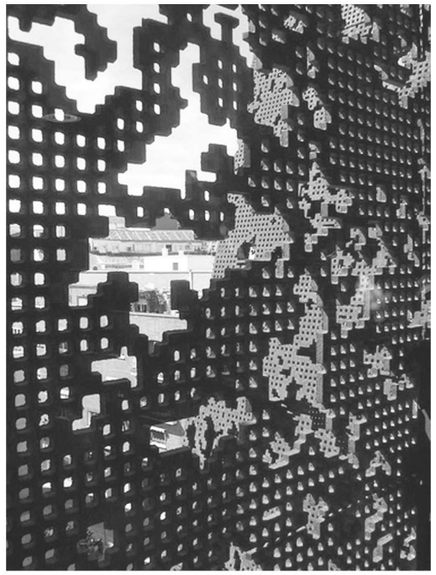


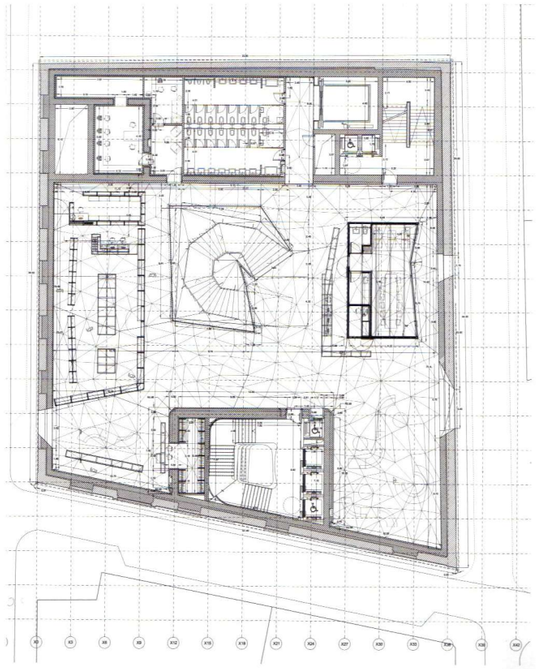
Planta nivel -1



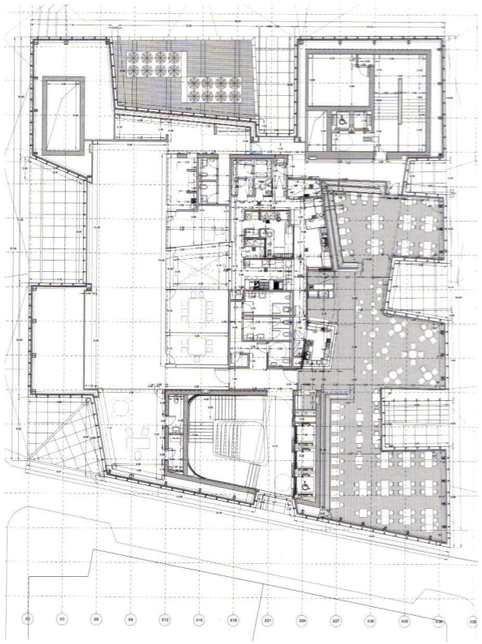


Planta nivel 0

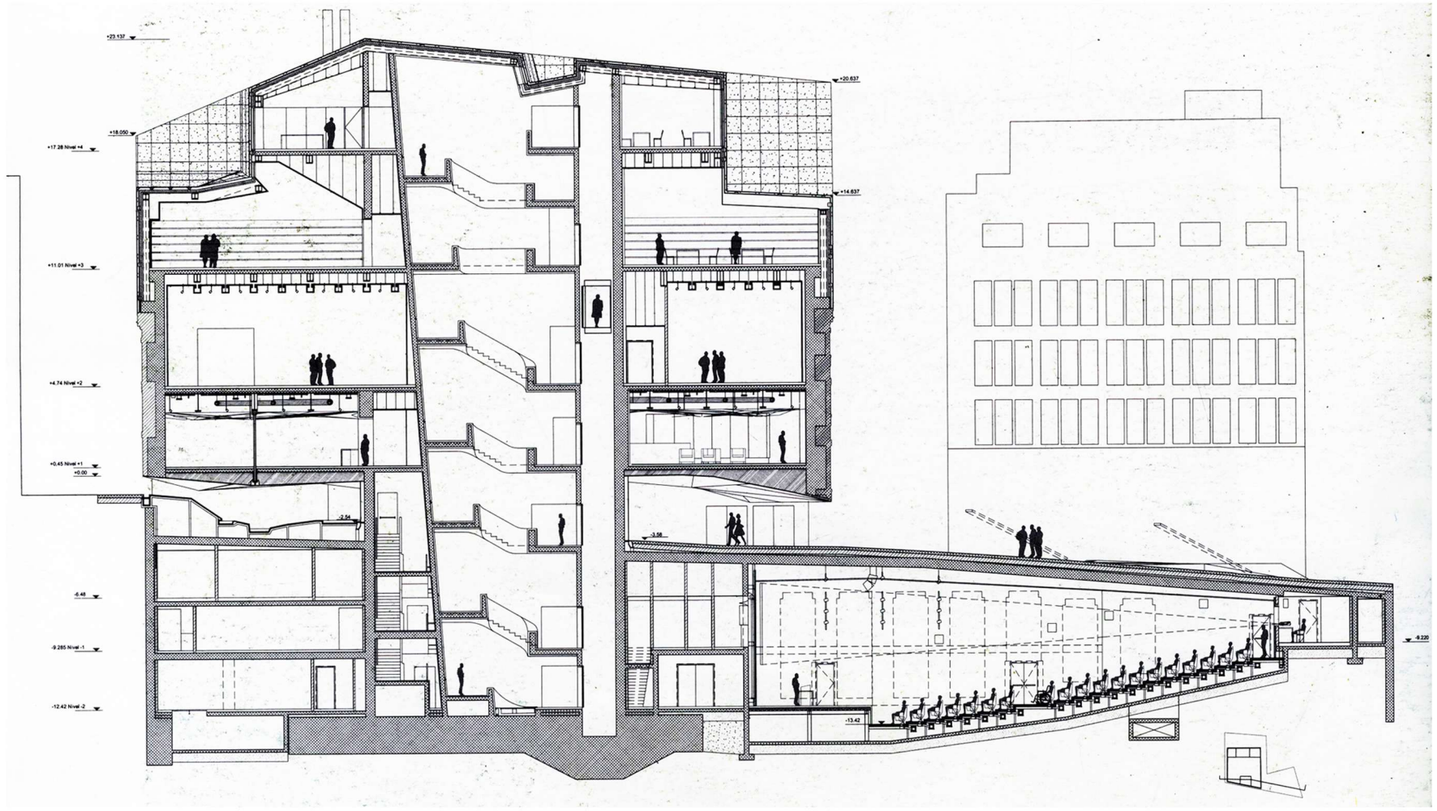


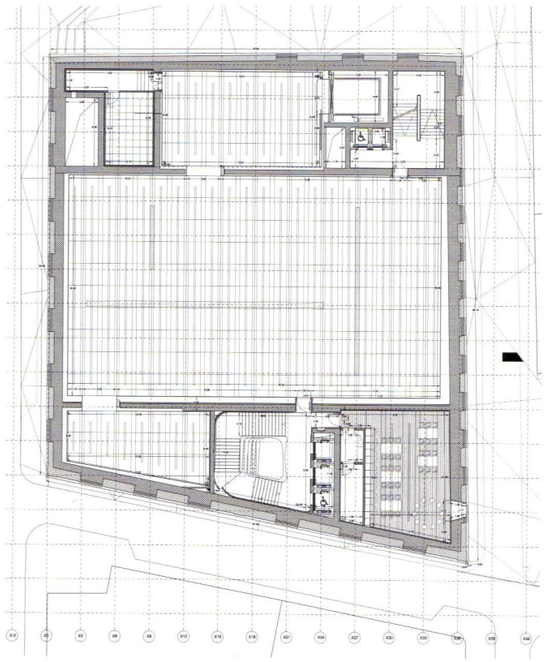


Planta primera / First floor plan

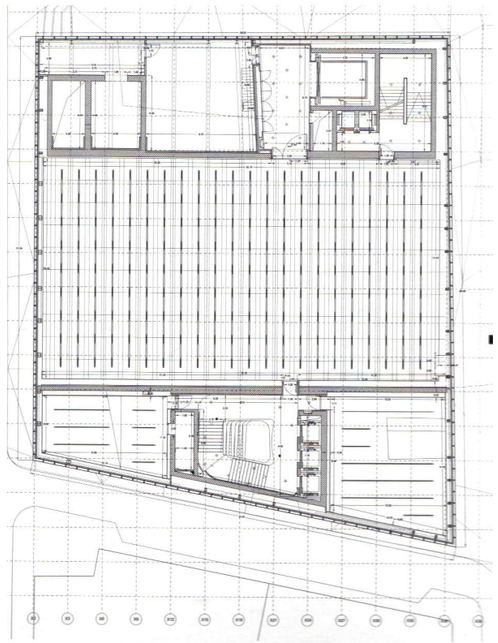


Planta cuarta / Fourth floor plan

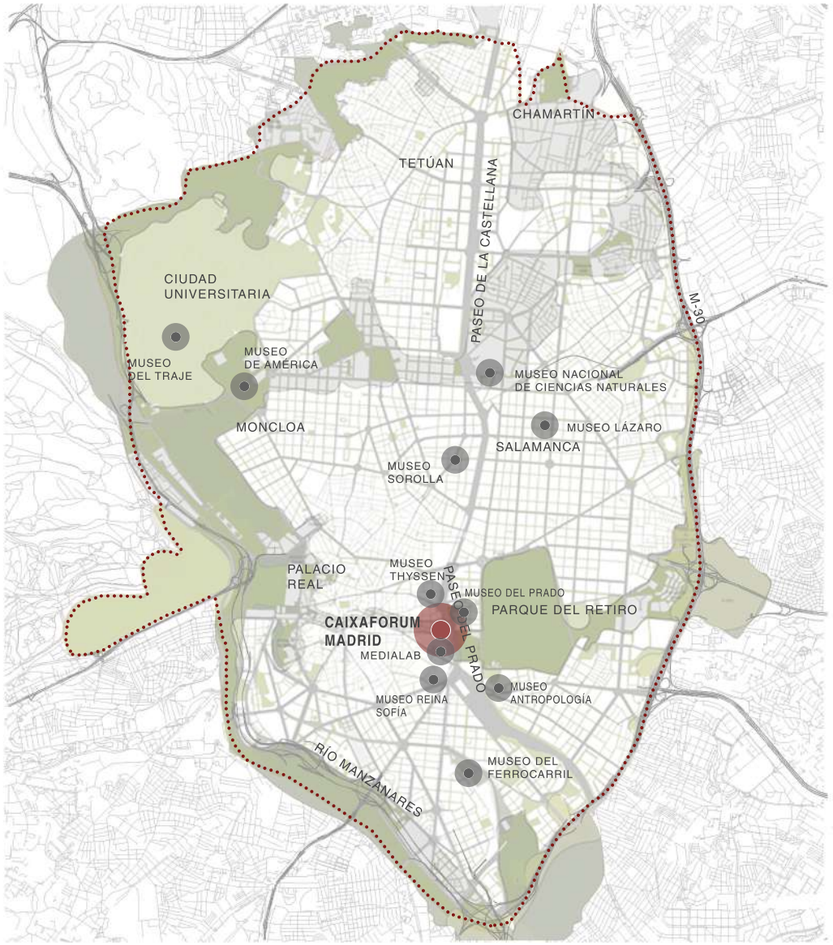




Planta segunda / Second floor plan

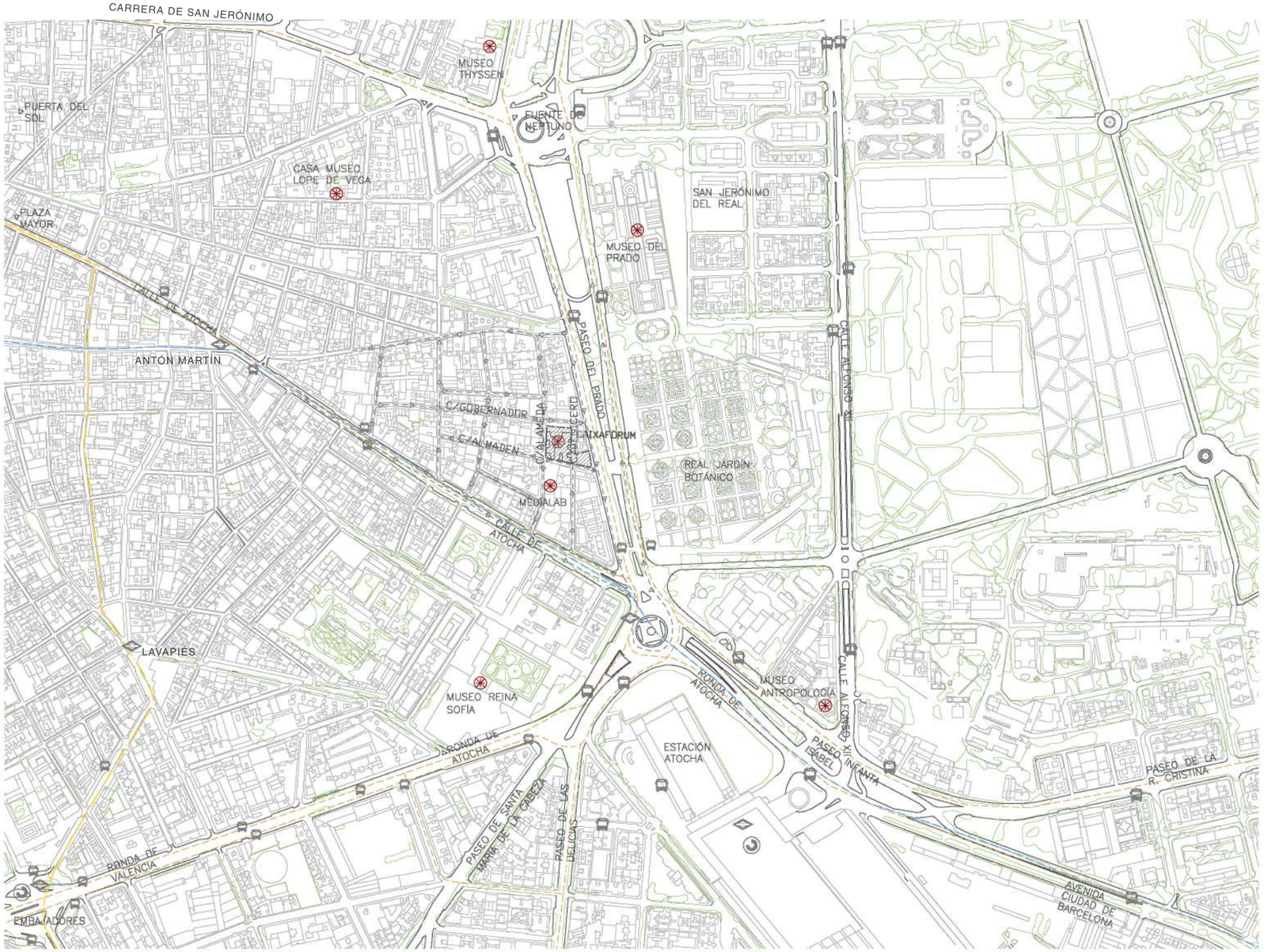


Planta tercera / Third floor plan



N

MADRID CENTRO, 2010



AUTOBUSES URBANOS

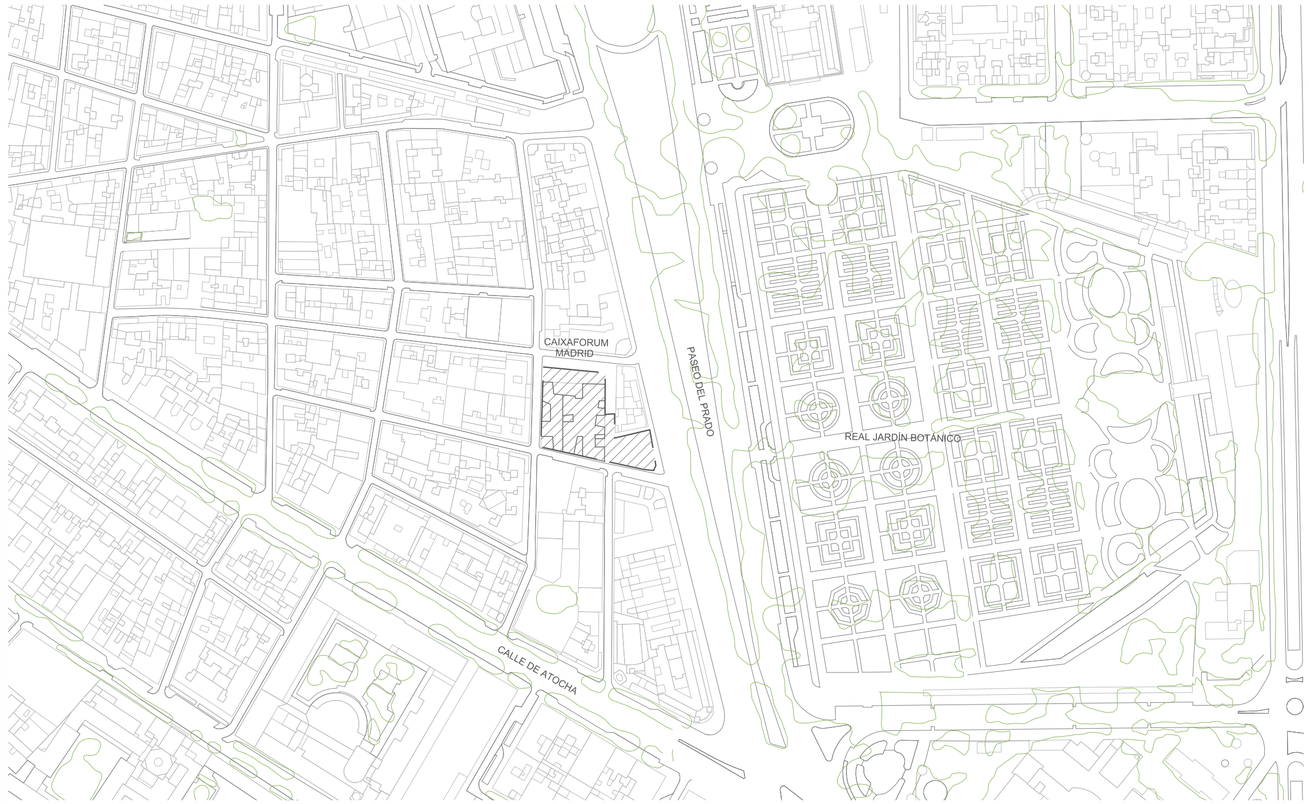
METRO LÍNEA 1 (PLAZA CASTILLA-PORTAZGO)

METRO LÍNEA 3 (MONCLOA-LEGAZPI)

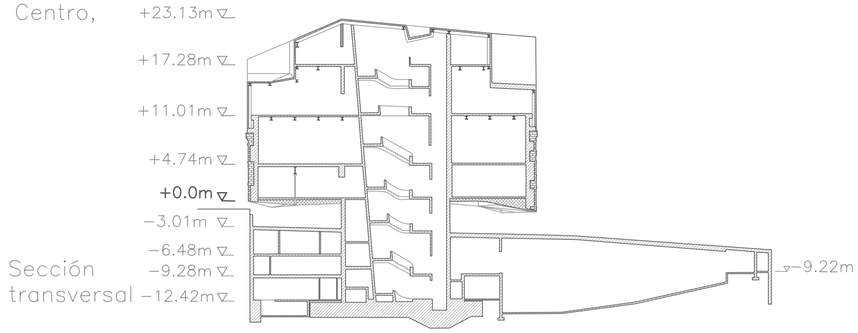
ACCESO RODADO

LÍNEA TÉRMINO MUNICIPAL

MUSEOS Y CENTROS DE CULTURA

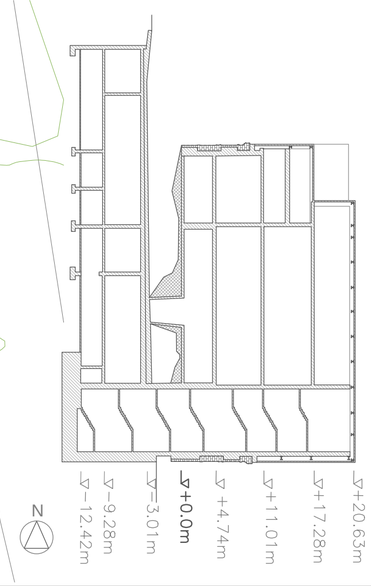


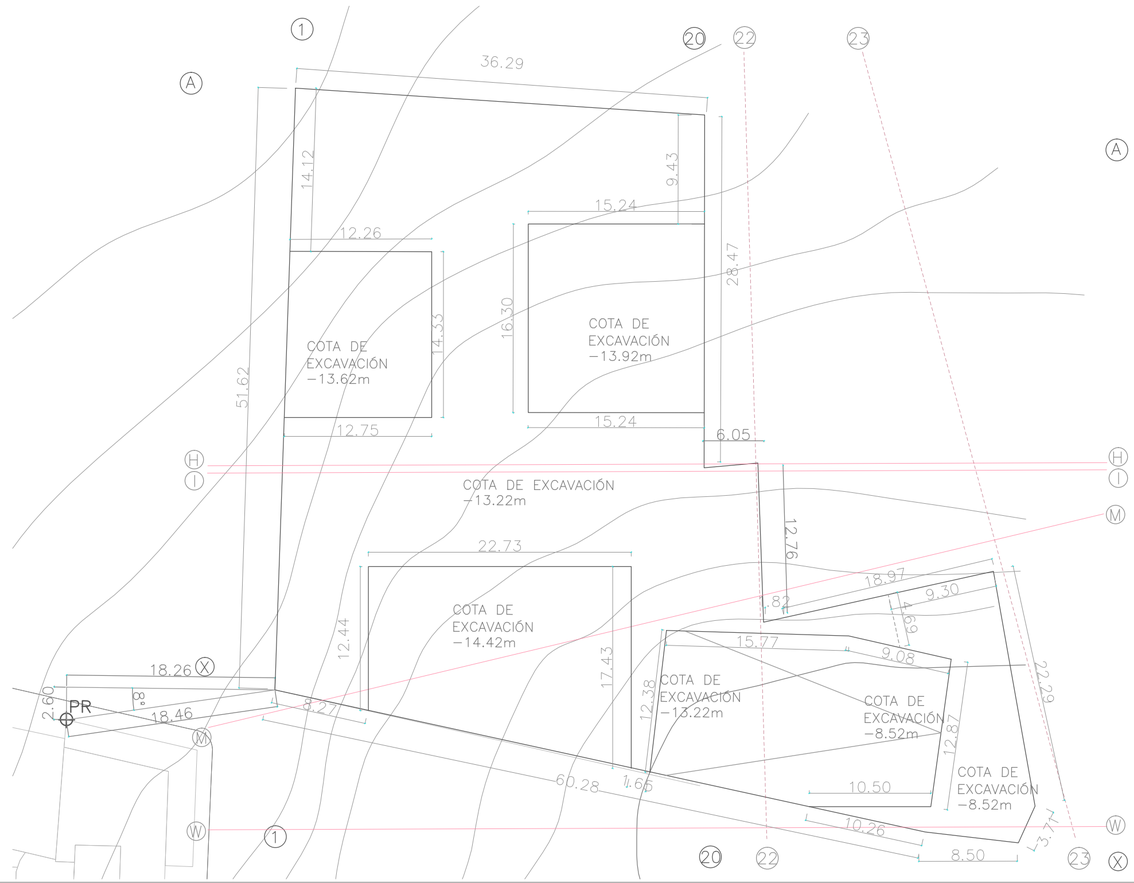
Distrito Centro, Madrid

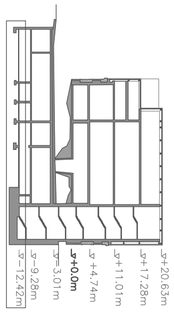


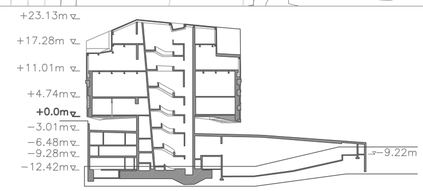
Sección transversal

Sección longitudinal



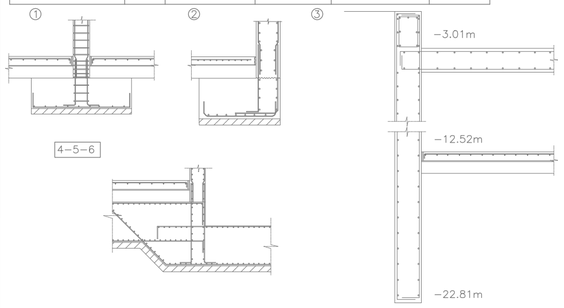






CUADRO DE CIMENTACIÓN:

Tipo	Ley.	L(m)	H(m)	Armadura	Cantidad
1. Zapata aislada de pilares	ZA1	5.6	0.80	#Ø10/25	6
2. Zapata corrida	ZC1	1.4	0.80	#Ø10/25	17
3. Muro Pantalla	MP1	0.45	– prof. 10.29	Arm.H: Ø16/20 Arm.V: Ø12/20	2
4. Losa NÚCLEO 1	LN1	11.50–16.20	2	Ø16/20	1
5. Losa NÚCLEO 2	LN2	14.80	1.5	Ø16/20	1
6. Losa NÚCLEO 3	LN3	12.75	1.2	Ø16/20	1



LEYENDA

- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE–300

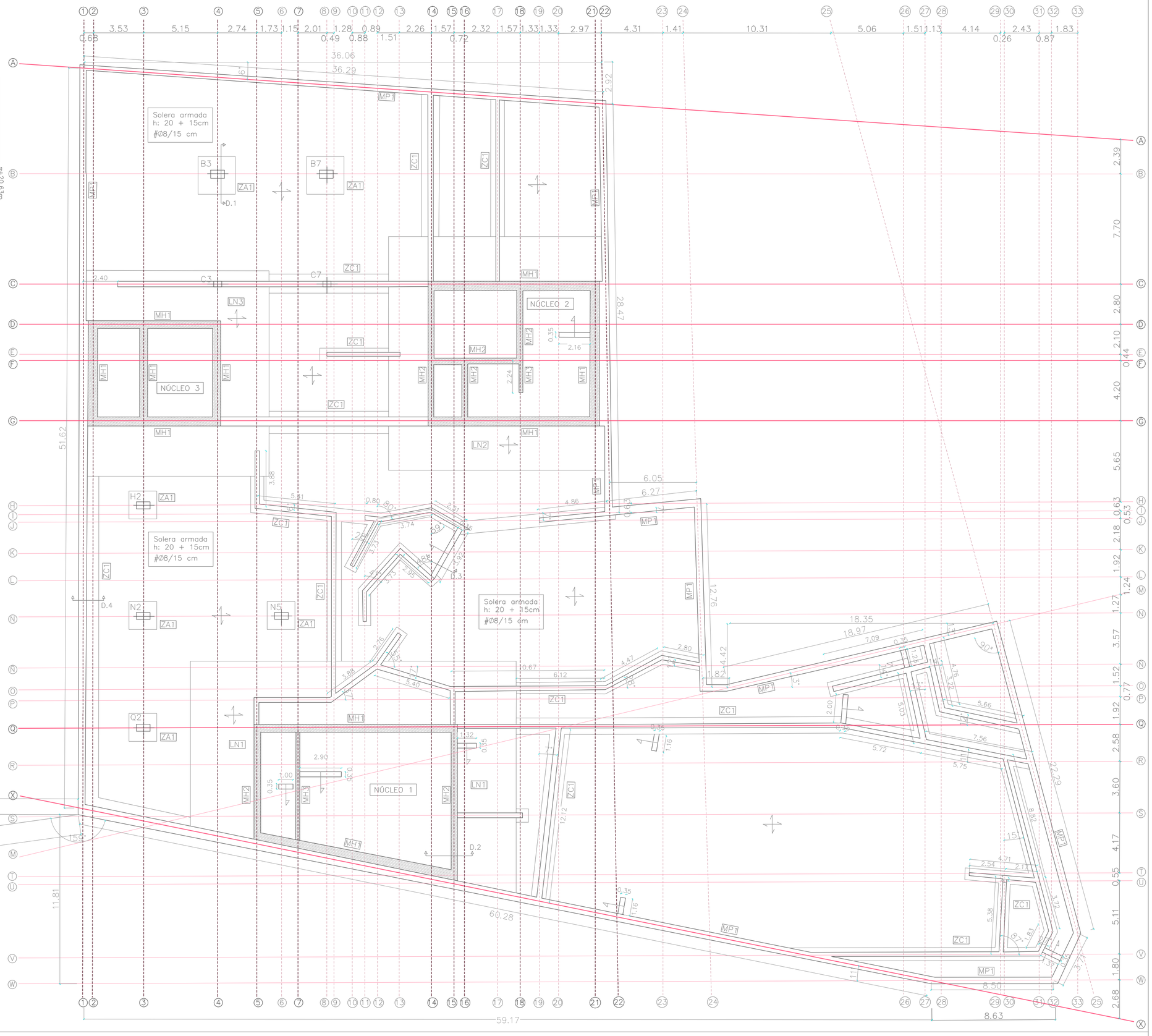
MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue ø63.5mm
VMH–1	Viga–muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarca 2 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMH–2	Viga–muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarca 3 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMA–X	Viga Metálica Armada HEB–900 Alveolada
VM–X	Viga Metálica HEB
B–1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

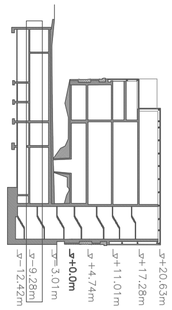
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

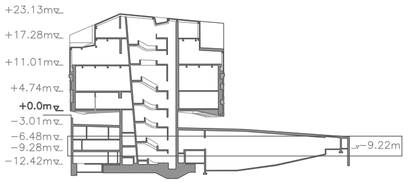
HORMIGÓN

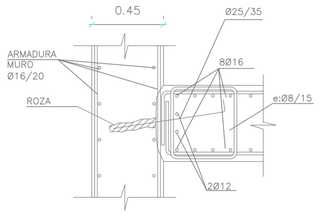
Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA–25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA–25/B/40/IIb	25	Blanda	40

NOTA: en toda el área de proyección del edificio, sobre la cimentación, se colocará solera de hormigón.

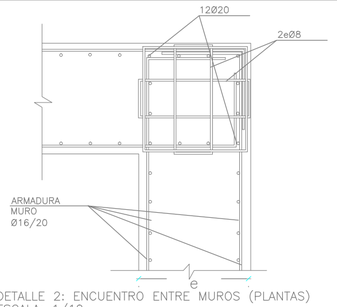




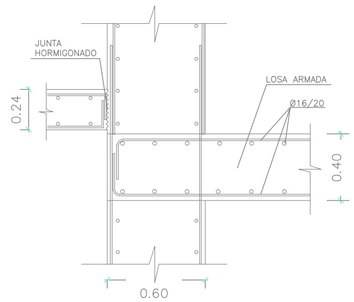




DETALLE 1: ENCUENTRO MURO Y LOSA
ESCALA: 1/20



DETALLE 2: ENCUENTRO ENTRE MUROS (PLANTAS)
ESCALA: 1/10



DETALLE 3: ENCUENTRO MURO NÚCLEO 1 Y LOSAS
ESCALA: 1/40

LEYENDA

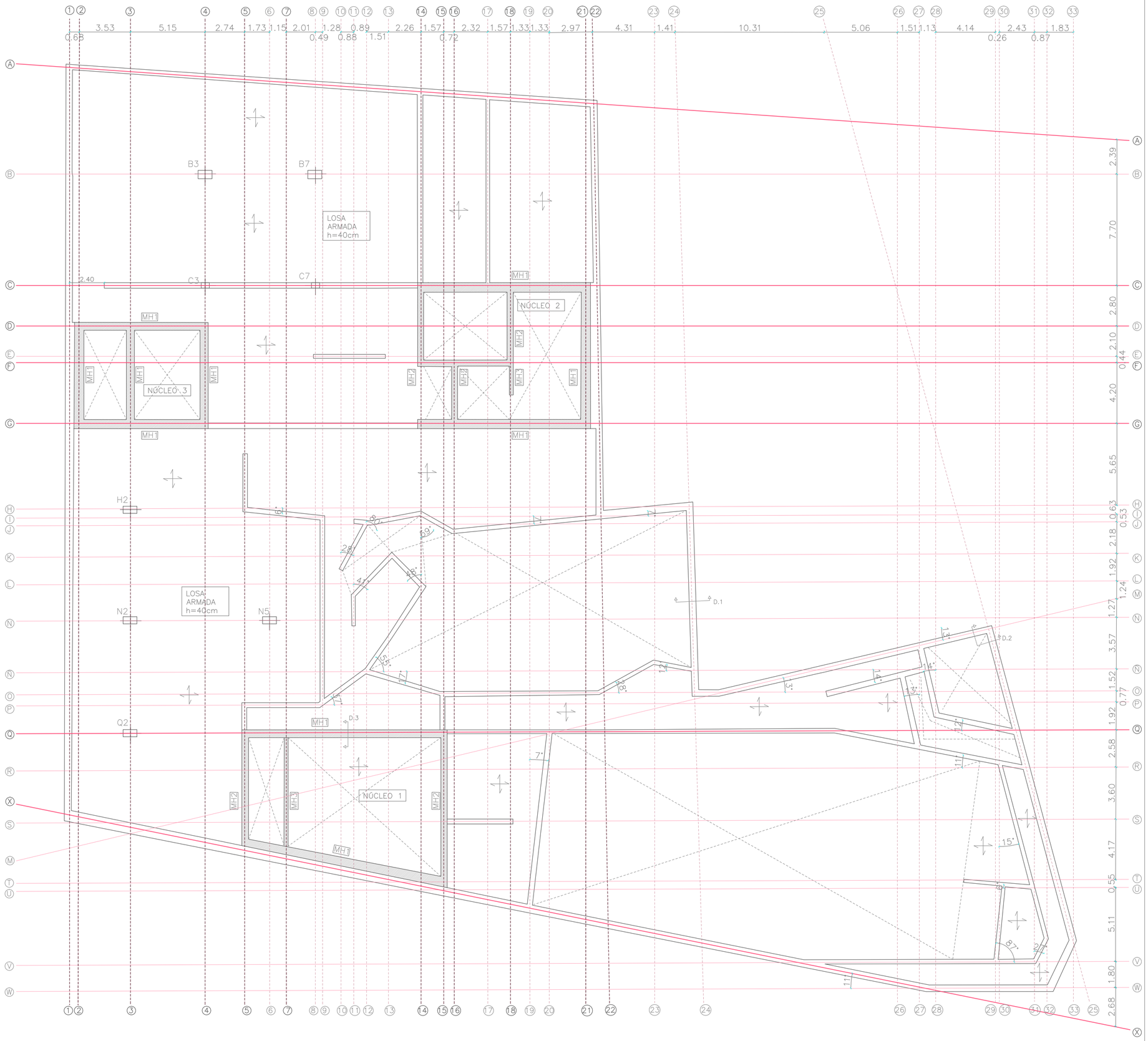
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE-300

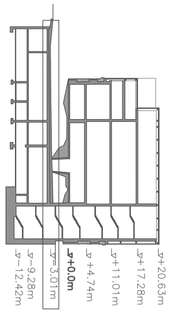
MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue Ø63.5mm
VMH-1	Viga-muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarca 2 plantas Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
VMH-2	Viga-muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarca 3 plantas Armadura: ∅a dos caras Ø16/20
VMA-X	Viga Metálica Armada HEB-900 Alveolada
VM-X	Viga Metálica HEB
B-1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

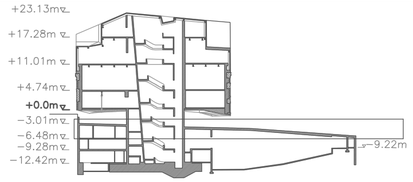
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA-25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA-25/B/40/IIb	25	Blanda	40

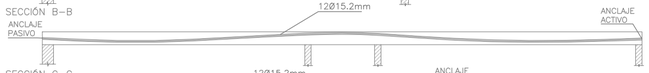




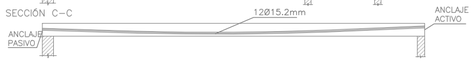


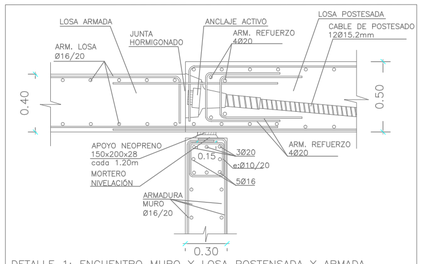
SECCIÓN A–A

SECCIÓN B–B

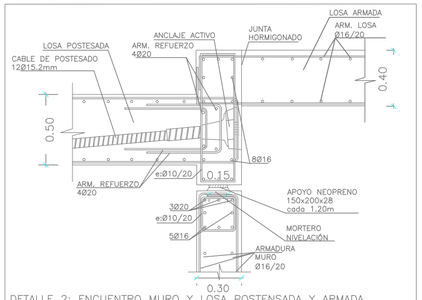


SECCIÓN C–C

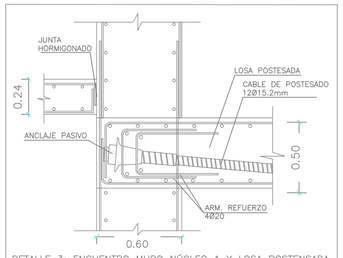




DETALLE 1: ENCUENTRO MURO Y LOSA POSTENSADA Y ARMADA
ESCALA: 1/40



DETALLE 2: ENCUENTRO MURO Y LOSA POSTENSADA Y ARMADA
ESCALA: 1/40



DETALLE 3: ENCUENTRO MURO NÚCLEO 1 Y LOSA POSTENSADA
ESCALA: 1/40

LEYENDA

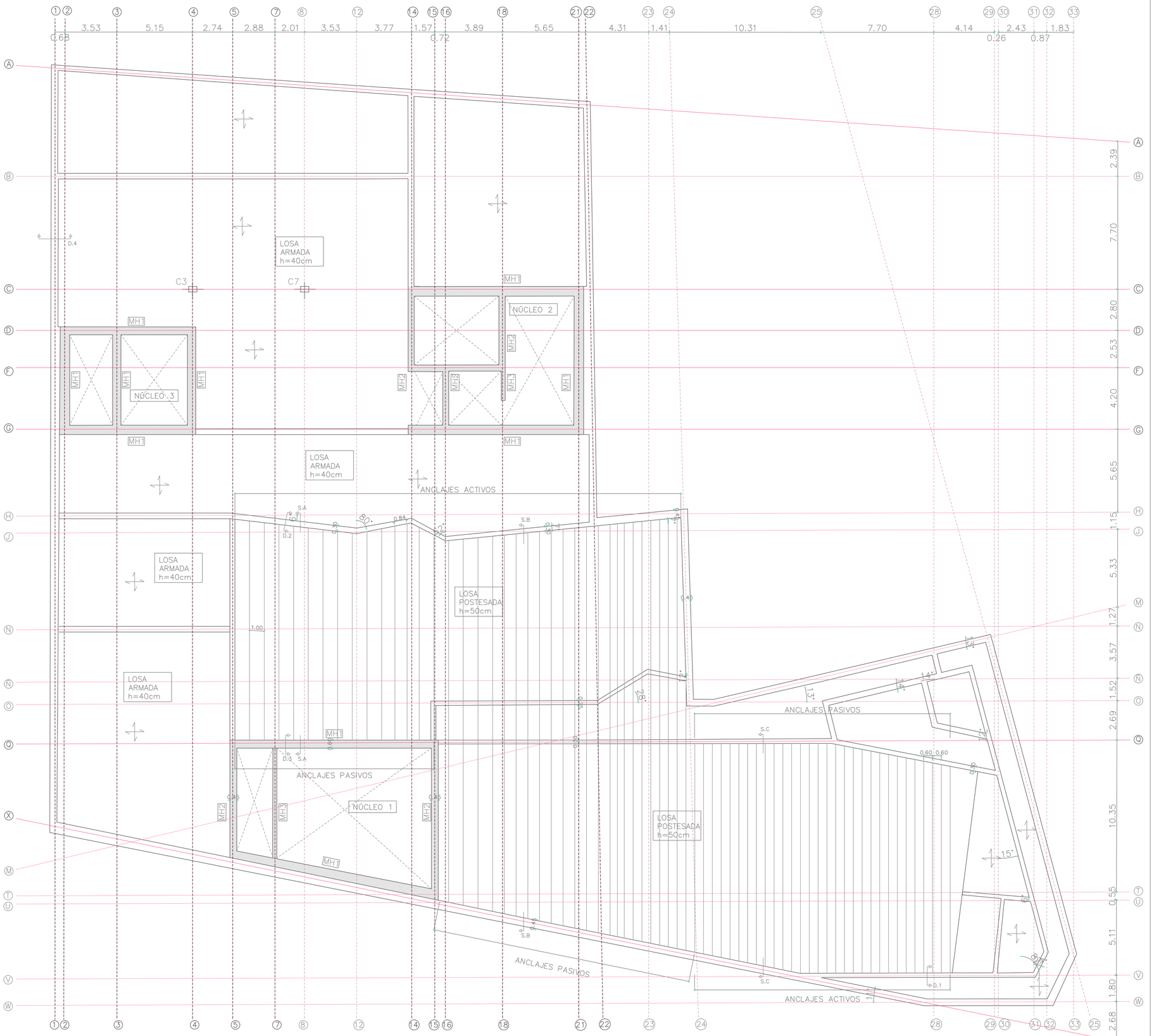
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE–300

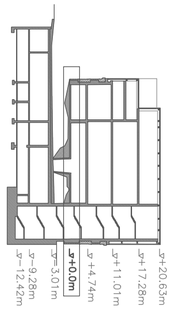
MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ø a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ø a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ø a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ø a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue ø63.5mm
VMH–1	Viga–muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarco 2 plantas Armadura: ø a dos caras Ø16/20
VMH–2	Viga–muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarco 3 plantas Armadura: ø a dos caras Ø16/20
VMA–X	Viga Metálica Armada HEB–900 Alveolada
VM–X	Viga Metálica HEB
B–1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

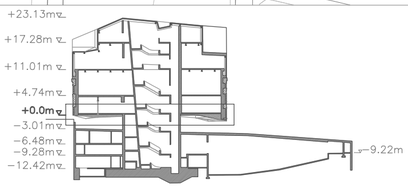
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

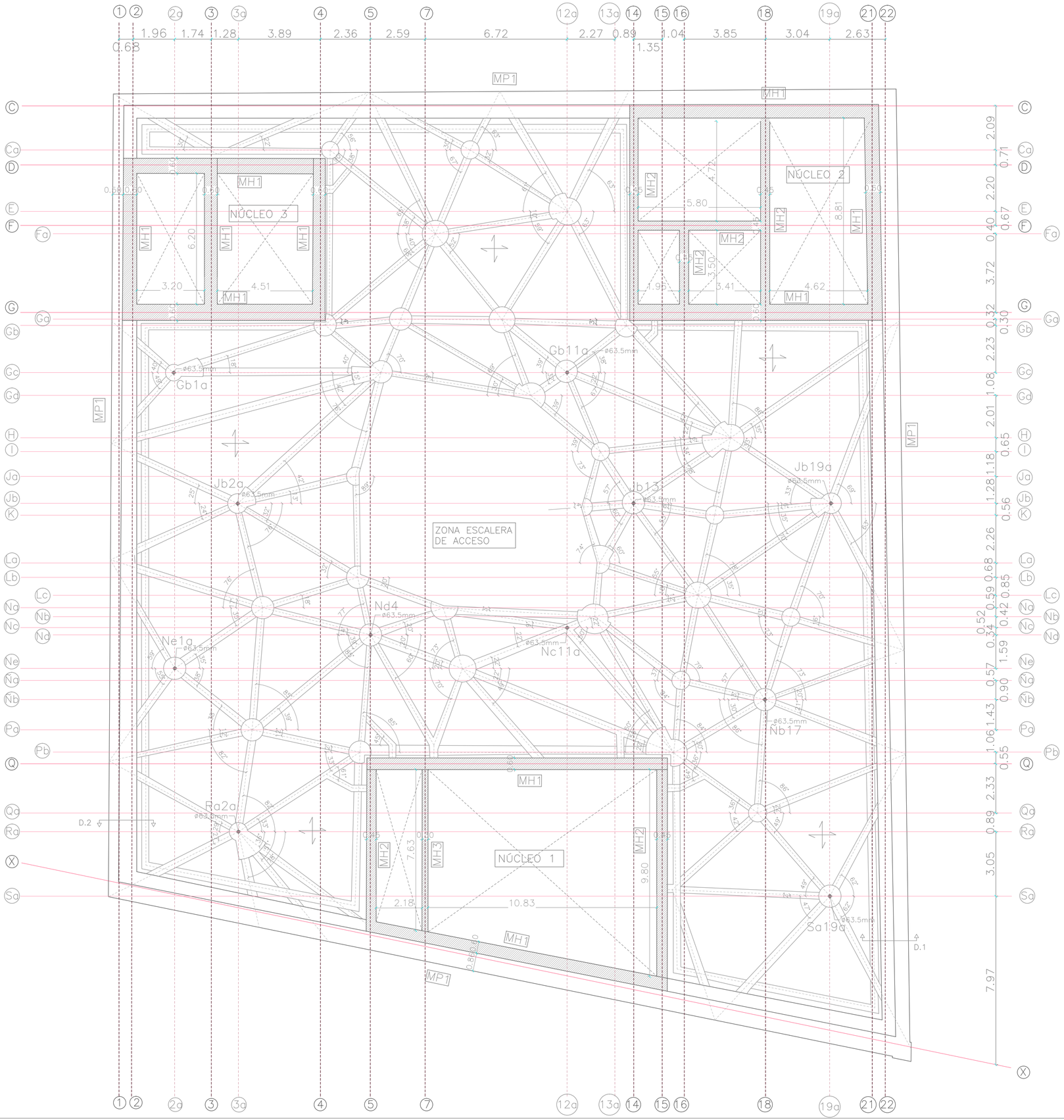
HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA–25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA–25/B/40/IIb	25	Blanda	40









CUADRO DE ELEMENTOS MÓDULOS POLIÉDRICOS

Rigidizador principal y ala superior	0.30 / 0.012 / canto variable / 0.012
Rigidizador secundario	0.25 / 0.012 / 0.12
Tubo de conexión	R0.24

LEYENDA

- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE-300

MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue Ø63.5mm
VMH-1	Viga-muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarca 2 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMH-2	Viga-muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarca 3 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMA-X	Viga Metálica Armada HEB-900 Alveolada
VM-X	Viga Metálica HEB
B-1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA-25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA-25/B/40/IIb	25	Blanda	40

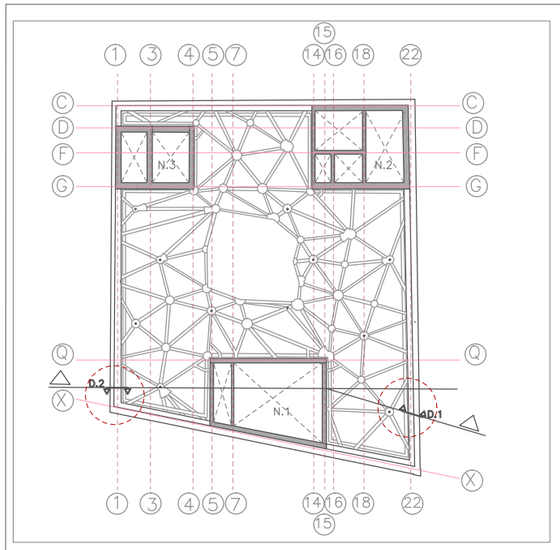
ACERO

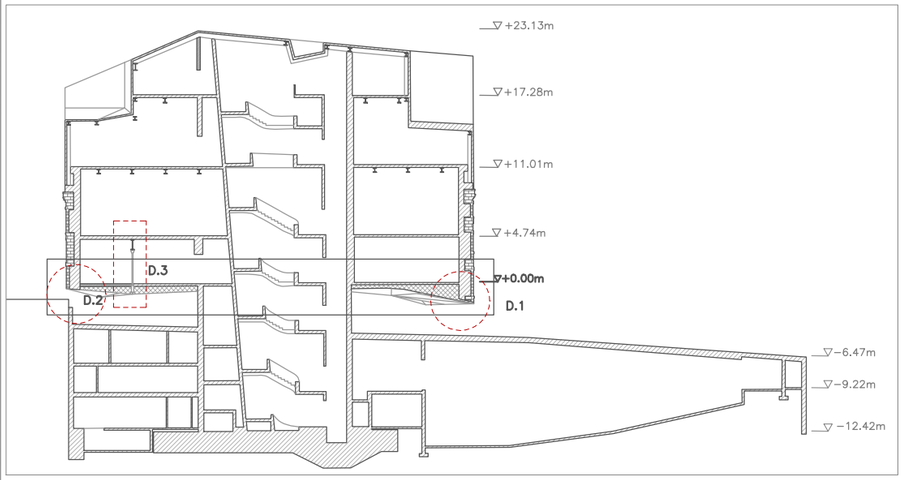
Elemento	Tipo	Límite elástico N/mm²
Todos	B500S	500

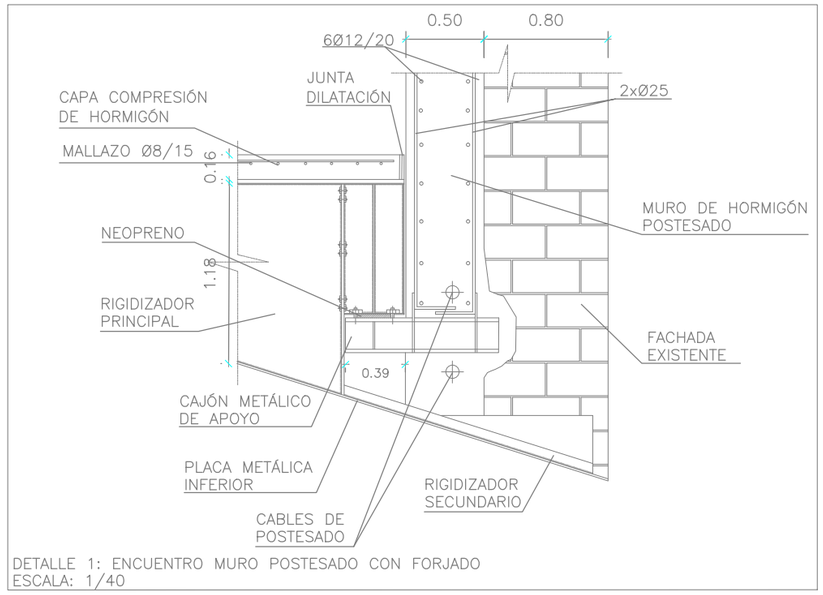
TFG Tutora: Mónica Martínez Martínez
Análisis Estructural de la Evolución del CaixaForum Madrid

Plano de Forjado Cota ±0.00 (I)
Cristina Pérez Cámara

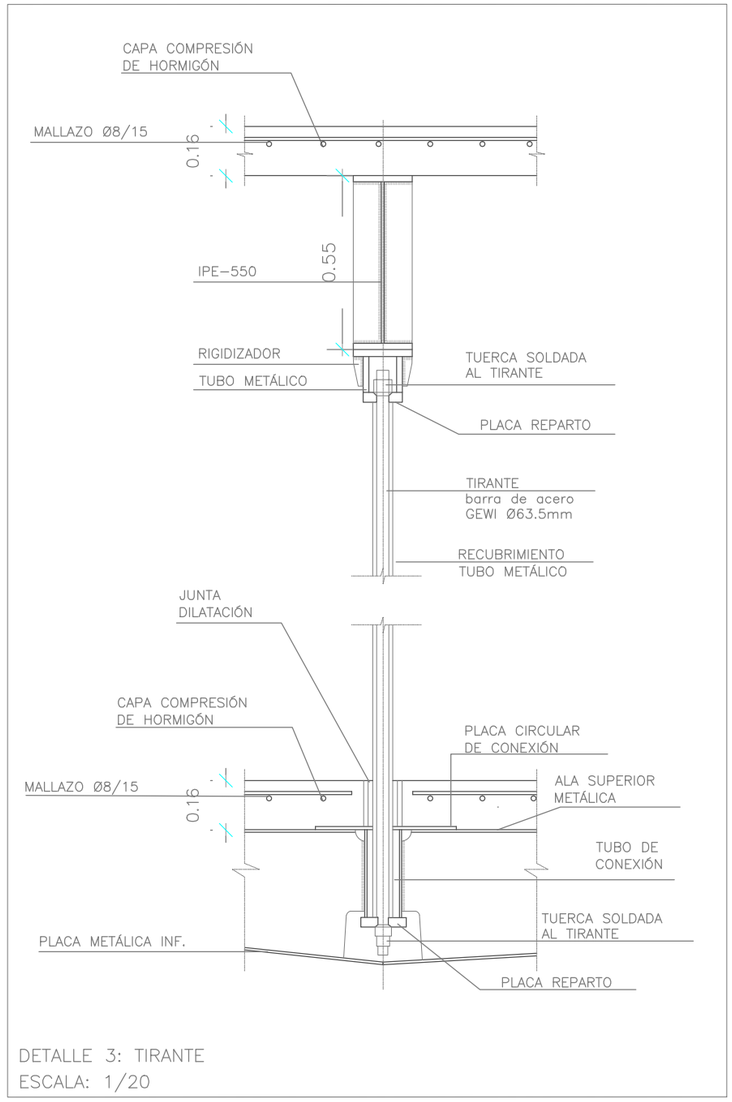
e 1/150



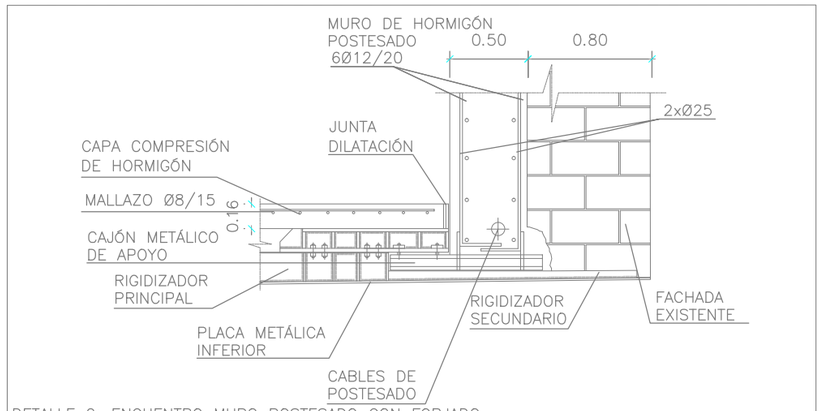




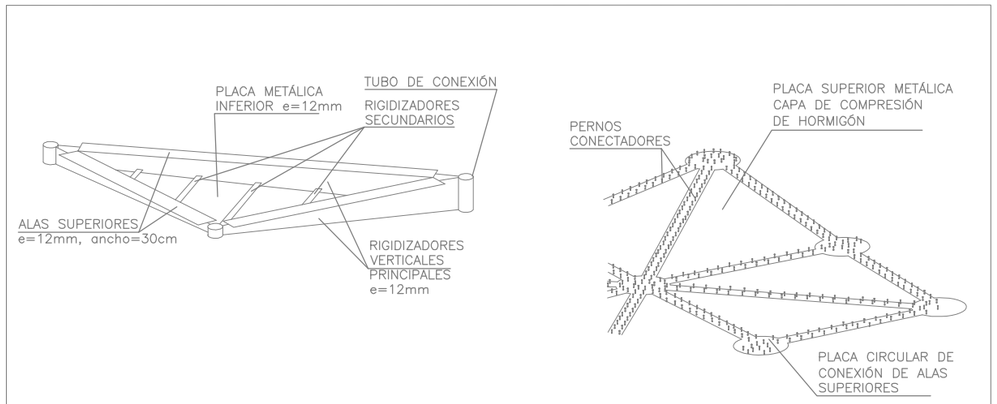
DETALLE 1: ENCUENTRO MURO POSTESADO CON FORJADO
ESCALA: 1/40



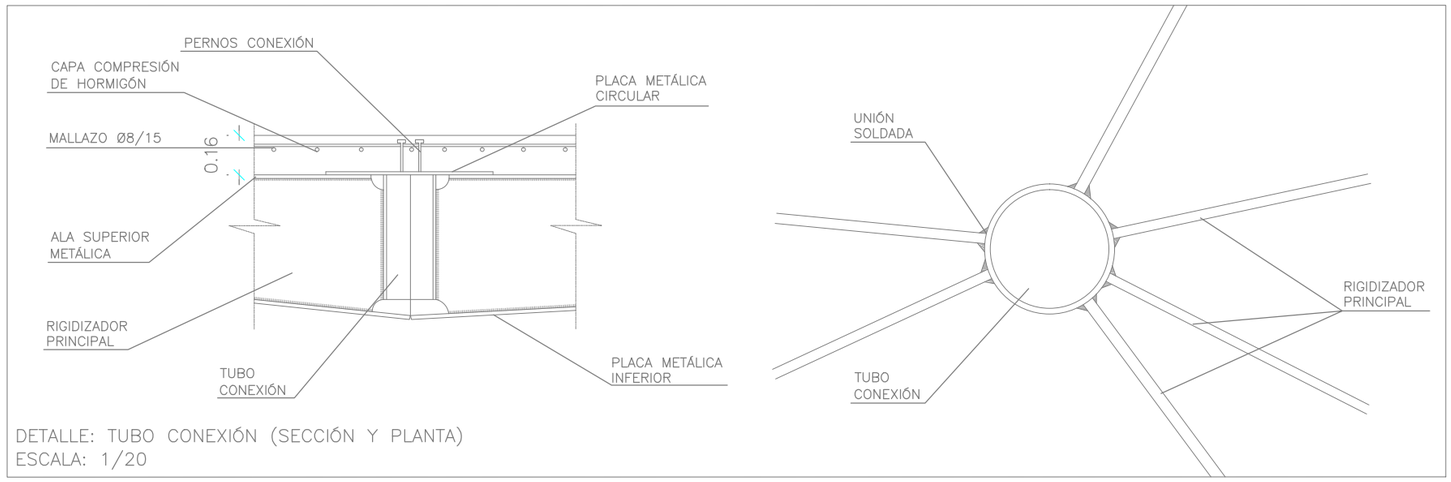
DETALLE 3: TIRANTE
ESCALA: 1/20



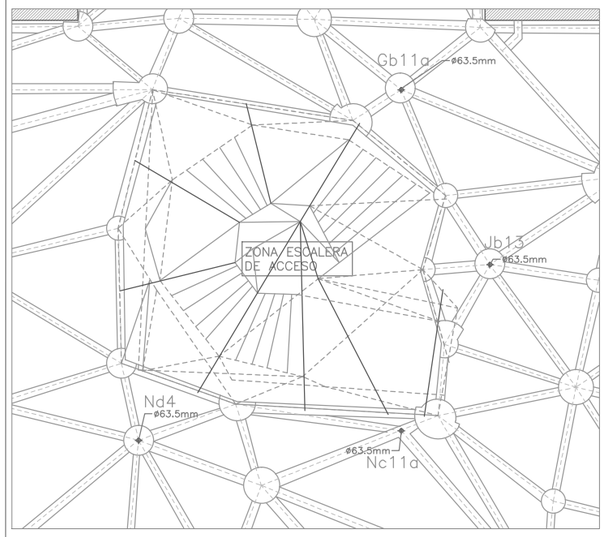
DETALLE 2: ENCUENTRO MURO POSTESADO CON FORJADO
ESCALA: 1/40

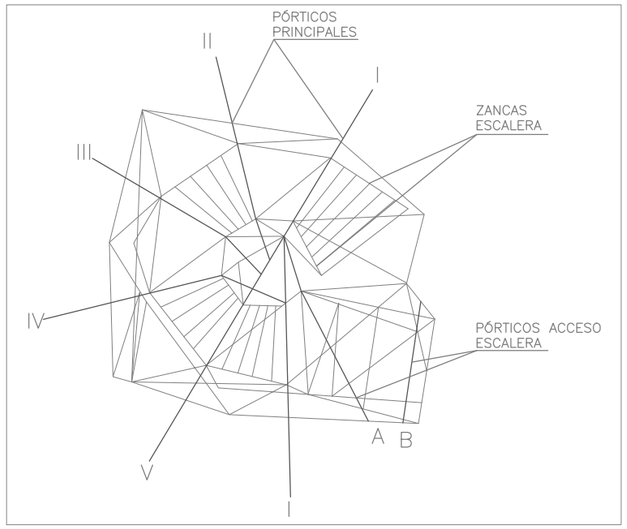


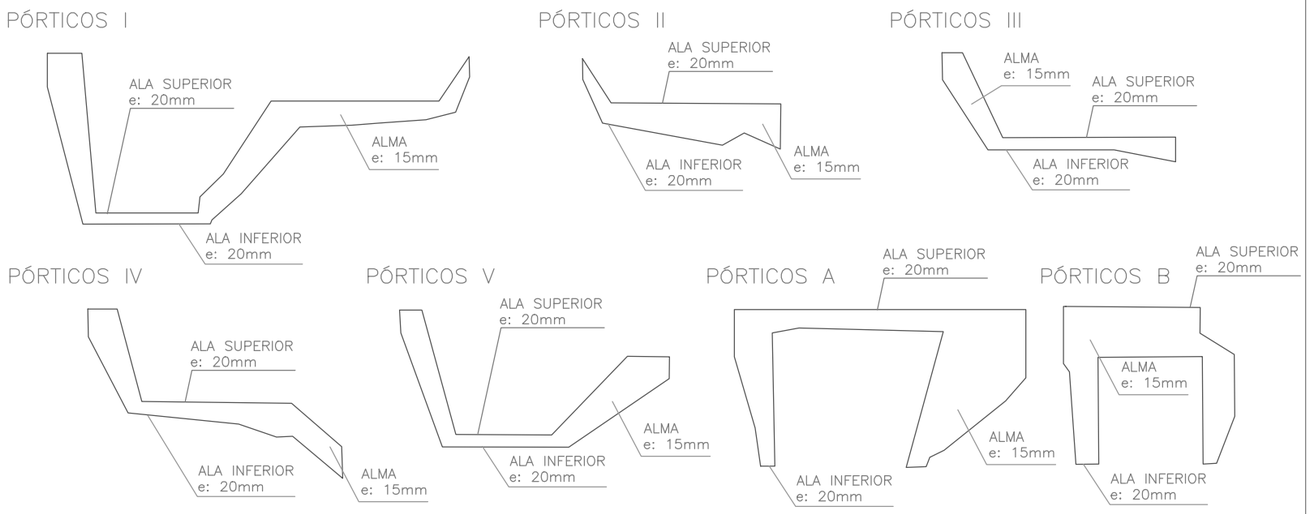
ELEMENTOS ESTRUCTURA METÁLICA

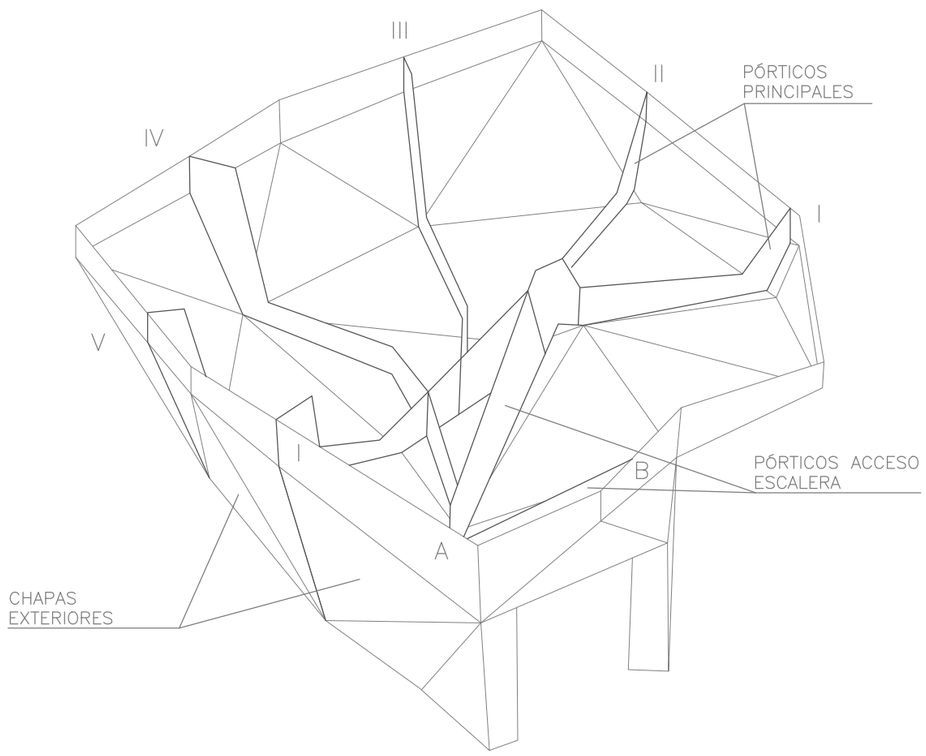


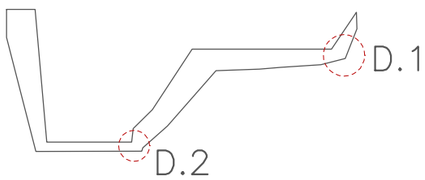
DETALLE: TUBO CONEXIÓN (SECCIÓN Y PLANTA)
ESCALA: 1/20

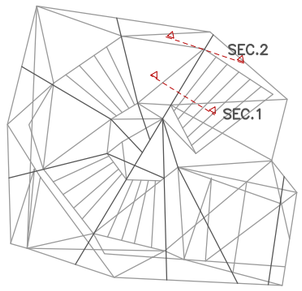


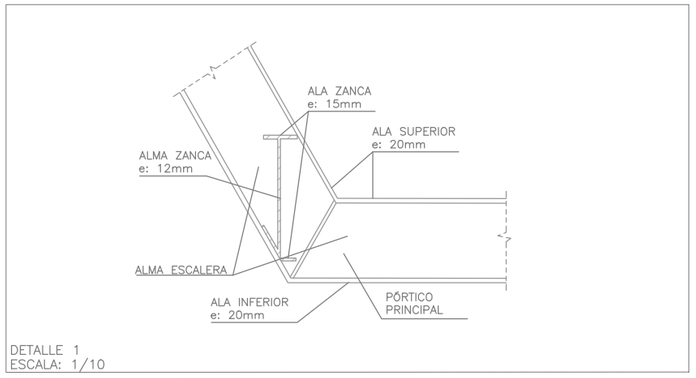




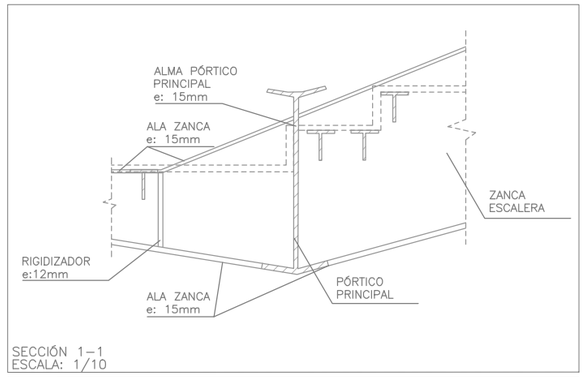




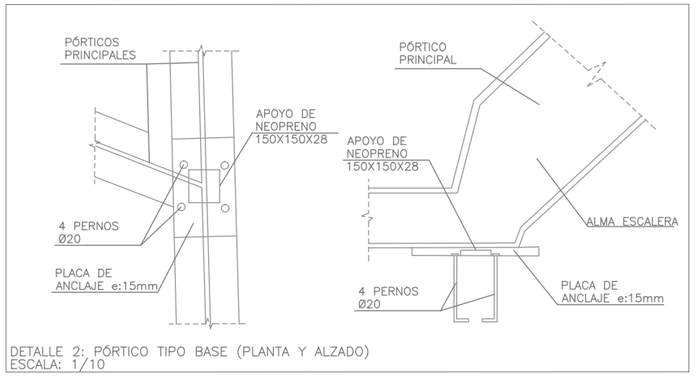




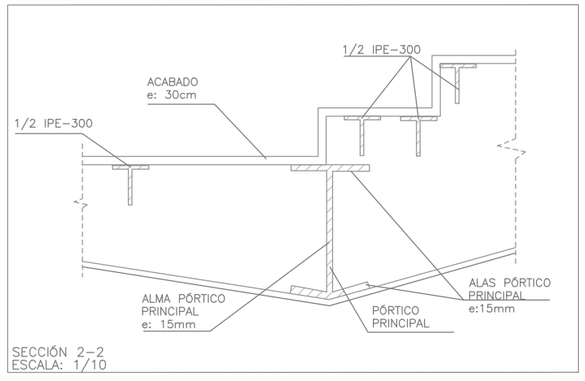
DETALLE 1
ESCALA: 1/10



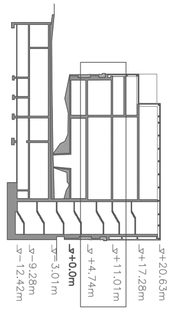
SECCIÓN 1–1
ESCALA: 1/10

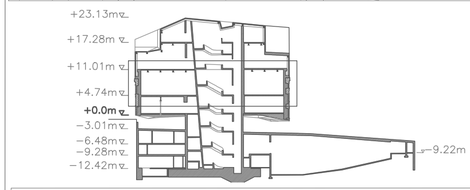


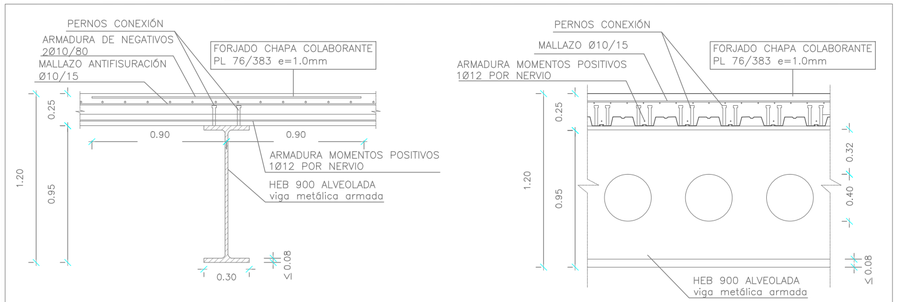
DETALLE 2: PÓRTICO TIPO BASE (PLANTA Y ALZADO)
ESCALA: 1/10



SECCIÓN 2–2
ESCALA: 1/10





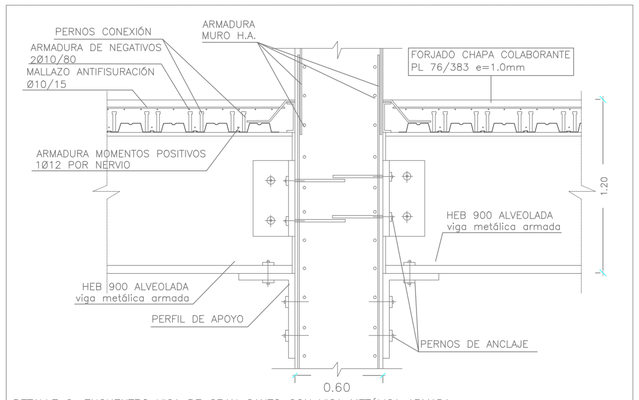


DETALLE 1: VIGA ARMADA Y FORJADO COLABORANTE
ESCALA: 1/40

LEYENDA

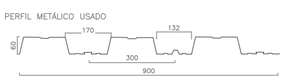
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE-300

MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: #a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: #a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: #a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: #a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue Ø63.5mm
VMH-1	Viga-muro de gran canto 1 (20mx30m) Abaco 2 plantas Armadura: #a dos caras Ø16/20
VMH-2	Viga-muro de gran canto 2 (20mx30m) Abaco 3 plantas Armadura: #a dos caras Ø16/20
VMA-X	Viga Metálica Armada HEB-900 Alveolada
VM-X	Viga Metálica HEB
B-1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

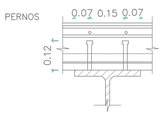


DETALLE 2: ENCUENTRO VIGA DE GRAN CANTO CON VIGA METÁLICA ARMADA
ESCALA: 1/40

PERFIL METÁLICO USADO



PERNOS



CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA-25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA-25/B/40/IIb	25	Blanda	40

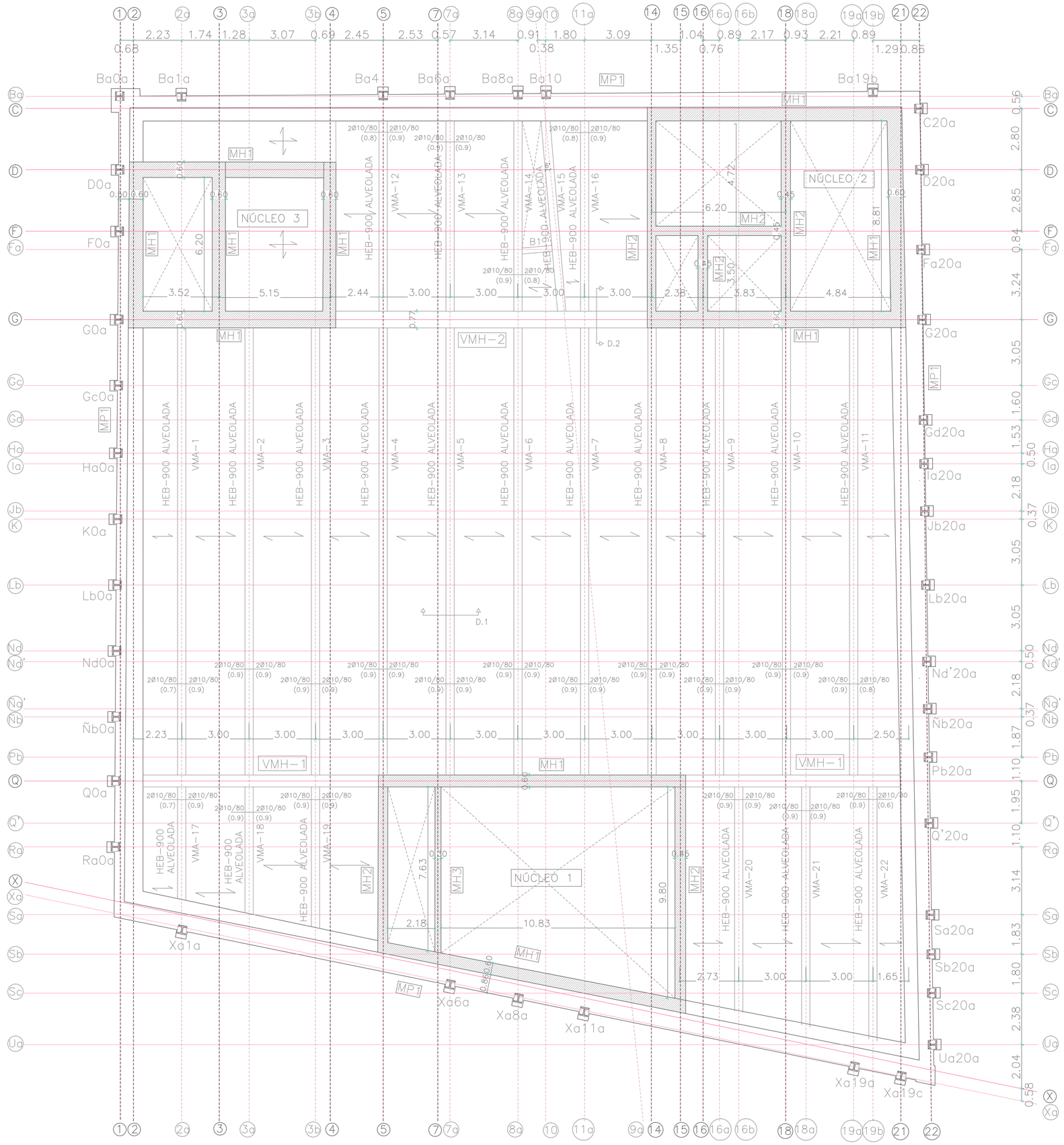
ACERO

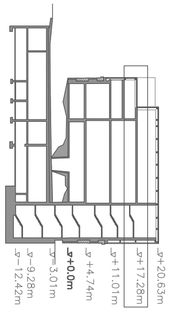
Elemento	Tipo	Límite elástico N/mm²
Todos	B500S	500

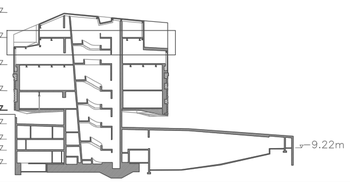
CUADRO DE VIGAS, BROCHAL Y PILARES

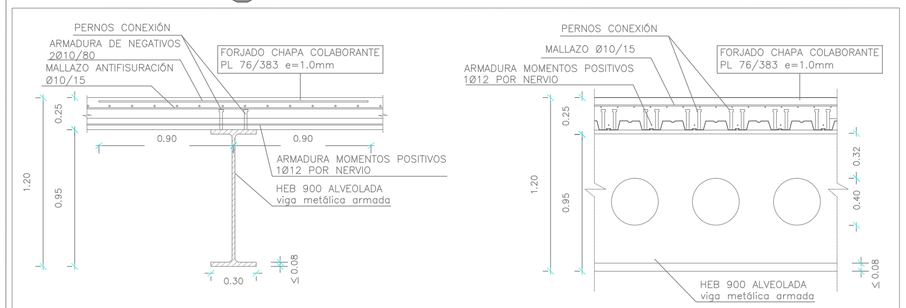
Viga	VM1-22	0.08 / 0.06 / 0.08 / 0.95 / 0.90
	HEB-900	
Brochal	B1	0.01 / 0.008 / 0.20 / 0.075
	UPN-200	

Pilar	Ba0a-Xa19c	0.79 0.79 / 0.24 0.24 / 0.96 0.96 / 0.52 / 2.41 / Rig:700x150x8 / 140 / 0.52 / Rig:140x150x8
	IPE-300 Placa: 600x700x25 Pernos: 8#20 Long.Anclaje: 60cm. Rigidiz.: 2x700x150x8 4x140x150x8	







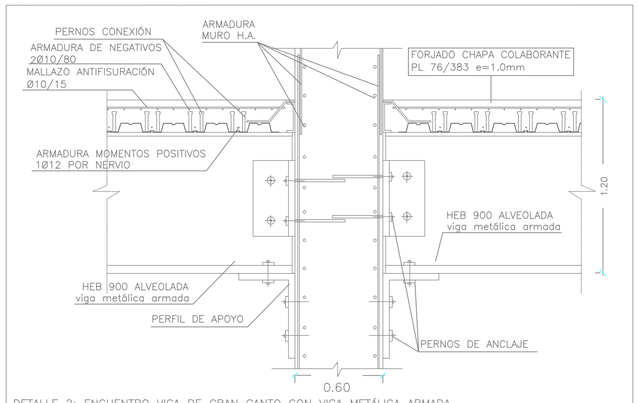


DETALLE 1: VIGA ARMADA Y FORJADO COLABORANTE
ESCALA: 1/40

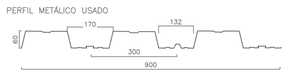
LEYENDA

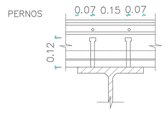
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE-300

MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue ø63.5mm
VMH-1	Viga-muro de gran canto 1 (20mx30m) Abaco 2 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMH-2	Viga-muro de gran canto 2 (20mx30m) Abaco 3 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMA-X	Viga Metálica Armada HEB-900 Alveolada
VM-X	Viga Metálica HEB
B-1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales



DETALLE 2: ENCUENTRO VIGA DE GRAN CANTO CON VIGA METÁLICA ARMADA
ESCALA: 1/40





CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA-25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA-25/B/40/IIb	25	Blanda	40

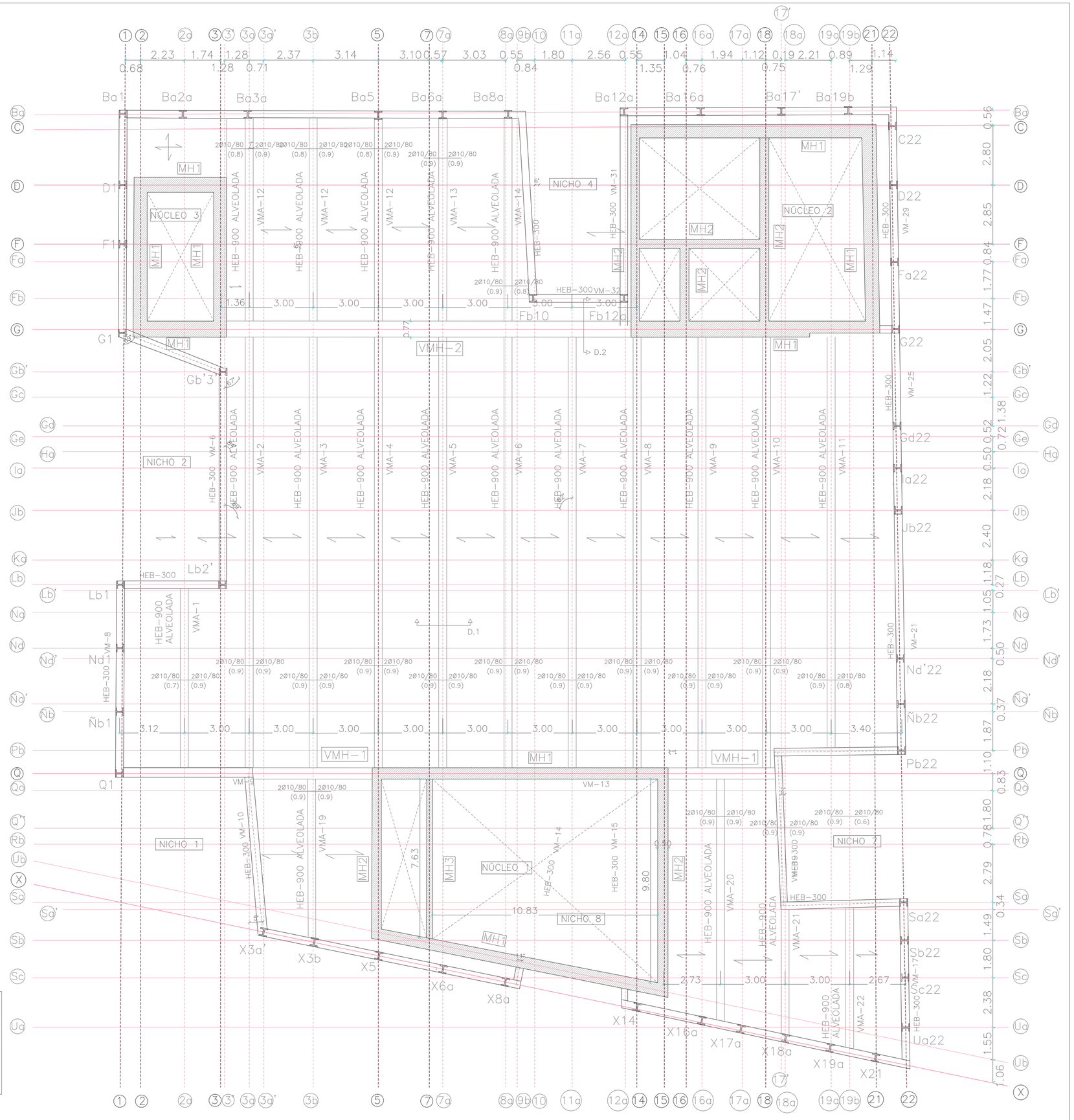
ACERO

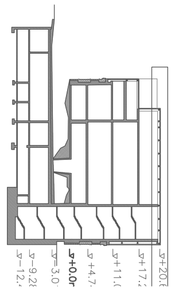
Elemento	Tipo	Límite elástico N/mm²
Todos	B500S	500

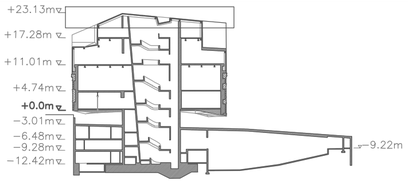
CUADRO DE VIGAS, BROCHAL Y PILARES

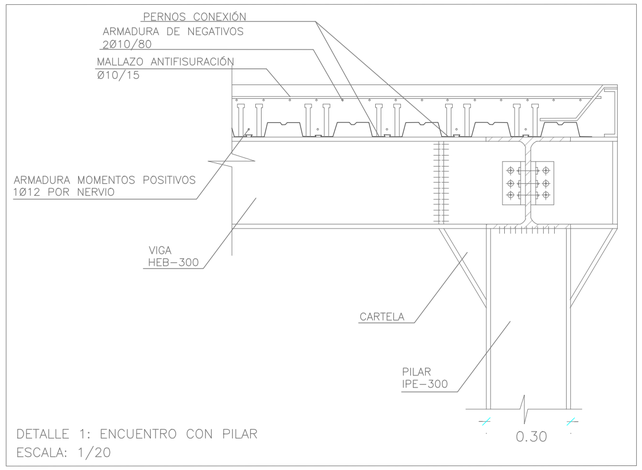
Viga	VM1-22	
	HEB-900	
Brochal	B1	
	UPN-200	

Pilar	Ba0a-Xa19c	
	IPE-300 Placa: 600x700x25 Pernos: 8Ø20 Long.Anclaje: 60cm. Rigidiz.: 2x700x150x8 4x140x150x8	Rig:700x150x8 Rig:140x150x8

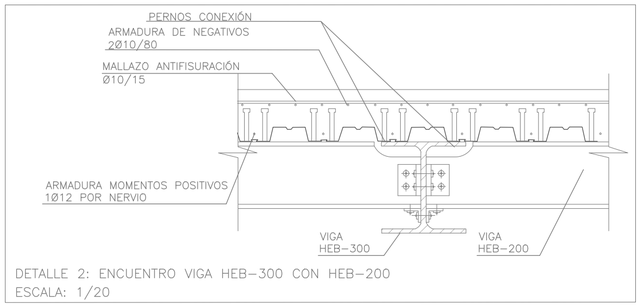








DETALLE 1: ENCUENTRO CON PILAR
ESCALA: 1/20



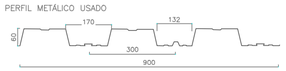
DETALLE 2: ENCUENTRO VIGA HEB−300 CON HEB−200
ESCALA: 1/20

LEYENDA

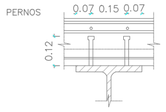
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE−300

MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
TC1	Tirante de cuelgue ⌀63.5mm
VMH−1	Viga−muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarca 2 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMH−2	Viga−muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarca 3 plantas Armadura: ⌀a dos caras Ø16/20
VMA−X	Viga Metálica Armada HEB−900 Alveolada
VM−X	Viga Metálica HEB
B−1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales

PERFIL METÁLICO USADO



PERNOS



CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

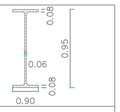
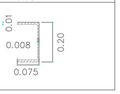
HORMIGÓN

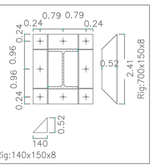
Elemento	Tipo	Resistencia Caracteristica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA−25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA−25/B/40/IIb	25	Blanda	40

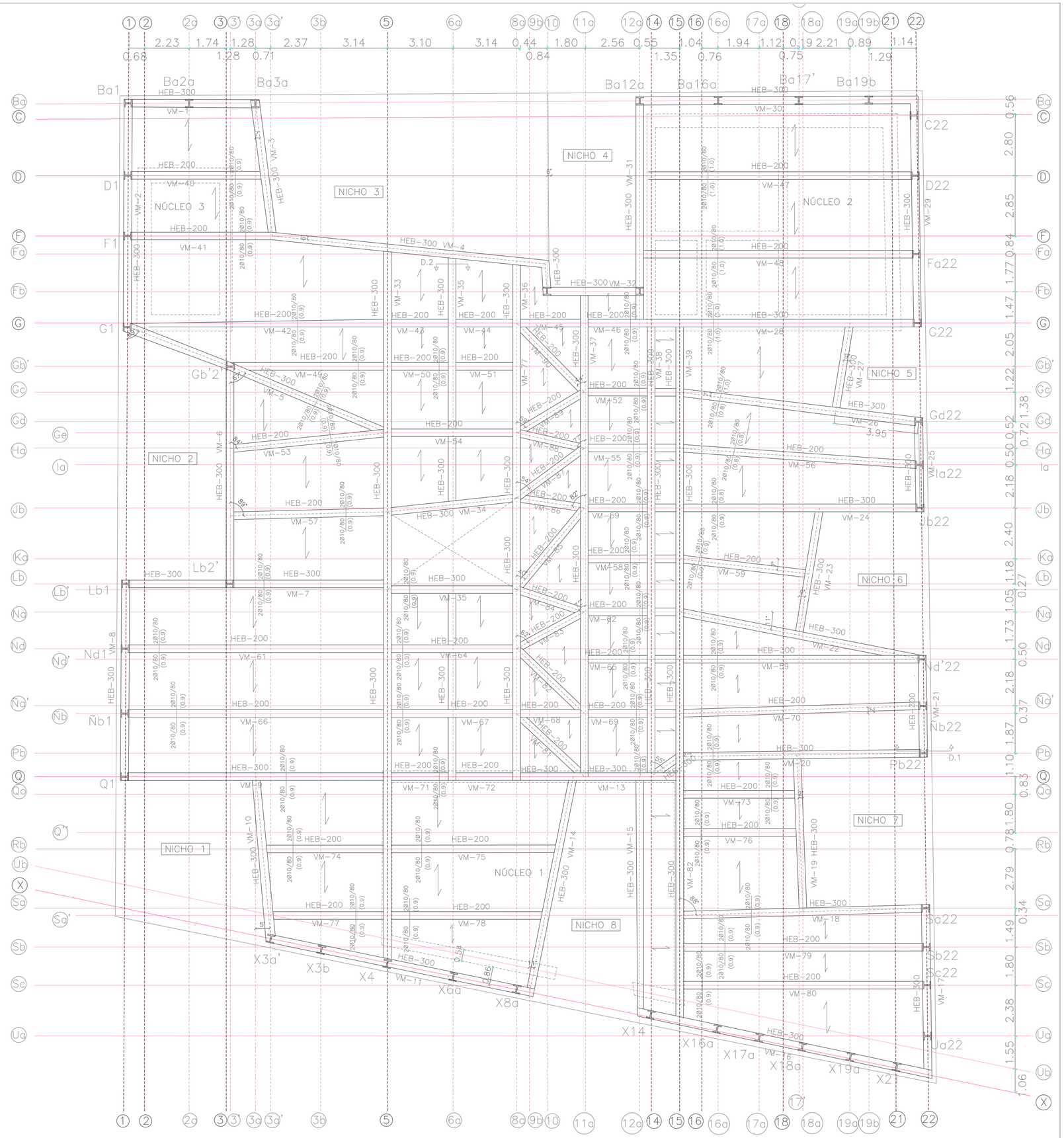
ACERO

Elemento	Tipo	Límite elástico N/mm²
Todos	B500S	500

CUADRO DE VIGAS, BROCHAL Y PILARES

Viga	VM1−22	
	HEB−900	
Brochal	B1 UPN−200	

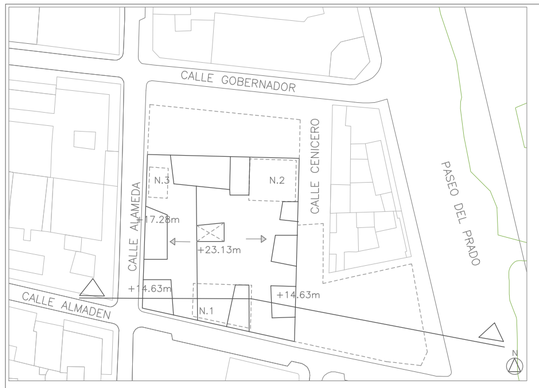
Pilar	Ba0a−Xa19c IPE−300 Placa: 600x700x25 Pernos: 8⌀20 Long.Anclaje: 60cm. Rigidiz.: 2x700x150x8 4x140x150x8	

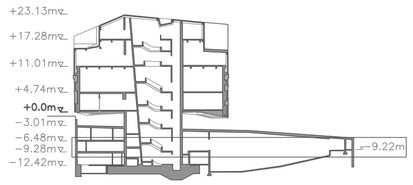


TFG Tutora: Mónica Martínez Martínez
Análisis Estructural de la Evolución del CaixaForum Madrid

Planta de Forjado Cota ±23.13
Cristina Pérez Cámara

e 1/150





CUADRO DE VIGAS Y PILARES

Viga		
	VM1−39	
	HEB−300	0.30 / 1.75
	VM40−90	
	HEB−200	0.20 / 1.15

Pilar		
	Ba0a−Xa19c	
	IPE−300 Placa: 600x700x25 Pernos: 8Ø20 Long.Anclaje: 60cm. Rigidiz.: 2x700x150x8 4x140x150x8	0.79 0.79 / 0.24 0.24 / 0.96 0.96 / 0.24 0.24 / 0.52 / 2.41 / Rig:700x150x8 / 0.52 / 140 / Rig:140x150x8

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

HORMIGÓN

Elemento	Tipo	Resistencia Característica N/mm²	Consistencia	Tamaño máx.árido mm.
Forjado	HA−25/B/20/IIb	25	Blanda	20
Cimentación	HA−25/B/40/IIb	25	Blanda	40

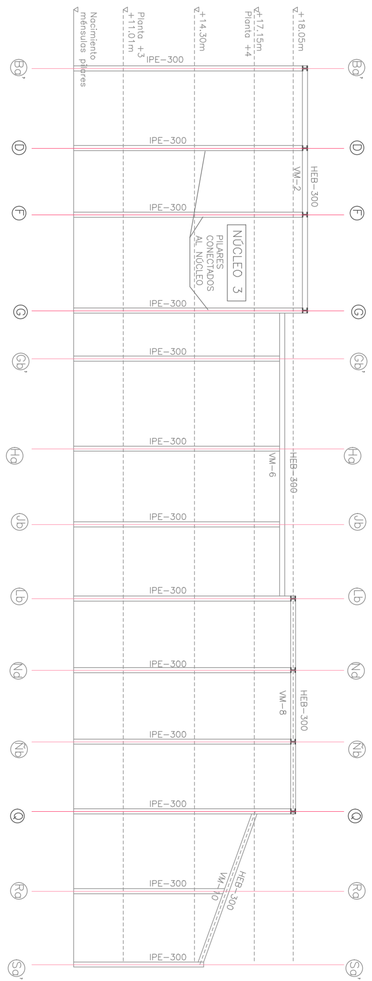
ACERO

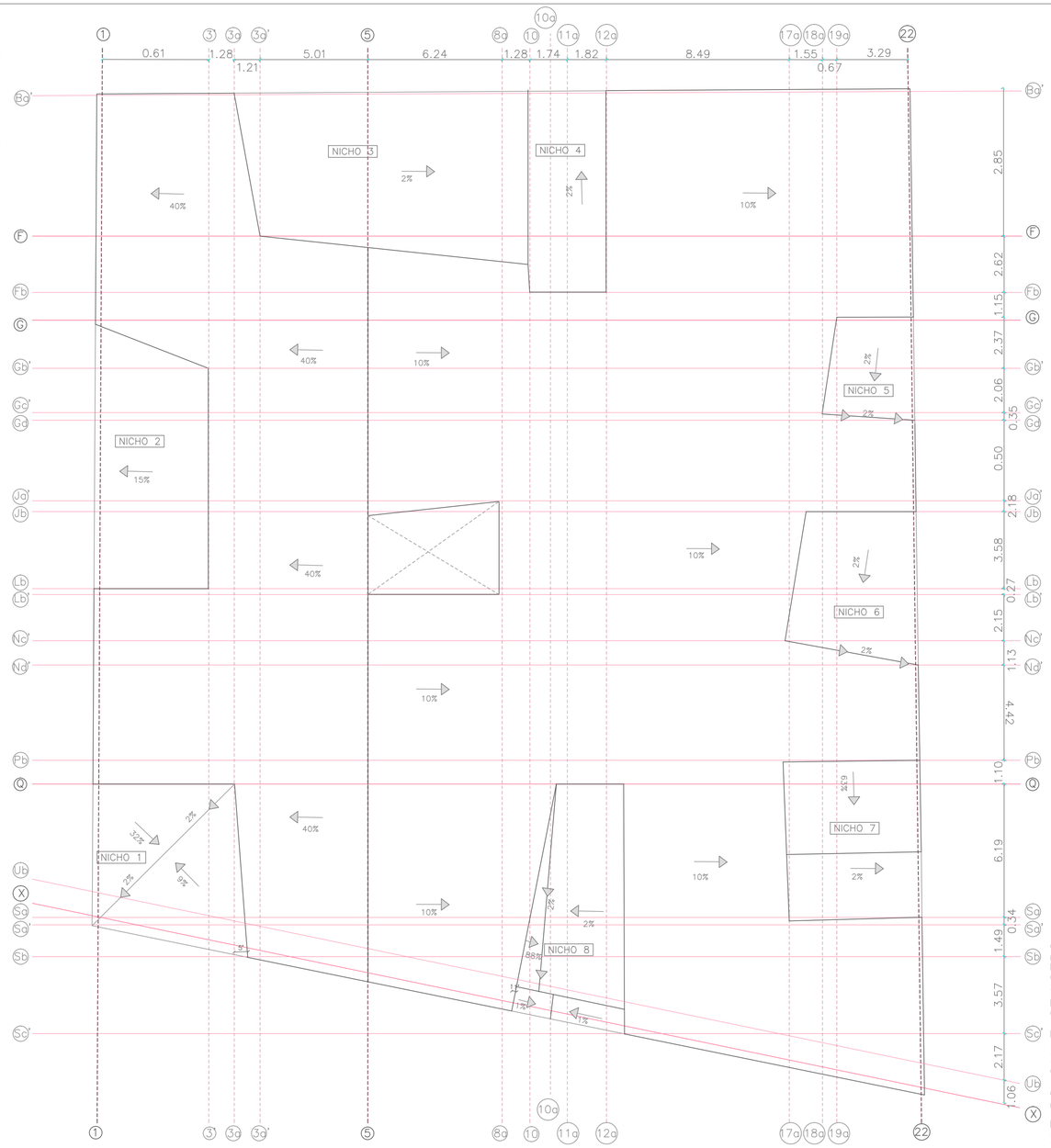
Elemento	Tipo	Límite elástico N/mm²
Todos	B500S	500

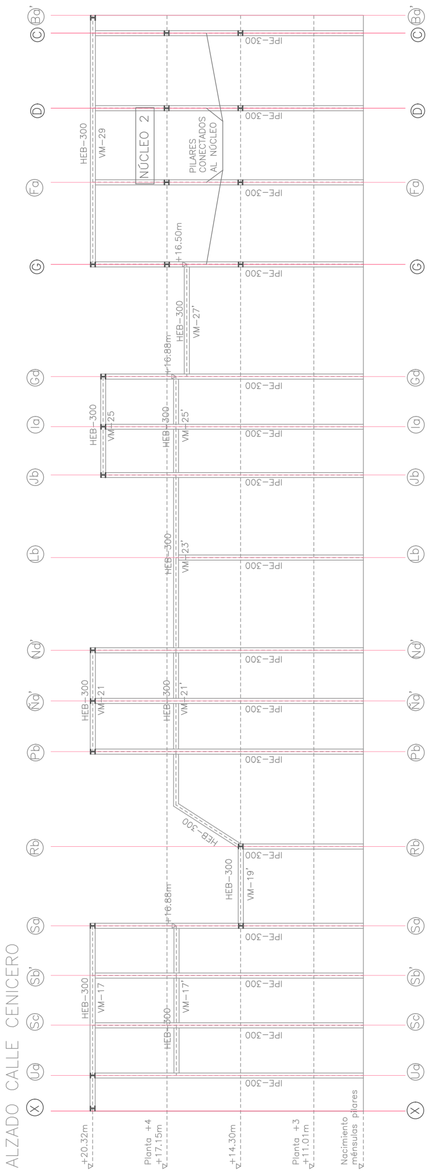
LEYENDA

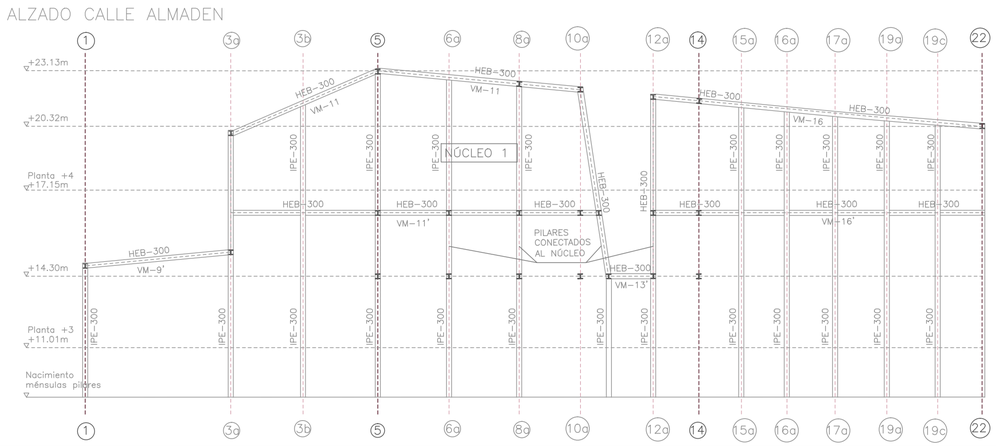
- Forjado bidireccional
- Forjado unidireccional de chapa colaborante
- Nacimiento Tirante de cuelgue
- Pilar H.A.
- Pilar metálico IPE−300

MH1	Muro de H.A. 60cm Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
MH2	Muro de H.A. 45cm Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
MH3	Muro de H.A. 30cm Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
MP1	Muro Postesado 50cm Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
TC1	Tirante de cuelgue ∅63.5mm
VMH−1	Viga−muro de gran canto 1 (20mx30m) Abarca 2 plantas Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
VMH−2	Viga−muro de gran canto 2 (20mx30m) Abarca 3 plantas Armadura: ∅a dos caras ∅16/20
VMA−X	Viga Metálica Armada HEB−900 Alveolada
VM−X	Viga Metálica HEB
B−1	Brochal Metálico
	Ejes
	Ejes estructurales









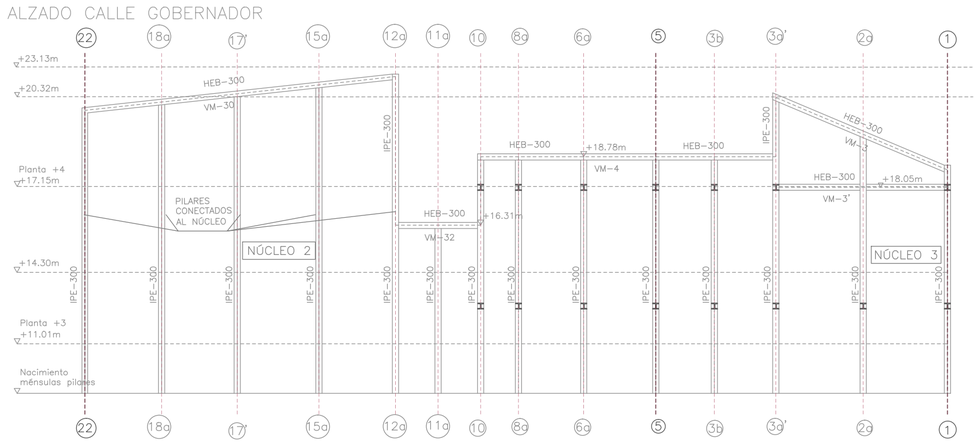


Fig. 36. Central Eléctrica oculta por la gasolinera

Este trabajo se ha realizado apoyándose en una herramienta fundamentalmente gráfica. Por ello, la primera conclusión a destacar será la importante relación entre el dibujo y el análisis realizado. Ambos están unidos y se deben entender conjuntamente, ya que la mejor representación y herramienta para comprender como funciona un edificio es el grafismo, a través de los planos estructurales, detalles y representaciones del conjunto en tres dimensiones.

No existe documentación gráfica del conjunto global de la Central Eléctrica del Mediodía, solamente de una zona. Pero gracias a la existencia de tratados de construcción y del actual conocimiento de las técnicas antiguas, he podido generar una planimetría de este edificio. El hecho de no disponer de planos arquitectónicos, en un primer momento, supuso ciertos obstáculos dado que no tenia base original y objetiva sobre la que basarme y sobre la que empezar a analizar la organización y estructura del edificio. Sin embargo, las nuevas herramientas de búsqueda me han permitido hacerme una idea subjetiva de lo que pudo ser en su origen, basada únicamente en mis conocimientos de arquitectura.

La planimetría de ambos edificios se ha estudiado a diferentes escalas: la próxima analizando como funciona estructuralmente y la lejana estudiando su comunicación con la ciudad.

Este diálogo, a lo largo del tiempo ha evolucionado. La Central Eléctrica del Mediodía no formaba parte de la ciudad, por tanto el edificio no dialogaba con la trama urbana. Esto se debe a que es un edificio industrial, donde importa el interior y satisfacer la necesidades de los trabajadores, y no de la sociedad, es decir, su fin era laboral y no social. (Fig. 36)

CONCLUSIONES

Sin embargo, el actual edificio se presenta y dialoga con la ciudad. Tras analizar el edificio actual, puedo confirmar que se adapta a las nuevas necesidades de la ciudad de Madrid, no solamente de sus ciudadanos sino también del turismo que acoge la ciudad. Esto se ha conseguido creando un nuevo foco cultural entre el triángulo ya existente (Museo Thyssen, Museo del Prado y Museo Reina Sofía) y generando un gran espacio público de acogida, que ayuda a la descongestión de la ciudad. De esta manera, se crea un lugar de encuentro y descanso. (Fig. 37)

Fig. 37. CaixaForum con acceso libre y dialogando con el Paseo del Prado

Para poder llevar a cabo este cambio de diálogo con la ciudad, la estructura ha sido la pieza clave y necesaria para poder realizarlo.

Se ha pasado de un edificio que visualmente su estructura pesa, basada en la técnicas tradicionales de construcción, a un nuevo proyecto de gran complejidad, que parece levitar e ir en contra de la gravedad. Esto se ha conseguido gracias a esos núcleos de hormigón, que funcionan como los únicos pilares y por tanto, recorren de arriba a abajo todo el edificio. También, se ha logrado representar la idea de proyecto gracias a las últimas tecnologías y técnicas constructivas.

Por tanto, se ha pasado de un edificio simple a un proyecto de gran complejidad estructural, convirtiéndose de este modo en un imán urbano.

En definitiva, estamos ante un edificio que cumple con las necesidades urbanas apoyándose en una compleja estructura.

BIBLIOGRAFÍA

REVISTAS

BIA (Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Madrid) nº257 Septiembre-Octubre, 2008. Pág. 8-26.

CA (Conarquitectura) nº27, Julio 2008.

EL CROQUIS , "*HERZOG & DE MEURON*", Nº 152/153.

ACHE (Hormigón y Acero). *"Aplicación del postesado en estructuras de edificación singular"*. 16-12-2008.

AV Monografías, Nº 129-130, 2008.

A+U, *"Architecture in Spain and Portugal 2000-2013"* Nº 520, Diciembre 2013.

Revista de Obras Publicas, Abril de 2008 Nº3487

LIBROS

"*Arquitectura Madrileña del Eclecticismo a la Modernidad. Jesús Carrasco-Muñoz*". Óscar da & Torres Neira, Susana de Rocha Aranda, 2002.

TRATADOS DE CONSTRUCCIÓN

"Tratado de Construcción Civil". Don Florencia Ger y Lobez, 1898, Madrid.

"Construcción General". D. José A. Rebolledo, 1876, Madrid.

"Manual del Ingeniero y Arquitecto". D. Nicolás Valdés, 1870, Madrid.

INSTITUCIONES

Archivo de Villa.

COAM (Colegio de Arquitectos de Madrid). La Fundación. Servicio Histórico.

WEBS

http://www.herzogdemeuron.com/

http://arquitecturaespectacular.blogspot.com.es/2010/10/caixa-forum.html

http://www.urbanity.es/2006/caixaforum-madrid-herzog-de-meuron/

https://quiron.wordpress.com/2007/12/13/caixa-forum-madrid/

http://viajesarquitectura.blogspot.com.es/2013/02/caixaforum-madrid-espana.html

http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/rutas/Arquitectura-Ciudad/Paseos/Museos-eje-prado/Mcaixa.asp?pest=6

http://tresiyo.com/blog/2012/05/07/caixa-forum-madrid/

http://www.pdf.investintech.com/preview/5846c48e-7e64-11e3-be51-003048d80846/index.html

http://mmemoreau.blogspot.com.es/2013/03/caixaforum-analisis-funcional.html

http://www-2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/index_inter.jsp

http://www.madrid.org/nomecalles/

http://www.madrid.org/cartografia/planea/index.htm

http://www-2.madrid.es/urbanismo_inter/archivos/planos/ca/ca559453.pdf

http://www.arquitecturaeindustria.org/

VÍDEOS

https://www.youtube.com/watch?v=5dU-SewyVXJw

https://www.youtube.com/watch?v=LSOQ-TrwIQC4

https://www.youtube.com/watch?v=tARy-48bEPDI

https://www.youtube.com/watch?v=KoHDK-FlQw1s