Fabricación y montaje torre Peñuelas

Informe de procesos de construcción de torre experimental Peñuelas

Santiago, jueves 17 de enero de 2019

Elaborado por:

Eduardo Wiegand,	Jefe de proyecto Torre Peñuelas
Enric Serra,	Supervisor de fabricación y montaje CIM UC-CORMA.
Christiane Delucchi,	Arquitecto Investigador.
Leonardo Rivera,	Arquitecto Investigador

1 Tabla de contenidos

2 Introducción 3
3 Metodología 4
4 Resultados 5
5 Proceso de fabricación 6
5.1 Descripción general 6
5.1.1 Fabricación de entramados 7
5.1.2 Ensamble de módulos 9
5.1.3 Terminación de módulos 12
5.1.4 Elementos especiales 15
5.1.5 Proceso de despacho 16
5.2 Evaluación del proceso de fabricación. 17
5.2.1 Avance acumulado periódico 17
5.2.2 Personal y avance 18
6 Actividades de terreno 20
6.1 Excavaciones 20
6.2 Rellenos 21
6.3 Fundaciones e instalación de Strong-Rod 21
6.3.1 Comentarios y aprendizajes 22
6.4 Vigas y muros de fundación 22
6.4.1 Resumen de la actividad 22
6.4.2 Comentarios y aprendizajes 22
7 Proceso de montaje 23
7.1 Descripción general 23
7.1.1 Logística y despacho 23
7.1.2 Uso de Grúa 23
7.1.3 Vinculación de módulos mismo piso 23
7.1.4 Terminación exterior de módulos. 23
7.1.5 Montaje de Pisos 23
7.1.6 Terminación interior de módulos 23
7.2 Definición de la secuencia 23

7.3 Evaluación del proceso de montaje 24
8 Conclusiones 27
8.1 Proceso de fabricación 27
8.1.1 Planificación 27
8.1.2 Mano de obra 27
8.1.3 Materiales 28
8.2 Proceso de montaje 28
8.2.1 Planificación 28
8.2.2 Mano de obra 28
8.2.3 Materiales 28
9 Bibliografía 29

2 Introducción

Torre peñuelas (TP)corresponde a un edificio experimental emplazado en la V región, en el kilómetro 87 de la ruta 68 en la reserva nacional Lago Peñuelas. El objetivo de este edificio es desarrollar investigaciones en relación con cuatro áreas principales, que son:

I. ***Evaluación económica***: *Consiste en la evaluación de costos del sistema constructivo para poder realizar costeo de edificaciones de uso habitacional.*

II. ***Comportamiento sísmico***: *Consiste en la evaluación del desempeño sísmico del edificio, se medirá el comportamiento de los elementos incorporados para resistir eventos sísmicos como el sistema A.T.S. (que será explicado más adelante y el desplazamiento diferencial entre pisos o "drift" causado por los eventos sísmicos.*

III. ***Comportamiento Físico-Ambiental***: *Se monitorizarán 8 parámetros de la física ambiental de la torre que son:*
   a. Demanda energética.
   b. Puentes térmicos.
   c. Transmitancia térmica.
   d. Estanqueidad al agua.
   e. Hermeticidad al Aire,
   f. Permeabilidad al vapor de agua.
   g. Comportamiento Higrotérmico.
   h. Propiedades Acústicas.

IV. ***Precepción inmobiliaria***: *Se medirá la precepción de empresas inmobiliarias y consumidores acerca de los atributos y características de la obra, para conocer la disposición a comprar unidades habitacionales asociadas a esta materialidad.*

El presente informe tiene por objetivo realizar una descripción técnica de los procesos de construcción de la torre, en base a la revisión de procesos de fabricación en planta y las actividades respectivas al montaje de la estructura en terreno. Adicionalmente, se han obtenidos tiempos de fabricación de diferentes elementos a lo largo del proyecto, con lo que se realizará una evaluación general de la productividad los procesos. A partir de la descripción de estos, se realizarán análisis y se incluirán aprendizajes asociados a su desarrollo. También, se describirá el impacto de las partidas en la medición de las cuatro variables, para hacer notar la importancia de la calidad de los procesos constructivos en la calidad del resultado final.

3 Metodología

Este informe consiste en un levantamiento de información de los procesos de construcción. Para el proceso de fabricación, la obtención de la información se realizó mediante revisión y medición directa, registros fotográficos, elaboración de controles de avance periódicos, revisión y ajuste de la programación de obra según avances reales, notas de obra y consultas al contratista de construcción.

Para el desarrollo de las mediciones del proceso de montaje se ha considerado la metodología desarrollada por el departamento de ingeniería de construcción de la pontificia universidad católica de chile y la corporación de capacitación de la construcción que corresponde a un sistema de control de la productividad (SCP) que consta de algunas herramientas, que son (Santana, 1989):

1. **Muestreo general de trabajos (MGT):** con esta herramienta se logra medir el nivel de actividad de la obra reflejando en tiempo de la jornada que se encuentra en las siguientes categorías:
    I. **Tiempo Productivo:** Corresponden a todas aquellas actividades que se realizan y que tienen directa relación con el objetivo o el resultado del proceso, estas se realizan en forma correcta y forman parte de una metodología de trabajo ordenada (ejemplo: todo aquel trabajo directo y medible).
    II. **Tiempo Contributorio:** corresponde a aquellas actividades que apoyan al resultado y por ende son necesarias, pero que a través de una correcta instrucción y planificación se pueden minimizar (ejemplos: consultar planos, explicar procedimientos, ayuda adicional en actividades complejas, etc.).
    III. **Tiempo no Contributorio (o desperdicio):** Corresponden a todas aquellas actividades que no contribuyen al resultado, de existir una correcta planificación y generación de condiciones estas se pueden reducir para mejorar la productividad. (ejemplos: ir a buscar herramientas durante la secuencia, tiempos muertos por falta de planificación, descansos, lavarse la cara, necesidades fisiológicas inesperadas, etc.).
2. **Encuesta de detención de capataces (EDC):** Corresponde a un cuestionario que se entrega a supervisores y capataces en donde deben explicar razones de las detenciones en el desarrollo de procesos constructivos.

Para efectos del ensamble de módulos y el montaje de la estructura de TP en terreno, se utilizó la herramienta n° 1 para medir tiempos, a través de la medición directa, revisión de registros fotográficos y de video de los procesos, con los cuáles se pudieron obtener datos de la productividad en los respectivos procesos.

4 Resultados

El tiempo de fabricación de la torre fue de **81 días hábiles**, lo que corresponde **a 3 Meses y 20 días corridos**, El tiempo asociado al montaje fue de **7 días hábiles** correspondiendo **a 9 días corridos**. Esto equivale a un periodo de construcción de **88 días hábiles o 3 meses y 29 días corridos**.

En total se consideraron $\mathbf{3330}\frac{\boldsymbol{H}}{\boldsymbol{H}}$ para la fabricación de la torre y $\mathbf{2508}\frac{\boldsymbol{H}}{\boldsymbol{H}}$ Para su montaje y terminaciones con u total $\mathbf{5838}\frac{\boldsymbol{H}}{\boldsymbol{H}}$

La superficie total construida de la torre es de **119,1 m²**, con esto dicho se procesaron $\mathbf{29,77}\frac{\boldsymbol{m^2}}{\boldsymbol{mes}}$ para la ejecución del proyecto.

Se observaron incrementos de productividad asociados al aprendizaje de las actividades en el proyecto en una tasa de avance semanal que se movieron entre el **2%** y **8%** de avance semanal manteniendo constante la cantidad de personal en planta. En cuanto al montaje de módulos, se vio una reducción en los tiempos de montaje por cada piso que se movió entre **11:06** horas para el primer piso hasta **05:52** horas para el piso cinco observándose un incremento de la productividad de un **89%** entre ambos casos.

También se ha observado que en el proceso de montaje de módulos ha existido un aumento del tiempo productivo y una reducción del tiempo no contributorio que se presenta en los siguientes resultados:

.

5 Proceso de fabricación

5.1 Descripción general

La fabricación industrializada de estructuras trae beneficios en cuanto a la calidad de la edificación, los tiempos de obra y los gastos generales asociados al proyecto (EMB Construcción, 2017)

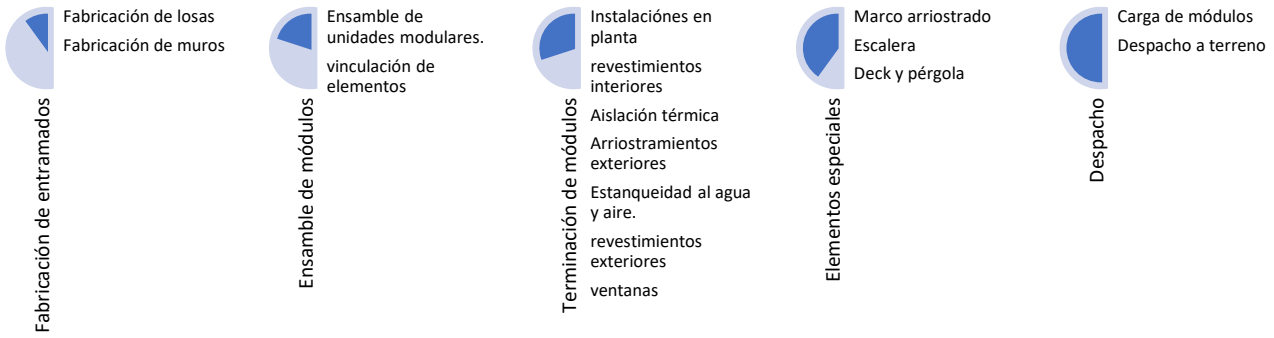
La calidad de la edificación mejora al desarrollar el proceso a través de una metodología ordenada, en la que la fuerza productiva especializa en una actividad, con condiciones de trabajo controladas. Esto permite que el control de calidad se realice en cada parte del proceso en forma minuciosa, pues basta con controlar estaciones de trabajo en la medida del avance.

Los tiempos de obra se ven reducidos por que las condiciones controladas de fabricación incrementan la velocidad de avance en las partidas y, además, la fabricación en planta permite el avance simultaneo en partidas respectivas a fundaciones, con la fabricación de la estructura de niveles superiores, por lo que la extensión de la obra gruesa se puede reducir.

Lo anterior, justifica la reducción de gastos generales, pues se requiere de una menor cantidad de profesionales en la obra, por un periodo de tiempo también menor. Adicionalmente, los gastos generales de la fabricación en planta se pueden prorratear en más proyectos, teniendo menor impacto en cada uno al contar con varias líneas de producción simultaneas que atiendan a estos.

Es importante mencionar que en el caso particular de TP, la fabricación tuvo un nivel de industrialización bajo, respecto del estándar de industrialización de la línea de producción de Tecno Fast (TF), ya que el proyecto posee muchas particularidades que se salen del estándar de TF y le atribuyen una mayor complejidad a su fabricación.

A continuación, se presenta un esquema del proceso de fabricación en planta de TP



5.1.1 Fabricación de entramados

5.1.1.1 Resumen de la actividad

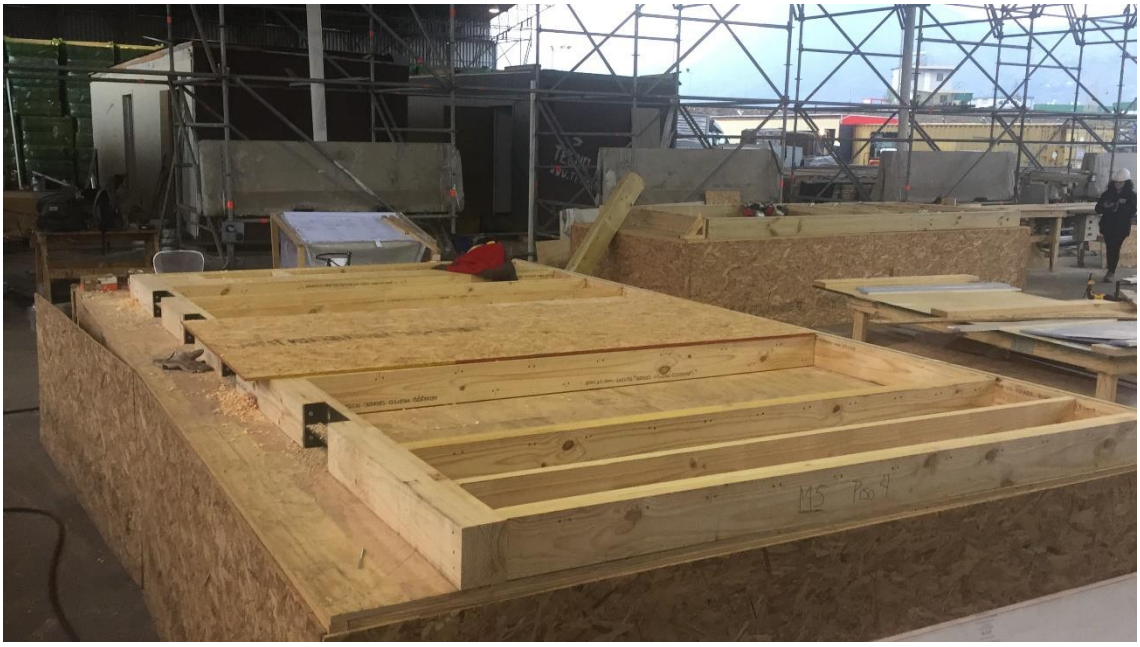
La fabricación de paneles corresponde al corte y clavado de los elementos que le conforman (pie derechos y soleras) y la instalación de la primera cara de arriostramiento. En este proceso se realiza una verificación dimensional y de cuadratura del panel que consiste en la revisión de las dimensiones globales (alto y ancho del panel) medidas de diagonales (para cuadratura y dimensiones de rasgos de ventanas y puertas de acuerdo con planimetría. Finalmente, se tabula esta información, y el panel se aprueba cuando se cumplen estos con diferencias inferiores a 5 mm en cada parámetro respecto de lo indicado en planimetría.

5.1.1.1.1 Fabricación de muros

Para la fabricación de muros se utiliza madera aserrada Arauco MGP10 de 35 mm x 138 mm impregnada con Vacsol Azure y OSB LP Home Plus de 11,1 mm en caras interiores. El proceso de fabricación se puede dividir en cuatro etapas, Aserrado de madera, presentación, clavado e instalación de arriostramiento.

Los muros se componen de dos elementos principales, que son pie derechos y soleras, los primeros se distribuyen uniformemente según las cargas gravitacionales que soportará la estructura y los segundos sirven como elemento de vinculación entre ellos. en extremos de muros estructurales se consideran además elementos destinados a soportar tracciones y compresiones asociadas al volcamiento por esfuerzos sísmicos, por lo que se incluye el sistema A.T.S. que corresponde a barras de acero que funcionan a tracción, pero estos elementos se instalan en terreno, por otro lado, los pie derechos de borde deberán soportar las compresiones generando paquetes de 3 o más pie derechos a ambos lados del sistema A.T.S.

Fotografía 1: Fabricación de entramados de muros.

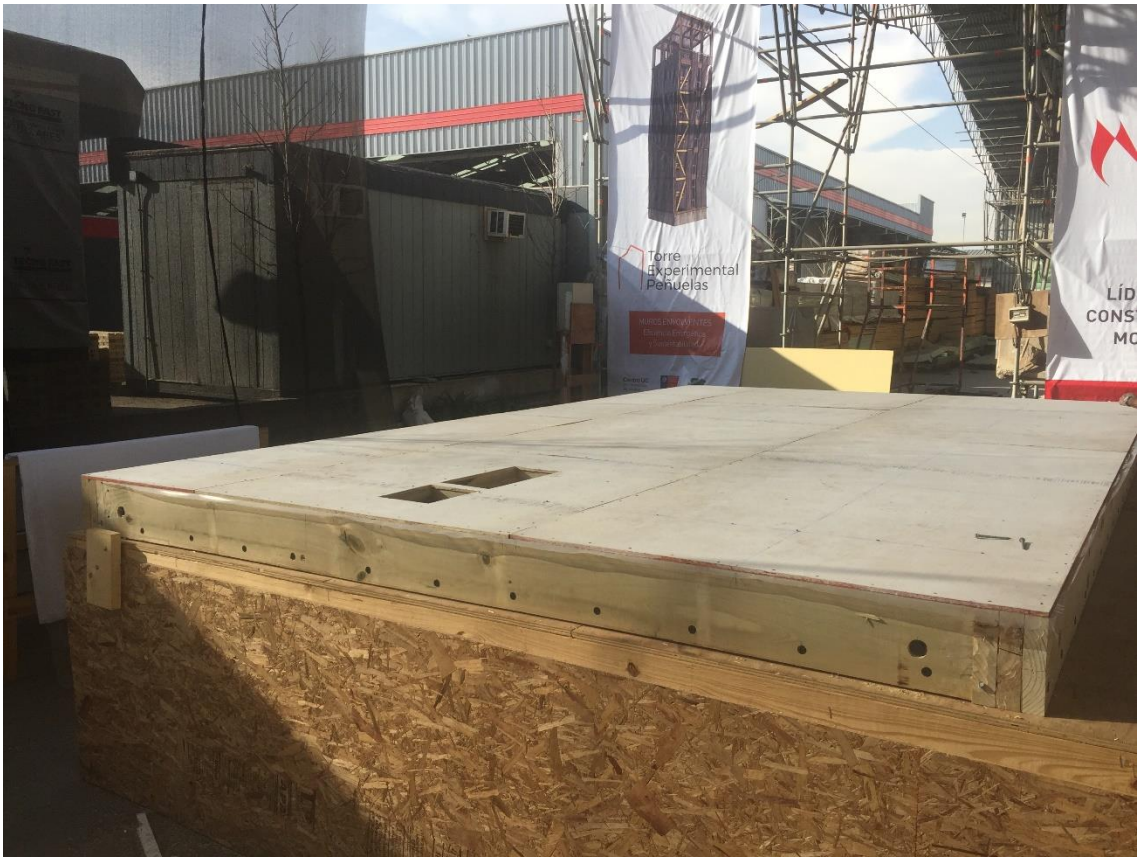


5.1.1.1.2 Fabricación de losas

Para la fabricación de losas se utiliza madera aserrada CMPC C24 de 41 mm x 185 mm impregnada con cobre micronizado y OSB LP Flame Block de 11,1 mm para cara inferior de losa. El proceso de fabricación se mantiene constante respecto de la fabricación de muros.

Las losas se componen de vigas longitudinales que descargarán en muros a través de una viga perimetral triple o cuádruple que equivale aproximadamente al espesor del muro que tiene sobre sí. Además, se instalan cadenetas en losa para generar bloqueo de la estructura, incrementando así la rigidez del diafragma completo al instalar los forros superiores e inferiores.

Fotografía 2: Fabricación de entramado de losas



5.1.1.2 Comentarios y aprendizajes

Se establecen algunos criterios que son relevantes a la hora de fabricar paneles que cumplan con la calidad especificada.

En primer lugar, es importante realizar una selección de la madera que se utilizará para la fabricación de los paneles, pues en ocasiones se presentan piezas con distintos tipos de defectos como alabeo de la pieza, curvatura, longitudinal, torsión, nudos de dimensiones excesivas, entre otros. Estos dificultarán la fabricación y reducirán la precisión con la que se fabrican. Para esto se deben establecer criterios de borde que de preferencia deben

encontrarse detallados en las especificaciones técnicas (EETT) de los proyectos de construcción, para poder corresponder a un ítem exigible a proveedores y contratistas.

Segundo, es relevante que la superficie en la cual se fabriquen los muros se encuentre perfectamente nivelada y sea ortogonal, para facilitar la cuadratura de elementos y evitar deformaciones en el plano del muro o losa.

Por último, es de gran relevancia realizar una corroboración dimensional de los miembros y del elemento fabricado como metodología de aprobación, para asegurar que se cumplan las tolerancias exigidas por el proyecto.

5.1.2 Ensamble de módulos

5.1.2.1 Resumen de la actividad

5.1.2.1.1 Ensamble de unidad modular

El ensamble del módulo consiste en la conformación del volumen de la envolvente conectando todos los muros y losas correspondientes a un módulo, como se cuenta con dos módulos por piso, la plantilla es de la dimensión completa del piso de modo de ensamblar ambos módulos juntos y así reducir la incidencia de problemas de cuadratura y calce entre módulos, lo que es beneficioso en el momento del montaje, pues la condición de la actividad incorpora riesgos que no se poseen en planta, como lo es el trabajo en altura, el calce con elementos de terreno, entre otros. Es relevante que a plantilla antes mencionada se encuentre perfectamente nivelada en el momento del ensamble de los módulos, pues eso permitirá que todas las uniones calcen adecuadamente facilitando así las actividades posteriores.

Fotografía 3: Pisos 1 y 2 montados.

Como este proyecto se encuentra fuera de la línea de producción de la planta, no se cuenta con sistemas mecánicos de elevación para posicional muros y losas. Lo anterior, implica que fue necesario contar con una cantidad adicional de personal para poder realizar las maniobras asociadas al ensamble de los módulos.

Para el pre-montaje correspondiente a los últimos dos niveles de la torre, se ha realizado la medición de la duración de la actividad, con el fin de establecer una comparativa respecto de una línea industrializada. También, con el fin de verificar si existe reducción de tiempo en el proceso, asociados a un aprendizaje de la tarea.

Evaluando en el proceso los tiempos que fueron productivos, contributivos y no contributivos respecto de la actividad. Los resultados obtenidos para los pisos 4 y 5 son los siguientes:

5.1.2.2 Evaluación

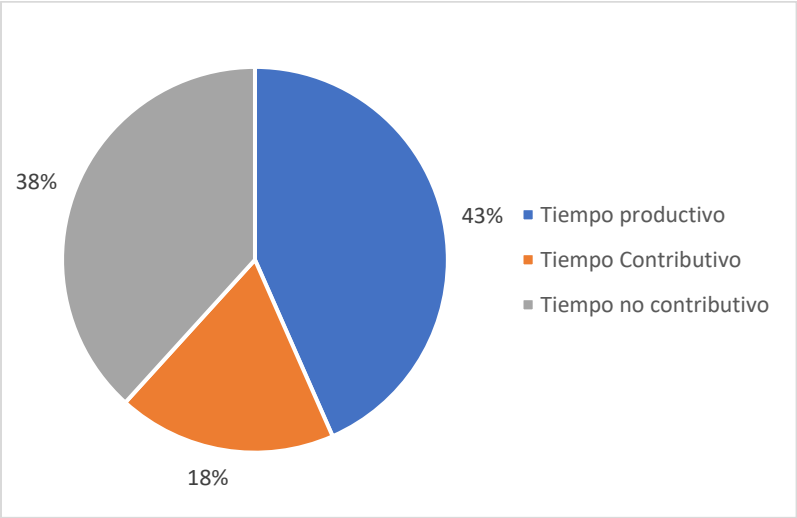
5.1.2.2.1 Piso 4

- Cantidad de Operarios: 11
- Tiempo Total Invertido: **0:37:38 minutos**
- Horas/Hombre Invertidas: 6,88 horas

Tabla 1: Distribución de tiempos de ensamble piso 4

Operadores	**11**		
Piso 4	**Duración**	**Distribución %**	**H/H Invertidas**
Tiempo productivo	0:16:20	43%	2:59:40
Tiempo Contributivo	0:06:54	18%	1:15:54
Tiempo no contributivo	0:14:24	38%	2:38:24
Tiempo Total	**0:37:38**	**100%**	**6:53:58**

Gráfico 5-1: Distribución porcentual de tiempos Piso 4



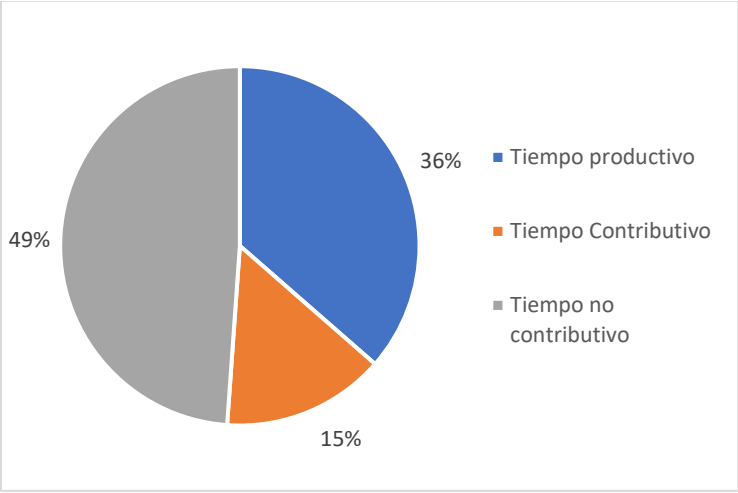
5.1.2.2.2 Piso 5

- Cantidad de Operarios: 09
- Tiempo Total Invertido: **0:37:39 minutos**
- Horas/Hombre Invertidas: 5,35 horas

Tabla 2: Distribución de tiempos *de ensamble piso 5*

Operadores	**9**		
Tipo de Tiempo	**Duración**	**Distribución %**	**H/H Invertidas**
Tiempo productivo	0:13:43	36%	2:03:27
Tiempo Contributivo	0:05:32	15%	0:49:48
Tiempo no contributivo	0:18:24	49%	2:45:36
Tiempo Total	**0:37:39**	**100%**	**5:38:51**

Gráfico 5-2: distribución porcentual de tiempos *Piso 5*



5.1.2.3 Comentarios y aprendizajes

Se puede observar a partir de los resultados obtenidos en las iteraciones anteriores que el proceso de ensamble de módulos ha tenido tiempos que no contribuyen a la actividad, al revisar el proceso, se observan los siguientes tiempos no contributivos:

- Falta de coordinación del personal: existe descoordinación por parte del personal, pues son llamados a realizar una actividad puntual, y hasta su llegada no conocen los detalles de la actividad a realizar.
- Falta de planificación de la secuencia de ensamble: los paneles fabricados son apilados unos sobre otros en forma previa al ensamble del módulo, por esto, se pierden tiempos considerables en reordenar los paneles de acuerdo con la secuencia de ensamble más cómoda en relación con el espacio disponible.
- Disponibilidad de herramientas e insumos: en ambas mediciones fue necesario ir a buscar herramientas, e insumos para la fijación temporal de los paneles deteniendo el proceso para este efecto.
- Inexistencia de Layout definido para realizar acción: El no contar con una secuencia espacial definida, no produce movimientos innecesarios que reducen la productividad del proceso.

Se ha observado una reducción del tiempo entre un registro y el siguiente. Existiendo también un incremento del tiempo que contribuye a la actividad, pero también del tiempo que no contribuye. Esto nos indica que la eficiencia en el desarrollo de esta actividad es baja, teniendo una cantidad sustancial de tiempo que no contribuye al resultado de la actividad.

En general, se puede mejorar la eficiencia de esta actividad por medio de una adecuada organización que permita reducir al mínimo los tiempos no contributivos. Esto a través de la organización en la disposición original de paneles, colección previa de insumos y herramientas necesarias y el uso de medios mecánicos para reducir el personal y total de HH, pudiendo reducir de 11 o 9 personas a 2 personas que guíen y fijen el elemento mientras un sistema de elevación adecuado le da su posición.

5.1.3 Terminación de módulos

Este proceso se inicia con las instalaciones eléctricas del módulo, su aislación y arriostramiento por segunda cara, posteriormente se realiza la instalación de la placa de Gyplac ER sobre barrera de vapor mediante tornillos para yeso cartón y se finaliza con la instalación de marcos y ventanas. En esta etapa se prepara además el módulo para su traslado instalando diagonales y riostras en puntos específicos para reducir el potencial de deformación.

5.1.3.1 Instalaciones eléctricas

5.1.3.1.1 Resumen de la actividad

5.1.3.1.1.1 Canalizaciones

siendo esta una partida crítica para el avance en el cierre de módulos, pues, al encontrarse muros y losas abiertas por caras exteriores, impedía el avance en arriostramientos exteriores de muro y losa, y revestimientos. La velocidad de avance de esta partida fue buena, pero el inicio de actividades en cada piso tuvo retrasos de hasta 5 días, lo que condicionó la extensión del plazo de entrega de partidas posteriores y del proyecto en su conjunto.

5.1.3.1.1.2 Cableado e Instalación de artefactos

Corresponde a una actividad previa a la entrega de los módulos, el proceso se realiza secuencialmente, es decir, se prepara el cableado de cada circuito en mesa de trabajo, posteriormente se pasan cables por canalizaciones gracias a alambre preinstalado y finalmente se instalaban artefactos eléctricos en cada circuito. Esta actividad se realizaba en paralelo a la instalación de revestimientos exteriores.

5.1.3.1.2 Comentarios y aprendizajes

5.1.3.1.2.1 Canalizaciones

Se observa que durante la instalación de canalizaciones se realiza un número elevado de perforaciones en la estructura, sin la precaución de que estas se realizasen en la fibra neutra de la pieza en estructuras de losa. Además, los distanciamientos entre perforaciones eran en ocasiones menores a los 5 cm en los casos más críticos. Lo anterior, es perjudicial para el desempeño de la estructura, pues reduce la continuidad en vigas alterando el comportamiento diseñado de estas. NCh 1198 establece que en elementos sometidos a flexión es necesario considerar todos los debilitamientos de sección transversal que sean causados por perforaciones, rebajes y similares (Instituto Nacional de Normalización, 2014).

Esto puede mejorar si en la etapa de diseño, se predefinen las pasadas de instalaciones de modo de optimizar estas, reduciendo la cantidad de ductos utilizados y las perforaciones requeridas y considerando en el cálculo las reducciones que se realicen.

5.1.3.2 Revestimientos interiores

5.1.3.2.1 Resumen de la actividad

La terminación interior de módulos se ha realizado de acuerdo con lo comentado en informes anteriores, es decir, se instala barrera de vapor de papel Kraft 115-20-115 de CMPC con traslapes de 15 cm entre franjas, posteriormente se instalaron dobles capas de yeso cartón Romeral ER® de romeral mediante corchetes para la primera capa y tornillos según especificación para la segunda en zonas interiores y placas de sistema Romeral Aquaboard® en zonas exteriores bajo la misma configuración.

Para preparación de elementos para despacho, se cortaron escotillas para sistema ATS® en OSB y yeso cartón, con el fin de disponer de estos elementos para su instalación posterior a la conexión y activación de elementos del sistema ATS® en terreno.

5.1.3.2.2 Comentarios y aprendizajes

La velocidad de instalación para esta partida se vio incrementada al incorporar mano de obra especializada en esta actividad, pues en la línea de producción se dedican a la instalación de placas de yeso cartón. esto también incrementó la disponibilidad de maestros carpinteros para trabajar en la fabricación de elementos especiales, como son la escalera, marco arriostrado y revestimientos.

5.1.3.3 Aislación térmica

Corresponde a la instalación de la aislación especificada para la envolvente de la estructura, en muros se especificó lana de vidrio de 100 mm de espesor y en losas de 120 mm de espesor, TF sin embargo no manejaba dichos espesores dentro su inventario, por lo que se realizó la a adaptación a 90 mm para muros t 140 mm para losas.

5.1.3.4 Arriostramientos exteriores

5.1.3.4.1 Resumen de la actividad

Esta actividad se ha realizado en forma posterior a la instalación de la aislación térmica e instalaciones eléctricas de muros y losas. Antes de su realización se han revisado diámetros de perforaciones y ductos de ATS® de modo de asegurar que las barras pasaran libres. El clavado se realizó de acuerdo con el patrón indicado por planos de fabricación y se realizaba en forma secuencial, en donde un primer operador presentaba la placa de OSB FlameBlock® en su posición y la fijaba en sus cuatro esquinas, mientras que un segundo operador se encargaba de realizar el clavado completo del tablero.

5.1.3.4.2 Comentarios y aprendizajes

Esta partida podría ser acelerada utilizando guías para el marcado de las placas, actividad que tomaba aproximadamente el mismo tiempo que el clavado, por otra parte, se podría asistir la presentación de la placa mediante puntos de apoyo nivelados que faciliten la presentación de esta placa restringiendo su movimiento.

5.1.3.5 Estanqueidad al agua y al aire

Para maximizar la vida útil de la estructura, se debe asegurar su protección contra la intemperie, es por esto que antes de instalar revestimientos exteriores, se debe instalar una barrera de viento/lluvia hidrófuga como lo es LP Housewrap® o similar.

En los módulos se han instalado en forma continua, minimizando la cantidad de corchetes para reducir el número de perforaciones y posteriormente sellando con cinta de sellado las uniones y conexiones en el módulo. El rollo se dispone verticalmente de modo de realizar uniones horizontales justo en la unión entre módulos y poder realizar estas en terreno (fotografía 19)

5.1.3.6 Revestimientos exteriores

5.1.3.6.1 Resumen de la actividad

Los revestimientos de la TP se encuentran compuestos de dos elementos principales, estos son:

Distanciadores: elemento vertical dispuesto entre placas de revestimiento confeccionado con madera Termo modificada de CMPC en las escuadrías 2x5”, 1x6”, y 1x2”. Para la fabricación de estos elementos se confeccionó una matriz para cortar todos los elementos a un largo estándar definido por planos y otra para alinear elementos en la confección de estos distanciadores (Fotografías 9 y 10).

Posteriormente se comenzó la instalación de estos elementos, para lo que se nivelaron los módulos y se instaló en la base del muro un elemento nivelado con el fin de servir de apoyo para la alineación. La fijación de estos elementos se realizó mediante clavos para fijar posición y se completó mediante tornillos SDWC 15450-KT de Simpson Strong-Tie® según especificación, dado a que estos son adecuados para atornillado en ángulo, que era necesario para conectar adecuadamente los distanciadores a los pies derechos.

Paneles: Los paneles se utilizaron para dar terminación a la fachada de la TP y generar en conjunto con los distanciadores el sistema de cámara ventilada. Los paneles especificados corresponden a placas MDF Tricoya® con tratamiento de acetilado y tintado de Leaf Panel fijas a distanciadores mediante tornillos de acero inoxidable distanciados según cargas de viento a 40, 30 y 20 cm desde pisos inferiores a superiores (fotografía 20).

La instalación de estos paneles se realizó en dos etapas, la primera corresponde al avellanado del revestimiento para asegurar la entrada del tornillo hasta el plomo del tablero y posteriormente se realiza la instalación, para lo que se tomaba un nivel en la estructura y se usaba como guía para alinear las placas, se ha debido considerar espaciamiento de 3 mm en todos los bordes de las placas, para lo que se usó una guía de dicho espesor.

5.1.3.6.2 Comentarios y aprendizajes

Se observó el proceso de avellanado, que se realizó con medidas en cada punto, lo que ralentizó esta etapa del proceso, se plantea que, utilizando una guía para marcar previamente, el tiempo del avellanado puede ser menor y se puede acelerar significativamente esta partida. Adicionalmente, puede ser conveniente instalar guías en la base de la estructura para el posicionamiento de la placa de revestimiento, acelerando su presentación y fijación.

5.1.3.7 Ventanas y celosías

La instalación de ventanas se ve mediada por la cuadratura y correcta dimensión de los vanos en que se van a instalar, en el caso de TP se realizó un control de estos parámetros durante el proceso de fabricación de muros para asegurar el correcto calce de los elementos.

La instalación se divide en dos actividades; instalación del premarco, que corresponde al elemento arquitectónico que se encuentra en el perímetro de la ventana, que es adherido y sellado por el perímetro exterior mediante adhesivos y cintas de sello; luego, instalación de la ventana, en donde se deben ensamblar sus partes y junto con una cinta para sello intermedio se inserta en el interior del premarco, esta se debe fijar al perímetro atornillándola con tornillos especiales que son provistos por el proveedor.

La Instalación de celosías de sombra se consulta en ventanas de cara poniente, esta se instala simplemente atornillada a piezas del revestimiento exterior mediante tornillos para madera de acero inoxidable.

5.1.4 Elementos especiales

5.1.4.1 Marco Arriostrado

5.1.4.1.1 Resumen de la actividad

5.1.4.1.1.1 Fabricación de elementos

El marco arriostrado corresponde a la estructura abierta que se presenta en la cara sur de TP, es un elemento que está diseñado para rigidizar el espacio abierto de la caja de escaleras y resistir tracciones y compresiones dadas por acciones sísmicas a través de sus herrajes metálicos y pilares de gran sección. Este elemento se ha elaborado con madera MGP10 35x164mm y 35x138mm de Arauco®, que han sido laminadas mediante tornillos Simpson Strong-tie® SDWS 22438, SDWS 22338 y SDWS 22712. Lo anterior, refiere a que cada pilar, diagonal y viga del elemento ha sido fabricada por elementos múltiples que han sido vinculados entre sí en forma posterior al dimensionado y rebaje de conexiones de estos componentes (Fotografías 11 y 12).

5.1.4.1.1.2 Ensamble de elementos

El ensamble de componentes se realizó mediante una plantilla dibujada en el pavimento, esto permitió presentar todos los elementos de la estructura y conectores metálicos entre estos. Posteriormente, utilizando los herrajes como plantilla se han realizado las perforaciones por ambas caras de los elementos para luego vincularlos mediante pernos.

La estructura de cada piso fue presentada en el módulo y conectada mediante tornillos Simpson Strong-Tie®

SDWS 221000 vinculando pilares de marco arriostrado y vigas con muros y losas respectivamente.

5.1.4.1.2 Comentarios y aprendizajes

La precisión de perforaciones puede mejorar sustancialmente de hacerse mediante taladro de pedestal en un mesón de trabajo en lugar de perforar presentado la pletina, pues se restringen rotaciones respecto al plano horizontal y así, esta será perpendicular a la pieza, aunque, dada la variabilidad dimensional de los herrajes fabricados, podría no funcionar adecuadamente, al presentarse placas desalineadas, perforaciones a distanciamientos inadecuados, entre otros.

En relación con lo anterior, se hace explicita la importancia de la precisión en la fabricación de herrajes y conexiones metálicas, por lo que se debe contar con un estricto control de calidad al momento de la recepción y uso de estos elementos, al corresponder a una partida crítica respecto de los avances en el proyecto.

5.1.4.2 Elementos de caja de escalera

5.1.4.2.1 Resumen de la actividad

La escalera es un componente de importancia en el proyecto. Principalmente, es una estructura que debe poseer una resistencia al fuego de F 120 de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 4.3.3 de la O.G.U.C donde se indica que para zonas verticales de seguridad y cajas de escaleras es requerida la resistencia mencionada (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018).

Para su fabricación ha sido necesario realizar calados en los elementos de madera lamiada, de modo que los herrajes correspondientes, quedaran empotrados entre estos elementos y no se generaran espacios de aire que incrementaran la superficie especifica sujeta a la acción del fuego. Estos rebajes se realizaron mediante el uso de una fresadora, serializando la actividad, al rebajar las piezas por tipo.

Para su ensamble, se confeccionó una plantilla que restringía la posición de vigas, peldaños y conexiones. Esto facilitó el proceso y permitió que fuera realizado por operadores de menor calificación sin mayores dificultades. Nuevamente, la principal fuente de retrasos en la actividad, se asociaron a que los conectores y herrajes metálicos no alcanzaron el nivel de precisión requerido, incrementando sustancialmente los tiempos de fabricación de estos elementos (fotografía 15).

El anclaje de las estructuras de soporte de la escalera se realizó en el módulo mediante herrajes metálicos de la maestranza vinculados a la estructura del muro sobre los que descansan las vigas transversales. Estas se instalaban en planta y se instalaba el tramo de escalera entre estas dos vigas mientras que el tramo que quedaba entre módulo se instaló en terreno durante el proceso de montaje.

5.1.4.2.2 Comentarios y aprendizajes.

Se recomienda que los anclajes de tramos de escalera a vigas de apoyo se desarrollen de modo que el anclaje a vigas transversales sea en un extremo fijo (ambas pletinas se cruzan y restringen posición), y en el otro extremo sea móvil, de modo que se puedan absorber diferencias que se puedan dar en vigas transversales preinstaladas.

En segundo lugar, es recomendable que el tramo de escalera se instale siempre desde arriba, de modo que en todos los casos este descanse sobre las vigas de soporte y así se eviten maniobras complejas en procesos de montaje tanto en planta como en terreno.

5.1.5 Proceso de despacho

5.1.5.1 Resumen de la actividad

Este proceso se ha coordinado en TF de modo que el retiro de módulos se realizase durante las jornadas del viernes 13 y sábado 14 de octubre, llevando los módulos a un patio de acopio, de donde posteriormente serían despachados a terreno en la medida que se desarrollara el proceso de montaje de la torre, para el proceso se realizaron cotizaciones con dos empresas logísticas, adjudicándose el contrato con una de las opciones. Es importante considerar que los módulos de TP estaban diseñados para ser transportados por carretera con sobreancho, por lo que ha sido necesario que se gestione un permiso especial para la llegada de módulos a peñuelas, En el caso particular del módulo independiente y el módulo del primer piso, fue necesario solicitar camión rampa con cama baja, pues la altura de los módulos dispuesto en un camión de altura normal sobrepasaba los 4,2 m permitidos para circular por las carreteras del país (Junta de gobierno de la republica de Chile, 1985) (fotografía 22).

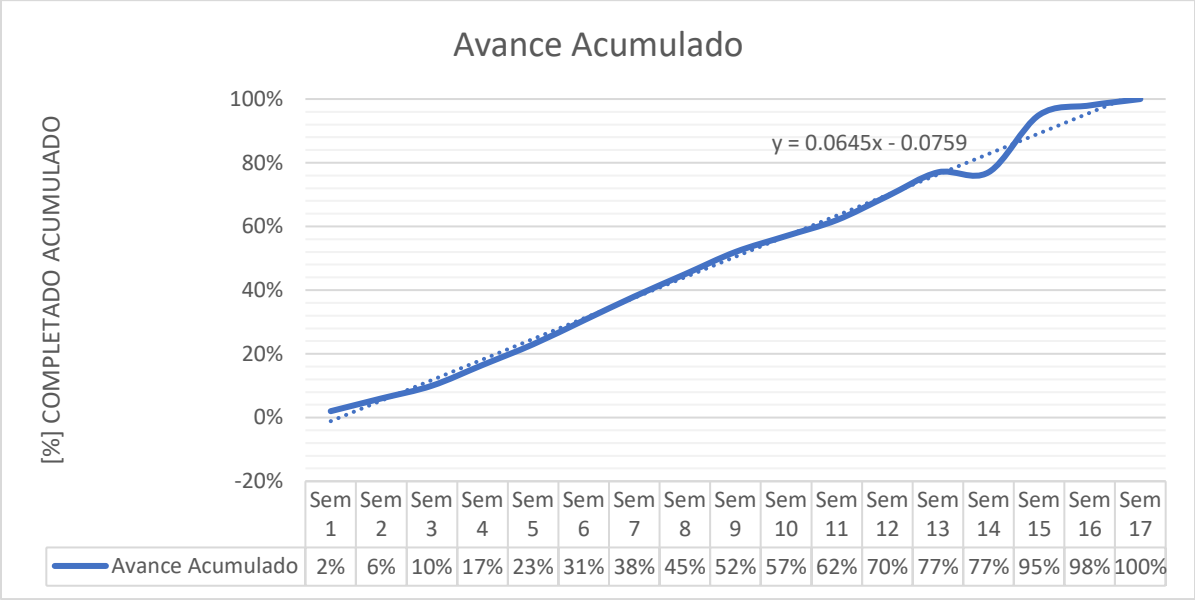
5.1.5.2 Comentarios y aprendizajes

Al revisar el proceso de despacho, se puede notar que este ocurre en forma eficiente desde el punto de vista del montaje, pues los camiones llegaban a terreno en la medida que los módulos eran requeridos. El inconveniente que se puede asociar a l transporte de módulos es la solicitud de permisos especiales de transporte y principalmente la ineficiencia en costo por transporte de grandes volúmenes vacíos. Es posible que sea más conveniente enviar elementos panelizados en lugar de modulares, pero la conveniencia de lo anterior podría estar sujeto a la distancia de transporte, siendo este un punto que se podría evaluar en una investigación futura.

5.2 Evaluación del proceso de fabricación.

5.2.1 Avance acumulado periódico

Tabla 3: Porcentaje Completado Acumulado en planta



	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16	Sem 17
Avance Acumulado	2%	6%	10%	17%	23%	31%	38%	45%	52%	57%	62%	70%	77%	77%	95%	98%	100%

La velocidad media de fabricación cada se encuentra dada por pendiente de la función expresada en el gráfico, que en este caso se considera como ajuste lineal, Aunque presenta una leve pérdida de velocidad hacia el final del proyecto, que se puede explicar por el incremento de trabajos en partidas de menor velocidad asociadas a terminaciones y detalles. La velocidad media de avance quincenal es la siguiente.

Velocidad media= $\frac{7{,}59\%}{Sem}$.

Si se adapta a m^2 de superficie procesada con un total de 119,1 m2 los datos se expresan de la siguiente manera:

Velocidad media= $\frac{7{,}01\ m^2}{Sem}$.

5.2.2 Personal y avance

Gráfico 5-3: Evolución del personal disponible en base semanal

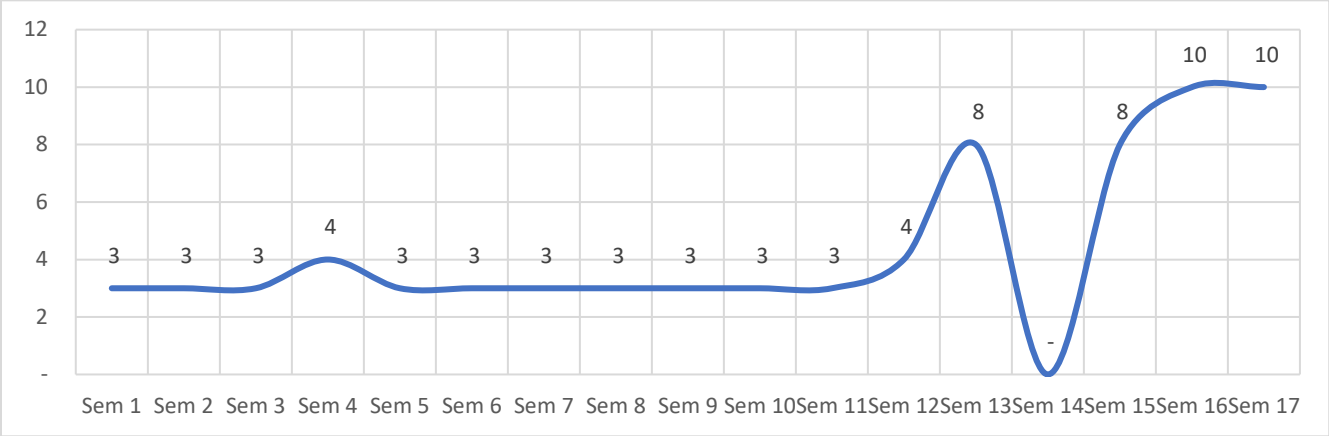
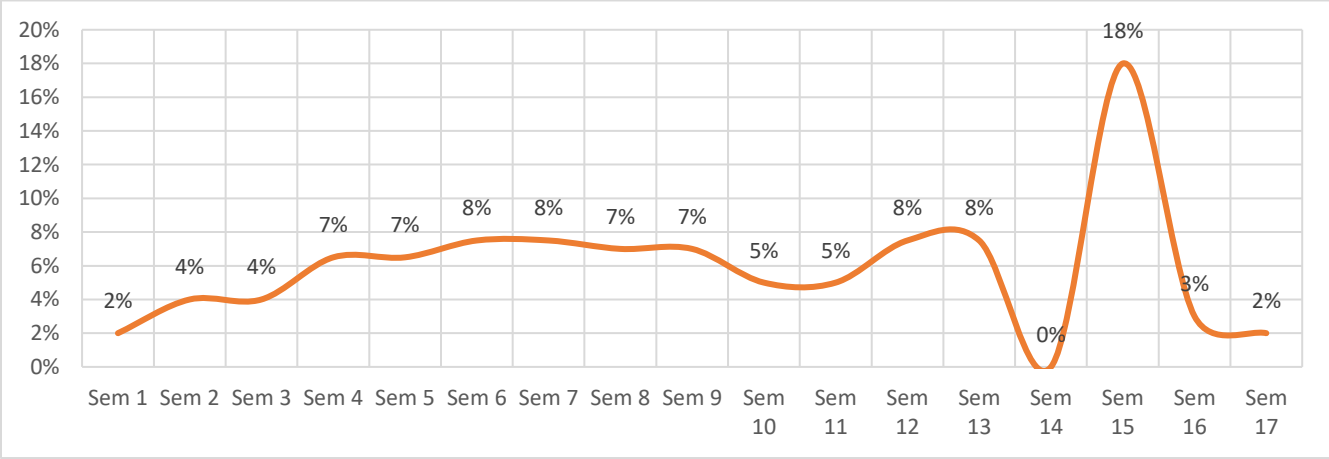


Gráfico 5-4: Avance semanal del proyecto.



En el gráfico 4-3 se muestra la disposición del recurso humano productivo para el proyecto, al revisar el detalle, se puede ver que durante las primeras 11 semanas del proyecto, se contaba con 3 personas trabajando en la ejecución. Esto, sin considerar el personal que ingresaba en forma exclusiva para las maniobras de ensamble de módulos expresadas en el numeral 4.1.2 del presente informe. Se observa también en el gráfico 4-4 que los incrementos en el personal de la obra, especialmente durante las semanas 11, 12 y 15 generan un incremento sustancial en la productividad del proceso, dado a que se asocia con la cantidad de actividades paralelas que se han desarrollado durante las etapas finales del proyecto. Luego, se observa una caída del rendimiento en las semanas 16 y 17 que se asocia al ingreso en actividades de cierre uy terminaciones, que tienden a una menor velocidad de avace.

Para el proceso de fabricación se requirió aproximadamente de $3330\frac{H}{H}$ lo que se puede asociar a una cantidad de $28{,}2\frac{H/H}{m^2}$.

Se puede observar también, un incremento de la velocidad de avance semanal con el aumento de personal, hacia el final del proyecto. Por lo que se cree que, si el personal adicional hubiese ingresado en forma previa, se hubiese dado una mayor velocidad de avance a lo largo del proyecto y por tanto se hubiesen reducido los plazos. En relación con lo anterior, es relevante considerar el rol del estudio del proyecto y la planificación para optimizar los requerimientos de recursos en la fábrica, pues, a partir del gráfico, se puede ver que el incremento de personal es elevado en las últimas 6 semanas, lo que coincide con la respuesta por parte del contratista al retraso que se dio durante el proceso de fabricación.

6 Actividades de terreno

6.1 Excavaciones

Se realizan las excavaciones en terreno tomando en cuenta las consideraciones indicadas en EETT. Se permite excavar a máquina hasta 30 cm por sobre la cota del sello de excavación, debiendo ser los restantes excavados a mano. Lo anterior, es con el fin de evitar la sobre excavación. Una vez llegados a la cota de fundación se realiza la recepción del sello de excavación por parte del ingeniero geotécnico del proyecto, lo que corresponde a la inspección y verificación del suelo de fundación respecto de la información obtenida en las prospecciones previas.

Fotografía 4: Excavación en proceso, cubierta por mal clima.

Fotografía 5: Sello de fundación de edificio principal.

6.2 Rellenos

Para esta actividad se realizan estudios previos que permiten determinar las características geotécnicas de los materiales que se utilizarán para rellenar. Se realizan 2 ensayos principalmente; Se determina granulometría de acuerdo con la normativa de la American Society for Testing and Materials (ASTM), para conocer los porcentajes de materiales en sus distintos tamaños y se realiza ensayo Proctor modificado, para determinar la Densidad Máxima Compactada Seca (DMCS) y la cantidad de agua requerida en el material para alcanzar esta densidad. Posteriormente, se realiza el relleno de por capas de espesores bajos hasta alcanzar la cota de fundación y se verifica que se alcance al menos el 95% de la DMCS obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

6.3 Fundaciones e instalación de Strong-Rod

En esta etapa se deben instalar las barras de anclaje del sistema ATS en forma previa al hormigonado de la fundación. Es muy importante que en esta etapa las barras se encuentren completamente verticales y en las posiciones adecuadas de acuerdo con el plano de fundaciones, con el fin de asegurar que una vez montado el primer piso de la torre en terreno se puedan instalar adecuadamente los elementos del sistema. Posteriormente, se hormigonarán los elementos y sus respectivas vigas y muros de fundación para recibir los muros de módulos. Es

importante destacar que el perímetro interior de los muros se debe aislar con poliestireno expandido de forma de cortar todos los posibles puentes térmicos.

Se ha realizado verificación de barras Strong Rod de acuerdo con lo especificado por Simpson Strong-Tie, revisando diámetros de barras, resistencias de aceros y placas de soporte correspondientes. Posteriormente, se han indicado las posiciones de estas barras y se han alineado mediante el uso de soleras de guía en forma previa al hormigonado de los dados de fundación para asegurar un adecuado acople de estas barras embebidas en el hormigón, con aquellas correspondientes al sistema del primer piso (Simpson Strong-Tie, 2018)S (fotografías 25 y 26).

6.3.1 Comentarios y aprendizajes

Para el montaje de elementos tridimensionales, como lo son los módulos, es de mucha importancia la correcta alineación de estos elementos, y de barras de anclaje en terreno, por lo que se recomienda que, al ejecutar una plantilla de armado, esta se restrinja en ambos sentidos en planta para asegurar un correcto posicionamiento de los terminales de estos elementos.

La plantilla generada para TP, fue realizada en base a cada muro, pero estos elementos no fueron restringidos entre sí, por lo que la alineación de anclajes y ATS era adecuada respecto del muro en el que se estaba instalando, pero no respecto de la cuadratura de la planta completa.

6.4 Vigas y muros de fundación

6.4.1 Resumen de la actividad

Posteriormente, se ha realizado el relleno perimetral de dados de fundación para lo cual se realizó control de la compactación por parte de un departamento geotécnico, cuyos resultados fueron favorables. Una vez realizada compactación se prepararon moldajes para el hormigonado y se procedió a realizar este. Una vez ejecutado, se percibió que en algunos muros el moldaje tuvo deformaciones, por lo que se ha tenido que desbastar el muro para recuperar el plomo definido por proyecto. Específicamente esto ocurrió en muros 1 y 2 correspondientes a caras sur y oriente por el interior de la torre respectivamente (fotografía 24).

6.4.2 Comentarios y aprendizajes

Al realizar un proyecto de fundaciones de pequeña magnitud, no resulta rentable el arriendo de moldajes y encofrados, por lo que se tienden a ejecutar en obra, dada la condición anterior, es de extremada importancia que se elaboren todos los elementos necesarios para asegurar el cumplimiento de las características esenciales de un encofrado, es decir, que sea **dimensional**, **indeformable** y **estanco** (Knaack Puentes, 2005). Para lo anterior, es necesario el uso de madera que asegure las primas anteriores, evitando el uso de madera con nudos, o en su defecto reforzar adicionalmente estas zonas para evitar la falla del encofrado y evitar retrabajos asociados al mal funcionamiento de estos elementos.

7 Proceso de montaje

7.1 Descripción general

El proceso de montaje refiere a la vinculación de los módulos entre sí, conformado la estructura en su totalidad, para este proceso existe un conjunto de variables a considerar para poder desarrollarlas en forma eficiente. Es por esto, que en forma previa al proceso de montaje se realizó una evaluación de las variables que podrían incidir en este para poder coordinar una correcta secuencia de montaje en terreno. A continuación, se describen estas variables:

7.1.1 Logística y despacho

Era necesario coordinar la llegada de camiones de acuerdo con la secuencia constructiva en cada piso y contar con los espacios necesarios para coordinar actividades en forma paralela en el proceso de montaje

7.1.2 Uso de Grúa

Es relevante para optimizar el costo de las actividades de montaje reducir el tiempo detenido de esta maquinaria, pues al trabajar en relación con su tiempo de ciclo, se obtendrá mayor productividad.

7.1.3 Vinculación de módulos mismo piso

Los módulos de TP cuentan con dos particularidades principales, primero, por sus dimensiones no podían ser transportados por lo que la planta se ha tenido que dividir en 2. Segundo, Los módulos no cuentan con una envolvente cerrada en tosas sus caras, en particular, no cuentan con losas inferiores y muros en lagunas de sus caras, por lo que se deben vincular bases de muros a losas y cantos de muros entre sí. Para esto, el sistema cuenta con un sistema de conectores que se instalan en extremos laterales e inferiores de muros y losas que permiten la instalación de este con la cara del muro cerrada.

Es a través del sistema antes mencionado que se conectan ambos módulos de un mismo piso, para lo que se debe disponer de una superficie nivelada en donde acomodar ambos módulos y poder vincular estos.

7.1.4 Terminación exterior de módulos.

Una vez vinculados los módulos, se debe completar el revestimiento en la unión, es necesario realizar esto antes del izaje para reducir al mínimo la necesidad de andamios y/o equipos de elevación de personal.

7.1.5 Montaje de Pisos

Corresponde al izaje de un módulo-piso ya vinculado y su posicionamiento sobre la fundación o sobre pisos superiores. Es necesario revisar y confirmar que todos los elementos calcen adecuadamente y que se encuentren todos los conectores mecánicos instalados correctamente para asegurar el proceso.

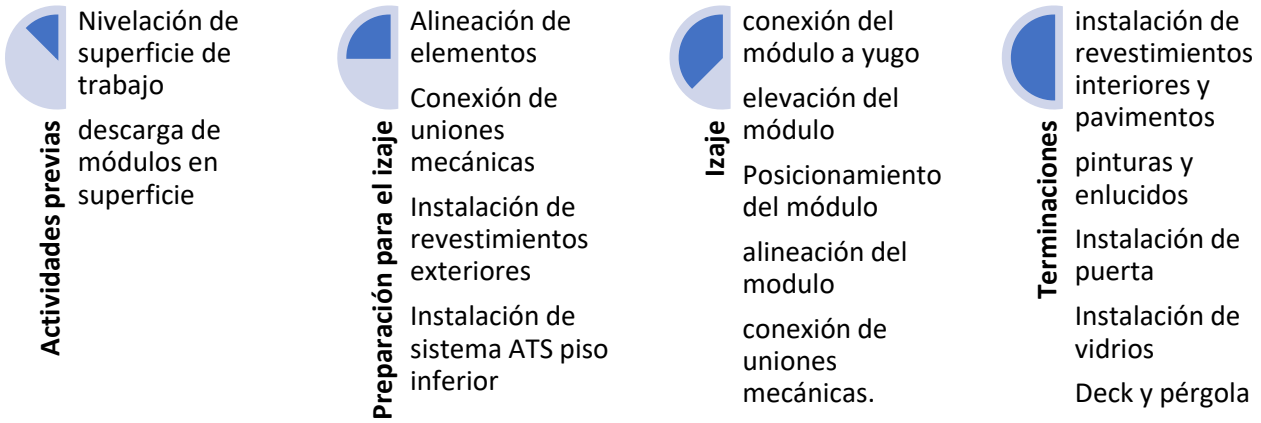
7.1.6 Terminación interior de módulos

Corresponde a la terminación de las uniones en conectores mecánicos, shaft, caja de escaleras, balcones, vidrios de ventanas, puertas, balcones, entre otros. Se debe poner especial atención en la calidad de las terminaciones en esta etapa.

7.2 Definición de la secuencia

Con las variables definidas se ha desarrollado una secuencia de montaje siguiendo un conducto lógico para poder optimizar el montaje en función de los movimientos de la grúa, dado a que este equipo representa el 43% del costo de la actividad como precio unitario (Wiegand, Serra, Rivera, & Delucchi, 2019)

La secuencia se encuentra detallada en el anexo 1 pero se resume en términos generales en el siguiente esquema.



7.3 Evaluación del proceso de montaje

Como se ha indicado anteriormente en la metodología, se ha realizado la medición de los tiempos de montaje de TP, para ello se han conformado equipos que se han dedicado a medir las actividades que se desarrollaron en las plataformas niveladas, en las actividades de izaje de módulos y en las actividades de terminación al interior de la estructura. A partir de estas mediciones se ha desarrollado una tabla con las actividades respectivas al proceso discriminando en cada entrada el tipo de trabajo que representa (productivo, contributorio o no contributorio) la cantidad de personal participante, la duración de la actividad y la necesidad de uso de grúa.

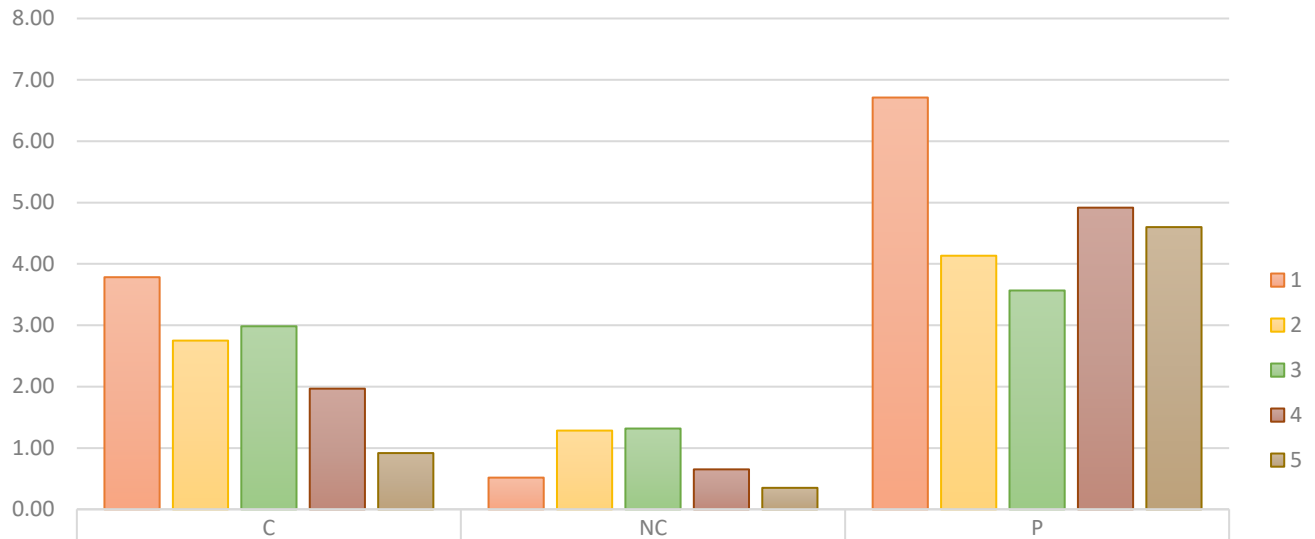
En base a los datos obtenidos se han alcanzado los siguientes resultados:

Tabla 4: distribución de Trabajos en cada piso de torre peñuelas.

Piso	Trabajo Productivo	Trabajo Contributorio	Trabajo no Contributorio	Total General
1	6,71	3,78	0,52	**11,01**
2	4,13	2,75	1,28	**8,17**
3	3,57	2,98	1,32	**7,87**
4	4,92	1,97	0,65	**7,53**
5	4,60	0,92	0,35	**5,87**
Total	**23,93**	**12,40**	**4,12**	**40,45**

Se puede observar a través de la tabla anterior que la duración total de la actividad de montaje se vió reducida en cada piso de la torre. Al revisar los trabajos en cada categoría se observa que se van reduciendo en las tres categorías, pero que especialmente se reducen los trabajos contributorios. A continuación, se presenta una serie de gráficas para visualización de lo explicado anteriormente.

Gráfico 7-1:Distribución de Trabajos según categoría para montaje de 5 pisos de torre peñiuelas.

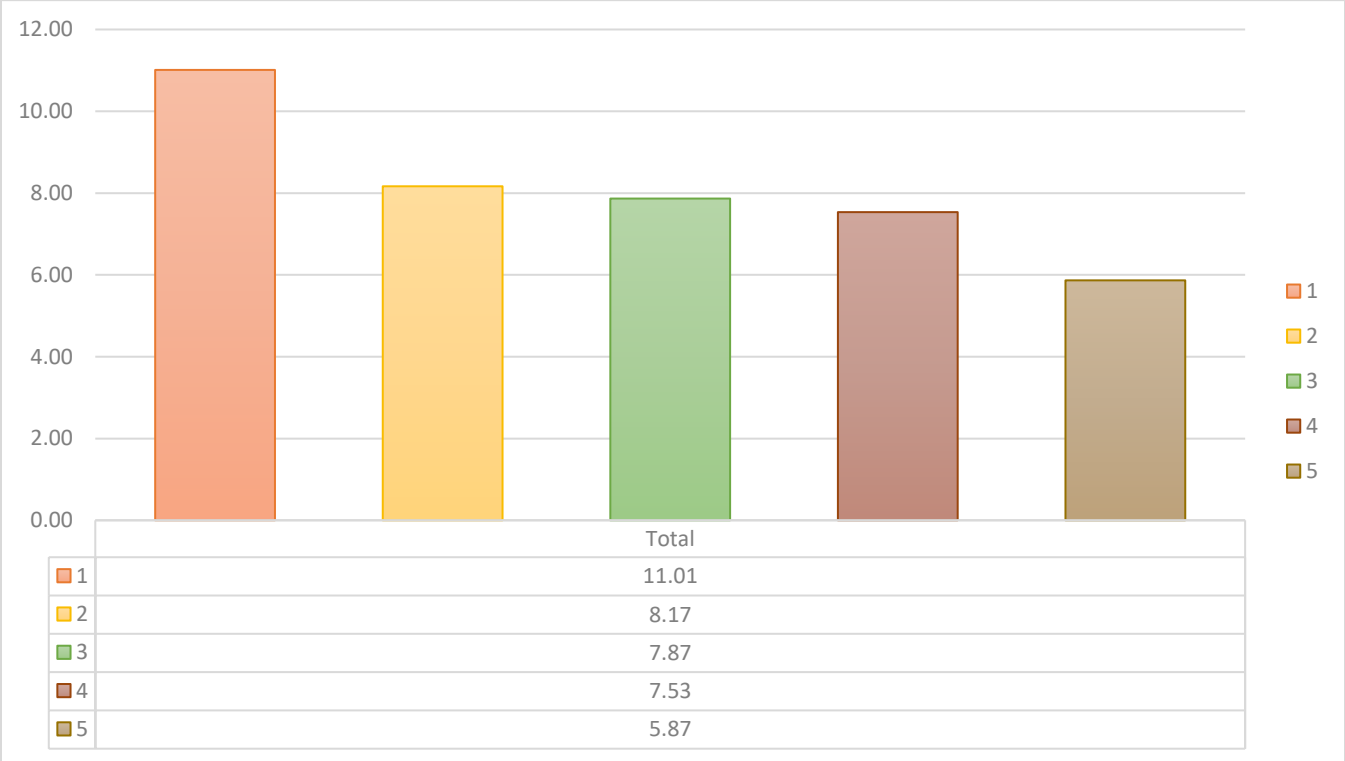


	C	NC	P
1	3.78	0.52	6.71
2	2.75	1.28	4.13
3	2.98	1.32	3.57
4	1.97	0.65	4.92
5	0.92	0.35	4.60

Se puede apreciar la reducción en el tiempo en las tres categorías, lo que implica un aprendizaje y optimización en los tiempos de las actividades por parte del recurso humano en la actividad. Es interesante también el observar la reducción en los trabajos categorizados como contributorios, pues implica que en la medida que se optimizan y aprenden las actividades, es menos necesario realizar revisiones a la información de proyecto, se cuenta con condiciones mejor preparadas y se toman precauciones en forma previa a la actividad.

Como resultado, la duración total de la actividad de montaje se ve reducida en cada caso, lo que se muestra en la gráfica siguiente:

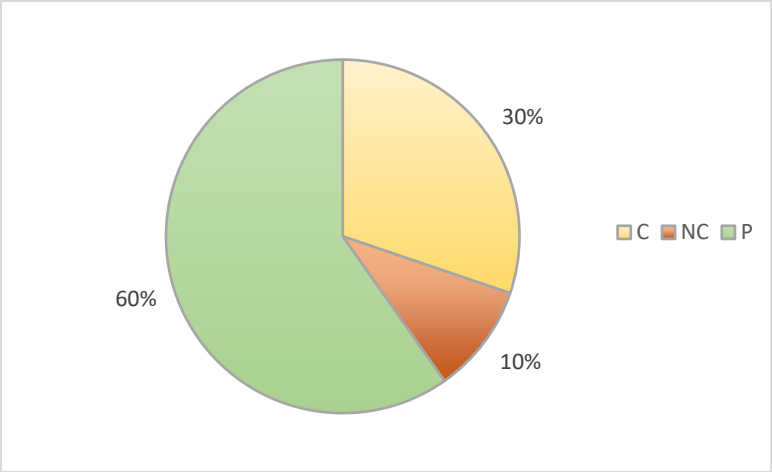
Gráfico 7-2Duración de la actividad de montaje en cada piso (tiempos globales).



	Total
1	11.01
2	8.17
3	7.87
4	7.53
5	5.87

En comparación se puede apreciar un incremento en la productividad y una reducción de los tiempos asociados al montaje de módulos al mejorar la coordinación de actividades. no obstante, es importante destacar el rol de la planificación a nivel de detalle en el resultado de actividades de este tipo, pues, a lo largo del proceso de montaje se observó una alta incidencia de errores y descoordinaciones que resultaban en una alta tasa de tiempos no contributorios a la construcción, A continuación, se presenta un gráfico que representa lo expuesto:

Gráfico 7-3Distribución del Trabajo en proceso de montaje.



Se observa que el tiempo contributorio asciende hasta un 30% del tiempo total invertido en el proceso de montaje de TP, mientras que el tiempo productivo alcanza apenas un 60%, por último, el tiempo no contribitorio, alcanza un 10%. Es importante reducir los tiempos que son no son productivos para aumentar la eficiencia del proceso de construcción, es por esto por lo que la fase de estudio del proyecto debe realizarse en forma minuciosa y considerando la secuencia de actividades completa, poniendo como principal hito la entrega y considerar hacia atrás cada una de las etapas del proceso.

8 Conclusiones

8.1 Proceso de fabricación

8.1.1 Planificación

La planificación de las actividades es esencial para lograr en forma satisfactoria los objetivos propuestos por un proyecto, en la fabricación de TP se observan varios puntos en los que se percibió una planificación insuficiente que produjo retrasos en la obra y sobrecostos asociados que se da por el desconocimiento de la ingeniería de detalles del proyecto por parte del contratista, lo que generó un incremento significativo en la duración del proceso de fabricación respecto de lo ofertado. También, se pudo observar esta falta de planificación respecto del requerimiento de personal del proyecto, al presentarse una cantidad de 3 trabajadores durante 11 semanas, y a partir de la semana 12 hasta la 16 se incrementa en 7 personas.

Se observa que el incremento de personal no se desarrolló en forma paulatina, siendo este incremento respuesta al potencial incumplimiento de los plazos de obra.

También es relevante considerar en la planificación la participación de subcontratos, pues se ha visto que ciertas partidas se retrasaban por el desconocimiento de los subcontratos acerca de los programas de obra, y por no encontrarse en las reuniones de planificación.

Para hacer énfasis, es importante coordinar plazos de ingreso adecuadamente con especialidades, puesto a que descoordinaciones en estos ingresos atrasan también partidas críticas posteriores a la actuación de estas en el proceso de TP, el paso de instaladores eléctricos era necesario para completar la secuencia de fabricación de muros y losas, puesto a que, sin este avance, no se podía forrar por segunda cara. Puede ser conveniente el uso de herramientas de planificación, como el diagrama PERT o sistemas BIM-gestión, pues, permite conocer y desarrollar las secuencias constructivas adecuadamente identificando con mayor precisión estos requerimientos. También, al tratarse de actividades reiteradas, las actividades se pueden organizar de forma rítmica, definiendo un ritmo de entrega de unidades, e identificando los recursos requeridos para cada actividad, haciendo así más eficiente el proceso con una entrada a régimen de trabajo constante.

8.1.2 Mano de obra

El proceso de fabricación de TP se vio condicionado por la existencia de varias actividades nuevas para los operadores de la planta, lo anterior, permitió a nivel de actividades que se presentara una curva de aprendizaje asociada al avance del proyecto. Si se observa el periodo comprendido entre la primera y séptima semana de fabricación, se observan incrementos en el avance semanal que van desde un 2% a un 8% manteniendo constante la cantidad de personal

Complementariamente, en actividades críticas como la fabricación de paneles o el montaje de módulos, se ha visto un incremento en la velocidad de trabajo y una menor incidencia de errores en la ejecución de estas partidas a medida que se incrementaba la superficie construida.

8.1.3 Materiales

La llegada de materiales fue relevante para el cumplimiento de plazos del proyecto, en casos puntuales el avance en ciertas partidas se vio afectado por el retraso en la llegada de materiales, tanto por parte del mandante (materiales en convenio) como por parte de la constructora (materiales estándar).

Las principales partidas que se han visto afectadas fueron la instalación de revestimientos interiores y la instalación de revestimientos exteriores.

8.2 Proceso de montaje

8.2.1 Planificación

La planificación fue beneficiosa para mejorar las características del proceso de montaje, pero es relevante considerar que esta no dio espacio a imprevistos que luego se presentaron en terreno y que hicieron que la duración del proceso fuera mayor a la esperada.

8.2.2 Mano de obra

El requerimiento de mano de obra para una actividad de montaje de módulos industrializados dependerá del nivel de industrialización que tenga el proyecto y de la planificación de las actividades: Se pueden definir secuencias constructivas para fabricación que minimicen el personal y reduzcan de esta forma el costo de la mano de obra, al contar con medios de apoyo adecuados, como mesas de trabajo, sistemas de volteo mecánicos para los paneles o sistemas de izaje que permitan un adecuado ensamble de módulos. Desde el punto de visata de planificación es esencial sincronizar las actividades entre operadores y definir en forma muy clara los roles de cada uno, secuenciando de la forma mas repetitiva posible estas actividades y así conseguir la mayor experiencia posible, esta planificación y especialización se debe complementar con una secuencia de actividad muy definida en un layout de planta óptimo, que no genere interferencias entre las actividades.

8.2.3 Materiales

También fue relevante la influencia de la llegada de materiales a fábrica, esta ha impactado negativamente el inicio de partidas críticas y por ende ha condicionado la fecha de entrega del proyecto en conjunto con los puntos anteriores. Es importante mejorar la coordinación con proveedores planificar adecuadamente la llegada de materiales para hacerlos coincidir con el inicio de las actividades críticas, asimismo, es conveniente evitar llegada con mucha anticipación para evitar deterioro de materiales y sobrecostos asociados a bodegaje.

El estándar de materiales utilizados fue el esperado, cumpliendo estos con lo especificado y otorgando las soluciones técnicas adecuadas a lo solicitado por el proyecto.

9 Bibliografía

Instituto Nacional de Normalización. (2014). *NCh: 1198 Of2014: Madera- Construcciones en madera- Cálculo.* Santiago, Chile: INN.

Junta de gobierno de la republica de Chile. (01 de Enero de 1985). Ley 18.290, Art. 56, Art. 57. *Ley de Tránsito*. Valparaiso, Región de valparaiso, Chile.

Knaack Puentes, R. (2005). Gestión de calidad: "Construcción de hormigón a la vista". Valdivia. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de https://bit.ly/2QDekg2

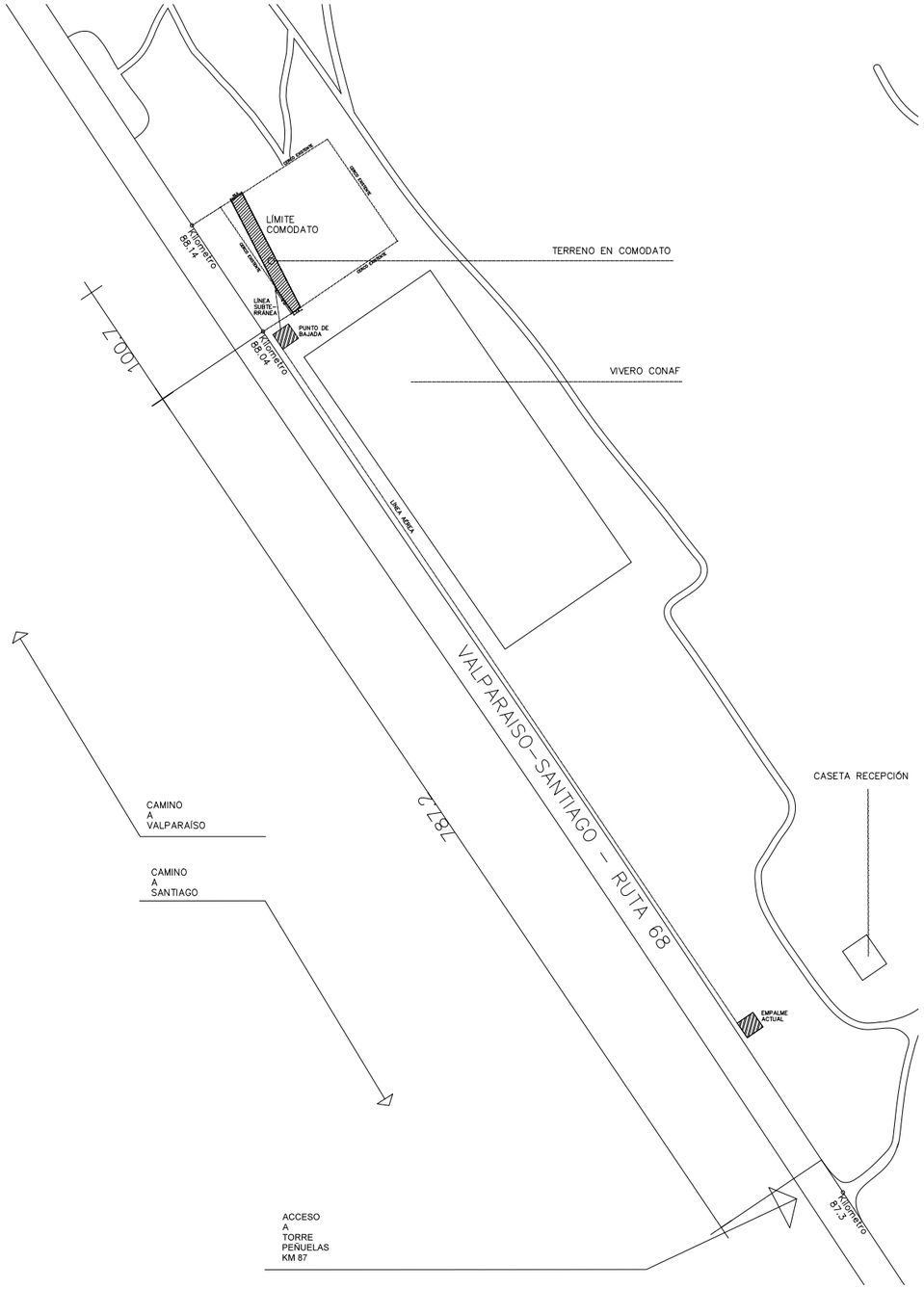
Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.* Santiago.

Santana, J. M. (1989). El tiempo improductivo en obras de construcción. (P. U. Chile, Ed.) *Revista ingeniería de la construcción*(7). Recuperado el 10 de 01 de 2019

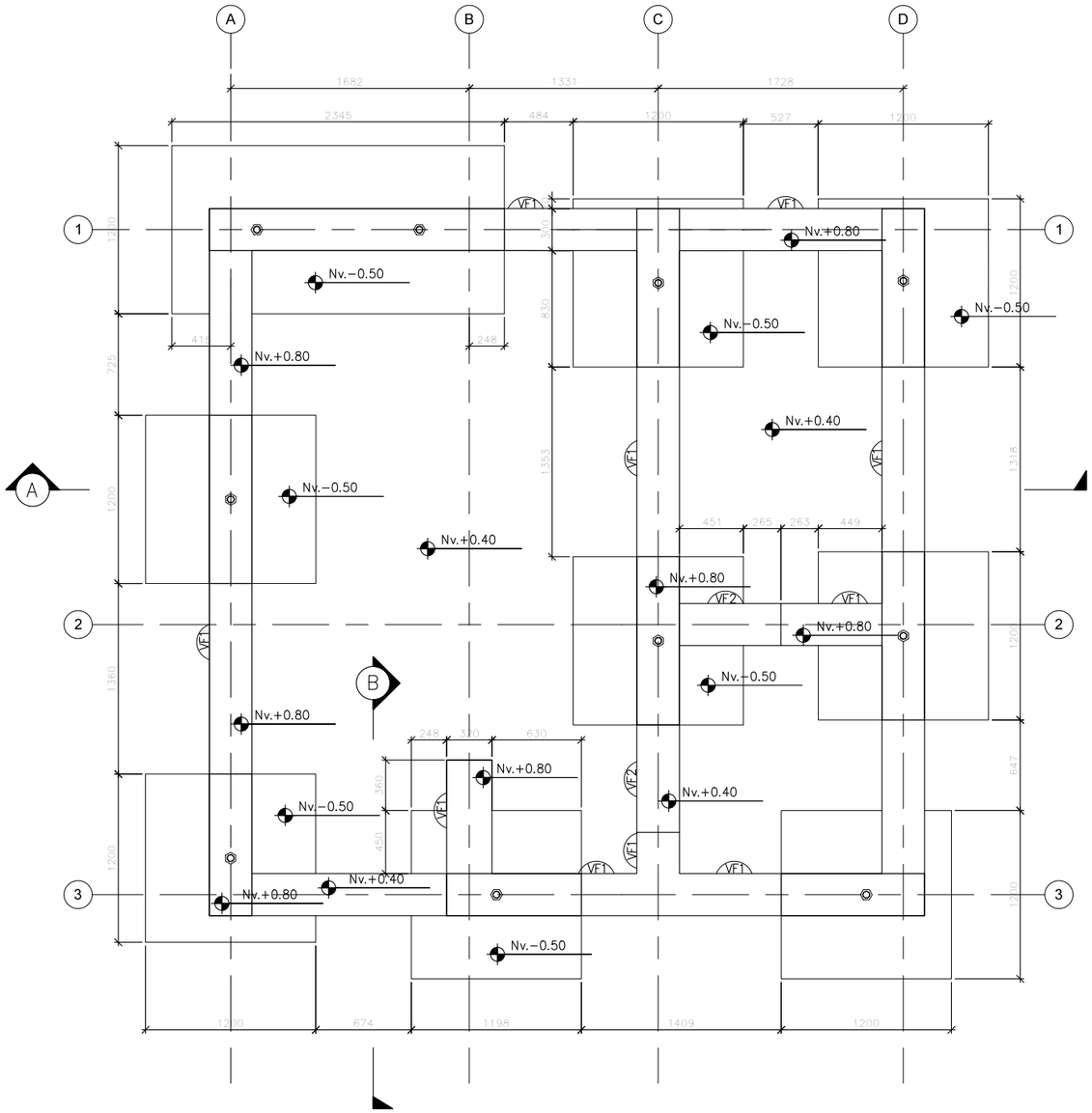
Simpson Strong-Tie. (2018). *Strong-Rod systems.*

Wiegand, E., Serra, E., Rivera, L., & Delucchi, C. (2019). *Evaluación de costos de la construcción de torre Peñuelas.*

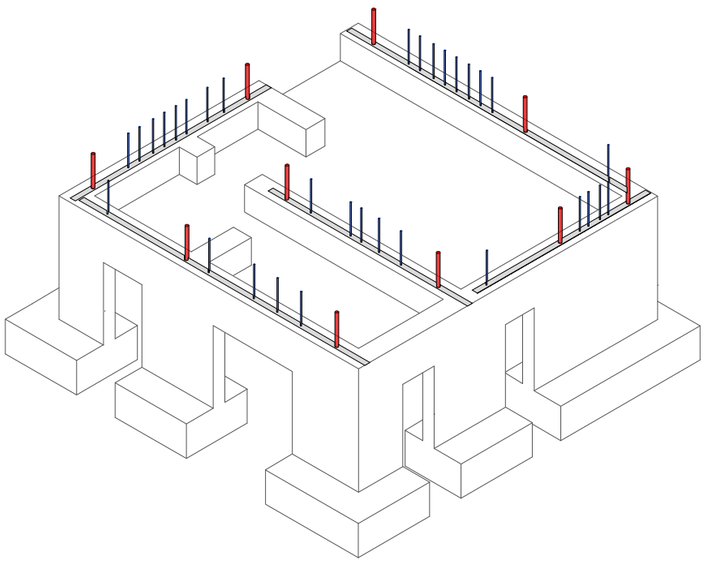
Anexo 1: Proceso de montaje



Plano Emplazamiento Torre



PLANTA DE FUNDACIONES
ESCALA 1:25

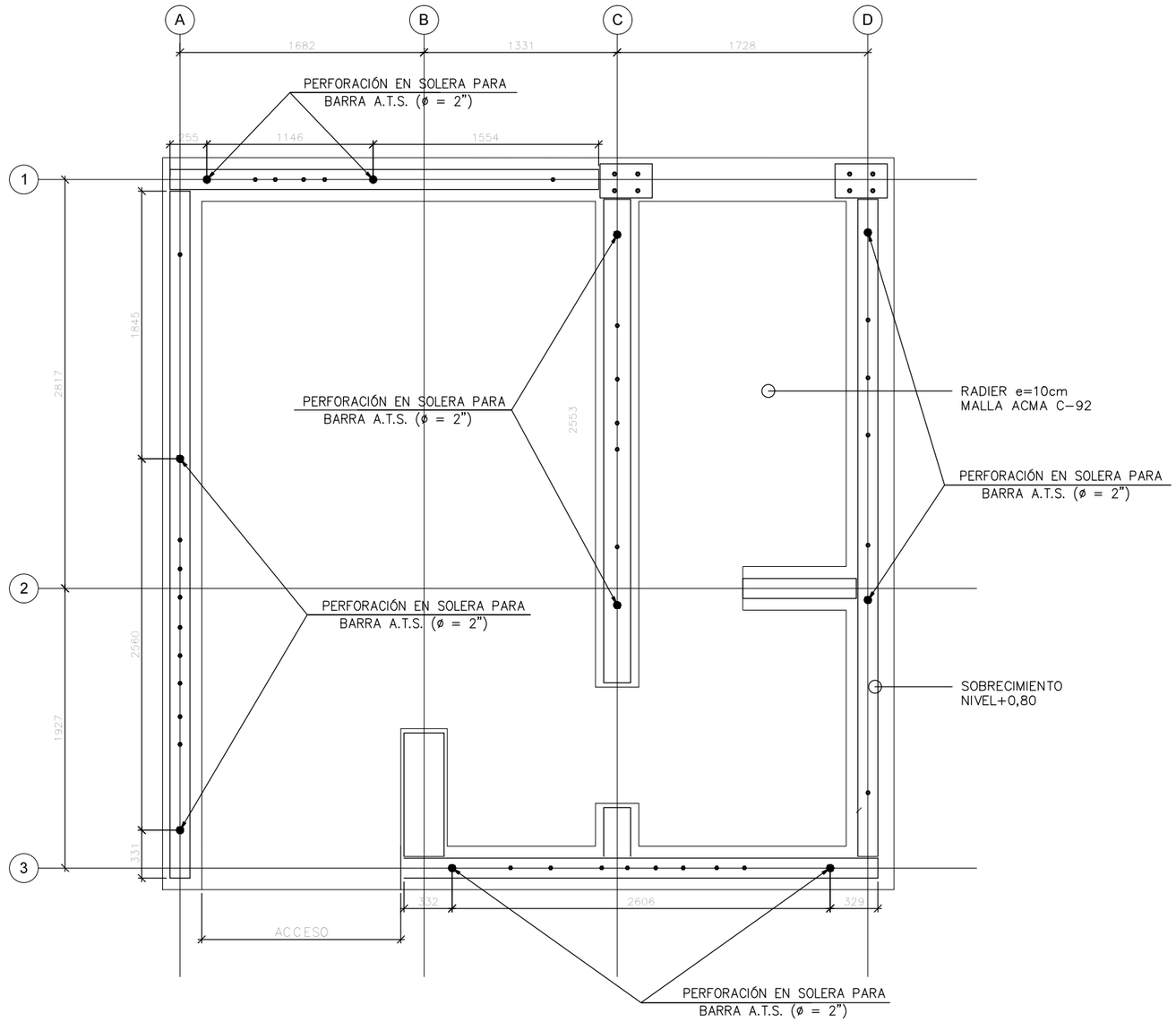


Planta Fundaciones

Plano: Plano de fundaciones (2018.01.24).dwg

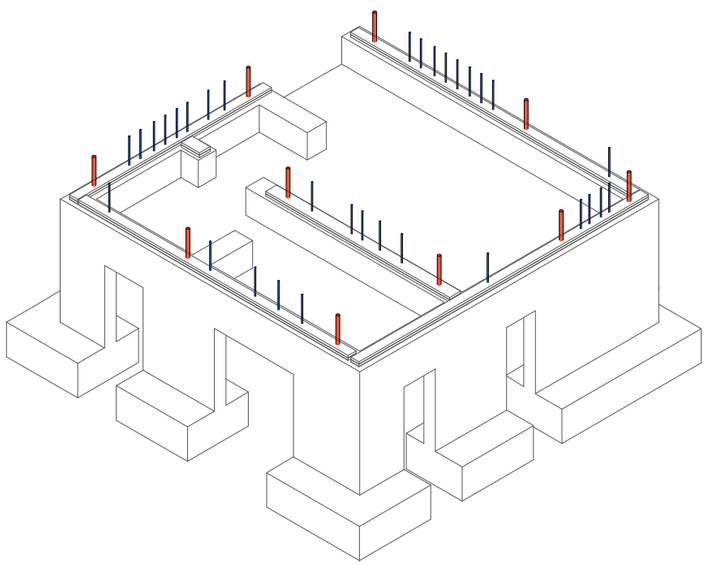
1.

Armado de fundaciones con pernos y barras en espera de los módulos, se instalará una pletina de acero antes del fraguado del hormigón, que funcionará como guía y matriz de posición de las barras y pernos para las soleras de los muros



PLANTA DE SOLERAS DE ESPERA Y UBICACIÓN PERNOS DE ANCLAJE

ESCALA 1:25

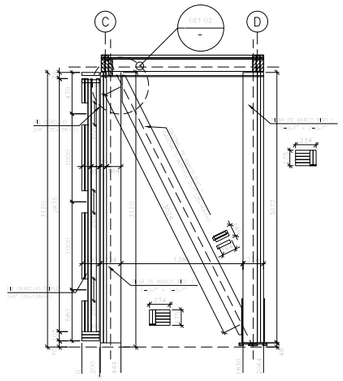


Planta Fundaciones

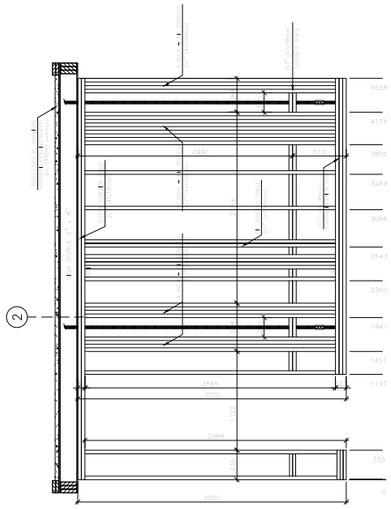
Plano: Plano de fundaciones (2018.01.24).dwg

2.

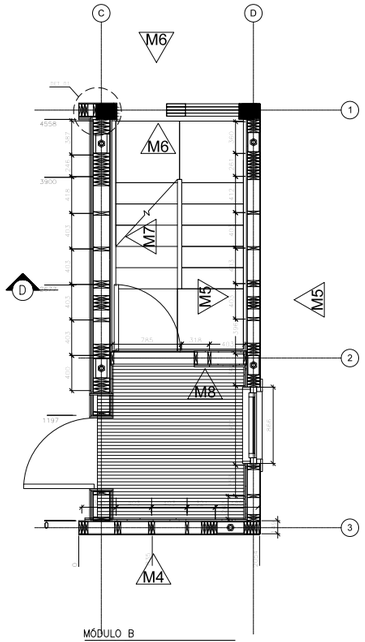
Instalación de soleras dobles de espera sobre muros de fundaciones usando pletina de acero como matríz de ubicación de perforaciones



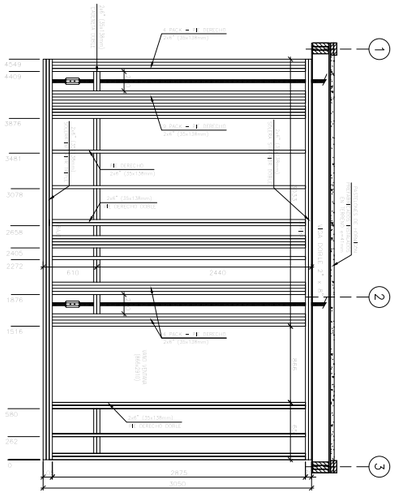
MURO 6 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25



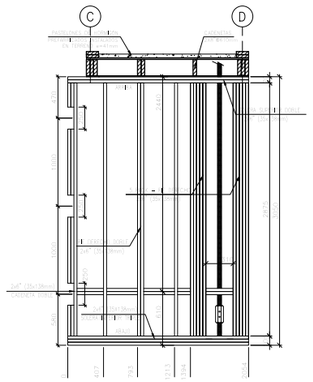
MURO 7 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25



MÓDULO B
ESCALA 1 : 25



MURO 5 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25



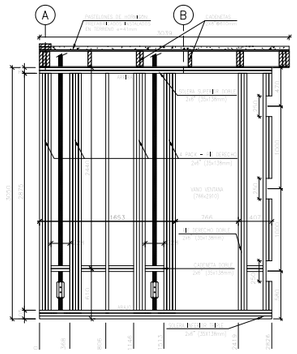
MURO 4 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25

Plano Modulo B Frame Piso 1

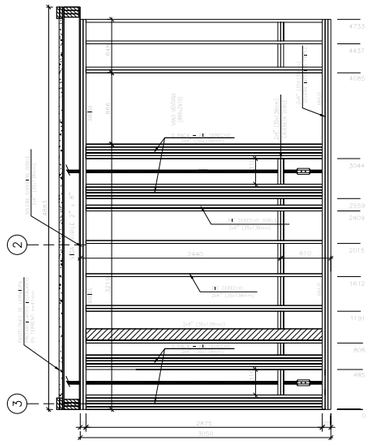
Plano: 02_Fab_P1_MB_Frame.dwg

3.

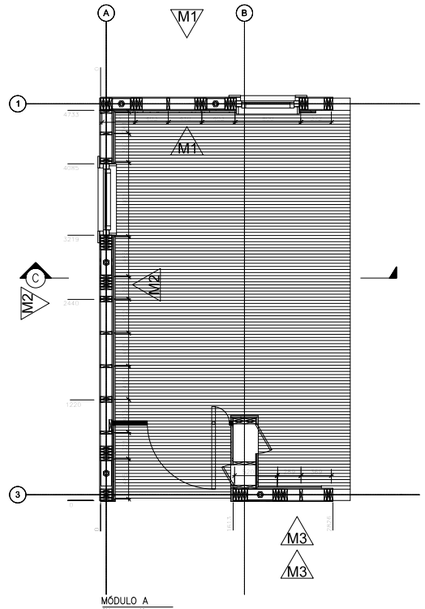
Montaje Módulo B abatido del 1er Piso



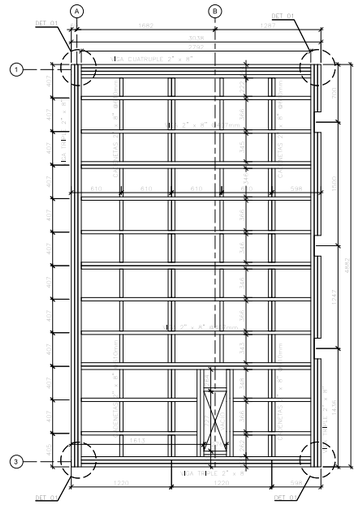
MURO 1 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25



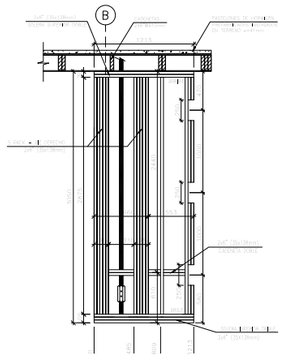
MURO 2 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25



MÓDULO A
ESCALA 1 : 25



LOSA CIELO MÓDULO A (TODOS LOS PISOS)
ESQUEMA DE ENTRAMADO DE MADERA EN LOSA DE CIELO
ESCALA 1 : 25



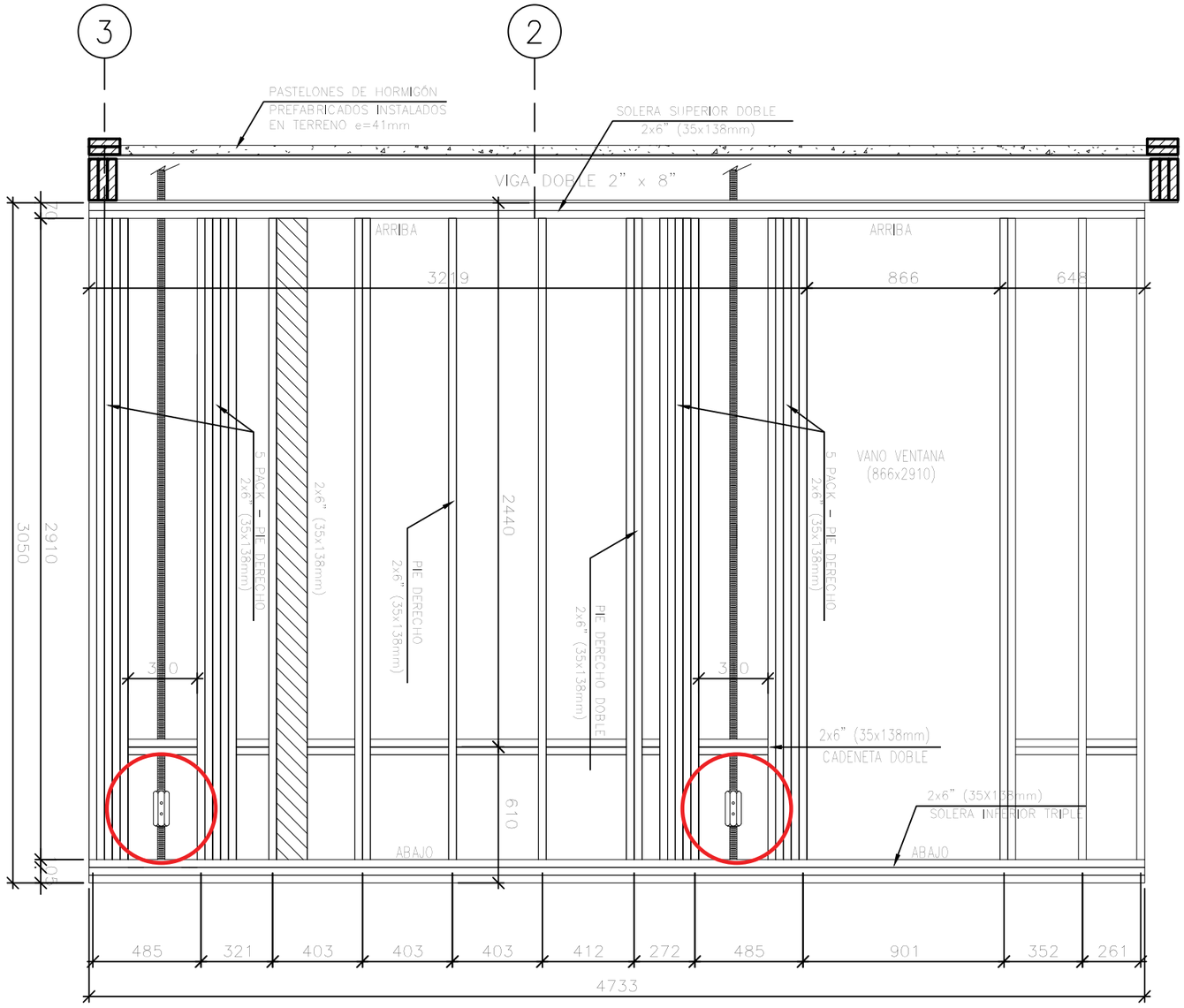
MURO 3 (PISO 1)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN MARCO DE MADERA DEL MURO
ESCALA 1 : 25

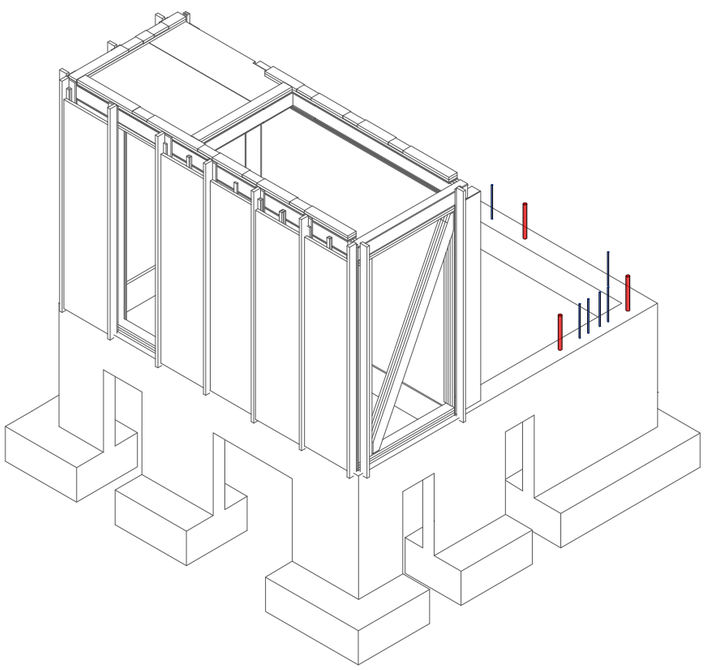
Plano Modulo A Frame Piso 1

Plano: 02_Fab_P1_MA_Frame.dwg

4.

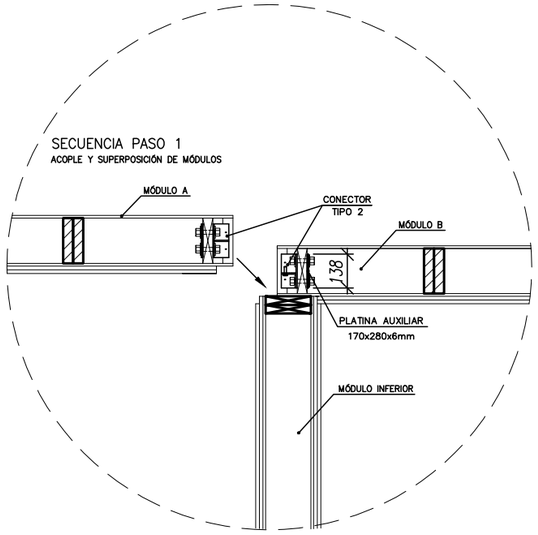
Montaje Módulo A abatido del 1er Piso





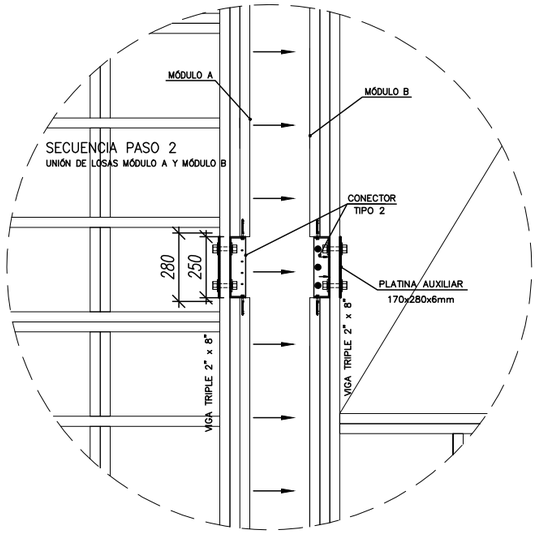
5.

Se perforan las soleras del muro con la pletina guía matriz de perforaciones, en la planta. En terreno se instala el módulo y se cierran los 610mm en la zona inferior del muro



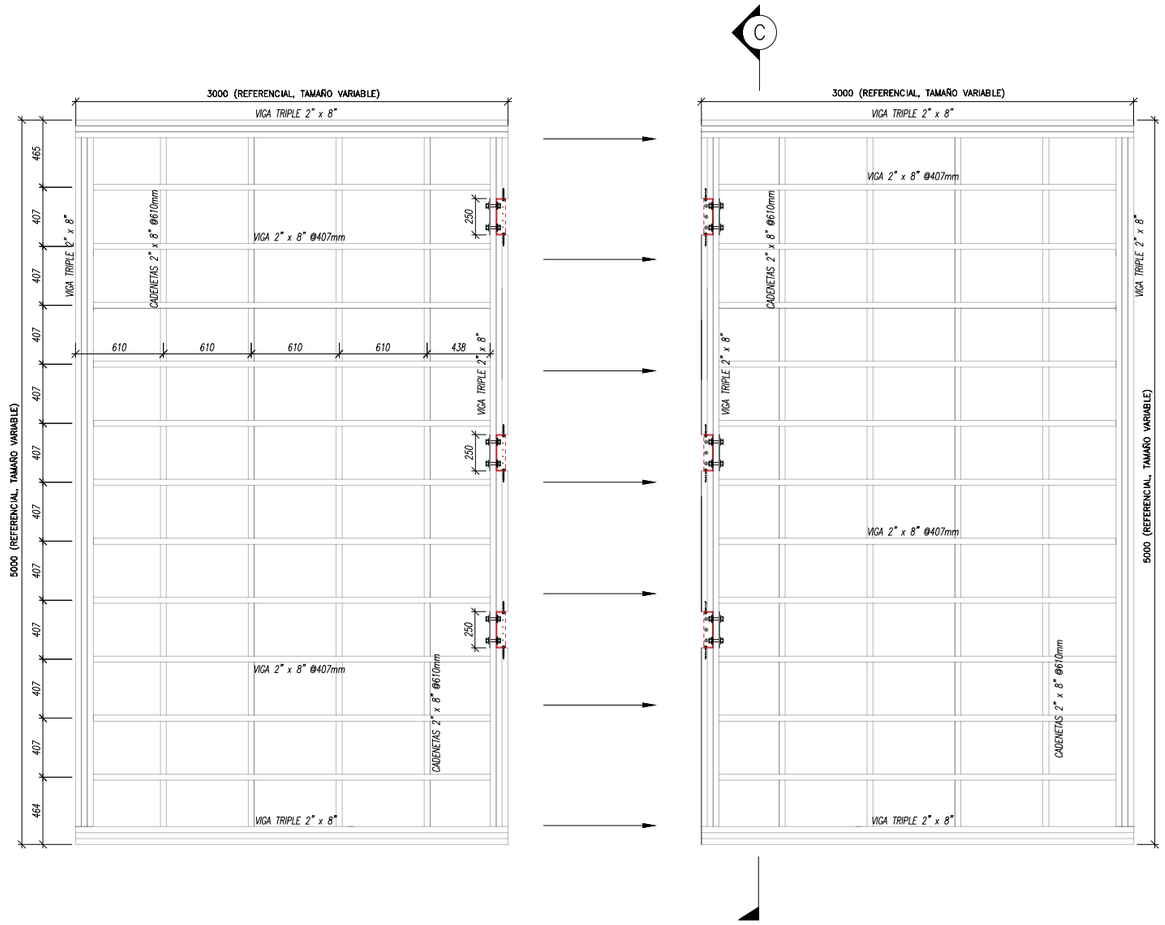
Detalle Conexión Losa - Losa

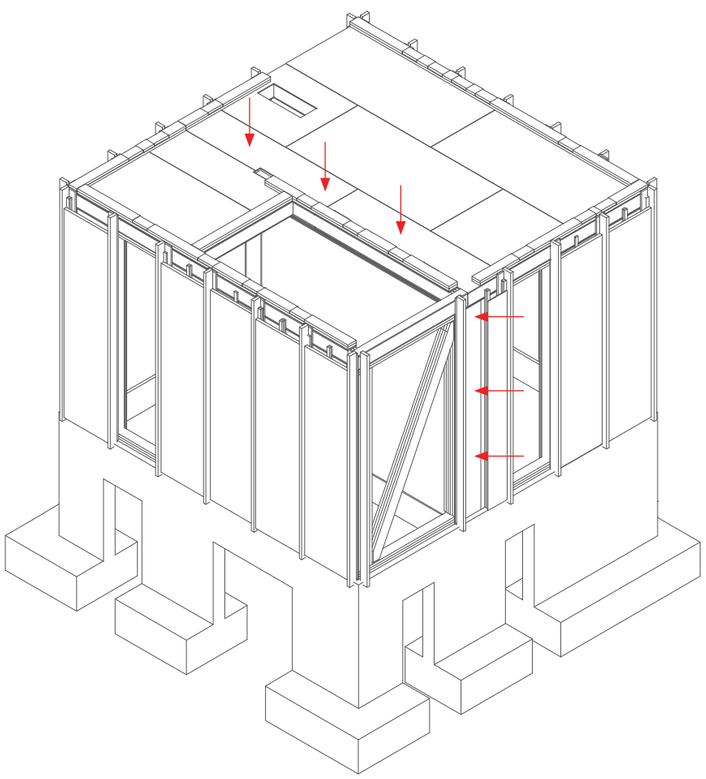
Plano: 27_Fab_Detalles de union Losa Losa y Muro-Muro.dwg



Detalle Conexión Losa - Losa

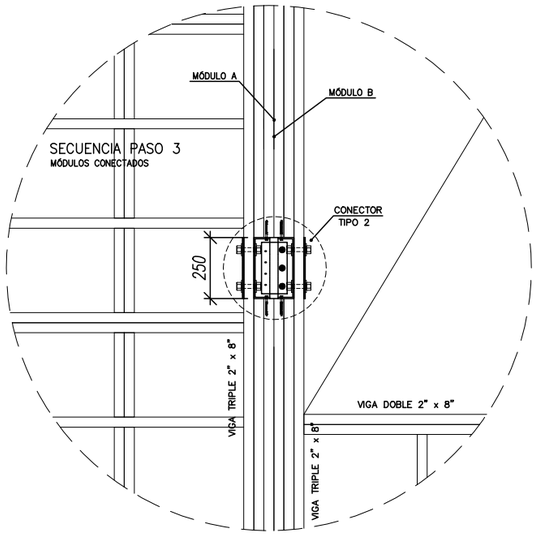
Plano: 27_Fab_Detalles de union Losa Losa y Muro-Muro.dwg





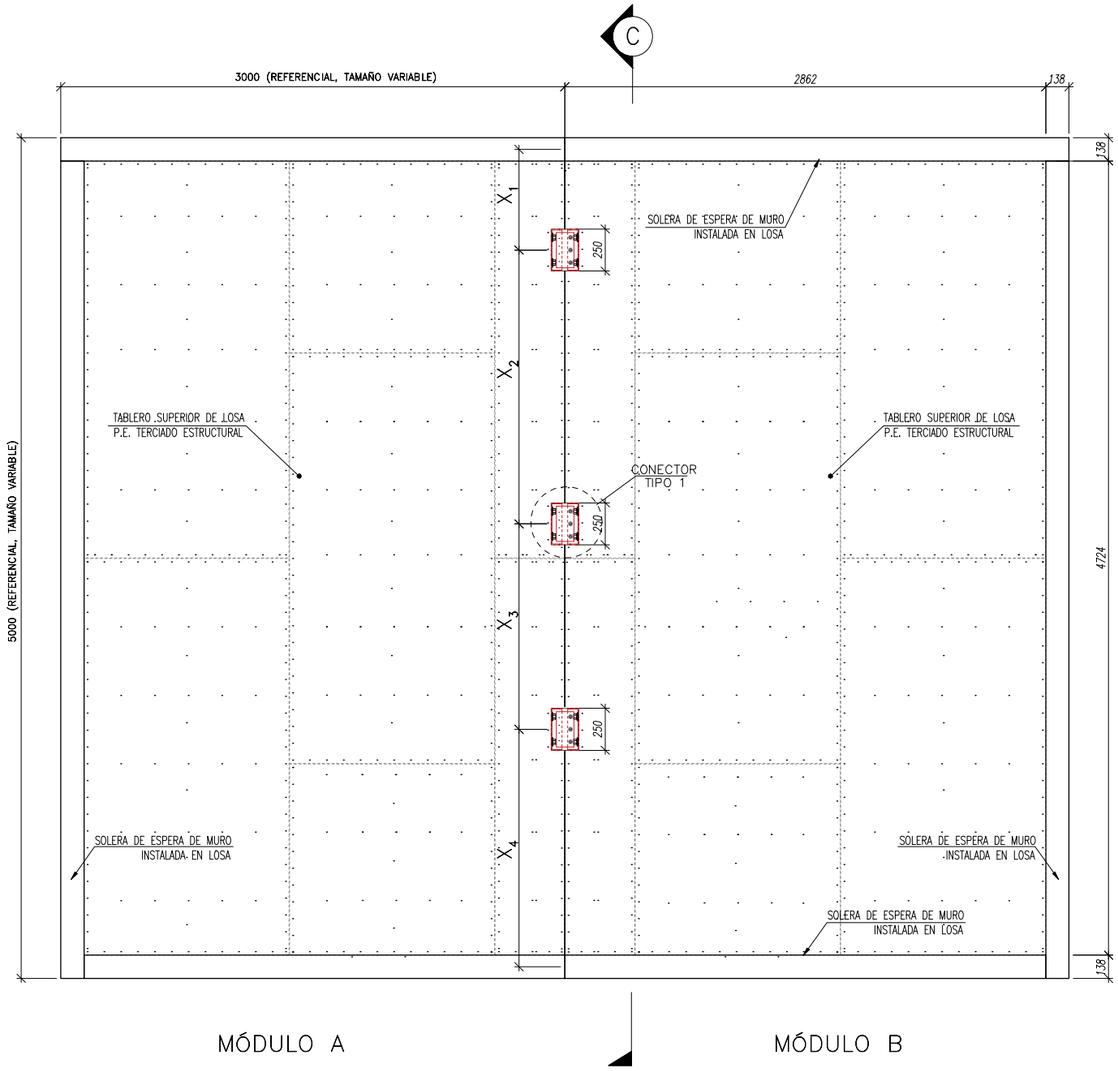
6.

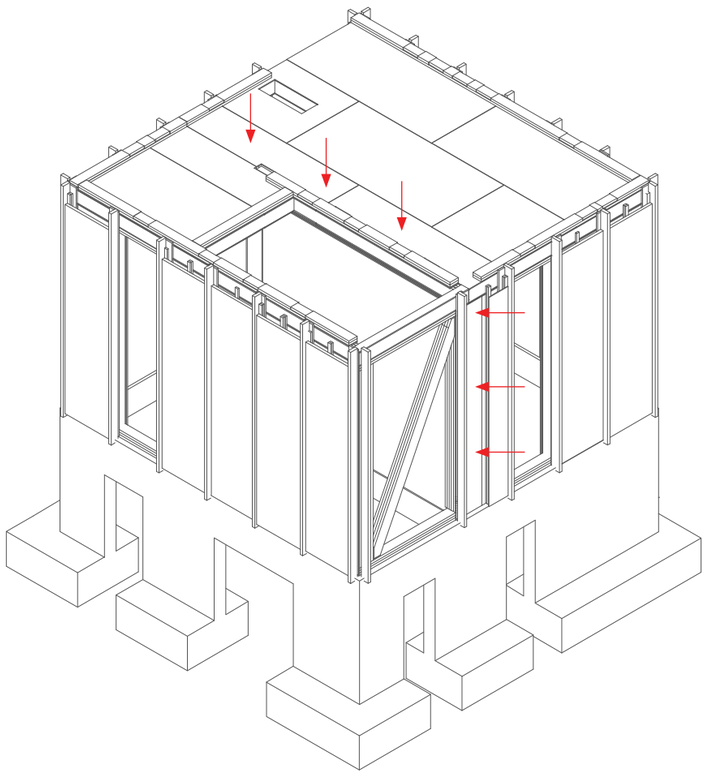
Apretar cajas de Losas entre módulos Ay B
Apretar cajas de Muros entre módulos Ay B



Detalle Conexión Losa - Losa

Plano: 27_Fab_Detalles de union Losa Losa y Muro-Muro.dwg

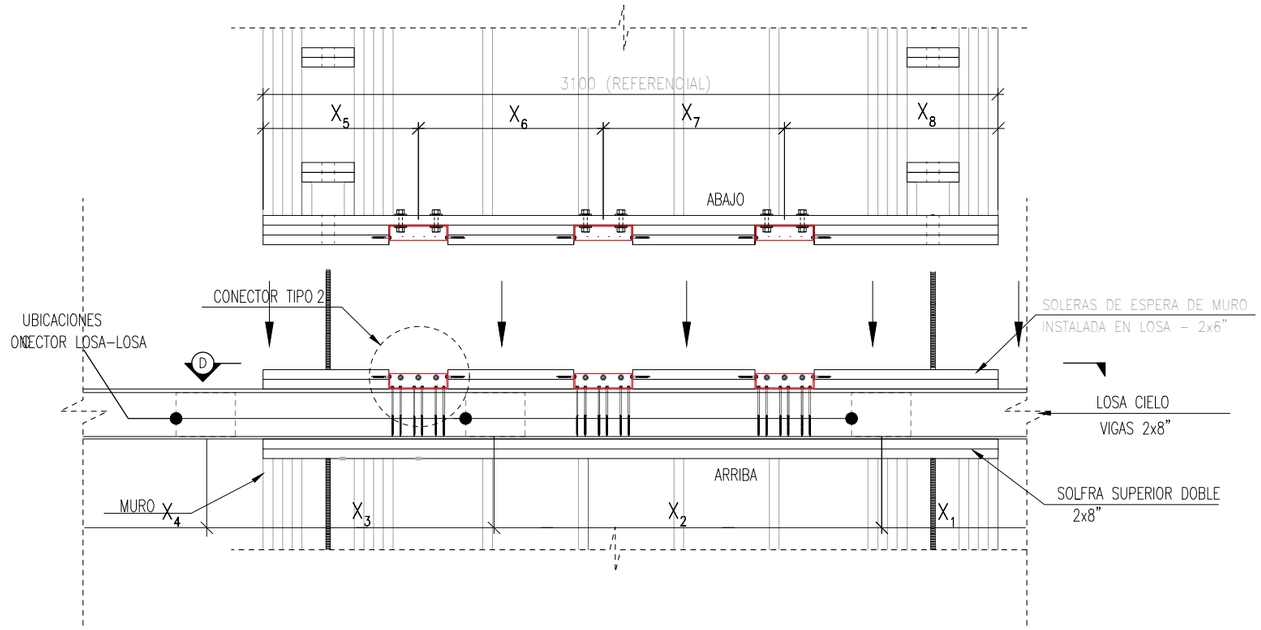




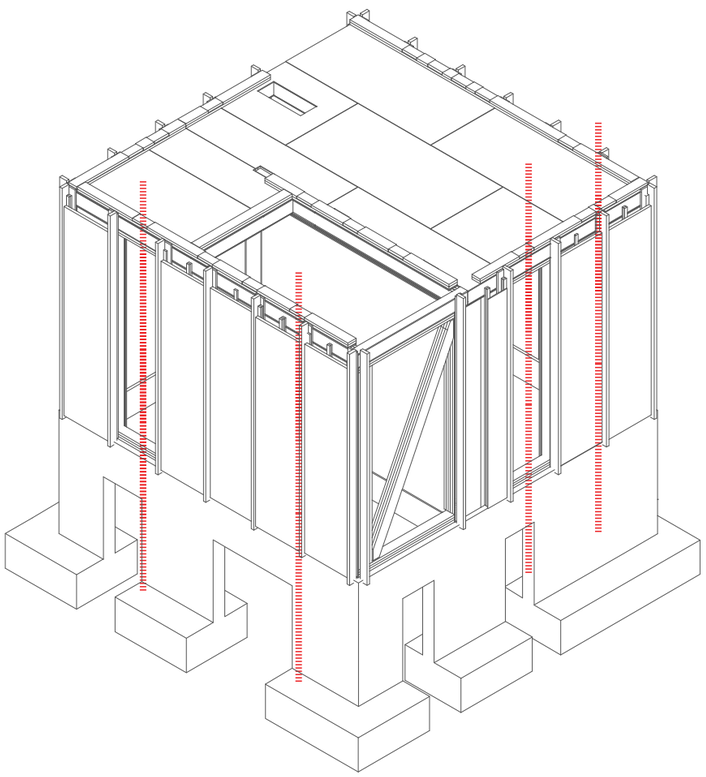
7.

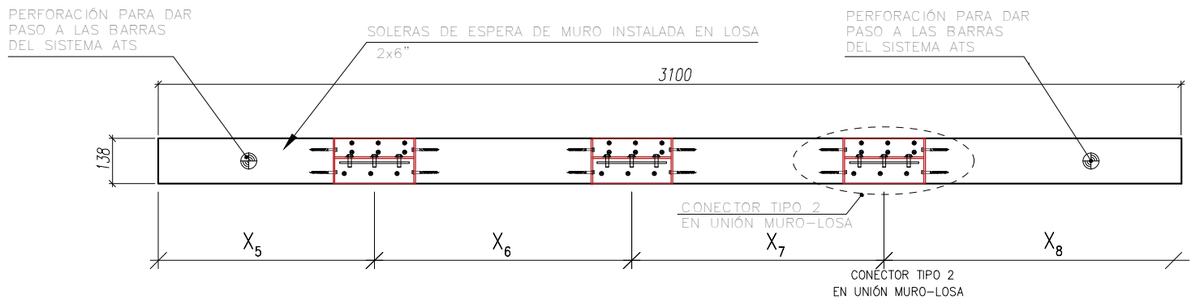
Apretar cajas de Losas entre módulos Ay B
Apretar cajas de Muros entre módulos Ay B

FIG. 11: CORTE C–C, VISTA EN ELEVACIÓN DE CONEXIÓN MURO – LOSA
(SIN TABLEROS DE REVESTIMIENTO)



SECUENCIA PASO 1
VISTA EN ELEVACIÓN, CONEXIÓN MURO–LOSA DE UN PISO A OTRO



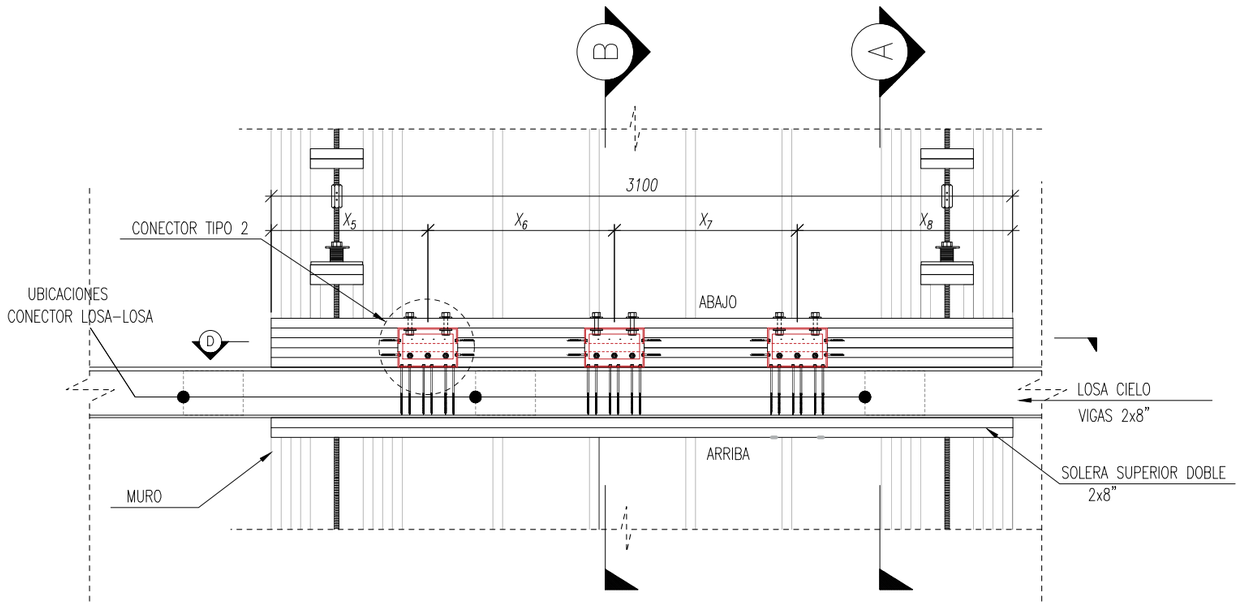


CORTE D–D

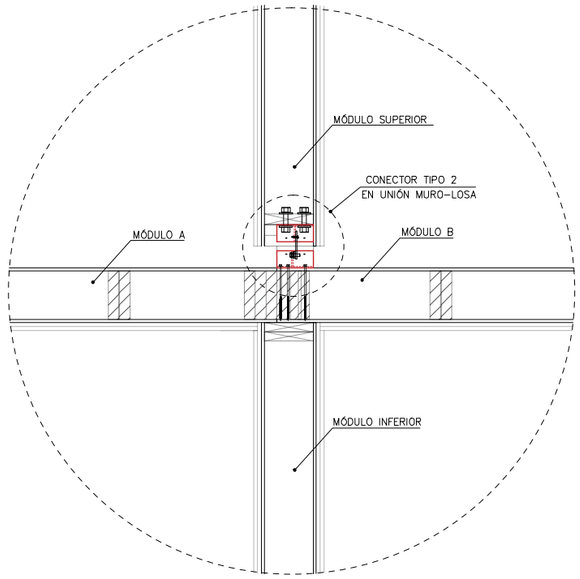
8.

Introducir barras ATS desde las fundaciones

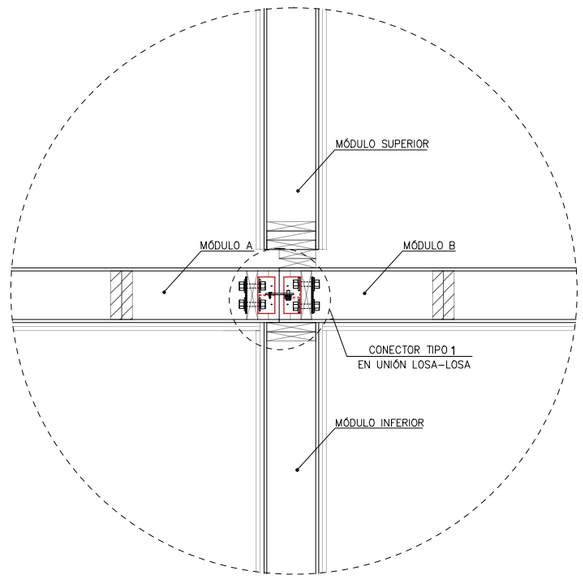
FIG.12: CORTE C–C, VISTA EN ELEVACIÓN DE CONEXIÓN MURO – LOSA
(SIN TABLEROS DE REVESTIMIENTO)



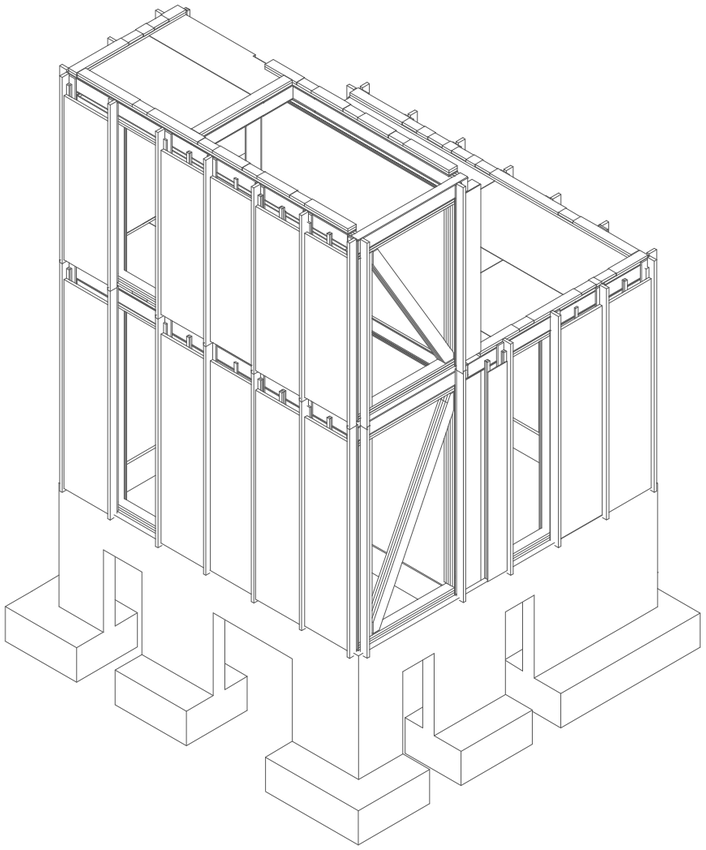
SECUENCIA PASO 2



CORTE B–B



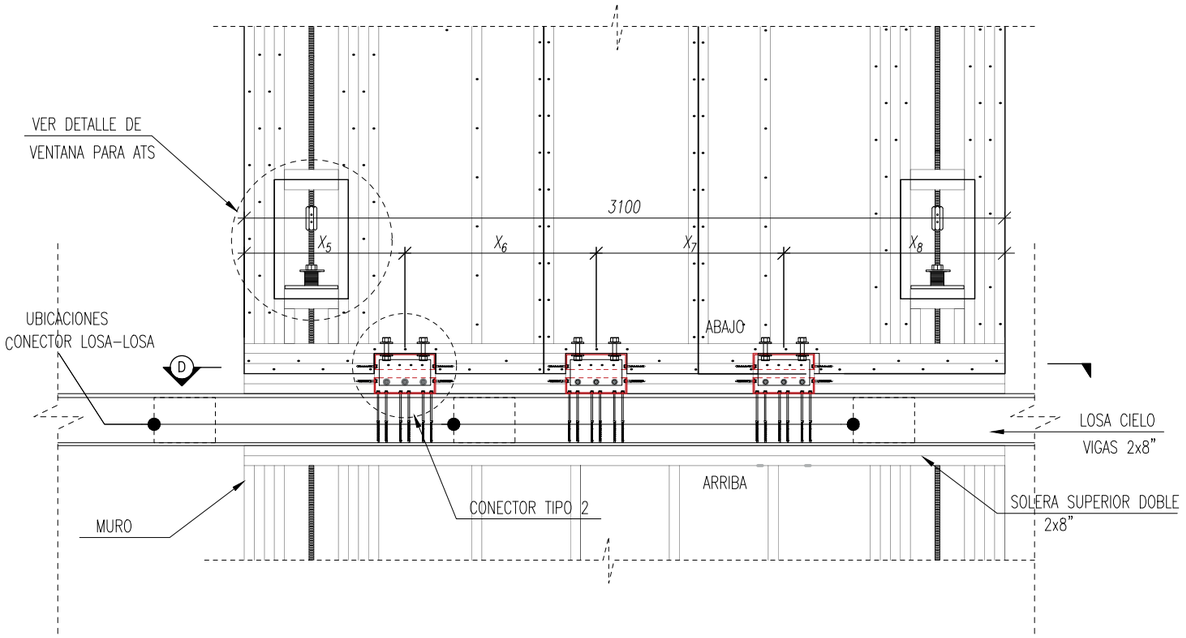
CORTE A–A

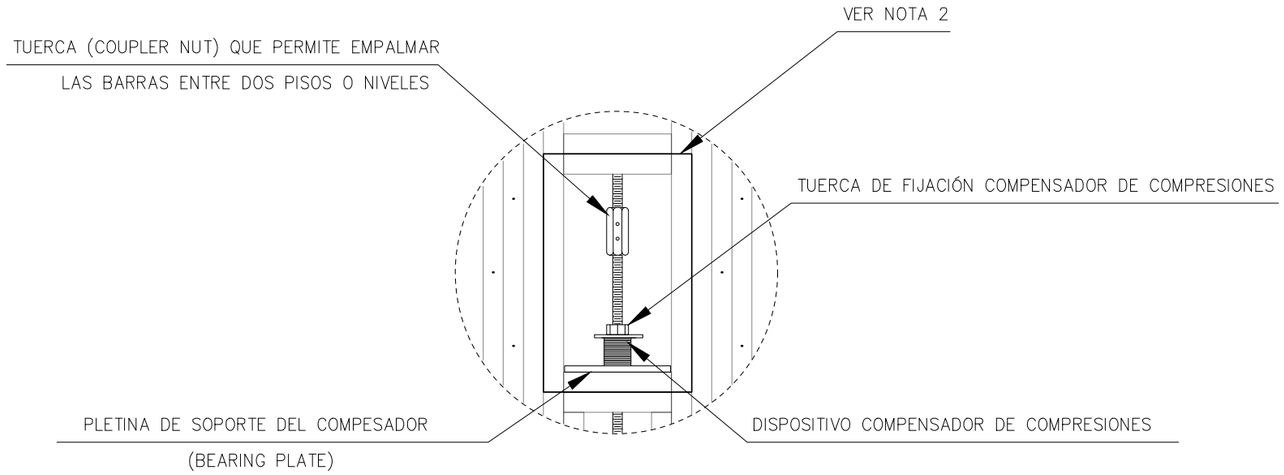


9.

Montaje Módulo B 2do Piso

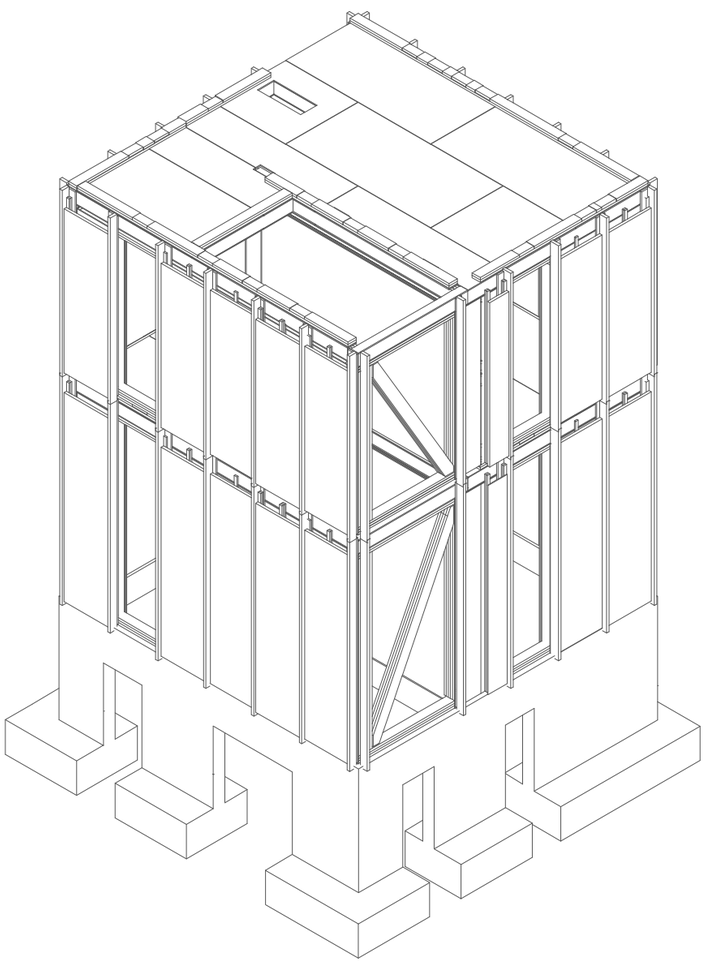
UBICACIÓN RELATIVA DE LA VENTANA PARA EL ATS EN UN MURO.





NOTA 2: ESTA VENTANA PERMITE TENER ACCESO AL INTERIOR DEL MURO PARA PODER APRETAR LA TUERCA DE EMPALME ENTRE BARRAS, INSTALAR EL COMPENSADOR DE COMPRESIONES Y APRETAR LA TUERCA DE FIJACIÓN DEL COMPENSADOR.

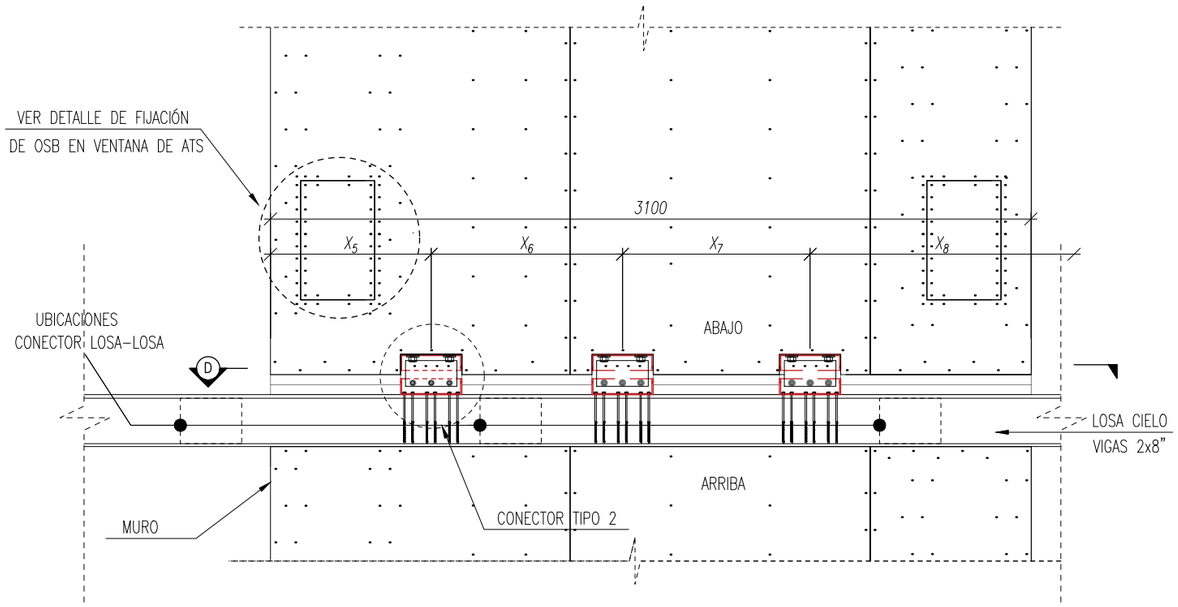
DETALLE DE VENTANA PARA ATS

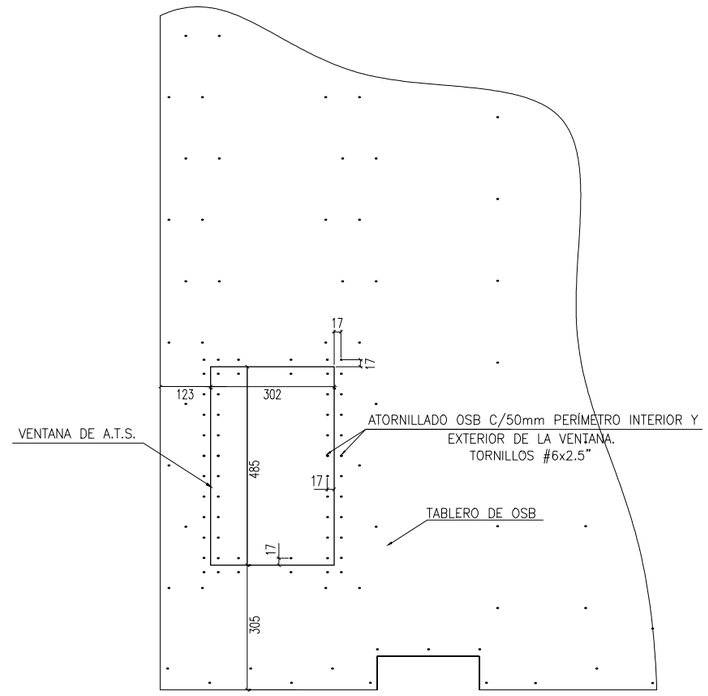


10.

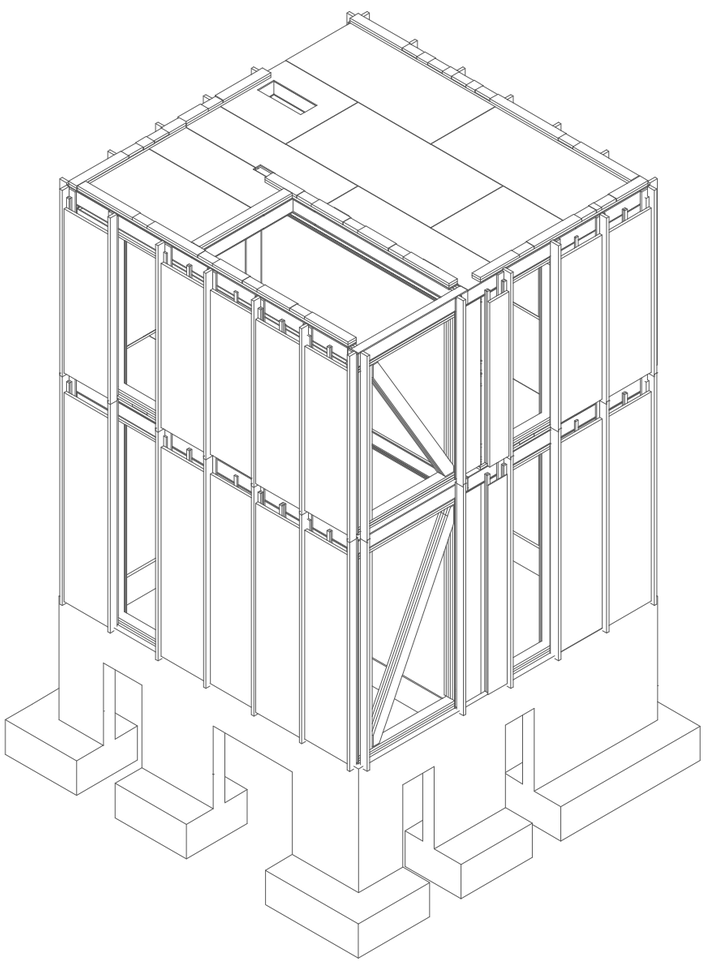
Montaje Módulo A 2do Piso

FIG. 14: DETALLE DE ACABADO O TERMINACIÓN DEL OSB EN VENTANA DE ATS PARA LOS MUROS DEL MÓDULO.



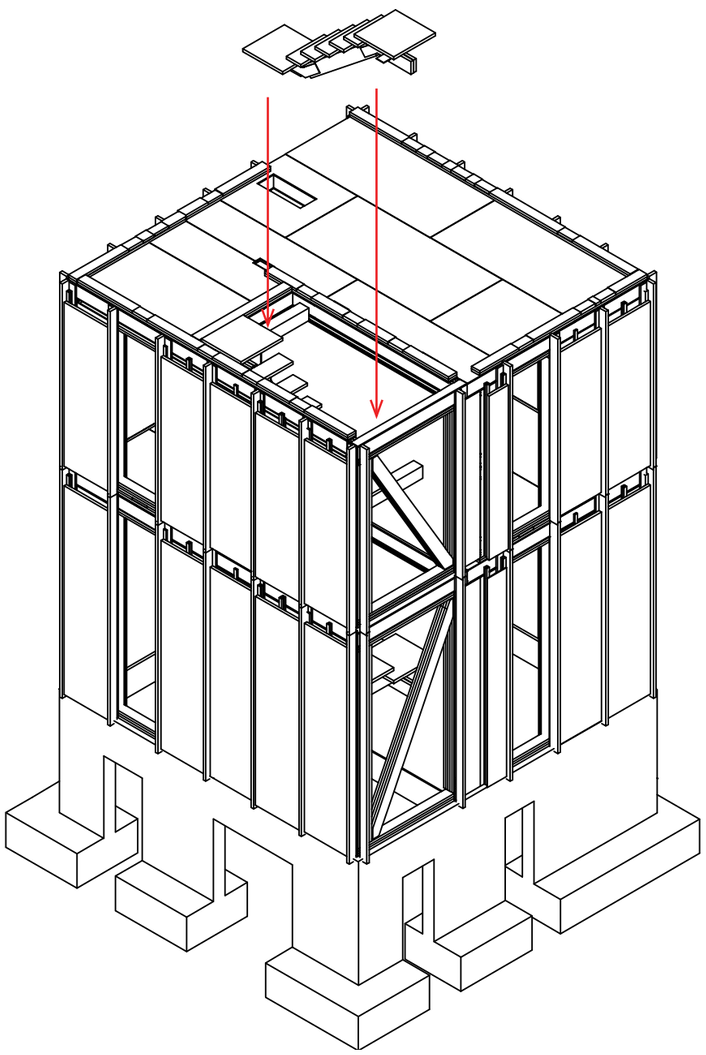


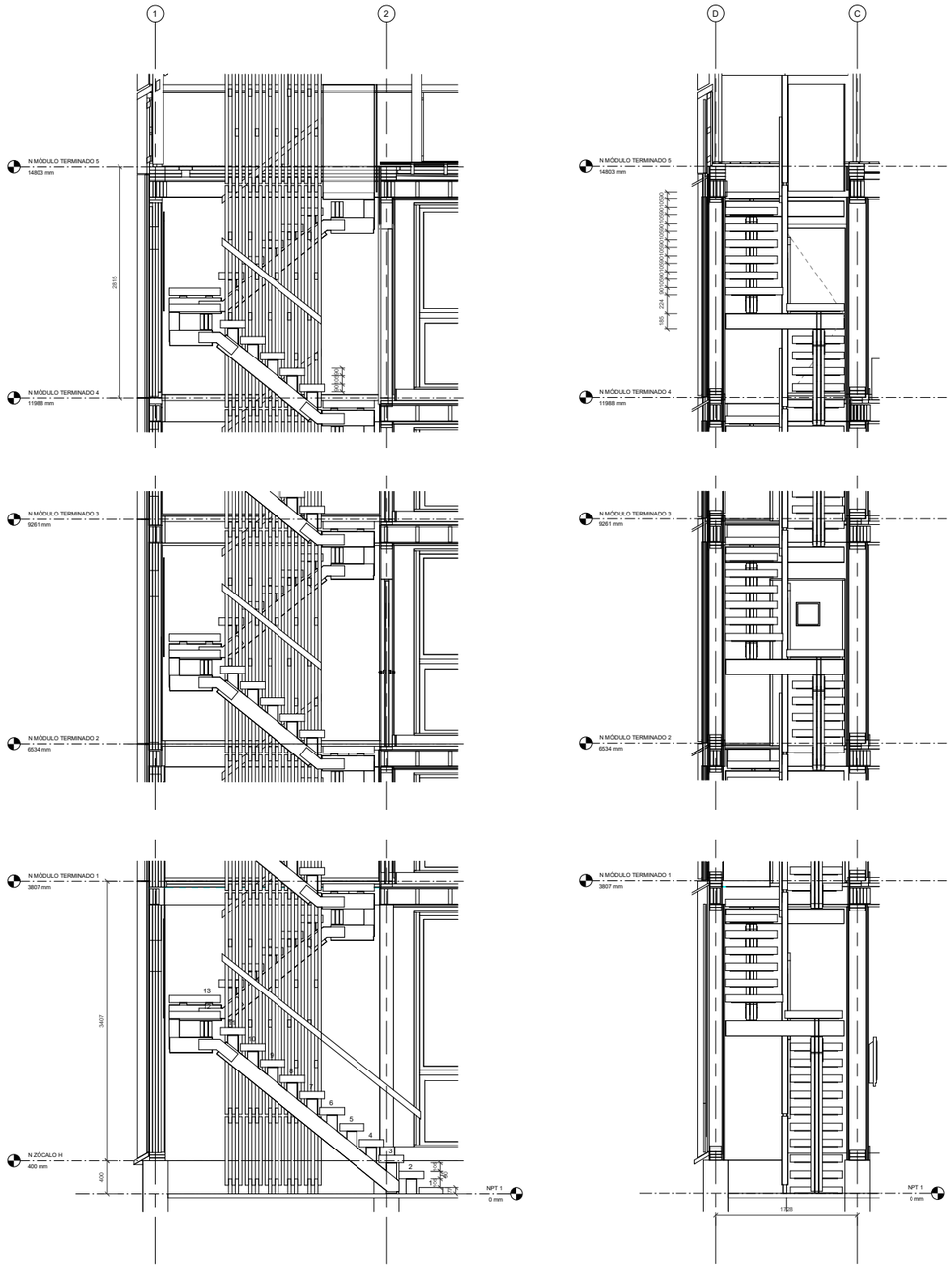
DETALLE DE FIJACIÓN DE OSB EN VENTANA DE ATS

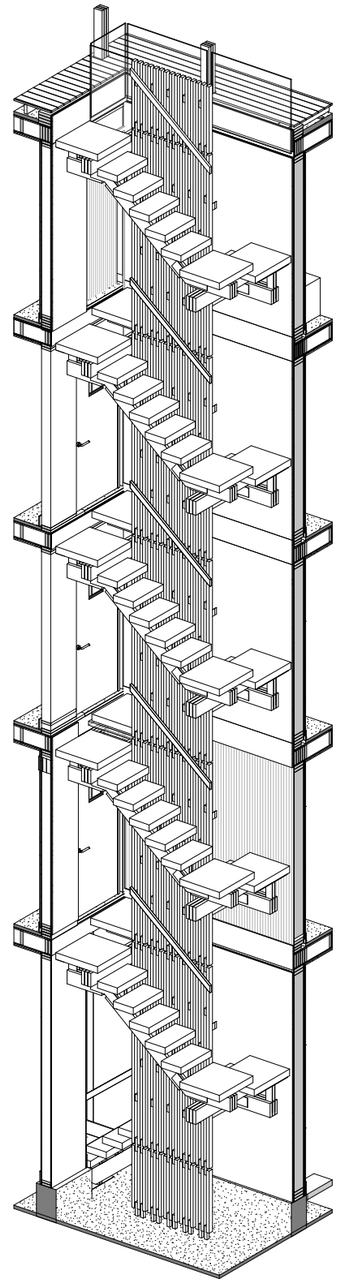


11.

Montaje módulo A 2do piso





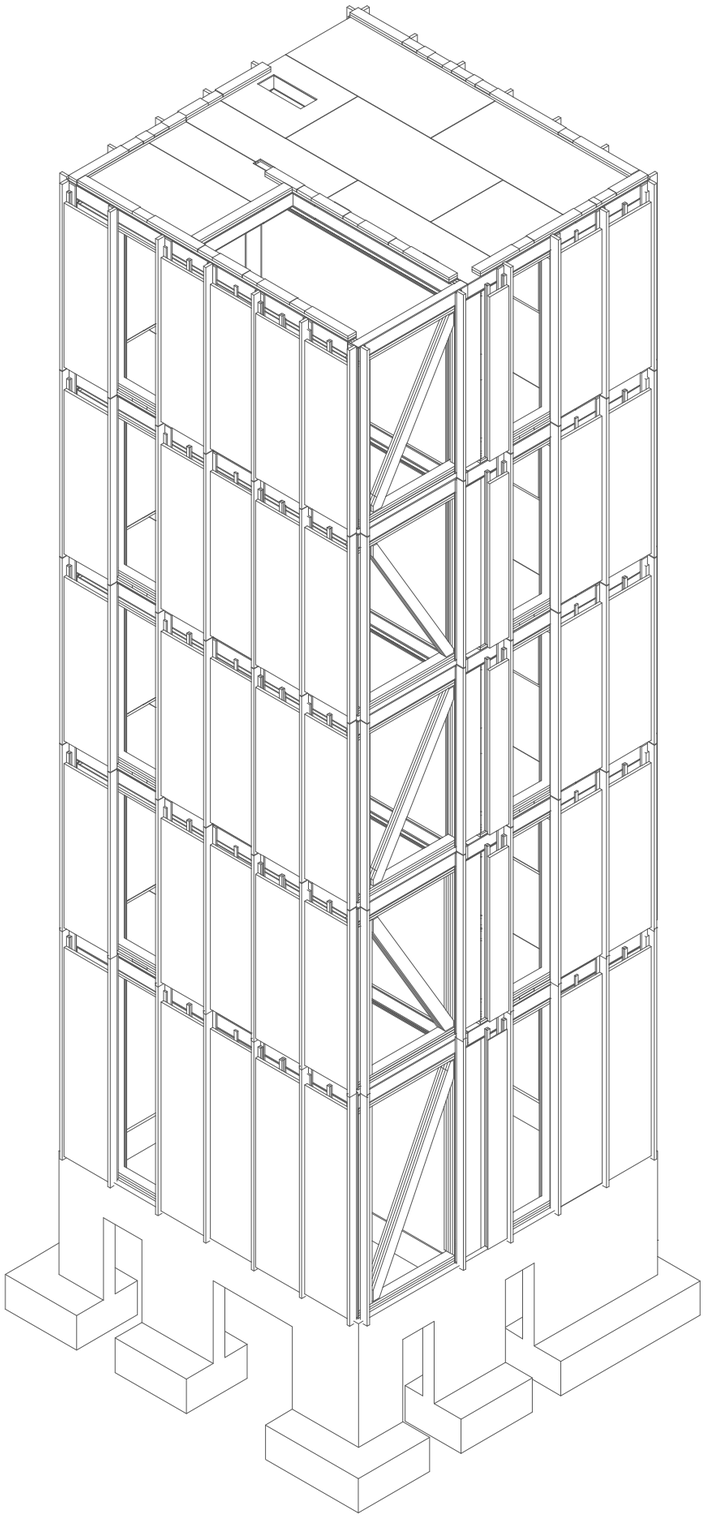


Detalle Escalera

Plano:

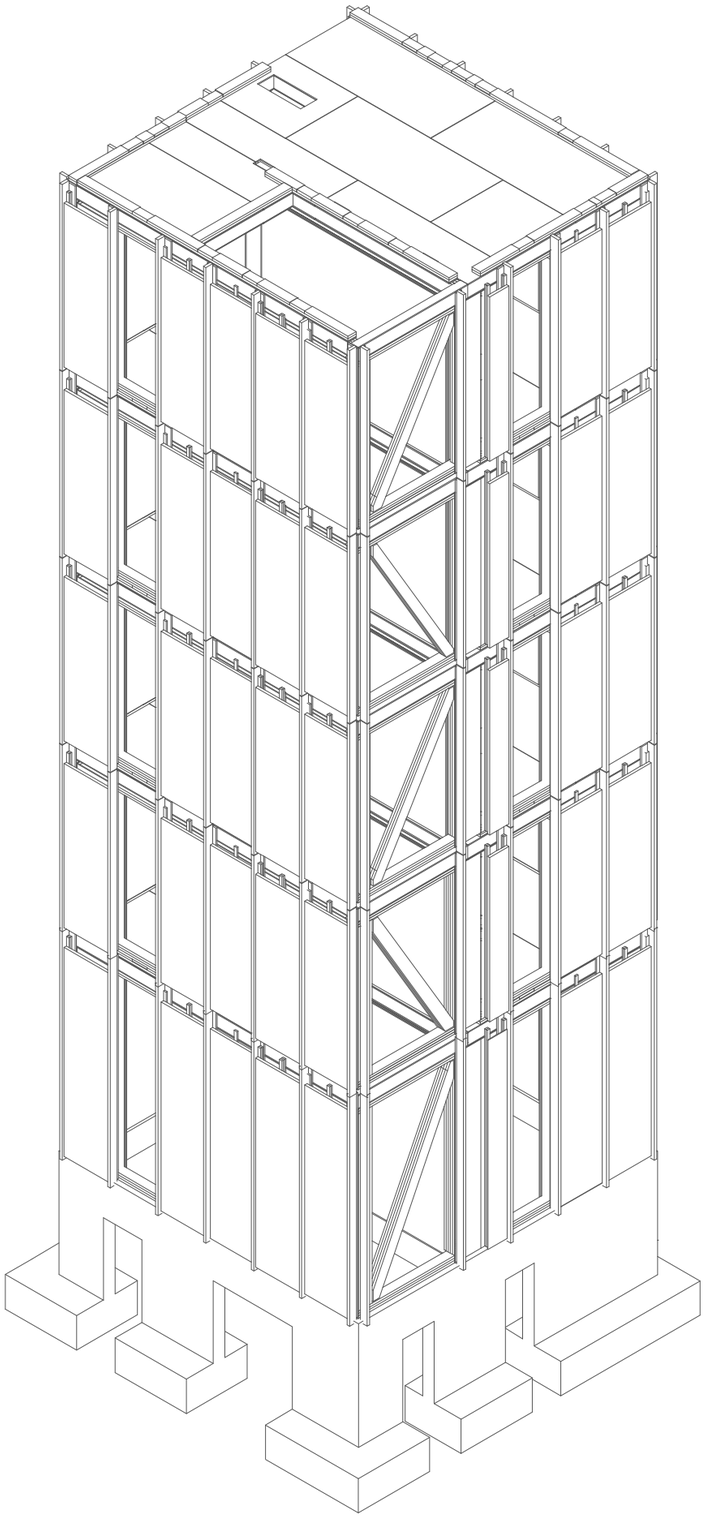
12.

Colocar 2do tramo de escalera unión entre primer y segundo piso.



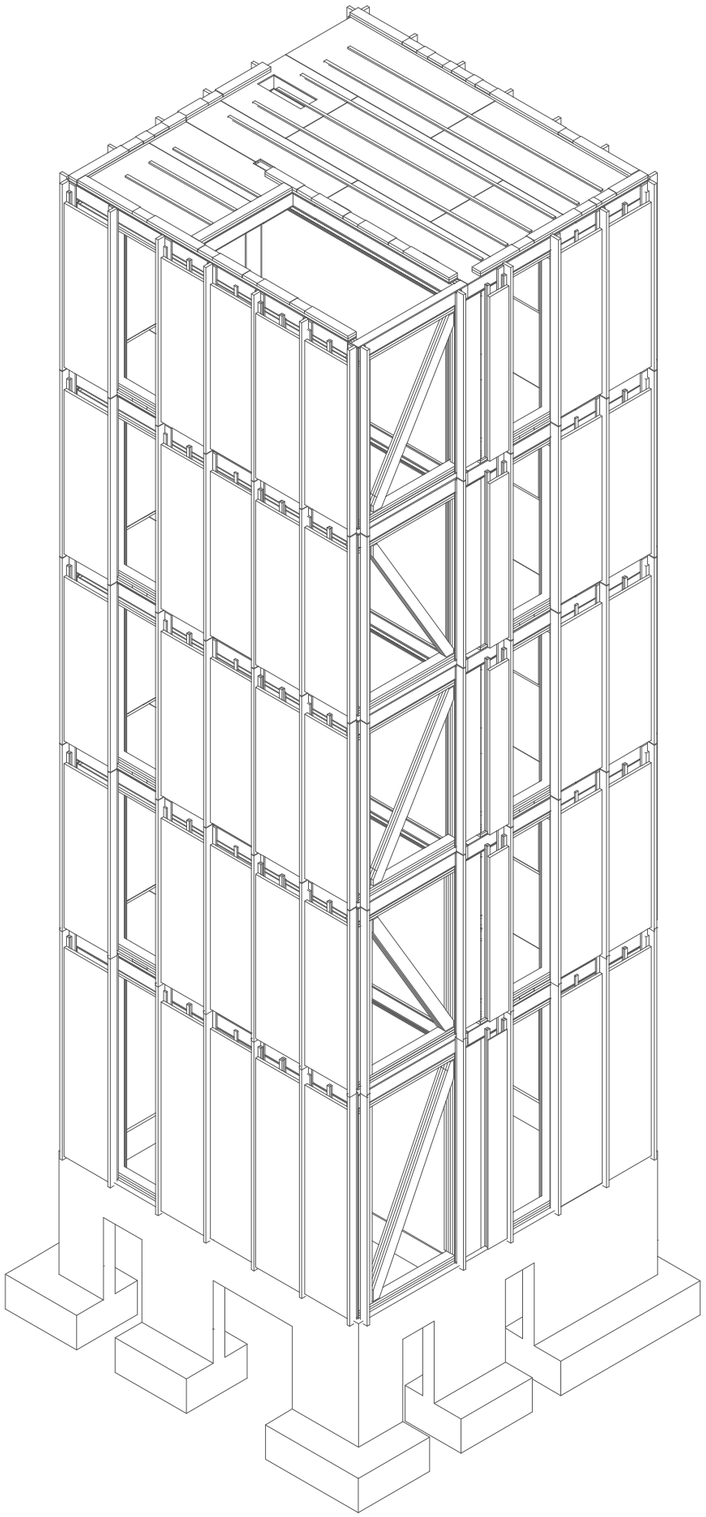
13.

Repetir 3 veces desde Paso 10 al Paso 15.



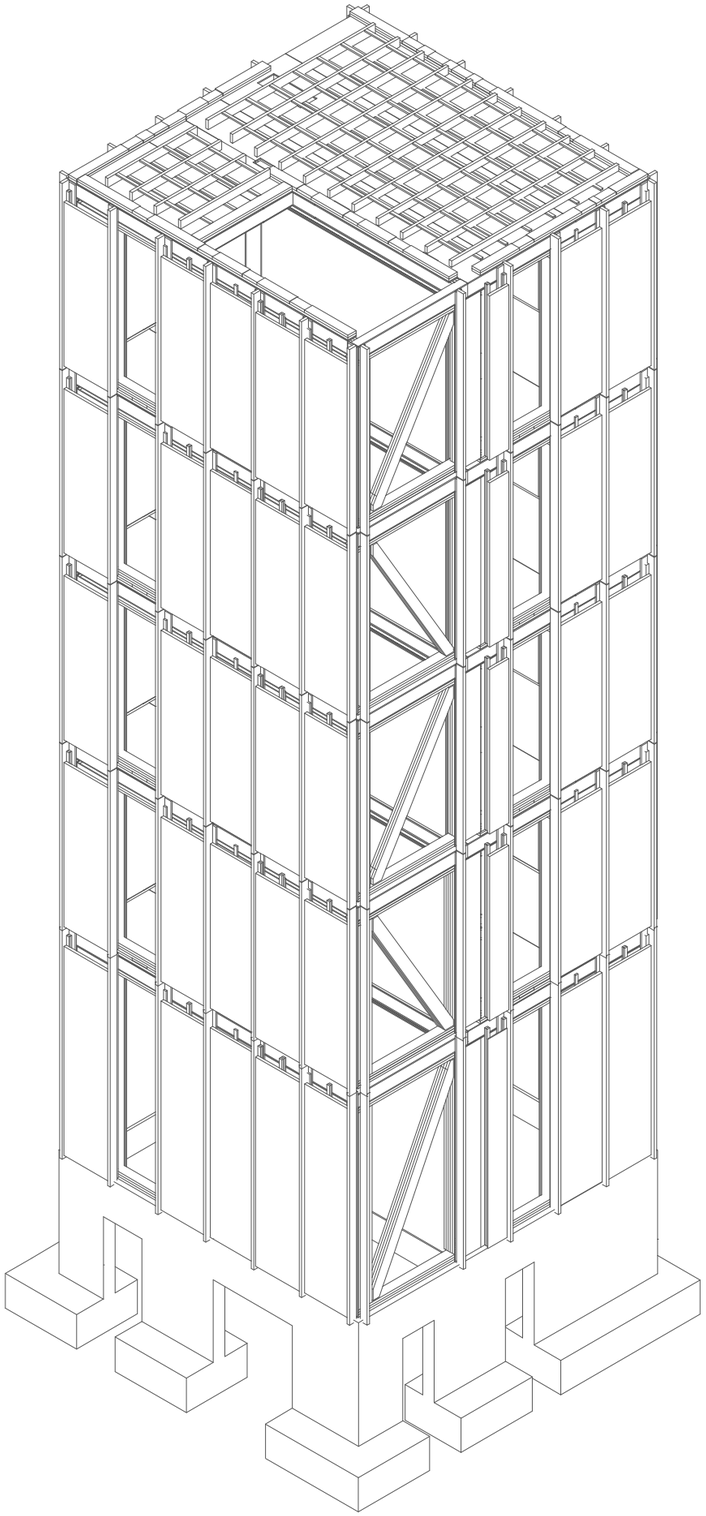
14.

ATS / Tapas / Loseta



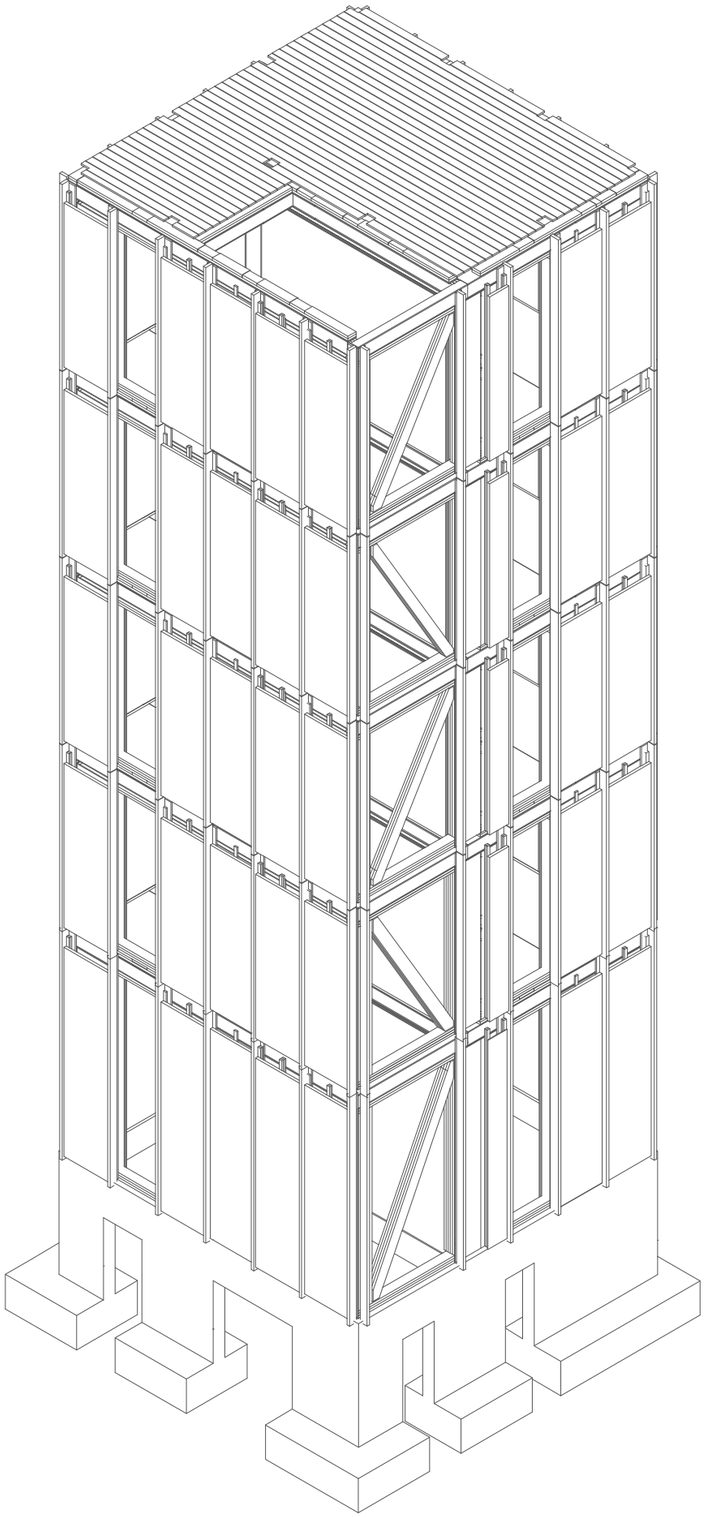
15.

Distanciadores Hojalata



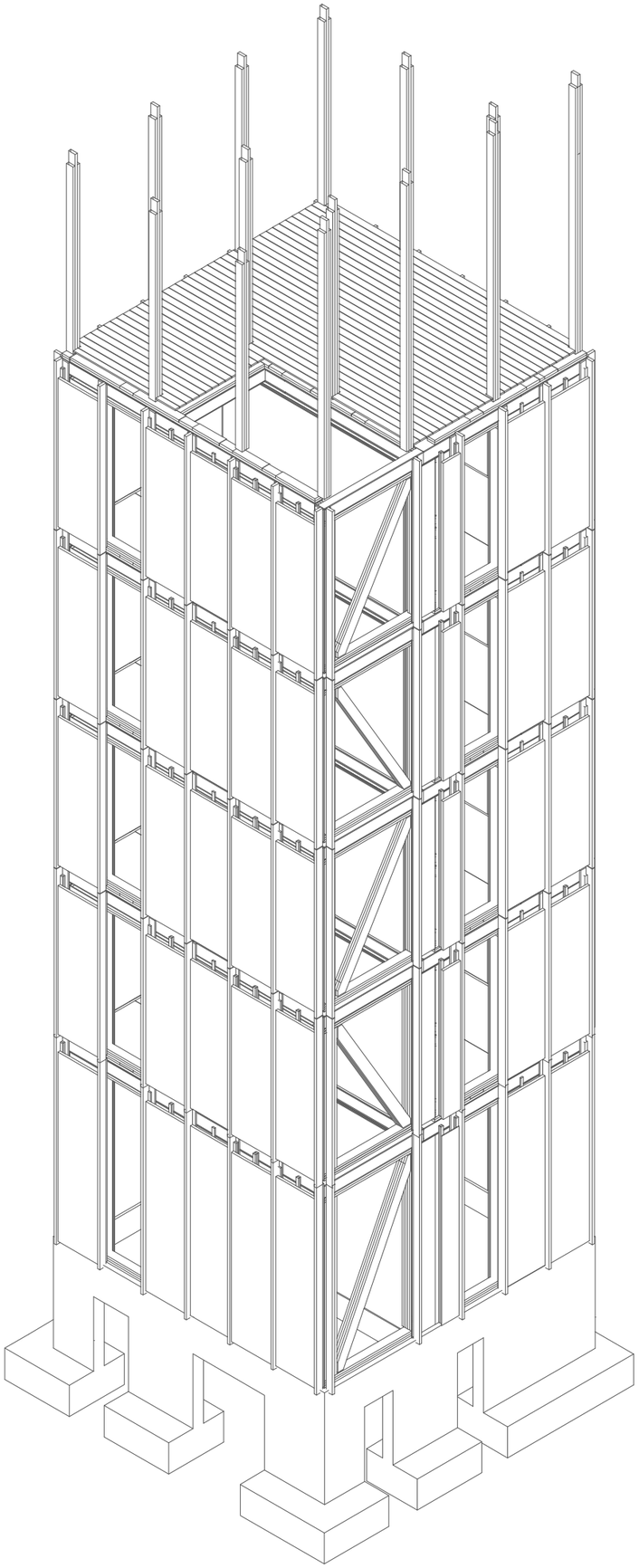
16.

Envigado Deck



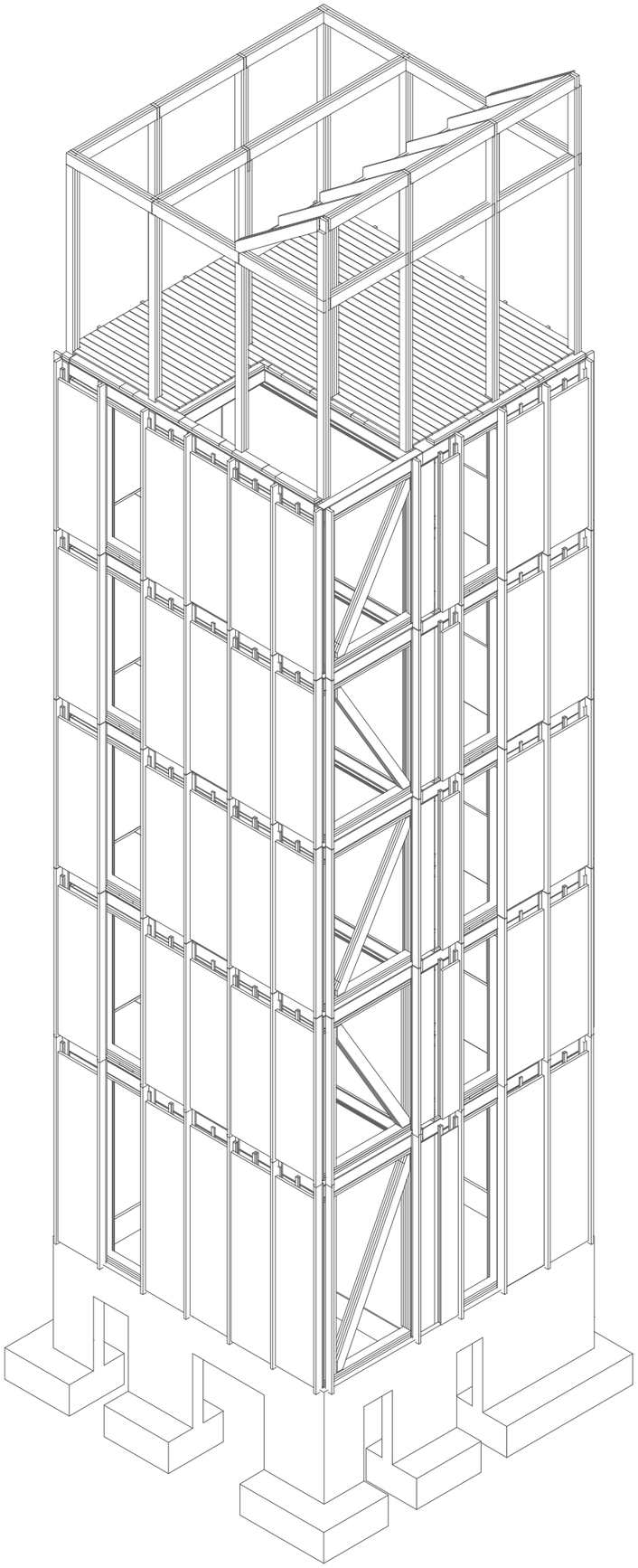
17.

Deck



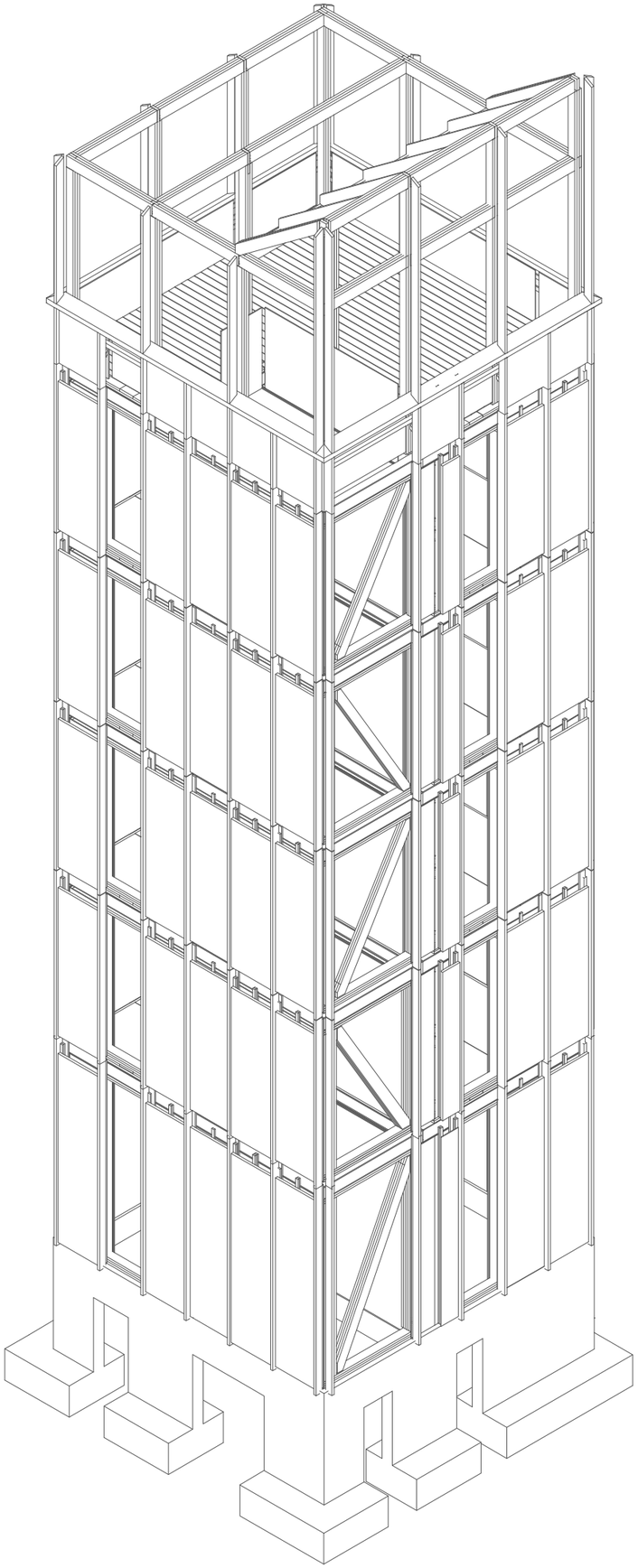
18.

Pilares



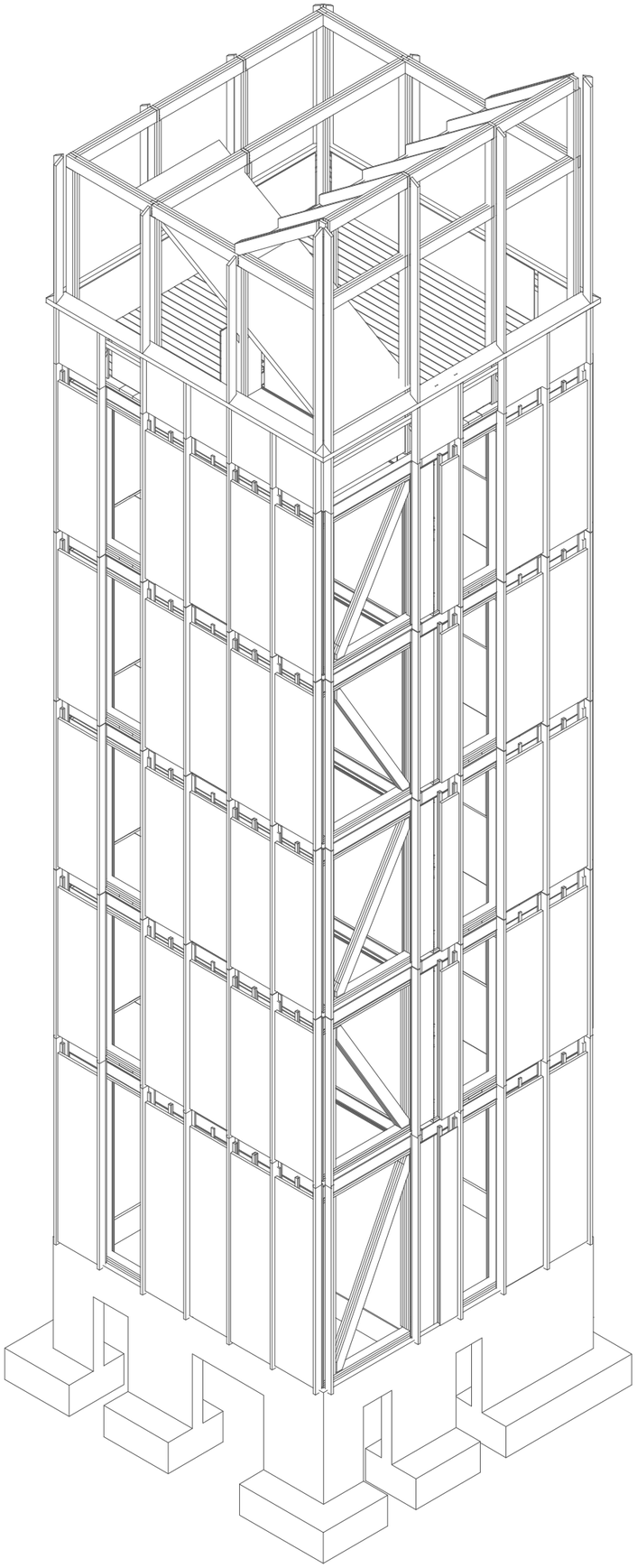
19.

Vigas



20.

Barandas



21.

Techo y baranda escalera