

ANEXO GRÁFICO 1

CORRISIÓ

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

LA CORROSIÓN.

Concepto y tipos de ambientes.

Generalmente se pueden encontrar en la naturaleza todos los metales, exceptuando los metales nobles, en forma de compuestos (óxidos, hidróxidos, sulfatos, etc.), estado que pertenece a valores reducidos de la energía de Gibbs. Debido a esto, es necesario un aporte energético para la extracción de los elementos metálicos, a partir de los compuestos anteriormente nombrados, que se llevará a cabo a través de un proceso de reducción.

Los metales de forma natural tenderán a regresar a estados de inferior nivel energético, ya que es cuando son estables, y esto es lo que sucede en los procesos de corrosión, donde la oxidación de los elementos metálicos implica una transformación del metal a diferentes compuestos, con una energía menor. Por eso, cuanto más energía se necesite para obtener un metal, con mayor facilidad se producirá su corrosión.

La corrosión puede desarrollarse según dos mecanismos diferentes:

-Oxidación directa (o corrosión seca), que sucede cuando el metal soporta una temperatura elevada, en ausencia de agua.

-Corrosión por intervención de una solución acuosa (corrosión húmeda), que es la más usual.

Podemos distinguir varios tipos de ambientes o clases de exposición como se muestra en la Figura 1.1, pero nosotros nos vamos a centrar en la corrosión en ambiente marino, es decir, aquella que aparece por intervención de una solución acuosa. En este caso, el mecanismo que se crea incluye reacciones químicas diferentes, con unas zonas de disolución del metal (zonas anódicas) y otras en que se permanece inalterado (zonas catódicas), generándose así una pila cuyo continuado funcionamiento solicita que exista un circuito eléctrico cerrado que incluye el ánodo, el cátodo, la conexión metálica entre ambos y el propio electrolito.

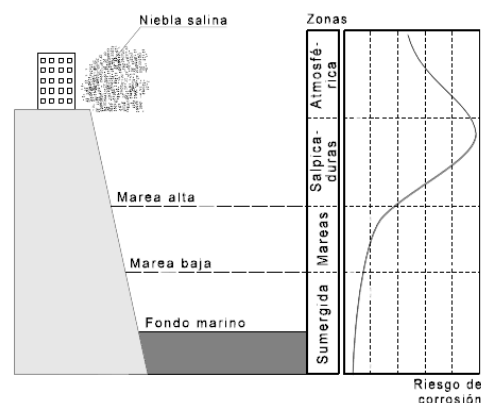
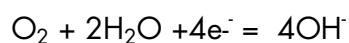
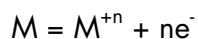
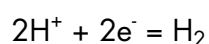


Imagen A1.1. Apuntes de CT3

Por ello, a este mecanismo se le nombra como corrosión electroquímica. Las reacciones son:



En medio ácido, son los iones hidrógeno los que reaccionan con los electrones liberados en vez del oxígeno disuelto:



La cantidad, en peso, de metal que se corroe es proporcional a la intensidad "I" de la corriente que se produce (en amperios) y al tiempo "t" transcurrido (en segundos), por medio de la ley de Faraday:

$$\text{Número de equivalentes - gramos} = I * t / 96493 \text{ }^1$$

Con estos datos, la normativa nos clasifica los diferentes tipos de ambientes según los grados y zonas de exposición que tengamos y donde nos encontremos:

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
no agresiva		I	ninguno	-interiores de edificios, no sometidos a condensaciones -elementos de hormigón en masa	-interiores de edificios, protegidos de la intemperie
normal	humedad alta	Ila	corrosión de origen diferente de los cloruros	-interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones -exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -elementos enterrados o sumergidos.	-sótanos no ventilados -cimentaciones -tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	humedad media	Ilb	corrosión de origen diferente de los cloruros	-exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm	-construcciones exteriores protegidas de la lluvia -tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm
marina	aérea	Illa	corrosión por cloruros	-elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar -elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)	-edificaciones en las proximidades de la costa -puentes en las proximidades de la costa -zonas aéreas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral -instalaciones portuarias
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	-elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	-zonas sumergidas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral -cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	en zona de mareas	IIIc	corrosión por cloruros	-elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	-zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral -zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	-instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino -superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas	-piscinas -pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve -estaciones de tratamiento de agua

Imagen A1.2 Tabla de ambientes para designar la clase de hormigón. Tabla 8.2.2. EHE.

¹ Apuntes Ingeniería Química de la Universidad de Alicante, Tema 5, Página 3.

La corrosión en ambiente marino.

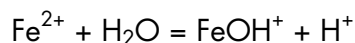
Como Valencia y la mayor parte del parque edificado de España se encuentran en ambiente marino, centraré mi proyecto en este tipo de mecanismo de corrosión, es decir, la corrosión del acero en el hormigón por intervención de una solución acuosa, que es aquella que se produce por la acción de los cloruros.

Los cloruros presentes en el agua absorbida por el hormigón afectan a las armaduras, haciendo que estas lleguen a corroerse, aumentando así su volumen y como estas están en el interior de un pétreo que no es capaz de deformarse, da lugar a la aparición de fisuras en el hormigón. A causa de dicha lesión, se facilitará la posterior filtración de agua, que a su vez aumentará la aceleración del efecto de corrosión en dichas armaduras.

Así pues, el ataque por cloruros empieza con la picadura en las zonas débiles de la interfase acero – hormigón, y a continuación el proceso pasa por diversas fases hasta llegar a la corrosión de la armadura.

Una zona débil se puede originar debido a una caída particular del pH, a un hueco de aire por mala compactación, a una fisura del hormigón o a un defecto de la superficie del acero.

La formación de ánodos particulares en las zonas débiles establece diferencias de potencial que atraen cloruros. Al eliminar oxígeno en el inicio de la picadura, la superficie de acero situada bajo los productos sólidos de la corrosión se pica, según la siguiente ecuación:



La existencia de iones de cloruro también hace que la solubilidad de la capa pasiva aumente, lo que acelera su disolución.

El resultado que obtendremos será una acidificación (disminución del pH) mayor y una liberación de iones de cloruro. Ambos efectos aceleran la corrosión. Se han localizado valores de pH de 1,0 en las picaduras; con parecido pH, la disolución ácida del acero puede ser mucho más rápida, que la corrosión electroquímica.

En algunos casos también, el nivel de cloruros no es lo bastante elevado como para producir la corrosión por picaduras de la armadura, pero si como para iniciar la corrosión por hendidura en la interfase entre hormigón y barra; el mecanismo de esta corrosión podría continuar debiéndose a la disolución, la acidificación local por la hidrólisis de los iones de hierro y los procesos de acumulación de cloruros.

Los iones hidroxilos, que forman parte del cemento, son aquellos que intervienen en contra del proceso de corrosión reparando la capa dañada. El cemento tiene un pH elevado, que lo que hace es evitar la corrosión, pero en cambio si se produce en la capa exterior del hormigón el proceso de carbonatación, que es donde la cal apagada (hidróxido cálcico) del cemento reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato cálcico, dará lugar a una bajada del pH (ácido), que a su vez puede dar lugar a la corrosión de las armaduras, y entonces se produce la corrosión por picadura.

Este proceso necesariamente ocurrirá en medio acuoso, donde el dióxido de carbono reacciona con el agua formando ácido carbónico, ya que este reaccionará con el hidroxilo de calcio, obteniendo como resultado el carbonato de calcio y agua.

La corrosión en las picaduras (ánodos) se produce electrolíticamente por reacciones catódicas en el área próxima del acero sin corroer (cátodo). Como habitualmente el área catódica es mayor que la anódica, la corrosión en las picaduras es intensa. En la figura 1.3 podemos ver un ejemplo del proceso que sufren las piezas de hormigón armado durante la corrosión.

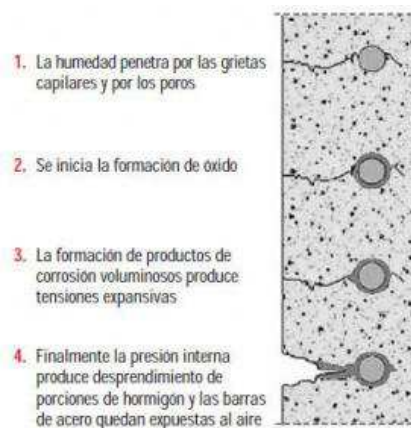


Imagen A1.3 Esquema de la corrosión de las armaduras.

El contenido crítico de cloruros es la parte de cloruros que causa la corrosión activa del acero.

Hasta el momento no se ha descubierto un valor único de este contenido crítico, debido a que varía en función de las características del hormigón (pH de la solución de los poros, temperatura, contenido de humedad, contenido de C3A, tipo de catión que acompaña al cloruro y finura del cemento, adiciones, etc.) y del acero (desigualdades de la superficie, composición, impurezas, envejecimiento). Todos estos parámetros intervienen en la naturaleza de la capa pasiva, lo que define el potencial eléctrico que muestra la armadura.

Además, la naturaleza de la capa pasiva progresa con el paso del tiempo, y por lo tanto también lo hace el potencial. Pourbaix aseguró que pueden sufrir corrosión

localizada aquellos aceros situados en soluciones alcalinas que contengan iones cloruros, por lo que para una concentración de cloruros determinada y un pH, se puede detectar un potencial por encima del cual el acero se corroe (llamado potencial de picadura) como podemos observar en la Figura A1.4.

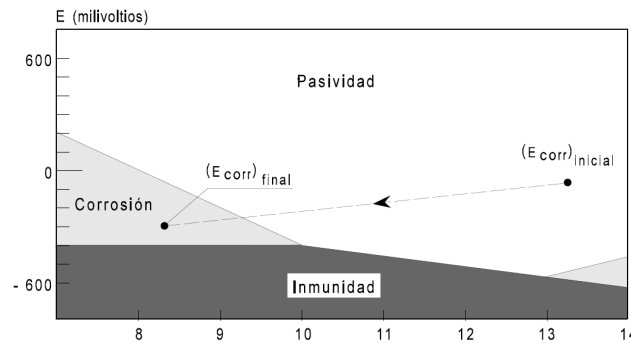


Imagen A1.4 Diagrama de Pourbaix. Apuntes CT3.

Siguiendo en la misma línea, se asocia el contenido de cloruros a un determinado riesgo de corrosión, como podemos comprobar en la Imagen 1.5, interpretando los valores como una simplificación, ya que el contenido crítico de cloruros varía con la relación agua / cementante (aumenta al reducirse la relación A/C).

Concentración de iones cloruros a la profundidad del acero (% de cemento).	Riesgos para la iniciación de la corrosión.
<0.4	Insignificante
0.4-1.0	Posible
1.0-2.0	Probable
>2.0	Seguro

Imagen A1.5 Riesgo de corrosión de la barra de refuerzo con relación a los rangos de concentraciones críticas de iones cloruros v solubles.

En ambientes completamente secos ($H.R. < 60\%$), el riesgo de corrosión es mínimo, incluso si está carbonatado el hormigón, dado que el proceso electrolítico está imposibilitado. Excepto cuando haya alto contenido en cloruros, la corrosión es posible, incluso en ambientes secos, debido a los efectos higroscópicos de los cloruros, que incrementan el contenido en agua del hormigón.

En hormigones continuamente saturados de agua, el riesgo de corrosión es bajo debido a la falta de oxígeno, incluso si el hormigón está intensamente contaminado por cloruros, ya que dichos cloruros se encuentran disueltos en el agua y no en el cemento.

En cambio, en zonas donde la actuación del agua sobre el hormigón es de forma irregular la corrosión es segura, ya que cuando la marea es alta, el agua penetra por los poros del hormigón sin causar daño alguno, pero cuando la marea baja, el agua sale del hormigón pero se quedan depositadas las sales en dicho cemento.

Esta es la zona más afectada por las sales presentes en el agua, a causa de que cuando el agua interactúa con el cemento, las sales están disueltas en el agua, pero cuando esta se aparta (baja la marea), dichas sales se quedan depositadas en el cemento, y son estos cloruros los que afectan directamente a las armaduras. Y si este proceso se repite durante varios periodos de tiempo, la cantidad de sales depositadas cada vez será más elevada por tanto, más cloruros y por tanto un aumento de la corrosión de las armaduras.

La corrosión verde o negra se produce en zonas donde el contenido de agua del hormigón es muy alto, limitando el acceso de oxígeno a las zonas anódicas. En este caso los productos de la corrosión no dan lugar a un gran incremento de volumen y pueden esparcirse por la estructura porosa del hormigón sin provocar desprendimientos.

Hay una gran influencia del contenido de humedad sobre la resistencia óhmica del hormigón, cuanto mayor es la humedad (50%, 100% o con poros saturados), menor es la resistencia óhmica.²

El aumento de la temperatura provoca un incremento de la movilidad de los iones y de la velocidad de corrosión, pero su disminución puede provocar condensaciones, que a su vez pueden dar lugar a aumentos locales del contenido de humedad y por tanto provocar una disminución en la resistencia óhmica del hormigón.

En el libro Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado³, se hace hincapié en una normativa específica para estructuras de hormigón armado en ambiente marino: ACI 375R. Fixed offshore concrete structures.

El contenido de C₃A en el cemento no debería ser inferior al 4% para proteger suficientemente a la armadura, y no debería ser superior al 10% para obtener un hormigón resistente a los sulfatos. Para obtener una pasta de cemento de alta calidad alrededor de las armaduras y así protegerlas de la corrosión, se recomienda un contenido mínimo de 356 kg de cemento/ m³ de hormigón.

El contenido de iones cloruro (Cl-) solubles en agua en el hormigón, antes de ser expuesto al ambiente, no debería superar el 0,10 % en peso de cemento para el

² Libro "Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado", ECU editorial club universitario, AAVV: Pedro Garcés Terradillo, Miguel Ángel Climent Llorca, Emilio Zornoza Gómez.

³ Libro "Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado", ECU editorial club universitario, AAVV: Pedro Garcés Terradillo, Miguel Ángel Climent Llorca, Emilio Zornoza Gómez.

hormigón armado, ni el 0,06 % en peso de cemento para el hormigón pretensado. Un contenido de iones cloruros (Cl-) de hasta el 0,15 % podría ser aceptable en el hormigón armado, pero solo se podría aplicar tras una evaluación del potencial de corrosión de una estructura concreta bajo determinadas condiciones ambientales. Las relaciones agua / cemento y las resistencias mínimas a 28 días recomendadas para las diferentes zonas de exposición son las siguientes:

ZONA	MÁXIMA RELACIÓN A/C	RESISTENCIA MÍNIMA MPA
SUMERGIDA	0.45	35
MAREAS	0.40	35
ATMOSFÉRICA	0.40	35

Imagen A1.6 Relaciones agua/cemento y resistencias mínimas recomendadas para las diferentes zonas de exposición.

Los recubrimientos recomendados para paredes gruesas de hormigón (al menos 50 cm de espesor) son los siguientes:

ZONA	RECUBRIMIENTO SOBRE BARRAS DE ACERO MM	RECUBRIMIENTO SOBRE TENDONES DE PRETENSADO MM
ATMOSFÉRICA NO SOMETIDA A SALPICADURAS	50	75
MARCAS Y ATMOSFÉRICA SOMETIDA A SALPICADURAS	65	90
SUMERGIDA	50	75
RECUBRIMIENTO DE ESTRIBOS	13 MENOS QUE LOS ANTERIORES	-

Imagen A1.7 Recubrimientos recomendados.

Los recubrimientos no deberían ser mucho mayores que los estipulados para restringir la anchura de las posibles fisuras.

En estructuras de menos de 50 cm de espesor se debería intentar mantener estos mismos recubrimientos, pero cuando no sea posible se pueden emplear la máxima de las siguientes recomendaciones con precaución:

1,5 veces el tamaño máximo de árido.

1,5 veces el diámetro de la barra mayor.

20 mm de recubrimiento a cualquier armadura (incluso estribos).

BS6349. British Code of Practice for Maritime Structures.

El mejor método para garantizar la elevada alcalinidad es lograr hormigones con la menor permeabilidad posible, lo que se consiguen adoptando mezclas de la mayor densidad posible. Esta elevada resistencia y baja permeabilidad debe conjugarse con una trabajabilidad adecuada.

En cuanto a la acción de los iones sulfatos presentes en el agua de mar, se deben emplear hormigones en los que se limite el contenido de aluminato tricálcico del cemento portland a un máximo del 10%, aunque no debe ser inferior al 4% para evitar el ataque de los cloruros a la armadura (como ya mencionamos anteriormente). Otras posibilidades son sustituir al menos el 25% del cemento portland por cenizas volantes o el 70% del cemento portland por escorias. No se deben emplear áridos ligeros.

El recubrimiento será preferiblemente de 75 mm, aunque nunca inferior a 50 mm hasta 300 mm.

Valores típicos de la velocidad de corrosión de aceros estructurales en ambiente marítimo del UK (extraídos del BS6349 antes mencionados) son:

ZONA DE EXPOSICIÓN	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (MM/AÑO)
Por debajo del lecho marino	0.01
Zona siempre sumergida: del lecho marino al nivel de mareas bajas de la primavera.	0.08
Zona sumergida con agua siempre fresca.	0.05
Parte inferior de la zona de mareas: entre el nivel de mareas bajas en primavera y con el mar en calma.	0.20
Zona de mareas: entre el valor medio de marea baja y el valor medio de marea alta.	0.09
Zona de salpicaduras: desde el valor medio de marea alta hasta una altura que es función de la altura de ola y la exposición al viento.	0.14
Zona atmosférica: por encima de la zona de salpicaduras y donde no es frecuente la humectación por olas o espuma.	0.10

Imagen A1.8 Valores típicos de la velocidad de corrosión de aceros estructurales en ambiente marítimo.

ANEXO GRÁFICO 2

PLANTAS Y SECCIONES

MEMORIA CONSTRUCTIVA

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



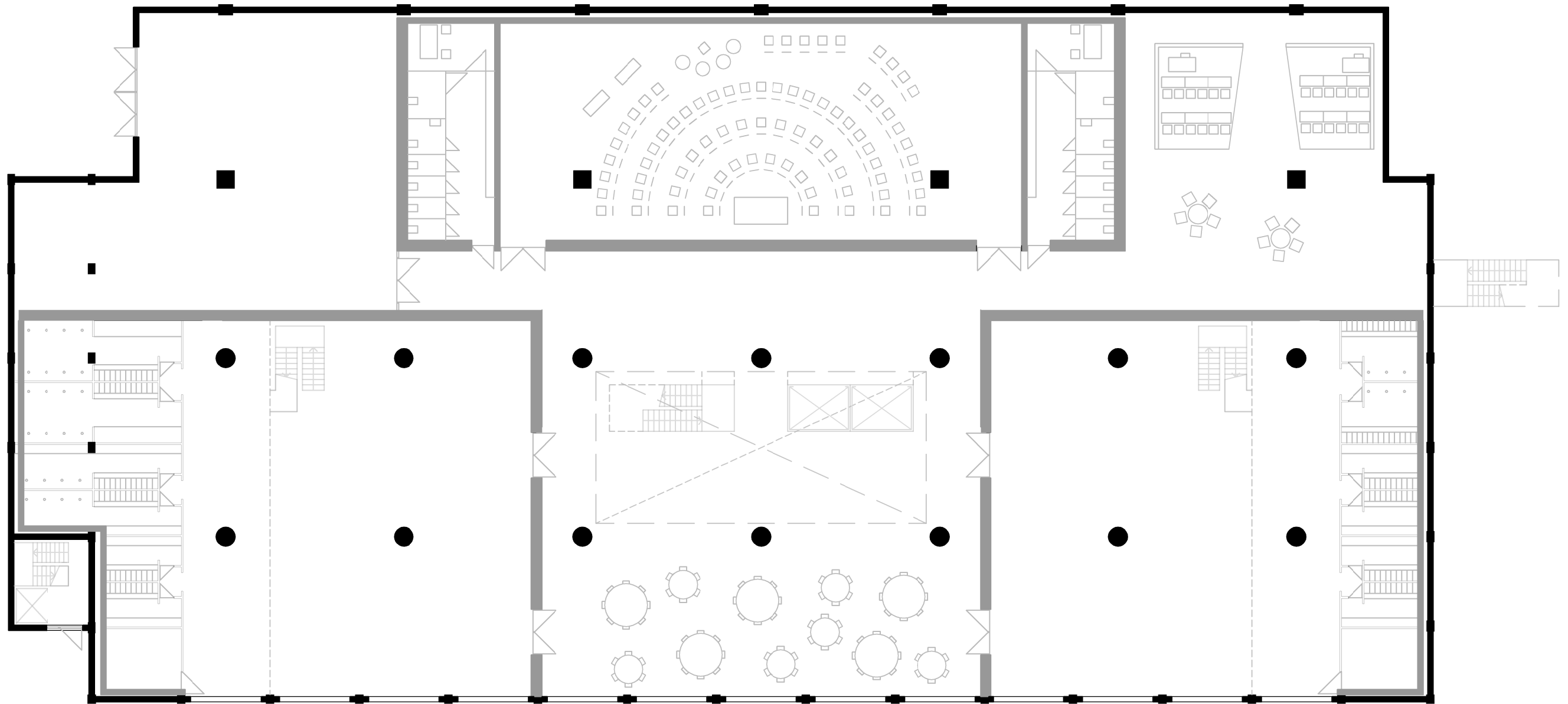
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



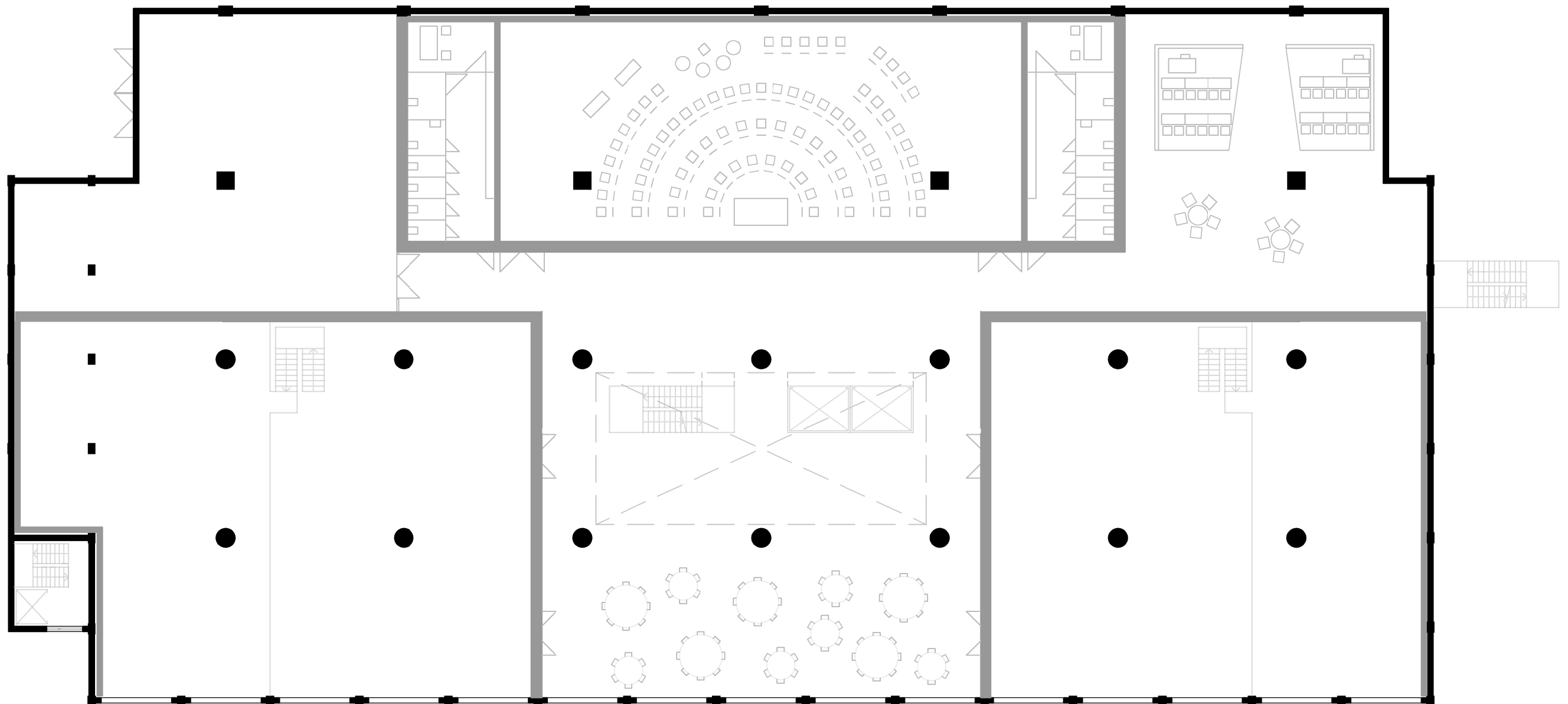
ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

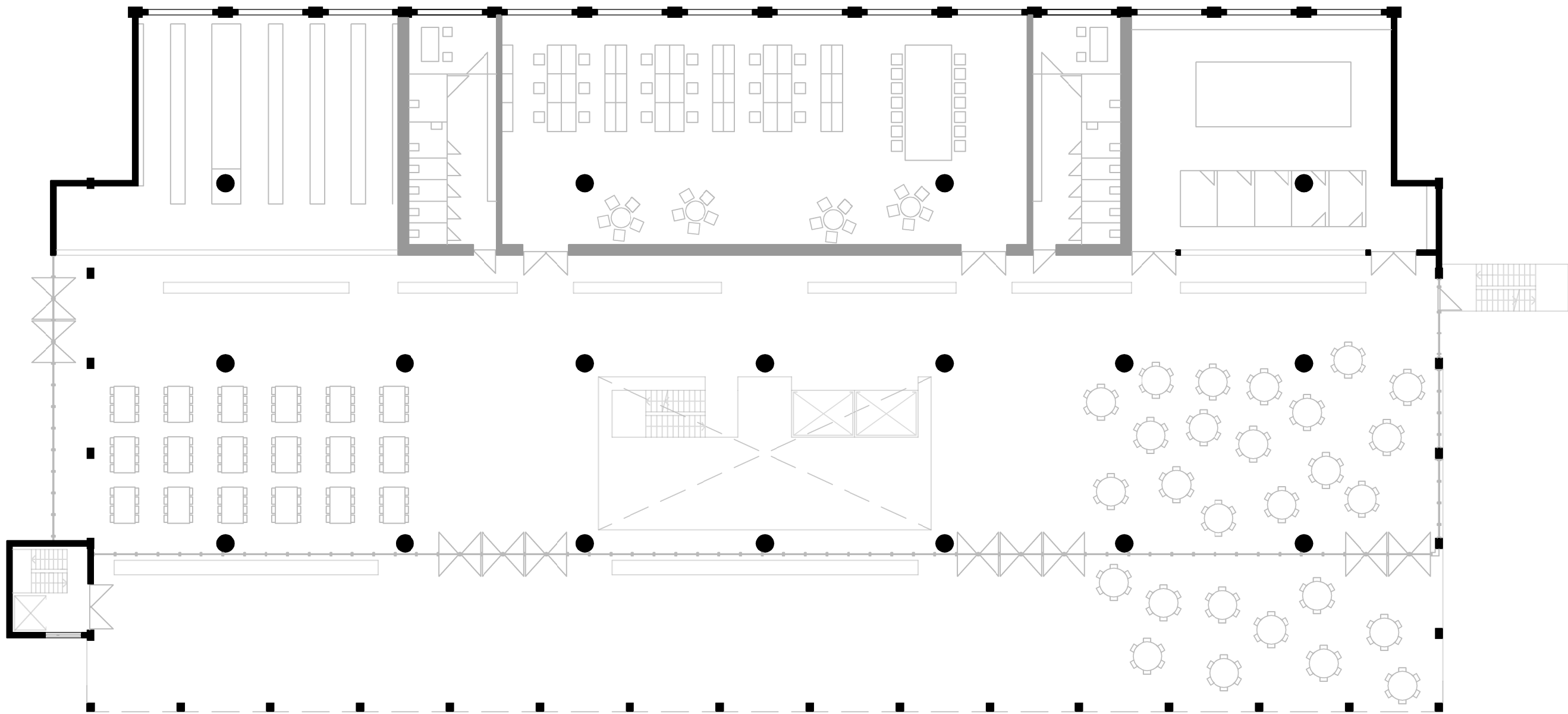
UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



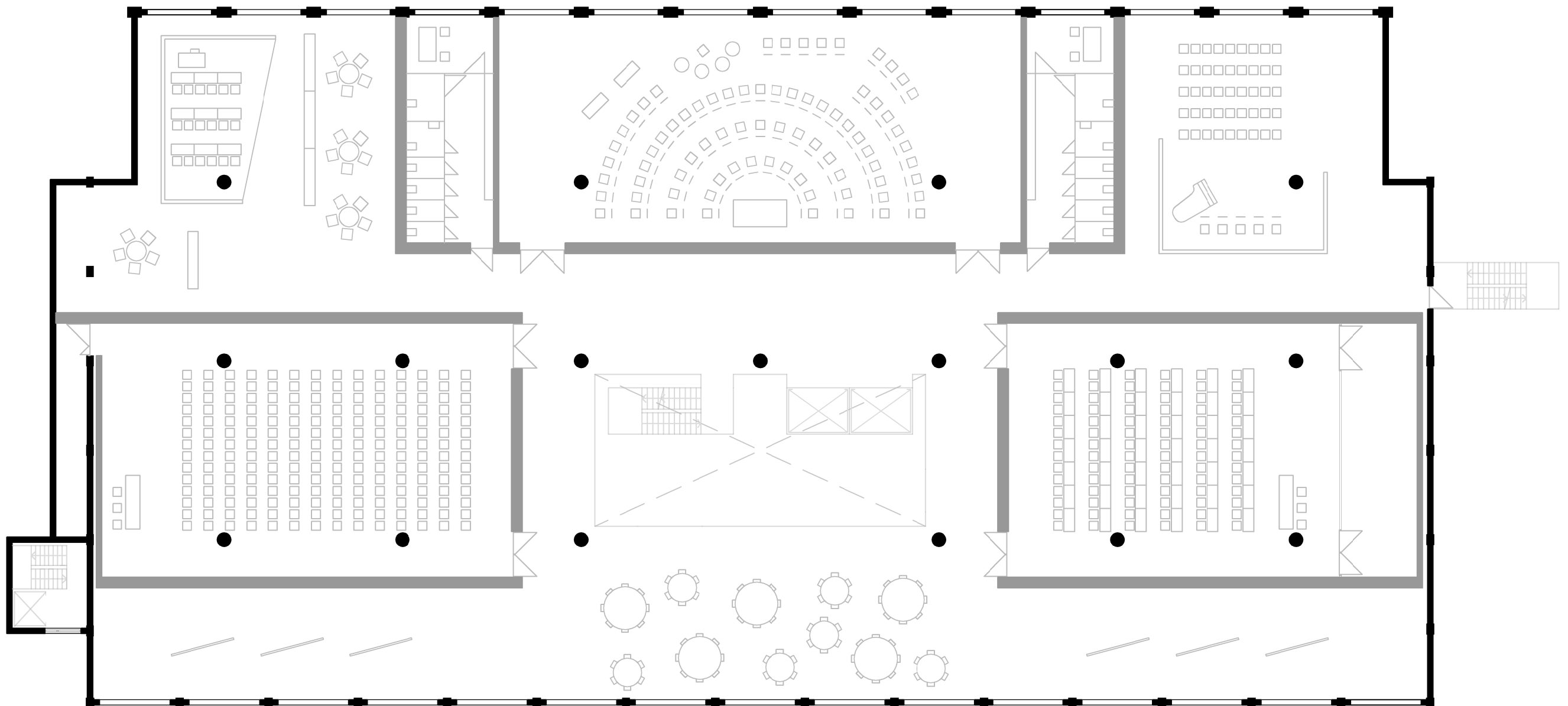
PLANTA SÓTANO 2



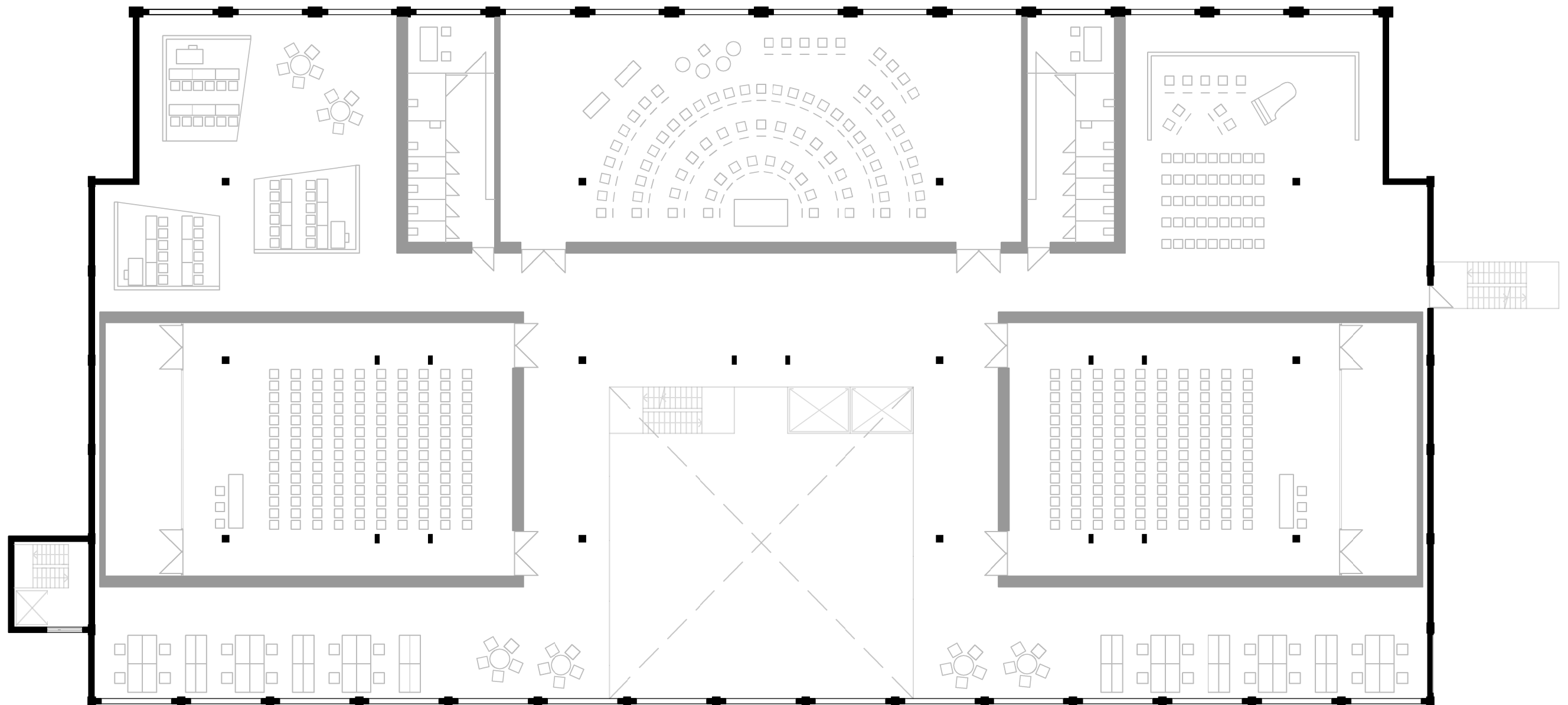
PLANTA SÓTANO 1



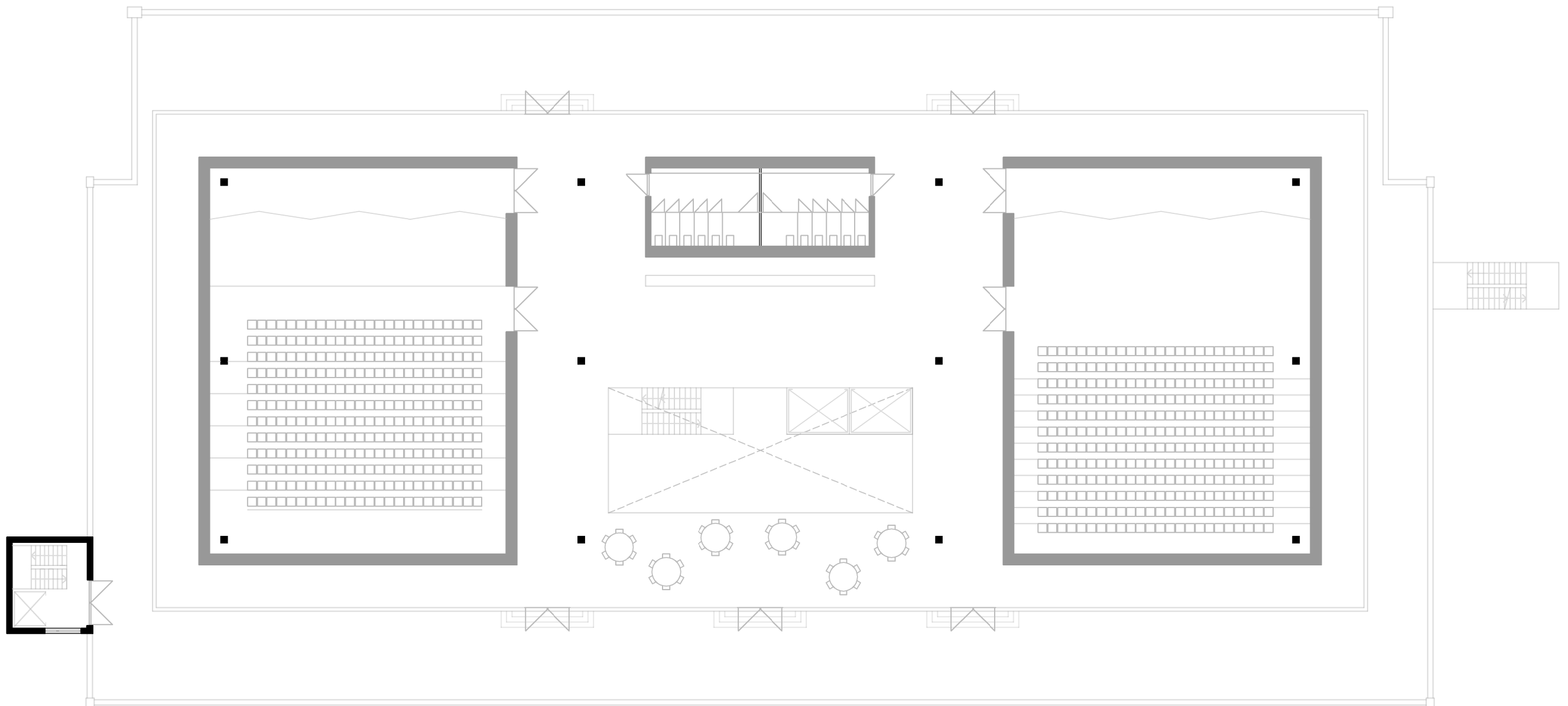
PLANTA BAJA (ACCESO)



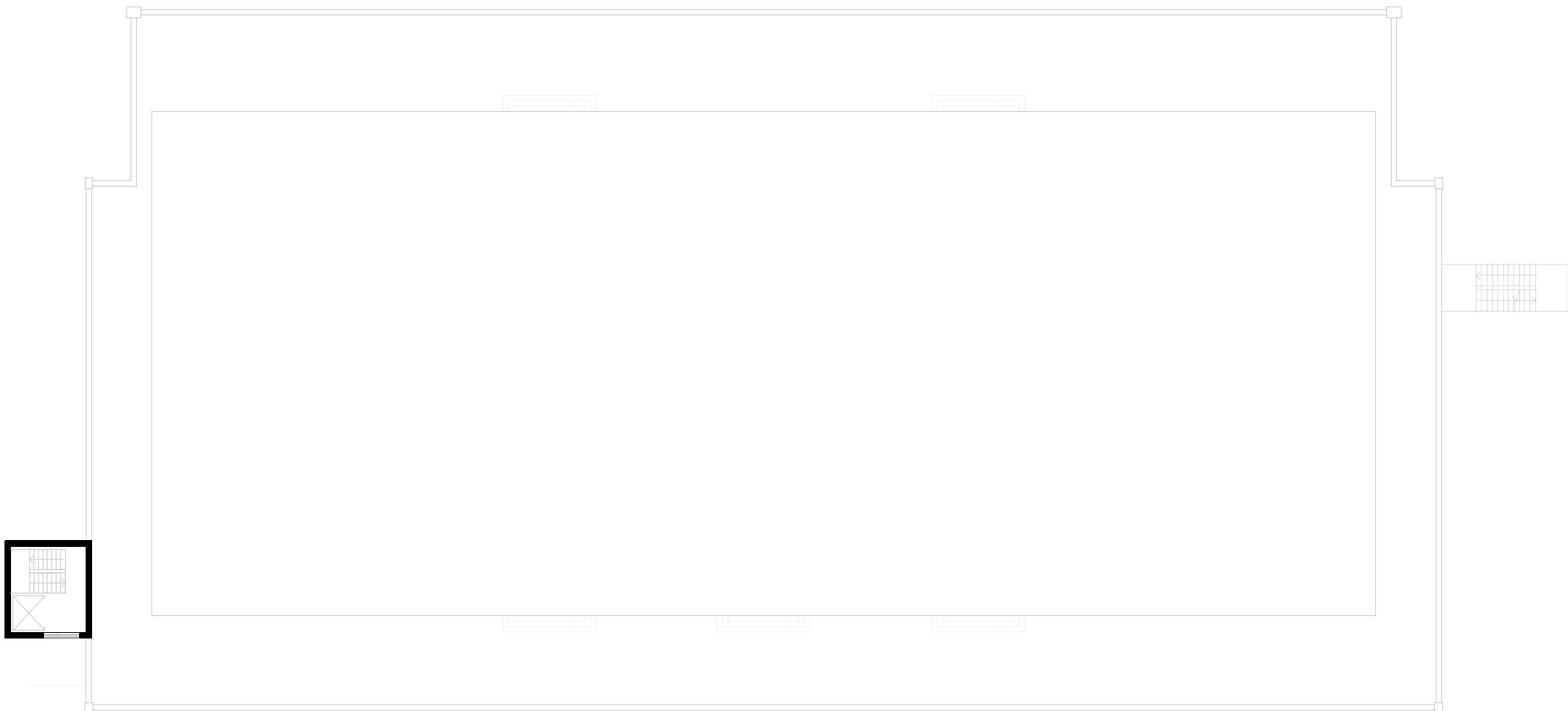
PLANTA PRIMERA



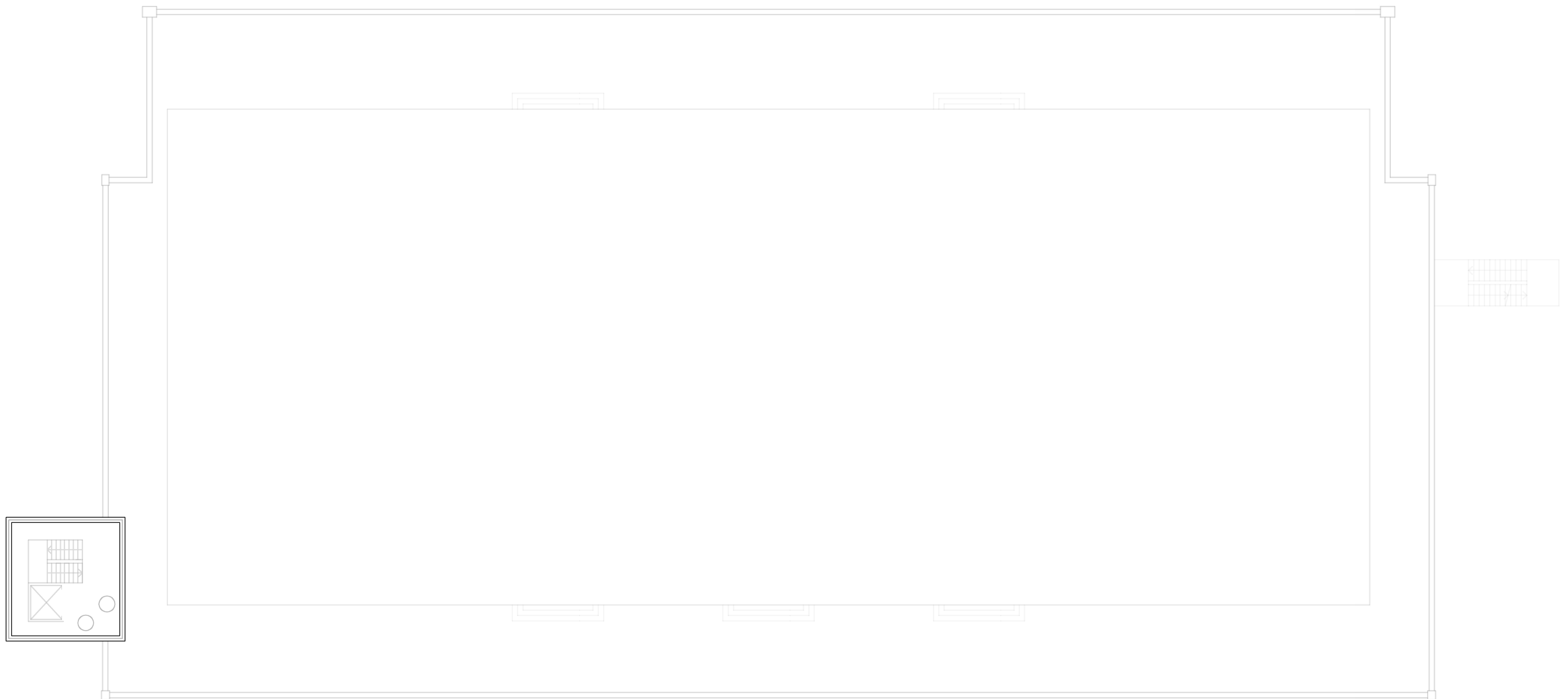
PLANTA SEGUNDA



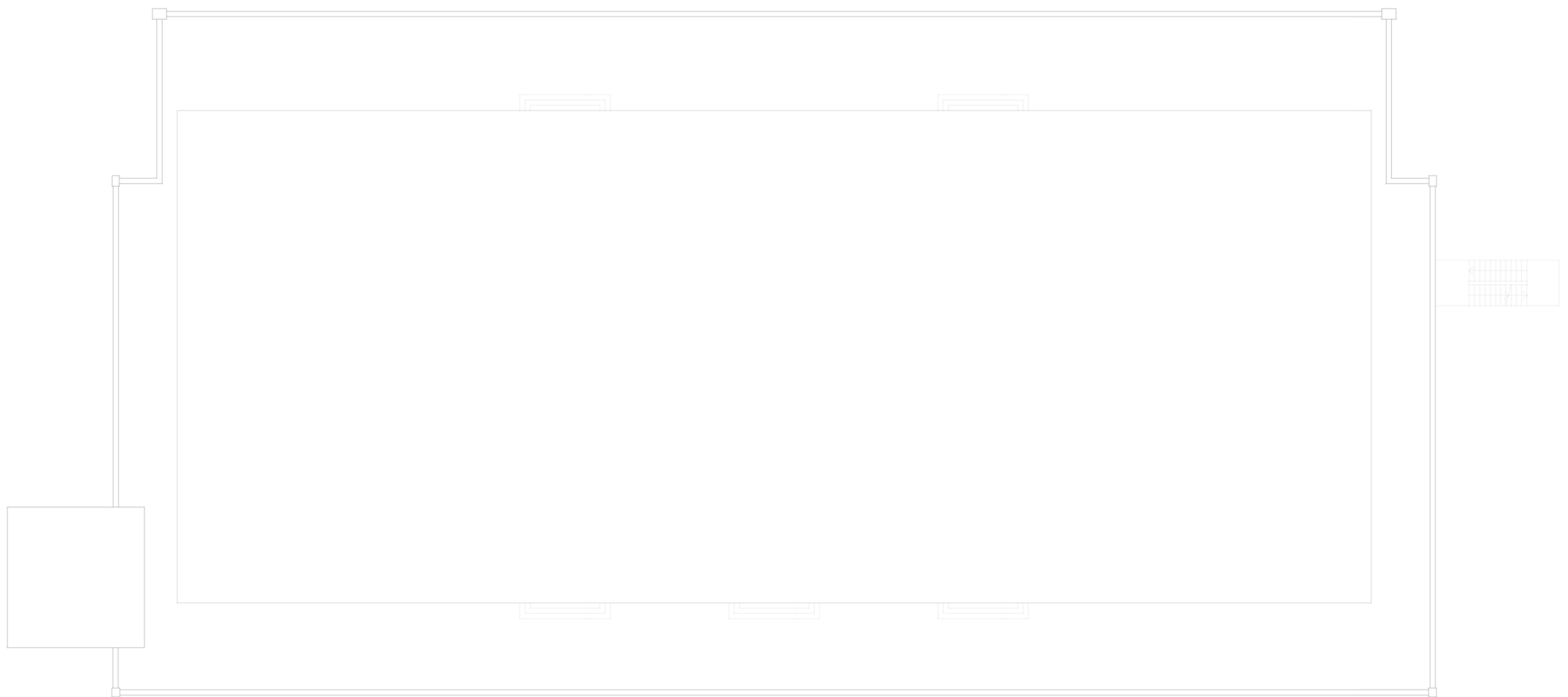
PLANTA CUBIERTA



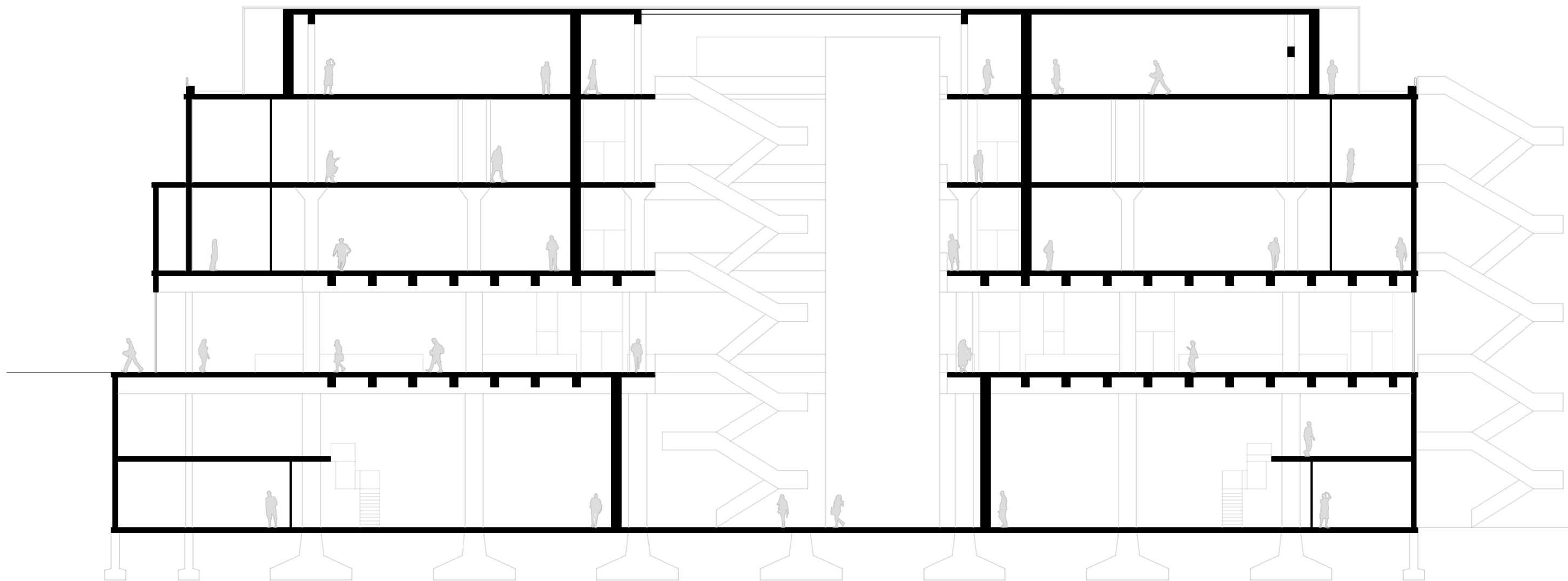
PLANTA ACCESO TORRE



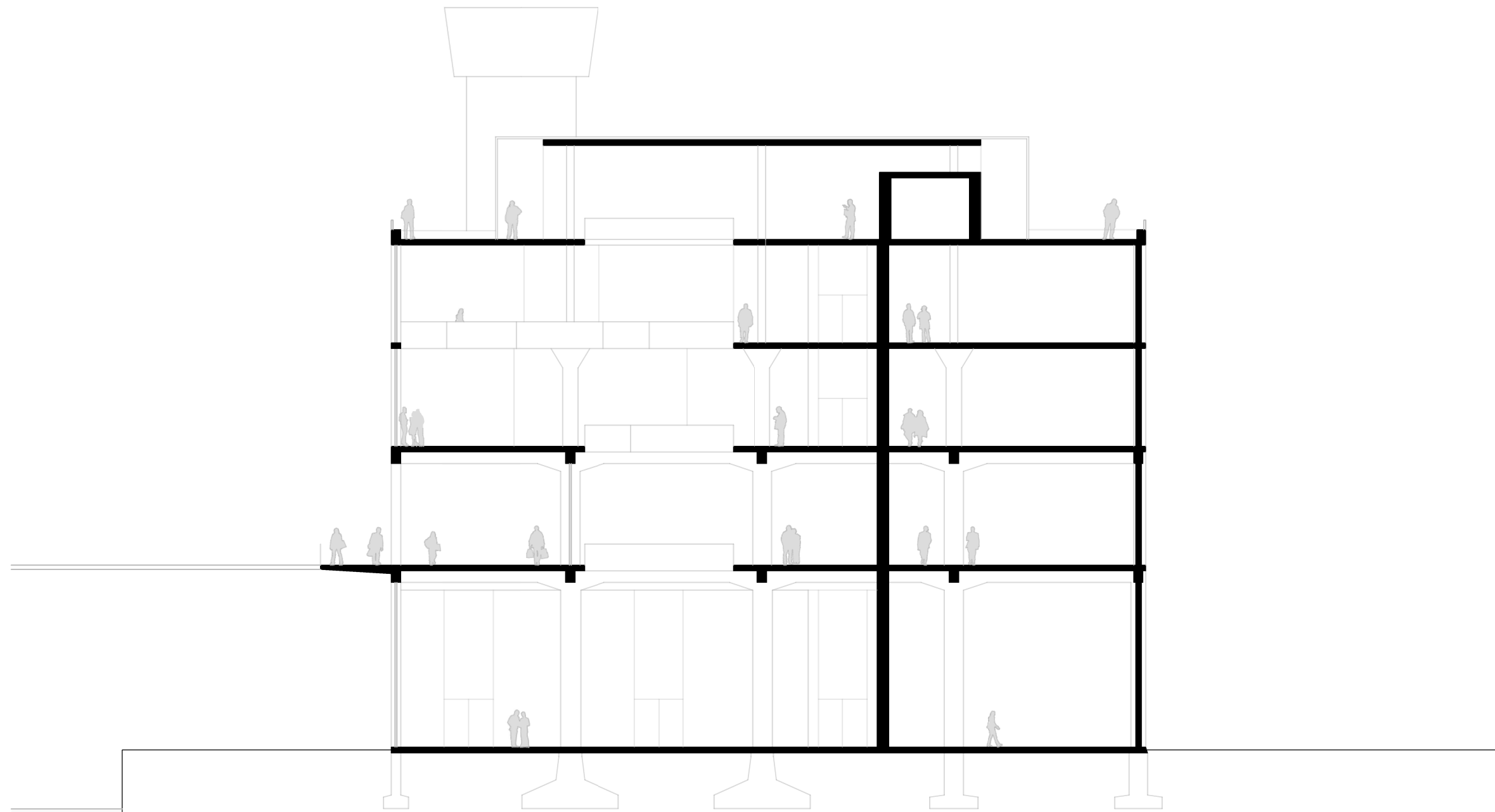
PLANTA TORRE



PLANTA DE CUBIERTAS



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL

Memoria constructiva.

A continuación se detallará brevemente la memoria de materiales y elementos constructivos utilizados en los cálculos y que se han utilizado en el Software Architrave para realizar tanto la práctica del curso como este Trabajo.

Se trata de una estructura porticada a base de vigas y apoyos de hormigón armado "in situ". Se empleará un hormigón HA-35/B/16/I, armaduras de acero corrugado tipo B500-SD.

Recubrimiento mínimo:

De acuerdo con la EHE se determina el recubrimiento nominal r_{nom} , es decir, el recubrimiento de hormigón que separa la armadura del ambiente exterior medido desde el punto más cercano al exterior de la armadura. Así, se tiene un recubrimiento tal que cumpla:

$$r_{nom} \geq r_{min} + \Delta r.$$

Dónde:

r_{min} : Recubrimiento neto mínimo de cualquier armadura, incluidos los estribos, que no ha de ser inferior al diámetro real de la barra, a 1.25 veces el tamaño máximo del árido, al valor correspondiente a la tabla 7 y, en elementos enterrados hormigonados contra el suelo, a 70mm.

Tabla 7. Recubrimiento mínimo (mm).

Ambiente	f_{ck} (Mpa)	Tipo de cemento	Vida útil	
			50 años	100 años
I	$f_{ck} \geq 25$	Cualquiera	15	25
IIa	$25 \leq f_{ck} \leq 40$	CEM I	15	25
		Otros	20	30
	$f_{ck} \geq 40$	CEM I	10	20
		Otros	15	25

Imagen A2.1 Tabla 7 de recubrimientos mínimos EHE-08

Considerando que el pórtico a dimensionar se encuentra protegido por el cerramiento y que no se producen grandes humedades en el interior del edificio; se puede clasificar como ambiente clase I. Así tratándose de un hormigón HA-35 y una vida útil de la estructura estimada en 100 años será necesario disponer un recubrimiento mínimo de 25 milímetros, según la tabla superior. Teniendo en cuenta además el tamaño máximo de árido ($16\text{mm} \times 1.25 = 20\text{mm}$) y los

diámetros máximos de barras de 20mm o incluso 25mm. Por tanto se mantiene el valor de 25 milímetros como recubrimiento mínimo.

Δr : Margen del recubrimiento, de valor:

Considerando que no se realiza un control intenso de la ejecución ni que se tratan de elementos prefabricados se establece un recubrimiento adicional de $\Delta r=10\text{mm}$.

Por tanto tenemos un recubrimiento neto total de:

$$r_{\min} + \Delta r = 25 + 10 = 35\text{mm}.$$

En cuanto al tipo de forjado, se empleará para este caso un forjado unidireccional de losas alveolares pretensadas. Además, las losas alveolares estarán cubiertas por una capa de compresión de 5centímetros de hormigón, con un peso de 1.25KN/m^2 para una densidad de hormigón entorno a 25KN/m^3 . Para su predimensionado se siguen los criterios que se indican en la siguiente tabla, proporcionada por el *Departamento de mecánica de medios continuos y teoría de estructuras* en la asignatura de *Estructuras II*¹.

TIPO	CARACTERÍSTICAS	INTEREJE [m]	LUZ L [m]	CANTO H [m]	PESO P [kN/m ²]	COSTE C [EUR/m ²]
Placas alveolares	Valores posibles	1.20	< 18.00	0.20 - 0.60	3.00 - 8.00	60 - 120
UNIDIRECCIONAL	Valores más habituales (recomendables)	1.20	7.00 - 13.00	0.25 - 0.40	3.75 - 5.50	70 - 90
	Es el forjado más eficaz frente a la flexión. Con vigas metálicas, se debe apoyar siempre sobre ellas, pudiéndose embeber parcialmente en su canto con chapas o angulares de apoyo adecuados. Con vigas de hormigón, éstos deben ser de canto. No funcionan bien a momentos negativos, por lo que los voladizos tienen que ser pequeños. Funcionan mejor en vanos aislados. No suele necesitar apuntalamiento, transporte y colocación especiales.			$H = L / [30 - 35]$	$P = H * [13 - 14]$	$C = H * [250 - 300]$

Imagen A2.2. Tabla Departamento de mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras

En este caso se toma un canto estimado $h=L/32$ ($H=L/[30 \text{ a } 35]$) con $L=10\text{m}$ obtenemos un canto $H=10/32=0.31\text{m}$. Aproximando, consideramos un canto de 30 centímetros. Por otra parte el peso varía entre 3.00 y 8.00KN/m^2 para un canto de $0.20-0.60 \text{m}$. Así que podemos definir un peso en función del canto $P=15\text{KN/h}$. De esta forma para un canto de 30cm obtenemos un peso propio de 4.5KN/m^2 .

Si nos centramos en la cubierta, diremos que se trata de una cubierta plana formada sobre el forjado de placas alveolares. Así se toma el modelo según *Anejo C DB-SE-AE tabla C.5 peso por unidad de elementos constructivos*

¹ Tablas facilitadas por David Gallardo Llopis durante el curso de Estructuras 2, Departamento de mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras, ETSAV, UPV.

correspondiente a *cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida* con un peso de 1.5KN/m^2 .

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

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

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

Imagen A2.3. Tabla C.5. DB-SE-AE.

En cuanto a los núcleos de comunicación vertical como son escaleras y ascensores, están formados por elementos exentos y autoportantes. Esto significa que son capaces de resistir su propio peso y transmitirlo al terreno sin que esta transmisión de cargas afecte a la estructura que nos atañe. Así, la construcción de estos elementos se llevara a cabo mediante elementos industrializados, por motivos de ligereza, sencillez y rapidez constructiva, y se resolverá mediante estructuras de acero. Además, este hecho se debe a que la escalera y los ascensores están en el patio del propio edificio, y por tanto, no influyen en la estructura.

Centrándonos en la envolvente exterior y los cerramientos, se ha dispuesto:

- Muro de fachada (ciego). Para resolver este tipo de cerramiento se recurre a una solución con revestimiento exterior, aislamiento térmico, bloque de

hormigón y revestimiento interior². El peso de dicho cerramiento, para bloques de hormigón convencional es de 201KN/m².

Código	Sección (mm)	Datos entrada		HE ⁽¹⁾ U (W/m ² K)	HR ⁽²⁾		
		RE	HS		R _A (dBA)	R _{AB} (dBA)	m (kg/m ²)
F 4.1		R1	4	1/(0,38+R _v) ⁽³⁾	42 [43]	39 [40]	161 [173]
		R3	5				
F 4.2		R1	5	1/(0,55+R _v) ⁽³⁾	49 [50]	46 [47]	296 [325]
F 4.3		R1	4	1/(0,39+R _v) ⁽³⁾	44 ⁽³⁾	41 ⁽³⁾	210 ⁽³⁾
		R3	5	1/(0,88+R _v) ⁽⁴⁾	41 ⁽⁴⁾	38 ⁽⁴⁾	182 ⁽⁴⁾

Imagen A2.4. Tabla F.4. Catálogo de elementos constructivos del CTE.

-Muro de fachada (acristalado). Este tipo de fachada está configurada por un acristalamiento con vidrio armado de 6mm, cuyo peso es de 0.35KN/m²incluida la carpintería³.

Tabla C.2 Peso por unidad de superficie de elementos de cobertura

Materiales y elementos	Peso kN/m ²	Materiales y elementos	Peso kN/m ²
Aislante (lana de vidrio o roca) por cada 10 mm de espesor	0,02	Tablero de madera, 25 mm espesor	0,15
Chapas grecadas, canto 80 mm, Acero 0,8 mm espesor	0,12	Tablero de rasilla, una hoja una hoja sin revestir	0,40
Aluminio, 0 8 mm espesor	0,04	una hoja más tendido de yeso	0,50
Plomo, 1,5 mm espesor	0,18	Tejas planas (sin enlistonado)	
Zinc, 1,2 mm espesor	0,10	ligeras (24 kg/pieza)	0,30
Cartón embreado, por capa	0,05	corrientes (3,0 kg/pieza)	0,40
Enlistonado	0,05	pesadas (3,6 kg/pieza)	0,50
Hoja de plástico armada, 1,2 mm	0,02	Tejas curvas (sin enlistonado)	
Pizarra, sin enlistonado		ligeras (1,6 kg/pieza)	0,40
solape simple	0,20	corrientes (2,0 kg/pieza)	0,50
solape doble	0,30	pesadas (2,4 kg/pieza)	0,60
Placas de fibrocemento, 6 mm espesor	0,18	Vidriera (incluida la carpintería)	
		vidrio normal, 5 mm espesor	0,25
		vidrio armado, 6 mm espesor	0,35

Imagen A2.5. Tabla C.2. DB-SE-AE.

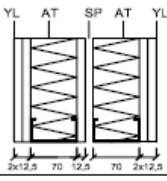
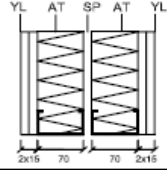
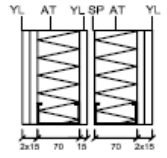
²Catálogo de elementos constructivos del CTE, código F 4.3, referencia 4.2.4: *Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara de aire o cámara de aire no ventilada, aislamiento por el exterior.*

³Valor según Anejo C DB-SE-AE tabla C.2 peso por unidad de superficie de elementos de cobertura.

-Muro cortina (cubierta). Se toma un peso de 0.24KN/m^2 .⁴

En cuanto a las particiones:

-Las particiones interiores del edificio se resolverán con entramado autoportante metálico doble con dos placas por cara y placa intermedia⁵.

Código	Sección	HE	HR	
		U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	R_A (dBA)	$m^{(1)}$ (kg/m^2)
P4.7		$1/(0,66+R_{A7})$	$65^{(3)}$	55
P4.8		$1/(0,61+R_{A7})$	$67^{(4)}$	54
P4.9		$1/(0,66+R_{A7})$	$65^{(3)}$	65

Imaagen A2.6. Tabla P.1. Catáloao de elementos constructivos del CTE.

Para terminar esta memoria de cargas, cabe señalar:

-Las instalaciones se disponen bajo el falso suelo y se les supone un peso medio de $0,35\text{KN/m}^2$.

-Como pavimento se elige un pavimento flotante⁶ con un peso propio de 0.42KN/m^2 .

Por tanto, como conclusión, el hormigón y los recubrimientos a emplear serán:

Recubrimiento mínimo: Como el pórtilco a calcular es interior y la estructura está protegida por el cerramiento, tratándose de un edificio en el que por el uso no hay grandes humedades, el tipo de ambiente es I, por lo tanto,

⁴ Se ha tomado el valor genérico de uno de los muros de esta tipología del Catálogo Cortizo Ed. 2016.

⁵ Solución tipo 3 según el *Catálogo de elementos constructivos*. Ref. 4.4.3-cod.P.4.9.

⁶ Modelo *Tecnosol 28* de la casa *Knauf*.

considerando una vida útil de 100 años el recubrimiento mínimo necesario es de 15mm.

Pero en previsión de necesitar armaduras de 20 o incluso 25 mm (especialmente en las vigas de gran luz), y considerando un tamaño máximo de árido de 16 mm, el recubrimiento mínimo debe ser de 25 mm.

Aumento de recubrimiento.

Como no se trata de una obra con control intenso, ni las barras son elementos prefabricados, se toma un aumento de recubrimiento de 10 mm.

Por lo tanto, el recubrimiento nominal es de $25+10=35$ mm.

Hormigón a utilizar: **HA-35/B/16/1**

En el caso del cálculo con barras de acero, se va a utilizar: **B-500-sd**

2.2.- Memoria de cargas.

Acciones permanentes (G)

1- Forjado de Planta tipo:

Forjado unidireccional de placas alveolares pretensadas	4.50KN/m ²
Capa de compresión.....	1.25 KN/m ²
Pavimento flotante Knauf "Tecnosol 28"	0.42 KN/m ²
Instalaciones.....	0,35 KN/m ²
	6.52 KN/m²

2- Cubierta:

Forjado unidireccional de placas alveolares pretensadas.....	4.50 KN/m ²
Capa de compresión.....	1.25 KN/m ²
Formación de la cubierta.....	1.50 KN/m ²
Instalaciones.....	0,35 KN/m ²
	7.60 KN/m²

3- Escaleras

Puesto que se consideran autoportantes, su peso propio no se considera una acción permanente sobre la estructura.

4- Cerramientos

Muro de fachada (ciego), 2.1KN/m^2	
Sótano 1 y Sótano 2 (h=4.83m).....	10.143KN/mL
Planta 0 (h=6.2m).....	13.02KN/mL
Plantas 1 y 2 (h=5.4m).....	11.34KN/mL
Muro de fachada (acristalado), 0.35KN/m^2	
Sótano 1 y Sótano 2 (h=4.83m).....	1.69KN/mL
Planta 0 (h=6.2m).....	2.17KN/mL
Planta 1 y 2 (h=5.4m).....	1.89KN/mL
Muro cortina, 0.24KN/m^2	
Planta cubierta (h=6.90m).....	1.656KN/mL

5- Particiones interiores

Partición de entramado autoportante metálico, 0.65KN/m^2	
Sótano 1 y Sótano 2 (h=4.83m).....	3.139KN/mL
Planta 0 (h=6.2m).....	4.03KN/mL
Plantas 1 y 2 (h=5.4m).....	3.51KN/mL

Acciones variables (Q)

1. Sobrecarga de uso (Q_u)

La sobrecarga de uso viene dada por la tabla 3.1 del apartado 3.1.1 del CTE-DB-AE.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Imagen A2.7. Tabla 3.1. DB-SE-AE.

De las categorías de uso nombradas en la tabla anterior, en nuestro caso se consideran las siguientes:

- Zona B. Administrativas.....2 KN/m²
- Zona C. Públicas:
 - Zona C1. Zonas con mesas y sillas.....3 KN/m²
 - Zona C3. Zonas sin obstáculos como vestíbulos..... 5 KN/m²
 - Zona C5. Zonas de pública concurrencia.....5 KN/m²
 - Zona G1⁷. Cubiertas accesibles para conservación..... 1 KN/m²

⁷ Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables (En este caso, la nieve).

Sobrecargas en voladizo. Sobrecarga lineal actuando en los bordes.....2 KN/m²

2. Sobrecarga por nieve

El edificio de estudio se encuentra en Trondheim, en la costa noruega. Situado en la zona central del país, en la región de Sor-Trondelag, donde el clima, a pesar de la altitud no es excesivamente severo gracias a su proximidad con el mar.



Imagen A2.8. Localización de Trondheim.

Se toma el procedimiento de cálculo conforme al CTE-DB-AE en su apartado 3.5, de donde se obtiene el valor de carga de nieve por unidad de superficie q_n en proyección horizontal por la expresión:

$$q_n = \mu \cdot s_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



Figure C.10

Imagen A2.9. Mapa de nieves de Noruega.

Donde μ es el coeficiente de forma de la cubierta según el apartado 3.5.3, y s_k es el valor característico de la carga sobre un terreno horizontal según 3.5.2. Para elementos volados se observa el punto 4 del apartado 3.5.1.

a) Determinación del valor característico de la carga sobre terreno horizontal

El valor recomendado⁸ de la carga sobre terreno horizontal en Trondheim, Noruega, es: $S_k = 4.75 \text{ kN/m}^2$.

b) Determinación del coeficiente de forma de la cubierta


Según el apartado 3.5.3. del CTE-DB-AE Nieve, punto 2; el coeficiente de forma al tratarse de una cubierta horizontal con una inclinación menor a 30° será $\mu = 1$.

c) Determinación del valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal


Según el punto 3 del apartado 3.5.1, al ser un edificio expuesto al viento se incrementara el valor de la carga (q_n) en un veinte por ciento.

Por tanto se obtiene: $Q_n = 4.75 \text{ KN/m}^2 \times 1 \times 1.2 = 5.7 \text{ KN/m}^2$.

En el Anexo gráfico número 3 se muestran las plantas por sectores para poder localizar la carga de cada una de las zonas y así pasar a realizar el diseño a ordenador:

 -Zona C.5. (5KN/M2)

 -Zona C.1. (3KN/M2)

 -Zona B (2KN/M2)

 -Zona C.1. (3KN/M2)

 -Zona Sobrecarga de Nieve

 -Zona G1 (Cubierta accesible privada) 1KN/M2

⁸ Según el Anexo C del Eurocódigo 1 (EN 1991-1-3:2003).

ANEXO GRÁFICO 3

ZONIFICACIÓN

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



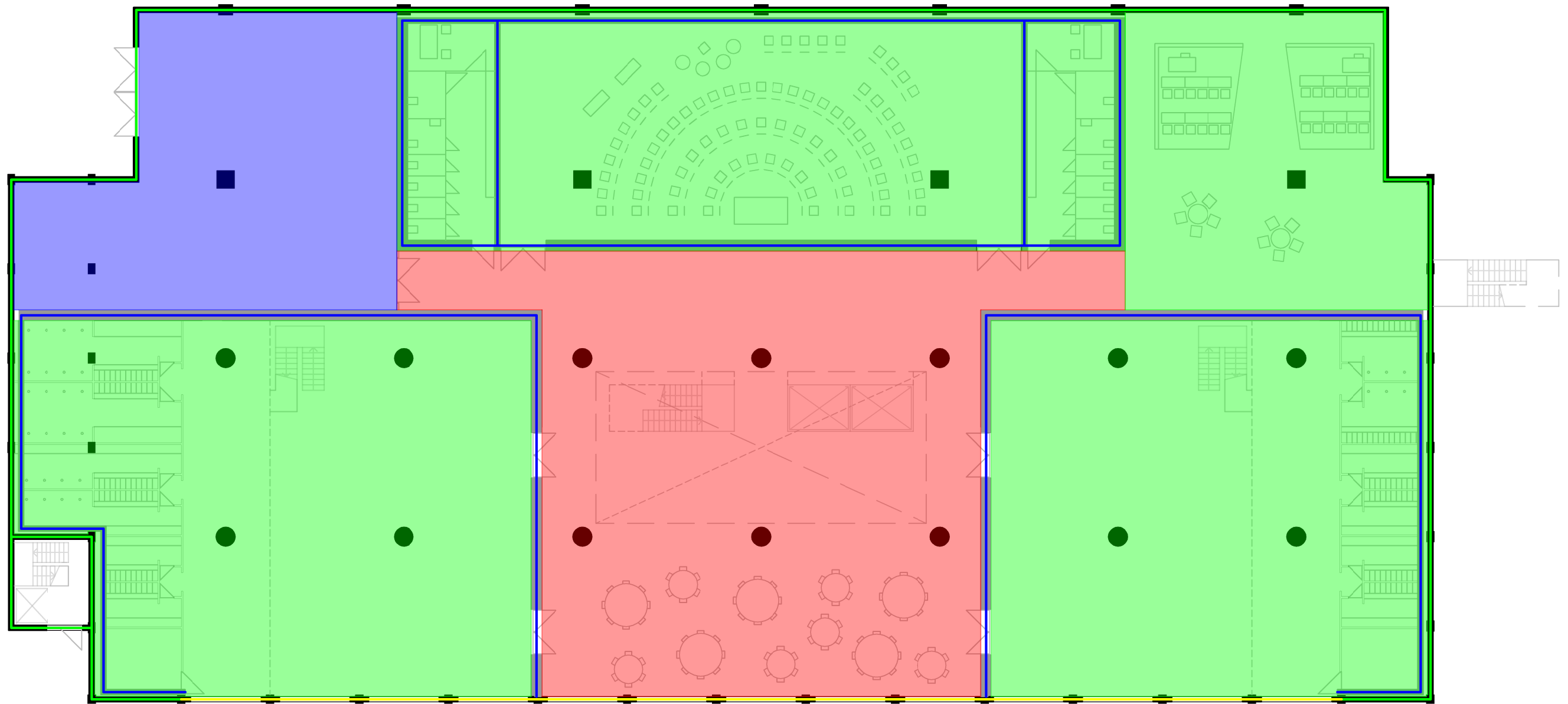
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



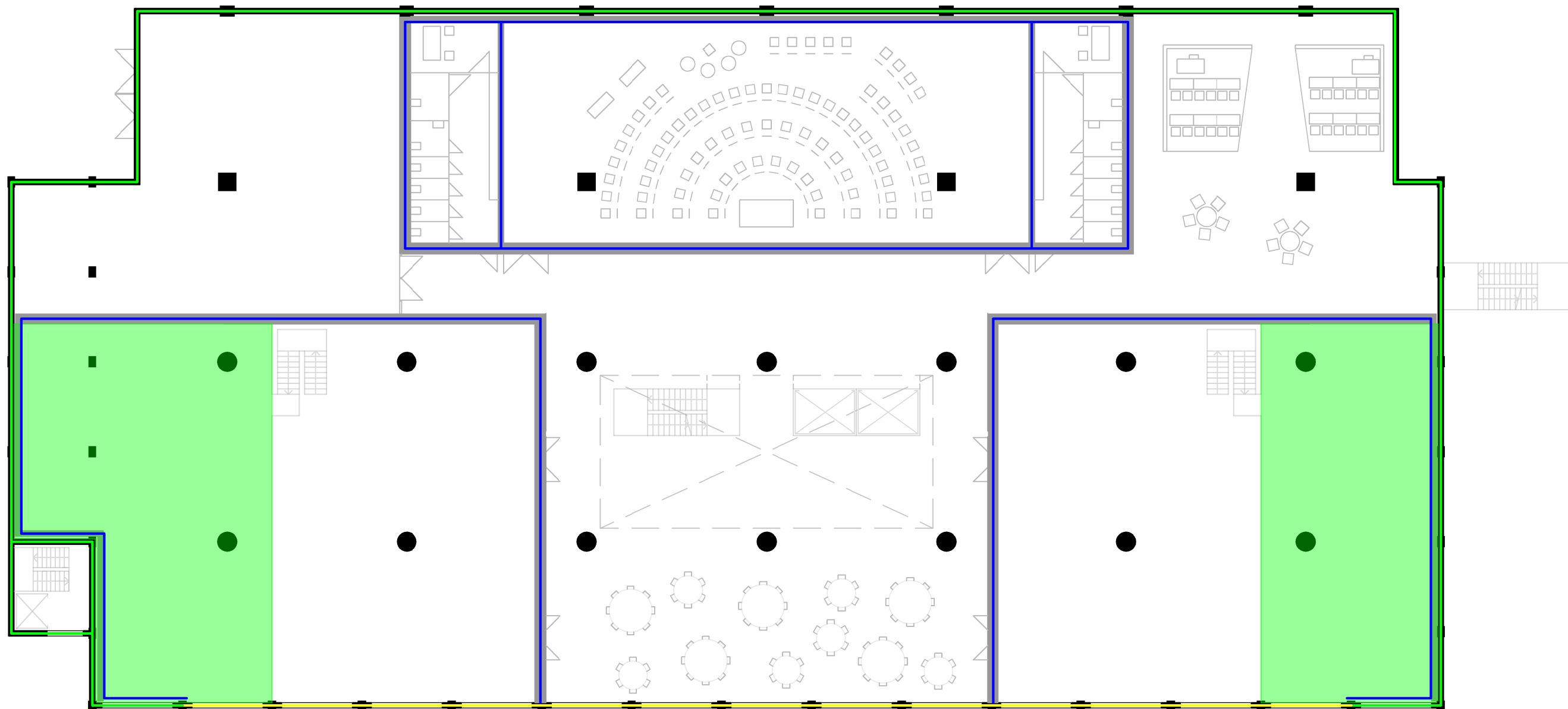
ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

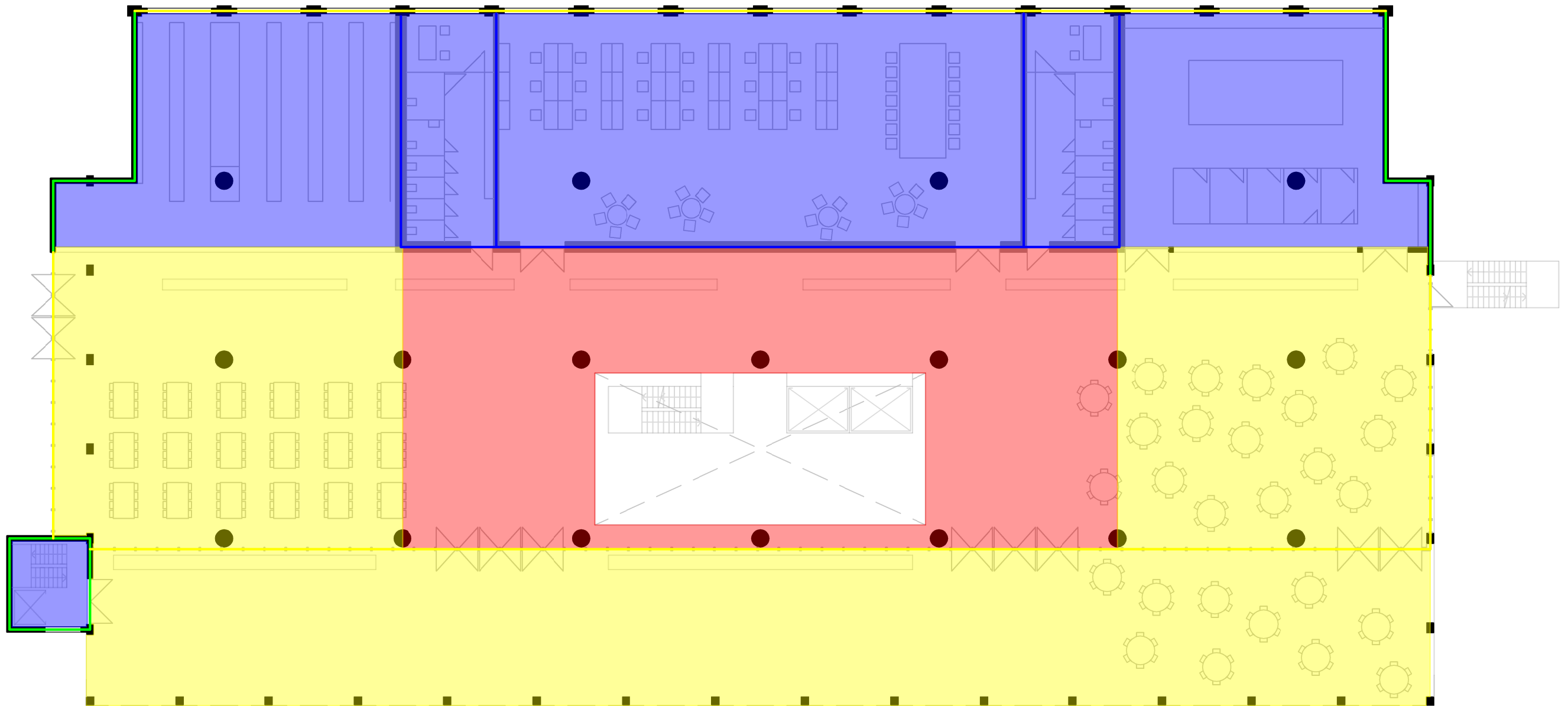
UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



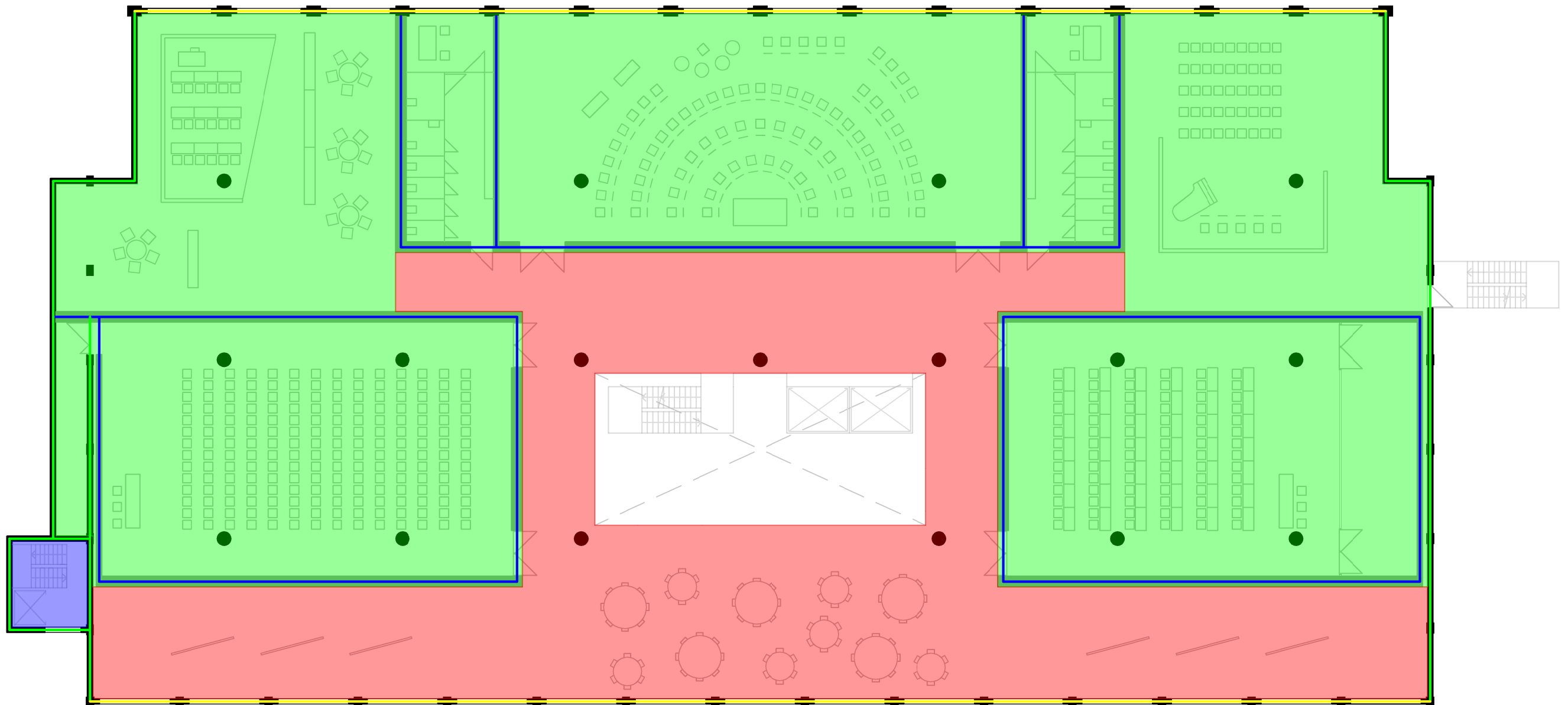
PLANTA SÓTANO 2



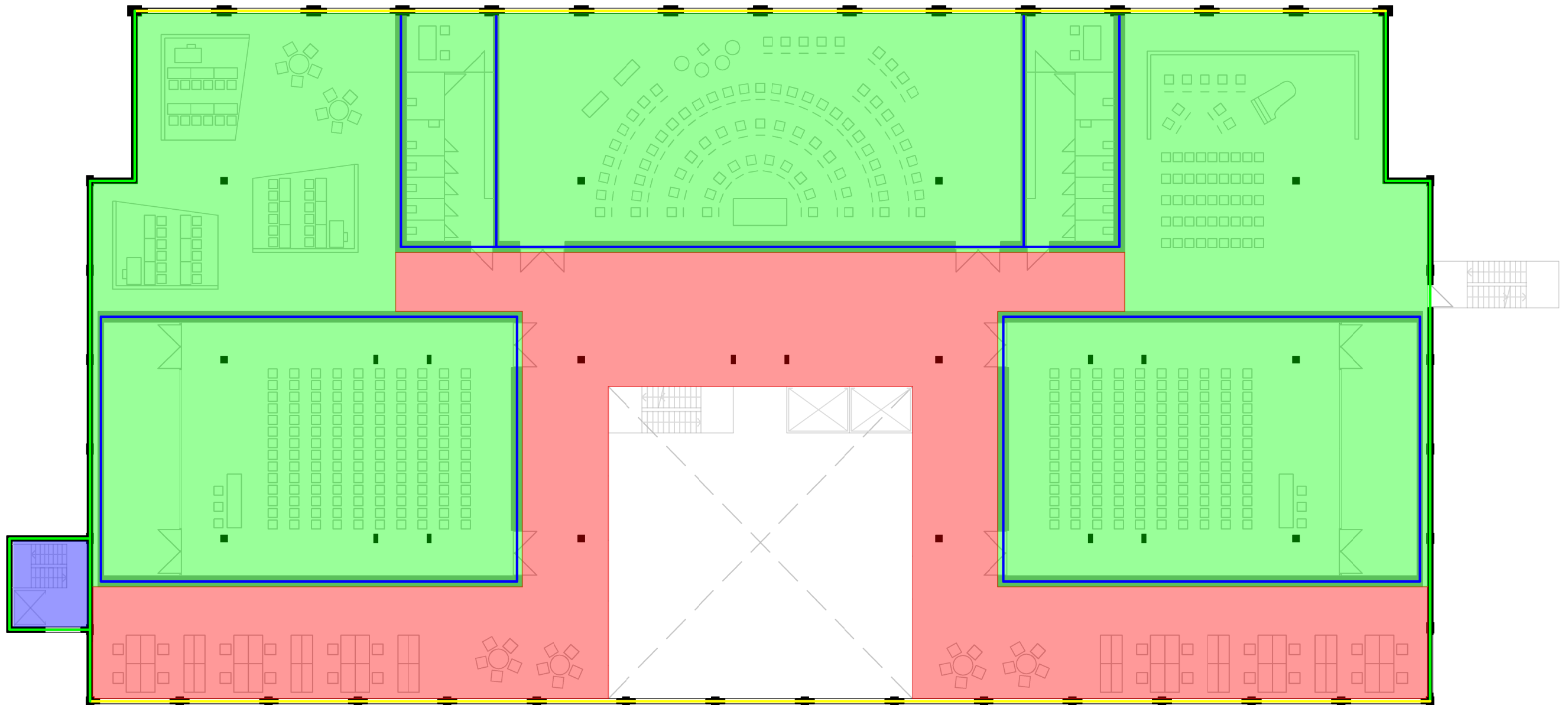
PLANTA SÓTANO 1



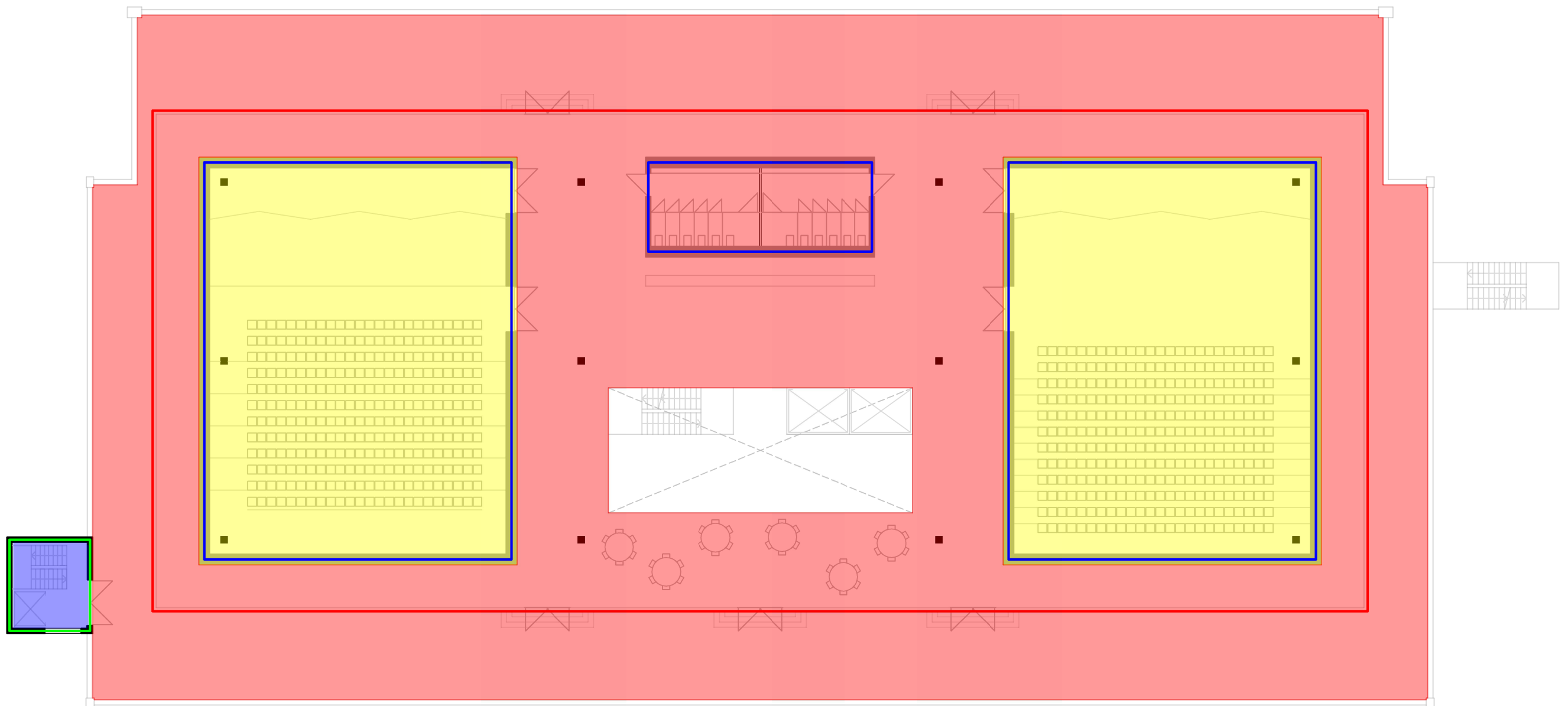
PLANTA BAJA (ACCESO)



PLANTA PRIMERA



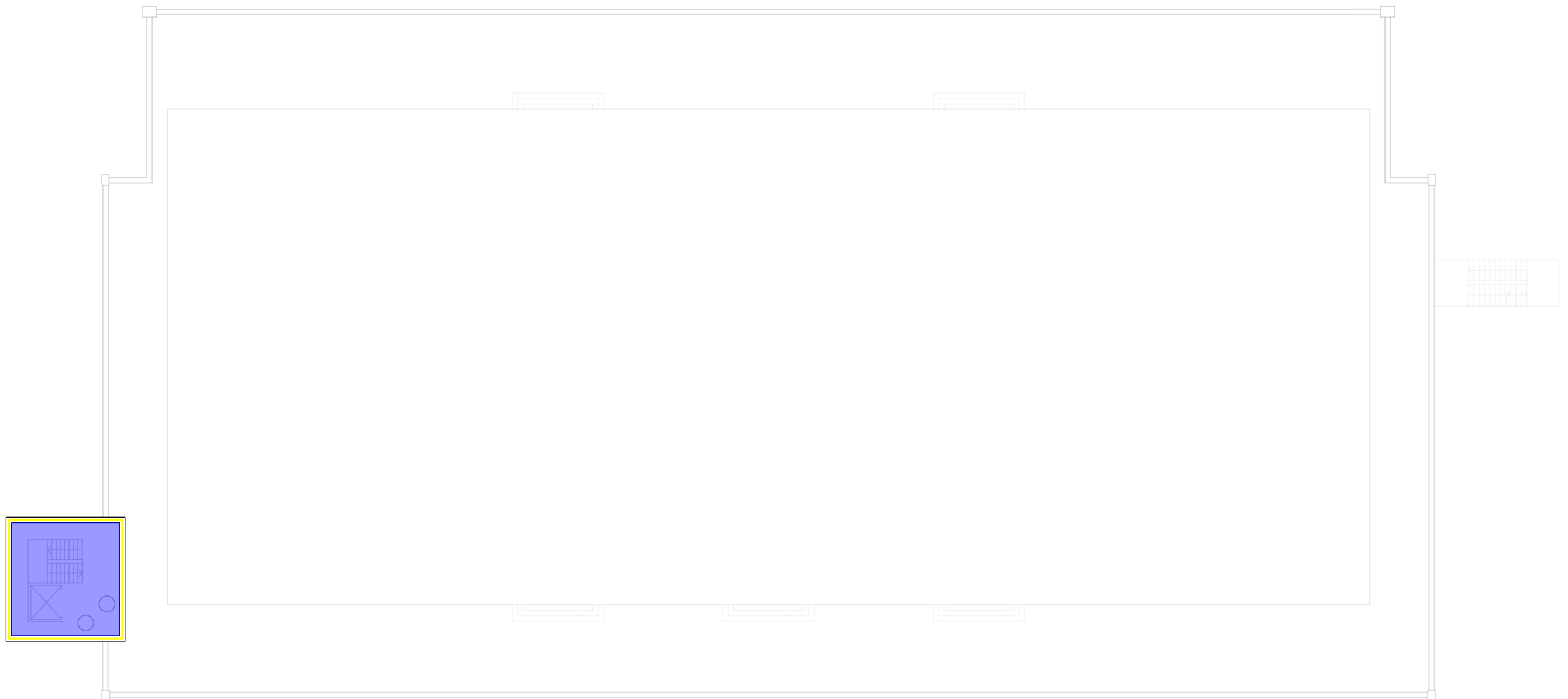
PLANTA SEGUNDA



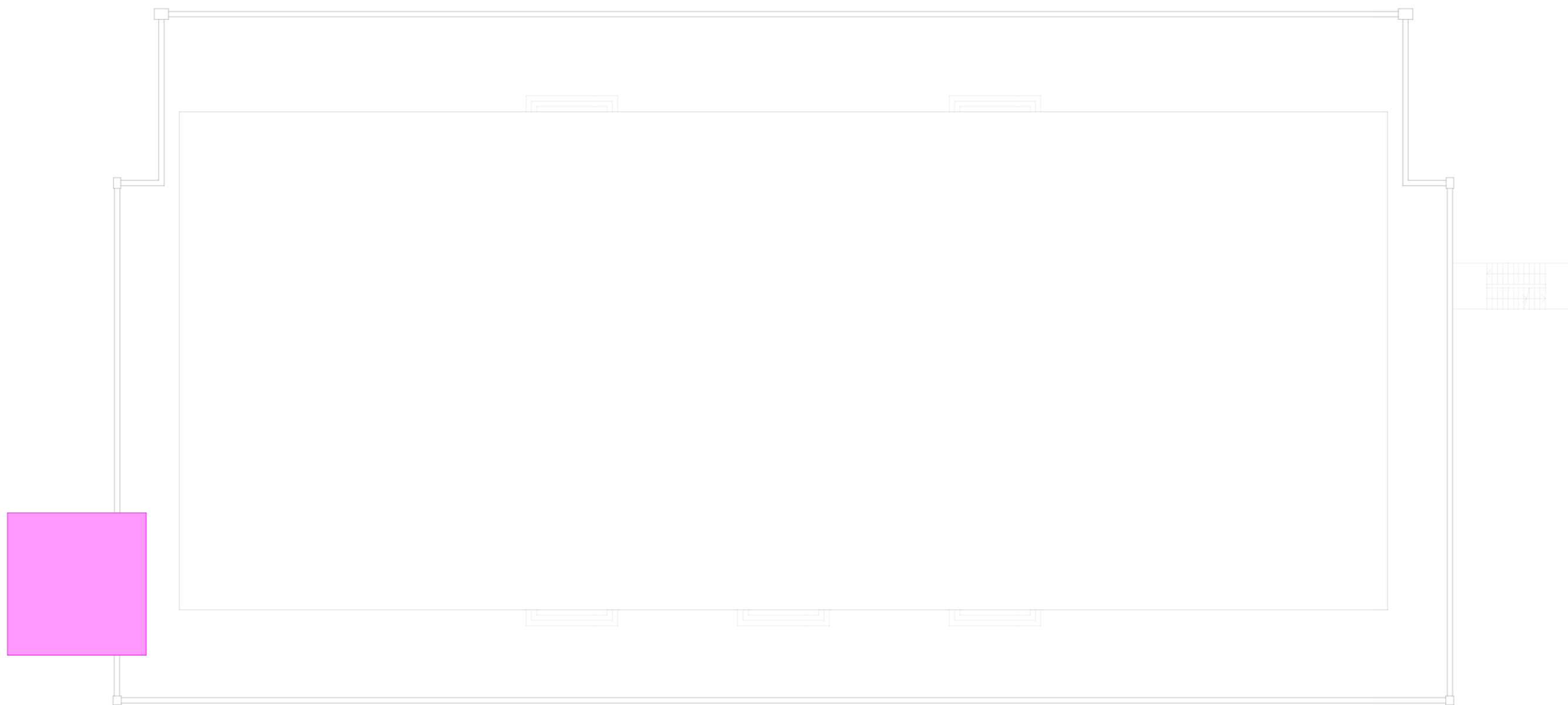
PLANTA CUBIERTA



PLANTA ACCESO TORRE



PLANTA TORRE



PLANTA DE CUBIERTAS

ANEXO GRÁFICO 4

MATERIALES

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

BFRP. Basalt Fiber Reinforced Polymer.

El basalto¹ es una roca ígnea volcánica máfica y extrusiva. El principal componente es la sílice aunque destaca el alto contenido en hierro y magnesio. Está formado mayoritariamente por dos minerales: piroxeno y feldespato. También está constituido, aunque de forma minoritaria, por olivino o anfíbol.

Al ser una roca ígnea volcánica, se forma cuando el magma se enfría y se solidifica. La composición del magma y, sobre todo, la distinta velocidad de enfriamiento es lo que da lugar a los distintos tipos de rocas que existen en la corteza terrestre.

Las rocas ígneas volcánicas se suelen clasificar atendiendo a dos criterios: el lugar donde solidifica el magma y la composición química mayoritaria.

Atendiendo al lugar donde solidifica el magma, las rocas ígneas pueden clasificarse en intrusivas o extrusivas. Se denominan intrusivas cuando la solidificación tiene lugar en el interior de la corteza terrestre, y extrusivas cuando la solidificación del magma se produce en la superficie de la corteza terrestre, normalmente tras una erupción volcánica. El enfriamiento de las rocas extrusivas es mucho más rápido que el de las rocas intrusivas, formando estructuras de grano fino.

Si la clasificación es por la composición mayoritaria, las rocas ígneas pueden ser félsicas, máficas, andesíticas y ultramáficas.

La diferencia está en la cantidad de silicatos "claros" y "oscuros". Los silicatos claros están formados mayoritariamente por potasio, sodio y calcio, mientras que los silicatos oscuros están formados mayoritariamente por hierro y magnesio.

Las rocas félsicas (graníticas) están constituidas mayoritariamente por silicatos claros, la proporción de silicatos oscuros es inferior al 10%, las rocas máficas (basálticas) están formadas mayoritariamente por silicatos oscuros y calcio y por otra parte las rocas andesíticas tienen al menos un 25% de silicatos oscuros.

¹ Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Jesús Poveda Bernal Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

Por composición, están comprendidas entre las rocas félsicas y las rocas máficas. Por último, se denominan rocas ultramáficas a aquellas que tienen un contenido en silicatos oscuros mayor al 90%.

Aunque no son comunes en la superficie de la tierra se cree que son el constituyente principal del manto superior de la corteza terrestre. En la siguiente tabla² se muestra un breve resumen de las principales rocas ígneas atendiendo al doble criterio de clasificación.

	Félsicas	Andesíticas	Máficas	Ultramáficas
Intrusivo	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
Extrusivo	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita

Imagen A3.1. Tabla de las principales rocas ígneas volcánicas.

Composición y estructura.

A diferencia de lo que ocurre con el vidrio, debido a la procedencia geológica del material base, es normal pensar que la materia prima utilizable para la fabricación de fibra de basalto³ facilitará unas características físico-químicas y morfológicas particulares en función del yacimiento de procedencia.

El componente principal de cualquier tipo de magma volcánico es el silicio. Por lo tanto, la estructura básica de todas las rocas formadas a partir de magma serán silicatos. La gran variedad de silicatos que existen en la naturaleza es a casusa de la facilidad de sustitución isomórfica de los átomos de Silicio por otros elementos y la descompensación de carga eléctrica que provocan. Esta descompensación puntual de carga eléctrica da lugar a la incorporación en las redes de sílice de una gran variedad de cationes metálicos. La propia red de silicio, puede tomar diversas formas en función de las condiciones bajo las que se haya formado.

² Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Jesús Poveda Bernal Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

³ Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Jesús Poveda Bernal Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

El proceso mediante el cual el magma fundido se transforma en los diferentes tipos de rocas ígneas volcánicas es complejo y no totalmente conocido.

El tipo de roca que se pueden conseguir del magma depende tanto de la velocidad de enfriamiento de este como de la composición química del mismo.

Además, a medida que el magma volcánico se va solidificando varía la composición química y, por tanto, el tipo de roca que se puede formar.

A continuación, se muestran, esquemáticamente, las rocas ígneas formadas en función del tipo de magma de partida y la temperatura⁴.

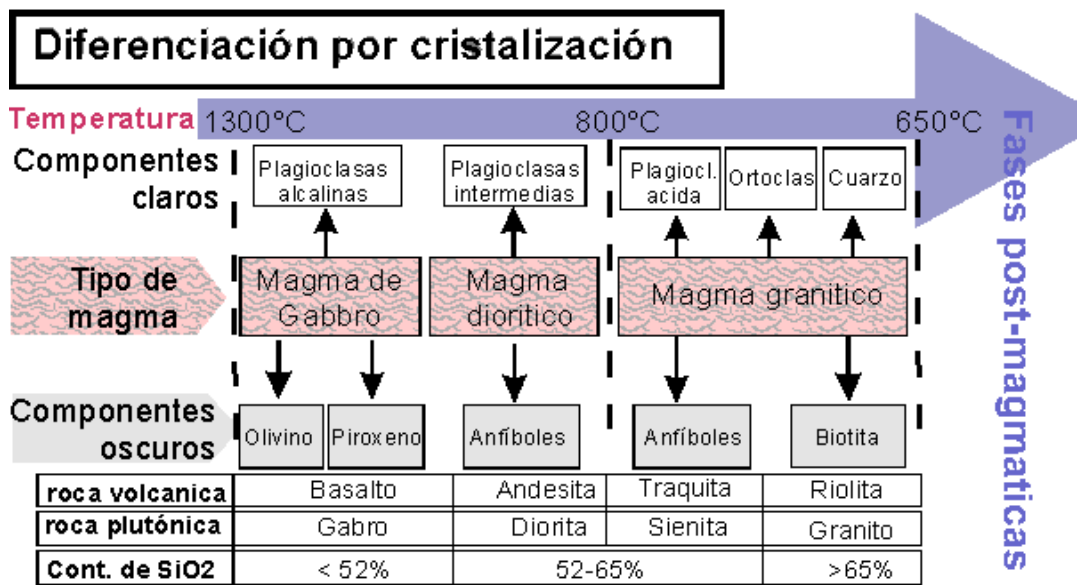


Imagen A3.2. Resumen de la formación de rocas ígneas en función del tipo de magma.

⁴ Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Jesús Poveda Bernal Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

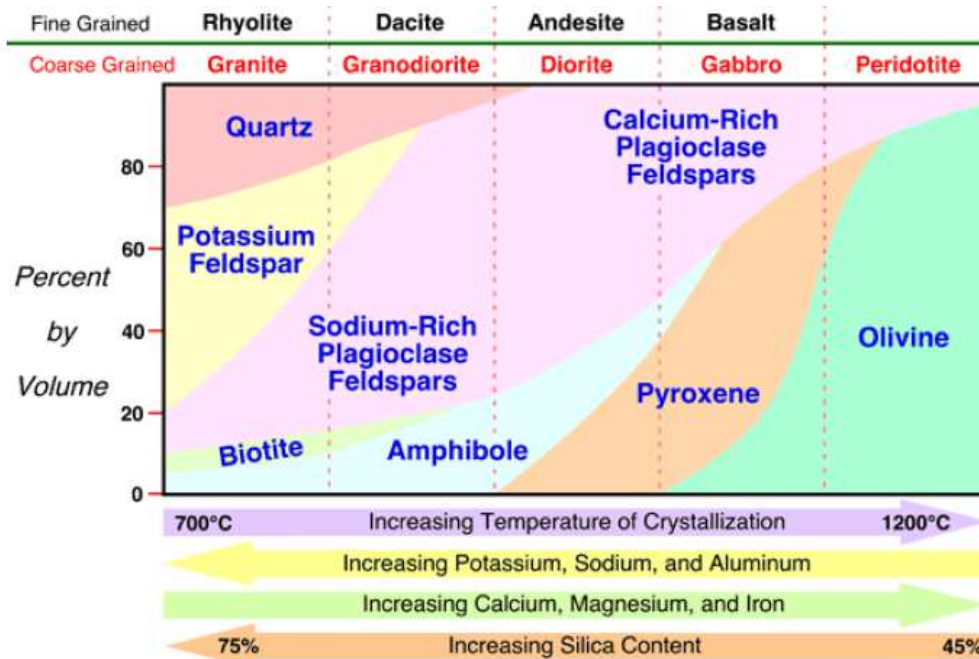


Imagen A3.3. Composición aproximada de las principales rocas ígneas volcánicas.

Debido a la variedad química del magma de partida y a la variación del proceso de enfriamiento según el lugar donde solidifica el magma, los distintos tipos de rocas obtenidos tienen variación significativa del porcentaje de minerales constituyentes.

En la figura anterior⁵ se puede ver una distribución de composiciones aproximadas para los más representativos tipos de rocas ígneas magmáticas.

Centrándonos en la familia del basalto, podemos ver como la composición puede cambiar drásticamente. Podemos encontrar basaltos sin anfíbol y con altos contenidos de olivino y piroxeno. En el extremo contrario podemos encontrar basaltos sin olivino, cantidades variables de anfíbol y gran cantidad de feldespato cálcico.

Valorando la diferente variedad de composiciones que puede tener la materia prima utilizable para la fabricación de fibra de basalto, resulta evidente la extrema dificultad de controlar un proceso de extrusión/hilado en continuo.

Del mismo modo, resulta fácil entender la estrategia habitual de los principales fabricantes de fibra de basalto de utilizar un único yacimiento para obtener la materia prima con la que fabricar sus productos.

⁵ Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Poveda Bernal, Jesús Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

El olivino, piroxeno y el anfíbol son silicatos de distinta complejidad mientras que el feldespato de plagioclasa cálcico es un aluminio-silicato. En todos los casos la carga eléctrica está compensada por la incorporación de cationes metálicos.

El basalto es una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre, aunque también es una roca que la podemos encontrar en la superficie de Marte, la Luna o incluso en algunos meteoritos. Este se ha utilizado a lo largo de la historia como material de construcción por gran variedad culturas, entre ellas los olmecas de México, o en el Antiguo Egipto.

Una de las principales propiedades del basalto es su alta dureza, lo que hace que hoy en día sea empleado en forma de fibras artificiales para reforzar estructuras de hormigón.

Este tiene un coeficiente de dilatación térmica muy bajo, por lo que recibe poco deterioro en incendios, a pesar de ser una roca que tiende a calentarse mucho por la radiación solar debido a sus propiedades químicas (llegando a registrar temperaturas de hasta 80°).

Otra de sus principales propiedades es su impermeabilidad, aunque no es aconsejable para ciertas obras hidráulicas debido a su excesiva fracturación.

En un esquema resumen⁶ de las propiedades básicas del basalto destacaríamos:

-Aspecto y forma: Color oscuro (gris, negro o azulado) y de fácil fractura.

-Propiedades físicas: Buena impermeabilidad y alta densidad (2.8-2.9 g/cm³)

-Propiedades mecánicas: Gran dureza (4-7 en la escala de Mohs), difícil corte y tallado, gran resistencia a compresión (1800 kg/cm²), menor resistencia a los agentes atmosféricos y es poco abrasiva.

-Características térmicas: bajo coeficiente de dilatación térmica, buena resistencia al fuego y buena conducción térmica.

⁶ Artículo sobre "los materiales en la arquitectura" en el Blog (<http://eauclmmateriales.blogspot.com.es/2012/06/2-el-basalto.html>) publicado el 4/06/12 y visitado el 09/07/14)

Las barras de fibra de basalto.

El proceso de fabricación de fibra de basalto continua es, conceptualmente, muy parecido al proceso de fabricación de la fibra de vidrio entre otras.

En la figura siguiente⁷ se puede observar, de forma esquemática, las etapas básicas del proceso de obtención de fibra de basalto.

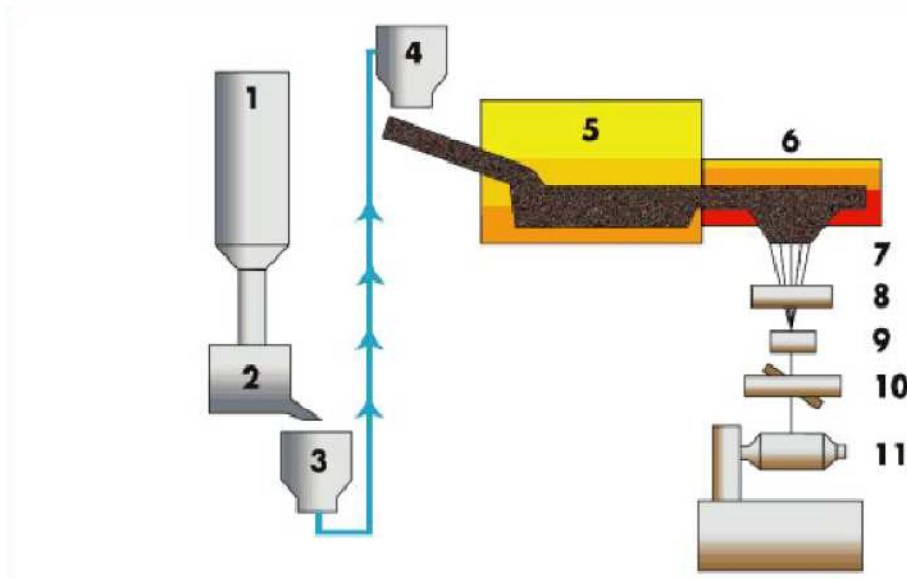


Imagen A3.4. Proceso de fabricación de las barras de fibra de basalto.

La roca de basalto triturada es almacenada en un silo (1), a través de una estación de carga (2) y de un sistema transportador (3) es llevado hasta la zona de alimentación del horno principal (4). En el horno principal (5) se funde la roca basáltica a una temperatura variables en función de la composición de la roca (en el intervalo 1450 -1600 °C). Una vez que la roca ha sido fundida es trasvasada a un segundo horno (6) denominado horno de mantenimiento.

La necesidad de un horno de mantenimiento es la principal diferencia con el proceso de fabricación de la fibra de vidrio. Este segundo horno, cuya misión es homogeneizar la temperatura de la masa fundida, es de vital importancia para poder conseguir un proceso de hilado en continuo sin rotura de la fibra.

⁷ Tesis Doctoral en la Universidad de Valladolid sobre "Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte" autor: Poveda Bernal, Jesús Directores de la tesis: Dr. José M^º Pastor Barajas y Dr. Juan Carlos Merino Senovilla; publicada en Valladolid, Julio 2012

A la salida del horno de homogeneización se forman los filamentos individuales haciendo pasar la masa de roca fundida a través del "spinnere#" (7).

A partir de este punto, el resto de elementos de la línea son análogos a los utilizados para la fabricación de la fibra de vidrio continua. Una vez que se han formado los hilos individuales se procede al proceso de aplicación de los componentes orgánicos (8), los filamentos individuales forman hebras (9). Utilizando una estación tensora (10) se procede al enrollado automático de los filamentos fabricados (11).

Como hemos visto, la fibra de basalto está hecha de un solo material, basalto aplastado, de una fuente de cantera cuidadosamente elegido y a diferencia de otros materiales tales como fibra de vidrio, esencialmente no se añaden materiales. El basalto es simplemente lava y luego enviado a ser fundido.

La fabricación de fibra de basalto requiere la fusión de la roca de basalto de cantera a aproximadamente 1450-1600 °C. La roca fundida se extruye a continuación a través de pequeñas boquillas, estirado (hilado), para producir filamentos continuos de fibra de basalto. Existen tres técnicas principales de fabricación, que son centrífuga de soplado, centrífuga-rollo múltiple y morir-soplado.

Una vez obtenida la fibra de basalto, pasamos a la fabricación de las barras de fibra de basalto, como se ve en la figura 3.6⁸.

El proceso de fabricación utilizado para formar barras de refuerzo de material compuesto se conoce como pultrusión.

La pultrusión es equivalente a extrusión, y se utiliza para formar materiales compuestos de formas largas y continuas como varillas, barras y, en este caso, las barras de refuerzo.

Este es un proceso productivo de conformado de materiales plásticos termorrígidos para obtener perfiles de plástico reforzado, de forma continua, sometiendo las materias primas a un arrastre y parado por operaciones de

⁸ Catálogo informativo de la empresa suministradora de barras de basalto " Thermalguard Technology, LLC"

impregnado, conformado, curado y corte. Este proceso se caracteriza por un buen acabado superficial.



Imagen A3.5. Proceso de fabricación de las barras de fibra de basalto.

El proceso a seguir será el siguiente:

En primer lugar se procede al desenrollado y distribución de las fibras de basalto, que estarán agrupadas en filamentos continuos en una parte del mecanismo de producción.

Seguidamente pasamos a la impregnación de la resina y control de la relación resina-basalto. A continuación se produce el preformado gradual hasta alcanzar el perfil final. Una vez obtenido el perfil final, se procede al conformado y curado de la matriz. Y ya por último, se realiza el postcurado y el corte.

Este tipo de proceso hace posible obtener productos con un contenido de fibra alto, entre el 80% y 85% en volumen, con una distribución homogénea de fibras en la sección transversal del redondo.

En tales casos, como he explicado anteriormente, las fibras son impregnadas con resina, estiradas atravesando el molde cerrado y caliente, que compacta y endurece el material, el cual se enrolla o corta a una longitud determinada.

Para mejorar la adherencia con el hormigón, se aplican tratamientos superficiales a la barra de BFRP antes de su endurecimiento completo, por uno los siguientes métodos: (1) una envoltura de uno o más cabos de fibras enrollados a lo largo de la longitud de la barra; (2) unos salientes, a modo de

cordones transversales al eje longitudinal de la barra; (3) una envoltura por medio de un tejido, a lo largo de la longitud de la barra, creando una impresión complementaria; o que los tejidos superficiales actúen de zunchado de las mechas interiores. En este caso, se procede a un lijado superficial una vez completado el endurecimiento y (4) la adherencia por medio de resinas, de un grano fino a la superficie de la barra.

Además, las varillas de BFRP de pequeño diámetro pueden ser trenzadas para formar un cable, como se hace comúnmente con los de acero, o cortadas para proceder al refuerzo del hormigón mediante fibras cortas.

Las ventajas que este proceso de fabricación al elaborar dichos productos son las siguientes:

1. Alta rigidez y resistencia.
2. Bajos costos de producción.
3. Producción continua.
4. Alta velocidad de producción.
5. Versatilidad de formas.
6. Buen acabado superficial.
7. Posibilidad de obtener grandes longitudes.
8. Equipo económico.
9. Selección direccional de propiedades.
10. Flexibilidad sin perder resistencia.

Y por otra parte las propiedades que este proceso de fabricación proporciona a los productos elaborados son las siguientes⁹:

Resistencia a la corrosión
Baja conductividad térmica y eléctrica
Transparencia magnética y electromagnética
Baja densidad
Elevada resistencia mecánica
Estabilidad dimensional

Si analizamos la relación entre la fibra y la matriz, podemos destacar que los polímeros son, esencialmente compuestos orgánicos, formados por carbono e hidrógeno. Estos compuestos pueden obtenerse de la naturaleza o por síntesis de moléculas orgánicas en laboratorios.

⁹ Catálogo informativo de la empresa suministradora de barras de basalto " Thermalguard Technology, LLC"

El término polimerización¹⁰ se refiere a la reacción química o curado, en la cual se añade un catalizador para iniciar el proceso de polimerización. El periodo transcurrido a partir del estado líquido (monómero) hacia un estado sólido (matriz), depende de la temperatura de curado, y se denomina tiempo de curado. Tras el curado, el producto resultante alcanza el estado sólido.

Los polímeros se pueden encontrar en estado sólido o líquido; el polímero curado se denomina matriz polimérica. Las matrices poliméricas se clasifican en dos categorías (basándose en la reacción ante calor y frío): termoestables y termoplásticas.

Los polímeros termoplásticos los encontramos en forma sólida, mientras que los termoestables se encuentran en forma líquida. Algunas matrices poliméricas termoestables son sensibles higrotérmicamente; éstas se pueden degradar a temperaturas moderadas ante la absorción de humedad.

Como resultado, la resistencia a corte y la rigidez de la matriz se reducen, y entonces el material deja de ser efectivo para uso estructural.

Para el sector estructural la resina que más se utiliza es la termoestable, en especial la resina epoxi, y en menor grado la resina viniléster y poliéster.

A continuación voy analizar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos en su interacción con las fibras.

En primer lugar la resina viniléster se genera mediante la reacción de un ácido insaturado monofuncional, como el ácido acrílico y una resina epoxi, disuelto igualmente que el poliéster en un monómero de unión como el estireno. Las resinas viniléster presentan ventajas sobre las poliésteres en términos de resistencia química y resistencia a las altas temperaturas .

Son más fáciles de manejar durante el proceso de fabricación que el poliéster o el epoxi y tienen mejor resiliencia que el poliéster.

Presentan mejores comportamiento en ambientes húmedos, y una resistencia interfacial alta y una gran resistencia a los álcalis.

El viniléster se adapta perfectamente a las necesidades de fabricación de los redondos de FRP, debido a su baja viscosidad y corto tiempo de curado,

¹⁰ Tesis Doctoral sobre " Influencia de los distintos tratamientos superficiales de las barras de fibra de carbono en su comportamiento adherente con el hormigón" el autor: Calvet Rodríguez, Víctor; los directores: DR. Javier Benlloch Marco y DR. Manuel Valcuende Payá; publicada en Valencia, el Febrero de 2014

pero como desventajas presentan una mayor contracción volumétrica respecto del epoxi durante el curado y son más caros que las resinas de poliéster. Algunas de las propiedades de la resina viniléster típica se muestran en la tabla siguiente.

En segundo lugar las principales ventajas de utilizar los poliésteres para los FRP son su baja viscosidad, un tiempo de curado rápido, su estabilidad dimensional, una excelente resistencia química y un coste moderado. Al igual que su reducido coste, que llega a ser el 50% de la resina epoxi.

Su principal desventaja es su alta contracción volumétrica durante el proceso de curado.

Por último, la resina epoxi tienen una alta resistencia, fuerte adherencia a las fibras, resistencia a ataques químicos y disolvente, buenas propiedades eléctricas, alta temperatura vítrea (110-130°C), baja contracción y emisión de partículas volátiles durante el curado.

	Poliéster	Epoxi	Viniléster
Resistencia a tracción MPa	20-100	55-130	70-80
Módulo de elasticidad, GPa	2.1-4.1	2.5-4.1	3.0-3.5
Deformación de ruptura %	1-6	1-9	3.5-5.5
Coefficiente de Poisson	-	0.2-0.33	-
Densidad (g/cm ³)	1.0-1.45	1.1-1.3	1.1-1.3
T _g (°C)	100-140	50-260	90-140
CTE longitudinal (10 ⁻⁶ /°C)	55-100	45-90	21-73
Contracción curado (%)	5-12	1-5	5.4-10.3

Imagen A3.6. Propiedades físicas y mecánicas de las resinas comerciales.

El principal objetivo que se persigue cuando se diseña un material compuesto es conseguir un comportamiento sinérgico de los materiales utilizados. Es decir, que el comportamiento del conjunto formado por los materiales sea superior a la suma del comportamiento de los materiales por separado.

El comportamiento que se pretende optimizar puede ser mecánico, resistencia química, etc.

Centrándonos en los materiales compuestos de matriz termoplástica con refuerzo de fibra discontinuo y tomando como objetivo optimizar las propiedades termomecánicas, es evidente que la matriz polimérica actúa de "aglomerante" mientras que la fibra es quien proporciona la mayoría de las propiedades mecánicas deseadas.

Sin embargo, los dos componentes del material compuestos deben trabajar de forma conjunta para poder hacer frente a las sollicitaciones termomecánicas a las que va a estar sometido el componente fabricado con el material compuesto diseñado.

La resistencia de un material polimérico reforzado depende directamente de la formación de un enlace fuerte entre la fibra y la matriz. En el comportamiento del material compuesto resulta particularmente importante la zona de unión entre las distintas fases que forman el material.

Esta zona de unión, conocida como interfase, se convierte en el "tercer factor", pudiendo tener más importancia relativa que la propia naturaleza de la matriz termoplástica y/o las propiedades mecánicas de la fibra de refuerzo seleccionada.

Aunque cada autor ofrece una definición particular de lo que entiende por "interfase", el concepto que subyace es siempre el mismo. La definición comúnmente aceptada de lo que es la interfase es "aquella región del material compuesto en el que se concentran las interacciones entre la fibra y la matriz".

En esta región, se producen complejas interacciones a distintas escalas que dependen de varios factores, como son la naturaleza química de las matrices y de las fibras, las modificaciones compatibilizaciones a las que hayan sido sometidos los materiales que interactúan y de las condiciones específicas de procesado que hayan experimentado durante el proceso de transformación.

Además, el comportamiento de la interfase en cuanto a su forma de transmitir esfuerzos mecánicos entre la matriz y la fibra depende tanto de la temperatura como de la velocidad de aplicación de la sollicitación mecánica exterior.

En general, la eficiencia de la transferencia de las sollicitaciones mecánicas entre la fibra y la matriz está determinada tanto por la interacción molecular en la interfase como por las propiedades de la interfase formada (estructura, espesor y gradiente de propiedades).

En estas condiciones, para conseguir un buen comportamiento mecánico del material compuesto resultante, es imprescindible fomentar la interacción entre la matriz y el refuerzo mediante diversas técnicas.

Entre estas técnicas destaca la funcionalización de la matriz polimérica y la modificación superficial de la fibra de refuerzo.

En la interfase se pueden distinguir al menos dos zonas claramente diferenciadas.

Por un lado estará la zona en la cual se produce unión química entre el agente compatibilizante y la superficie de la fibra.

Por otro lado habrá una zona de difusión en la cual se encontrarán mezcladas cadenas poliméricas del compatibilizante (simbolizadas por círculos blancos) y las cadenas poliméricas del polímero que forma la matriz del material compuesto (simbolizadas por círculos negros).

Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad de las barras de fibra de basalto.

Para desarrollar este apartado, se ha seguido y estudiado los diferentes ensayos recogidos en trabajos anteriores, como la Tesis Doctoral de Víctor Calvet¹¹ o el Trabajo Final de Máster de Paula Vallés Pla¹².

Las barras de BFRP están formadas por una matriz polimérica reforzada mediante fibras de basalto longitudinalmente. Esta constitución proporciona la anisotropía característica de las barras de BFRP, la cual influirá en las propiedades y comportamiento de las mismas, proporcionando diferentes propiedades físicas y mecánicas en los dos ejes principales de las barras de BFRP.

La anisotropía de las barras de BFRP se debe al predominio de la matriz polimérica en el eje trasversal, mientras que en el eje longitudinal predomina el refuerzo de fibra de basalto.

¹¹ Tesis Doctoral sobre "Influencia de los distintos tratamientos superficiales de las barras de fibra de carbono en su comportamiento adherente con el hormigón" el autor: Calvet Rodríguez, Víctor; los directores: DR. Javier Benlloch Marco y DR. Manuel Valcuende Payá; publicada en Valencia, el Febrero de 2014

¹² Trabajo Final de Máster sobre "Estudio comparativo entre barras corrugadas de acero y de basalto para su uso en edificación" la autora: Paula Vallés Pla; y la tutora académica: Montse Haro Rodríguez; publicada en Valencia, 12 de septiembre de 2004.

La fibra de basalto en comparación con la fibra de carbono y la fibra de aramida tiene una variedad más amplia de temperaturas de aplicación -269 °C a 650°C, una resistencia a la oxidación mucho más elevada, una resistencia a la radiación mayor, mayor resistencia a la compresión y una resistencia al corte más alta.

CFRP. Carbon Fiber Reinforced Polymer.

La fibra de carbono es un compuesto no metálico de tipo polimérico, integrado por una fase dispersante que da forma a la pieza que se quiere fabricar, normalmente alguna resina, y una fase dispersa, un refuerzo hecho de fibras, en este caso, de carbono y cuya materia prima normalmente es el poliacrilonitrilo. A pesar de ser un material muy caro, sus propiedades mecánicas son elevadas y es ligero.

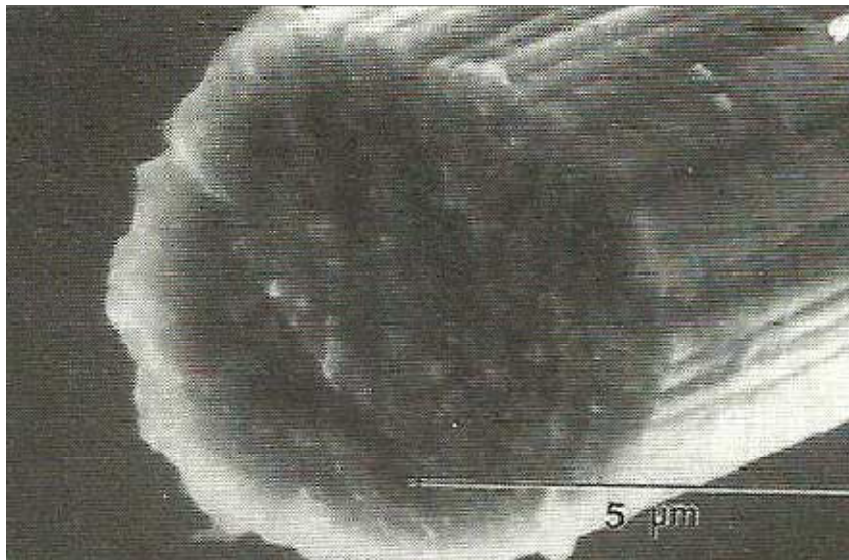


Imagen A3.7. Fibra de carbono.

El proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de la fibra de carbono es muy similar al visto anteriormente. Aún así es un proceso difícil y de coste elevado¹³. Sus etapas son:

¹³ Trabajo Final de Máster sobre "Características físicas y mecánicas de Hormigones reforzados con Fibras de: Vidrio, carbono y aramida", la autora: Victoria Águila Higuero; y el tutor: Ildefonso Lucea Martínez, publicado en Madrid, junio de 2010.

-Polimerización:

El proceso comienza con una materia prima polimérica, conocida como precursor. Algunos fabricantes utilizan precursores de rayón, proveniente de la celulosa y precursores del alquitrán, pero la mayoría de la fibra de carbono se deriva del PAN (poliacrilonitrilo). Cada tipo de precursor tiene su técnica de proceso, pero en general, todos siguen una misma secuencia.

Normalmente, la formulación del precursor comienza con un monómero acrilonitrilo, que se combina en un reactor con otros monómeros acrílicos plastificados y un catalizador, que puede ser ácido itacónico, ácido sulfuroso, sulfúrico o metil-acrílico. El tratamiento de la mezcla, mediante una agitación continua, hace que se garantice la cohesión y pureza de ésta, iniciándose la formación de radiales libres dentro de la estructura molecular del acrilonitrilo. Este cambio lleva a la polimerización, el proceso químico que crea polímeros de cadena larga que se pueden transformar en las fibras acrílicas.

Los detalles de la polimerización, tales como la temperatura, la atmósfera, comonómeros específicos y el catalizador, son parámetros propios de cada productor, los cuales difícilmente son revelados.

Después del lavado y secado, el acrilonitrilo, ahora en forma de polvo, se disuelve en algún solvente orgánico, tal como el dimetil-sulfóxido (DMSO), dimetilacetamida (DMAc) o dimetilformamida (MSDS), o acuoso, como el cloruro de zinc o sal de rodio. Los disolventes orgánicos protegen de la contaminación por iones metálicos que pueden perturbar la estabilidad térmica de oxidación durante el procesamiento y retrasar el rendimiento a altas temperaturas de la fibra terminada. La elección del disolvente y el grado en el que la viscosidad de la sustancia puede ser controlada, son fundamentales para el éxito de la próxima fase, la formación de la fibra.

-Hilado:

Las fibras de PAN se forman por un proceso llamado "hilado de fibra húmeda" (wet spinning). La sustancia se encuentra inmersa en un baño de coagulación y es extrusionada a través de unos agujeros elaborados de metales preciosos y dispuestos en hilera. Este hilado de fibra húmeda, gelatinosa y relativamente frágil, es laminado por los rodillos a través de los cuales se elimina el exceso de coagulante. Los hilos de PAN son trefilados en filamentos cinco veces más delgado que un cabello humano y están compuestos entre un 92-100% de átomos de carbono, según sean las propiedades que se busquen. Posteriormente se secan las fibras y se estiran para continuar con la orientación del polímero. La forma exterior de los filamentos y el interior de la sección transversal están determinados por el grado en que el disolvente elegido y el

coagulante han penetrado mediante los precursores de la fibra, la cantidad de tensión aplicada y el porcentaje de la elongación de los filamentos. Este último es un dato propio de cada productor de fibras.

Una alternativa al "hilado de fibra húmeda" es un proceso híbrido llamado "hilado mediante chorro seco/húmedo", el cual en una cámara aplica aire a la fibra antes de proceder al baño de coagulación. Con este proceso se consigue una fibra de PAN suave y redondeada que puede aumentar la unión fibra-matriz.

El último paso en la formación de fibras empleando como precursor el PAN es la aplicación de un aceite de acabado para evitar la aglutinación de los filamentos. La fibra de color blanco de PAN se seca y se enrolla en bobinas.

-Oxidación:

Las bobinas de fibras de PAN se cargan en una cesta y pasan a través de una serie de hornos especializados durante la etapa de producción más duradera del proceso, la oxidación. Antes de entrar en el primer horno, las fibras de PAN se extienden en una cinta o urdimbre. La temperatura del horno de oxidación oscila entre 200°C - 300°C. El proceso combina moléculas de oxígeno del aire con las fibras de PAN en la urdimbre y comienza el entrecruzamiento de las cadenas del polímero y la orientación molecular requerida para que puedan tener estabilidad dimensional y así evitar que se fundan en el siguiente proceso. El proceso de oxidación aumenta la densidad de las fibras de $\approx 1180 \text{ Kg/m}^3$ hasta un máximo de 1380 Kg/m^3 .

Para evitar una repentina reacción exotérmica (la energía total liberada durante la oxidación exotérmica, estimada en 2.000 kJ/kg , plantea un peligro de incendio real), los fabricantes de hornos proponen un diseño de flujos de aire para ayudar a disipar el calor y controlar la temperatura.

El tiempo de oxidación varía, en función de la composición química específica del precursor. Al final, las fibras de PAN oxidadas (estabilizadas) contienen aproximadamente 50-65% de las moléculas de carbono, mientras que el resto se trata de una mezcla de hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

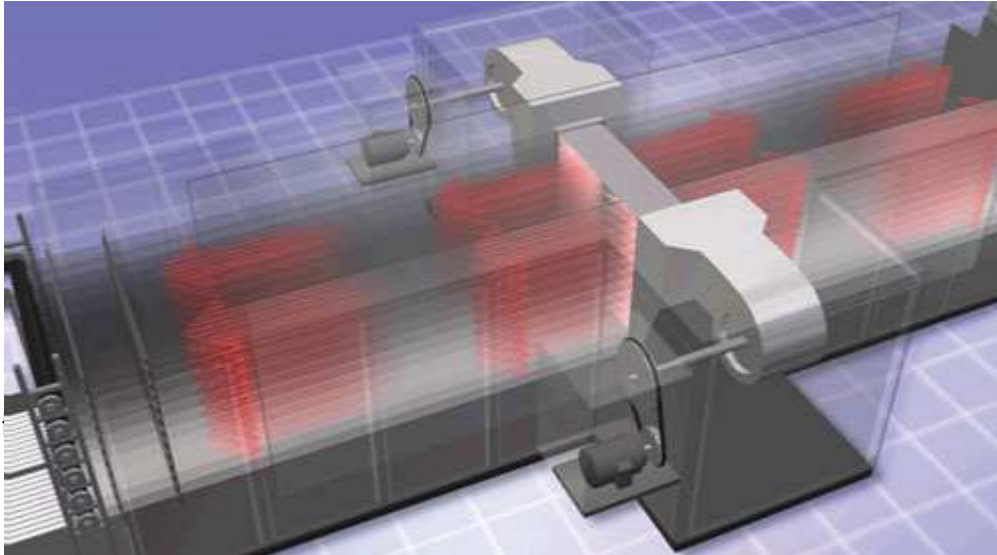


Imagen A3.8. Diseño patentado de flujo de Despatch Industries.

-Carbonización:

La carbonización se produce en una atmósfera inerte (sin oxígeno) dentro de una serie de hornos de diseño especial en los que aumenta progresivamente la temperatura de procesamiento. A la entrada y la salida de cada horno unas cámaras de purga evitan la entrada de oxígeno, de esta manera se evita la pérdida del carbono producido a tan altas temperaturas. En ausencia de oxígeno, las moléculas que no contienen carbono, incluyendo elementos como hidrógeno de cianuro, otros compuestos orgánicos volátiles (generados durante la estabilización) y partículas, se eliminan en un horno-incinerador mediante un post-tratamiento. La carbonización puede comenzar en un horno a baja temperatura que somete la fibra a 700°C - 800°C y terminar en un horno de alta temperatura a 1200°C - 1500°C. La tensión de la fibra debe ser continua durante todo el proceso de producción. En última instancia, la cristalización de moléculas de carbono puede ser optimizada para producir una fibra final que contenga más del 90% de éste. Aunque los términos de carbono y grafito se utilicen indistintamente, las fibras de carbono están carbonizadas a unos 1315°C y contienen 93 – 95 % de carbono mientras que las segundas son grafitadas a 1900°C - 2480°C y contienen más del 99 % de carbono elemental.

A medida que la fibra se carboniza, pierde peso y volumen, contrayéndose un 5 – 10 % de la longitud inicial y reduciendo también el diámetro. De hecho, el ratio de conversión química demostrada del precursor PAN a la fibra de carbón PAN es de aproximadamente 2:1, es decir, se obtiene

mucho menos material que el que se emplea en el proceso. Un esquema de la etapa de carbonización se ilustra en la siguiente figura¹⁴.

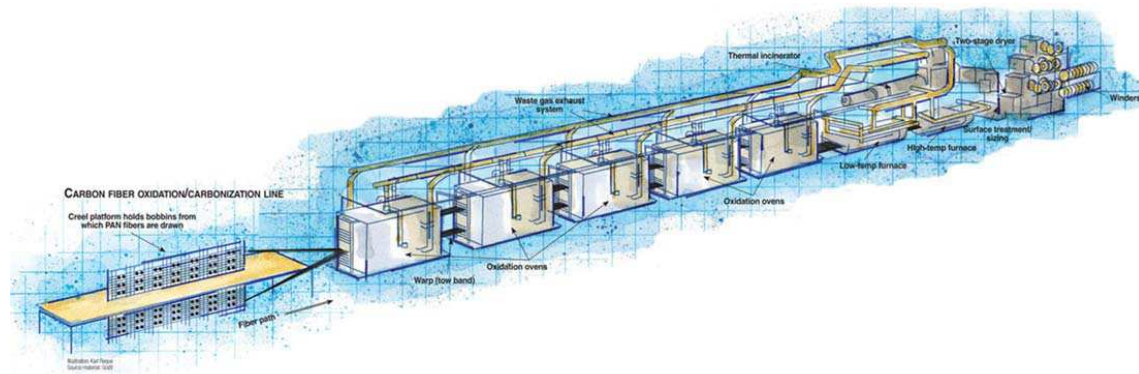


Imagen A3.9. Representación simplificada de la etapa de carbonización.

-Tratamiento superficial:

El siguiente paso es fundamental para el rendimiento de la fibra y, además de los precursores, es el que más diferencia la fibra de un fabricante con la de sus competidores. La adhesión entre la matriz de resina y la fibra de carbono es crucial en el compuesto, de manera que durante la fabricación de fibra de carbono, el tratamiento superficial se realiza para mejorar esta adhesividad. Los fabricantes utilizan diferentes tratamientos, pero un método común consiste en dar a la fibra un baño electrolítico que contiene soluciones, como el hipoclorito de sodio o ácido nítrico. Estos materiales se adhieren a la superficie de cada filamento, lo que hace que aumente la superficie disponible para la interfase fibramatriz y además añade grupos reactivos químicos, como los ácidos carboxílicos.

A continuación se aplica un recubrimiento patentado, un catalizador. Aplicado este catalizador en un porcentaje entre 0,5–5% del peso de la fibra de carbono, protege la fibra de carbono durante la manipulación y elaboración de productos en los que sea empleada, como puede ser el caso de tejidos. Este catalizador favorece, a parte de la manipulación y la capacidad de procesamiento, la adhesión de la fibra a la resina. El proceso acaba cuando se seca el producto catalizador.

Hasta este punto del proceso se obtiene el producto primario: los filamentos individuales de carbono, con un diámetro que oscila entre 5 y 8

¹⁴ Trabajo Final de Máster sobre “Características físicas y mecánicas de Hormigones reforzados con Fibras de: Vidrio, carbono y aramida”, la autora: Victoria Águila Higuero; y el tutor: Ildefonso Lucea Martínez, publicado en Madrid, junio de 2010.

micras (μm), que son trenzados entre sí en grupos de 5.000 y 12.000 mechas y se conocen con el nombre de roving. También existen rovings pesados (Heavy Tow) que se componen de 120.000 a 400.000 filamentos, estos hilos se venden en el mercado en forma de rollos (figura 9) de 50 y 100 metros de fibra, a un precio en promedio de US\$80 el metro.

Vale señalar que por sí solos los hilos no tienen ninguna función, por eso necesitan ser combinados con la resina y el catalizador para formar el material compuesto. De manera que una vez que se tienen los rovings, éstos son entretreídos para conformar una malla o tela de carbono, la cual finalmente, se usa para la obtención de las láminas de fibra de carbono, al ubicarla perfectamente en un molde e impregnarla con la resina y el catalizador, o bien simplemente el tejido de fibra de carbono, que se impregna con la resina en el momento de utilización.



Imagen 3.10. Filamentos de fibra de carbono.

GFRP. Glass Fiber Reinforced Polymer.

Los composites, o materiales compuestos, de GFRP están formados esencialmente por mechas de filamentos de fibra de vidrio (*rovings*) de diferentes características, y una matriz de resina. Los *rovings* tienen una alta resistencia a la tracción y un alto módulo de elasticidad y son el componente resistente del composite. La matriz es el material de enlace utilizado para aglutinar las fibras a fin de obtener una homogenización entre ellas, pero también sirve para su protección y conferir una estabilidad dimensional de la barra de GFRP¹⁵.

Las fibras

Los dos tipos de fibras de vidrio más comúnmente utilizados son la E (eléctrica) y la S o R (strong o reinforced). La fibra E es la de menor coste de todas las disponibles que se utilizan como refuerzo y se utiliza generalmente para aplicaciones donde la fuerza, la resistencia eléctrica, la resistencia frente al ataque ácido y el bajo coste sean características importantes. La fibra S o R tiene mayor resistencia, rigidez y menor deformación que la fibra E, pero es más cara (Aslanova, 1985). Otros tipos fibra de vidrio son la C y las resistentes a los álcalis (AR). La fibra C se utiliza por su estabilidad química en entornos ácidos, y las fibras de vidrio AR se desarrollan para minimizar la pérdida de sección y resistencia en ambientes alcalinos (Aslanova, 1985). Las propiedades físicas y mecánicas de fibras de vidrio se muestran en la tabla siguiente¹⁶, la cual nos hace intuir el empleo de la fibra E en lugar de la AR en ambientes alcalinos, pues la protección frente al álcali se consigue con el tipo de matriz empleado.

	E-glass	S-glass	C-glass	AR-glass
Resistencia a tracción, GPa	3.45	4.3	3.03	2.5
Módulo de Elasticidad, GPa	72.4	86.9	69.0	70.0
Deformación de ruptura, %	4.8	5.0	4.8	3.6
Coefficiente de Poisson	0.2	0.22	-	-
Densidad (g/cm ³)	2.54	2.49	2.49	2.78
Diámetro μm	10.0	10.0	4.5	-
CTE longitudinal	5.0	2.9	7.2	-
Constante eléctrica l	6.3	5.1	-	-

Imagen 3.11. Propiedades físicas y mecánicas de las fibras de vidrio comerciales.

¹⁵ Tesis Doctoral "Diseño según Estados Límites, de Estructuras de Hormigón Armado con Redondos de Fibra de Vidrio GFRP", de autora: Ana Isabel Almerich Chuliá; y tutor: Dr, Pedro E. Martín Concepción, publicada en Valencia en 2010.

¹⁶ Tesis Doctoral "Diseño según Estados Límites, de Estructuras de Hormigón Armado con Redondos de Fibra de Vidrio GFRP", de autora: Ana Isabel Almerich Chuliá; y tutor: Dr, Pedro E. Martín Concepción, publicada en Valencia en 2010.

·Resinas

Los poliésteres termoestables generalmente consisten en un polímero de éster insaturado disuelto en un monómero de unión, como el estireno. Dependiendo de la mezcla de los ingredientes, las propiedades de poliésteres pueden variar ampliamente siendo resistentes al fuego, a la humedad, a los ácidos y álcalis, pero todos ellos son degradados por disolventes clorados.

Las principales ventajas de utilizar los poliésteres para los FRP son su baja viscosidad, un tiempo de curado rápido, su estabilidad dimensional, una excelente resistencia química y un coste moderado. Su principal desventaja es su alta contracción volumétrica durante el proceso de curado.

Las propiedades físicas y mecánicas de resina poliéster se muestran en la tabla 3.19¹⁷, junto con las del epoxi y viniléster y tal como se aprecia, son generalmente inferiores a las del epoxi. Sin embargo, la combinación de su bajo coste (aproximadamente el 50% del epoxi), con sus excelentes propiedades y su maleabilidad la hacen la resina más utilizada en los FRP.

	Poliéster	Epoxi	Viniléster
Resistencia a tracción, MPa	20-100	55-130	70-80
Módulo de Elasticidad, GPa	2.1-4.1	2.5-4.1	3.0-3.5
Deformación de ruptura %	1-6	1-9	3.5-5.5
Coefficiente de Poisson	-	0.2-0.33	-
Densidad (g/cm ³)	1.0-1.45	1.1-1.3	1.1-1.3
T _g (°C)	100-140	50-260	90-140
CTE longitudinal (10 ⁻⁶ /°C)	55-100	45-90	21-73
Contracción curado (%)	5-12	1-5	5.4-10.3

Imagen 3.12. Propiedades físicas y mecánicas de las resinas comerciales.

La resina viniléster se genera mediante la reacción de un ácido insaturado monofuncional, como el ácido acrílico y una resina epoxi, disuelto igualmente que el poliéster en un monómero de unión como el estireno. Las resinas viniléster presentan ventajas sobre las poliésteres en términos de resistencia química y resistencia a las altas temperaturas. Son más fáciles de manejar durante el proceso de fabricación que el poliéster o el epoxi y tienen mejor resiliencia que el poliéster. Presentan mejores comportamiento en ambientes húmedos, y una resistencia interfacial alta y una gran resistencia a los álcalis.

¹⁷ Tesis Doctoral "Diseño según Estados Límites, de Estructuras de Hormigón Armado con Redondos de Fibra de Vidrio GFRP", de autora: Ana Isabel Almerich Chuliá; y tutor: Dr, Pedro E. Martín Concepción, publicada en Valencia en 2010.

El viniléster se adapta perfectamente a las necesidades de fabricación de los redondos de FRP, debido a su baja viscosidad y corto tiempo de curado, pero como desventajas presentan una mayor contracción volumétrica respecto del epoxi durante el curado y son más caros que las resinas de poliéster.

Por último, la resina epoxi tienen una alta resistencia, fuerte adherencia a las fibras, resistencia a ataques químicos y disolvente, buenas propiedades eléctricas, alta temperatura vítrea, baja contracción y emisión de partículas volátiles durante el curado.

·Formas de refuerzo de GFRP

Las formas típicas del refuerzo de GFRP son rejillas, barras, tejidos y mechas de fibras. Las barras presentan diferentes secciones transversales (cuadrada, redonda, sólida y hueca), así como diferentes sistemas de acabado superficial (generalmente, resaltes exteriores, revestimientos de granos de sílice o arena). Una muestra de las diferentes formas de corte transversal, así como de los acabados superficiales de las barras de refuerzo de GFRP se muestra en la Figura 3.20.



Imagen 3.13. Ejemplo de las configuraciones de los refuerzos de FRP.

Una de las principales ventajas de los refuerzos de GFRP, es su capacidad de poder configurar el refuerzo con el fin de obtener un rendimiento específico y satisfacer unos objetivos de diseño. Por ejemplo, el refuerzo de GFRP se puede disponer en redondos, barras, placas, cordones o resaltes a base de hilos. Dentro de estas categorías, la textura superficial del elemento puede ser modificada para aumentar o disminuir la adherencia con el hormigón.

·Proceso de fabricación.

Los redondos de GFRP en la actualidad se fabrican normalmente por el proceso de pultrusión o una variante como el "pull-forming". Este tipo de proceso hace posible obtener productos con un contenido de fibra alto, entre el 60% y 80% en volumen, con una distribución homogénea de fibras en la sección transversal del redondo. En tales casos, las fibras son impregnadas con resina, estiradas atravesando un molde cerrado y caliente, que compacta y endurece el material, el cual se enrolla o corta a una longitud determinada.

Para mejorar la adherencia con el hormigón, se aplican tratamientos superficiales a la barra de GFRP antes de su endurecimiento completo, por uno de los métodos comentados anteriormente para las barras de fibra de Basalto.

ANEXO GRÁFICO 5

FICHAS DE PRODUCTO

CARBOSHEAR SIKA

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Sika® CarboShear L

Angulares a base de fibra de carbono para refuerzo estructural

Descripción del Producto

Sika® CarboShear L son angulares de fibra de carbono resistentes a corrosión, diseñados para refuerzo de estructuras a cortante y para anclar los laminados Sika® CarboDur®. Son parte del sistema de refuerzo Sika® CarboDur® CFRP

Los angulares Sika® CarboShear L se pegan como una armadura externa al soporte con la resina epoxi Sikadur®-30. Para el anclaje de los laminados se puede utilizar Sika AnchorFix®-3+ (para ver más detalles del adhesivo consultar las correspondiente Hoja de Datos de Producto):

Usos

Los angulares Sika® CarboShear L se emplean para mejorar ó incrementar la resistencia a cortante de las estructuras:

Incremento de la Capacidad de Carga

- Incremento de la capacidad portante de vigas.
- Instalación de maquinaria pesada.
- Cambio de uso de la estructura.

Daños de elementos estructurales debidos a

- Deterioro de materiales de construcción
- Corrosión de armaduras
- Accidentes (impacto de vehículo, seismo, fuego, etc.)

Mejora de la capacidad de servicio y durabilidad

- Reducción de esfuerzos de armado
- Reducción del ancho de fisura
- Mejorar la resistencia a fatiga

Cambios en el sistema estructural

- Eliminación de muros o pilares
- Apertura de huecos en forjados y paredes
- Cambio del diseño

Para reparar defectos de construcción o diseño tales como

- Armado insuficiente o inadecuado
- Defectos de ejecución

Características/Ventajas

- Sistema de anclaje ensayado.
- No corrosivo
- Muy alta resistencia y durabilidad
- Cortante y confinamiento mejorado
- Anclaje bien definido
- Gran ligereza
- Poco espesor del sistema, puede ser cubierto
- Fácil transporte
- Fácil instalación, producto y equipos de instalación no pesados.
- Alta resistencia a la fatiga
- Preparación mínima de los laminados
- Bajo impacto estético.



Ensayos

Certificados/Normas

EMPA Test Report 169'219 E/1: Ensayo de comportamiento a cortante de vigas de hormigón armado en forma de T, T1 y T2 reforzadas con angulares a base de fibra de carbono, 1998

EMPA Test Report 169'219 E/2: Ensayo a flexión de la viga T3 reforzada con angulares CFRP, 1998

EMPA Test Report 116/7,2002: Ensayos en vigas S1 a S6 reforzadas a cortante con angulares CFRP.

Datos del Producto

Angulares Sika® CarboShear L

Forma

Apariencia/Colores

Polímeros reforzados con fibra de carbono con una matriz epoxi, negro.

Presentación

Unidades de los tipos indicados.

Tipos

Sika® CarboShear L es un laminado de fibra de carbono conformado en ángulo recto.

Tipo	Longitudes de brazo	Anchura	Espesor nominal
Sika® CarboShear L-4/20/50	200 resp. 500 mm	40 mm	2 mm
Sika® CarboShear L-4/30/70	300 resp. 700 mm	40 mm	2 mm
Sika® CarboShear L-4/50/100	500 resp. 1000 mm	40 mm	2 mm

Se puede cortar el brazo del laminado para adaptarlo al tamaño requerido (con una sierra o preferiblemente un disco de diamante).

El radio interno del ángulo es de 25 mm.

Almacenamiento

Condiciones de Almacenamiento Conservación

Ilimitada (si está almacenado en un lugar seco y sin exposición directa al sol, (luz UV), en condiciones secas y a temperaturas máximas de 50° C.)

Transporte: en los envases originales ó adecuadamente protegidos de cualquier daño mecánico.

Datos Técnicos

Densidad

1,55 g/cm³

Temperatura de Transición Vítrea

> 80 °C

(de acuerdo a la según EN 61006)

Contenido de fibras en volumen

> 56%

Propiedades Mecánicas/Físicas

Propiedades de CarboShear L

Modulo elástico* (valor medio)	95.000 N/mm ²
Resistencia a tracción* (valor mínimo)	> 1.350 N/mm ²
Alargamiento a rotura* (valor mínimo)	>1,30 %

* Valores obtenidos en la dirección longitudinal de las fibras, considerando un espesor nominal de 2 mm.

Diseño

Para detalles de diseño, consultar el Procedimiento de Ejecución del Sika CarboShear.

Detalles de Aplicación

Consumo	Consultar el Procedimiento de Ejecución del Sika® CarboShear.
Calidad del soporte	<p>La resistencia al arrancamiento mínimo recomendada del hormigón tras la preparación de la superficie debe ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medio: 2,0 N/mm² - Mínimo: 1,5 N/mm² <p>La resistencia al arrancamiento del hormigón después de preparar la superficie tiene que comprobarse.</p> <p>Cuando la resistencia al arrancamiento del hormigón está por debajo de los requisitos mínimos establecidos, hay soluciones Sika de refuerzo alternativas disponibles: Consultar la Hoja de Datos de Producto del SikaWrap®.</p> <p>El hormigón debe tener una edad mínima de 28 días (dependiendo de las condiciones de curado, el tipo de hormigón, etc...)</p>
Preparación del soporte	Consultar documento de procedimiento de ejecución del Sika® CarboShear L.
Condiciones de Aplicación/Límites	Ver Hoja de Datos de Producto de Sikadur®-30
Instrucciones de Aplicación	
Método de aplicación/ Herramientas	Consultar documento de procedimiento de ejecución del Sika® CarboShear L y las Ver Hoja de Datos de Producto de Sikadur®-30 y Sika AnchorFix®-3+
Notas de aplicación/ Límites	<p>Debe ser el responsable del diseño del refuerzo un ingeniero con la formación apropiada</p> <p>Esta aplicación es estructural por tanto se debe tener especial cuidado en seleccionar para realizar los trabajos, aplicadores especializados y con experiencia.</p> <p>El sistema Sika® CarboShear debe protegerse de la exposición directa del sol, humedad y/o agua. Consultar el Procedimiento de Ejecución y las Hojas de Datos de Producto de los materiales de revestimiento adecuados para las situaciones en las que los sistemas estarán total o parcialmente expuestos. La temperaturas máxima de servicio es de + 50 °C.</p> <p>Nota: Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p>
Protección frente al fuego	Los angulares Sika® CarboShear L requieren protección contra el fuego pueden ser protegidos con materiales resistentes al fuego.
Nota	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
Instrucciones de Seguridad e Higiene	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

Notas Legales

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es».

CONSTRUCCIÓN



OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
C/ Aragoneses, 17
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



ANEXO GRÁFICO 6

PLANOS ESTRUCTURALES

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

































HORMIGÓN ARMADO

Tipo	fck (N/mm ²)	α larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	B500	B500	1,15

P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	
									COTA +16.00 FORJADO 3
									COTA +10.6 FORJADO 2
									COTA +6.2 FORJADO 1
									COTA +0,00 FORJADO 0
									COTA -4.83 FORJADO -1
									COTA -9.66 FORJADO -2
P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	V.I.












HORMIGÓN ARMADO

Tipo	fck (N/mm2)	α larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	GFRP	GFRP	1,00

P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	
 BxH 40x50 4Ø20 L=540+50 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø20 L=540+50 c-/30	COTA +16.00 FORJADO 3
 BxH 40x50 2Ø12 2Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 2Ø12 2Ø16 L=540+30 c-/30	COTA +10.6 FORJADO 2
 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	COTA +6.2 FORJADO 1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 + 2Ø20 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA +0.00 FORJADO 0
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 + 2Ø20 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -4.83 FORJADO -1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 + 2Ø20 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -9.66 FORJADO -2
P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	V.II.









HORMIGÓN ARMADO

Tipo	fck (N/mm2)	α larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	BFRP	BFRP	1,00

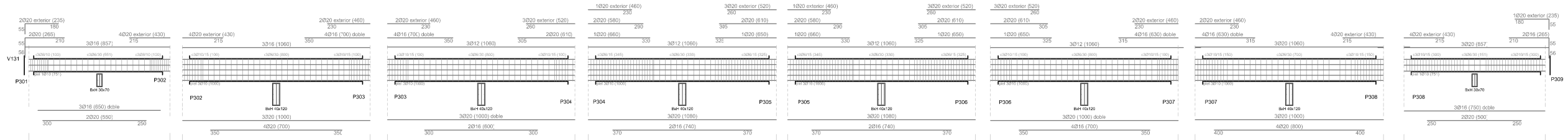
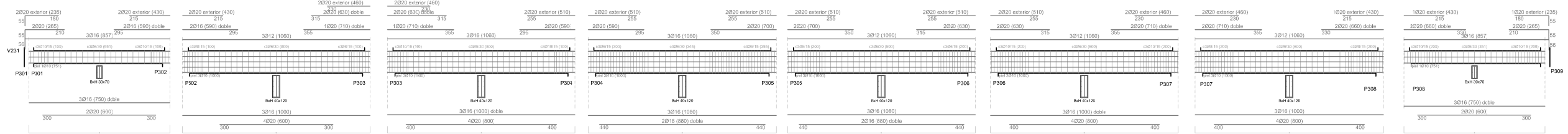
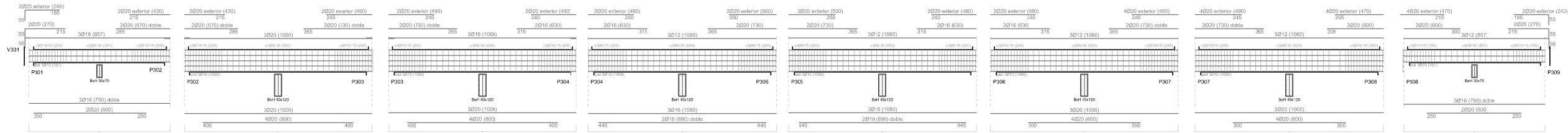
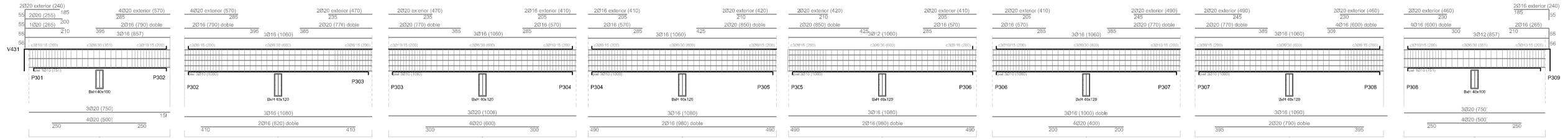
P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	
 BxH 40x50 4Ø16 L=540+50 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø16 L=540+50 c-/30	COTA +16.00 FORJADO 3
 BxH 40x50 4Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=540+30 c-/30	COTA +10.6 FORJADO 2
 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	COTA +6.2 FORJADO 1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA +0,00 FORJADO 0
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -4.83 FORJADO -1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -9.66 FORJADO -2
P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	

HORMIGÓN ARMADO

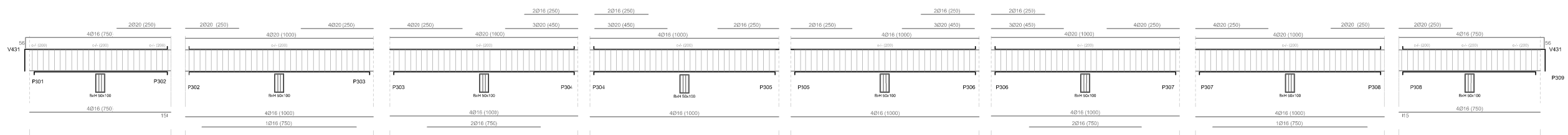
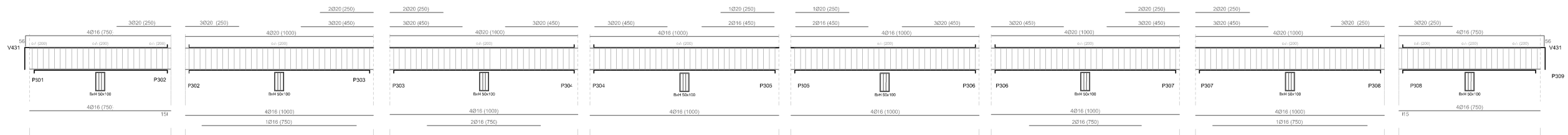
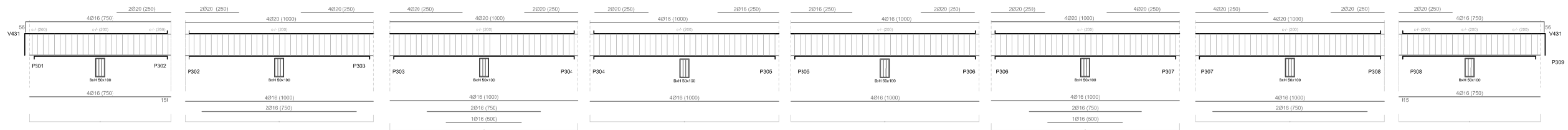
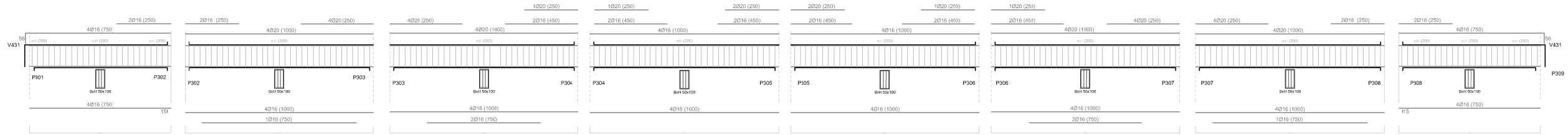
Tipo	fck (N/mm2)	α larga duración	γ_c	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γ_s
HA35	35,00	1,00	1,50	CFRP	CFRP	1,00

P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	
 BxH 40x50 4Ø16 L=540+50 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 50x50 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø16 L=540+50 c-/30	COTA +16.00 FORJADO 3
 BxH 40x50 4Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 57.5x57.5 4Ø16 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=540+30 c-/30	COTA +10.6 FORJADO 2
 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=620+30 c-/30	COTA +6.2 FORJADO 1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA +0,00 FORJADO 0
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -4.83 FORJADO -1
 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=965+50 c-/30	 BxH 62.5x62.5 4Ø16+2Ø12 L=540+30 c-/30	 BxH 40x50 4Ø12 L=483+30 c-/30	COTA -9.66 FORJADO -2
P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	V.IV.

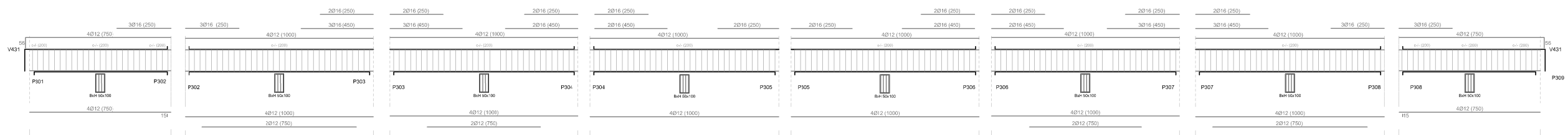
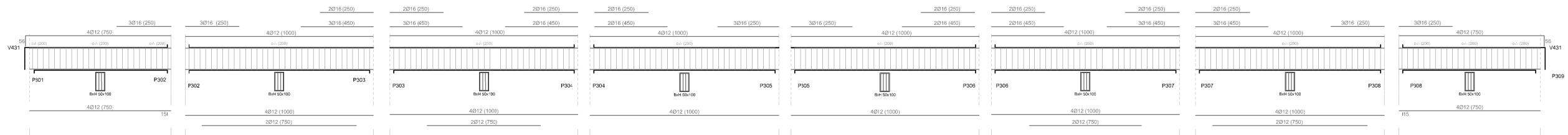
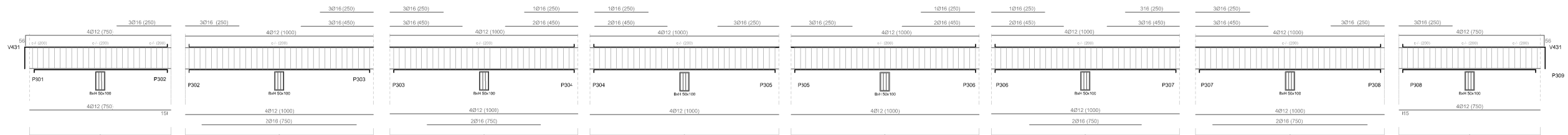
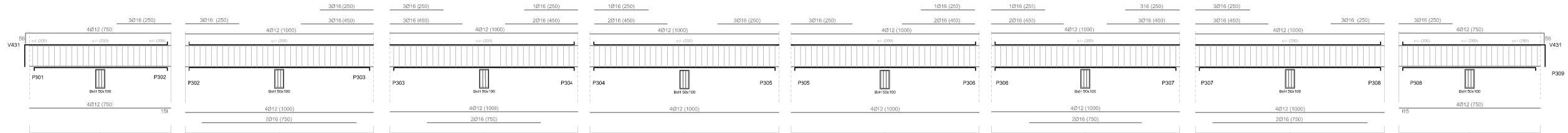
HORMIGÓN ARMADO						
Tipo	fk (N/mm ²)	o larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	B500	B500	1,15



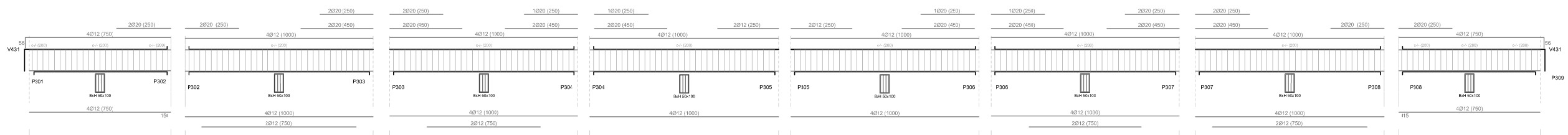
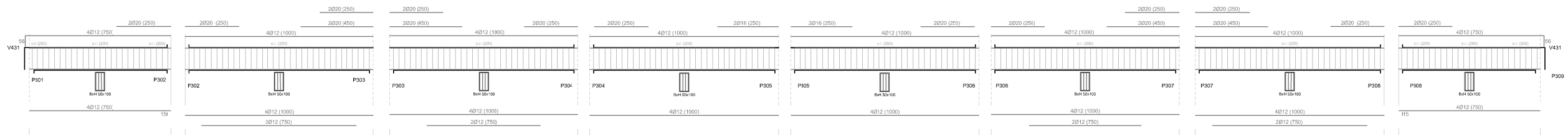
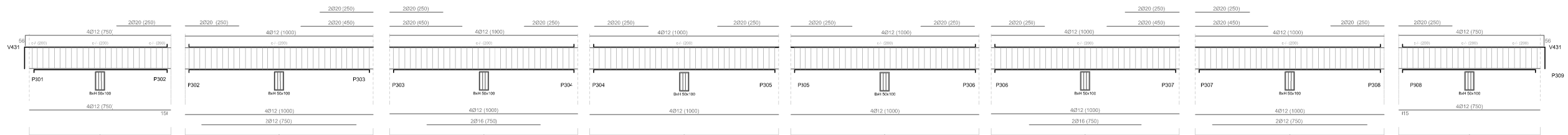
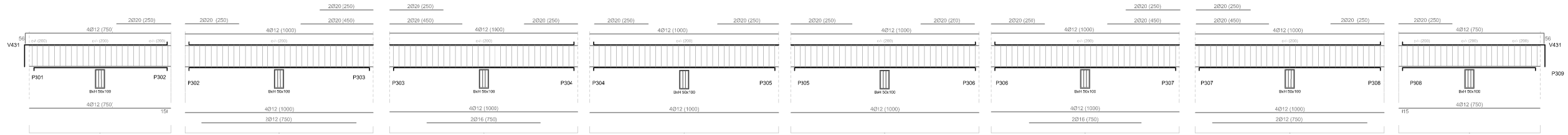
HORMIGÓN ARMADO						
Tipo	fck (N/mm2)	c larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	GFRP	GFRP	1,00



HORMIGÓN ARMADO						
Tipo	fck (N/mm ²)	c larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	BFRP	BFRP	1,00



HORMIGÓN ARMADO						
Tipo	fck (N/mm ²)	α larga duración	γc	Acero arm. pilares	Acero arm. vigas	γs
HA35	35,00	1,00	1,50	CFRP	CFRP	1,00



ANEXO GRÁFICO 7

PRESUPUESTOS

AUTOR:

JOSEP RAMON LLISO FERRANDO

TUTOR ACADÉMICO:

MANUEL VALCUENDE PAYÁ

(CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ETSAV – ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE VALÈNCIA

UPV – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ACERO CORRUGADO

PIEZAS DE CERCOS	LONGITUD	DISTANCIA	PIEZAS	DIÁMETRO	LONGITUD	LONGITUD TOTAL	KG/m	KG	PRECIO (€/kg)	PRECIO TOTAL
PILAR IZQUIERDA 1	10,26	0,15	68,4	6	1,8	246,24	0,444	109,33056	1,14	124,6388384
	6,5	0,15	43,3333333	6	1,8	156	0,444	69,264	1,14	78,96096
	5,7	0,15	38	6	1,8	136,8	0,444	60,7392	1,14	69,242688
	5,9	0,15	39,3333333	6	1,8	141,6	0,444	62,8704	1,14	71,672256
PILAR IZQUIERDA 2	10,26	0,3	34,2	6	5,03	344,052	0,444	152,759088	1,14	174,1453603
	6,5	0,3	21,6666667	6	5,03	217,9666667	0,444	96,7772	1,14	110,326008
	5,7	0,2	28,5	6	3,77	214,89	0,444	95,41116	1,14	108,7687224
	5,9	0,15	39,3333333	6	1,6	125,8666667	0,444	55,8848	1,14	63,708672
PILAR IZQUIERDA 3	10,26	0,3	34,2	6	5,03	344,052	0,444	152,759088	1,14	174,1453603
	6,5	0,3	21,6666667	6	5,03	217,9666667	0,444	96,7772	1,14	110,326008
	5,7	0,2	28,5	6	3,77	214,89	0,444	95,41116	1,14	108,7687224
	5,9	0,15	39,3333333	6	1,6	125,8666667	0,444	55,8848	1,14	63,708672
PILAR IZQUIERDA 4	10,26	0,3	34,2	6	5,03	344,052	0,444	152,759088	1,14	174,1453603
	6,5	0,3	21,6666667	6	5,03	217,9666667	0,444	96,7772	1,14	110,326008
	5,7	0,3	19	6	3,77	143,26	0,444	63,60744	1,14	72,5124816
	5,9	0,3	19,6666667	6	2	78,6666667	0,444	34,928	1,14	39,81792
PILAR CENTRAL	10,26	0,3	34,2	6	5,03	172,026	0,444	76,379544	1,14	87,07268016
	6,5	0,3	21,6666667	6	5,03	108,9833333	0,444	48,3886	1,14	55,163004
	5,7	0,2	28,5	6	3,77	107,445	0,444	47,70558	1,14	54,3843612
	5,9	0,15	39,3333333	6	1,6	62,93333333	0,444	27,9424	1,14	31,854336
EJE VIGA 3ª PLANTA	2	0,15	13,3333333	10	2,8	74,6666667	0,74	55,25333333	1,14	62,9888
	3,5	0,3	11,6666667	6	2,8	65,3333333	0,444	29,008	1,14	33,06912
	2	0,15	13,3333333	10	2,8	74,6666667	0,74	55,25333333	1,14	62,9888
	2	0,15	13,3333333	8	3,2	85,3333333	0,592	50,51733333	1,14	57,58976
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	8	3,2	85,3333333	0,592	50,51733333	1,14	57,58976
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	2	0,15	13,3333333	6	3,2	85,3333333	0,444	37,888	1,14	43,19232
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	6	3,2	85,3333333	0,444	37,888	1,14	43,19232
EJE VIGA 2ª PLANTA	2	0,15	13,3333333	10	2	53,3333333	0,74	39,46666667	1,14	44,992
	3,51	0,3	11,7	6	2	46,8	0,444	20,7792	1,14	23,688288
	2	0,15	13,3333333	10	2	53,3333333	0,74	39,46666667	1,14	44,992
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	10	3,2	85,3333333	0,74	63,14666667	1,14	71,9872
	2	0,15	13,3333333	6	3,2	85,3333333	0,444	37,888	1,14	43,19232
	6	0,3	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	2	0,15	13,3333333	6	3,2	85,3333333	0,444	37,888	1,14	43,19232
EJE VIGA 1ª PLANTA	1	0,15	6,6666667	10	2	26,6666667	0,74	19,73333333	1,14	22,496
	5,51	0,3	18,3666667	6	2	73,4666667	0,444	32,6192	1,14	37,185888
	1	0,15	6,6666667	10	2	26,6666667	0,74	19,73333333	1,14	22,496
	1	0,15	6,6666667	8	3,2	42,6666667	0,592	25,25866667	1,14	28,79488
	8	0,3	26,6666667	6	3,2	170,6666667	0,444	75,776	1,14	86,38464
	1	0,15	6,6666667	8	3,2	42,6666667	0,592	25,25866667	1,14	28,79488
	1	0,15	6,6666667	10	3,2	42,6666667	0,74	31,57333333	1,14	35,9936
	8	0,3	26,6666667	6	3,2	170,6666667	0,444	75,776	1,14	86,38464
	1	0,15	6,6666667	10	3,2	42,6666667	0,74	31,57333333	1,14	35,9936
	3	0,15	20	6	3,2	128	0,444	56,832	1,14	64,78848
	3,45	0,3	11,5	6	3,2	73,6	0,444	32,6784	1,14	37,253376
	3,55	0,15	23,6666667	6	3,2	151,4666667	0,444	67,2512	1,14	76,666368
EJE VIGA PLANTA BAJA	1	0,1	10	8	2	40	0,592	23,68	1,14	26,9952
	5,51	0,3	18,3666667	6	2	73,4666667	0,444	32,6192	1,14	37,185888
	1	0,1	10	8	2	40	0,592	23,68	1,14	26,9952
	1	0,15	6,6666667	10	3,2	42,6666667	0,74	31,57333333	1,14	35,9936
	8	0,3	26,6666667	6	3,2	170,6666667	0,444	75,776	1,14	86,38464
	1	0,15	6,6666667	10	3,2	42,6666667	0,74	31,57333333	1,14	35,9936
	1	0,1	10	10	3,2	64	0,74	47,36	1,14	53,9904
	8	0,3	26,6666667	6	3,2	170,6666667	0,444	75,776	1,14	86,38464
	1	0,15	6,6666667	10	3,2	42,6666667	0,74	31,57333333	1,14	35,9936
	3,45	0,15	23	6	3,2	147,2	0,444	65,3568	1,14	74,506752
	3,3	0,3	11	6	3,2	70,4	0,444	31,2576	1,14	35,633664
	3,25	0,15	21,6666667	6	3,2	138,6666667	0,444	61,568	1,14	70,18752
TOTAL										4434,48536
TOTAL										15316,0011

GFRP

PIEZA	LONGITUD TOTAL	Nº DE BARRAS	Ø	TOTAL (L)	PRECIO	PRECIO TOTAL
PILAR IZQUIERDA 1	10,26	8	12	82,08	1,99	163,3392
	6,5	8	12	78	1,99	155,22
	5,7	4	12	22,8	1,99	45,372
		4	16	22,8	3,23	73,644
	5,9	8	20	47,2	4,26	201,072
PILAR IZQUIERDA 2	10,26	8	16	82,08	3,23	265,1184
	6,5	8	16	78	3,23	251,94
	5,7	8	16	22,8	3,23	73,644
	5,9	8	16	47,2	3,23	152,456
PILAR IZQUIERDA 3	10,26	8	16	82,08	3,23	265,1184
	6,5	8	16	78	3,23	251,94
	5,7	8	16	22,8	3,23	73,644
	5,9	8	16	47,2	3,23	152,456
PILAR IZQUIERDA 4	10,26	8	16	82,08	3,23	265,1184
	6,5	8	16	78	3,23	251,94
	5,7	8	16	22,8	3,23	73,644
	5,9	8	16	47,2	3,23	152,456
PILAR CENTRAL	10,26	8	16	41,04	3,23	132,5592
	10,26	4	20	20,52	4,26	87,4152
	6,5	8	16	39	3,23	125,97
	5,7	8	16	11,4	3,23	36,822
	5,9	8	16	23,6	3,23	76,228
EJE VIGA 3ª PLANTA	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	1	16	15	3,23	48,45
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	2	16	30	3,23	96,9
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	2,5	4	16	20	3,23	64,6
	10	4	20	80	4,26	340,8
	2,5	8	20	40	4,26	170,4
	10	4	20	80	4,26	340,8
	4,5	8	16	72	3,23	232,56
	2,5	2	20	10	4,26	42,6
	10	4	16	80	3,23	258,4
	4,5	2	16	18	3,23	58,14
	2,5	2	20	10	4,26	42,6
EJE VIGA 2ª PLANTA	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	2	16	30	3,23	96,9
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	2	16	30	3,23	96,9
	5	1	16	10	3,23	32,3
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	2,5	4	20	20	4,26	85,2
	10	4	20	80	4,26	340,8
	2,5	8	20	40	4,26	170,4
	10	4	20	80	4,26	340,8
	2,5	4	20	20	4,26	85,2
	10	4	16	80	3,23	258,4
	2,5	2	16	10	3,23	32,3
EJE VIGA 1ª PLANTA	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	1	16	15	3,23	48,45
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	2	16	30	3,23	96,9
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	2,5	6	20	30	4,26	127,8
	10	4	20	80	4,26	340,8
	4,5	6	20	54	4,26	230,04
	2,5	4	20	20	4,26	85,2
	10	4	20	80	4,26	340,8
	4,5	6	20	54	4,26	230,04
	10	4	16	80	3,23	258,4
	4,5	2	16	18	3,23	58,14
	2,5	1	20	5	4,26	21,3
EJE VIGA PLANTA BAJA	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	1	16	15	3,23	48,45
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	2	16	30	3,23	96,9
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	2,5	4	20	20	4,26	85,2
	10	4	20	80	4,26	340,8
	2,5	8	20	40	4,26	170,4
	10	4	20	80	4,26	340,8
	4,5	6	20	54	4,26	230,04
	2,5	4	16	20	3,23	64,6
	10	4	16	80	3,23	258,4
	2,5	2	16	10	3,23	32,3
	10	4	16	80	3,23	258,4
	2,5	2	16	10	3,23	32,3
	10	4	16	80	3,23	258,4
	7,5	4	16	60	3,23	193,8
	2,5	2	16	10	3,23	32,3
PIEZAS DE CERCOS	LONGITUD	DISTANCIA	PIEZAS	PRECIO U.		PRECIO TOTAL
PILAR IZQUIERDA 1	10,26	0,3	137	2		274
	6,5	0,3	88	2		176
	5,7	0,3	76	2		152
	5,9	0,3	80	2		160
PILAR IZQUIERDA 2	10,26	0,3	137	2		274
	6,5	0,3	88	2		176
	5,7	0,3	76	2		152
	5,9	0,3	80	2		160
PILAR IZQUIERDA 3	10,26	0,3	137	2		274
	6,5	0,3	88	2		176
	5,7	0,3	76	2		152
	5,9	0,3	80	2		160
PILAR IZQUIERDA 4	10,26	0,3	137	2		274
	6,5	0,3	88	2		176
	5,7	0,3	76	2		152
	5,9	0,3	80	2		160
PILAR CENTRAL	10,26	0,3	137	2		274
	6,5	0,3	88	2		176
	5,7	0,3	76	2		152
	5,9	0,3	80	2		160
EJE VIGA 3ª PLANTA	37,5	0,2	500	2		1000
EJE VIGA 2ª PLANTA	37,5	0,2	500	2		1000
EJE VIGA 1ª PLANTA	37,5	0,2	500	2		1000
EJE VIGA PLANTA BAJA	37,5	0,2	500	2		1000
PIEZAS DE ANCLAJE EXTREMOS	Nº	TOTAL				PRECIO TOTAL
PILAR IZQUIERDA 1	8	16	8,3			132,8
PILAR IZQUIERDA 2	8	16	8,3			132,8
PILAR IZQUIERDA 3	8	16	8,3			132,8
PILAR IZQUIERDA 4	8	16	8,3			132,8
PILAR CENTRAL	8	8	8,3			66,4
EJE VIGA 3ª PLANTA	8	16	8,3			132,8
EJE VIGA 2ª PLANTA	8	16	8,3			132,8
EJE VIGA 1ª PLANTA	8	16	8,3			132,8
EJE VIGA PLANTA BAJA	8	16	8,3			132,8
				TOTAL		1128,8
						1128,8
				TOTAL		23658,3268

