FLEXIBILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

EL IMPACTO DE LAS CAPAS CONSTRUCTIVAS DE LOS SISTEMAS EN MADERA

Estudiante:
Keren Codriansky Plotkin

Magister en Arquitectura Sustentable y Energía
Escuela de Arquitectura
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos
Pontificia Universidad Católica de Chile

Profesores:
Macarena Burdiles
Renato D'Alençon
Agosto 2020

© 2020, Keren Codriansky Plotkin

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Arquitectura
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos
Magister en Arquitectura Sustentable y Energía

FLEXIBILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

El impacto de las capas constructivas de los sistemas en madera

Por:

KEREN CODRIANSKY PLOTKIN

Tesis presentada a la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Arquitecto y grado académico de Magister en Arquitectura Sustentable y Energía

Profesores guía:

Inés Macarena Burdiles

Renato D'alençon

Septiembre, 2020

Santiago de Chile

PALABRAS CLAVE

Capas Constructivas - Ciclo de Vida - Sistema Constructivo - Madera - Obsolescencia

RESUMEN

La investigación apunta a estudiar el impacto que tiene el diseño de un proyecto de arquitectura a partir de su sistema constructivo en la generación de residuos analizado dentro de una escala temporal. Según el estado del arte, existen dos estrategias apropiadas para conseguir una considerable disminución de residuos de construcción: por un lado, la planificación de la extensión de la vida útil del edificio a través del diseño de estructuras flexibles, y por otro, la planificación de la obsolescencia del edificio y sus partes a partir de un método total o parcial de deconstrucción sustentable. El estudio analiza el impacto que tienen los diferentes ciclos de vida de las capas constructivas de un edificio y su relación con la generación de residuos en todas las etapas de su existencia: construcción, uso y demolición. Este trabajo explora las capacidades reductivas de los sistemas en madera por considerar este material óptimo para trabajar con ambas estrategias. Con este objetivo, se cubican los residuos generados en cada etapa del edificio de un modelo base, diseñado según parámetros estándares de construcción en madera, analizando las capas que mayor cantidad producen y las causas de esta problemática, que incluyen uniones, durabilidad material, interferencia de ciclos de vida, entre otros. A partir de este estudio, se generan ciertas conclusiones que apuntan a estrategias de diseño que se prueban y experimentan a través de un prototipo y que luego es aplicado en un caso real. Se entiende entonces, que la independencia total de las capas constructivas evita una generación de residuos innecesarios, aumentando la flexibilidad de la construcción tanto estructural como programática, prolongando los ciclos de vida de sus partes y piezas, y permitiendo el desarmado parcial o total de la construcción.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen **5**

01. El Impacto Ambiental de la Construcción **10**
La Madera como Material de Construcción 12
Ciclo de Vida de la Construcción 14

02. Formulación de la Investigación **16**
Pregunta 16
Hipótesis y Supuestos 16
Objetivos Generales 17
Objetivos Específicos 17
Metodología 18

03. Estudio de Capas Constructivas **20**
Construcción en Madera 22
Capas Constructivas en Madera 23

04. Análisis del Ciclo de Vida a Partir de las Capas **26**
Construcción 27
Mantención y Uso 21
Desarmado 35
Discusión 37

05. Estrategias de Diseño por Capas **38**
Estudio de Referente 40
Uniones Desarmables 41
Optimización Material 46
Capas Independientes 49
Discusión 51

06. Interés a Escala Real **52**
Aplicación del Sistema en un Proyecto Arquitectónico 53
Problemáticas y Oportunidades de Diseño 58

07. Conclusiones **60**

08. Glosario **64**

09. Referencias y Bibliografía **66**

10. Anexos **68**
Anexo 1: Requerimientos Hídricos 68
Anexo 2: Cálculo Estructural 76

11. Proyecto Sendero Cochamó **78**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama de proporción de residuos sólidos generados en Chile en 2011 10
Figura 1.2: Gráfico de generación de residuos industriales por sector en el periodo 2000-2009. 11
Figura 1.3: Comparación del CO2 producido por diferentes materiales (CO2 proceso - CO2 almacenado). 12
Figura 1.4: Porcentaje según material de construcción de vivienda en Chile. 13
Figura 1.5: Porcentaje construcción de vivienda en madera. 13
Figura 1.6: Diagrama de ciclo de vida de una construcción. 14
Figura 1.7: Ciclo de vida de la madera. 14

Figura 2.1: Diagrama de investigación propuesta. 19

Figura 3.1: Estudios capas constructivas de un edificio. 20
Figura 3.2: Ciclos de vida útil de las capas constructivas. 22
Figura 3.3: Detalle constructivo suelo y muro por sistema constructivo estudiado. 24
Figura 3.4: Esquema de capas constructivas en suelo y muro por sistema constructivo estudiado. 25

Figura 4.1: Planimetría modelo base. 27
Figura 4.2: Plantas de posibles usos modelo base. 28
Figura 4.3: Análisis solar del modelo base. 29
Figura 4.4: Tabla resultados cubicación modelos. 30
Figura 4.5: Gráfico de porcentajes de generación de residuos por capa del total de cada capa. 30
Figura 4.6: Gráficos de porcentajes de generación de residuos por capa del total general. 30
Figura 4.7: Gráficos de porcentajes de material utilizado por capa del total construido. 31
Figura 4.8: Caso base y Caso optimizado modelados tridimensionalmente. 31
Figura 4.9: Ciclos de vida útil de las capas constructivas. 32
Figura 4.10: Tabla de porcentaje de recambio en periodos de cinco años por componente por capa. 33
Figura 4.11: Gráficos de porcentaje de recambio en periodos de cinco años por capa. 33
Figura 4.12: Gráficos de generación de residuos por detalle constructivo en periodos de cinco años. 34
Figura 4.13: Tabla de uniones utilizadas en los detalles estudiados. 35
Figura 4.14: Tabla materiales utilizados en los detalles estudiados. 35
Figura 4.15: Gráficos de porcentaje de pérdida material por capa por detalle. 36
Figura 4.16: Gráficos de porcentaje por capa del total de residuos. 36
Figura 4.17: Gráficos de generación de residuos por etapa. 37

Figura 5.1: Axonométrica explotada Maison Demontable 6x6, Jean Prouvé, 1945. 40
Figura 5.2: Proceso de montaje de la Maison Demontable 8x8, Jean Prouvé, 1945. 41
Figura 5.3: Croquis secuencia constructiva del prototipo. 41
Figura 5.4: Desarrollo unión entre paneles de envolvente. 42
Figura 5.5: Desarrollo unión de un panel a la estructura. 42
Figura 5.6: Opciones de encajes para unión envolvente-revestimiento. 42
Figura 5.7: Planimetría prototipos. 42
Figura 5.8: Uniones envolvente. 43
Figura 5.9: Secuencia armado prototipo físico. 44
Figura 5.10: Imágenes puntos críticos prototipo. 44
Figura 5.11: Planimetría modificada prototipos. 45
Figura 5.12: Opciones de optimización de panel. 47
Figura 5.13: Estructura optimizada. 48
Figura 5.14: Esquema independencia de capas. 49
Figura 5.15: Detalles instalaciones. 50

Figura 6.1: Esquema de estudio de capas constructivas de un edificio. 52
Figura 6.2: Esquema ordenamiento costaneras. 54
Figura 6.3: Arriostramiento metálico. 55
Figura 6.4: Esquema del sendero y equipamiento. 56
Figura 6.5: Variación temporal programa campamento. 57
Figura 6.6: Detalle unión paneles atrás de un pilar. 58
Figura 6.7: Detalle unión paneles esquina. 58
Figura 6.8: Detalle unión paneles esquina. 58
Figura 6.9: Detalle unión esquina. 59

Figura 10.1: Tabla cálculo AALL para Oficina. 71
Figura 10.2: Tabla cálculo AALL para Baños Públicos. 72
Figura 10.3: Tablas cálculo AALL para tres etapas de Centro de Servicios. 73
Figura 10.4: Tablas cálculo AALL para tres etapas de Habitáculo Administrador. 75
Figura 10.5: Planta modelo SAP200. 76
Figura 10.6: Plantas modelo SAP200 76

01. EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN

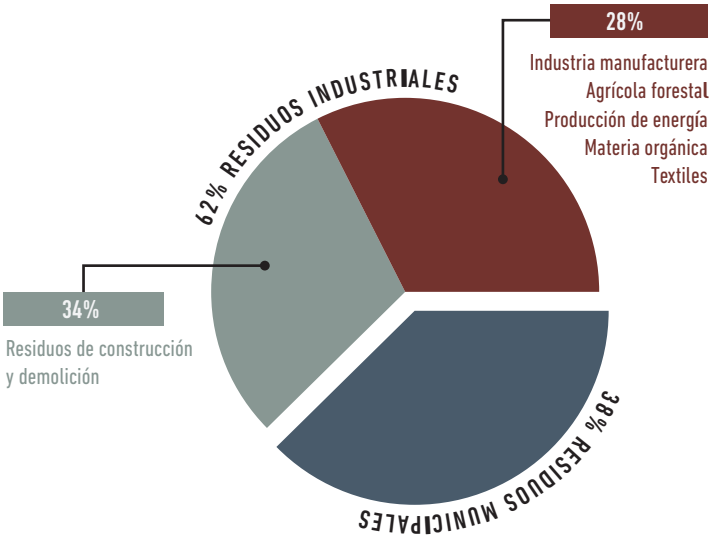


Figura 1.1: Diagrama de proporción de residuos sólidos generados en Chile en 2011. Fuente: Elaboración propia a partir del Informe del Medioambiente, Capítulo 3: Residuos. MMA, 2011. Chile.

Los escombros de construcción y demolición (RCD) constituyen el 35% de los residuos sólidos a nivel mundial, la mayor parte de ellos terminando en rellenos, vertederos o espacios inapropiados. La información existente en Chile es muy limitada estimándose que un 34% del total de residuos sólidos nacionales corresponden a RCD[1] (ver figura 1.1).

A diferencia de los países europeos, en Chile y América Latina el término de residuos de construcción que se utiliza en la mayor parte de los estudios hace referencia a un total, sin diferenciar construcción y demolición. En países con economías desarrolladas, las actividades de demolición no son prácticas comunes[2], pero en países subdesarrollados y con economías en vías de desarrollo los residuos producidos en actividades de demolición representan una proporción considerablemente mayor dentro de los RCD por ser una práctica habitual para afrontar los problemas de masiva urbanización y demanda urgente de vivienda. Dentro de estas estadísticas tampoco se consideran los residuos por mantención, reparación o reemplazo de componentes y sistemas de un edificio, lo que aumentaría considerablemente el porcentaje anteriormente mencionado.

En 2010 la CONAMA publicó el Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile que

1 CONAMA, 2010. Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile.

2 Bergsdal (2007) asegura que en Noruega por ejemplo, los residuos de demolición sólo representaban el 8% de los RCD en 1998, mientras que nuevas construcciones y remodelaciones representaban el 52% y 40%.

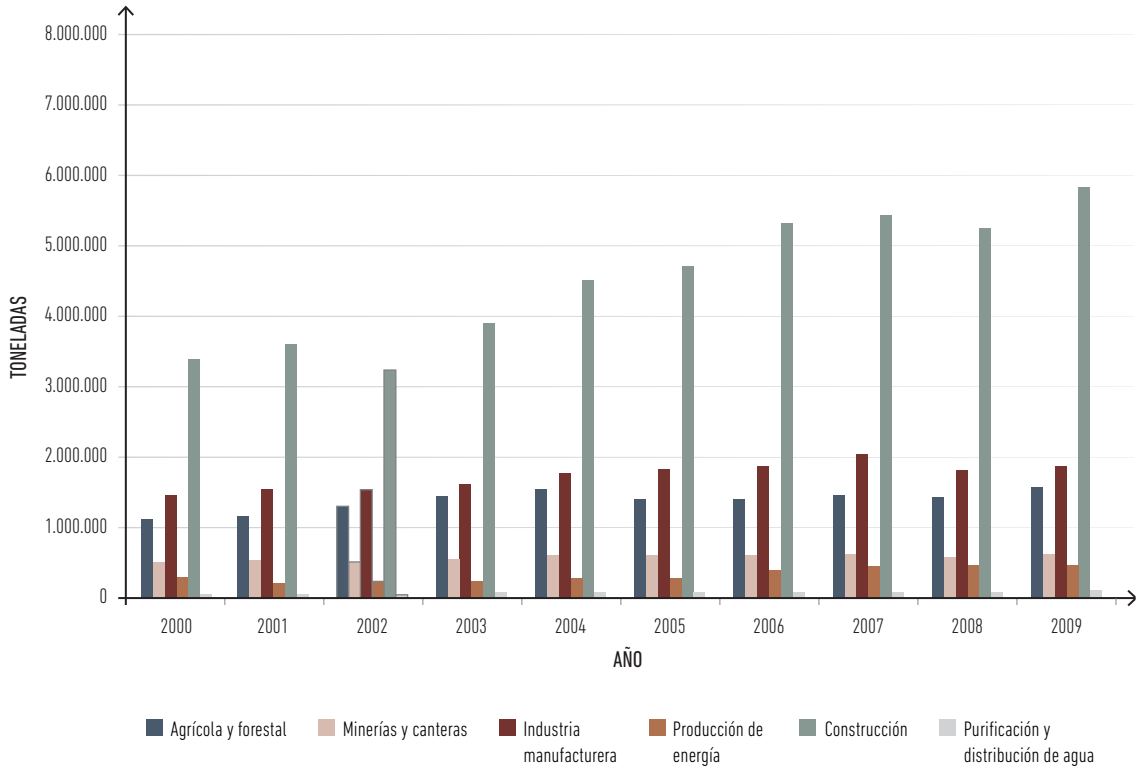


Figura 1.2: Gráfico de generación de residuos industriales por sector en el periodo 2000-2009. Fuente: Elaboración propia a partir del Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile (CONAMA, 2010).

asegura que entre el año 2000 y 2009 el sector industrial con una mayor variación de las tasas de generación de residuos sólidos es el de la construcción, pasando de 3,38 a 5,82 millones de toneladas anuales, lo que representa un incremento del 72% (ver figura 1.2). La tendencia de aumento permanece relativamente constante hasta hoy.

La minimización de residuos en el campo de la construcción significaría entonces un aporte considerable a las acciones sustentables realizadas en nuestro país, pero es sólo una de las aristas existentes en cuanto al impacto medioambiental de esta disciplina. Los edificios y su construcción son responsables del 36% de la energía consumida a nivel global y cerca de 40% de las emisiones directas o indirectas de CO_2[3], porcentajes que consideran producción y procesamiento material, transporte, maquinaria de construcción, traslado y procesado de residuos, uso y mantención, entre otras. Reduciendo la generación de residuos entonces, el alcance positivo no sólo sería en ámbitos de contaminación por desechos, sino que también en reducción de emisiones de CO_2 y consumo energético por todo lo que significa el procesamiento y traslado innecesario de material.

3 Datos publicados por The International Energy Agency en www.iea.org.

MADERA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

A pesar de los negativos efectos medioambientales de las actividades de construcción planteados anteriormente, la humanidad tiene que enfrentar la creciente necesidad de vivienda producto del aumento constante de población. Según la ONU[1], se espera que la población mundial aumente en 2.000 millones de personas en los próximos treinta años alcanzando los 9.700 millones en 2050. Más aún, las tasas de urbanización mundial de los últimos 50 años han aumentado exponencialmente, respecto a la cual estudios apuntan que en 1950 la población urbana representaba un 29,1% del total mundial y para 2030 este porcentaje se proyecta a un 60,8%[2]. En otras palabras, la construcción no puede desaparecer.

Desde la Revolución Industrial, los materiales de construcción más utilizados han sido el hormigón y el acero, pero su producción requiere enormes cantidades de energía, cuyo mayor porcentaje representan energías provenientes de combustibles fósiles. El carbono almacenado en estos combustibles durante millones de años es liberado al ambiente en forma de dióxido de carbono (CO2) contribuyendo a la crisis climática que enfrentamos en la actualidad. Para poder solucionar el problema de la demanda de vivienda sin aumentar los efectos de la crisis medioambiental es necesario empezar a construir con materiales más sustentables.

La madera es un material que mundialmente ha ganado terreno en el campo de la construcción. Su principal beneficio ecológico es lo que se conoce como "secuestro de carbono", proceso que inicia en la etapa de forestación cuando los árboles absorben dióxido de carbono durante su vida y lo almacenan por años. El gas no es liberado hasta que el árbol muere, sin embargo, cuando los árboles son tratados para producir madera, este carbono se mantiene almacenado al interior del material todo el tiempo que dure su estructura. Además, comparativamente con otros materiales, la

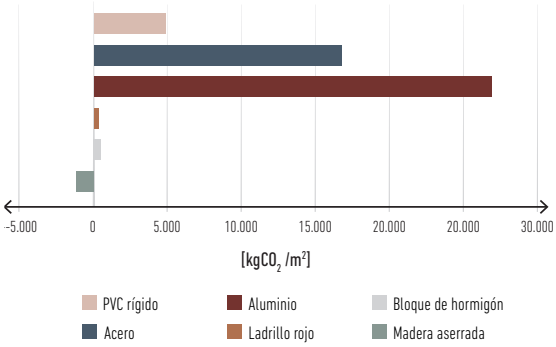


Figura 1.3: Comparación del CO2 producido por diferentes materiales (CO2 proceso – CO2 almacenado). Fuente: Elaboración propia a partir de "La reducción de la huella de carbono y el impacto ambiental de edificios nuevos", Tazmania Timber, CSAW / RTS, Reportes ambientales para materiales constructivos, 1998 – 2001 (CEI-Bois)

madera tiene muy poca energía incorporada porque la mayor parte de energía utilizada en su producción se consume durante su crecimiento natural a través de la fotosíntesis que utiliza energía solar (Dangel, 2016). De esta manera, la huella de carbono de la madera sería considerablemente baja o incluso negativa (ver figura 1.3). Si se industrializa de forma planificada y consciente el positivo impacto medioambiental de las plantaciones forestales es considerable porque los árboles en etapa de crecimiento tienen mayor capacidad para captar CO2 que los ejemplares maduros.

Otra ventaja considerable de la madera, es su potencial renovable, lo que significa que a diferencia de otros materiales naturales, la madera puede ser extraida y repuesta una y otra vez. En Chile, el 70% de las plantaciones forestales cuenta con acreditación de manejo sustentable (Certfor y/o FSC) lo que asegura que la tasa de plantación sea siempre mayor a la de cosecha[3].

Sin embargo, a pesar de que Chile hoy es uno de los diez mayores productores de madera en el mundo y de que el sector forestal constituye el segundo sector exportador de la economía chilena, menos del 15% de la construcción de viviendas a nivel nacional utiliza la madera como material principal[4], lo que contrasta con

1 Una Población en Crecimiento. (s.f). Temas y Campañas; Asuntos que nos Importan; Población. Naciones Unidas. https://www.un.org
2 Gutierrez Hurtado, Javier. (2010). La Urbanización del Mundo. Papeles: de Relaciones Ecosociales y Cambio Global. Nº 111 2010. pp: 41-55.
3 ¿Por qué Madera?. (s.f). Madera 21 de CORMA. https://www.madera21.cl/
4 ¿Por qué Madera?. (s.f). Madera 21 de CORMA. https://www.madera21.cl/

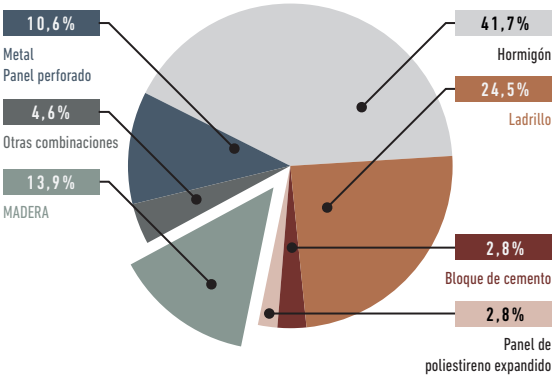


Figura 1.4: Porcentaje según material de construcción de vivienda en Chile. Fuente: Elaboración propia a Ministerio de la Vivienda.

las cifras de otros países líderes en materia forestal (ver figura 1.4 y 1.5). El recurso forestal en nuestro país, lo que incluye bosques nativos y plantaciones forestales, cubre el 23,7% de la superficie nacional lo que significa un total de 17,9 millones de hectáreas según estudios publicados por el INFOR en 2019[5]. A pesar de que la industria está consolidada en nuestro país, teniendo más de mil aserraderos a lo largo del territorio nacional, Chile cosecha cinco veces el volumen de madera que consume.

Podríamos pensar entonces, que las propiedades estructurales y mecánicas de la madera no son competitivas con otros materiales utilizados. Pero esto no es del todo cierto. Por ser un material poroso, la capacidad aislante de la madera es muy alta pudiendo aislar el calor hasta seis veces más que el ladrillo,

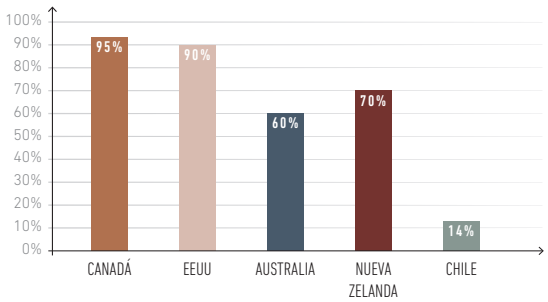


Figura 1.5: Porcentaje construcción de vivienda en madera. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de la Vivienda.

quince veces más que el hormigón y 400 veces más que el acero[6]. En otras palabras, un muro de espesor de 8 cm de CLT tiene un comportamiento térmico similar a uno de 100 cm de hormigón. Su porosidad también le confiere propiedades de aislamiento acústico. En cuanto a la resistencia al fuego, la mayor cualidad de la madera es que no colapsa rápidamente, como lo hace por ejemplo el acero, y su baja conductividad térmica hace que se queme lentamente conservando sus propiedades estructurales por más tiempo. Las construcciones en madera son flexibles y livianas, lo que las hace más resistentes a los sismos. Por último, la ligereza del material, la realización en seco de las faenas, la posibilidad de industrialización y de prefabricación de componentes y elementos hace que la construcción en madera sea considerablemente más rápida y económica. Se estima que la construcción en madera ahorra hasta un 15% de los costos totales de edificación[7].

A pesar de sus múltiples cualidades, el potencial de reducción de residuos de las construcciones en madera ha sido poco estudiado. En cuanto a la generación de residuos durante su proceso productivo es muy baja, efecto de un ciclo cerrado de producción. Los residuos y sobras que se generan al producir tablas y listones de madera aserrada, son procesados aprovechándolos para fabricar subproductos de madera como tableros de OSB, tableros MDF entre otros (ver figura 1.7). Pero su potencial reductivo en materia de desechos es aún mayor, ofreciendo la posibilidad de optimizar la construcción producto del dimensionamiento estándar industrializado de las piezas de madera a nivel internacional.

5 INFOR. (2019). Anuario Forestal. Boletín Estadístico N°168. Instituto Nacional Forestal. Santiago; Chile.

6 ¿Por qué Madera?. (s.f). Madera 21 de CORMA. https://www.madera21.cl/

7 ¿Por qué Madera?. (s.f). Madera 21 de CORMA. https://www.madera21.cl/

CICLO DE VIDA DE LA CONSTRUCCIÓN

En términos de sostenibilidad, el ciclo de vida de un producto se entiende como la secuencia de transformaciones de los materiales que conforman dicho producto. Gracias al estudio del ciclo de vida de un bien o servicio es posible entender su impacto medioambiental en materia de emisiones de CO2 y de generación de residuos por ejemplo. Este concepto deja en evidencia el paradigma actual de producción, el cual supone que una gran parte de la producción a nivel mundial se configura de forma lineal y no cíclica. Considerando que los recursos en el planeta son finitos, estos procesos deben organizarse de manera circular (ver figura 1.6).

El concepto de ciclo de vida ha sido acuñado en el campo de la construcción de manera similar que en la producción de bienes y servicios. Podemos identificar tres grandes etapas dentro de la vida útil de un edificio, sin importar su longevidad. En un primer lugar está la construcción que consiste en el proceso de edificación, y que incluye la prefabricación de elementos y componentes, el transporte material y por último el armado in-situ. La proporción de tiempo que represente cada uno de estos procesos dentro de la etapa constructiva va a depender del diseño, el material, el sistema constructivo y la localización del proyecto y de las industrias proveedoras. En el caso de la construcción en madera estos tiempos pueden variar, pero una de sus grandes ventajas competitivas como material constructivo es la posibilidad de sustituir la totalidad del proceso constructivo por un proceso de armado, prefabricando todas sus piezas industrialmente o in-situ. En segundo lugar está la etapa de mantención y uso, que normalmente es la más extensa. Su duración va a depender de factores internos como la resistencia de la estructura y la durabilidad material, y de factores externos, como el contexto urbano y la realidad socio política local, entre muchos otros. La edificación en madera puede verse afectada principalmente por agentes externos, pero las técnicas constructivas han sido desarrolladas de tal manera que con un buen diseño, este material puede ser eterno. La última etapa del ciclo de vida de un edificio es su desarmado, que puede ser a través de métodos de demolición o de desmontaje. La capacidad de armado de un edificio en madera dada por una condición de construcción con partes y piezas, provee la posibilidad de que este sea también desarmado, ampliando las oportunidades de reutilización y reciclaje material, cerrando el ciclo de vida de manera circular (ver figura 1.7).

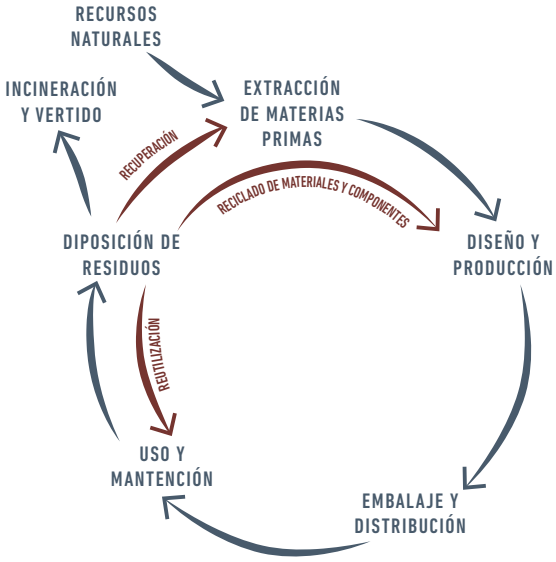


Figura 1.6: Diagrama de ciclo de vida de una construcción. Fuente: Elaboración propia a partir de tesis de grado de Cal Mouriño, A. (2017)

La lógica constructiva de la madera a partir de la unión de elementos y componentes, su fácil secuencia de armado, desarmado y transporte, y su posibilidad de optimización dimensional, nos indican un importante potencial reductivo como material de construcción pero que ha sido poco estudiado. Sumándole sus cualidades ecológicas descritas anteriormente la madera puede consolidarse como un material sustentable óptimo para la construcción enmarcada en la actual crisis medioambiental.

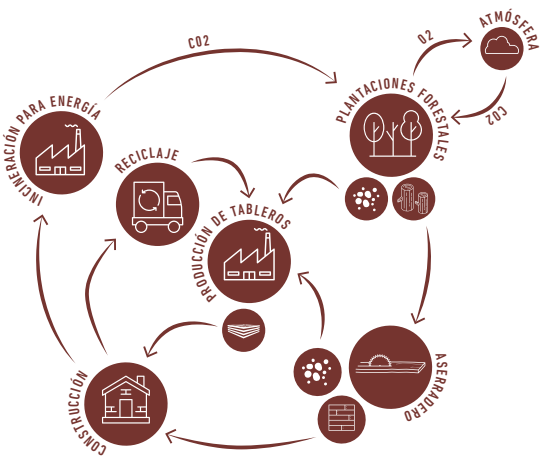


Figura 1.7: Ciclo de vida de la madera. Fuente: Elaboración propia a partir del libro Turning Point in Timber Construction de Ulrich Dengle (2016).

02. FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

PREGUNTA

¿De qué manera el diseño que planifique la flexibilidad y la deconstrucción total o parcial de la construcción en madera tiene un impacto directo en la generación de residuos en nuestra disciplina?

HIPÓTESIS Y SUPUESTOS

La utilización de un sistema constructivo que considere la independencia de sus capas y por tanto la posibilidad del desensamblado de partes o del total del edificio es fundamental para lograr una reducción considerable de residuos de construcción, uso y demolición. De esta manera se permitiría un intercambio de componentes y elementos con posible reutilización, que evitaría las pérdidas innecesarias de material.

Por sus métodos de construcción a partir de la unión de partes y piezas y su capacidad de prefabricación, los sistemas constructivos en madera son posibles de optimizar para reducir la generación de residuos de construcción por despuntes y desperdicio material. Además, la múltiple variedad de métodos de unión de sus elementos y componentes hace que algunas de ellas sean óptimas para el desensamblaje de sus partes con reducidos daños y pérdidas para una posterior reutilización o reciclaje. La independencia de las capas y componentes de este tipo de sistema facilita considerablemente su mantención, reparación y reemplazo de manera separada, sin perjudicar el resto de la construcción. Por último, el alto desarrollo de la industria forestal en Chile permite la utilización de materiales locales e incluso de la prefabricación, para reducir los esfuerzos de transporte material.

Se propone trabajar con la clasificación de capas de un edificio a partir de la longitud de vida útil de cada una que plantea en una primer instancia Stewart Brand[1] y luego reestructura el informe ARUP[2], planteando que las interferencias de los ciclos de vida suponen una de las causas de generación de residuos de construcción.

Sería posible entonces analizar la relación de dependencia entre capas y sus uniones a corto, mediano y largo plazo para entender su impacto en la generación de residuos en todas las etapas de una construcción en madera (ver figura 2.1).

"Sería posible entonces analizar la relación de dependencia entre capas y sus uniones a corto, mediano y largo plazo para entender su impacto en la generación de residuos en todas las etapas de una construcción en madera."

OBJETIVOS GENERALES

La investigación busca estudiar el impacto en materia de reducción de residuos que la eliminación de la etapa de demolición tiene a través de un sistema constructivo que trabaje con dos estrategias. La primera es la extensión de la vida útil, es decir, haciendo posible la adaptación y flexibilidad del edificio. La segunda, el diseño para la obsolescencia total o parcial, es decir, planificar la etapa final del edificio y/o de sus partes a través de procesos de desmantelamiento planificado para que la cantidad de residuos generados sea considerablemente menor o nula. Ambas estrategias apuntan a un sistema diseñado por capas independientes, que faciliten el desmontaje total o parcial del edificio para su mantención, reparación o deconstrucción.

De esta manera se desea estudiar el impacto que un sistema constructivo diseñado a partir de sus capas constructivas pueda tener en la minimización de la generación de residuos entendiendo la madera como un material óptimo para este propósito.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Entender el impacto que la optimización de los materiales de construcción - según las dimensiones estándar de mercado - puede tener en la generación de residuos de construcción aprovechando las oportunidades que ofrece la estandarización de la industria forestal. [Construcción]
2. Analizar el impacto que tiene cada capa constructiva de los diferentes sistemas en madera en cuanto a la generación de residuos por mantención, reparación y/o reemplazo de elementos y componentes. De esta manera entender la relación de los ciclos de vida de cada capa y el impacto que genera su desfase temporal. [Mantención]
3. Estudiar la variedad de uniones de piezas que ofrece la madera en relación con su durabilidad y posibilidad de desarmado entendiendo su importancia en la reducción de residuos al permitir la eliminación de la etapa de demolición. [Demolición]
4. Interpretar el análisis anterior para traducirlo en consideraciones de diseño aplicables en la disciplina de la arquitectura y comprobar su funcionamiento. [Diseño y Montaje]
5. Entender el potencial que tiene el uso de materiales e industrias locales y/o la prefabricación de elementos y componentes de construcción en cuanto a los esfuerzos de traslado de material y residuos en base a un ejercicio proyectual. Además de poner a prueba las estrategias de diseño que se deducen del análisis de los puntos anteriores en un caso real. [Transporte]

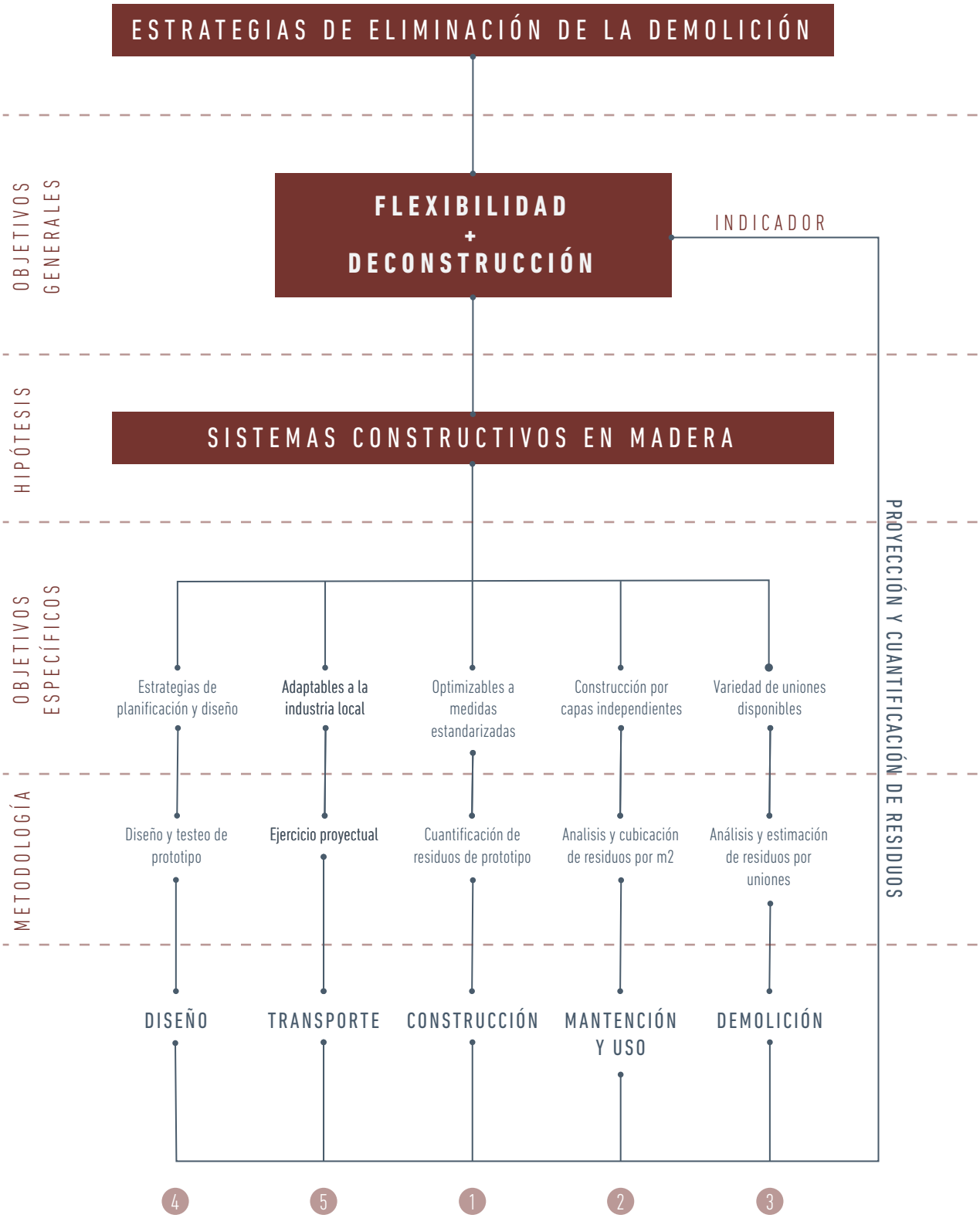
1 Brand, Steward (1994). How Buildings Learn: What Happens After they are Built. Penguin Books. New York; USA.
2 ARUP (2016). The Circular Economy in the Built Environment. London; UK.

METODOLOGÍA

La investigación contempla el estudio de las posibilidades que ofrecen los distintos tipos de construcción en madera, enfatizando en los tres sistemas constructivos principales: el entramado ligero (armazón), el de madera maciza (CLT) y el entramado pesado (poste-viga), a partir de un modelo base definido según ciertos parámetros específicos. Se abordó la investigación de la siguiente manera:

1. Se definió un modelo base en madera para cubicar el material utilizado y el material residual. Luego se optimizó dicho modelo según las dimensiones estándar de la industria nacional, comparando la cantidad de residuos generada al incluir la temática como problema de diseño. [Construcción]
2. Se estudió la relación entre las diferentes capas constructivas de los sistemas en madera y sus ciclos de vida, para entender su influencia en la generación de residuos a largo plazo. Para esto, se modelaron y cubicaron tres detalles constructivos, a partir de los cuales se proyectó la generación de residuos de cada capa a 30 años plazo. [Mantención]
3. Se estudiaron las distintas posibilidades de uniones entre elementos y componentes que ofrece la madera para entender cuáles trabajan mejor al momento de deconstrucción. Para esto se estimó la influencia de la durabilidad material y la posibilidad de desarmado de la unión, para poder calcular la producción de residuos en la etapa final del edificio para los detalles estudiados en la etapa anterior. [Demolición]
4. A partir de las conclusiones del estudio anterior se diseñó y testeó un prototipo de envolvente que permitió estudiar la secuencia de armado de componentes, incluyendo el transporte y sus requerimientos, y la mano de obra y herramientas requeridas en obra. [Diseño y Montaje]
5. Utilizando el prototipo propuesto en la etapa anterior, se diseñó un proyecto en un contexto real para entender las oportunidades y problemáticas que el diseño ofrecía. Además se estudió la importancia de la consideración de la industria local en cuanto a los esfuerzos de transporte de la construcción. [Transporte]

Como muestra la figura 2.1, se realizó un análisis de las etapas de construcción, uso y demolición en base a los temas mencionados en la propuesta de investigación, para poder a partir de sus conclusiones plantear estrategias y métodos de diseño (ver números en la parte inferior del diagrama). El ejercicio proyectual mencionado en el punto cinco estudia los esfuerzos de transporte, pero también la totalidad de consideraciones de diseño que se deducen de la investigación completa, pudiendo dilucidar nuevas problemáticas y oportunidades. De esta forma se proyectó un sistema que pone a prueba las discusiones propuestas por la investigación incorporando las problemáticas que incluye proyectar en un contexto real.



* Los números indican la secuencia cronológica en la que se cumplieron los objetivos específicos y sus respectivas metodologías.

Figura 2.1: Diagrama de investigación propuesta. Fuente: Elaboración propia.

03. ESTUDIO DE CAPAS CONSTRUCTIVAS

Figura 3.1: Estudios capas constructivas de un edificio. Fuente: Elaboración propia a partir del libro Shared Layers de Stewart Brand y del informe ARUP 2016.

Para poder estudiar el impacto que tiene el diseño y construcción de un edificio por capas constructivas primero es necesario definir este concepto. Con los avances tecnológicos de la modernidad, la disciplina de la arquitectura sufrió un cambio sustancial al inventarse nuevos materiales constructivos con cualidades estéticas, estructurales y funcionales nunca vistas. La creciente construcción con acero y hormigón desarrolló el modelo de planta libre, que entendía la estructura como un elemento independiente del diseño de los espacios interiores. La invención del aire acondicionado, de la calefacción central, de los sistemas de climatización y el desarrollo de mejorados sistemas de alcantarillado y agua potable, introdujeron al edificio una nueva realidad de instalaciones necesarias para su correcto funcionamiento. Por último, la incorporación del concepto de confort higrotérmico de los espacios creó toda una nueva problemática de hermeticidad de la fachada construida que desarrolló altos estándares de construcción y materiales que debían cumplir con ellos. La arquitectura se transformó en un juego de partes y piezas a combinar, situados en diferentes planos de la construcción.

Diferentes autores plantean que todas estas partes de un edificio tienen longitudes de vida distintas, por lo que requieren de una mantención, reparación y recambio en diferentes

momentos a lo largo de la vida útil del edificio. Así surge el concepto de *shared layers* estudiado por primera vez en 1994 por Stewart Brand a partir de la estrategia comercial del estudio británico DEGW. Frank Duffy, uno de sus cofundadores, planteaba que no existe tal cosa como el edificio como un todo, sino que este es una serie de capas de componentes construidos de diferente longevidad, definiendo cuatro grupos. De esta forma, el estudio planteaba la creación de una relación a largo plazo con el cliente, entendiendo que "*el tiempo es la esencia del problema de diseño real*"[1]. Stewart Brand, estudia y expande este concepto, definiendo seis capas constructivas que el denomina las "6 s":

1. **SITE / SITIO:** es el entorno geográfico, la ubicación urbana y los límites legales del sitio.
   El sitio es eterno.
2. **STRUCTURE / ESTRUCTURA:** es el esqueleto del edificio incluyendo las fundaciones y los elementos que soportan las cargas.
   La estructura puede durar entre 30 y 300 años, pero pocos edificios pasan los 60 años por razones externas.
3. **SKIN / ENVOLVENTE:** es la fachada y las superficies exteriores.
   La envolvente cambia cada 20 años aprox. para mantenerse al día con las tendencias estéticas y las nuevas tecnologías.
4. **SERVICES / INSTALACIONES:** son las cañerías, cables, sistemas de energía y calefacción, entre otros.
   Las instalaciones se desgastan o quedan obsoletas entre los 7 y 15 años.
5. **SPACE PLAN / CONFIGURACIÓN INTERIOR:** es el equipamiento interno sólido que incluye tabiques, puertas, pisos y cielos y su distribución interior.
   La configuración interior cambia de acuerdo con el uso, normalmente dura 3 años, pero en viviendas puede durar hasta 30 años [2].
6. **STUFF / MOBILIARIO:** es el resto del equipamiento interno móvil, incluidos los muebles y la iluminación.
   Varía anual, mensual y hasta diariamente.

Ambos arquitectos, Duffy y Brand, plantean el estudio del comportamiento de las capas de un edificio desde un análisis económico, asegurando que lo que la mayoría de las personas consideran el precio de una construcción, podría llegar a ser hasta la tercera parte del total de costos que producirá el edificio a largo plazo. En 2016, ARUP[3] publicó un informe sobre el proceso de transición a la economía circular del entorno construido, donde utiliza el concepto de las capas constructivas adaptando el modelo de Brand e incluyendo una nueva capa: los sistemas (ver figura 3.1):

7. **SYSTEMS / SISTEMAS:** incluye la infraestructura y servicios públicos que facilitan el funcionamiento general del edificio como carreteras, electricidad, agua, entre otros.

Desde entonces, una variedad de autores y profesionales han estudiado y discutido la temática del ciclo de vida de las capas de un edificio definiendo ciertos ciclos (ver figura 3.2). Es posible analizar cómo se relacionan estos ciclos y el alcance de sus interferencias en el impacto ambiental de la construcción total.

1 Brand, Stewart (1994). How Buildings Learn: What Happens After they are Built. pp: 13. Penguin Books. New York; USA. Traducción propia. Cita completa en inglés: "The unit of analysis for us isn´t the building, it's the use of the building through time. Time is the essence of the real design problem."

2 Para efectos del estudio esta capa se identificará como revestimientos, haciendo referencia a los espacios interiores. El revestimiento exterior será considerado siempre como capa de envolvente, a pesar del alcance de nombre debido a su traducción al español.

3 ARUP (2016). The Circular Economy in the Built Environment. London; UK.

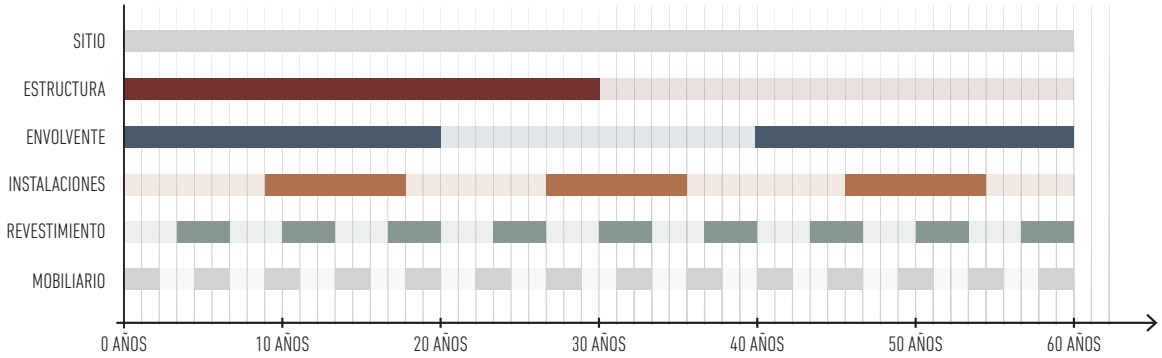


Figura 3.2: Ciclos de vida útil de las capas constructivas. Fuente: Elaboración propia a partir del libro Shared Layers de Stewart Bran (1994).

CONSTRUCCIÓN EN MADERA

Históricamente la construcción en madera se ha realizado a partir de la unión partes y piezas de tamaños a una escala humana. Esto se debe a la antigüedad de la tradición constructiva en madera, porque no existían las tecnologías para trasladar, sostener y unir piezas de mayor tamaño, pero también es producto de la morfología natural del material. Si bien en la actualidad se han desarrollado una amplia variedad de técnicas para aumentar el volumen de las piezas de madera, las dimensiones de la madera pura, o madera aserrada, van a responder directamente al tamaño de los árboles y de las capacidades de la industria.

La diferencia dentro de las propiedades de la madera son tan amplias como la variedad de especies de árboles que existen, sin embargo, existen clasificaciones para facilitar su estudio y reconocimiento. La clasificación más amplia distingue entre maderas coníferas y maderas frondosas. Las primeras de rápido crecimiento, anillos anchos y blandas a la hora de su utilización, lo que las hace más económicas, mientras que las segundas provienen de árboles de crecimiento lento, con anillos estrechos que proporcionan una mayor dureza material, lo que las hace más duraderas y costosas. Además de la madera aserrada, existen una serie de productos de construcción de madera, entre los que encontramos los tableros aglomerados de fibras de densidad media (MDF), los tableros de partículas, los tableros contrachapados, entre otros.

Ya sea madera laminada, madera aserrada o un subproducto de la madera, no hay que dejar de lado que los elementos y estructuras de este material requieren de un cuidado especial, particularmente de agentes abióticos como el sol y la lluvia, que si son controlados pueden evitar la aparición de agentes bióticos, como insectos y hongos.. Es ahí donde Bancalari[1] encuentra un potencial específico de los sistemas constructivos en madera, ya que se estructuran en capas clasificables en tres, según la autora, de acuerdo con sus niveles de protección: elementos completamente protegidos, elementos extensamente protegidos y elementos no protegidos. Cada una de estas capas debe ser construida de manera independiente, porque todos los elementos y componentes del sistema tienen una duración de vida útil diferente. De esta forma, los elementos deteriorados pueden ser renovados por partes si es necesario, sin interferir con el funcionamiento total de la construcción o parcial de alguna de los demás componentes. La configuración de las estructuras en madera a partir de partes y piezas hace aún más sentido si las pensamos como construcciones por capas que responden a la necesidad de protección.

En sus "Doce buenos motivos para construir en madera" Miguel Hanono[2] asegura que una de las grandes cualidades de la madera son sus simples

1 Bancalari Cornejo, A. (2004). Protección Por Diseño en Puentes de Madera. Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bio Bio.

2 Hanono, M. (2001). Construcción en Madera. CIMA. Bariloche, Argentina.

métodos de construcción, que permiten la facilidad para trabajar con las instalaciones, sin la necesidad de picar, romper o incorporarlas de forma previa a la estructura. Además, reconoce como otro de sus atributos las sencillas posibilidades de modificación y ampliación y, por último, la recuperación material que puede ser total o parcial, reutilizando elementos completos en otras construcciones o reciclándolos para crear subproductos. Esto se debe en parte a la larga tradición de construcción en madera que tiene cientos de años de perfeccionamiento y desarrollo, y también a la lógica constructiva detrás de los sistemas que, como mencionamos anteriormente, se configura a través de capas formadas por partes y piezas.

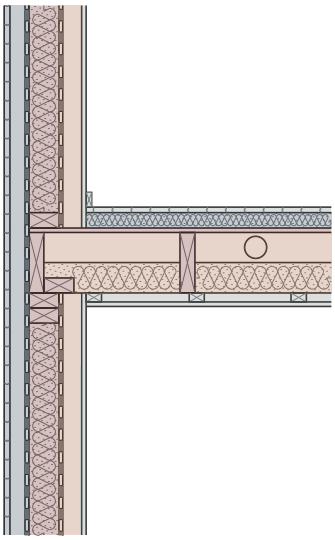
Existen diversos métodos de clasificación y estudio de los sistemas constructivos en madera, pero para efectos de esta investigación se catalogarán en tres:

1. **ENTRAMADOS LIGEROS:** consiste en una trama de elementos lineales de pequeña escuadría en madera situados a pequeñas distancias unos de otros (menos de 1 mts) y arriostrados de diferentes formas (riostras, tableros, etc). Esta estructura se da en muros, forjados y cubiertas, y el tipo de unión y disposición de estos componentes genera diferentes sub-categorías con cualidades y características propias (entramado tradicional, balloon-frame, marco-plataforma, entre otras).
2. **MADERA MACIZA:** consiste en la adición de bloques de madera creando elementos sólidos (de forma similar a la mampostería). El método tradicional era la utilización de rollizos de madera en muros que estaba siendo olvidado por su poca eficiencia estructural y material. Con el desarrollo del CLT (cross laminated timber), el sistema de madera maciza se ha popularizado por la posibilidad de construcción a gran escala producto de su alta capacidad resistente.
3. **ENTRAMADOS PESADOS:** consiste en una trama de elementos lineales de madera aserrada o laminada de gran escuadría, cuya estabilidad depende de las uniones entre elementos y/o de su arriostramiento. Los elementos de madera en este caso sólo forman la estructura, por lo que el cerramiento debe completarse con otros materiales.

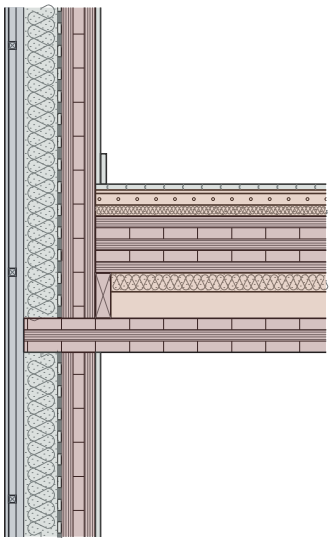
CAPAS CONSTRUCTIVAS EN MADERA

Para entender el funcionamiento y la relación entre las capas constructivas de un edificio es necesario estudiar el detalle de cada componente (muros, forjados y cubiertas). La manera óptima de representación para entender el paquete constructivo completo en este caso es la sección transversal y el área más rica en información sería el nudo o unión entre dos de estos componentes. A continuación se muestra el estudio de capas realizado para los tres sistemas constructivos estudiados. Ahora bien, reducir la clasificación de los sistemas constructivos en madera a sólo tres resulta una simplificación de la amplia gama de posibilidades que este material nos ofrece, porque dentro de cada una de estas categorías existen subdivisiones con características específicas. Con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de tipologías de construcción en madera, se estudiaron tres posibilidades dentro de cada categoría (ver figura 3.3).

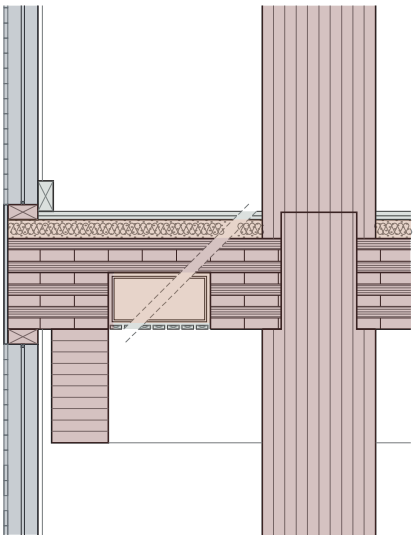
La figura 3.4 muestra los esquemas en abstracto de los nueve casos estudiados separados en forjados de piso intermedios (fila superior) y muros exteriores (fila inferior). Estos esquemas simplifican al máximo la relación entre las capas constructivas de cada detalle, asignándoles a cada una un color, y a partir de ellos se puede inferir ciertas conclusiones. Es importante destacar, que los esquemas mantienen las proporciones originales de los detalles en el sentido transversal del elemento (eje vertical del diagrama), pero no en el sentido longitudinal (eje horizontal del diagrama), porque lo que se quiere estudiar es la accesibilidad a las capas (en el detalle constructivo 2.3 por ejemplo, el área de instalaciones no necesariamente



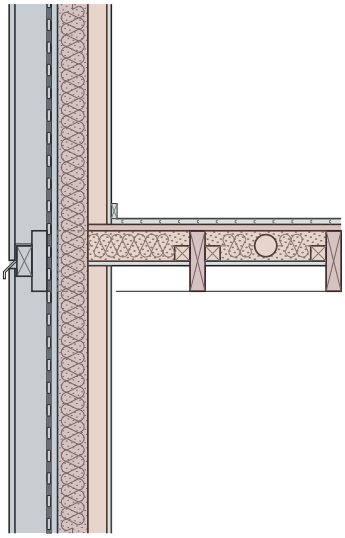
Detalle Constructivo 1.1
[esc. 1:20]



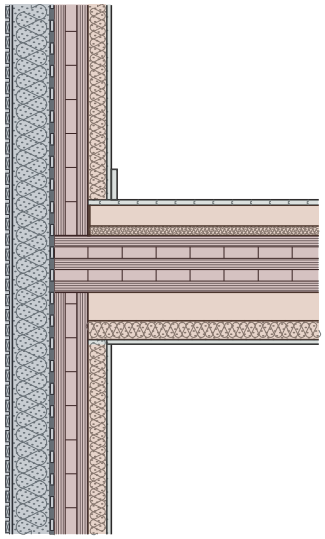
Detalle Constructivo 2.1
[esc. 1:20]



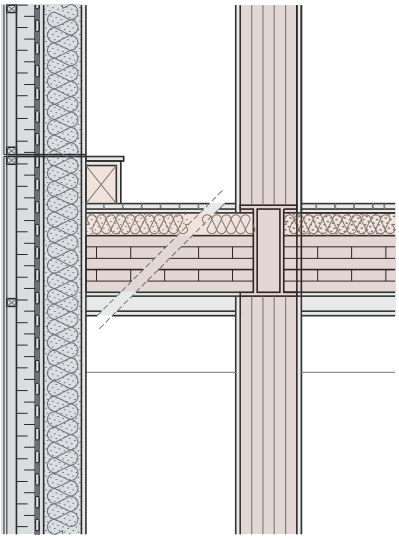
Detalle Constructivo 3.1
[esc. 1:20]



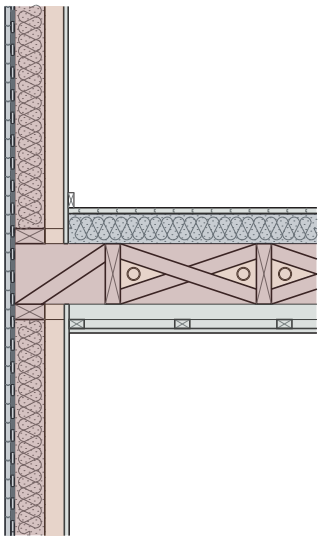
Detalle Constructivo 1.2
[esc. 1:20]



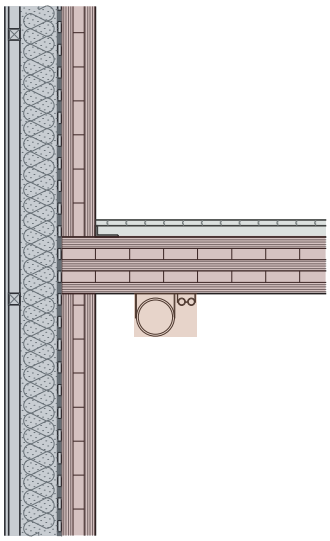
Detalle Constructivo 2.2
[esc. 1:20]



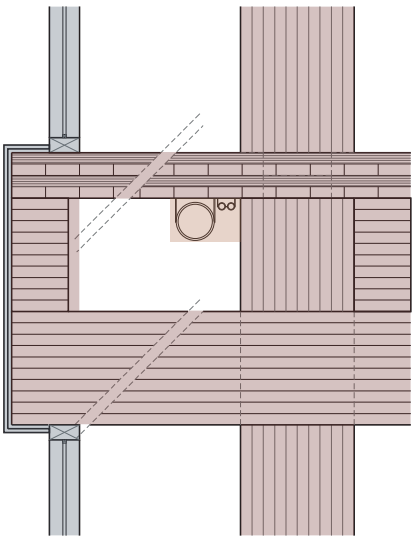
Detalle Constructivo 3.2
[esc. 1:20]



Detalle Constructivo 1.3
[esc. 1:20]



Detalle Constructivo 2.3
[esc. 1:20]



Detalle Constructivo 3.3
[esc. 1:20]

Envolvente Estructura Instalaciones Revestimiento

Figura 3.3: Detalle constructivo de suelo y muro por sistema constructivo estudiado. Fuente: Elaboración propia.

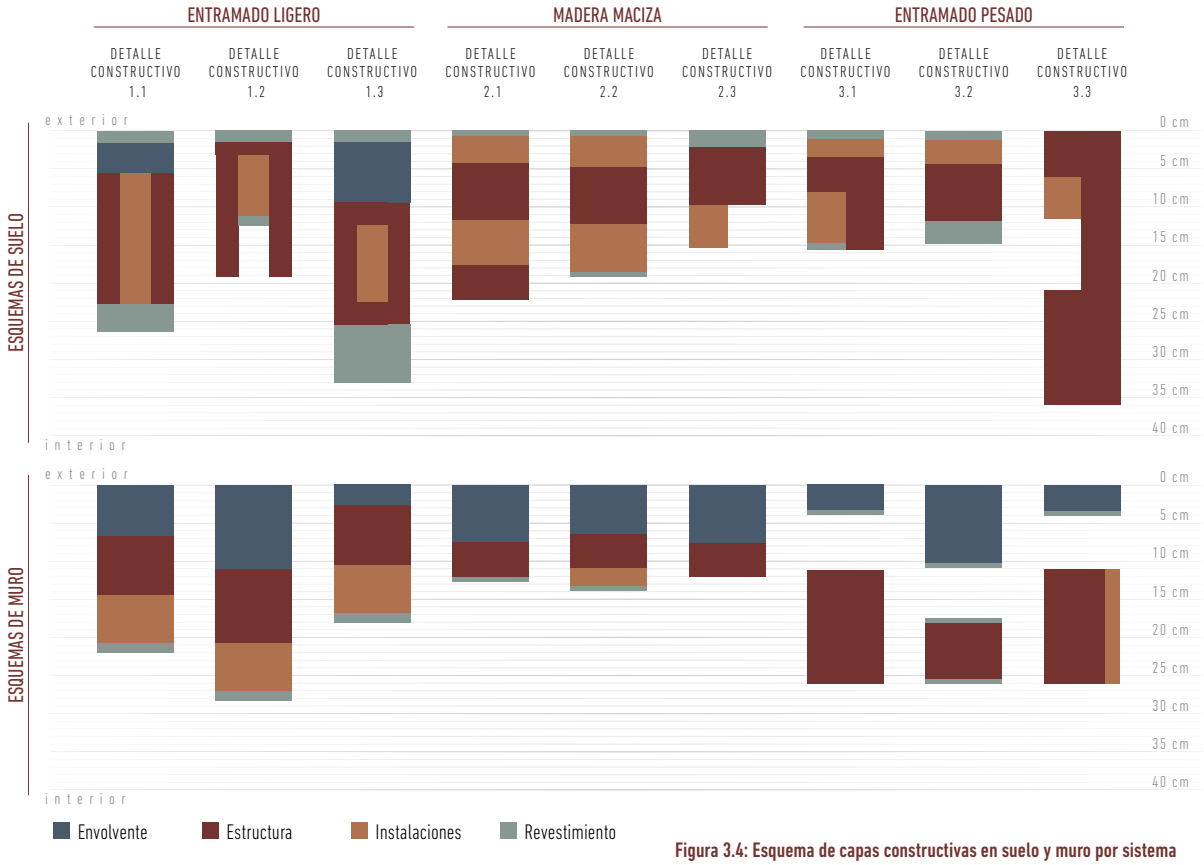


Figura 3.4: Esquema de capas constructivas en suelo y muro por sistema constructivo estudiado. Fuente: Elaboración propia.

tiene ese ancho, pero el esquema muestra que no es una capa constante. Lo mismo ocurre con los detalles de suelo de entramado de madera, donde no todos los elementos estructurales son continuos, pero su distancia es mayor a la mostrada en el esquema).

A simple vista, notamos que la madera maciza supone una relación lineal de capas, tipo sándwich, lo que se debe a la morfología planar de sus piezas claves. A diferencia de los entramados, donde los esquemas muestran una relación de capas en ambos sentidos, transversal y longitudinal. Por otro lado, podemos reconocer que las estructuras que soportan las cargas verticales en el entramado pesado se encuentran separadas de la envolvente, dándole mayor independencia a ambas capas. De cierta forma, los esquemas muestran unos patrones de comportamiento de las capas, condicionados por su funcionamiento estructural y la morfología de las piezas de su estructura, que revelan los diferentes niveles de accesibilidad a cada capa, característica clave para efectos de este estudio.

Los esquemas abstractos nos ayudan a realizar un análisis general del funcionamiento de las capas en cada detalle constructivo. Notamos que los esquemas de entramado ligero son los menos accesibles, entendiendo que pueden haber variaciones. Por la forma lineal de sus elementos estructurales y su pequeña escuadría, los entramados ligeros suelen aprovechar los espacios entre piezas para situar ahí instalaciones o parte de la envolvente, que luego es necesario cubrir. Esto optimiza el espacio haciendo los paquetes constructivos más pequeños, pero más compactos y menos accesibles, aislando algunas capas. La madera maciza por su parte condiciona la relación de las capas constructivas en un sentido lineal, pero la cualidad estética y resistente de su pieza estructural produce que no siempre sea necesario utilizar revestimientos interiores. Por último, notamos ambos patrones de comportamiento en los esquemas de entramado pesado, lo que nos demuestra que es un sistema constructivo adaptable, y que la simpleza de sus elementos estructurales permite diferentes combinaciones.

04. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A PARTIR DE CAPAS

Entendiendo el concepto de ciclo de vida de una construcción desprendido de los análisis de ciclo de vida de los productos, la idea de las capas constructivas propuesta por Brand y replanteada posteriormente por ARUP, y por último, la lógica constructiva a partir de capas independientes detrás de la tradición de edificación en madera, podemos realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del comportamiento de las estructuras de madera a lo largo del tiempo, específicamente en relación a su generación de residuos. En este capítulo se estudian las tres etapas de la vida útil de un edificio: construcción, mantención y uso y desarmado cuantificando la generación de residuos producidos en cada etapa. Esto se realiza cruzando la información de los ciclos de vida de las diferentes capas constructivas con la metodología y procesos constructivos en madera.

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente, la madera como material de construcción posee una gran cantidad de cualidades sustentables en cuanto a emisiones de carbono y procesos productivos. Ahora bien, los residuos de construcción son un problema a gran escala en Chile y la construcción en madera no está exenta de esta problemática. Durante la etapa de diseño proyectual, normalmente se tiene presente el material constructivo que se utilizará para diseñar de acuerdo con sus restricciones estructurales. Pero al utilizar un material como la madera, donde los métodos de fabricación y los procesos productivos generan piezas estandarizadas también es necesario tener presente el material a utilizar para el dimensionamiento del proyecto. De esta manera, se estarían evitando desperdicios materiales por despuntes y sobras, que en el mejor de los casos, serán *downcycled*[1]. En esta primera etapa se estudiará el impacto en la generación de residuos de construcción que tiene el diseño optimizado de acuerdo con las medidas estándares de la industria forestal.

Para estudiar la generación de residuos en la etapa de construcción se determinó un modelo base y simple que pudiera ser cubicado. Para definirlo, se establecieron ciertos parámetros básicos que debiera cumplir en un contexto específico: un parque nacional en el sur de Chile. En primer lugar se establecieron las medidas del modelo, teniendo en mente los posibles usos que pudiera abarcar y entendiendo los requerimientos formales que el clima del sur de Chile impone (ver figuras 4.1 y 4.2).

Se utilizaron las siguientes estrategias generales de diseño:

1 Downcyclyng es el proceso de reciclaje de residuos donde el nuevo material reciclado tiene funcionalidad y calidad más baja que el material original.

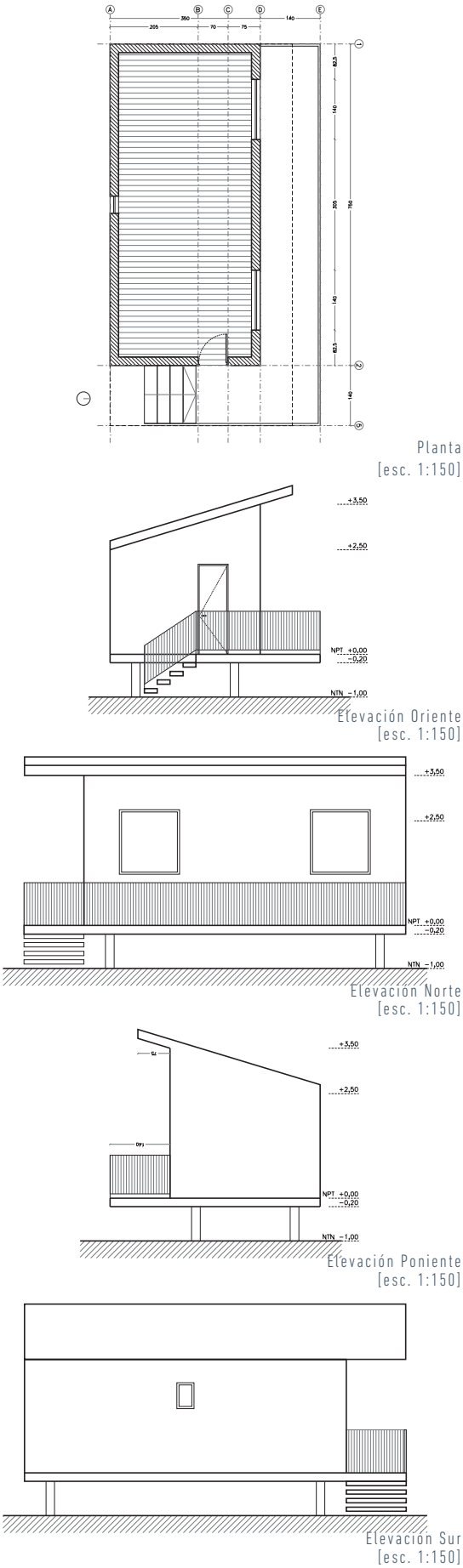


Figura 4.1: Planimetría modelo base. Fuente: Elaboración propia.

1. Maximizar la exposición solar directa en invierno: ventanas al norte.
2. Sombrear completamente en verano: alero al norte.
3. Evitar ventanas oriente-poniente por ser difíciles de sombrear.
4. Inclinar el techo para proteger del viento y evitar acumulación de agua y nieve: mínimo 20° según vientos predominantes.
5. Altura de techo considerable para evitar la acumulación de humedad y mantener el calor: 3,5 mts.
6. Entrada por la fachada más protegida del viento: puerta al oriente.
7. Espacio exterior protegido de la lluvia al oriente: alero ancho.

Además, se considera la elevación de la construcción completa un mínimo de 80 cm del suelo para alejar la madera de la humedad del suelo y la vegetación.

Luego, se comprobó que los posibles usos de este espacio pudieran ser albergados en estas dimensiones. Se proponen cinco opciones: habitáculo + administración, baños públicos, recepción + baños, comedor común y un establo que se muestran en la figura 4.2.

Como última medida para definir por completo el modelo base, se realizó un análisis de la trayectoria solar para el modelo base ubicado en el sur de Chile, específicamente en la región de Los Lagos, comprobando que las estrategias generales de diseño funcionan. Se estudió la incidencia de luz solar directa durante el día de solsticio de verano, solsticio de invierno y el equinoccio durante las horas de salida del sol, mediodía y puesta de sol. Como muestra la figura 4.3, las estrategias de protección solar son efectivas, porque el interior recibe luz solar directa durante los meses de bajas temperaturas, y es protegido por los aleros durante los meses de altas temperaturas.

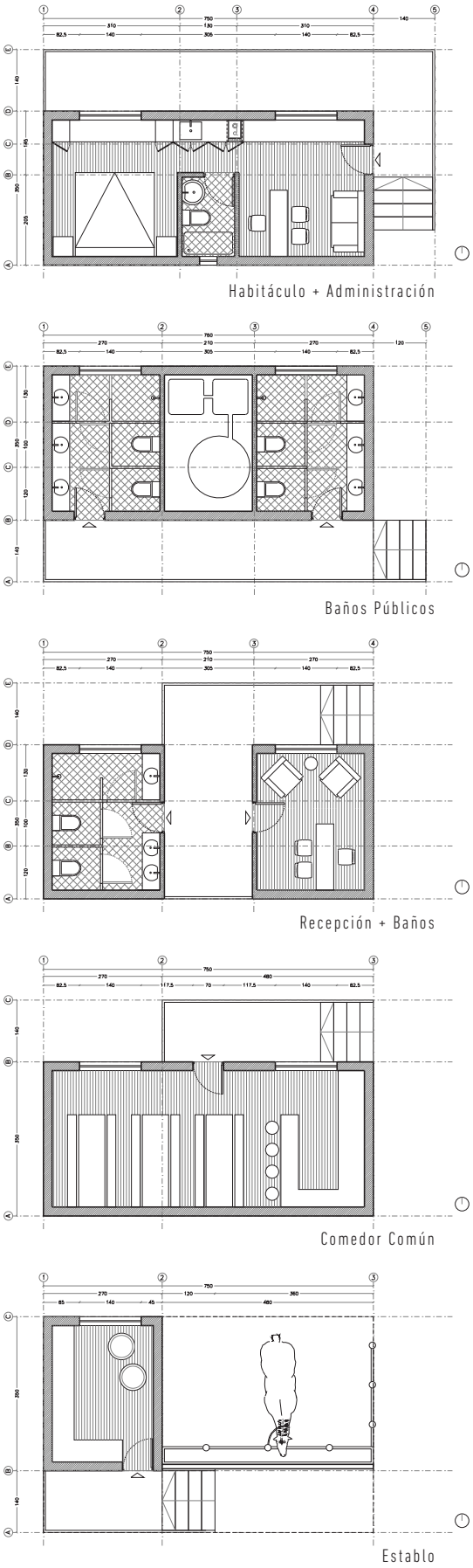


Figura 4.2: Plantas de posibles usos modelo base. Fuente: Elaboración propia.

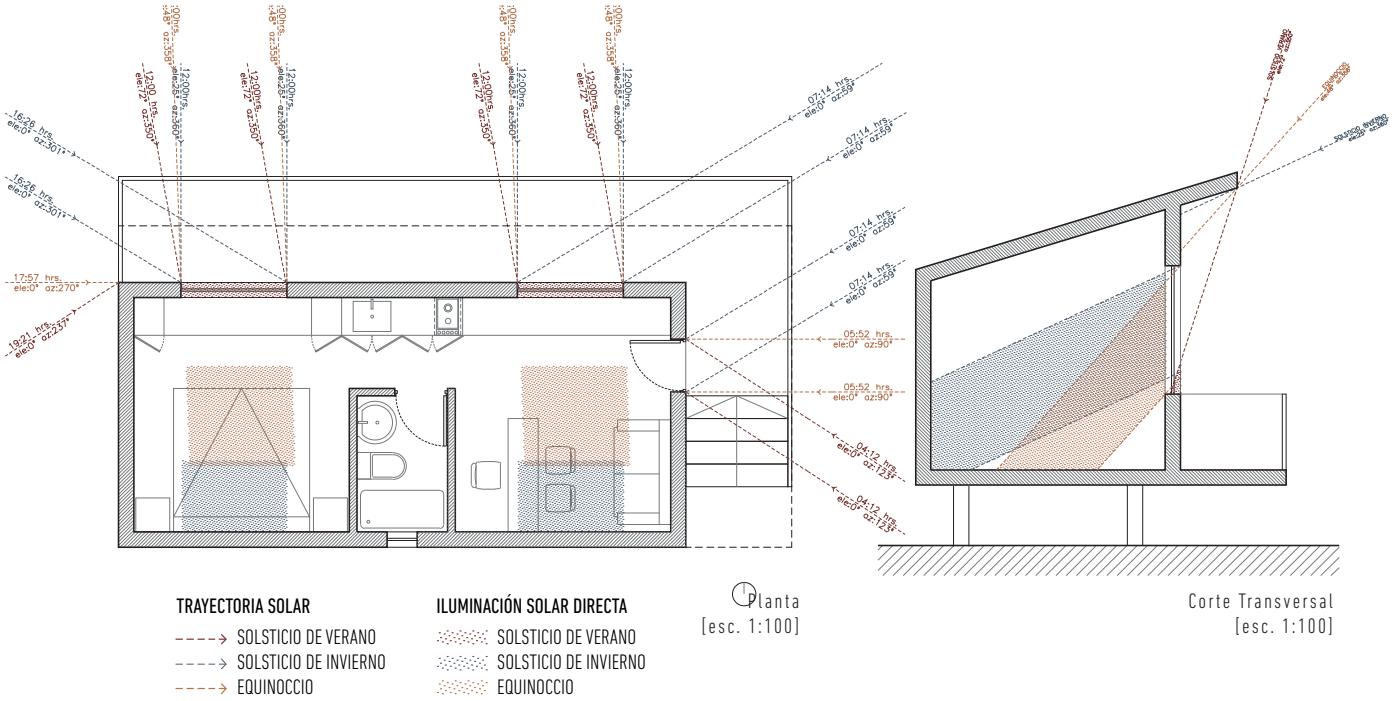


Figura 4.3: Análisis solar del modelo base. Fuente: Elaboración propia.

Habiendo definido el modelo base se comenzó la fase de cubicación material, la que se dividió en material adquirido, material utilizado y la diferencia que sería el material residual. No se distinguen entre materiales con posible reutilización o reciclaje ni tampoco se incluyen los residuos de empaque. Los resultados se clasifican según las capas, para un paquete constructivo que contempla (de interior a exterior): un panel de yeso cartón de 10 mm como revestimiento interior, un espacio de 64 mm para todo tipo de instalaciones, una capa de CLT de 90 mm estructurante, un aislante de 90 mm soportado por listones verticales y un machihembrado horizontal ventilado sobre listones de madera como envolvente exterior. El forjado y la cubierta además de estructurarse sobre el panel de CLT incorporan un envigado de forma transversal. En una segunda fase, este modelo base es modelado adaptando sus dimensiones a las medidas estándares de la industria, para luego ser cubicado de acuerdo con los mismos criterios que en el primer caso.

Antes de analizar los resultados obtenidos es necesario especificar ciertos parámetros utilizados por el estudio. El CLT como material industrializado, se produce sin medidas estándares para su largo y su ancho, restringiendo la construcción por sus medidas máximas que van a depender del productor, y se encuentran alrededor de los 3 metros de ancho y los 20 metros de largo. El espesor del panel está condicionado por la cantidad de capas cuyas dimensiones se encuentran entre los 20 y los 40 mm. Debido a esta flexibilidad dimensional del CLT, se decide optimizar el modelo base de acuerdo con sus elementos constructivos de madera aserrada. El ejercicio se realizó una vez y de manera lineal-secuencial, es decir, a medida que se iban utilizando los elementos según la secuencia constructiva las dimensiones totales variaban para adecuarse a las medidas industriales. La cubicación se realizó haciendo la distinción por capa constructiva y los porcentajes de residuos que se muestran en los resultados corresponden a la porción de residuos del total de material utilizado por capa. Para la capa de instalaciones no se cubicaron los residuos propios de los sistemas porque dependen de diversos factores externos, sino más bien los elementos de soporte. Los resultados obtenidos de la cubicación del modelo base y el modelo optimizado se muestran en la tabla de la figura 4.4.

El gráfico de la figura 4.5 evidencia la disminución del material desperdiciado en todas

	MODELO BASE				MODELO OPTIMIZADO			
	Material Adquirido (m^3)	Material Utilizado (m^3)	Material Residual (m^3)	Porcentaje (%)	Material Adquirido (m^3)	Material Utilizado (m^3)	Material Residual (m^3)	Porcentaje (%)
ESTRUCTURA	13,4531	3,3070	0,1460	2	9,4313	9,3500	0,0813	1
INSTALACIONES	2,9071	1,8423	1,0647	37	0,1344	0,1228	0,0099	7
REVESTIMIENTO	0,8640	0,7749	0,1285	15	0,8928	0,8142	0,1174	7
ENVOLVENTE	10,9295	8,6732	2,2563	21	12,6402	10,6367	2,3086	18
TOTAL	28,1536	24,5974	3,6171		23,0986	21,2674	2,5171	

Figura 4.4: Tabla resultados cubicación modelos. Fuente: Elaboración propia.

las capas constructivas con un ejercicio simple de optimización dimensional. En algunos casos la diferencia es mayor, como en las instalaciones, lo que puede deberse a la condición lineal-secuencial del ejercicio. De realizarse repetidas veces, las diferencias podrían ser aún mayores.

Es necesario aclarar, que el gráfico 4.5 muestra el porcentaje que representan el material residual dentro del total de material adquirido por capa. Esto significa que el gráfico muestra que la capa de instalaciones tiene un mayor porcentaje de residuos y una mayor disminución de este luego de realizarse la optimización, pero no que la cantidad de residuos medida en metros cúbicos sea mayor que el resto de las capas. En otras palabras, el gráfico muestra la proporción de residuos que genera cada capa respecto a sí misma. La figura 4.6 muestra el porcentaje de residuos de cada capa respecto del total de residuos generados por modelo. Estos proveen una comparación del impacto que cada una de estas capas tiene en la generación total de residuos.

Es evidente que la capa que representa una mayor proporción dentro de los residuos totales generados en ambos modelos es la de envolvente, y a pesar de que su porcentaje de generación de residuos disminuyó en un 3% al ser optimizado el modelo (ver gráfico 4.5), comparativamente su proporción de responsabilidad frente al total de residuos aumentó luego de ser optimizados. Esto se podría deber a que la envolvente fue la última capa en ser optimizada, por la metodología secuencial utilizada en el ejercicio, y por ende, la que presentaba una mayor cantidad de restricciones (porque el resto ya estarían construidas). Nuevamente, es necesario plantearse lo que sucedería al realizarse repetidas veces el proceso.

El análisis anterior pone en evidencia que la metodología de optimización secuencial no es la mejor si no se realiza repetidas veces y cabe cuestionarse qué capa sería más importante de optimizar. Los gráficos de la figura 4.7 muestran la porción de volumen material que representa cada capa del total de la construcción, siendo en ambos una gran mayoría la estructura y la envolvente. Considerando que el modelo base se realizó en CLT, material que no necesita optimización y contrastando estos gráficos con el de la figura 4.6,

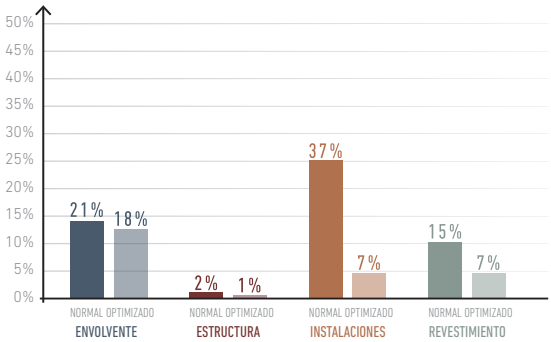


Figura 4.5: Gráfico de porcentajes de generación de residuos por capa del total de cada capa. Fuente: Elaboración propia.

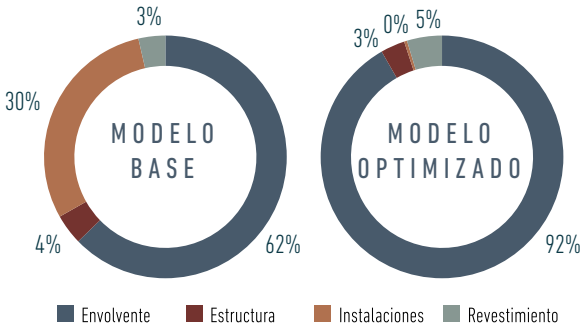


Figura 4.6: Gráficos de porcentajes de generación de residuos por capa del total general. Fuente: Elaboración propia.

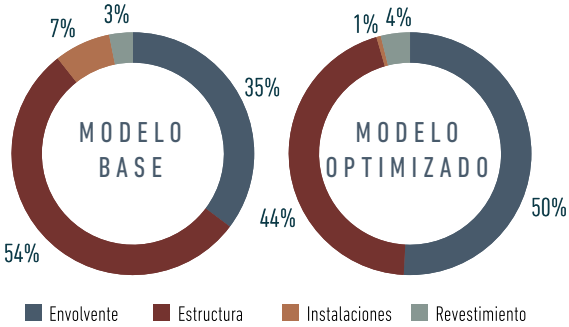


Figura 4.7: Gráficos de porcentajes de material utilizado por capa del total construido. Fuente: Elaboración propia.

por el contrario de lo que podría suponerse, sería pertinente afirmar que optimizar la estructura no es una buena estrategia por tener una tasa de generación de residuos baja. Ahora bien, la envolvente tiene una tasa de residuos bastante alta y representa una fracción mayor del total construido, por lo que en cantidad sería la mayor responsable de la generación de residuos en ambos casos (lo que muestra la tabla de la figura 4.4).

Por último, entendiendo que el análisis se realiza desde la disciplina de la arquitectura, es necesario observar ambos casos modelados para estudiar los cambios espaciales y dimensionales que el ejercicio anterior pudiera suponer. La figura 4.8 muestra ambos modelos tridimensionales y sus medidas. A pesar de que la variación dimensional no pareciera ser muy grande, en algunos casos, pequeños cambios pueden influir en el correcto funcionamiento de los espacios. Es necesario corroborar entonces, que en las nuevas dimensiones los programas propuestos funcionan.

ETAPA DE MANTENCIÓN Y USO

Para estudiar la generación de residuos a largo plazo en un edificio es necesario entender cómo funcionan sus capas constructivas en el tiempo y qué genera esos residuos. Las siete capas definidas en capítulos anteriores necesitan distintos niveles y formas de mantenimiento y reemplazo, lo que podemos medir en sus ciclos de vida útil. En la figura 4.9 se muestra un gráfico que representa los diferentes ciclos de vida útil de las capas definidos por Stewart Brand y respaldado por ARUP. La longitud de estos ciclos va a depender del material utilizado, su exposición, su tratamiento y el uso del edificio entre muchos otros factores. Lo que se muestra en el esquema es un resumen o un promedio y sus causas se especifican a continuación:

1. **SITIO:** el sitio es eterno. Es muy poco probable que las dimensiones geográficas y políticas del sitio cambien por lo que se lo considera eterno.
2. **SISTEMAS:** los sistemas son perpetuos. Dependen de los avances tecnológicos, pero por sus dimensiones es muy difícil y costoso que cambien.
3. **ESTRUCTURA:** la estructura es permanente. Puede durar entre 30 y 300 años, pero pocos edificios pasan los 60 años por razones externas.
4. **ENVOLVENTE:** la envolvente es mutable. Cambia cada 20 años aprox. para mantenerse al día con las tendencias estéticas y las nuevas tecnologías.
5. **INSTALACIONES:** las instalaciones se desgastan y/o quedan obsoletas. Duran entre 7 y 15 años por los rápidos avances tecnológicos o cambios normativos.

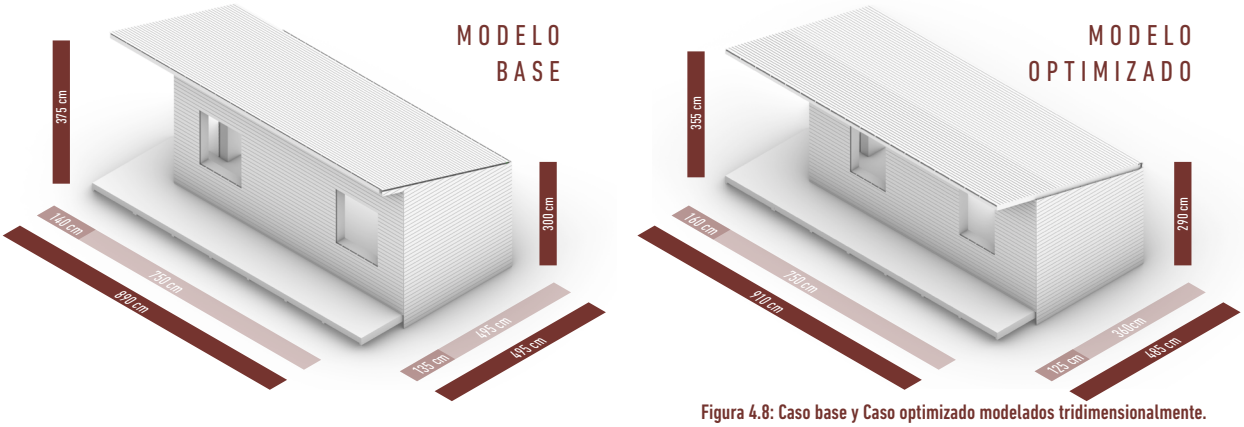


Figura 4.8: Caso base y Caso optimizado modelados tridimensionalmente.
Fuente: Elaboración propia.

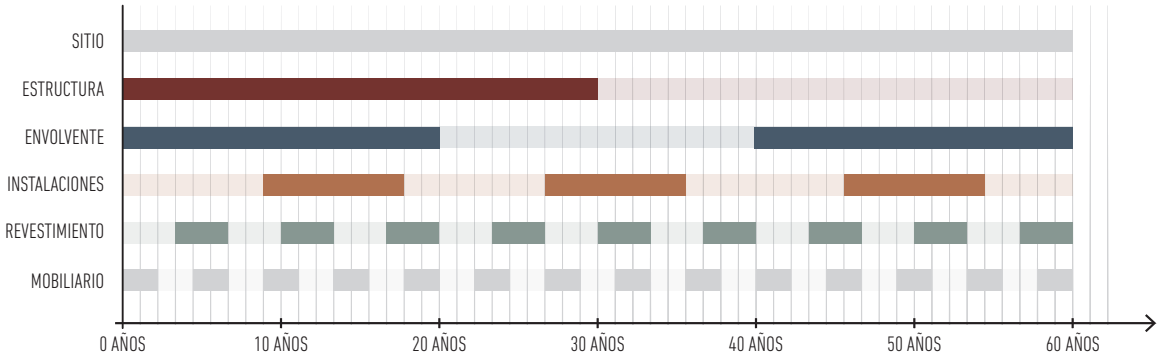


Figura 4.9: Ciclos de vida útil de las capas constructivas. Fuente: Elaboración propia a partir del libro Shared Layers de Stewart Bran (1994).

Pueden incluso ser la causa de la demolición total de un edificio.

6. REVESTIMIENTO: los interiores cambian radicalmente, pero su ciclo va a depender del uso. Normalmente dura 3 años, pero en viviendas puede durar hasta 30 años.[1]

7. MOBILIARIO: el mobiliario se mueve constantemente. Su duración puede ir desde un par de años a un par de días.

Es necesario especificar que el ciclo de vida de cada capa no necesariamente representa un reemplazo total del material. En algunos casos puede significar el mantenimiento de ciertas partes, el recambio de algunas piezas o simplemente la reparación de algún componente. Es aquí donde toma protagonismo el concepto de accesibilidad descrito en capítulos anteriores. En este estudio se analizará la implicancia de las capas constructivas durante la vida útil del edificio y cómo su disposición, accesibilidad e interrelación influyen en la generación de residuos a largo plazo.

El ejercicio propone cubicar la generación de residuos a largo plazo de un edificio, para lo que se definen ciertos criterios. En primer lugar, es necesario definir la longitud de vida del edificio en su totalidad. Para simplificar el estudio, se establece como 30 años, periodo en el cual la estructura no sufrirá ninguna intervención. Se considera entonces que el momento en el que la estructura debiera ser mantenida o reemplazada, el edificio completo dejará de funcionar. En segundo lugar, y por efectos del tiempo, se seleccionan tres de los nueve detalles constructivos estudiados: los de madera maciza. Es necesario estudiar el mismo sistema constructivo para que sea comparable, y los de madera maciza representaban una mayor variedad de opciones de relación de capas. Por último, se considera etapa de mantención y uso todo lo que ocurre desde el momento en que termina la construcción, denominado como año 0, hasta el momento que es necesaria una demolición, denominado año 30.

La metodología del ejercicio es simple. En una primera fase se cubica 1 m^2 construido de suelo y 1 m^2 construido de muro para cada detalle, simulando lo que habría sido construido en la etapa 1 de construcción. Esto se considera material utilizado previo al año 0. En otras palabras, se plantea como probeta de estudio una superficie de 1 m^2 construido por componente para calcular el material utilizado en cada caso. Luego, utilizando los esquemas abstractos de la figura 3.4 y entendiendo la materialidad utilizada con los detalles de la figura 3.3 se definieron los elementos que debieran ser reemplazados en cada ciclo de vida por capa. Estos elementos son los que serán considerados como residuos, entendiendo que su reutilización en el mismo uso es imposible, y asumiendo que su destino óptimo posible es el reciclado material.

A partir de estas definiciones surgieron para cada componente de los detalles estudiados (forjado y muro), los porcentajes de residuos generados por capa en cada ciclo de vida, los que se agruparon cada cinco años como muestra la tabla de la figura 4.10. Notamos

1 En inglés Space Plan.

		FORJADOS						MUROS					
		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
DETALLE CONSTRUCTIVO 2.1	ESTRUCTURA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	INSTALACIONES	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
	REVESTIMIENTO	90%	280%	180%	1900%	180%	190%	100%	300%	200%	2000%	200%	200%
	ENVOLVENTE	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
DETALLE CONSTRUCTIVO 2.2	ESTRUCTURA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	INSTALACIONES	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
	REVESTIMIENTO	93%	286%	180%	190%	180%	190%	100%	300%	200%	200%	200%	200%
	ENVOLVENTE	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
DETALLE CONSTRUCTIVO 2.3	ESTRUCTURA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	INSTALACIONES	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
	REVESTIMIENTO	90%	180%	180%	90%	180%	180%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	ENVOLVENTE	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%

Figura 4.10: Tabla de porcentaje de recambio en periodos de cinco años por componente por capa. Fuente: Elaboración propia .

que la capa que más varía de un detalle a otro es la de revestimiento, por ser la que está más expuesta y en algunos casos cubre por completo las otras.

La tabla fue traducida en los gráficos de la figura 4.11 que resumen la eficiencia de cada detalle estudiado. Los porcentajes finalmente muestran la cantidad de veces que una capa va a ser reemplazada en cada periodo. La conclusión más evidente que muestran los gráficos es que la capa de revestimiento es la que más porcentaje de recambio tiene, lo que se debe a que su ciclo de vida es más corto. Pero el gráfico muestra implícita otra razón a los altos porcentajes del revestimiento. Notamos, por ejemplo, que en los dos primeros casos durante el periodo de los primeros 10 años hay un alza notable a casi el triple del porcentaje del periodo anterior. Durante la misma fase, las instalaciones cumplen su primer ciclo de vida y deben reemplazarse por completo. En el tercer caso, existe un alza del porcentaje de revestimiento en el segundo periodo mucho menor, reemplazando el revestimiento casi dos veces, en comparación con las casi tres de los otros dos detalles. La capa de instalaciones se encuentra expuesta, por lo que no es necesario cambiar los elementos portantes cuando esta cumple un ciclo de vida (0% de recambio en el año 10), ni los elementos protectores como el revestimiento. La diferencia de porcentajes de la capa de revestimiento a los 10 años entre el detalle 2.3 y los dos primeros se debe a esto.

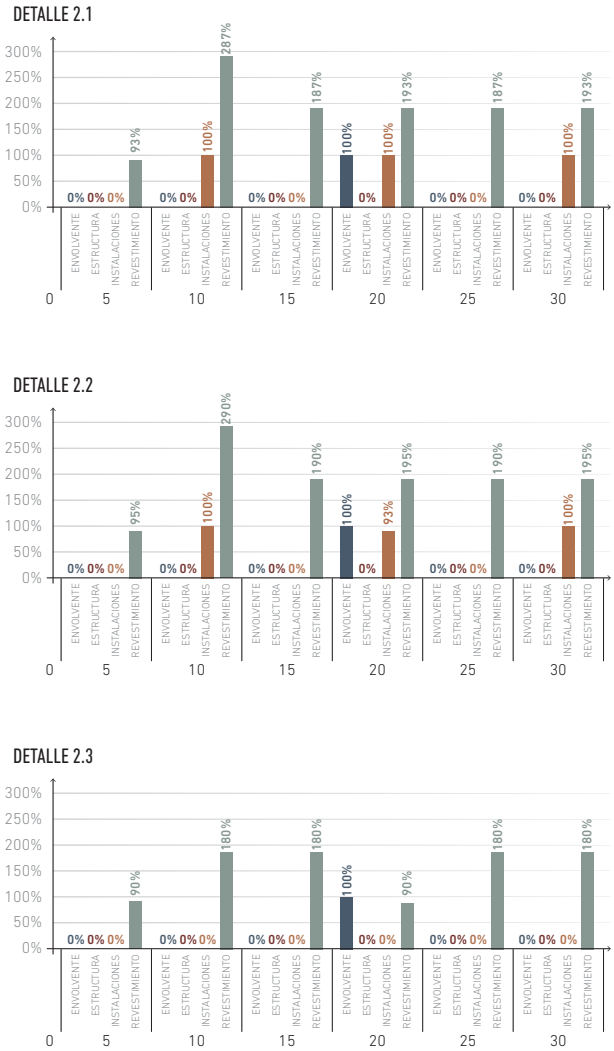


Figura 4.11: Gráficos de porcentaje de recambio en periodos de cinco años por capa. Fuente: Elaboración propia.

El análisis anterior comparaba la eficiencia de cada detalle, mostrando que al separar la capa de instalaciones del resto existía un menor recambio de la capa de revestimiento. Esto se debe a que gran parte de la función del revestimiento interior es de protección y cobertura de las instalaciones y estructuras para que no se dañen producto del uso del edifico, o simplemente por una razón estética. Esto causa que cada vez que las instalaciones deben ser reparadas, mantenidas o reemplazadas (ciclos de 10 años), el revestimiento también debe ser retirado y luego vuelto a poner. Por la forma de los revestimientos estudiados y el tipo de unión que los soporta, no es posible retirarlos sin romperlos o dañarlos, por lo que no pueden ser reutilizados en el mismo lugar. La estructura, por otro lado, tiene ciclos mucho más largos, que pueden calzar con los del revestimiento, por lo que no influye en la generación de residuos. Se identifica la relación de capas revestimiento-instalaciones como uno de los principales problemas de generación de residuos innecesarios. Existen dos posibles soluciones. La primera es la planteada por el detalle constructivo 2.3, que consiste en la separación total de las capas, situando a la vista la capa de instalaciones, haciendo accesible casi por completo las cuatro capas. Otra posible solución a esta problemática sería el diseño de una unión reversible entre ambas capas, haciendo posible sacar el revestimiento, mantener las instalaciones y volver a utilizar los mismos elementos sin daños. Esta solución será desarrollada en capítulos posteriores.

Para tener una visión del panorama completo de lo que significa la generación de residuos a treinta años plazo se traducen esos porcentajes de recambio en números reales que representen el volumen de residuos generados en metros cúbicos. El gráfico de la figura 4.12 compara el volumen de residuos generados por detalle constructivo en cada periodo y específica la proporción que representa cada capa dentro del total (diferencia de colores en las barras verticales). Las tendencias de comportamiento de cada detalle son similares en los tres casos, pero existe una evidente diferencia entre los dos primeros detalles y el detalle 2.3. La generación de residuos por revestimiento es notoriamente menor en el tercer caso, y las diferencias que suponen los residuos por instalaciones aumenta la brecha aún más (entendiendo que los residuos por instalaciones no sólo suponen los residuos por los soportes de sistemas, sino también los generados en otras capas producto del recambio de estos, como se explicó en párrafos anteriores).

Es necesario destacar, que la materialidad de los elementos estudiados fue considerada hasta cierto punto. Existe una amplia variedad de tratamientos a los que pueden someterse los materiales para que estos ciclos de vida se prolonguen, pero para poder hacer comparativo el estudio, se utilizaron los mismos en los tres casos, variando unicamente la disposición de las capas.

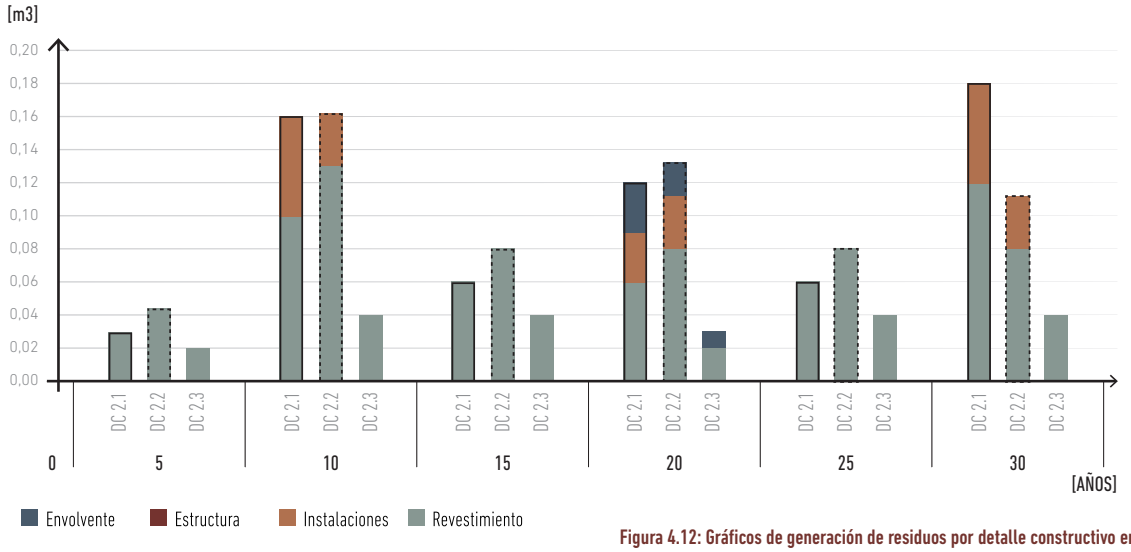


Figura 4.12: Gráficos de generación de residuos por detalle constructivo en periodos de cinco años. Fuente: Elaboración propia .

ETAPA DE DESARMADO

La viabilidad de desarmar un edificio parcial o totalmente, sustituyendo la demolición, está sujeta a la posibilidad de deshacer las uniones entre componentes y elementos. Como se expuso anteriormente, los sistemas constructivos en madera trabajan a partir de la adición de piezas y partes, que unidas de diferentes maneras, conforman un todo: el edificio. Existen diferentes tipos de uniones en madera, cada una con sus ventajas y desventajas, clasificables de varias maneras, y una mayor variedad están siendo exploradas.

Según su forma de encuentro, podemos diferenciar:

1. **EMPALME:** se usa para dar continuidad a las vigas.
2. **ENSAMBLE:** se usa para unir piezas con diferentes directrices de la fibra.
3. **JUNTA:** se usa para aumentar la sección de la pieza, trabajando dos piezas simultáneamente.

Según el medio de unión empleado, encontramos:

1. **CARPINTERA:** transmiten los esfuerzos a través de la superficie de contacto. Se realizan a través de cortes en la sección para formar cajas y ensambles.
2. **MECÁNICA:** transmiten los esfuerzos por medio de clavijas (clavos, tirafondos, pernos y pasadores) y a través de conectores (anillo, placa, dentados y placas de clavo).
3. **ENCOLADA:** transmiten los esfuerzos mediante un adhesivo.

Combinando las dos clasificaciones anteriores podríamos describir casi la totalidad de uniones que existen para elementos de madera. La elección del medio de unión empleado le dará a la unión la característica de irreversible, reversible y desmontable. Esta característica va a depender también de la fragilidad y durabilidad del material. Las primeras no pueden ser separadas, las segundas posibilitan la separación sin expectativa de reiteración por efecto de los daños producidos y las terceras permiten la operación de montaje y desmontaje repetidas veces.

Entendiendo los tipos de uniones existentes en madera y su posibilidad de ser reversibles podemos estimar la generación de residuos al final de la vida útil de los tres detalles estudiados en el sub capítulo anterior. Para esto se definieron las uniones que fueron utilizadas y la fragilidad y durabilidad de los materiales, lo que se muestra en las tablas de las figuras 4.13 y 4.14.

UNIÓN	TIPO	DAÑO
PLETINA METÁLICA	Reversible	Agujeros.
CLAVO	Reversible	Pérdidas de 4 cm lineales por clavo.
CORCHETE O GRAPA	Reversible	Pérdida de todo el material, o de ser posible sólo los despuntes.
VERTIDO EN OBRA	Irreversible	Pérdida de todo el material.
TORNILLO	Reversible	Agujeros.

Figura 4.13: Tabla de uniones utilizadas en los detalles estudiados. Fuente: Elaboración propia .

MATERIAL	FRAGILIDAD	DURABILIDAD	COMENTARIO
CLT	Baja	Alta	Si está protegido se puede reutilizar por completo.
MADERA ASERRADA	Media	Alta	Va a depender de su tratamiento, cargas y protección.
LANA DE VIDRIO	Baja	Media	Difícil recuperación por tipo de uniones. Permite un uso.
LOSA DE HORMIGÓN	Media	Alta	Imposible recuperación.
YESO CARTÓN	Alta	Baja	Normalmente expuesto a golpes y uso imposibilitando su reutilización.
PANEL ZINC	Baja	Alta	Puede ser reutilizado a pesar de estar expuesto a través de tratamientos de recuperación.
BARRERA DE VAPOR	Alta	Media	Material muy delgado y frágil. Permite un uso.

Figura 4.14: Tabla de materiales utilizados en los detalles estudiados. Fuente: Elaboración propia .

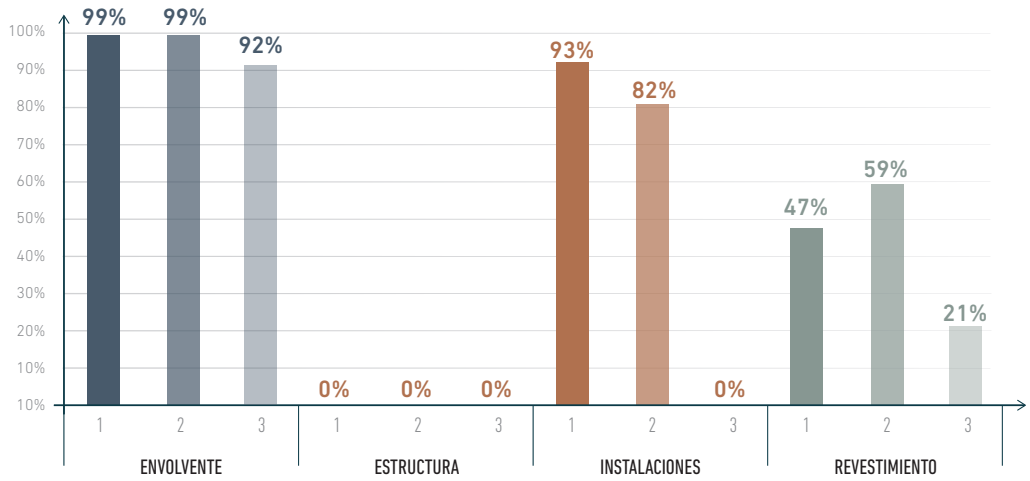


Figura 4.15: Gráficos de porcentaje de pérdida material por capa por detalle.
Fuente: Elaboración propia .

A partir de la combinación de materiales y uniones se determinó la pérdida material generada por el desarme de los detalles estudiados para cada material, considerando residuo todo volumen que no podrá ser reutilizado. Para este cálculo se utilizaron las cubicaciones de 1 m^2 de componente descritas en el sub capítulo anterior. El gráfico de la figura 4.15 muestra los porcentajes de pérdidas por capas por detalle. La diferencia más notoria en cuanto a la eficiencia del desarmado de los detalles se encuentra en la capa de instalaciones, donde el detalle 2.3 no genera ningún residuo. Esto se debe a la disposición de sus capas, exponiendo por completo la de instalaciones, sin la necesidad de elementos portantes, análisis desarrollado en el capítulo anterior. La estructura, por su parte no genera residuos en ninguno de los tres detalles, por encontrarse completamente protegida y utilizar uniones reversibles. La envolvente es la capa con mayores pérdidas por dos razones. En primer lugar, gran parte del volumen de la envolvente es el aislante térmico y se utiliza lana de vidrio en los tres casos, que normalmente puede utilizarse una sola vez. La mayor parte del resto de los materiales se encuentra en constante exposición a los agentes de clima, como el sol y el agua, lo que es completamente perjudicial para la madera e imposibilita su reutilización por daño material.

Los gráficos de la figura 4.16 muestran la proporción del total de residuos que representa cada capa. En los tres detalles estudiados la mayor generadora es la envolvente, lo que se debe a su nivel de exposición, a agentes externos y a que el aislante térmico utilizado no permite dos usos. Hay que poner especial cuidado entonces, en la elección de materiales que conformarán la envolvente y sus respectivos tratamientos y uniones. Si sabemos que la envolvente no podrá ser reutilizada entonces, debemos tener en cuenta que los tratamientos elegidos no sean dañinos y permitan el reciclaje material.

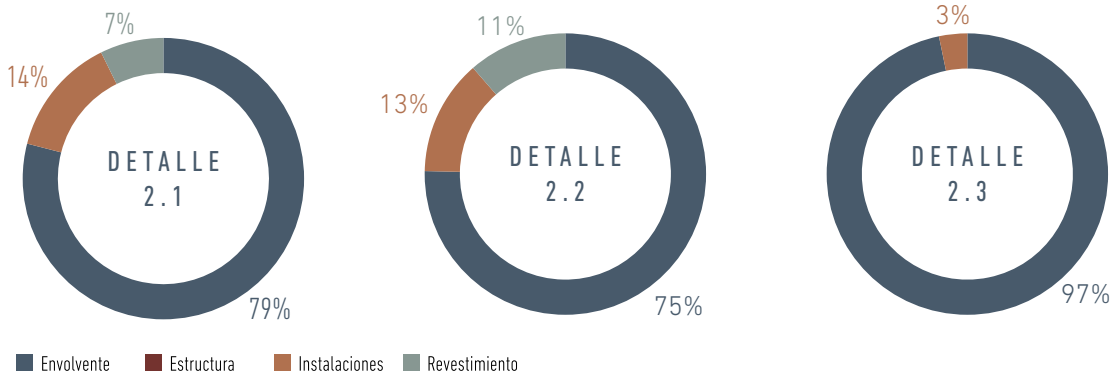


Figura 4.16: Gráficos de porcentaje por capa del total de residuos.
Fuente: Elaboración propia .

DISCUSIÓN

El resultado del estudio anterior pone en tela de juicio la noción de Residuos de Construcción y Demolición que nuestro campo disciplinar tiene hoy en día. Es evidente, que lo que nosotros consideramos como RCD no es ni siquiera la tercera parte de los residuos que puede llegar a generar un edificio, y que planear y proyectar para una disminución de desechos de construcción, es una buena iniciativa, pero no es suficiente. Los gráficos de la figura 4.17 son un resumen del trabajo realizado por detalle estudiado. Muestran la cantidad de residuos generados por detalle en cada etapa de la vida útil del edificio y luego, la suma de todas ellas. Esto se hizo utilizando de base la información obtenida por el modelo optimizado en la etapa de construcción. Para la etapa de mantención y uso se multiplicó los residuos generados por metro cuadrado de suelo y muro, por el área construida según las dimensiones del modelo optimizado. La misma secuencia se realizó con la última etapa de desarmado para cada detalle.

Además de evidenciar un problema de concepto dentro de nuestra disciplina, los gráficos muestran que efectivamente la disposición de las capas constructivas, su accesibilidad y sus uniones tienen un gran impacto dentro de la generación de residuos a largo plazo. Las principales temáticas de discusión que surgen del estudio anterior son:

1. **OPTIMIZACIÓN MATERIAL:** Las capas que generan mayor cantidad de residuos a largo plazo son la de revestimiento y envolvente, por lo que se debería optimizar la construcción según las medidas estándar de la industria nacional priorizándolas por sobre otras capas. Realizar el ejercicio de optimización repetidas veces generará un mejor resultado aún.
2. **SEPARACIÓN DE CAPAS:** La relación entre capas más problemática es la del revestimiento y las instalaciones, porque la función de una es cubrir a la otra (ya sea por protección o por estética), por lo que cuando se cambian las instalaciones, siempre se cambiará el revestimiento aún cuando esto no sea necesario. Se puede reducir hasta un 60% de los residuos generados por el revestimiento sólo diseñando la relación entre ambas (ver gráfico 4.17). La materialidad y la posibilidad de montar y desmontar la capa de revestimiento son otros factores que podrían reducir aún más los residuos.
3. **UNIONES DESARMABLES:** La elección de las uniones entre elementos de una misma capa y las uniones entre diferentes capas constructivas tiene un impacto directo en la generación de residuos por desarmado. Hay que tener en consideración además, que el tipo de material, su exposición y su nivel de protección son factores igualmente importantes al momento recuperar y reutilizar un componente.

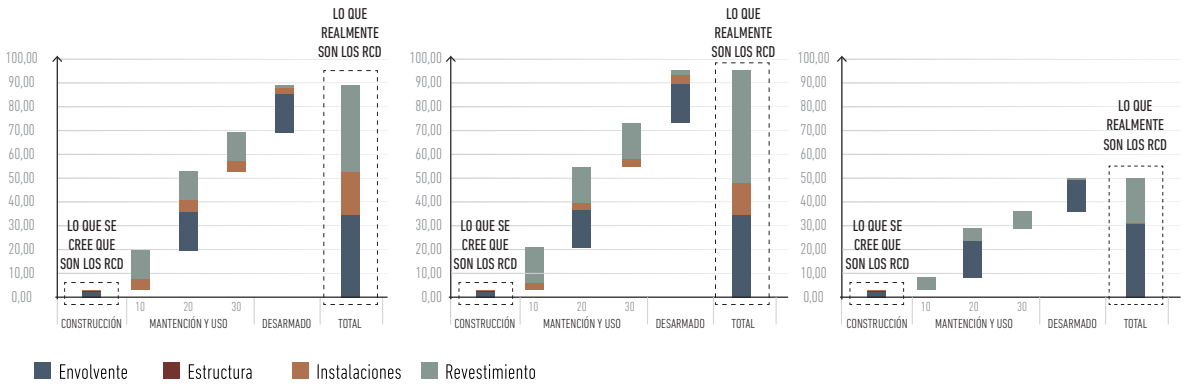


Figura 4.17: Gráficos de generación de residuos por etapa. Fuente: Elaboración propia .

05. ESTRATEGIAS DE DISEÑO POR CAPAS

El estudio de la relevancia de la disposición y relación entre las capas constructivas de una edificación y la generación de residuos a largo plazo propone ciertas consideraciones que se deberían tener en cuenta en la etapa de diseño. Algunas de ellas derivan del trabajo de análisis de la proyección y cubicación de residuos, y otras de la investigación sobre las técnicas constructivas en madera.

La optimización material según las medidas de la industria nacional añade una variable al dimensionamiento del proyecto en su etapa de diseño, que por lo general responde a cuestiones programáticas, estéticas y estructurales. Naturalmente, no todos los elementos y componentes del edificio pueden ser optimizados por lo que necesariamente el arquitecto deberá elegir y priorizar.

Por otro lado, entendiendo que la relación entre las capas es imprescindible para el correcto funcionamiento del edificio, se plantea la separación total de las capas como estrategia de diseño. La diferencia de longitud de los ciclos de vida de las capas produce una interferencia entre ellos, que a su vez genera un recambio innecesario de algunos componentes. La mayor separación de las capas aumenta su accesibilidad, la que tiene un impacto considerable en la cantidad de recambios innecesarios de material.

Ahora bien, comprendiendo el edificio como un todo conformado por partes, sabemos que las capas de alguna u otra manera deben estar unidas

o conectadas. El vínculo entre elementos de una misma capa y de componentes de capas diferentes es fundamental para la disminución de daños materiales ya sea al final de la vida del edificio o en su proceso de mantención. La elección de estas uniones debe responder a la longitud del ciclo de vida de la capa, a la voluntad de reutilizar el material o el componente completo y la durabilidad y fragilidad de los materiales. Una mayor durabilidad de la unión no necesariamente es lo óptimo, porque requiere una inversión de recursos mayor para producirla que otro tipo de vínculo, y existe la posibilidad de que no se necesite por un tiempo prolongado. Al mismo tiempo, el diseño de estas uniones pueden componer un espacio flexible, ampliando sus posibilidades de uso sin la necesidad de mayores obras de construcción ni generación de desechos.

La extensión de la longitud de los ciclos de vida de las capas se propone como estrategia con dos objetivos: la reducción de residuos por recambios necesarios o la modificación del ciclo de vida para que coincida con el de otra capa evitando residuos innecesarios por interferencia. En el caso de la madera, se logra protegiendo el material. La madera puede sufrir una aceleración de su proceso de obsolescencia producto de su exposición a agentes abióticos, como el sol y el agua. Cada capa constructiva presenta una mayor o menor exposición de acuerdo a su función, lo que va a influenciar directamente su ciclo de vida. Existen diferentes estrategias de diseño que protegen los materiales de las capas más expuestas, que a su vez son los que poseen ciclos de vida más cortos, para prolongarlos. Algunos ejemplos de estrategias de protección por diseño son: aleros que protegen la envolvente de la lluvia, separación del forjado del suelo natural para alejarse de la humedad o elementos que eviten la acumulación de agua. La envolvente es una de las mayores generadoras de residuos por ser una de las capas más expuestas, pero aún así se puede diseñar para prolongar esos ciclos y no interferir en los de otras capas. Por otro lado, existe una amplia variedad de tratamientos que pueden ser aplicados a la madera aserrada o laminada dentro de los que encontramos barnices, pinturas, aceites o impregnados. Es necesario conocer los agentes externos a los que estará expuesta la madera para elegir el tratamiento de protección óptimo para prolongar su vida útil. Extendiendo los ciclos de vida útil de las capas, podemos disminuir la tasa de recambio material y adaptar los ciclos a otras necesidades, y por ende, generar una menor cantidad de residuos a largo plazo.

En resumen, el estudio anterior muestra que la elección del material y del sistema constructivo condiciona el funcionamiento del edificio proyectado, pero un correcto diseño, que considere las variables de materialidad, unión, accesibilidad y recambio, es lo que va a permitir una considerable minimización de residuos.

Este capítulo expone un trabajo experimental de diseño, que busca un sistema que cumpla con los requisitos de flexibilidad para la extensión de vida útil y de deconstrucción mencionados anteriormente. Se trabaja con las cuatro capas tratadas en el estudio anterior profundizando en la envolvente por su bajo potencial de recuperación producto de su alta exposición, buscando diseñar una forma de ordenar y relacionar las capas para que estas sean independientes entre sí. Con este objetivo, se explora la posibilidad de configurar espacios y estructuras flexibles que respondan a las necesidades de cada etapa de la vida útil del edificio, desde el trabajo con la envolvente.

ESTUDIO DE REFERENTE

A partir del estudio expuesto en el capítulo anterior, se entiende que la flexibilidad y extensión de la vida útil de los elementos y componentes de una construcción está estrictamente ligada a su diseño a partir de capas. Las uniones juegan un rol fundamental en el reemplazo y la reparación de elementos y componentes, actividad que será realizada constantemente ya sea por la necesidad de adaptación programática o de preservación del edificio. Pero es importante destacar que el proceso de montaje de las uniones es igual de significativo que la unión propiamente tal. Este debe asegurar la posibilidad de armado y desarmado de la unión, sin la necesidad de grandes obras de construcción que generen residuos, requieran energía y signifiquen costos adicionales de construcción. Para el desarrollo del sistema se busca un referente que, independiente del material de construcción, trabaje con los conceptos de unión de piezas y de proceso de montaje sencillo.

Como respuesta de diseño a la creciente demanda de vivenda que existió principalmente en Europa luego de la Segunda Guerra Mundial, durante la segunda mitad del siglo XX surgen una serie de arquitectos e ingenieros que trabajan con la idea de prefabricación. El concepto buscaba construcciones que fueran fáciles de armar, y que, producidas en masa, fueran una rápida solución a la problemática residencial. Esta idea contenía implícito el entendimiento de la unión como parte fundamental del diseño, porque las viviendas diseñadas debían poder ser armadas por personas no especializadas, además de ofrecer la posibilidad de desarmarse en el caso de ser requeridas en otros lugares. La Maison Demontable 6x6 es parte de una serie de viviendas de un sólo ambiente diseñadas por Jean Prouvé en la década de 1940 siguiendo estos principios.

Salvo pequeñas variaciones en dimensiones y materialidad, los diseños de Prouvé funcionan de forma similar, estructurándose sobre un pilar central con forma de "v" invertida que sostiene la estructura del techo, con la ayuda de algunos paneles de muro intercambiables a modo de envolvente (como muestra la figura 5.1).

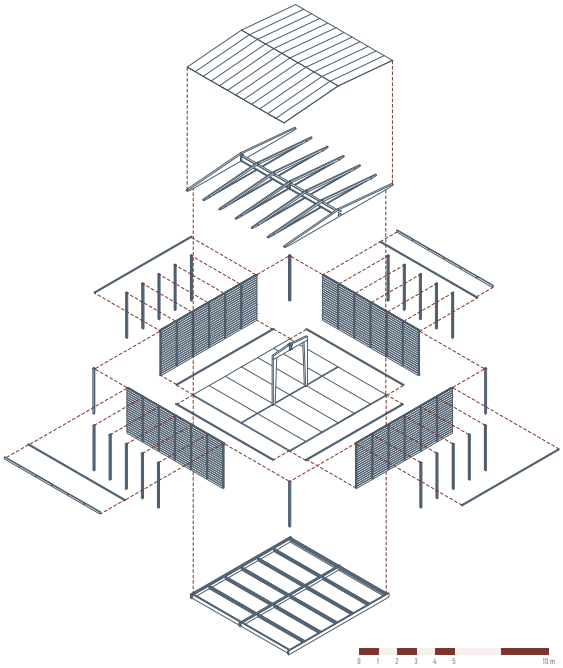


Figura 5.1: Axonométrica explotada Maison Demontable 6x6, Jean Prouvé, 1945. Fuente: Elaboración propia .

Este sistema logra alcanzar varios de los conceptos mencionados. En primer lugar, su armado es rápido, simple y fácil, pudiendo completar la construcción en un día por tres personas no especializados y sin la necesidad de herramientas o maquinarias sofisticadas. Todas sus piezas y partes tienen el tamaño y peso justos para ser trasladados sin necesidad de ayuda mecánica y entran en un sólo camión para llevarlas al sitio de construcción. Además, la estructura y las uniones de los componentes de la vivienda es sencilla y necesita pocas piezas para mantenerse en pie, lo que hace que las partes y piezas del resto de la construcción sean intercambiables sin la necesidad de desarmar la estructura por completo. Esto se produce, por la separación de las capas de estructura y envolvente.

Si bien la flexibilidad programática y estructural no son aspectos logrados por los proyectos de Prouvé principalmente producto de la rigidez de su estructura, el diseño de su proceso de montaje y de las uniones cumplen con los objetivos planteados. Estos permiten la manipulación sencilla de los componentes de la construcción y la posibilidad de desarmado facilitando el reemplazo total o parcial de las partes del edificio (ver proceso de montaje en la figura 5.2).

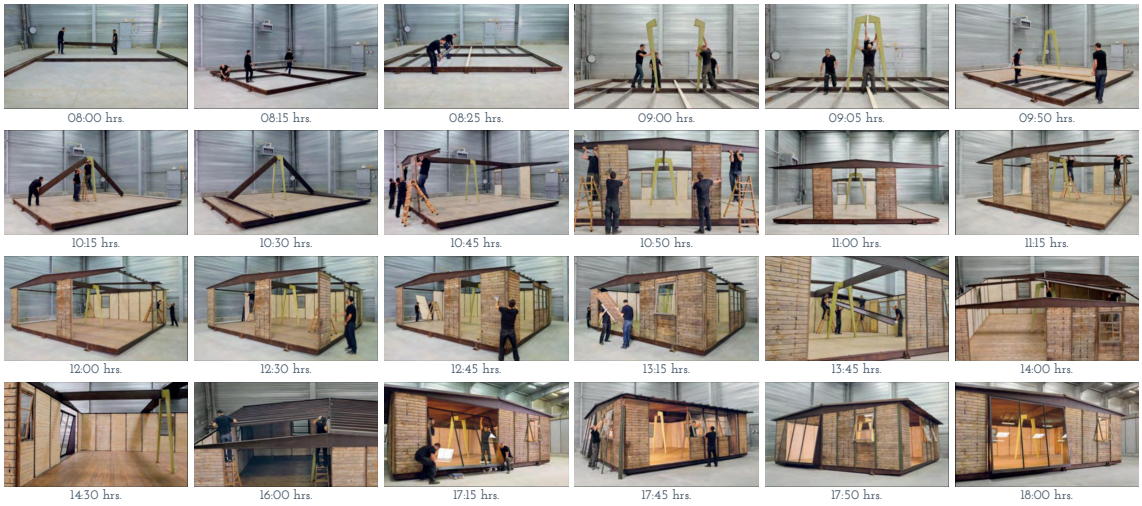


Figura 5.2: Proceso de montaje de la Maison Demontable 8x8, Jean Prouvé, 1945. Fuente: Reconstrucción original. Galería Patrick Seguin, 2013.

UNIONES DESARMABLES

La capa de envolvente representa un desafío en cuanto a las uniones y el proceso de montaje, además de reconocer en ella un gran potencial de minimización de residuos producto de su equilibrio entre una tasa de recambio media y una baja proporción de recuperación material, además del gran volumen de material que representa. Esta posee tres tipos de vínculos que condicionan el proceso de armado y que deben ser tratados de maneras diferentes: la unión envolvente - estructura, la unión envolvente - revestimiento y por último, la unión envolvente - envolvente en el caso de ser subdividida para facilitar el montaje. Se propone el diseño del sistema a partir de la capa de envolvente, para lo cual se desarrolla un prototipo descrito a continuación. Es necesario destacar que las capas de revestimiento e instalaciones son también grandes generadoras de residuos, pero estos son fácilmente evitables tratándolas de forma independiente como se mostró en el capítulo anterior.

Se decide trabajar con una envolvente completamente separada de la estructura de la construcción, estrategia derivada del estudio de los detalles constructivos de madera y del correcto funcionamiento de la Maison Demontable de Jean Prouvé. Durante el desarrollo se trabaja bajo el supuesto de una estructura base que, independiente de los apoyos, contará con vigas perimetrales de suelo y techo a las que fijar la envolvente.

La posibilidad de desarmado de las uniones lleva implícita la necesidad de hacerlo sin requerir maquinarias o herramientas sofisticadas para disminuir los esfuerzos de reemplazo, como se mencionó anteriormente. Por esto se decide subdividir la envolvente en paneles que puedan ser cargados por un grupo pequeño de personas. Se consideran objetos de estudio entonces, las uniones envolvente-envolvente (entre paneles), envolvente-estructura (a las vigas perimetrales) y envolvente-revestimiento (de existir la necesidad).

Por último, se plantea como base de diseño una secuencia de armado siguiendo las lógicas propuestas (ver figura 5.3). Se considera este proceso como punto de partida del diseño, corroborando en cada etapa del desarrollo del prototipo que las ideas propuestas pudieran ser aplicadas en esta lógica de armado.

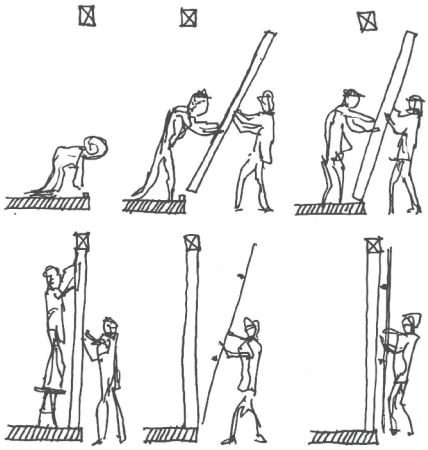


Figura 5.3: Croquis secuencia constructiva del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Independiente de los tamaños del panel, cada unión debe cumplir con ciertos parámetros. En un primer lugar, se estudia la unión entre paneles que debe garantizar la hermeticidad de la envolvente, además de permitir el intercambio independiente de cada panel. A pesar de que situar los paneles de forma contigua significa un fácil armado e independencia de los paneles, también supone una gran posibilidad de filtraciones de aire y puentes térmicos entre ellos. Por esto, la primera forma de unirlos que se consideró fue la de tipo tinglado, que cumple con la condición de mantener la hermeticidad de la envolvente y la fácil instalación. Sin embargo, esta configuración no permite la separación de cada panel de forma independiente luego de ser instalados. Se resuelve esta cuestión, siguiendo la lógica de unión del tinglado, pero subdividiendo el panel. De esta forma, se incorpora una pieza de unión entre ambos paneles que garantice la hermeticidad y la independencia de ambos (ver figura 5.4).

Luego, se estudió la unión envolvente-estructura, la que condicionaría el proceso de armado. Esta unión debe garantizar la hermeticidad de la envolvente, además de poder sostener el peso propio del panel. Una lógica de unión a través de una cara, apoyando de manera simple el panel sobre la estructura podía generar puentes térmicos, además de dificultar la fijación del panel a la estructura. Nuevamente se utiliza como base la lógica de funcionamiento de un tinglado para permitir el correcto funcionamiento del proceso de montaje. Como muestra la figura 5.5 es necesario incorporar una pieza adherida a las vigas de la estructura para fijar cada panel, denominada solera de unión.

Por último, se diseña la unión envolvente-revestimiento, pensada para un revestimiento interior o exterior. Como esta unión debe ser menos permanente, más fácilmente desmontable y es más liviana, se decide utilizar una unión tipo encaje, que no requiera de tornillos o clavos para ser ejecutada. La figura 5.6 muestra las dos opciones de encaje que se tomaron en consideración. Para hacer menos notoria la unión entre paneles de revestimiento es óptimo un revestimiento orientado verticalmente.

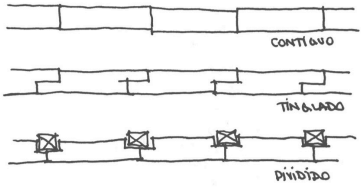


Figura 5.4: Desarrollo unión entre paneles de envolvente. Fuente: Elaboración propia.

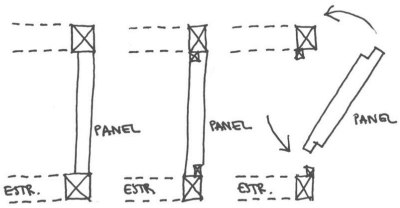


Figura 5.5: Desarrollo unión de un panel a la estructura. Fuente: Elaboración propia.

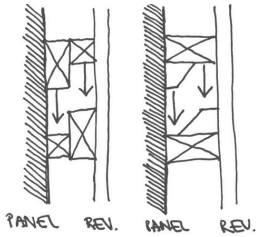


Figura 5.6: Opciones de encajes para unión envolvente-revestimiento. Fuente: Elaboración propia.

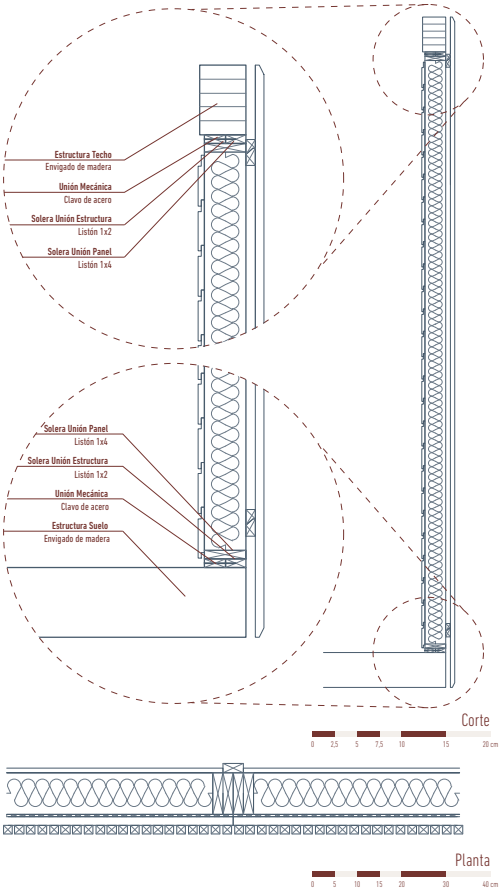


Figura 5.7: Planimetría prototipos. Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de las tres uniones se tradujo en un prototipo de panel de envolvente definiendo las medidas de las uniones para que funcionen correctamente, independiente de las dimensiones de cada panel, que serán trabajadas en una etapa posterior (ver figuras 5.7 y 5.8). El prototipo propuesto se modeló físicamente en una escala 1:10 en una combinación de madera de balsa y palitos de madera como muestra la figura 5.9. El trabajo óptimo habría sido poder realizarlo a una escala aún menor (1:2, 1:5) con listones de madera para entender cómo se comporta el material en este proceso constructivo. Por problemas de logística producto a la situación nacional no fue posible. Sin embargo, se pueden dilucidar una serie de puntos críticos en las tres uniones estudiadas que son posibles de extrapolar a una escala real, siempre teniendo presente las diferencias de los materiales reales v/s utilizados.

Como en esta etapa de desarrollo no se consideraron las dimensiones del panel en sí mismo, para efectos prácticos del trabajo físico del prototipo se modeló el panel sólidos en madera de balsa de 10 mm de espesor. El objetivo del modelado fue testear el funcionamiento de las uniones, por lo que el tamaño del panel completo en esta etapa era irrelevante.

El primer obstáculo que observamos a partir de la identificación de los puntos críticos fue la precisión de las materias primas. En un comienzo se asumió que era un problema de los materiales de tipo librería adquiridos, los palitos de maqueta y las planchas de madera balsa pueden estar pandeados, podridos o con secciones no constantes. Pero si se extrapola a la construcción, estos problemas también existen en una escala real, por lo que la primera conclusión obtenida es que el dimensionamiento y diseño de los elementos y componentes debe considerar un rango de falla material. Si la unión se diseña con un calce exacto es muy probable que no encaje en todos los casos porque ninguna pieza de materia prima es igual a la otra.

Al diseñar la unión con el objetivo de ser reversible a lo largo del tiempo y a gusto del usuario, este rango de flexibilidad en el dimensionamiento no sólo debe considerar el fallo material inicial, sino que también los cambios y deformaciones que el material pueda sufrir después de armar la construcción. Estos cambios pueden producirse por sobrecargas, condiciones climáticas, manejo humano, u otros y en piezas de madera son considerables. Las deformaciones

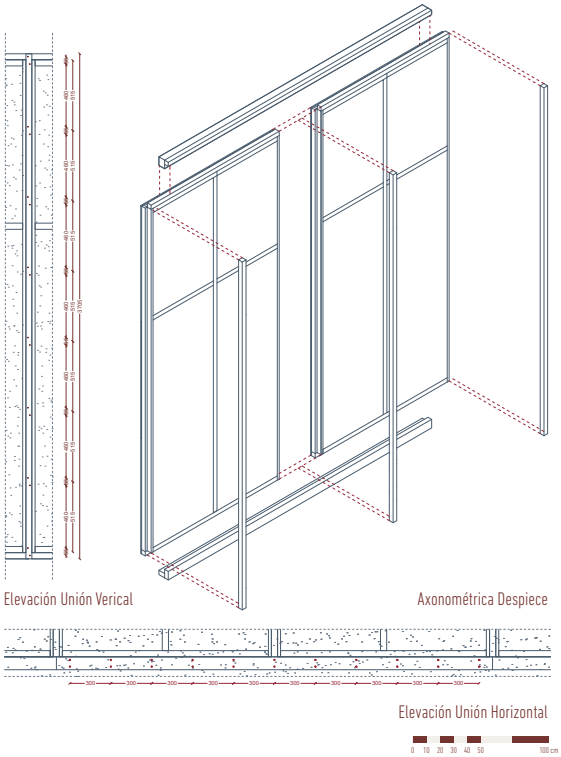


Figura 5.8: Uniones envolvente. Fuente: Elaboración propia.

más importantes de la madera dependen directamente de su contenido de humedad, el que responde a las condiciones de humedad relativa y temperaturas del aire del lugar. La lluvia y la cercanía con material vegetal también van a influir en ese porcentaje de humedad del material.

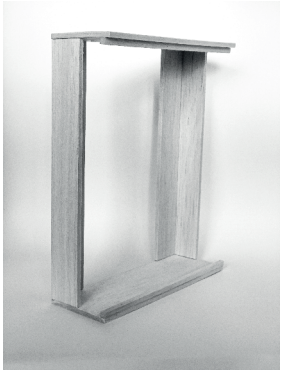
La madera aserrada utilizada en construcción tiene aproximadamente un 12% de humedad (secado en cámara), aceptandose entre un 8-18% dependiendo del uso y exposición. Es importante que la humedad del ambiente no supere a la de la madera porque al ser un material higroscópico es susceptible al intercambio de humedad con el medio, lo que produce deformaciones[1]. Como la madera es un material anisotrópico las variaciones dimensionales por humedad no son iguales en todas sus direcciones (tangencial, longitudinal y radial). Se estima que para la madera de pino radiata el coeficiente de contracción lineal tangencial es 0,29 y el de contracción lineal radial es 0,20 por cada 1% de variación del contenido de humedad[2], porcentajes que se deben tomar en cuenta para el dimensionamiento del rango de flexibilidad.

1 Existen tablas para definir la humedad óptima (contenido de humedad en equilibrio) de la madera de acuerdo con la relación entre humedad relativa del aire y la temperatura promedio.

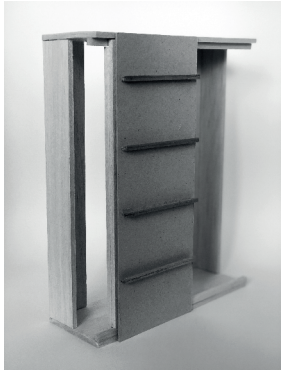
2 CORMA. (2003). Compendio de Directrices para Enseñanza en Ingenieria. Proyecto CORFO-ONTEC.

SECUENCIA ARMADO PROTOTIPO:

UNIÓN **ENVOLVENTE - ESTRUCTURA**

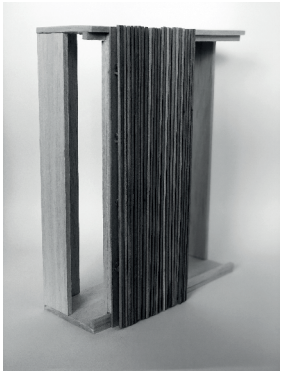


1. Soporte y soleras.

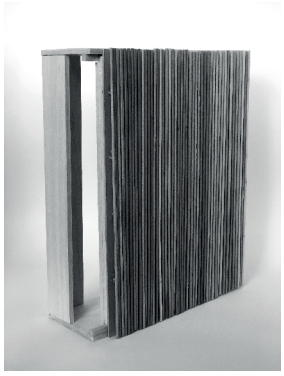


2. Fijación del panel.

UNIÓN **ENVOLVENTE - REVESTIMIENTO**



3. Ensamble del revestimiento.



5. Repetición del proceso con el panel contiguo.

UNIÓN **ENVOLVENTE - ENVOLVENTE**

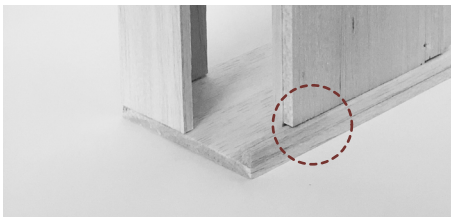
1. Fijación de los paneles.

2. Pieza de unión.

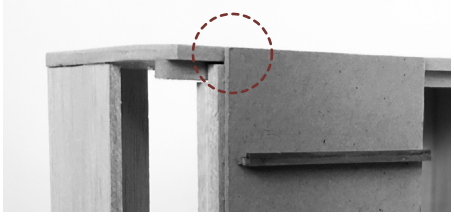
Figura 5.9: Secuencia armado prototipo físico. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN PUNTOS CRÍTICOS:

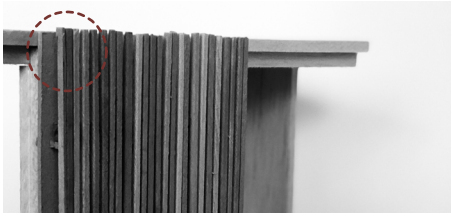
PROBLEMA 1: **RANURAS**



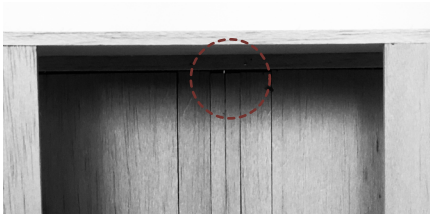
PROBLEMA 2: **SELLO DE HUMEDAD**



PROBLEMA 3: **PROTECCIÓN AL CLIMA**



PROBLEMA 4: **PRESIÓN DE LA UNIÓN**



PROBLEMA 5: **PRESIÓN DE LA UNIÓN**

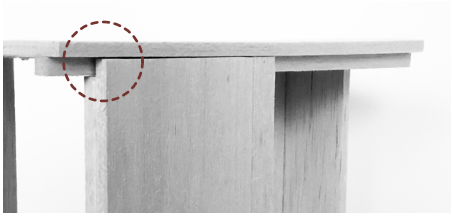


Figura 5.10: Imágenes puntos críticos prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Los puntos críticos identificados en el modelo físico se explican a continuación y se detallan en las imágenes de la figura 5.10.

1. **RANURAS:** Se observa la existencia de ranuras no constantes en la unión del panel de CLT con la estructura y soleras. Esto se puede deber a cortes poco precisos del material y deformaciones en la estructura y el panel. Como medida térmica se plantea sellar estas uniones con una lámina de aislante entre ambas piezas. Como medida mecánica de funcionamiento se plantea el diseño de la una ranura de acuerdo al rango de flexibilidad requerido.

2. **SELLO DE HUMEDAD:** Si bien el panel en si no está diseñado en esta etapa, debe contemplar una barrera de vapor que proteja al panel y a la estructura portante evitando discontinuidades. Será necesario evaluar la opción de poner la barrera de vapor luego de fijar el panel para asegurar su hermeticidad o buscar una manera de sellar las uniones.

3. **PROTECCIÓN AL CLIMA:** El revestimiento exterior de la envolvente funciona como capa protectora de la estructura y la envolvente en sí contra las condiciones del clima como lluvia, nieve y sol. El revestimiento vertical es útil para evita la acumulación de agua y disimula la unión entre paneles, y hacerlo ventilado ayuda a la regulación térmica de la construcción. Sin embargo, la parte superior del revestimiento debe asegurar la protección de la estructura detrás. Se plantea la opción de poner una pieza horizontal que evite que el agua entre en la cámara ventilada, o bien que el techo conforme un alero superior. Ambas opciones dependerán de la forma de la estructura.

4. **PRESIÓN DE LA UNIÓN:** La pieza de unión entre paneles se agrega después de fijar ambos paneles contiguos a la estructura. Esta debe asegurar la hermeticidad de la envolvente en el sentido vertical de la unión, además de la posibilidad de desarmado. Como medida de hermeticidad se plantea agregar una lámina de aislante entre la pieza y los paneles que garantice la inexistencia de puentes térmicos. Como medida de funcionamiento mecánico, se plantea calcular la posible deformación en el sentido horizontal y dejar el espacio suficiente para que al ocurrir, la pieza no quede a presión entre los dos paneles y pueda ser retirada fácilmente.

5. **PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA:** La capa de estructura tiene un ciclo de vida útil más extenso y los paneles deben asegurar que no se reduzca. En el prototipo diseñado, los paneles no logran cubrir las vigas de suelo y techo, por lo que quedan expuestos a las condiciones climáticas. Se propone situar las soleras de unión en la parte exterior de la estructura, para que el panel pueda protegerla, sin interferir con su mecánica de funcionamiento.

De acuerdo con los problemas identificados se re-diseñaron las uniones para resolver los problemas existentes en el modelo físico. El resultado se muestra en la figura 5.11.

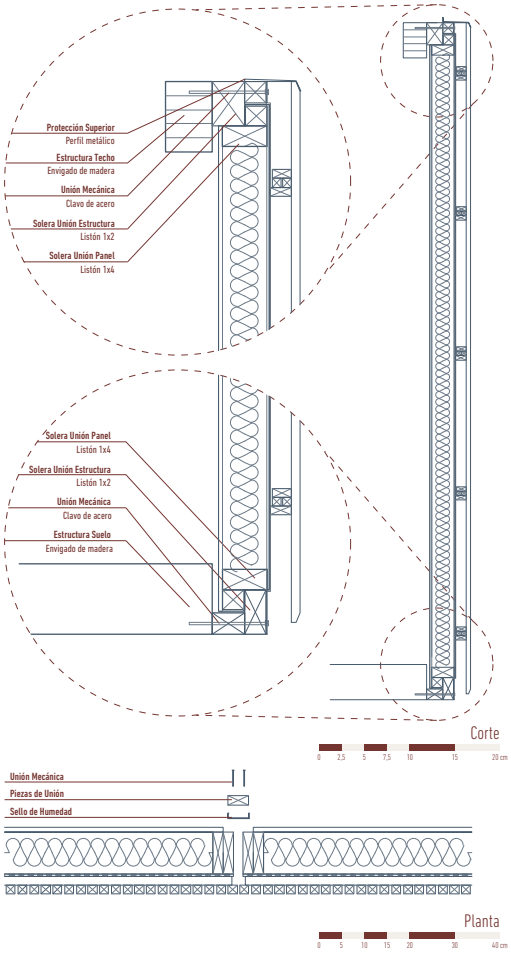


Figura 5.11: Planimetría modificada prototipos. Fuente: Elaboración propia.

OPTIMIZACIÓN MATERIAL

Los avances tecnológicos de las últimas décadas han permitido que la escala de construcción en madera crezca considerablemente tanto en términos de tamaños de construcción como de cantidad de construcciones. Actualmente se pueden encontrar en el mercado piezas de madera de gran tamaño o con variadas formas y propiedades, además de poder producir a medida con múltiples técnicas de fabricación aquellas que no podamos encontrar. Sin embargo, los elementos más comunes son las piezas básicas o esenciales de madera aserrada o subproductos de madera, que siguen respondiendo a las medidas estandarizadas a nivel internacional. Esto proporciona un gran potencial de reducción de residuos por diseño a las construcciones de madera aserrada siempre que estas medidas sean consideradas en una etapa temprana del proyecto.

Para definir entonces las dimensiones totales del prototipo de envolvente es necesario tener en cuenta la estandarización de los productos de madera. El panel de envolvente puede ser construido en madera maciza o en madera aserrada, factor principal a considerar para la optimización material. La variedad dimensional que se puede alcanzar con un panel de madera maciza sin generar residuos es mucho más amplia que con uno de madera aserrada, por su proceso de fabricación industrial. Sin embargo, para definir el material de construcción del panel se considera como prioridad el principio de fácil montaje descrito anteriormente, para lo que la madera aserrada tiene ventaja por su conformación a partir de partes y piezas. El panel de CLT se descarta completamente cuando se toma en consideración la importancia del peso para la manipulación y el montaje de cada componente. Suponiendo que el panel mide 230 cm de alto (altura mínima de techo) y tiene 1 metro de ancho (considerada medida mínima para poder albergar vanos de puertas y ventanas) construido en CLT de 100 mm de espesor pesaría aproximadamente 110 kg[1]. Por el contrario, un tabique de madera aserrada pesa normalmente 50 kg por metro lineal, peso aceptado para ser manipulado por dos personas. El desarrollo del prototipo de panel de envolvente continúa siendo desarrollado en madera aserrada.

Si bien el panel no será sometido a cargas estructurales, este debe ser capaz de sostener su propio peso. Además, al ser un panel de envolvente podrá ser sometido a sobrecargas de viento, por lo que es necesario arriostrarlo. Al añadir un tablero estructural en una de las caras del panel para rigidizar su estructura, surge nuevamente la interrogante descrita en el capítulo 2, que planteaba la elección de los elementos que se optimizarán como fundamental para obtener buenos resultados.

La medida estándar de los tableros estructurales de madera es de 1220 x 2440 mm y las piezas de madera aserrada, independiente de sus sección, se encuentran con mayor frecuencia de 3200 mm de largo[2]. Como ambas medidas no coinciden, se realizan tres ejercicios de optimización dimensional del panel para determinar respecto a qué elemento conviene optimizarlo (ver figura 5.12).

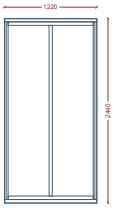
El panel A se dimensiona según las medidas del tablero estructural, por lo que cada panel de envolvente mide 1220 mm de ancho y 2440 mm de alto. La estructura del panel está compuesta por listones de 2 y 4 pulgadas nominales de ancho y 3200 mm de largo cortados, que también formarán las uniones desarrolladas en el subcapitulo anterior. El peso total del panel es de 28,2 kg y los residuos totales generados es de 0,0148 m^3.

El panel B se dimensiona según las medidas de las piezas de madera aserrada, por lo que el ancho del panel es de 1600 mm (media pieza) y el alto es de 3200 mm (una pieza completa). Al igual que el panel A, su estructura y uniones están compuestas por listones de 2 y 4 pulgadas nominales de ancho y 3200 mm de largo cortados. Es necesario incluir una cadeneta a los 2440 mm de altura que fije los tableros. El peso

1 Peso específico del CLT = 475 kg/m^3 (Puede variar).

2 Se pueden encontrar también piezas de 3500 mm, 4000 mm y 4800 mm, aunque son menos frecuentes.

PANEL A:



RESIDUOS **TOTALES:**

Tablero: 0,000 m^3
Listones: 0,0148 m^3

Total: 0,0148 m^3

PESO **TOTAL:**

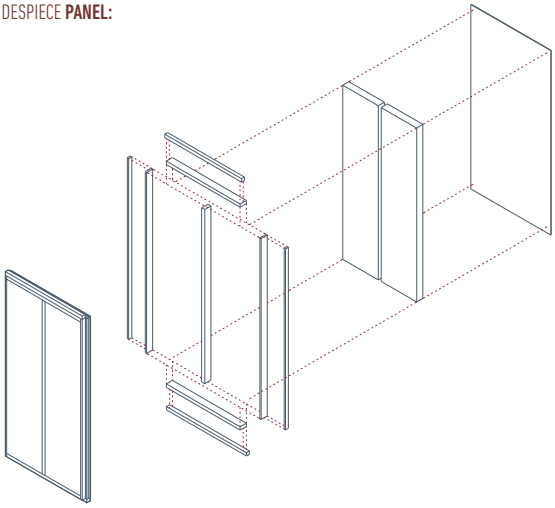
Sin Aislante: 25,9 kg
Con Aislante: 28,2 kg

CUBICACIÓN **TABLERO:**

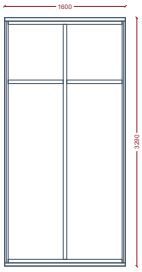
CUBICACIÓN **LISTONES:**

(1x4)x3200 (x2)
(1x2)x3200 (x2)
(2x4)x3200 (x2)
(2x2)x3200 (x1)

DESPIECE **PANEL:**



PANEL B:



RESIDUOS **TOTALES:**

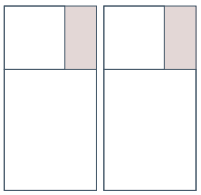
Tablero: 0,068 m^3
Listones: 0,0023 m^3

Total: 0,0091 m^3

PESO **TOTAL:**

Sin Aislante: 43,2 kg
Con Aislante: 47,4 kg

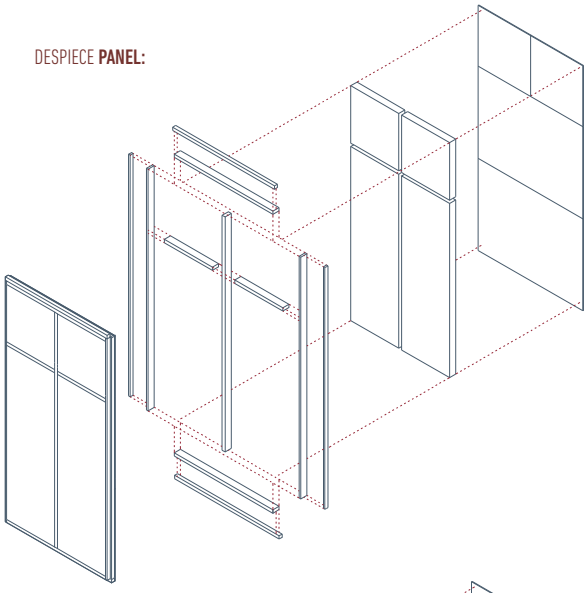
CUBICACIÓN **TABLERO:**



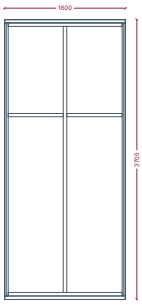
CUBICACIÓN **LISTONES:**

(1x4)x3200 (x2)
(1x2)x3200 (x2)
(2x4)x3200 (x3)
(2x2)x3200 (x1)

DESPIECE **PANEL:**



PANEL C:



RESIDUOS **TOTALES:**

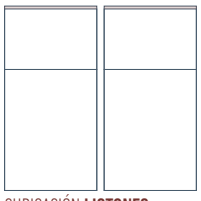
Tablero: 0,0009 m^3
Listones: 0,0063 m^3

Total: 0,0072 m^3

PESO **TOTAL:**

Sin Aislante: 47,5 kg
Con Aislante: 52,3 kg

CUBICACIÓN **TABLERO:**



CUBICACIÓN **LISTONES:**

(1x4)x4000 (x2)
(1x2)x4000 (x2)
(2x4)x4000 (x1)
(2x2)x3200 (x1)
(2x4)x3200 (x2)

DESPIECE **PANEL:**

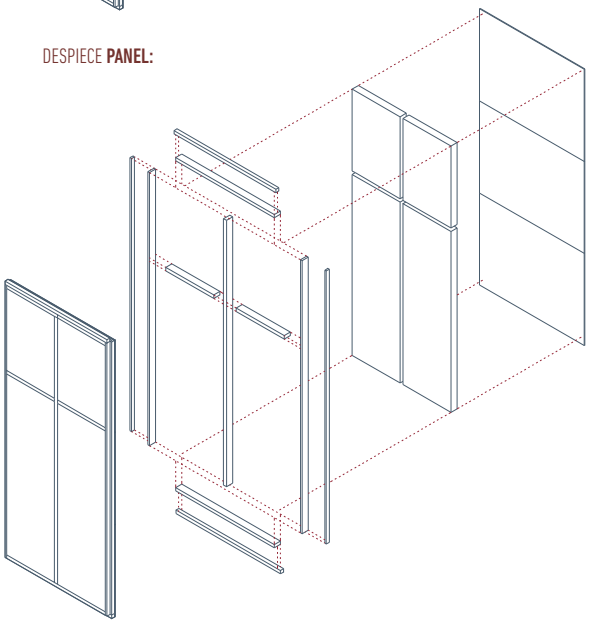


Figura 5.12: Opciones de optimización de panel. Fuente: Elaboración propia.

total del panel B es de 47,4 kg y los residuos totales generados es de 0,0091 m^3. El 75% de esos residuos son generados por el tablero estructurante.

El panel C es derivado del panel B. Se trabaja con la optimización de las piezas de madera aserrada que generan menos residuos, buscando utilizar la mayor cantidad de material de tablero estructural, para lo que se realizan modificaciones en la altura del panel. Para esto es necesario utilizar piezas de madera aserrada de 4000 mm. Como resultado el panel C pesa 52,3 kg y genera 0,0072 m^3 de residuos, siendo la opción más favorable.

Diseñar el ancho de cada panel de envolvente según las dimensiones de la madera aserrada significa la incorporación de la posibilidad de optimización de la estructura, siempre que sea construida en madera aserrada. Este es un material más liviano que la madera maciza, por lo que además de ser optimizable de acuerdo con los paneles, simplifica el proceso de montaje.

Siguiendo esta linea, se desarrolla la estructura del sistema a partir de pilares a los que podrán ser fijadas las soleras de unión, considerando una grilla de 3200x3200 mm para un calce justo de los paneles. Los pilares están conformados por cuatro piezas de madera de 3x3 pulgadas nominales unidos por piezas topes para que reciban las cargas de forma conjunta (ver figura 5.13). De esta manera, se configuran de manera liviana, pero son capaces de soportar cargas mayores.

Para proteger la envolvente de las inclemencias del clima, los pilares formarán una cubierta superior, debajo de la cual se fijarán los entramados de suelo, de techo y los paneles de envolvente. Como la modulación se rige según la grilla de 3200x3200 mm, las vigas y costaneras de madera aserrada de esta cubierta no generan ningún residuo material.

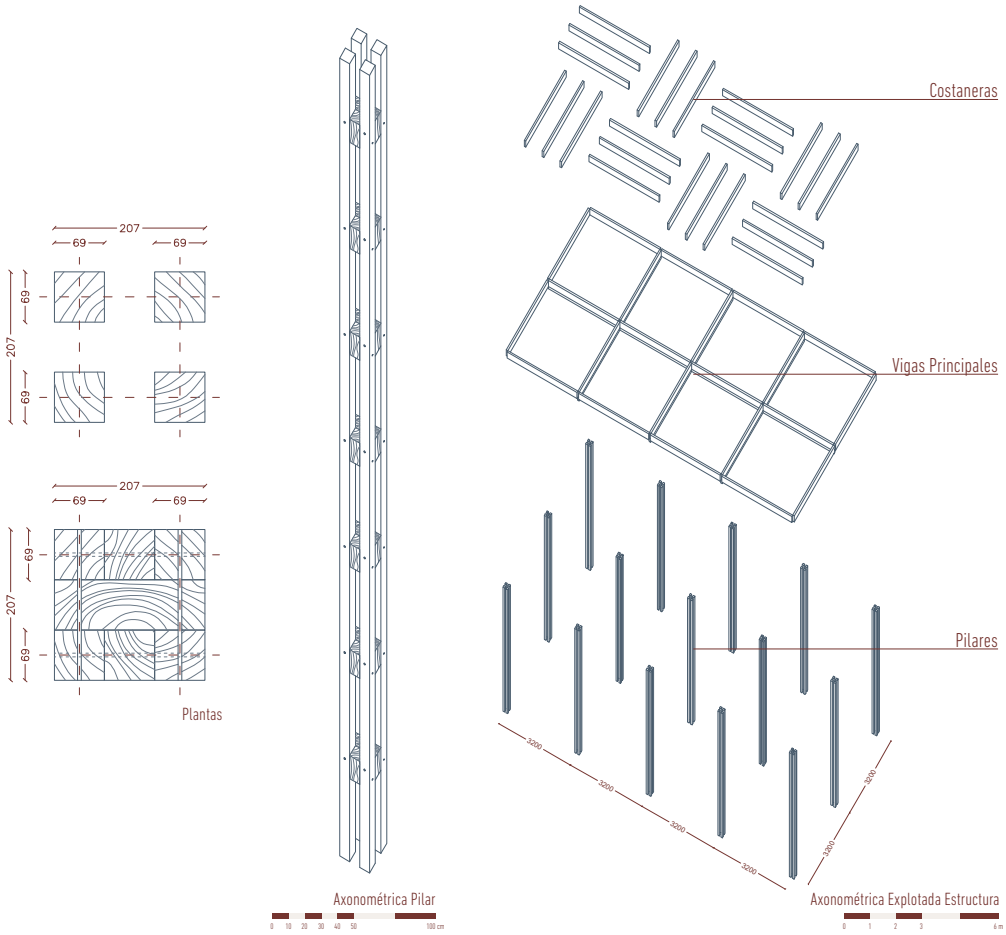


Figura 5.13: Estructura optimizada Fuente: Elaboración propia.

CAPAS INDEPENDIENTES

Uno de las grandes causas de generación de residuos a largo plazo es la baja accesibilidad a algunas de las capas lo que implica una generación de residuos innecesarios por la interferencia de los diferentes ciclos de vida. El prototipo se ha desarrollado a grandes rasgos bajo las lógicas de simpleza de montaje y separación de capas constructivas, evitando los bajos niveles de accesibilidad. El diseño desarrollado, permite entonces la manipulación de cada panel de envolvente de forma independiente, sin interferir en el correcto funcionamiento de la estructura ni del resto de los paneles, además de considerar el revestimiento como un elemento intercambiable fácilmente.

Hasta ahora se ha trabajado con las capas de envolvente, estructura y revestimiento, que son construidas principalmente en madera y son posibles de optimizar dimensionalmente. Pero obviar la capa de instalaciones por no ser optimizable a dimensiones estándares y por representar un menor porcentaje del volumen total y de los residuos generados, no sería adecuado si consideramos los desechos producidos por otras capas a partir de la manipulación de las instalaciones. En el capítulo 2 vimos que si bien la reparación o recambio de instalaciones no genera una proporción significativa de residuos en la misma capa de instalaciones, si interfiere con las capas de revestimiento y envolvente que por lo general, las cubren y protegen. Para completar el desarrollo del sistema, se incorpora el trabajo con esta capa separándolo en tres etapas dentro del recorrido de los sistemas: la recolección y tratamiento (a partir de sistemas públicos o independientes), la distribución (dentro de la construcción) y la eliminación de desechos (para ser tratados o eliminados). Cada tipo de sistema, sea eléctrico, sanitario, de agua potable, u otro, tiene requerimientos especiales, pero a grandes rasgos podemos identificar las tres etapas en todos ellos (ver figura 5.14).

La primera etapa de recolección y tratamiento necesita un mayor volumen para funcionar. Sin importar si el tipo de sistema va nutrirse de sistemas públicos o independientes de recolección, para poder distribuir su contenido de manera adecuada necesita pasar por

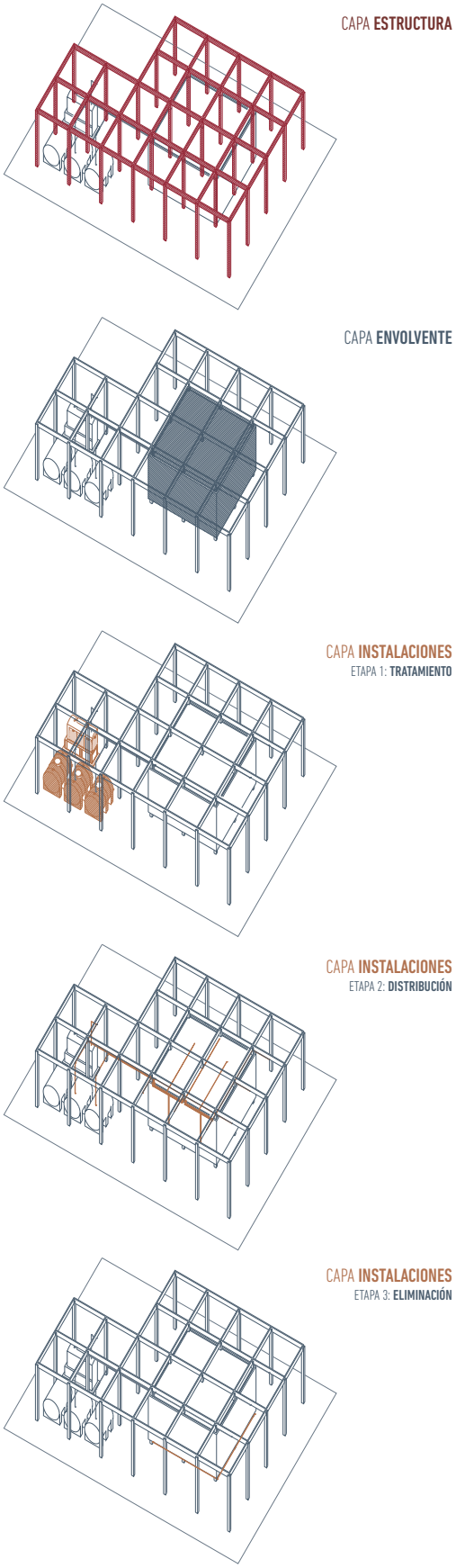


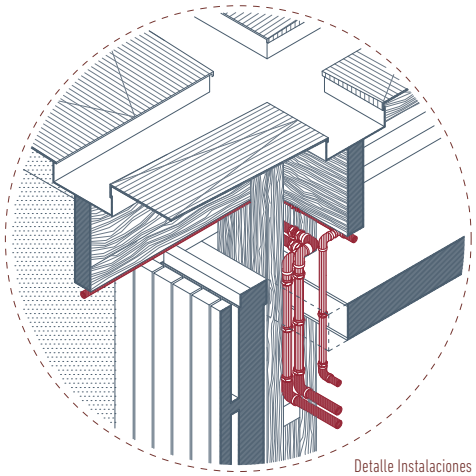
Figura 5.14: Esquema independencia de capas. Fuente: Elaboración propia.

alguna clase de equipo. El agua potable por ejemplo, puede necesitar tanques de almacenamiento, procesos de potabilización, calderas de calentamiento o bombas distribuidoras. La energía, por otro lado requiere de inversores, generadores o baterías de almacenamiento para distribuirse en forma de electricidad. Necesidades similares tienen los sistemas de gas, ventilación y calefacción, entre otros. Por seguridad, estos equipos son ubicados siempre fuera de los lugares de uso de la construcción. Se define un espacio que alberga los equipos de almacenamiento y tratamiento fuera de los espacios interiores del sistema, pero que está protegido por la cubierta y puede ser semi-cerrado con paneles permeables, denominado módulo de servicios.

La segunda etapa de distribución es la más compleja en cuanto a la accesibilidad, porque las instalaciones deben salir del módulo de servicios, recorrer distancias variables y entrar en los espacios cerrados y por ende, atravesar la envolvente. El sistema desarrollado a partir de la grilla de pilares formados por cuatro piezas de madera laminada permite utilizar los vacíos que quedan entre las piezas para distribuir las instalaciones bajo la cubierta sin tener que perforar la estructura. Además, la lógica de armado de la envolvente a través de las soleras de unión por fuera de los pilares, y los entramados de techo ubicados por dentro de los mismos, permite que se forme un espacio de 69 mm de espesor (3 pulgadas) por donde puede pasar un tubo de hasta 2 1/2 pulgadas. Como muestra la figura 5.15 se agrega una pieza de madera en ese espacio con perforaciones de acuerdo al diámetro de las tuberías necesarias. De esta forma, las instalaciones no perforan la envolvente ni la estructura. La distribución interior va a depender de los usos de cada sistema, y se puede fijar con agarraderas removibles metálicas a pilares o paneles. Es importante destacar que los paneles se abaten hacia afuera sin interferir en el funcionamiento de las instalaciones, y estas se reparan por el interior, sin interferir con el funcionamiento de los paneles.

Por último, la etapa de eliminación de desechos producidos por cada sistema que pueden ser guiados a un equipo de tratamiento, como las aguas grises a sistemas de filtrado por ejemplo, o eliminadas a través de los sistemas públicos como las aguas negras en los alcantarillados. De cualquier manera, estas instalaciones deben salir de los espacios cerrados y por ende, atravesar nuevamente la envolvente. La misma metodología es aplicable en la parte inferior de los paneles, por lo que los desechos de las instalaciones son evacuados hacia abajo.

Si bien cada sistema tiene sus requerimientos funcionales y normativos, es necesario aclarar que el ingreso de las instalaciones a los espacios cerrados es por la parte superior por considerárselos "sistemas limpios". Por el contrario, los "sistemas contaminados" se evacúan por la parte inferior para no tener problemas sanitarios en caso de filtraciones. Las instalaciones eléctricas, por su parte, se deben situar siempre en la parte superior también para evitar problemas en caso de filtraciones.



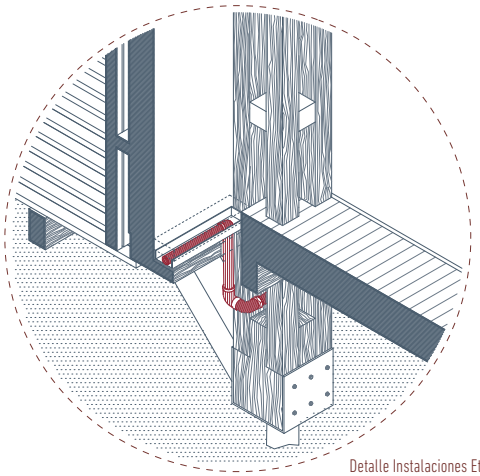


Figura 5.15: Detalles instalaciones. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

El presente capítulo detalla el desarrollo de un sistema desde el detalle a lo general, especificando en profundidad el funcionamiento de la envolvente, las instalaciones, el revestimiento y la estructura. Este sistema extrae las conclusiones deducidas en el capítulo 2 tomándolas como pilares fundamentales de su diseño para la prevención de residuos a largo plazo.

La independencia de las capas constructivas deriva del concepto de accesibilidad estudiado, que permite la manipulación de los elementos y componentes de las distintas capas sin interferir en el funcionamiento del resto para no crear residuos innecesarios por interferencia de sus ciclos de vida útil. De esta forma, la separación total de la capa de envolvente de la estructura y del revestimiento primero, y luego la independencia de funcionamiento de las instalaciones permite un fácil acceso a las cuatro capas para ser armadas, reparadas o reemplazadas.

Aún así, las capas tienen que estar vinculadas entre si para el correcto funcionamiento de la construcción, pero la accesibilidad es inútil si estas uniones no se diseñan correctamente de acuerdo con sus funciones y sus niveles de recambio. Bajo este concepto, las uniones se diseñan según el principio de fácil montaje que va a influir no sólo en el funcionamiento mecánico de estos vínculos, sino que también en el dimensionamiento final de cada componente.

Por último, los ejercicios de optimización material demuestran que no todos los elementos y componentes pueden ser optimizados con el mismo nivel de precisión, pero al realizar el ejercicio repetidas veces, los resultados son considerablemente superiores. Se comienza optimizando sólo el panel de envolvente según las medidas estándares del tablero estructural, pero repitiendo el ejercicio múltiples veces, el sistema logra optimizar incluso la estructura a las medidas del panel y de la industria.

El sistema se desarrolla al poner en práctica los conceptos derivados del estudio de la generación de residuos a largo plazo de una construcción que se traducen en estrategias de diseño específicas. Este cumple con temáticas de eficiencia material y funcionalidad a largo plazo, pero omite cuestiones de requerimientos programáticos específicos que pueden ser muy variados. Al ser aplicado en casos reales otros factores pueden entrar en juego, los que van a influenciar, modificar y restringir su forma y funcionamiento, enriqueciendo aún más el diseño pero incorporando problemáticas no consideradas hasta ahora. Un proyecto de arquitectura se configura de forma total cuando abarca las "7 S" de Brand, y cada una de ellas implica variables de diseño a considerar.

06. INTERÉS EN UN CONTEXTO REAL

Figura 6.1: Esquema de estudio de capas constructivas de un edificio. Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo descrito en el capítulo anterior expone ciertas luces sobre el funcionamiento de un sistema constructivo diseñado a partir del análisis del ciclo de vida de las capas de una edificación. El proceso de diseño descrito comienza desde una escala de detalle, específicamente a partir de las uniones de los componentes, siguiendo los principios de flexibilidad y extensión de la vida útil estudiados en esta investigación. Si bien se desprenden diversas conclusiones de ese trabajo experimental, estas se limitan a una escala intermedia, estudiando unicamente las capas de estructura, envolvente, instalaciones y revestimiento.

Un proyecto de arquitectura completo se conforma por las siete capas expuestas en un comienzo por lo que sería apropiado estudiar el comportamiento de este sistema de paneles en una escala de proyecto. De esta manera, al análisis anterior de las capas de revestimiento, envolvente, estructura e instalaciones, se deben incorporar las de sistemas, sitio y mobiliario (ver figura 6.1). Este capítulo expone y discute las oportunidades y problemáticas que surgen al trabajar con el sistema en un contexto real, incluyendo todas las capas constructivas y las escalas que eso implica.

APLICACIÓN DEL SISTEMA EN PROYECTO

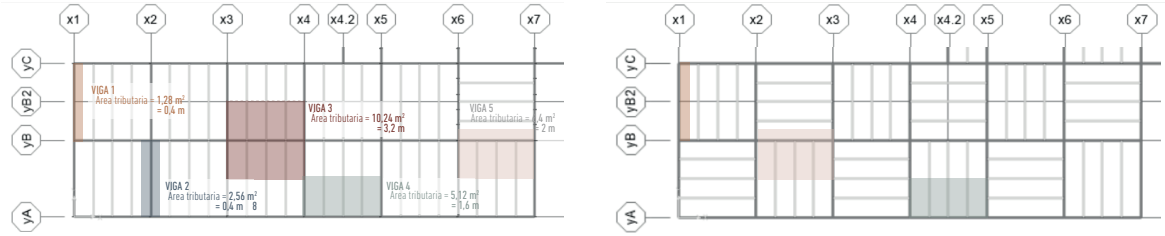
El sistema se utiliza para desarrollar un proyecto ubicado en la localidad de Cochamó, Región de Los Lagos, en el sur de Chile, con el propósito de formalizar un sendero que ha sido recorrido durante años por arrieros locales, habitantes del sector y por sobretodo una gran cantidad de turistas. El sendero tiene una longitud de casi 60 km demarcado unicamente por una huella, que conecta peatonalmente el pueblo de Cochamó con el Paso Internacional El León, límite con Argentina. Actualmente el sendero no cuenta con la infraestructura necesaria para abarcar la gran cantidad de turistas que llegan a la zona, y mucho menos para regular su tránsito y comportamiento, y preservar así el medioambiente. El proyecto cuenta con interés general de cuidado medioambiental al regular un territorio natural, además de un interés particular en las tres capas que se incluyen al estudio, que están en sintonía con las lineas de investigación trabajadas. Las capas son las siguientes:

1. **MOBILIARIO:** El proyecto cuenta con una variedad de programas ubicados a lo largo del sendero, los que incluyen Controles de Acceso, Administración, Refugios, Camping, entre otros, lo que ofrece una amplia gama de tipologías de programa con la cual experimentar y poner a prueba el sistema. [Programa]
2. **SITIO:** La dificultad de acceso al terreno de construcción por ser un sendero completamente peatonal, exige incluir dentro del diseño una lógica de planificación de producción y traslado material, que en muchos proyectos de arquitectura se dan por hecho. Esto implica pensar en la industria de producción material, además de los tamaños y pesos de las piezas por tener que ser transportados por humanos y/o animales. El diseño del sistema debe contemplar también, que el acceso de maquinaria pesada o sofisticada al terreno es muy difícil o casi imposible. [Transporte]
3. **SISTEMAS:** Producto de la situación aislada de los diferentes terrenos donde se emplazará el sistema la utilización de los sistemas de servicios públicos se ve imposibilitada. Es por esto que el proyecto debe contemplar el diseño de sistemas de agua potable, saneamiento, calefacción y electricidad propios e independientes. [Instalaciones]

A diferencia de las construcciones locales, la cubierta principal formada por los pilares en la grilla de 3200x3200 mm es plana, pero se aprovecha esta característica para utilizarla como medio recolector de aguas lluvias, posible por los altos niveles de precipitación constantes de la zona. Cada programa posee diferentes requerimientos hídricos y estos son los que van a determinar el tamaño de la cubierta recolectora, además del tamaño de los módulos de servicios donde será almacenada el agua para su posterior potabilización (ver anexo 1). Bajo esta cubierta se pueden configurar espacios abiertos, semi - abiertos y cerrados variando la composición del panel para satisfacer las necesidades programáticas. Es necesario destacar que las construcciones locales poseen pendientes pronunciadas para evacuar el agua lluvia, pero además para evitar la acumulación de nieve, por lo que la sobrecarga a la que es sometida es superior a la diseñada y se debe ampliar la sección de los elementos estructurales considerando un factor de acumulación de seguridad[1].

El ordenamiento de las costaneras de la cubierta indica la dirección de la pendiente de las aguas. En un comienzo se ordenan siguiendo el recorrido de aguas más eficiente hasta el módulo de servicios. Pero luego de realizar los cálculos estructurales correspondientes, considerando el peso propio de los elementos y sobrecargas de nieve y viento de la zona se determina que la forma más eficiente de distribución de las cargas es orientando las costaneras siempre de forma perpendicular entre si (ver figura 6.2). Cuando en la primera ordenación de costaneras existen cinco formas diferentes de cargar un mismo elemento, en la segunda, sólo existen dos. Las diferencias en las cargas que puede recibir un mismo elemento generan poca eficiencia estructural, porque si se fabrican todos los elementos iguales existiría un sobre dimensionamiento en cuatro

1 Se realizan los cálculos según la norma NCh0431 para sobrecargas de nieve.



	VIGA 2 Área tributaria = 2,56 m² = 0,8 m	VIGA 3 Área tributaria = 10,24 m² = 3,2 m
SC. VIENTO (W):	25,6 kgf/m	102,4 kgf/m
SC. NIEVE (N):	160 kgf/m	640 kgf/m
SC. USO (Lr):	40 kgf/m	160 kgf/m
PP. COSTANERAS (PP):	0 kgf/m	22,5 kgf/m
TOTAL:	**225,6 kgf/m**	**924,9 kgf/m**

	VIGA 5 - INTERIOR Área tributaria = 6,4 m² = 2 m	VIGA 4 - PERIMETRO Área tributaria = 5,12 m² = 1,6 m
SC. VIENTO (W):	64 kgf/m	51,2 kgf/m
SC. NIEVE (N):	400 kgf/m	320 kgf/m
SC. USO (Lr):	100 kgf/m	80 kgf/m
PP. COSTANERAS (PP):	11,25 kgf/m	11,25 kgf/m
TOTAL:	**575,25 kgf/m**	**462,45 kgf/m**

Figura 6.2: Esquema ordenamiento costaneras. Fuente: Elaboración propia.

de los cinco tipos de vigas, y si se fabrican cinco tipos de vigas distintas significa una complejidad constructiva que aumenta costos físicos y económicos. Además, el sistema considera la flexibilidad a largo plazo, y de ser construido con cinco tipos de vigas principales diferentes, los trabajos de ampliación o modificación de la cubierta significaría tener que re calcular los esfuerzos estructurales nuevamente. Por el contrario, si se ordenan las costaneras de forma perpendicular se crea un módulo estructural equilibrado, y las posibilidades de expansión sin la necesidad de cálculo son mucho mayores basándose sólo en tres elementos: vigas perimetrales, vigas interiores y costaneras.

Se determinan entonces las secciones de ambas vigas, siendo las perimetrales de 3x10 pulgadas nominales y las interiores de 3x14 pulgadas nominales. Para hacer el sistema aún más flexible en términos de expansión y modificación a largo plazo se diseñan todas las vigas a partir de una pieza de madera aserrada de 3x10 pulgadas nominales, equivalentes a 69x230 mm. Para que las vigas interiores puedan soportar las cargas a las que son sometidas, se les incorpora una pieza de refuerzo de madera aserrada de 3x4 pulgadas nominales, o 69x94 mm con una unión reversible. De esta manera, si al modificar la cubierta una viga perimetral se convierte en una interior se le agrega una pieza de refuerzo. Por el contrario, si una viga interior pasa a ser perimetral, se le remueve la pieza de refuerzo. Las posibilidades de expansión sin la necesidad de intercambio de elementos se amplían aún más (ver anexo 2).

Por otro lado, producto de las altas cargas de viento a la que será sometida la cubierta, y a la voluntad de hacerla translúcida para aprovechar la iluminación natural en su interior, es necesario rigidizar la estructura en su base y en su parte superior. Para esto se utilizan pernos de anclaje fijados a las pletinas metálicas en la parte superior de la fundación. Teniendo en cuenta el especial cuidado del terreno y las restricciones de transporte se utilizan fundaciones de tipo "tornillo a tierra", que son livianas, no acidifican el suelo y permiten retirarlas y volver a instalarlas de ser necesario. Para la parte superior, se puede arriostrar la estructura con un tablero rigidizante. Sin embargo, como el proyecto se ubica en una zona altamente lluviosa, los paneles de envolvente deben situarse en todos los casos completamente bajo la cubierta, quedando un alero mínimo de 3200 mm de ancho. Esto puede perjudicar la iluminación de los espacios bajo la cubierta, por lo que se considera fundamental incorporar iluminación cenital al proyecto. Para mantener rígida la estructura con tableros, el área de aperturas máxima es de 15%, y de ser superior estos perderían su capacidad arriostrante. Con el objetivo de tener mayor libertad en cuanto a la iluminación, se incorporan tubos de acero arriostrantes que forman diagonales entre los pilares, que se fijan por

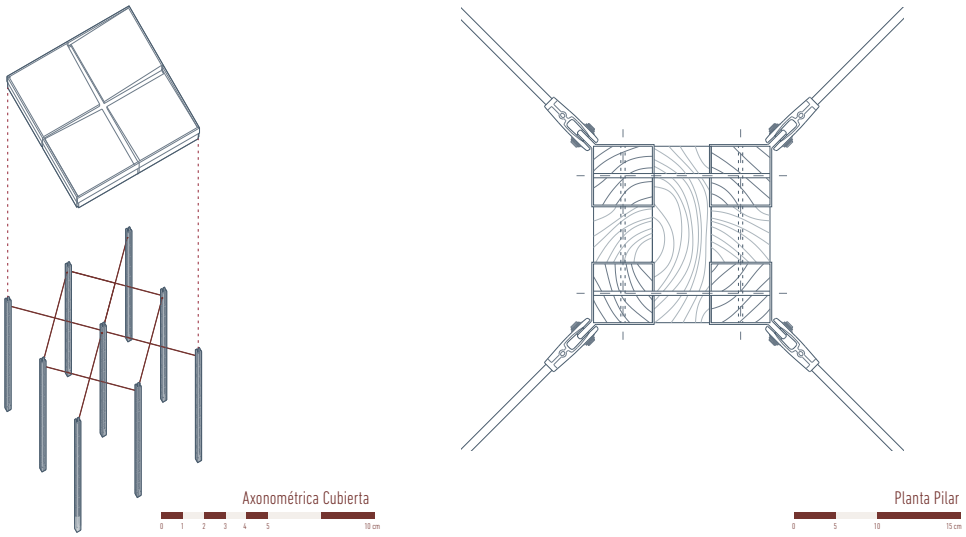


Figura 6.3: Arriostramiento metálico. Fuente: Elaboración propia.

medio de pletinas metálicas en los extremos superiores de las piezas de madera aserrada y evitan la necesidad de poner tableros rígidos. opacos. (ver figura 6.3).

Para exponer al sistema a requerimientos programáticos de diversas índoles, se analiza el recorrido del sendero desde el pueblo de Cochamó hasta el Paso Internacional el León. Se identifican los equipamientos existentes en cada parada, asi como los tiempos y desniveles a los que se enfrentan los peatones en cada tramo (ver figura 6.4). De esta forma, es posible identificar las necesidades más importantes a partir de las cuales se proponen cuatro programas necesarios a lo largo del recorrido. Si bien se estudia el sendero en una dirección Chile-Argentina, se entiende que puede ser recorrido en sentido contrario o de forma parcial. Los programas propuestos son los siguientes:

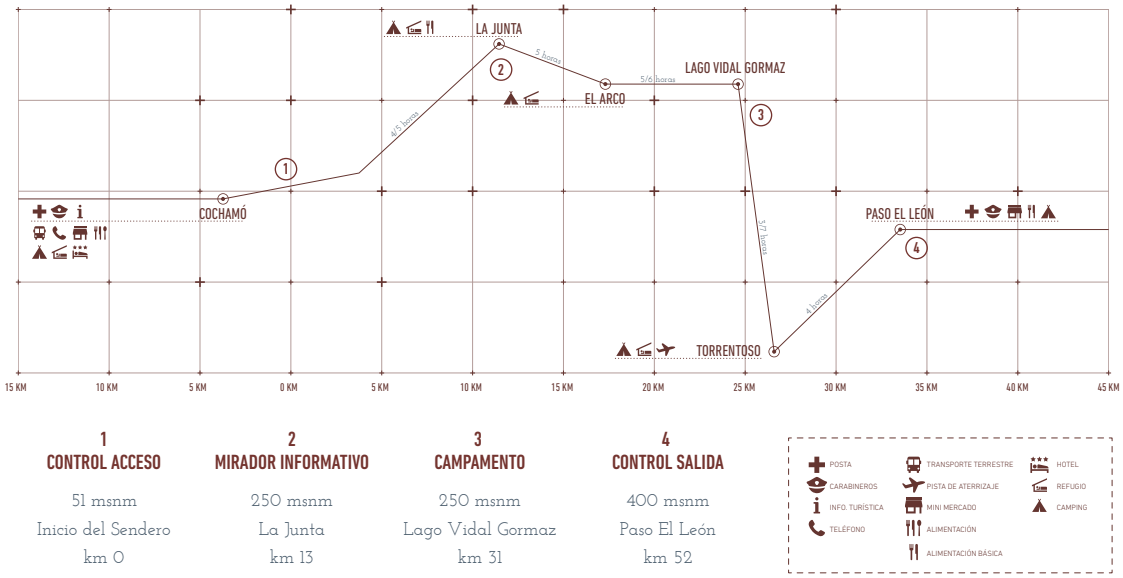
1. **CONTROL DE ACCESO:** Debe contemplar oficinas de administración del parque, control de ingreso y salida, información turística, trasporte al pueblo Cochamó y estacionamientos, teniendo en consideración que el transporte de la zona es motorizado y a caballo. Es importante destacar la dualidad presente por los procesos de control de ingreso y control de salida del parque

2. **MIRADOR INFORMATIVO:** Se conforma como un pequeño refugio contra la lluvia, que exponga información local y mapa de los senderos disponibles, además de contemplar una zona de descanso y mirador de acuerdo con el contexto.

3. **CAMPAMENTO:** Cada centro de servicios de acampada debe contener servicios básicos como cocina, baños, duchas, lavadero, entre otros, además de espacios para carpas, recepción del campamento, y un habitáculo para que resida el administrador.

4. **CONTROL DE SALIDA:** Además de considerar el control de ingreso y salida al parque y los servicios de información turística que necesitan, debe funcionar como complemento de la aduana y migraciones por ubicarse en el limite con Argentina.

Si bien se desarrollan los cuatro programas en un nivel de precisión básico para probar su factibililidad con el sistema, se profundiza en el programa de campamento por presentar requerimientos de variación proyectual específicos, tanto de forma estacional como temporal que suponen un desafío para probar el sistema. Por un lado, esto significa que un mismo proyecto debe abarcar formas de habitar el espacio muy diferentes en un periodo de un año, considerando las extremas condiciones climáticas que existen en la zona en invierno y verano. Y por otro lado, que el flujo turístico del sendero se encuentra en aumento constante, por lo que la demanda de servicios básicos va a aumentar proporcionalmente en los próximos años. Por esto, el centro de servicios del campamento debe considerar diferentes posibilidades de expansión a largo plazo. La secuencia de plantas y axonométricas de la figura



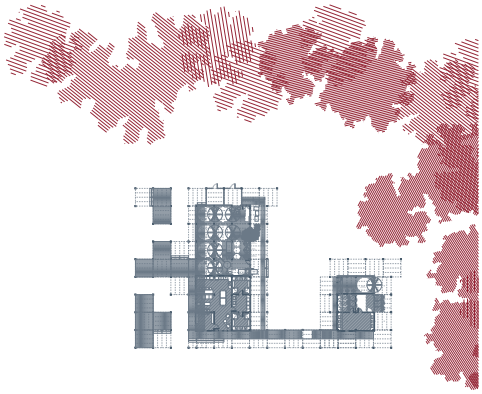
1 CONTROL ACCESO	2 MIRADOR INFORMATIVO	3 CAMPAMENTO	4 CONTROL SALIDA
51 msnm	250 msnm	250 msnm	400 msnm
Inicio del Sendero	La Junta	Lago Vidal Gormaz	Paso El León
km 0	km 13	km 31	km 52

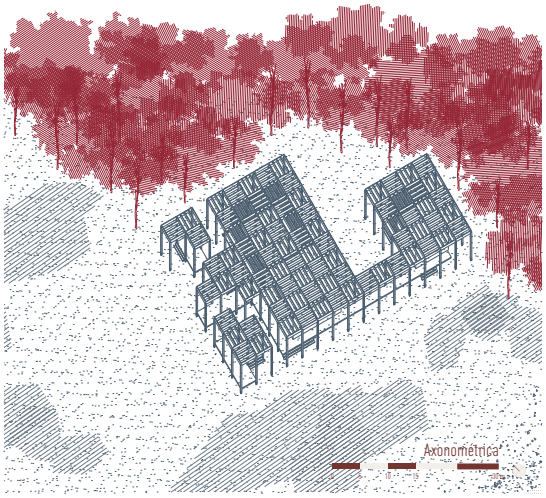
Figura 6.4: Esquema del sendero y equipamiento. Fuente: Elaboración propia.

6.5 muestra la magnitud de las variaciones temporales posibles en el campamento distribuida en tres etapas de expansión. Es importante considerar que estas etapas no necesariamente ocurren de forma lineal, por lo que las variaciones temporales pueden ser de expansión o de reducción. Cada uno de estos cambios conlleva esfuerzos de construcción, que gracias al sistema utilizado son simples procesos de montaje, además de la adición o sustracción de elementos y componentes.

La figura 6.5 muestra además una estimación de la cantidad de material nuevo utilizado en cada etapa, especificando volumen material, peso material y residuos. Estos números serán de suma importancia al momento de planificar el transporte material. Si consideramos que una persona puede cargar un máximo de 25 kg y un caballo puede cargar aproximadamente 100 kg podemos estimar la cantidad de viajes, personas y animales que necesitamos para transportar el material para cada etapa. Suponiendo que contamos con 15 caballos y 5 personas para transportar todo el material, se necesitan un aproximado de 15 viajes para la etapa 1, 6 viajes para la etapa 2 y 5 viajes para la etapa 3. La cantidad de viajes va a depender directamente del número de caballos y de personas del que se dispone.

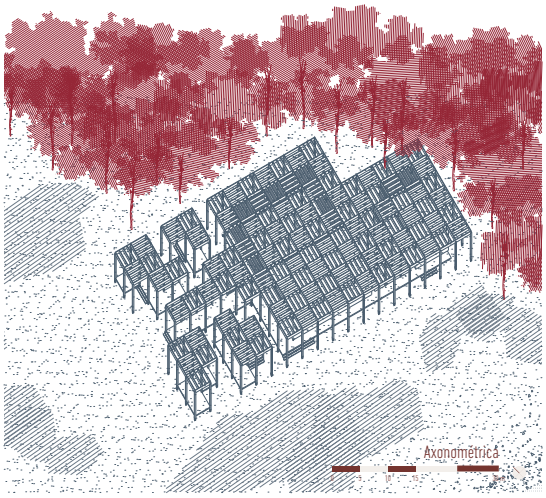
Luego de este cálculo se entiende lo fundamental que es la correcta optimización del sistema. Si bien lo óptimo sería prefabricar los elementos para transportarlos lo más acabados posibles, existe la posibilidad de tener que trasladar la materia prima y fabricar los componentes en el sitio. De ser así, la figura 6.5 indica que la cantidad de material "inútil" transportado a terreno es baja. En términos de proporciones dentro del total utilizado, para la etapa 1 se estaría transportando un 1,5% de material que no será utilizado, para la etapa 2 un 5% y para la etapa 3 un 5,5%. Si bien estos porcentajes representan los residuos de construcción solamente, es necesario destacar que la cantidad de material traslado en cada etapa no es proporcional al crecimiento del proyecto. Esto se debe a la flexibilidad y al gran potencial de reutilización que ofrece el sistema, por lo que se necesita menos cantidad de material nuevo, disminuyendo la generación de residuos al modificar el proyecto.





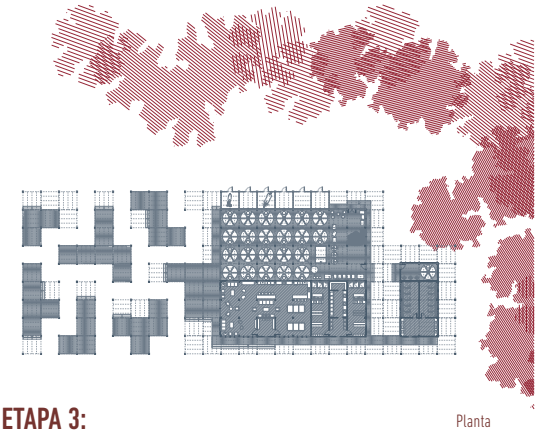
ETAPA 1:

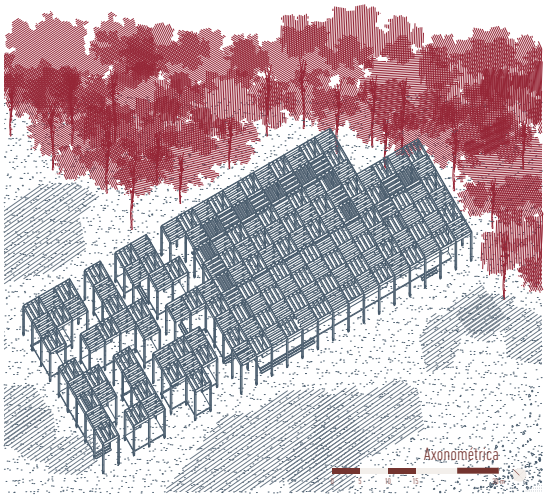
Peso Total: 25 ton
Volumen Total: 105, 5 m^3
Residuos Totales: 1,7 m^3



ETAPA 2:

Peso Total: 10 ton
Volumen Total: 35,2 m^3
Residuos Totales: 0,5 m^3





ETAPA 3:

Peso Total: 9 ton
Volumen Total: 34,7 m^3
Residuos Totales: 0,5 m^3

Figura 6.5: Variación temporal programa campamento. Fuente: Elaboración propia.

PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES DE DISEÑO

La aplicación del sistema en un contexto real introduce variaciones específicas para satisfacer las necesidades de determinados contextos y programas. Pero además surgen ciertos inconvenientes de funcionamiento, montaje y dimensionamiento que se traducen en desarrollos complementarios de diseño o simplemente en restricciones del mismo sistema.

En primer lugar, el dimensionamiento supone un problema cuando el espacio configurado es más grande que un módulo solo, es decir, se necesita un muro conformado por cuatro paneles de envolvente. En esta situación, una de las uniones panel-panel queda escondida detrás de un pilar como muestra la figura 6.6. Esto podría considerarse una virtud estética, pero el funcionamiento de la unión a través de una pieza externa por la cara interior del panel se ve imposibilitada por la presencia del pilar, que impide su acceso. El diseño del sistema considera la posibilidad de incorporar la pieza de unión por el interior o por el exterior de la envolvente, pero este caso demuestra que debe ser ubicada siempre en el lado exterior de la misma.

Dentro de la misma temática de problemas, encontramos la unión de las esquinas. Si la grilla es de 3200x3200 mm y los paneles se sitúan desfasados de los ejes (porque se fijan en el exterior de los pilares), los paneles situados de forma perpendicular no se alcanzan a unir. Es necesario diseñar una pieza de unión panel-panel especial para las esquinas, como muestra la figura 6.7, cuya vinculación con los paneles contiguos, idealmente utilice la misma pieza de unión envolvente-envolente diseñada anteriormente (ver figura 6.9).

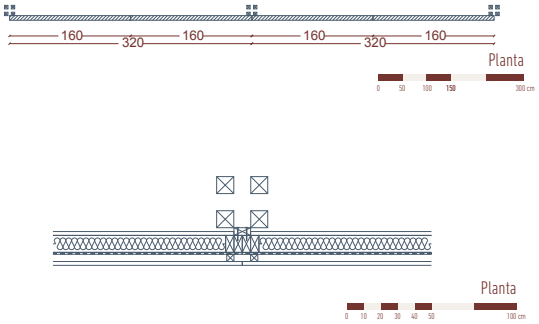


Figura 6.6: Detalle unión paneles atrás de un pilar. Fuente: Elaboración propia.

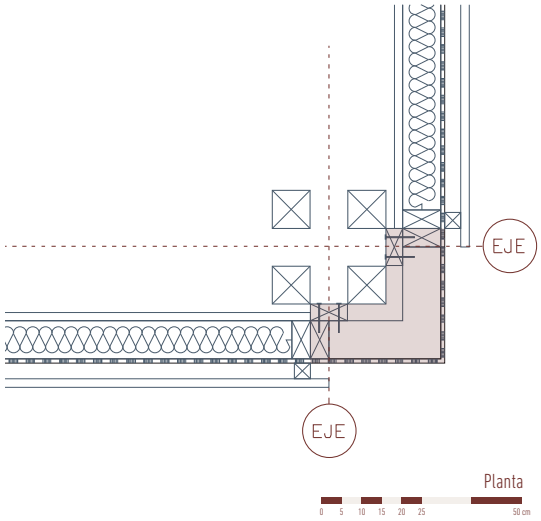


Figura 6.7: Detalle unión paneles esquina. Fuente: Elaboración propia.

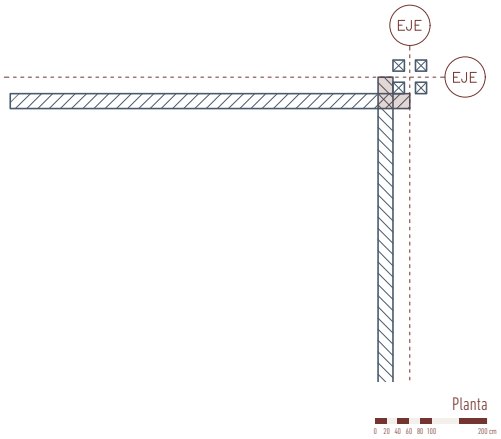


Figura 6.8: Detalle unión paneles esquina. Fuente: Elaboración propia.

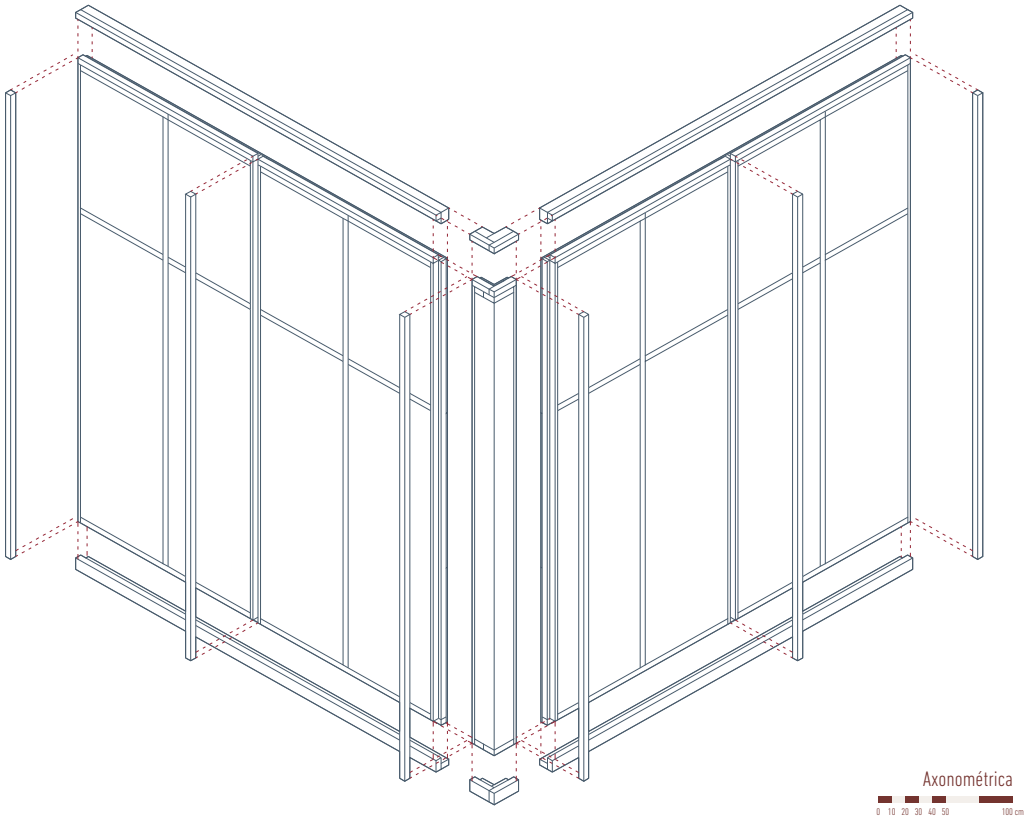


Figura 6.9: Detalle unión esquina. Fuente: Elaboración propia.

El mismo error se genera al unir de forma perpendicular los paneles en el sentido contrario, como muestra la figura 6.8 (formando un espacio en forma de "L" por ejemplo). Pero este problema no se puede solucionar diseñando una nueva pieza, porque el problema supone la superposición de dos paneles. Existen dos soluciones al respecto. La primera, es simplemente considerarlo una restricción del sistema y construir espacios rectangulares. La segunda es utilizar la misma pieza de esquina e incorporar un panel ligeramente más pequeño para que no se sobrepongan. Esto no supondría una complicación mayor si se planifica con anterioridad la existencia de esta situación.

Por último, se identifica la necesidad de diseñar un tabique divisor interior, para poder subdividir los espacios creados por la envolvente. De esta manera, a pesar de que la envolvente tenga que formar un espacio rectangular, los tabiques permitiría configurar espacios diversos al interior. Este se fija a los pilares interiores utilizando los espacios entre las cuatro piezas de madera, y su configuración dependerá de los programas que alberguen los espacios que está formando.

07. CONCLUSIONES

A través del estudio de la relación de dependencia entre las capas constructivas y sus uniones a corto, mediano y largo plazo, podemos entender su lógica de funcionamiento y el impacto que tiene en la generación de residuos en todas las etapas de una construcción. De esta manera, la disciplina de la arquitectura se puede hacer cargo del edificio a lo largo de su vida útil completa, sin proyectar la construcción como un objeto terminado. Naturalmente, el edificio sufrirá modificaciones desde el momento en que se termina la construcción, cambios que generarán costos económicos y grandes esfuerzos, pero por sobre todo residuos innecesarios. La investigación entiende las exigencias de cada etapa de la vida útil del edificio para poder diseñar de acuerdo con sus requerimientos, y propone soluciones a los problemas proyectadas desde la etapa de inicial de diseño. En otras palabras, el trabajo estudió las etapas de construcción, mantención y uso, y desarmado de un edificio, para después derivar las conclusiones obtenidas en estrategias de diseño y testear ese diseño nuevamente en las etapas de construcción, mantención y uso, y desarmado. Las estrategias de reducción de residuos que se trabajaron fueron la planificación de la obsolescencia y la extensión de la vida útil de parte o del total de la construcción a través de un trabajo de capas independientes. Esto plantea al edificio como partes separadas, que en conjunto conforman un todo terminado, poniendo especial énfasis en las relaciones entre sus partes y piezas.

Siguiendo ambas estrategias, el estudio plantea como eje central que la independencia de las capas constructivas tiene un impacto significativo en la generación de residuos, pero hay diferentes variables con las que se debe trabajar para que sea realmente efectivo. La madera como material constructivo es óptimo para diseñar con estas estrategias. Su lógica constructiva tradicional considera la unión de partes y piezas como base, pero las diferentes necesidades de protección de los componentes y elementos los agrupa por capas según sus niveles de exposición. El ordenamiento natural de las construcciones en madera sin importar el sistema constructivo que se utilice, es a partir de capas que agrupan sus partes. Esta característica les confiere además la posibilidad de ser desarmadas parcial o totalmente si son diseñadas de la forma correcta. El trabajo realizado muestra que ambas características son fundamentales al diseñar una construcción a partir de la independencia de capas para minimizar la generación de residuos a largo plazo, por lo que el supuesto potencial reductivo de la madera es confirmado.

Los resultados expuestos ponen en tela de juicio la noción de Residuos de Construcción y Demolición que nuestro campo disciplinar tiene hoy en día. Es evidente, que lo que nosotros consideramos como RCD no es ni la tercera parte de los residuos que puede llegar a generar un edificio, y que planear y proyectar para una disminución de desechos de construcción no es suficiente. El estudio de las tres etapas de la vida útil de la construcción nos demuestra que los RCD del edificio durante la construcción, representan menos de un cuarto de los residuos que generará a 30 años plazo. No es necesario hacer el cálculo a 50 años o a 100 años plazo para entender que el comportamiento es el mismo. El problema es que los edificios necesitan ser dinámicos, ya sea por requerimientos programáticos o por necesidades de mantenimiento material, pero son diseñados para servir sólo a su primer etapa de manera satisfactoria.

Durante la etapa de uso y la etapa de desarmado evaluadas a treinta años, se reconoce que la disposición de las capas constructivas y su accesibilidad y uniones representan una de las mayores causas de la generación de residuos a largo plazo si no son correctamente diseñadas. Esto demuestra que la independencia de capas genera una mayor accesibilidad y esta a su vez menores daños por mantención. Surgen los conceptos de optimización material, separación total de capas y uniones desarmables como ejes centrales dentro de las estrategias de diseño que deben tomarse.

El primer concepto expone un potencial reductivo de la madera poco estudiado: la amplia posibilidad de optimización material según el dimensionado industrial. La estandarización a nivel internacional de la industria forestal producida por el largo historial constructivo del material ofrece la oportunidad de diseñar con un mínimo volumen de residuos, siempre que se considere el material constructivo a utilizar en una etapa proyectual temprana. El estudio nos demuestra que si proyectamos según las medidas industriales de la madera, la disminución de residuos en una etapa de construcción es considerable y el impacto es mayor aún, a largo plazo. Pero al mismo tiempo, cuestiona las partes del edificio que deben ser optimizadas, entendiendo que resultaría imposible optimizar la totalidad de la construcción. Es aquí donde la importancia de la evaluación del comportamiento del edificio a largo plazo juega un rol fundamental. Si consideramos sólo los residuos de la etapa de construcción, lo más efectivo sería optimizar la capa de estructuras, que representa más de la mitad del volumen de material de construcción. Sin embargo, al estudiar el comportamiento de las capas durante la etapa de uso del edificio las decisiones en cuanto a la optimización material son diferentes. Los diversos estudios del ciclo de vida de cada capa constructiva, indican que la capa de estructuras se debe cambiar una vez cada treinta años, y la capa de envolvente una vez cada veinte. Por ende, simplificando el análisis, se podría suponer que en treinta años la capa de estructuras generará el volumen de los residuos de construcción una sola vez, pero la capa de envolvente los producirá dos veces. Si incluimos al análisis la capa

de revestimiento, que debe cambiarse cada tres años, los números aumentas considerablemente. A este análisis se debe incluir el potencial de recuperación material, que en el caso de la envolvente es muy bajo por sus altos niveles de exposición y el volumen material que representa, siendo los mayores la estructura y la envolvente. Es necesario cuestionarse entonces la capa que conviene optimizar considerando toda la vida útil del edificio.

Utilizar sólo una estrategia de optimización con el fin de reducir los residuos, sería asumir que los ciclos de vida de las capas son absolutos, y que cuando se cumplen, la totalidad de la capa debe ser reemplazada. El estudio demuestra lo contrario, y plantea que una gran cantidad de reemplazo material es producida innecesariamente. Nuevamente surge el concepto de independencia de capas constructivas, que aumenta la accesibilidad de las diferentes capas que necesitan mantención evitando que estas reparaciones provoquen daños en el resto del edificio.

Pero para que esta accesibilidad sea provechosa, es necesario considerar el rol fundamental que cumplen las uniones entre elementos y componentes. La capacidad de desarmar una unión sin daño material permite la reutilización material y la facilidad de armado permite invertir pocos esfuerzos físicos y económicos. Esto es extremadamente útil si se considera que los ciclos de vida de las capas pueden ser parciales, es decir, que solo partes de la capa requieran reparación o reemplazo. De esta manera existiría la posibilidad de acceder al componente que necesite reparación gracias a la independencia de capas constructivas, pero también cambiar un sólo elemento de dicho componente producto de la capacidad de desarmar las uniones sin daños materiales. No hay que olvidar, que las uniones desarmables tienen una gran repercusión en la etapa final del edificio, permitiendo el desmontaje del mismo y la reutilización total o parcial de sus componentes.

Queda demostrado que los conceptos de separación de capas constructivas, optimización material y posibilidad de desmontaje de las uniones son fundamentales para trabajar con las estrategias de proyección de obsolescencia total o parcial y extensión de vida útil de elementos y componentes del edificio, para minimizar la generación de residuos. Diseñar a partir de estos conceptos conlleva seguir ciertas consideraciones de diseño. En primer lugar, entender que el material constructivo debe estar presente desde los inicios del proyecto, para diseñarlo siguiendo su lógicas estructurales, pero también según su estándares de producción industrial para trabajar con él de manera eficiente.

En segundo lugar, el diseño de las uniones de elementos y de componentes de la construcción, considerando que no todas las uniones y todos los materiales tienen las mismas necesidades de durabilidad y de posibilidad de desarmado. El juego entre la durabilidad requerida de la unión, la fragilidad y exposición material y la necesidad de desarmado derivarán en la unión más eficiente.

Por último, la posibilidad de una fácil instalación y de la utilización de elementos manipulables por hombres y mujeres es esencial para que las lógicas de desarmado sean efectivas, siempre tomando en cuenta el contexto dentro del cual se está diseñando. De poco servirá la creación de uniones desarmables unicamente con la utilización de maquinaria especializada, que se traduce en grandes esfuerzos económicos, energéticos y humanos. El diseño debe garantizar un manejo fácil de las partes y piezas de la construcción, en especial de las capas con ciclos de vida más cortos que tendrán que ser manipulados mas seguido.

Los procesos de diseño arquitectónico a pesar de no ser lineales, consideran como punto de partida y factores fundamentales dentro de un proyecto los requerimientos programáticos y estructurales. Las estrategias de diseño propuestas, que derivan del estudio de la totalidad del ciclo de vida de una edificación plantean implícitamente un cambio en esta lógica de diseño. La metodología desarrollada propone que la materialidad elegida supone una variable fundamental

en el proyecto no sólo a través de una lógica de dimensionamiento estructural, sino que también como expresiones de funcionamiento del sistema constructivo, de los requerimientos materiales y de las posibilidades que ofrece la materia prima. Estas condiciones deben evaluarse en una etapa temprana de diseño, del mismo modo que se evalúan las espacialidades requeridas o las posibilidades estructurales del material. De esta manera, se aprovecha el potencial de diseño, las expresiones constructivas y las posibilidades que ofrecen los materiales y métodos, entendiendo sus restricciones y evitando residuos innecesarios por tratar de forzar los sistemas.

En conclusión, el diseño arquitectónico que apunta a la reducción de residuos de construcción debe considerar la totalidad de la vida útil del edificio y sus partes. Diseñando a partir de la lógica de los ciclos de vida de las partes y piezas del edificio se logra la extensión de la vida útil de sus componentes y la planificación de la obsolescencia de sus partes. De esta manera se evitan residuos innecesarios, siempre considerando la independencia de las capas constructivas, la posibilidad de desarmado de las uniones y la optimización material como ejes centrales dentro del proyecto. La madera presenta un gran potencial reductivo en la construcción al trabajar a partir de partes y piezas de manera tradicional, ofreciendo la posibilidad de utilizar estas estrategias. Es el arquitecto el que debe aplicarlas desde una etapa inicial de diseño para cumplir con estos objetivos a cabalidad y que no interfieran con el resto de los requerimientos que un proyecto de arquitectura pueda tener.

08. GLOSARIO

Análisis de ciclo de vida: (ACV) Herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia: extracción, producción, distribución, uso y fin de vida.

CLT: (También denominada madera contralaminada) Tablero formado por al menos 3 capas de tablas de madera estructural encoladas sólo por sus caras, de forma que las capas sucesivas son perpendiculares entre sí.

Cubicación: Determinación de la capacidad o del volumen de un cuerpo conociendo sus dimensiones. En construcción, es el cálculo del total del material que se necesitará para realizar un trabajo.

Deconstrucción: Proceso de retirada de los elementos de una construcción de su sitio para evitar total o parcialmente el proceso de demolición.

Demolición: Destrucción de un edificio u otra construcción.

Desarmado: Proceso de descomponer, separar las piezas que forman una cosa.

Flexibilidad: Capacidad para adaptarse con facilidad a las diversas circunstancias o para acomodar las normas a las distintas situaciones o necesidades.

Madera aserrada: Piezas de madera maciza obtenidas por aserrado del árbol, generalmente escuadradas, es decir con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas.

Obsolescencia: Condición o estado en que se encuentra un producto que ya ha cumplido con una vigencia o tiempo para que siga funcionando.

Obsolescencia programada: Determinación o programación del fin de la vida útil de un producto, de modo que, tras un período de tiempo calculado de antemano por el fabricante o por la empresa durante la fase de diseño del mismo, este se torne obsoleto, no funcional, inútil o inservible por diversos procedimientos.

Reciclaje material: Proceso que consiste en la transformación de desechos o materiales usados en nuevos bienes o producto.

Recuperación material: Sistema o proceso mediante el cual diferentes materiales se clasifican y almacenan para ser integrados nuevamente a la cadena de uso.

Reutilización: Acción que permite volver a utilizar los bienes o productos desechados, denominados residuo, y darles un uso igual o diferente a aquel para el que fueron concebidos.

Residuo: Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación.

Residuos de Construcción y Demolición: (RCD) Cualquier resto que se genere en una obra de construcción y demolición.

Vida útil: Duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado.

09. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

ARUP (2016). **The Circular Economy in the Built Environment. London**; UK.

Bancalari Cornejo, A. (2004). **Protección Por Diseño en Puentes de Madera**. Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bio Bio.

Bergsdal, H. & Bohne, R.A. & Brattebo, H. (2007). **Projection of construction and Demolition Waste in Norway.** Journal of Industrial Ecology. Volumen: 11, N° 3. Massachusetts Institute of Technology and Yale University. Trondheim, Noruega.

Brand, S. (1994). **How Buildings Learn: What Happens After they are Built.** Penguin Books. New York; USA.

Bunster, V.; Crawford, R. H.; Bontinck, P. A.; Stephan, A. & Bustamante, W. P. (2018). **Towards a comprehensive hybrid life cycle inventory for Chilean building materials**. Rajagopalan and M.M Andamon (eds.), Engaging Architectural Science: Meeting the Challenges of Higher Density: 52nd International Conference of the Architectural Science Association 2018, pp.399-406. ©2018, The Architectural Science Association and RMIT University, Australia.

Cairns, S. & Jacobs, J. M. (2014). **Building Must Die: A Perverse View of Architecture.** The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, UK.

Cal Mouriño, A. (2017). **El ciclo de vida de la madera en la construcción: Análisis de un caso práctico.** Trabajo de Fin de Grado. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad da Coruña.

CONAMA. (2010). **Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile.**

Crowther, P. (1999). **Designing for Disassembly to Extend Service Life and Increase Sustainability.** 8th Conference of Durability of Building Materials and Components. Vancouver, Canada.

Dorsthorst, B. J. H. & Kowalczyk, T. (2002). **Design for Recycling.** Chini, A. R., & Schultmann, F. (Ed). Design for Deconstruction and Material Reuse. Proceedings of the CIB Task Group 39 Meeting. CIB Publication 272. Karlsruhe, Alemania.

E. Sarah Slaughter (2001). **Design strategies to increase building flexibility.** Building Research & Information, 29:3. (208-217). DOI: 10.1080/09613210010027693

INFOR. (2019). **Anuario Forestal.** Boletín Estadístico N°168. Instituto Nacional Forestal. Santiago; Chile.

Hanono, M. (2001). **Construcción en Madera.** CIMA. Bariloche, Argentina.

Israelsson, N. and Hansson, B. (2009). **Factors influencing flexibility in buildings.** Structural Survey, Vol. 27 No. 2, pp. 138-147.

Israelsson, N. and Hansson, B. (2009). **Factors influencing flexibility in buildings.** Structural Survey, Vol. 27 No. 2, pp. 138-147.

Kronenburg, R. (2007). **Flexible: Arquitectura que Integra el Cambio.** Art Blume. Barcelona, España.

Lehmann, S. (2011). **Sustainable Building Design and Systems Integration: Combining energy efficiency with material efficiency.** Lehmann, S., & Crocker, R. (Ed.). Designing for Zero Waste: Consumption, Technologies and the Built Environment. (pp: XX). London; New York: Earthscan Ltd.

Llatas, C. (2011). **A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list.** Waste Management: Volume 31, Issue 6 (1261-1276).

Macozoma, D. S. (2002). **Understanding The Concept of Flexibility in Design For Deconstruction.** Chini, A. R., & Schultmann, F. (Ed). Design for Deconstruction and Material Reuse. Proceedings of the CIB Task Group 39 Meeting. CIB Publication 272. Karlsruhe, Alemania.

Otto, F. (1979). **Design strategies to increase building flexibility.** Coloquio Internacional Arquitectura Adaptable 1974, Stuttgart, Alemania. Editorial Gustavo Gili. Barcelona; España.

Smith, E. R. (2010). **Prefab Architecture: A Guide To Modular Design and Construction.** John Willey & Sons, Inc. New Jersey, USA.

Dangel, U. (2017). **Turning point in timber construction: A new economy.** Birkhauser Basel. Alemania.

Ward, S. (2012). **Breathing Life Into The Corpse: Upcycling through adaptive reuse.** Lehmann, S., & Crocker, R. (Ed.). Designing for Zero Waste: Consumption, Technologies and the Built Environment. (pp: XX). London; New York: Earthscan Ltd.

Xi C. & Weisheng L. (2017). **Identifying factors influencing demolition waste generation in Hong Kong.** Journal of Cleaner Production: Volume 141. (799-811)

10. ANEXOS

ANEXO 1: REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Se calculan los requerimientos hídricos de cada programa para determinar el tamaño de la cubierta recolectora de aguas lluvias y el volumen del depósito de acuerdo con los flujos de personas y los usos que existirán en cada uno de ellos. Según el SERNAC el consumo promedio diario de agua por persona en Chile según uso es de:

Ducha: 60 litros.
Aseo en lavatorios: 1 litros.
Descarga WC: 60 litros.
Cocina: 17 litros.
Lavado en general: 33,5 litros.
Riego: 17 litros.

La fórmula considera la demanda mensual de agua en m^3 calculada como:

$$Dm = h \times d \times c / 1000$$

con:

h = habitantes

d = días

c = consumo (Lts/per/día)

Y la oferta mensual de agua en m^3 como:

$$Aof = Pm \times k \times Ac / 1000$$

con:

Pm = precipitación mensual promedio

k = coef. de escorrentía del material

Ac = área de captación

El cálculo se hace comenzando por el mes más lluvioso y continua secuencialmente hasta completar el año. Calculamos la oferta parcial y la oferta acumulada (en el caso del primer mes ambas son iguales) en base a una superficie recolectora supuesta, además la demanda parcial y la demanda acumulada (en el caso del primer mes son iguales). Restando la demanda acumulada a la oferta acumulada obtendremos el volumen de agua sobrante por mes, valor que nunca debe ser negativo. Si es menor a cero, es necesario agrandar el área de cubierta. El volumen mayor de agua acumulado en los 12 meses representa el volumen del depósito, y el valor menor de agua acumulada representa el superávit mínimo. Para todos los casos se calcula la cantidad de tanques de agua que se requieren, considerando que se utilizarán tanques verticales de polietileno de 20 m^3 de uso sobre la superficie. Existen tanques de mayor tamaño, pero su diámetro excede el tamaño de un módulo del sistema. Debido al gran tamaño del depósito se considera la utilización de hidro packs que garanticen la adecuada presión del agua.

Además de los tanques de almacenamiento se consideró el tratamiento de las aguas grises[1] a través de cámaras desgrasadoras, cámaras de inspección, cámaras cloradoras y cámaras decloradoras, todas de polietileno 5 m^3. Para las cámaras cloradoras y decloradoras, independiente del volúmen de la cámara, las diferencias del caudal de agua indican la frecuencia que se deben adicionar las pastillas de tratamiento. Estas se especifican junto a los cálculos a continuación para cada programa.

Por último, el sistema de recolección de aguas lluvias considera la superficie captadora, un filtro y por último la acumulación. Habiendo definido la superficie de captación y el volumen de almacenamiento es necesario calcular la superficie del filtro. Este se compone de dos compartimientos, el primero un decantador para que el agua pase gradualmente al segundo compartimiento que es el filtro en si, compuesto por tres capas (de abajo hacia arriba): 30 cm de piedras (3/4" de diámetro aproximado), 20 cm de arena gruesa y 10 cm de arena fina. Bajo la capa de piedras se ubica una cañería con agujeros en la parte inferior a 8/10 mm de distancia, como último elemento filtrante, que guiará el agua hacia los depósitos. Es importante destacar que esta cañería debe tener el mismo diámetro que la tubería que trae el agua lluvia desde las cubiertas al filtro para evitar que el filtro colapse. Por cada 100 m^2 de superficie de captación, se necesita 1m^2 de superficie filtrante, además de adicionar en los tanques de almacenamiento la cantidad de pastillas de cloro necesarias para llegar a una concentración de 0,2 mgr/Lt. El tamaño del segundo compartimiento del filtro se especifica para cada programa.

Se realizó el cálculo para un control de acceso, contabilizando por separado oficinas y baños públicos, y para un campamento, contabilizando por separado el centro de servicios y el habitáculo del administrador. Para estos últimos programas se calculó también en tres diferentes etapas de construcción, apuntando al flujo creciente de turistas proyectado. Para todos los casos se consideran tres cambios de flujo durante el año, que responden a las temporadas alta, media y baja del turismo.

1 El tratamiento de aguas negras no se considera dentro de este cálculo porque se realiza de manera separada utilizando un sistema IESSO (Inodoro Ecológico Seco con Separación de Orina).

1.1 CONTROL DE ACCESO: Se considera el primer cálculo para la oficina de administración con los usos de cocina y lavatorio) y una cubierta supuesta de 25 m^2.

[FLUJO]

Temporada Alta: 5 personas - 30 días - 45 Lt/p

Temporada Media: 3 personas - 30 días - 45 Lt/p

Temporada Baja: 2 personas - 30 días - 45 Lt/p

[RESULTADOS]

Nº Tanques: 1

Área Filtro: 0,25 m^2

Uso Diario Máx: 225 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

Los cálculos se muestran en la tabla a la derecha, y se realizaron a partir de las demandas mensuales siguientes:

[DEMANDA]

Temporada Alta: 6,75 m^3

Temporada Media: 4,05 m^3

Temporada Baja: 2,7 m^3

1.2 CONTROL DE ACCESO: Se considera el segundo cálculo para los baños públicos con el uso de lavatorio y una cubierta supuesta de 45 m^2.

[FLUJO]

Temporada Alta: 200 personas - 30 días - 3 Lt/p

Temporada Media: 50 personas - 30 días - 3 Lt/p

Temporada Baja: 10 personas - 30 días - 3 Lt/p

[RESULTADOS]

Nº Tanques: 3

Área Filtro: 0,45 m^2

Uso Diario Máx: 600 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

Los cálculos se muestran en la tabla a la derecha, y se realizaron a partir de las demandas mensuales siguientes:

[DEMANDA]

Temporada Alta: 18 m^3

Temporada Media: 4,5 m^3

Temporada Baja: 0,9 m^3

OFICINAS ADMINISTRACION							
Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	10,01	10,01	2,7	2,7	7,31
BAJA	Julio	401	8,52	18,53	2,7	5,4	13,13
BAJA	Agosto	370	7,86	26,39	2,7	8,1	18,29
MEDIA	Septiembre	230	4,89	31,28	4,05	12,15	19,13
MEDIA	Octubre	221	4,70	35,98	4,05	16,2	19,78
ALTA	Noviembre	174	3,70	39,67	6,75	22,95	16,72
ALTA	Diciembre	183	3,89	43,56	6,75	29,7	13,86
ALTA	Enero	141	3,00	46,56	6,75	36,45	10,11
ALTA	Febrero	121	2,57	49,13	6,75	43,2	5,93
MEDIA	Marzo	179	3,80	52,93	4,05	47,25	5,68
MEDIA	Abril	251	5,33	58,27	4,05	51,3	6,97
BAJA	Mayo	390	8,29	66,56	2,7	54	12,56

Figura 10.1: Tabla cálculo AALL para Oficina. Fuente: Elaboración propia.

BAÑOS PUBLICOS							
Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	18,02	18,02	0,9	0,9	17,12
BAJA	Julio	401	15,34	33,35	0,9	1,8	31,55
BAJA	Agosto	370	14,15	47,51	0,9	2,7	44,81
MEDIA	Septiembre	230	8,80	56,30	4,5	7,2	49,10
MEDIA	Octubre	221	8,45	64,76	4,5	11,7	53,06
ALTA	Noviembre	174	6,66	71,41	18	29,7	41,71
ALTA	Diciembre	183	7,00	78,41	18	47,7	30,71
ALTA	Enero	141	5,39	83,81	18	65,7	18,11
ALTA	Febrero	121	4,63	88,43	18	83,7	4,73
MEDIA	Marzo	179	6,85	95,28	4,5	88,2	7,08
MEDIA	Abril	251	9,60	104,88	4,5	92,7	12,18
BAJA	Mayo	390	14,92	119,80	0,9	93,6	26,20

Figura 10.2: Tabla cálculo AALL para Baños Públicos. Fuente: Elaboración propia.

2.1 CAMPAMENTO: Se considera el primer cálculo para el centro de servicios público con uso en ducha, lavatorios, cocina y lavado general, divididos en tres tamaños o etapas de construcción.

Los cálculos se muestran en las tablas a la derecha, se realizaron bajo el supuesto de una cubierta de 100 m^2, 210 m^2 y 410 m^2 respectivamente para cada etapa partir de las demandas mensuales siguientes:

[FLUJO ETAPA 1]

Temporada Alta: 12 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 6 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 1 personas - 30 días - 110 Lt/p

[FLUJO ETAPA 2]

Temporada Alta: 25 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 12,5 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 2 personas - 30 días - 110 Lt/p

[FLUJO ETAPA 3]

Temporada Alta: 50 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 125 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 2,5 personas - 30 días - 110 Lt/p

[DEMANDA ETAPA 1]

Temporada Alta: 39,6 m^3

Temporada Media: 19,8 m^3

Temporada Baja: 3,3 m^3

[DEMANDA ETAPA 2]

Temporada Alta: 82,5 m^3

Temporada Media: 41,25 m^3

Temporada Baja: 6,6 m^3

[DEMANDA ETAPA 3]

Temporada Alta: 165 m^3

Temporada Media: 82,5 m^3

Temporada Baja: 8,25 m^3

[RESULTADOS ETAPA 1]

Nº Tanques: 5

Área Filtro: 1,1 m^2

Uso Diario Máx: 1320 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

[RESULTADOS ETAPA 2]

Nº Tanques: 11

Área Filtro: 2,3 m^2

Uso Diario Máx: 2750 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 c/ 4 días

[RESULTADOS ETAPA 3]

Nº Tanques: 23

Área Filtro: 4,5 m^2

Uso Diario Máx: 5500 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 c/ 2 días

ETAPA 1

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	44,04	44,04	3,3	3,3	40,74
BAJA	Julio	401	37,49	81,53	3,3	6,6	74,93
BAJA	Agosto	370	34,60	116,13	3,3	9,9	106,23
MEDIA	Septiembre	230	21,51	137,63	19,8	29,7	107,93
MEDIA	Octubre	221	20,66	158,30	19,8	49,5	108,80
ALTA	Noviembre	174	16,27	174,56	39,6	89,1	85,46
ALTA	Diciembre	183	17,11	191,68	39,6	128,7	62,98
ALTA	Enero	141	13,18	204,86	39,6	168,3	36,56
ALTA	Febrero	121	11,31	216,17	39,6	207,9	8,27
MEDIA	Marzo	179	16,74	232,91	19,8	227,7	5,21
MEDIA	Abril	251	23,47	256,38	19,8	247,5	8,88
BAJA	Mayo	390	36,47	292,84	3,3	250,8	42,04

ETAPA 2

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	92,08	92,08	6,6	6,6	85,48
BAJA	Julio	401	78,40	170,48	6,6	13,2	157,28
BAJA	Agosto	370	72,34	242,81	6,6	19,8	223,01
MEDIA	Septiembre	230	44,97	287,78	41,25	61,05	226,73
MEDIA	Octubre	221	43,21	330,98	41,25	102,3	228,68
ALTA	Noviembre	174	34,02	365,00	82,5	184,8	180,20
ALTA	Diciembre	183	35,78	400,78	82,5	267,3	133,48
ALTA	Enero	141	27,57	428,34	82,5	349,8	78,54
ALTA	Febrero	121	23,66	452,00	82,5	432,3	19,70
MEDIA	Marzo	179	34,99	486,99	41,25	473,55	13,44
MEDIA	Abril	251	49,07	536,06	41,25	514,8	21,26
BAJA	Mayo	390	76,25	612,31	6,6	521,4	90,91

ETAPA 3

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	180,16	180,16	8,25	8,25	171,91
BAJA	Julio	401	153,38	333,54	8,25	16,5	317,04
BAJA	Agosto	370	141,53	475,07	8,25	24,75	450,32
MEDIA	Septiembre	230	87,98	563,04	82,5	107,25	455,79
MEDIA	Octubre	221	84,53	647,57	82,5	189,75	457,82
ALTA	Noviembre	174	66,56	714,13	165	354,75	359,38
ALTA	Diciembre	183	70,00	784,13	165	519,75	264,38
ALTA	Enero	141	53,93	838,06	165	684,75	153,31
ALTA	Febrero	121	46,28	884,34	165	849,75	34,59
MEDIA	Marzo	179	68,47	952,81	82,5	932,25	20,56
MEDIA	Abril	251	96,01	1048,82	82,5	1014,75	34,07
BAJA	Mayo	390	149,18	1197,99	8,25	1023	174,99

Figura 10.3: Tablas cálculo AALL para tres etapas de Centro de Servicios. Fuente: Elaboración propia.

2.2 CAMPAMENTO: Se considera el segundo cálculo para el habitáculo del administrador con uso en ducha, lavatorios, cocina y lavado general, divididos en tres tamaños o etapas de construcción.

Los cálculos se muestran en las tablas a continuación, se realizaron bajo el supuesto de una cubierta de 30 m^2, 60 m^2 y 410 m^2 respectivamente para cada etapa partir de las demandas mensuales siguientes:

[FLUJO ETAPA 1]

Temporada Alta: 2 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 2 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 2 personas - 30 días - 110 Lt/p

[FLUJO ETAPA 2]

Temporada Alta: 4 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 4 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 4 personas - 30 días - 110 Lt/p

[FLUJO ETAPA 3]

Temporada Alta: 8 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Media: 8 personas - 30 días - 110 Lt/p

Temporada Baja: 8 personas - 30 días - 110 Lt/p

[DEMANDA ETAPA 1]

Temporada Alta: 36 m^3

Temporada Media: 18 m^3

Temporada Baja: 3 m^3

[DEMANDA ETAPA 2]

Temporada Alta: 75 m^3

Temporada Media: 37,5 m^3

Temporada Baja: 6 m^3

[DEMANDA ETAPA 3]

Temporada Alta: 150 m^3

Temporada Media: 75 m^3

Temporada Baja: 7,5 m^3

[RESULTADOS ETAPA 1]

Nº Tanques: 1

Área Filtro: 0,35 m^2

Uso Diario Máx: 220 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

[RESULTADOS ETAPA 2]

Nº Tanques: 1

Área Filtro: 0,65 m^2

Uso Diario Máx: 440 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

[RESULTADOS ETAPA 3]

Nº Tanques: 3

Área Filtro: 1,3 m^2

Uso Diario Máx: 880 Lts

Frec. Pastillas Cloradoras y Decloradoras: 1 semanal

ETAPA 1

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	14,01	14,01	6,6	6,6	7,41
BAJA	Julio	401	11,93	25,94	6,6	13,2	12,74
BAJA	Agosto	370	11,01	36,95	6,6	19,8	17,15
MEDIA	Septiembre	230	6,84	43,79	6,6	26,4	17,39
MEDIA	Octubre	221	6,57	50,37	6,6	33	17,37
ALTA	Noviembre	174	5,18	55,54	6,6	39,6	15,94
ALTA	Diciembre	183	5,44	60,99	6,6	46,2	14,79
ALTA	Enero	141	4,19	65,18	6,6	52,8	12,38
ALTA	Febrero	121	3,60	68,78	6,6	59,4	9,38
MEDIA	Marzo	179	5,33	74,11	6,6	66	8,11
MEDIA	Abril	251	7,47	81,57	6,6	72,6	8,97
BAJA	Mayo	390	11,60	93,18	6,6	79,2	13,98

ETAPA 2

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	26,02	26,02	13,2	13,2	12,82
BAJA	Julio	401	22,16	48,18	13,2	26,4	21,78
BAJA	Agosto	370	20,44	68,62	13,2	39,6	29,02
MEDIA	Septiembre	230	12,71	81,33	13,2	52,8	28,53
MEDIA	Octubre	221	12,21	93,54	13,2	66	27,54
ALTA	Noviembre	174	9,61	103,15	13,2	79,2	23,95
ALTA	Diciembre	183	10,11	113,26	13,2	92,4	20,86
ALTA	Enero	141	7,79	121,05	13,2	105,6	15,45
ALTA	Febrero	121	6,69	127,74	13,2	118,8	8,94
MEDIA	Marzo	179	9,89	137,63	13,2	132	5,63
MEDIA	Abril	251	13,87	151,50	13,2	145,2	6,30
BAJA	Mayo	390	21,55	173,04	13,2	158,4	14,64

ETAPA 3

Temporada	Mes	Precipitación Mensual (mm)	Oferta de Agua Lluvia (m3)		Demanda de Agua (m3)		Diferencias Acumuladas (m3)
			Parcial (Aof)	Acumulada	Parcial (Dm)	Acumulada	
BAJA	Junio	471	52,05	52,05	26,4	26,4	25,65
BAJA	Julio	401	44,31	96,36	26,4	52,8	43,56
BAJA	Agosto	370	40,89	137,24	26,4	79,2	58,04
MEDIA	Septiembre	230	25,42	162,66	26,4	105,6	57,06
MEDIA	Octubre	221	24,42	187,08	26,4	132	55,08
ALTA	Noviembre	174	19,23	206,30	26,4	158,4	47,90
ALTA	Diciembre	183	20,22	226,53	26,4	184,8	41,73
ALTA	Enero	141	15,58	242,11	26,4	211,2	30,91
ALTA	Febrero	121	13,37	255,48	26,4	237,6	17,88
MEDIA	Marzo	179	19,78	275,26	26,4	264	11,26
MEDIA	Abril	251	27,74	302,99	26,4	290,4	12,59
BAJA	Mayo	390	43,10	346,09	26,4	316,8	29,29

Figura 10.4: Tablas cálculo AALL para tres etapas de Habitáculo Administrador. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2: CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Para el análisis estructural del sistema se utilizan los software de modelación y cálculo SAP 2000 y C+T, considerando las normas NCh1198 (Construcción en madera), NCh0432 (Viento), NCh0431 (Nieve). Las cargas aplicadas al sistema fueron las siguientes:

P. Propio: Cálculo de programa (madera= 400 kg/m^3)

Viento: 80 kgf/m^2

Factor NCh techo plano: +0,4q = 32 kgf/m^2

Factor NCh muros: +0,8q = 64 kgf/m^2

Nieve: 100 kgf/m^2 (NCh Lat: 38-42 - Alt: 800-1000 m)

Factor acumulación techo plano: x2 = 200 kgf/m^2

Uso: Techo: 50 kgf/m^2

Suelo: 250 kgf/m^2

Para efectos del programa siempre se aplican las sobre cargas de peso propio y de uso, y el resto se varía en dos combinaciones diferentes:

Comb 1: PP + SC + N + 0,75W

Comb 2: PP + SC + W

Se comienza probando la resistencia de los pilares formados por cuatro piezas de 3x3 pulgadas nominales bajo la combinación 1, ordenando las costaneras de manera aleatoria. Primero se compara la deformación admisible (Δ) con la deformación máxima existente:

Δ = L/500

Δ = 480/500 = 0,96cm

$\Delta_{máx}$ = 0,86

Los pilares cumplen con la deformación admisible, y luego de modelarlos en el programa C+T este comprueba que las tensiones de compresión paralela existentes (1,59 MPa) superan por muy poco las tensiones existentes (1,46 MPa), trabajando la pieza al 110%. Cuando las tensiones existentes superan por tan poco a las admisibles se considera que cumple por criterio del calculista.

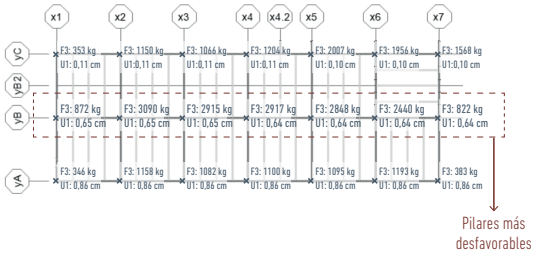
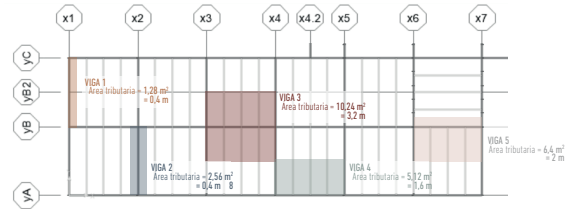
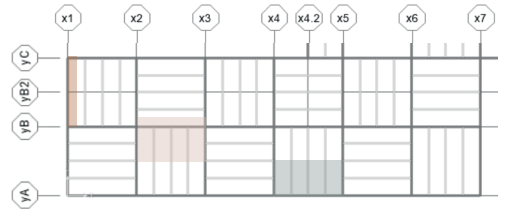


Figura 10.5: Planta modelo SAP200. Fuente: Elaboración propia.

Luego se analizan los resultados del software SAP2000, como se muestra en la figura 9.5, donde se pueden identificar los pilares más desfavorables. Este fenómeno se debe a que el área tributaria de las vigas en el eje yB es considerablemente mayor que las de los ejes yA e yC, por lo que las cargas que reciben los pilares son mayores. En otras palabras, los pilares del eje central estan recibiendo las cargas de la mitad de las costaneras hacia cada lado, mientras que los de los ejes exteriores reciben solo la mitad de las costaneras hacia el interior. Esta distribución de cargas no conviene porque no es relativamente homogénea.



	VIGA 2 Área tributaria = 2,56 m² = 0,8 m	VIGA 3 Área tributaria = 10,24 m² = 3,2 m
SC. VIENTO (W):	25,6 kgf/m	102,4 kgf/m
SC. NIEVE (N):	160 kgf/m	640 kgf/m
SC. USO (Lr):	40 kgf/m	160 kgf/m
PP. COSTANERAS (PP):	0 kgf/m	22,5 kgf/m
TOTAL:	**225,6 kgf/m**	**924,9 kgf/m**



	VIGA 5 - INTERIOR Área tributaria = 6,4 m² = 2 m	VIGA 4 - PERIMETRO Área tributaria = 5,12 m² = 1,6 m
SC. VIENTO (W):	64 kgf/m	51,2 kgf/m
SC. NIEVE (N):	400 kgf/m	320 kgf/m
SC. USO (Lr):	100 kgf/m	80 kgf/m
PP. COSTANERAS (PP):	11,25 kgf/m	11,25 kgf/m
TOTAL:	**575,25 kgf/m**	**462,45 kgf/m**

Figura 10.6: Plantas modelo SAP200. Fuente: Elaboración propia.

De aquí surge la idea de reorganizar las costaneras, de manera que se ordenen de forma perpendicular entre si, y al hacerlo, en vez de existir 5 vigas principales con cargas diferentes, hay solo 2, como muestra la figura 9.6. De esta manera, el módulo base se conforma siempre por vigas principales exteriores (verde en la figura 9.6), vigas principales interiores (rosa en la figura 9.6) y las costaneras.

Para testear la sección de las vigas principales se suponen una sección de 3x14 pulgadas para las vigas perimetrales interiores (las más cargadas) y de 3x10 pulgadas para las vigas principales perimetrales. De acuerdo con los datos obtenidos a partir de la modelación en el software, se corrobora el buen funcionamiento para ambas vigas de la siguiente manera:

$F_{adm} = M/W$
$M_{max} = 70.500$ kg/cm
$W = 6{,}9x32^2/6$ cm^3
$F_f = 70.500/1.177$

$F_f = 59{,}8$ kg/cm^2

$F_{adm} = M/W$
$M_{max} = 43.800$ kg/cm
$W = 6{,}9x23^2/6$ cm^3
$F_f = 43.800/608$

$F_f = 72$ kg/cm^2

Como la flexión existente en ambas vigas es menor a 75 kg/cm^2 (admisible) estas cumplen para resistir las solicitaciones. Se corroboran los resultados con el software C+T, que aplica factores de seguridad que el cálculo manual no considera, determinando que ambas secciones cumplen con una utilización máxima de 104%. Al igual que en el cálculo de los pilares, se aplica el criterio del calculista por excederse en una muy pequeña proporción.

11. PROYECTO SENDERO COCHAMÓ

A continuación se exponen 35 laminas en formato A1 del proyecto desarrollado en el Sendero Cochamó - Paso El León. Las primeras cinco láminas exponen gráficamente el resultado del sistema constructivo desarrollado en esta investigación. Las láminas siguientes exponen en detalle la aplicación del sistema en un contexto real. Como se describió anteriormente, se plantean cuatro programas ubicados a lo largo de los casi 60 km de sendero, que ponen a prueba y desafían de diferentes maneras el sistema desarrollado. Los primeros tres programas expuestos son desarrollados de manera preliminar y general. Estos son los programas de Control de Acceso y Salida, de Refugio - Informativo y de Control de Salida.

El programa desarrollado en profundidad es el de Campamento. Este se sitúa en el km 31 del sendero, en una explanada ubicada al norte del Lago Vidal Gormáz. Se propone un proyecto que aprovecha la gran disponibilidad de espacio y la voluntad de los turistas de mantener una relación constante con el medioambiente, organizando el campamento en torno a dos construcciones centrales que funcionan como centro de servicios básicos. De esta manera, los turistas podrán abastecerse, realizar sus necesidades básicas y sociabilizar en estas construcciones principales, situando sus carpas a lo largo y ancho de la gran explanada. Además, el proyecto cuenta con una tercera construcción de menor tamaño que funciona como administración, la cual se distribuye en dos zonas principales. La primera zona pública, donde se encuentran las oficinas

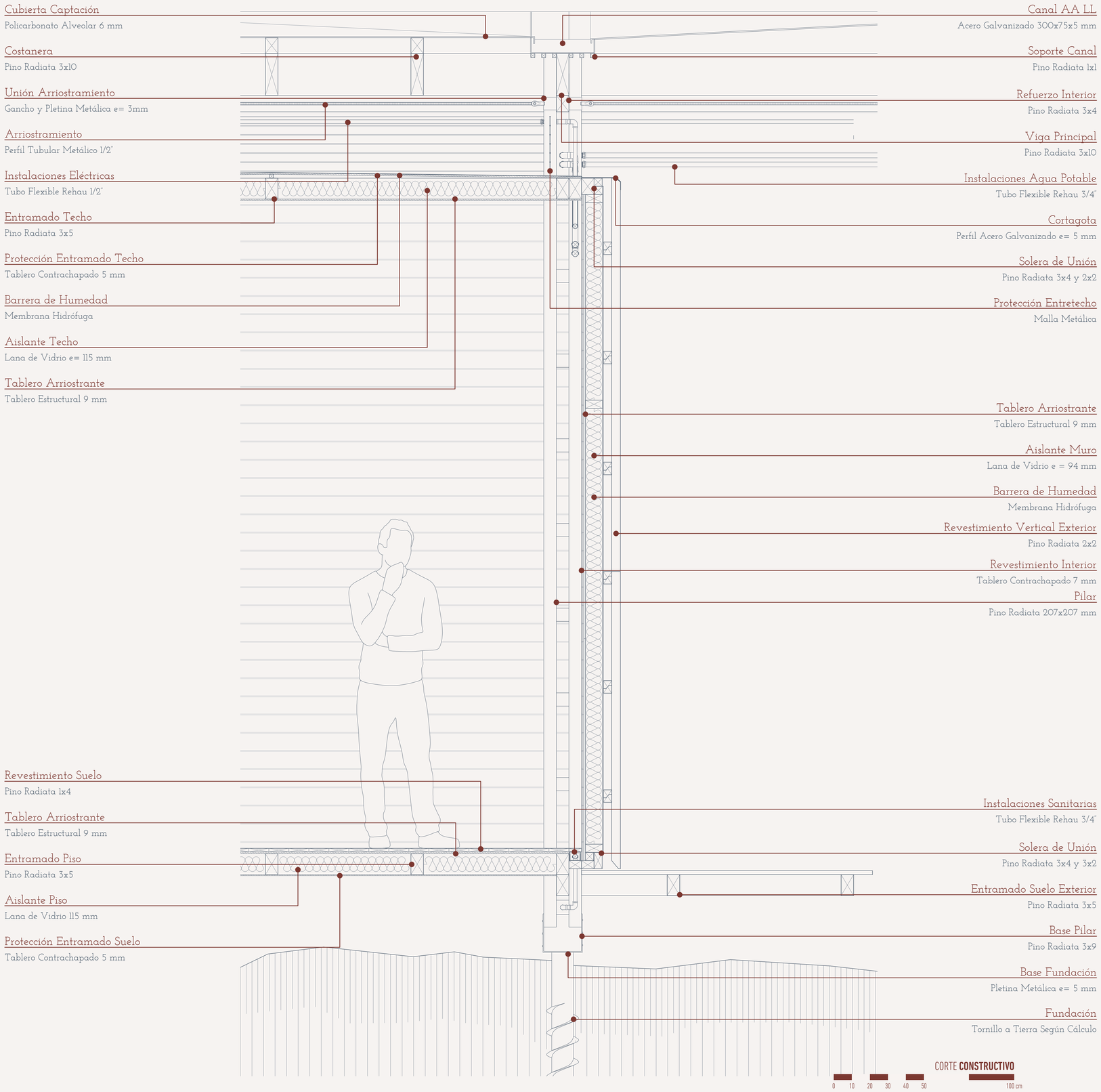
y la recepción, y la segunda zona privada que cuenta con dos habitáculos para los trabajadores del lugar y sus familias.

El primer centro de servicios expuesto se ubica priorizando las vistas al lago. Este se organiza en torno a un refugio cerrado, que contiene espacios de cocina, comedor y estar ordenados en torno a una chimenea central. Hacia el norponiente se ubican una serie de terrazas elevadas que conforman diferentes cualidades espaciales semi exteriores a partir del juego entre el tamaño y distancia de las plataformas y la incorporación de paneles semi opacos, además de disponer de fogones como puntos de reunión entre ellas. Hacia el otro lado del espacio cerrado se encuentran las zonas de servicios básicos entre las que se encuentran camarines de hombres y mujeres, lavandería y baños con un sistema de inodoro ecológico seco con separación de orina.

Es interesante observar las variaciones temporales que el programa desarrollado propone. En un primer lugar, como variaciones temporales estacionales, producidas por las grandes diferencias climáticas entre el verano e invierno. Las laminas de uso del mismo centro de servicios en invierno y en verano dejan en evidencia en primer lugar, un cambio en los espacios de agrupación de personas según la temporada, pero además muestran la versatilidad de las terrazas exteriores. En verano son utilizadas como espacios de estar y comedor, mientras que en invierno las plataformas permiten situar las carpas elevadas del suelo para alejarse de la lluvia y la nieve, y reorganizar los paneles para protegerlas del viento. Por otro lado, se estudia la variación temporal a largo plazo del centro de servicios, entendiendo que el sistema constructivo desarrollado permite la construcción del proyecto en diferentes etapas de construcción.

A partir del mismo núcleo base del centro de servicios 1, se desarrolla una segunda construcción. Esta vez, se prioriza la relación directa con el contexto natural, situando el centro de servicios en un claro en un bosque. La distribución programática es similar, pero la condición espacial sobre todo de las terrazas exteriores cambia completamente. La flexibilidad del sistema permite que las terrazas se adapten a los espacios en el bosque, introduciendo la construcción entre los árboles.

El proyecto finalmente muestra la adaptabilidad y flexibilidad del sistema constructivo desarrollado, considerando central la variable temporal, tanto en materia de generación de residuos, como de adaptabilidad programática. A través de la investigación y el proyecto, se plantea un cambio en la lógica detrás de los procesos de diseño arquitectónicos, proponiendo que la materialidad elegida supone una variable fundamental no solo por su lógica de funcionamiento estructural sino que como expresiones del mismo sistema, sus necesidades y oportunidades. El proyecto demuestra entonces, que las estrategias de diseño por capas propuestas en la investigación pueden ser aplicadas en un contexto real, sin dejar de lado la riqueza arquitectónica que las diferentes cualidades espaciales ofrecen a un proyecto.



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Sistema Constructivo
Independencia de Capas Constructivas

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

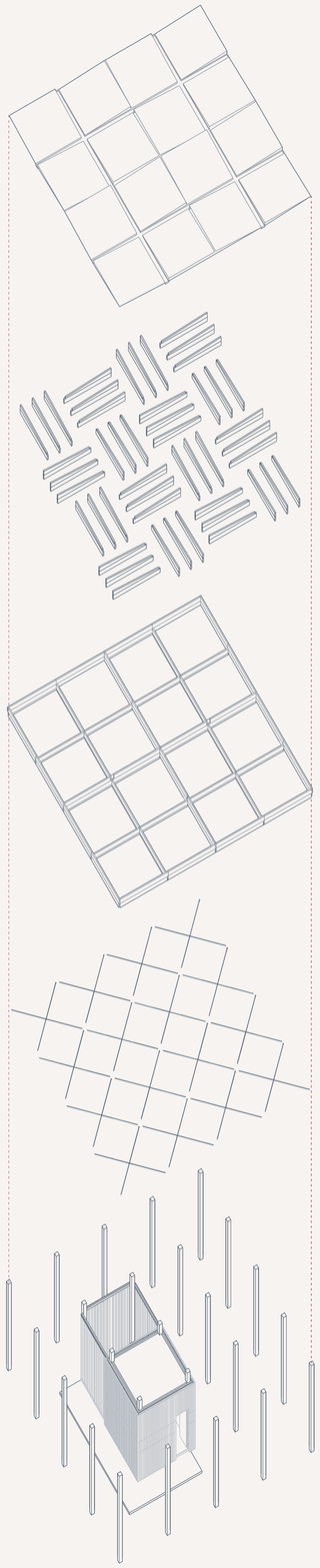
CUBIERTA
Policarbonato 6mm

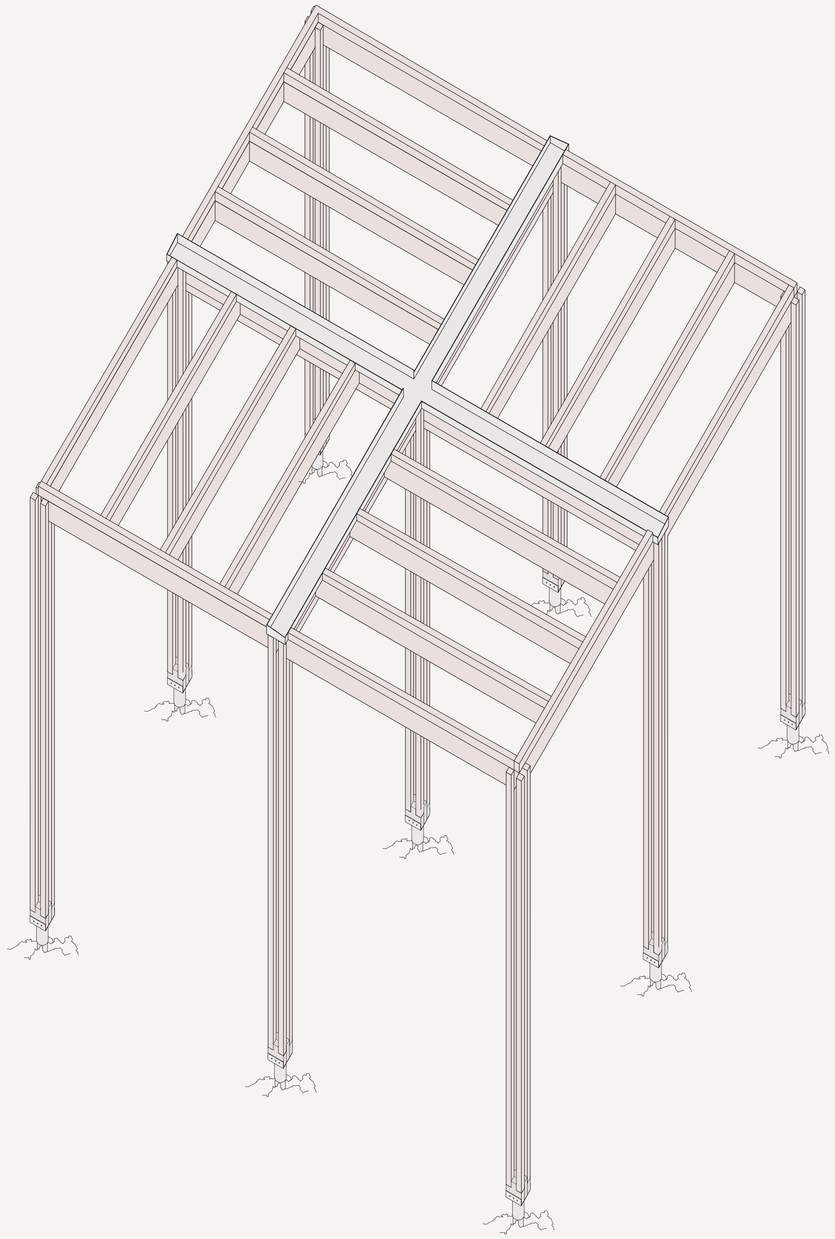
COSTANERAS
Pino Radiata 3x10

VIGAS PRINCIPALES
Pino Radiata 3x14

ARRIOSTRAMIENTO
Perfil Tubular metálico 1/2"

PILARES
Pino Radiata 3x3



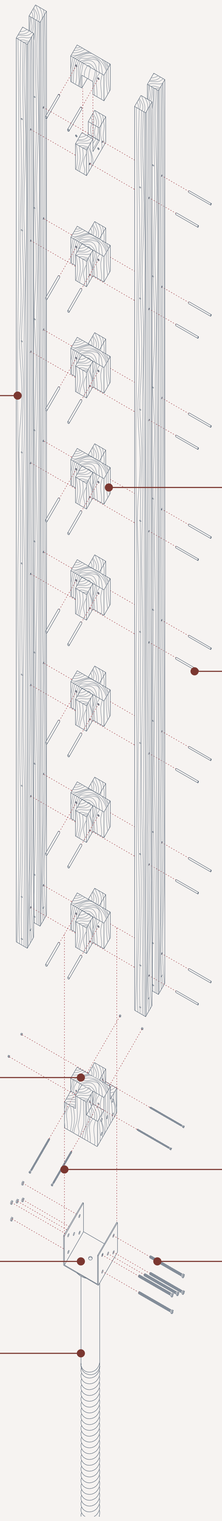


AXONOMÉTRICA **CUBIERTA**

0 20 40 60 80 100 200 cm

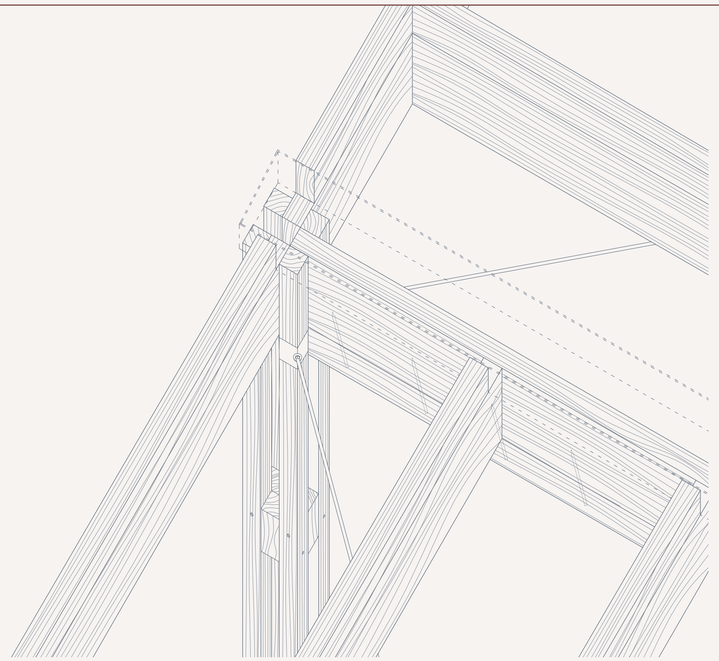
C U B I E R T A L I S T A

PROCESO **MONTAJE**



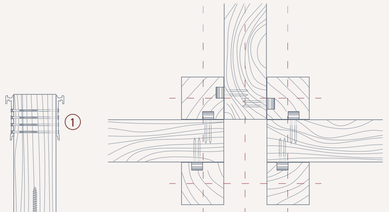
DESPIECE **PILAR**

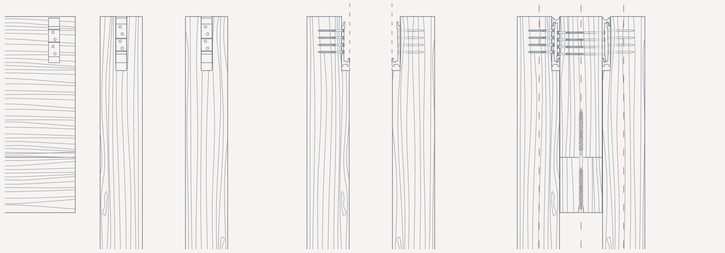
0 10 20 30 40 50 100 cm



ENCUENTRO **PILAR-VIGA**

1. Unión Pilar - Viga
   - Conector Oculto
   - Reversible
   - Lock T Evo Rothoblas
   - Fijación con tornillos ø 5 mm
2. Unión Viga - Refuerzo
   - Conector Doble Rosca
   - Semi - Reversible
   - WT TX30 86,5 Rothoblas
   - Distanciamiento mín. perpendicular: 33 mm
   - Resistencia unitaria: 3,55 KN
   - Se necesitan 6 unidades

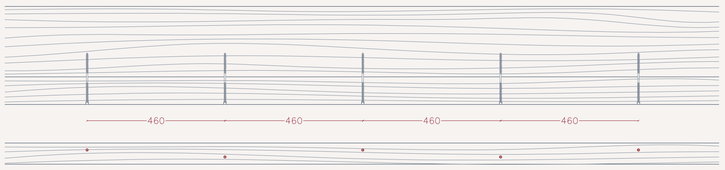




ELEVACIÓN INTERIOR PIEZAS PILAR Y VIGA

ELEVACIÓN MONTAJE PILAR - VIGA

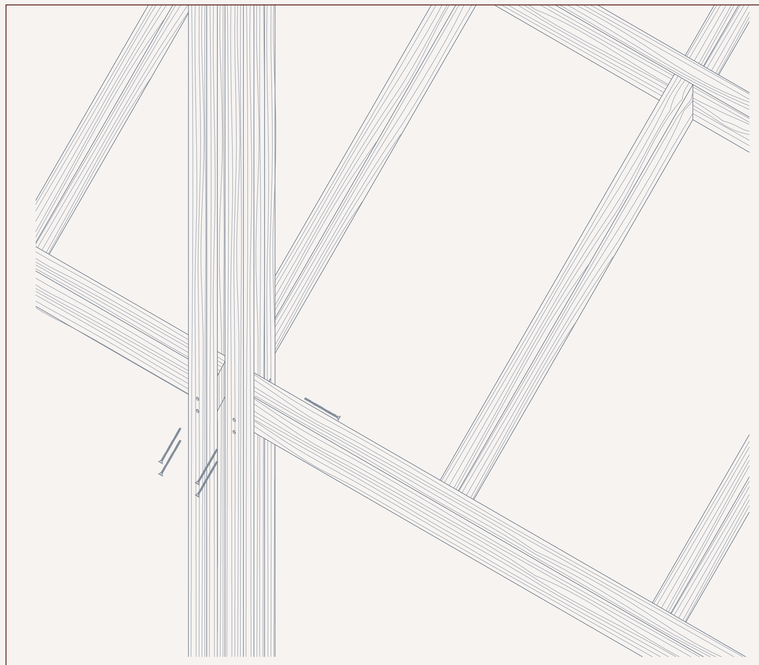
PLANTA ELEVACIÓN PILAR - VIGA



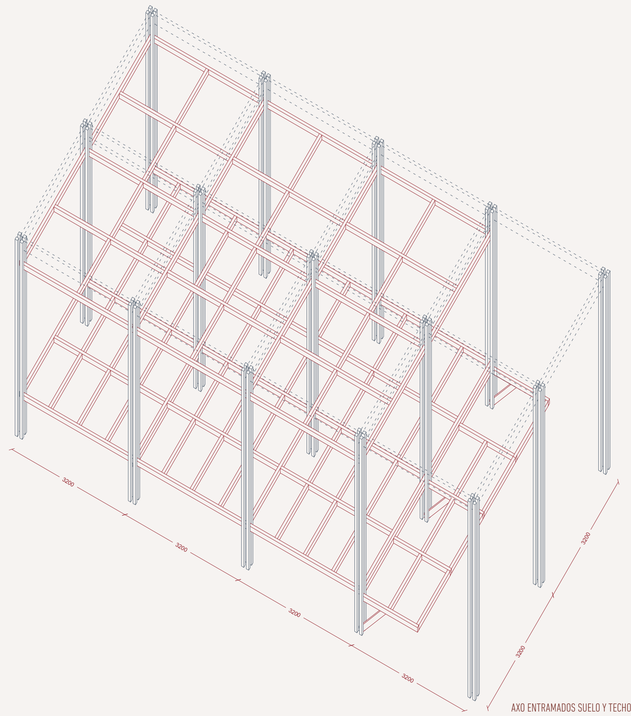
PLANTA ELEVACIÓN VIGA - REFUERZO

UNIÓN **PILAR-VIGA**

0 10 20 30 40 50 100 cm



ENCUENTRO **PILAR-ENTRAMADO**

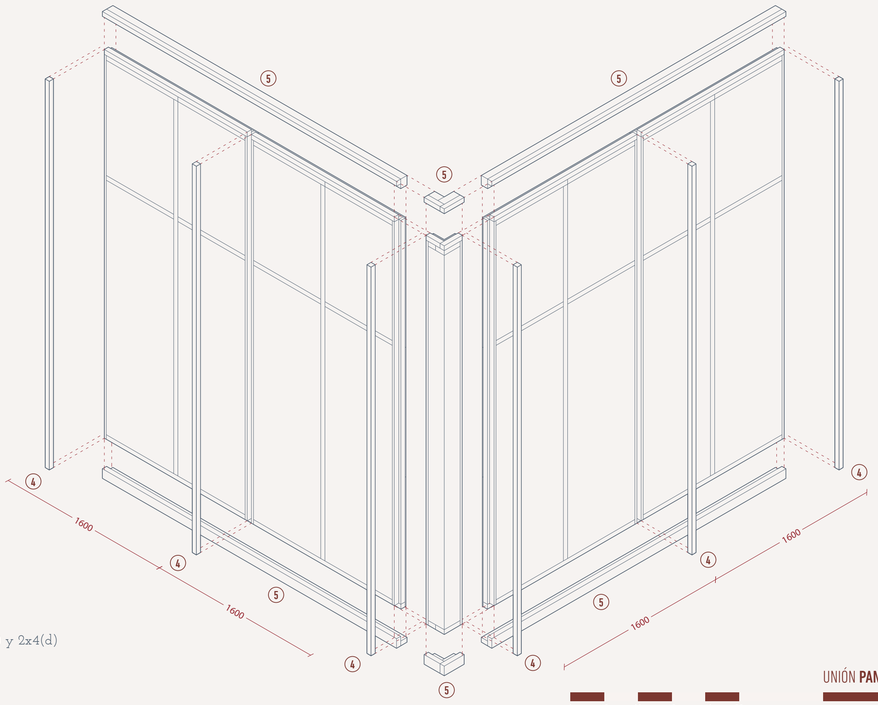


AXO ENTRAMADOS SUELO Y TECHO

UNIÓN **PILAR-ENTRAMADO**

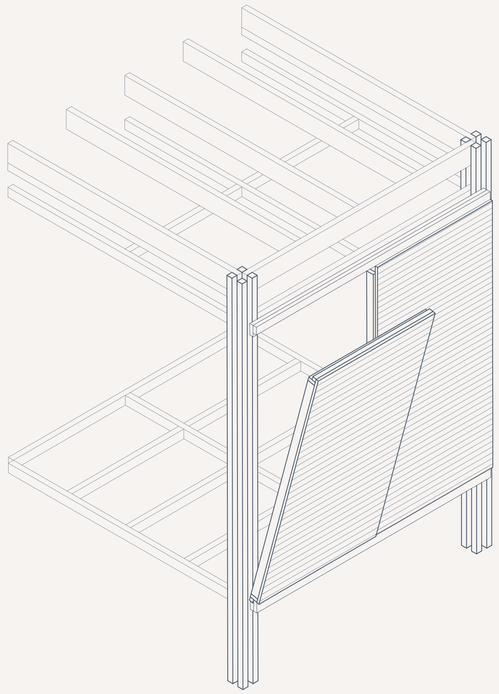
0 10 20 30 40 50 100 cm

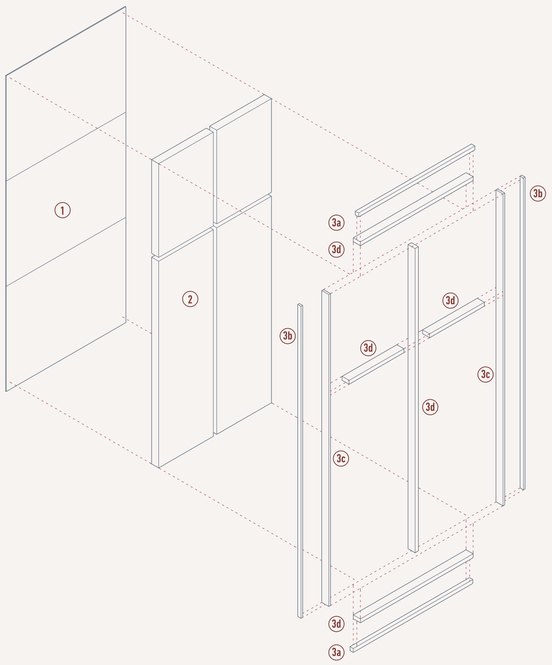
1. Tablero Arriostrante
   Contrachapado 5 mm
2. Aislante
   Lana de Vidrio 115 mm
3. Armazón
   Pino Radiata 1x1(a9, 1x4(b), 1x2(c) y 2x4(d)
4. Pieza de Unión
   Pino Radiata 2x2
5. Solera de Unión
   Pino Radiata 3x4 y 3x2



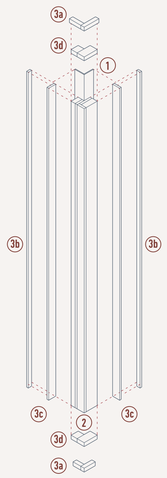
UNIÓN **PANELES**

0 15 30 45 60 75 150 cm

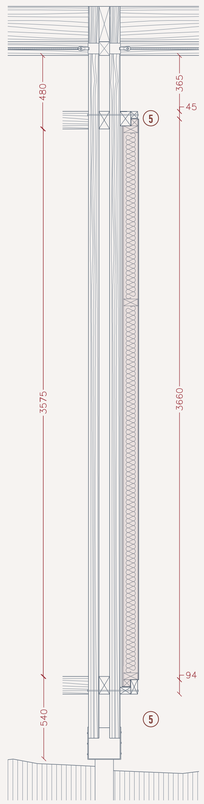




PANEL **ENVOLVENTE**



PIEZA **ESQUINA**

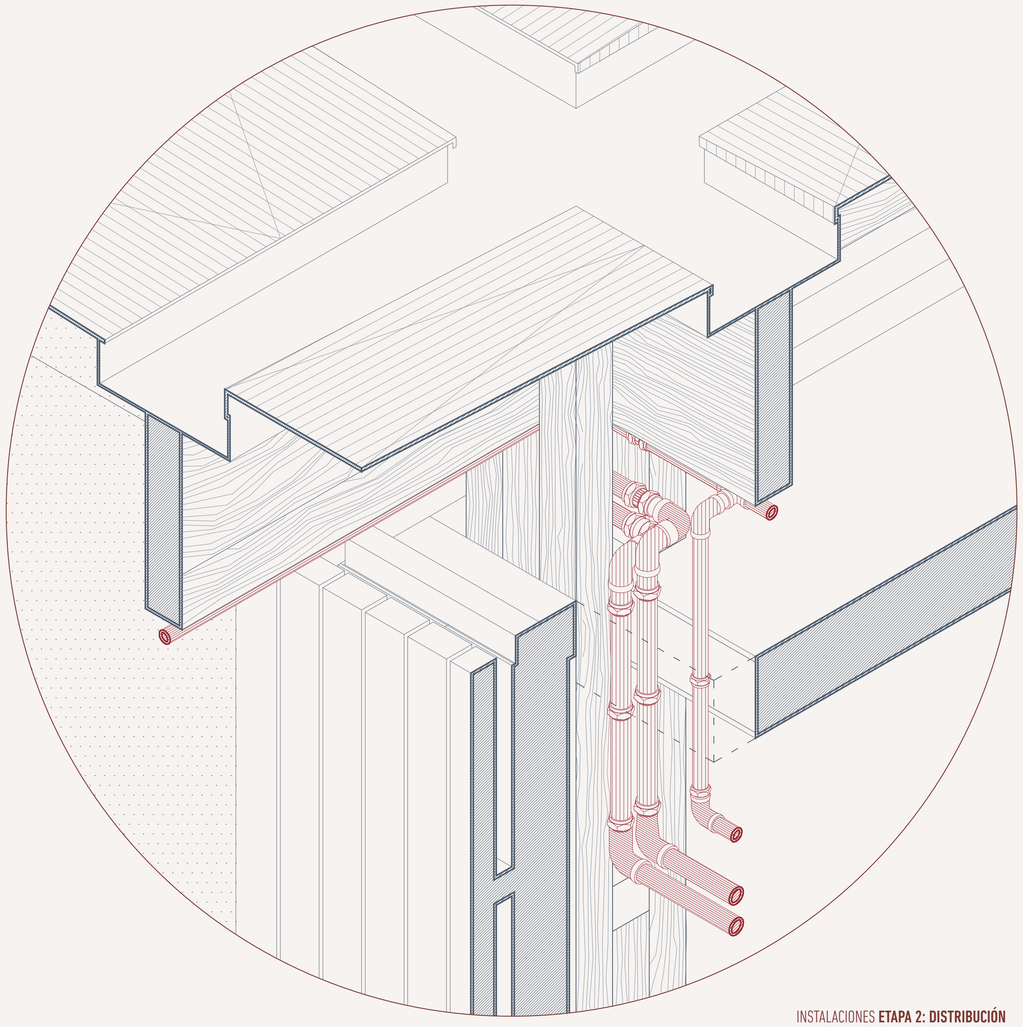


UNIÓN **PANEL – ESTRUCTURA**

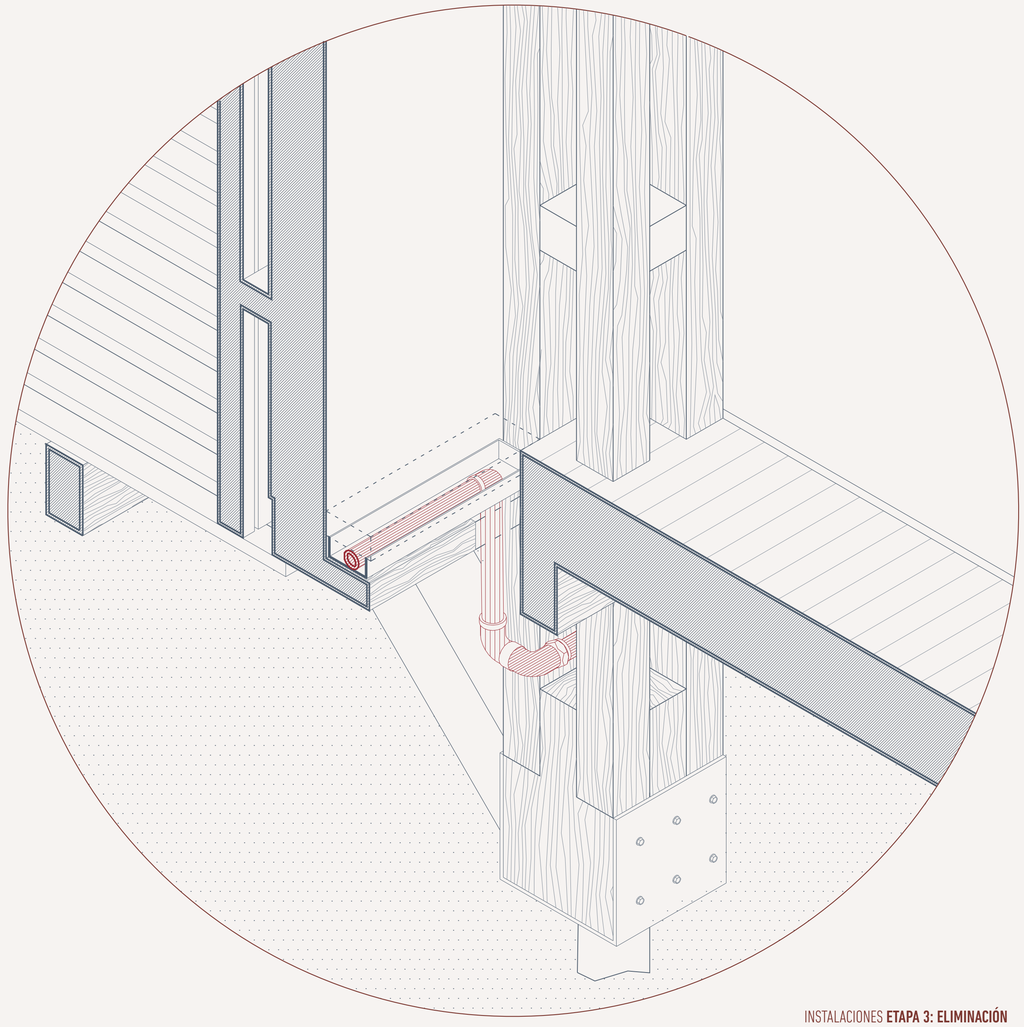
0 20 40 60 80 100 200 cm

SECUENCIA **MONTAJE**

0 20 40 60 80 100 200 cm

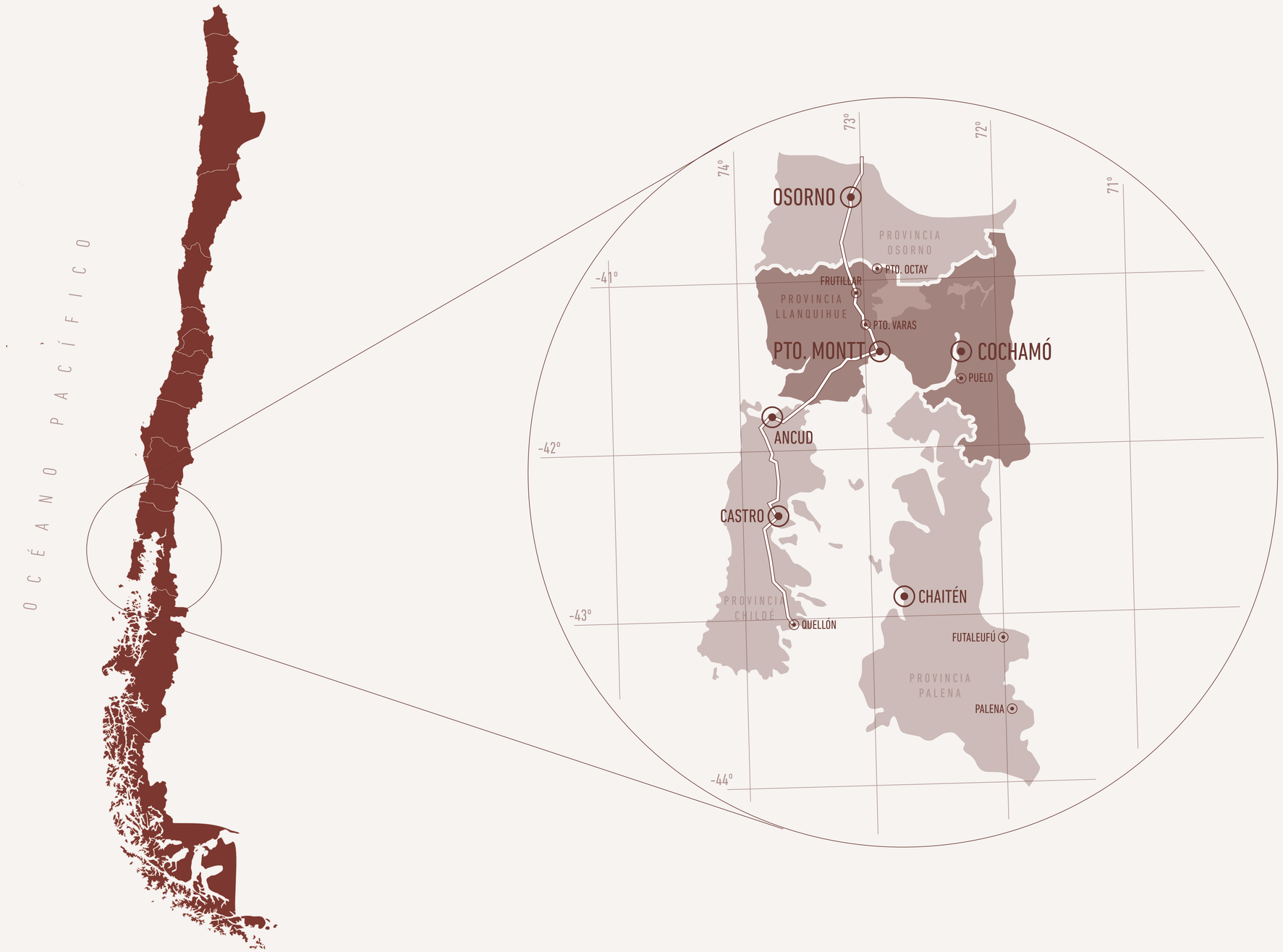


INSTALACIONES **ETAPA 2: DISTRIBUCIÓN**



INSTALACIONES **ETAPA 3: ELIMINACIÓN**

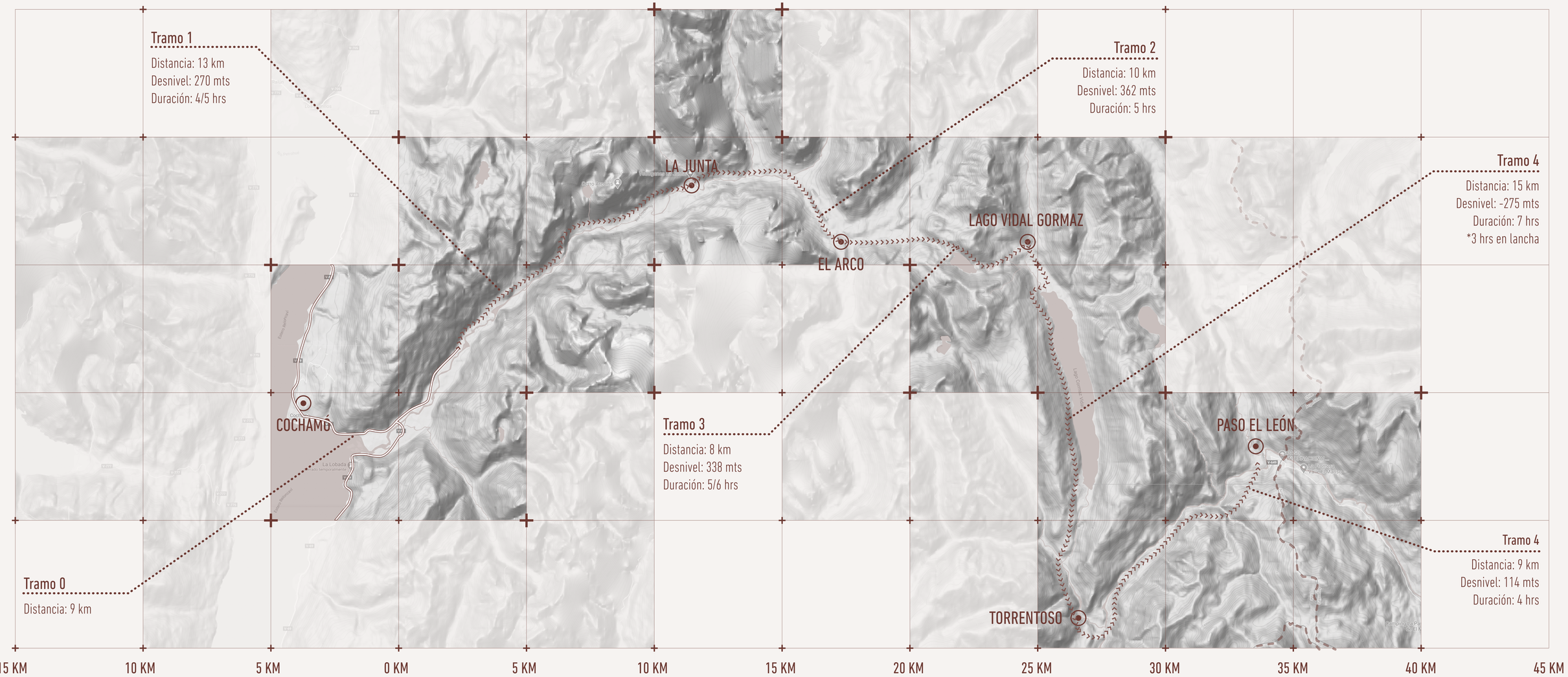
0 50 100 150 200 250 500 cm



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

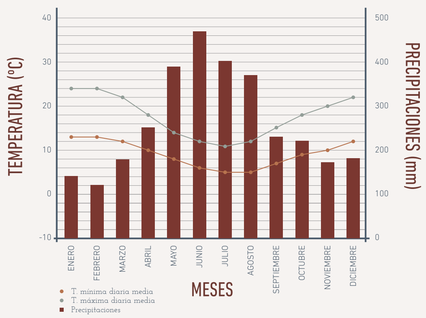
Ubicación
Sendero Cochamó - Paso El León

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

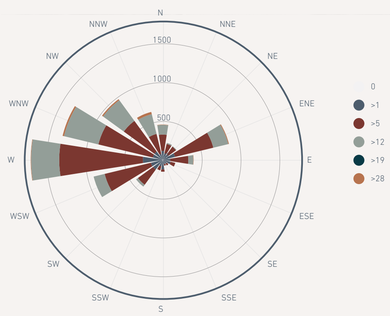


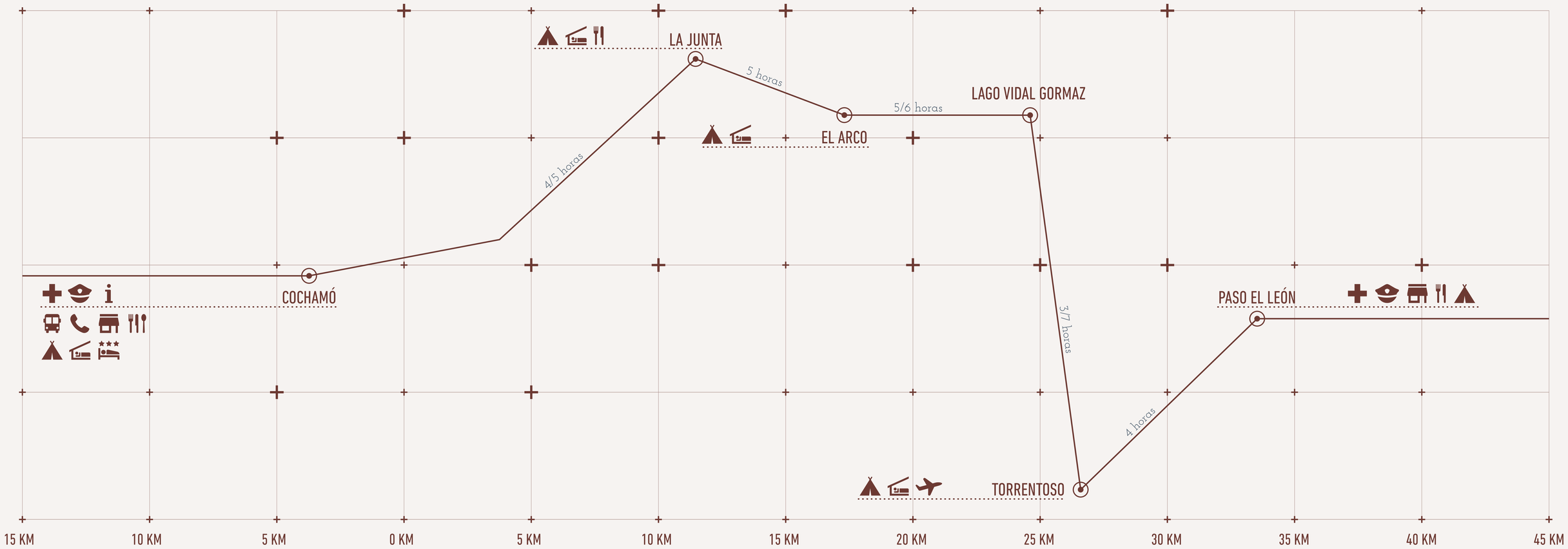
PERFIL TOPOGRÁFICO:

CLIMOGRAMA:



ROSA DE LOS VIENTOS:





1
CONTROL ACCESO

51 msnm
Inicio del Sendero
km 0

Oficinas de administración del parque, control de ingreso y salida, información turística, trasporte al pueblo Cochamó, estacionamientos.

2
MIRADOR INFORMATIVO

250 msnm
La Junta
km 13

Refugio contra la lluvia, información local, mapa de los senderos, zona de descanso, mirador.

3
CAMPAMENTO

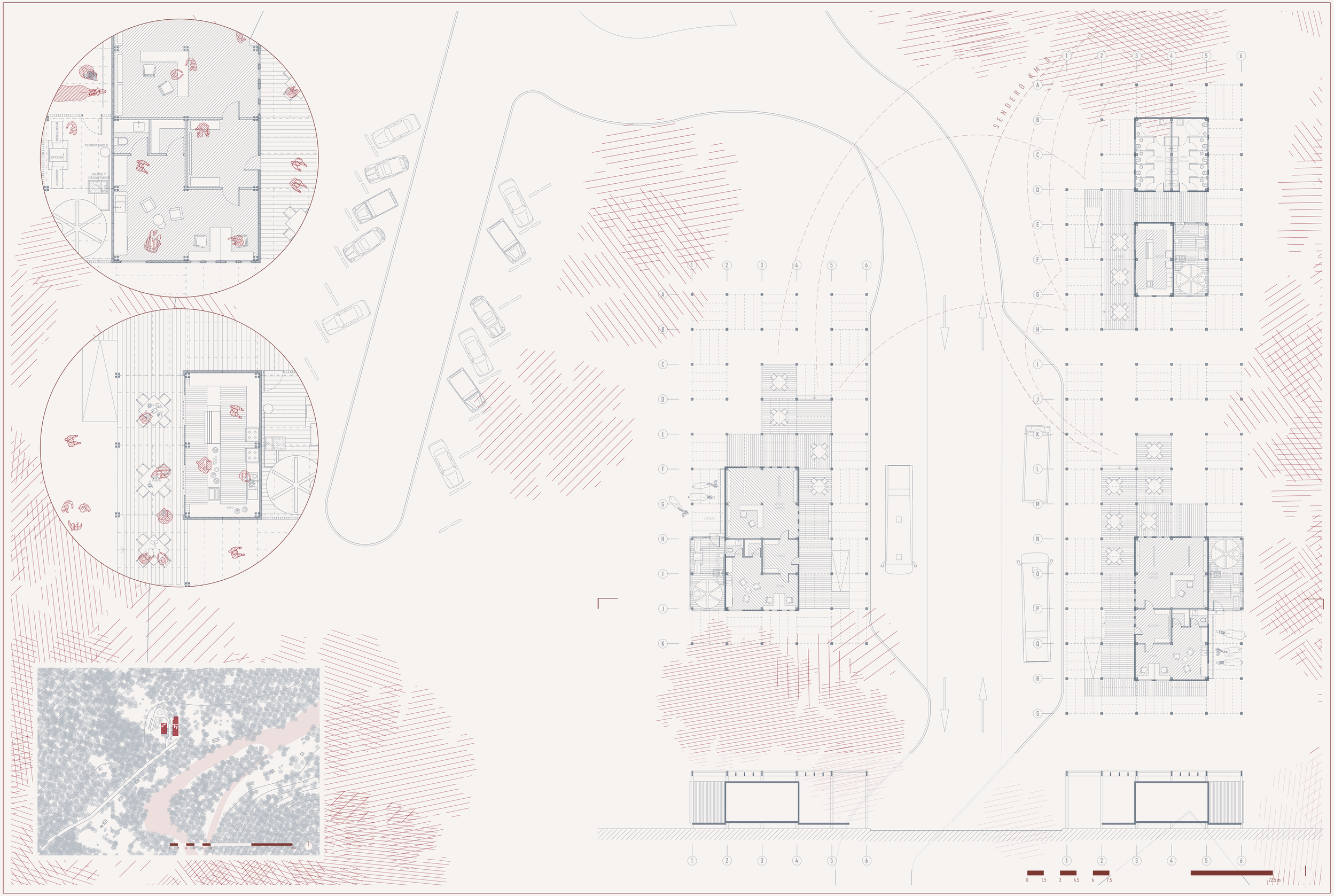
250 msnm
Lago Vidal Gormaz
km 31

Servicios básicos (cocina, baños, duchas, lavadero), espacios para carpas, recepción del campamento, habitáculo del administrador.

4
CONTROL SALIDA

400 msnm
Paso El León
km 52

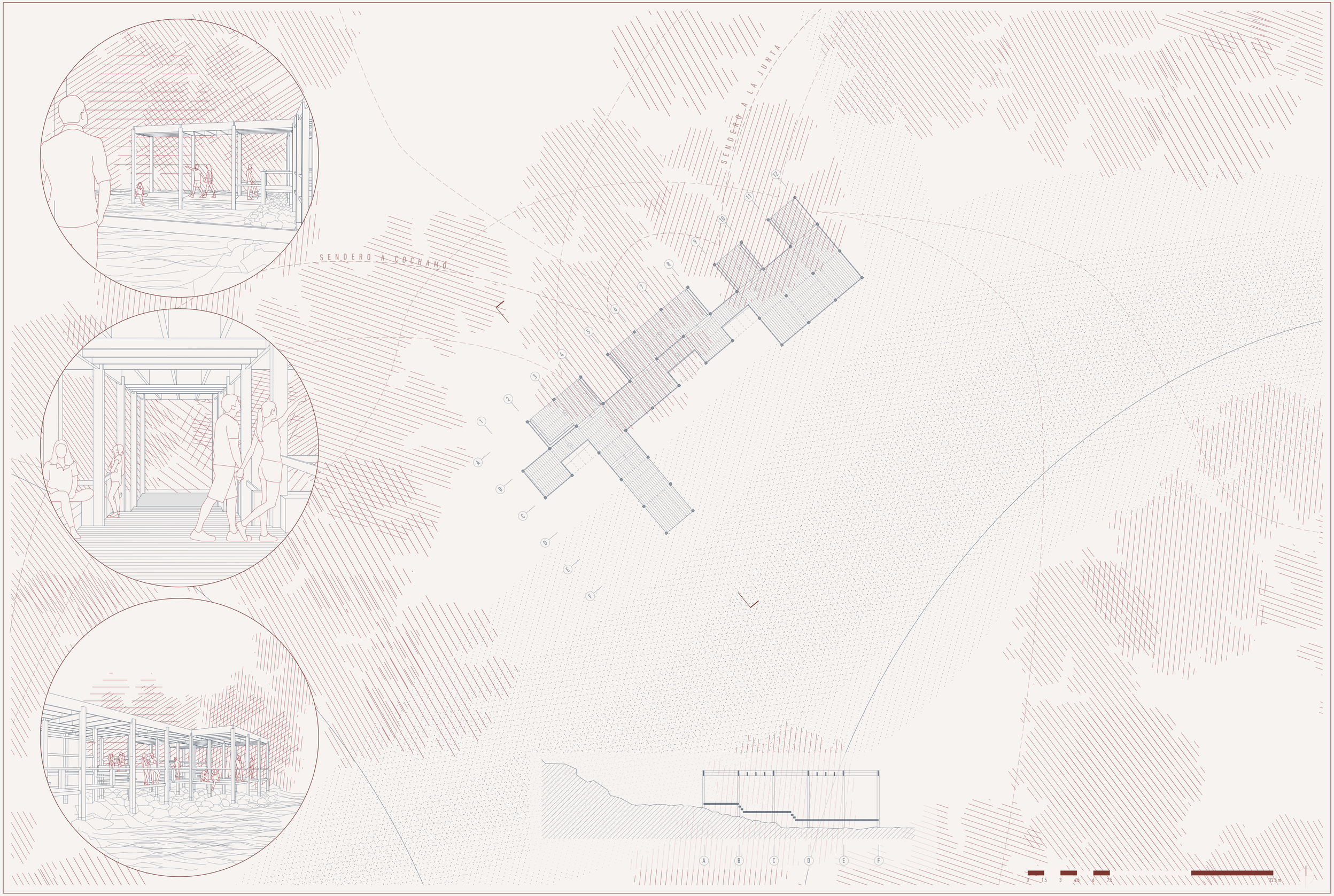
Control de ingreso y salida al parque, información turística, complemento aduana y migraciones.



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Control de Acceso y Administración Parque
Variedad Programática

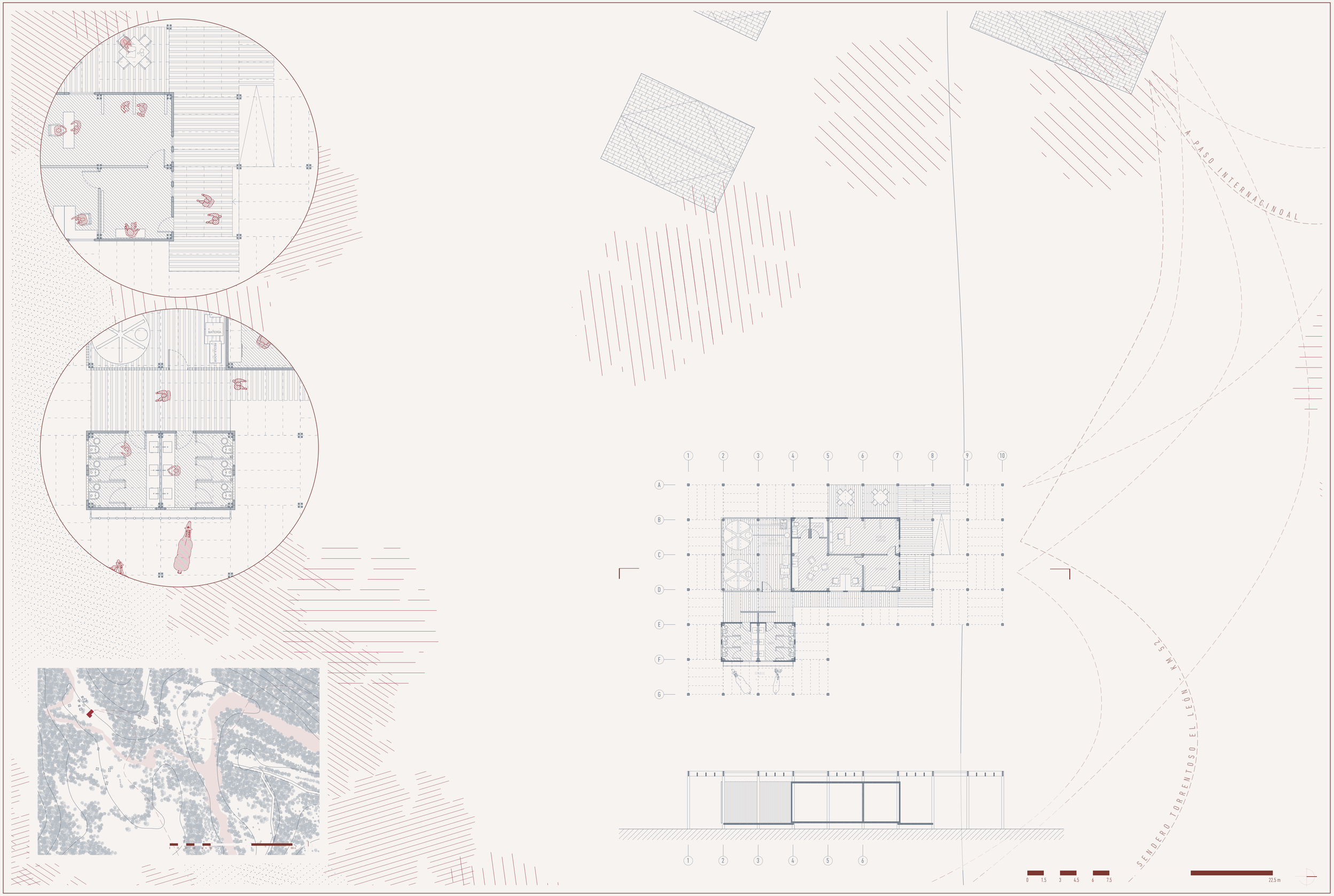
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Refugio Informativo
Variedad Programática

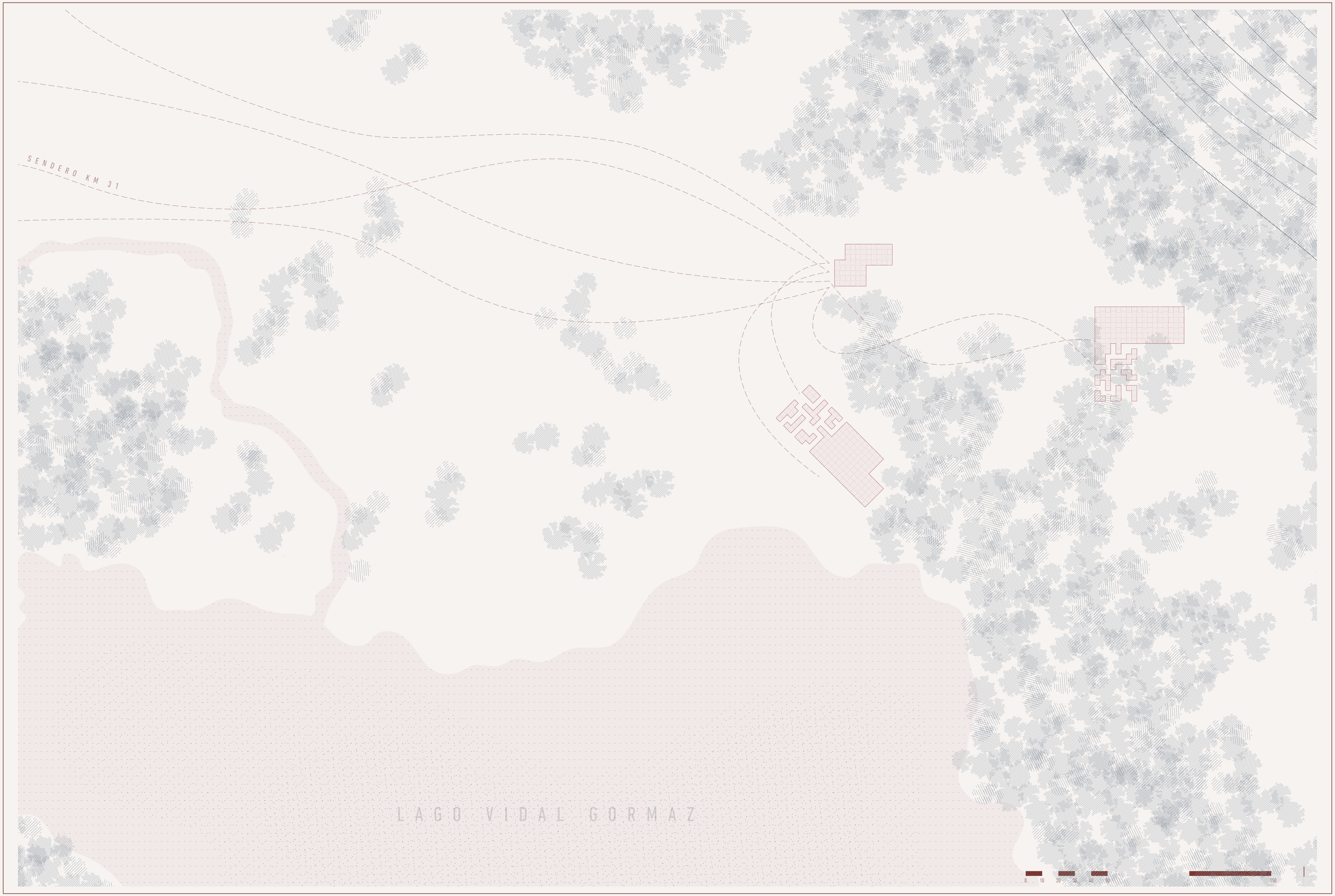
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Control de Salida Parque
Variedad Programática

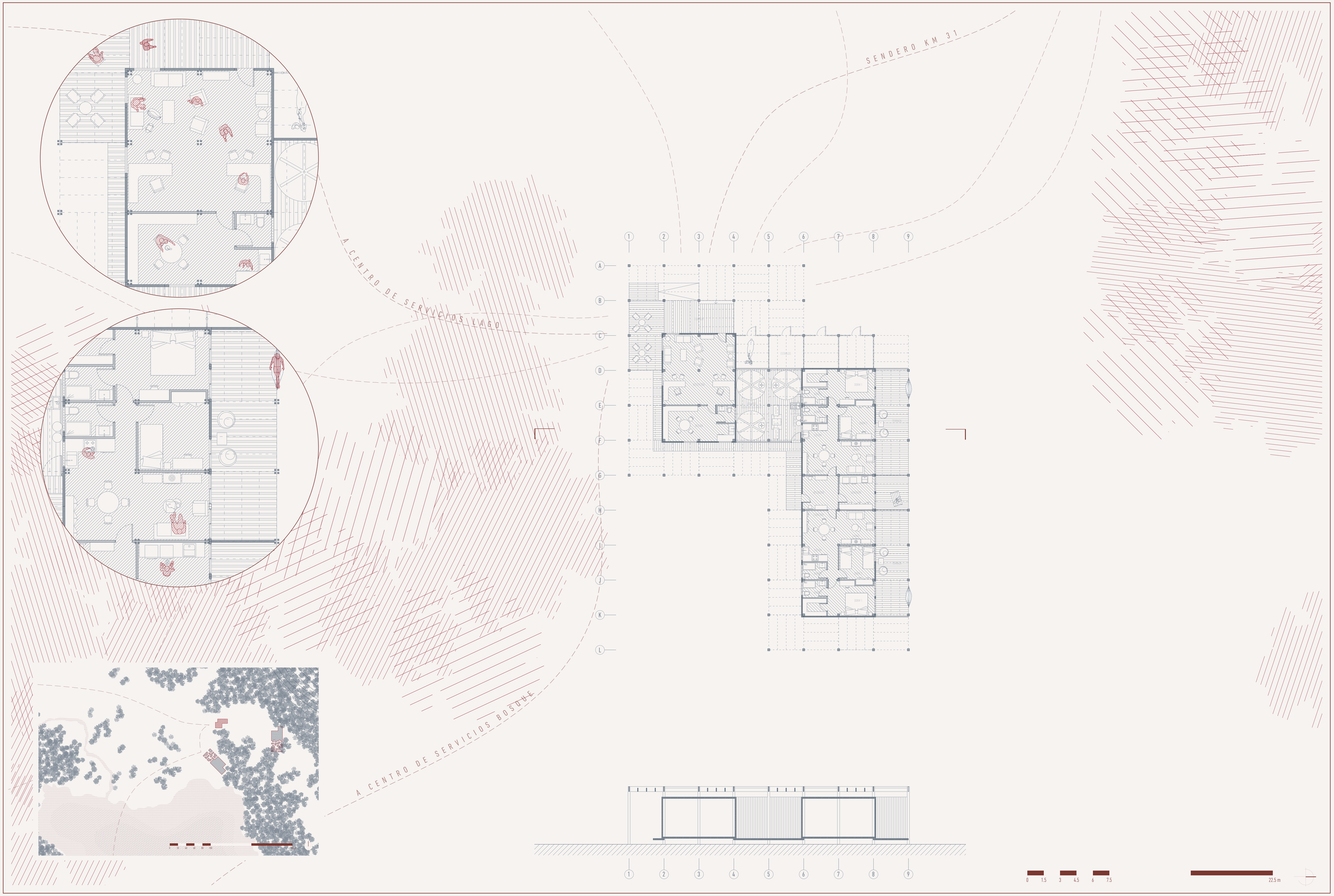
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Centro de Acampada
Variedad Programática

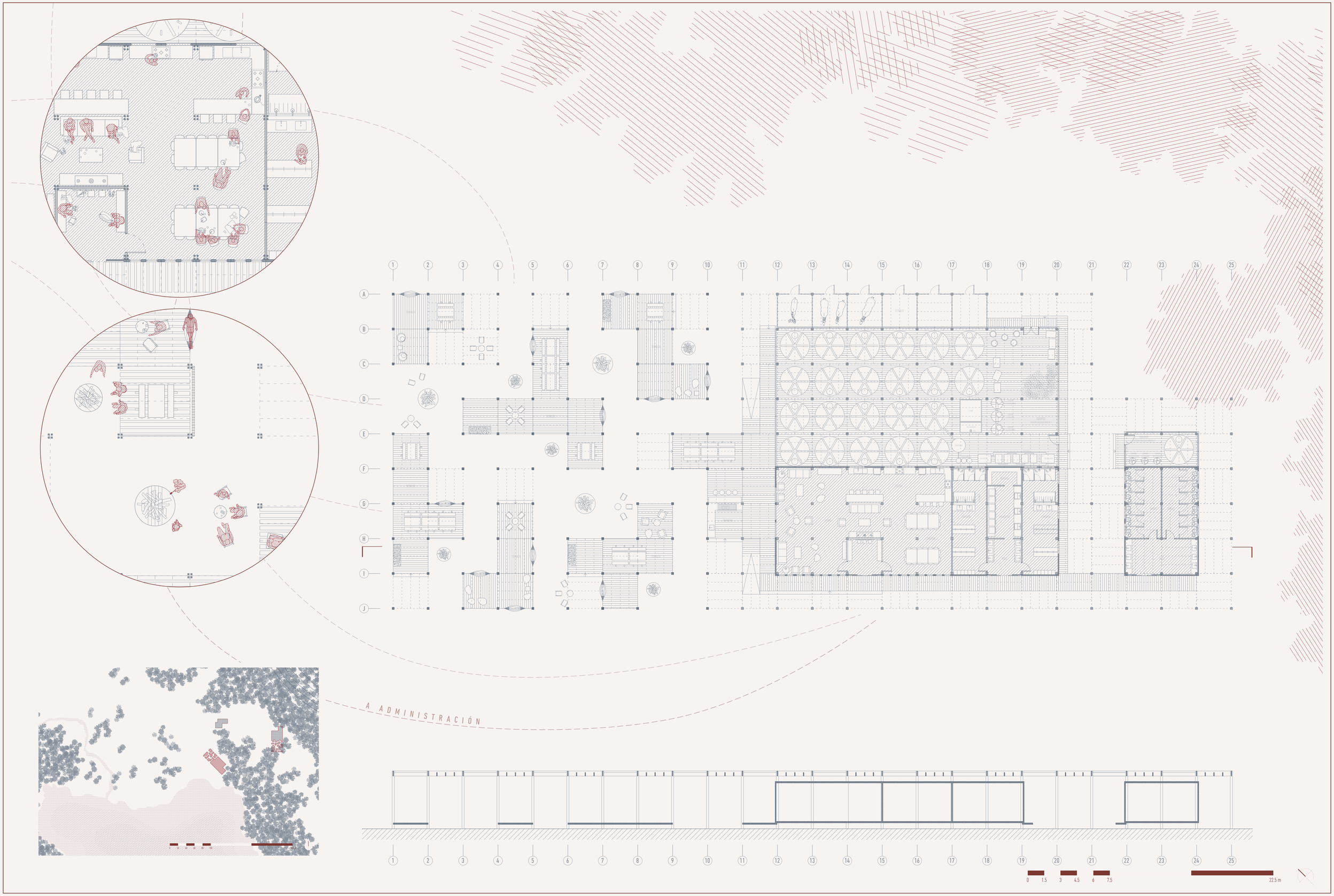
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Administración + Habitáculo
Centro de Acampada

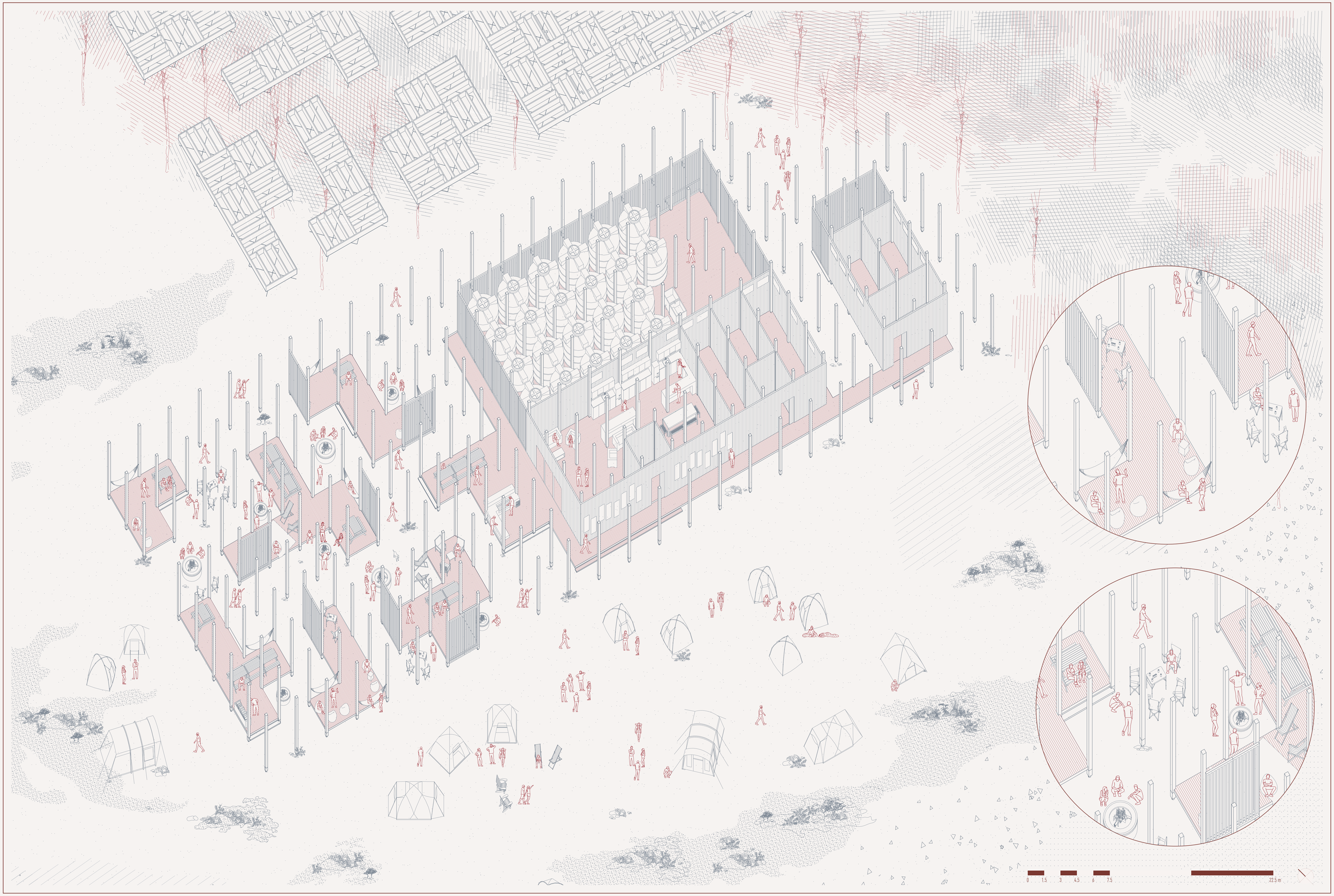
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Centro de Servicios 1
Centro de Acampada

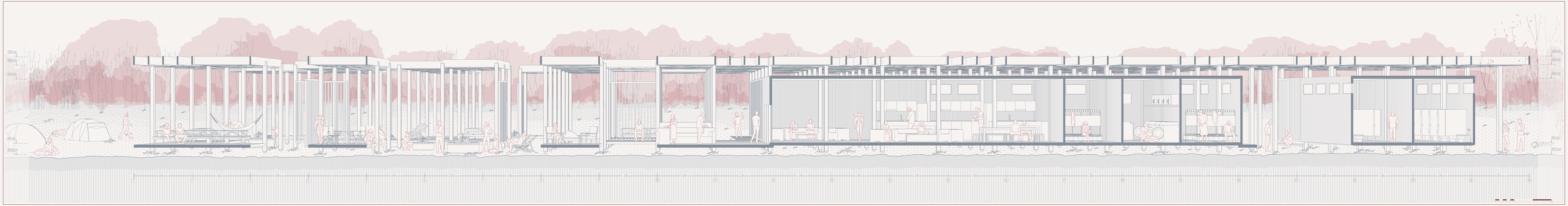
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Axonométrica
Centro de Servicios 1

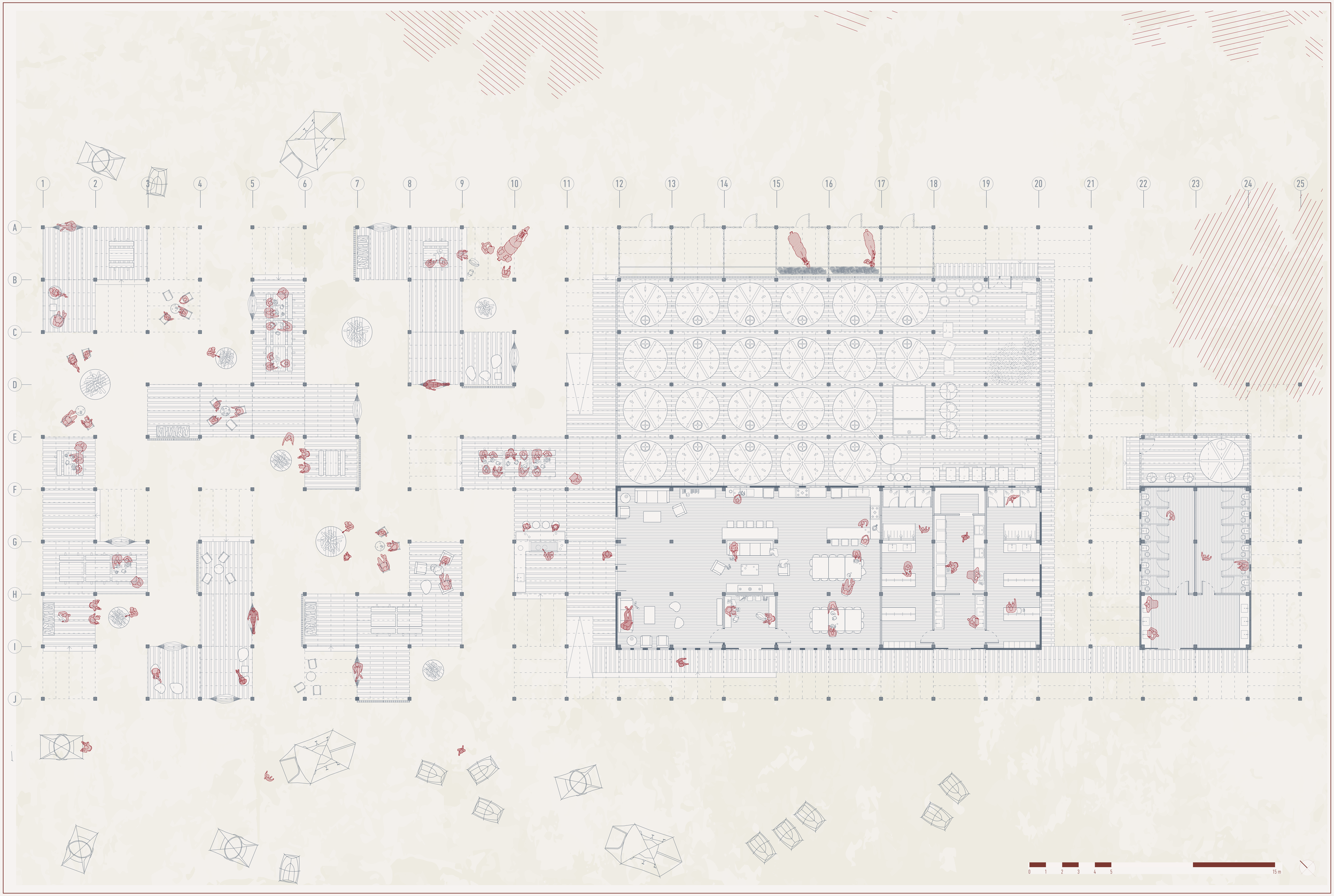
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magister de Arquitectura Sustentable y Energía
PUC2 - Pontificia Universidad Católica

Corte Longitudinal
Centro de Servicio 1

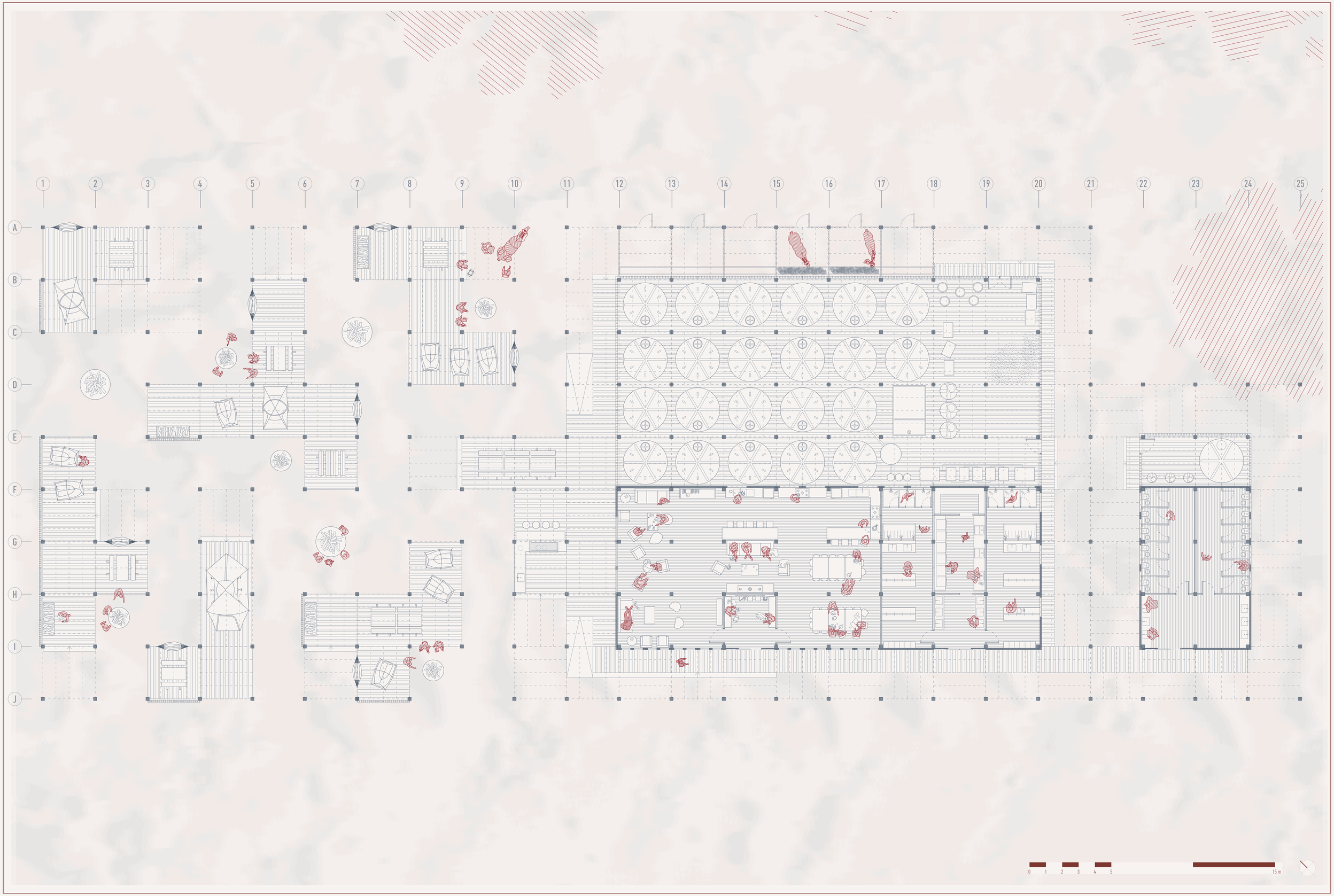
Karen Castrando, Pablo
Examen de Grado y TG2



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Estacional – Verano
Centro de Servicios 1

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

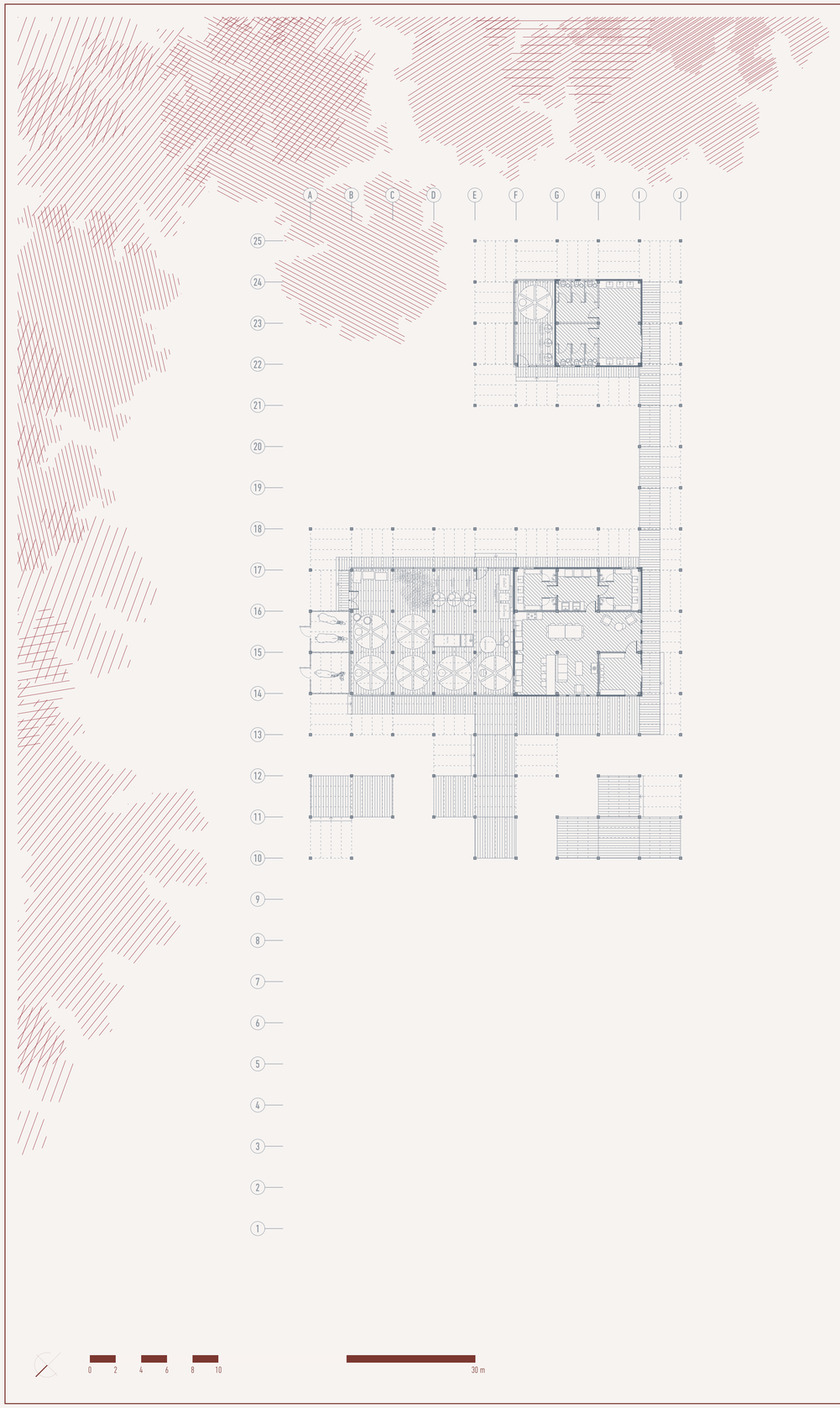
Variación Estacional - Invierno
Centro de Servicios 1

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Vista Interior Verano
Centro de Acampada

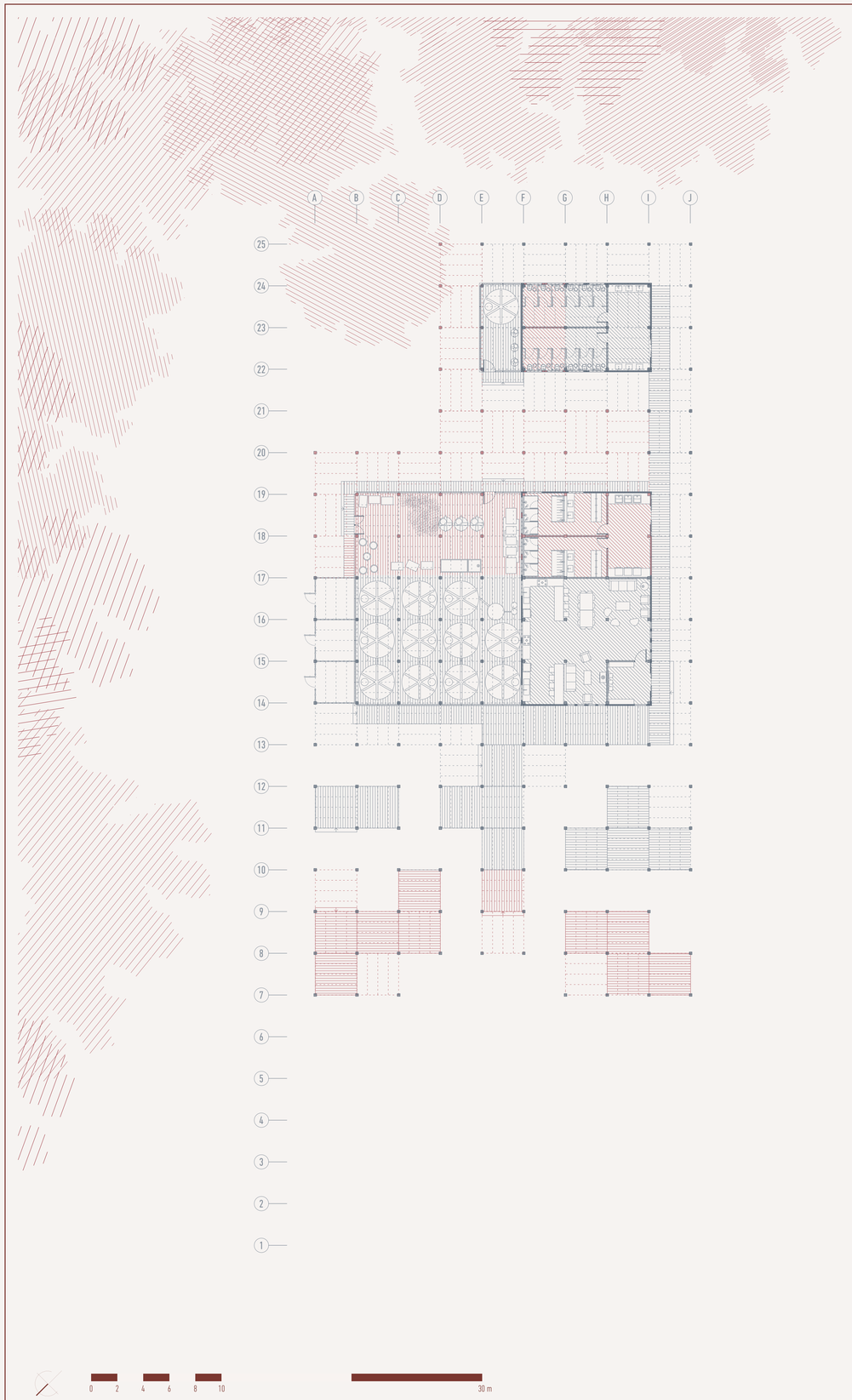
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Temporal
Centro de Servicios 1

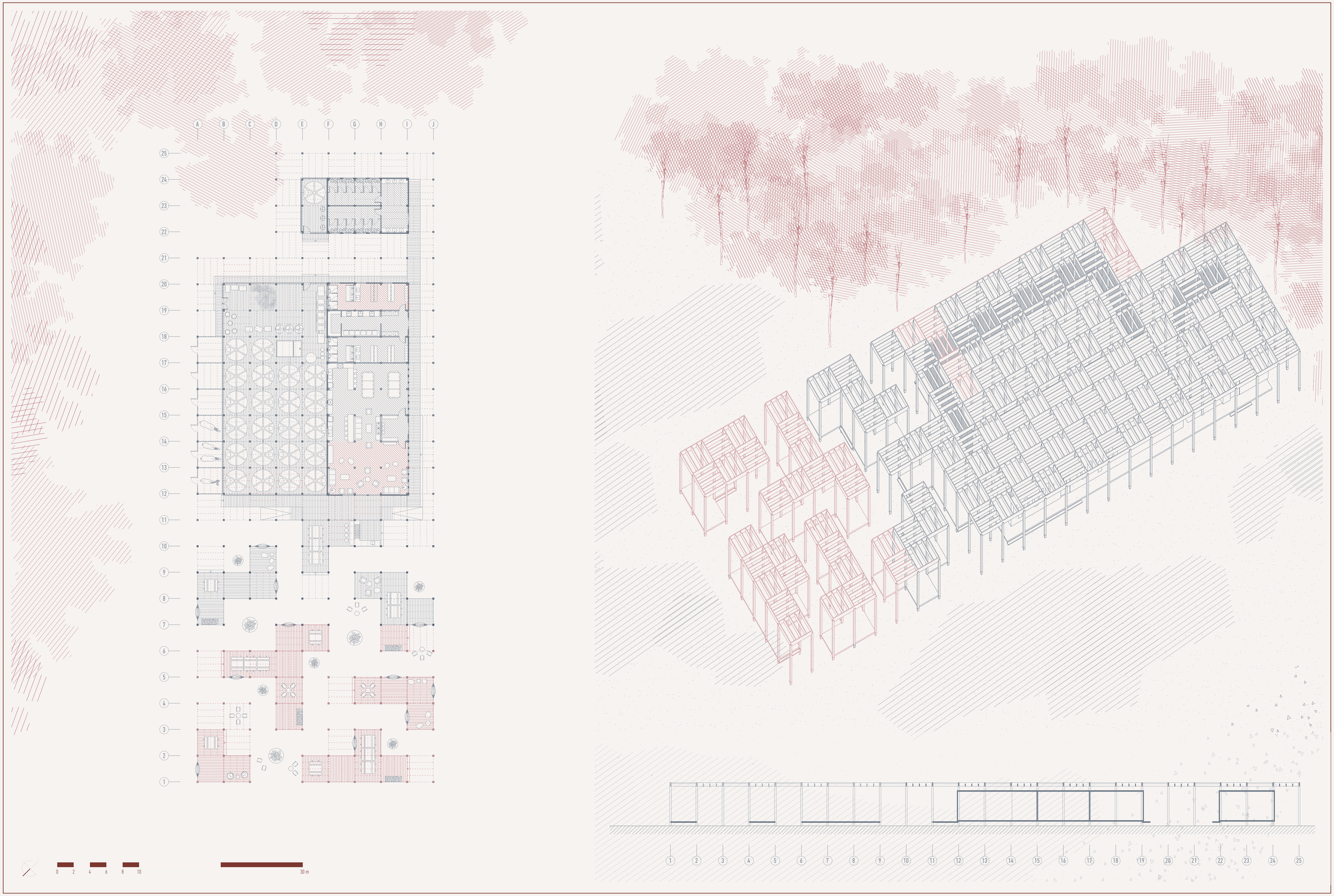
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Temporal
Centro de Servicios 1

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

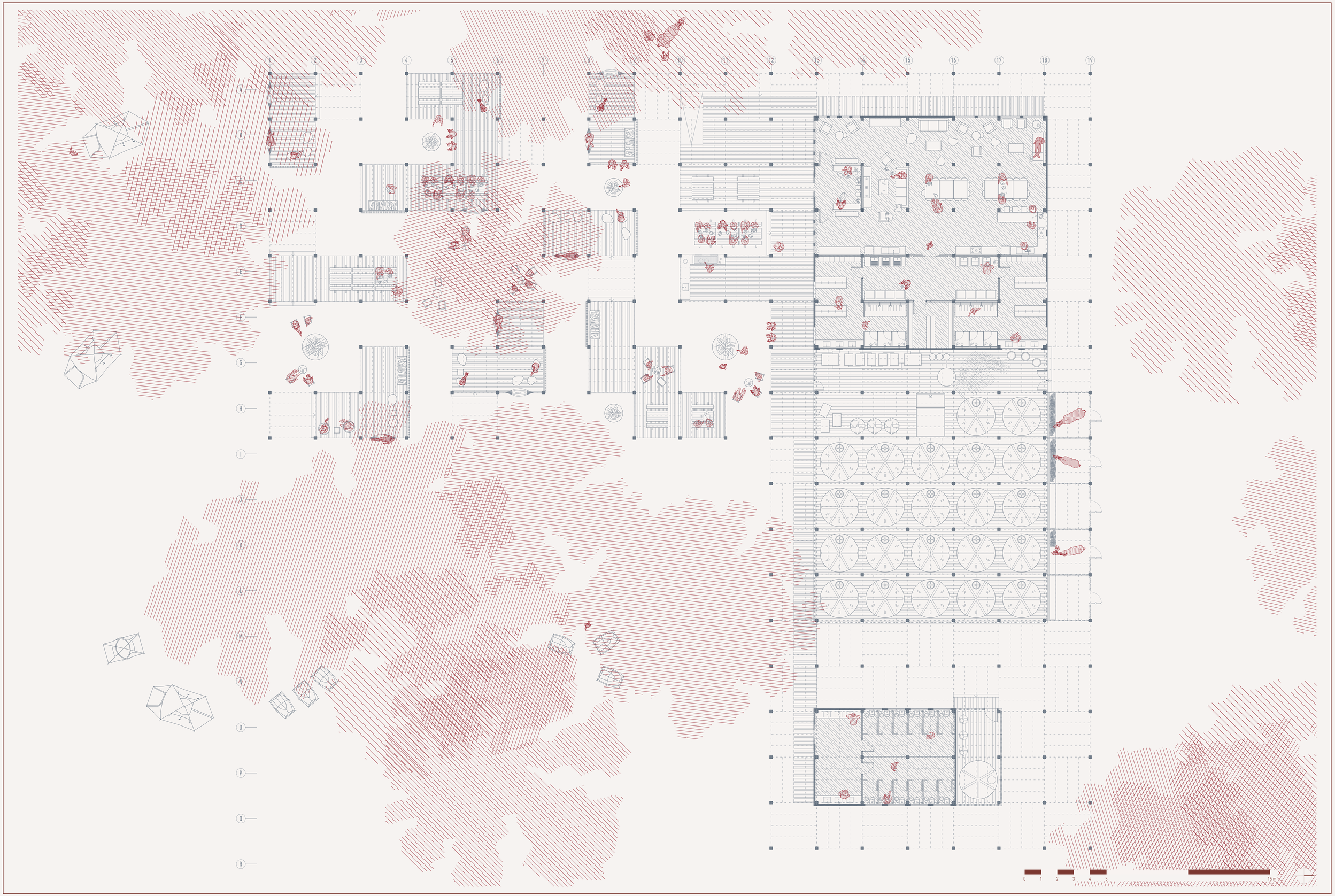
Variación Temporal
Centro de Servicios 1

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Vista Exterior
Centro de Acampada

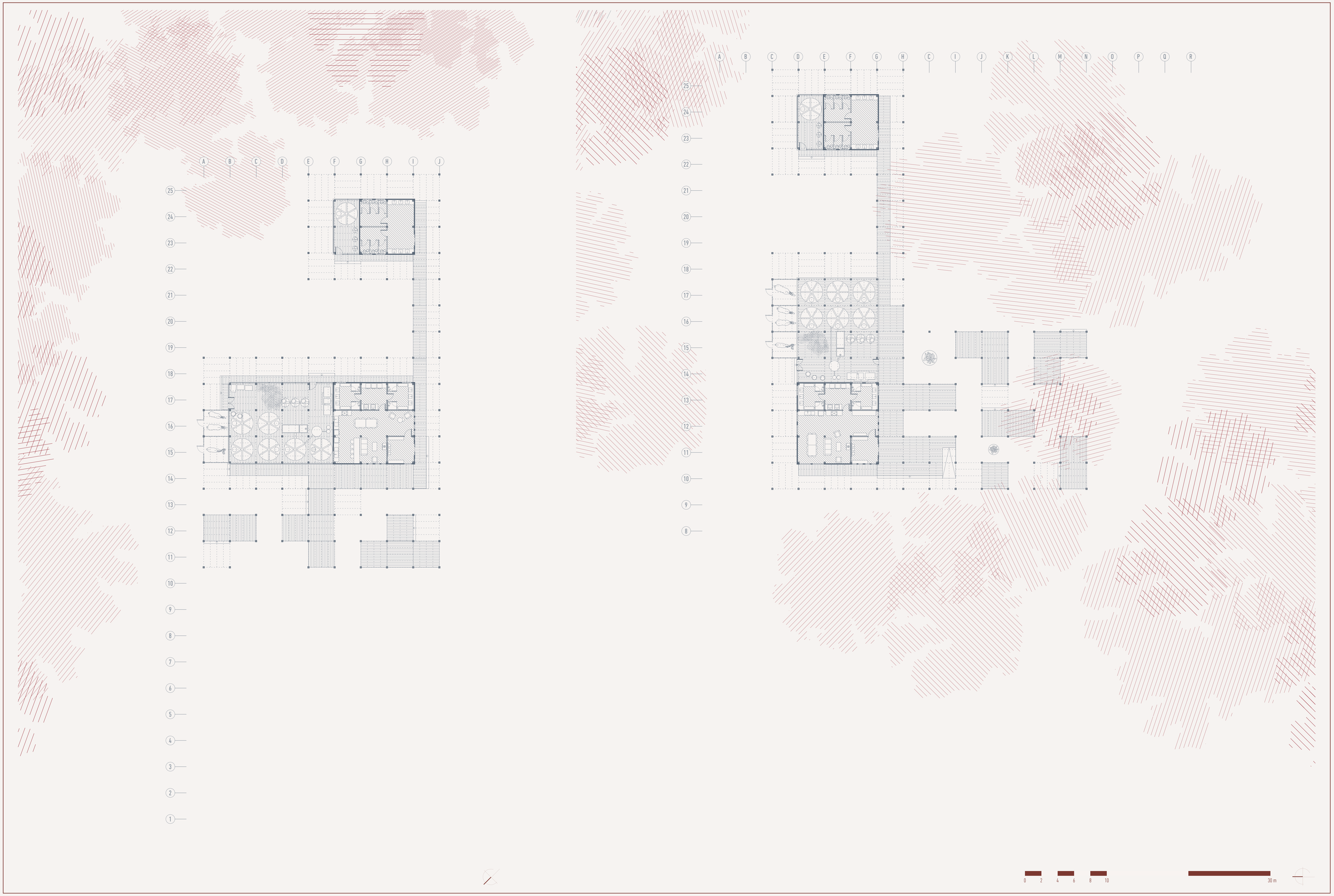
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Centro de Servicios 2
Centro de Acampada

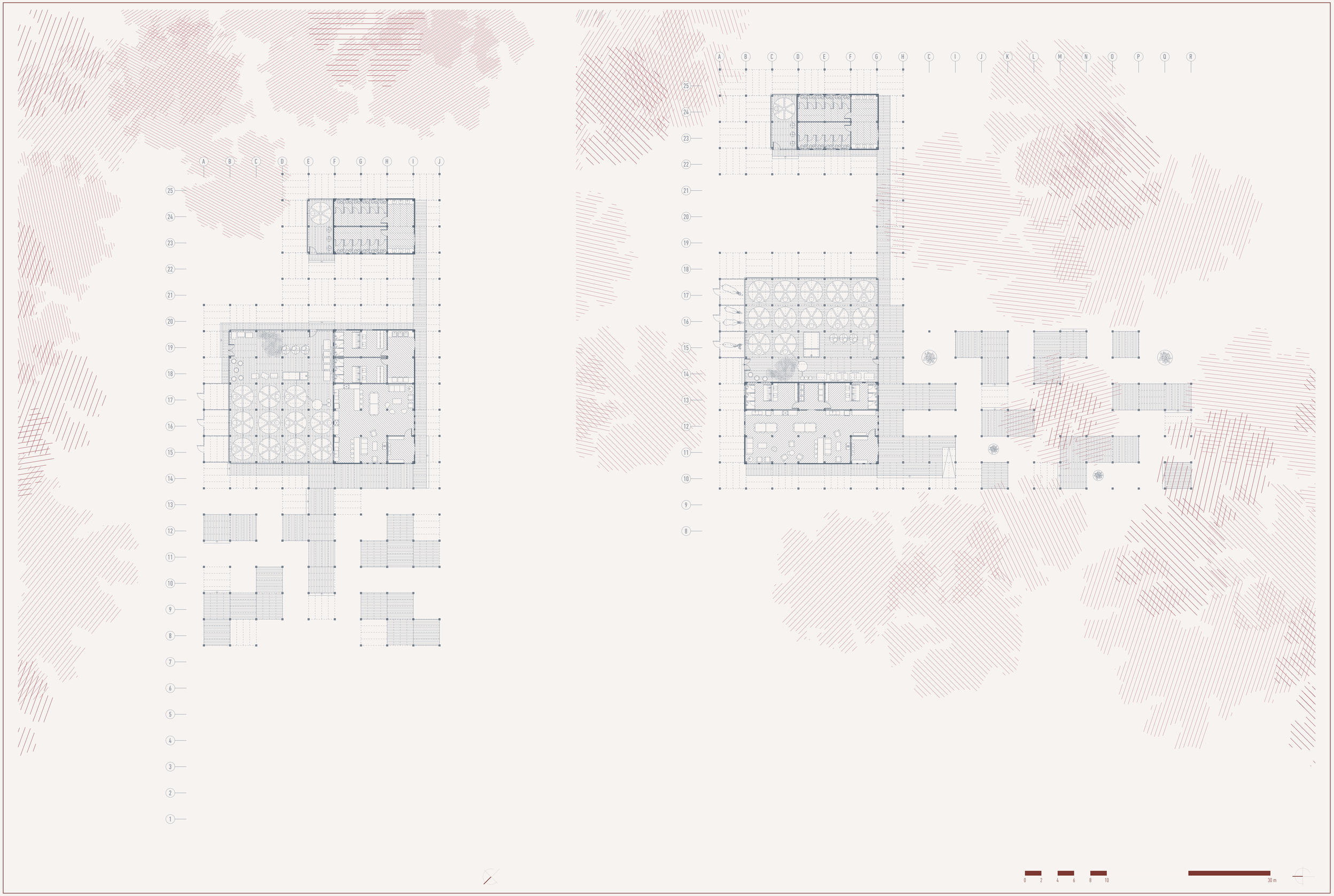
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Temporal
Centro Servicios 2

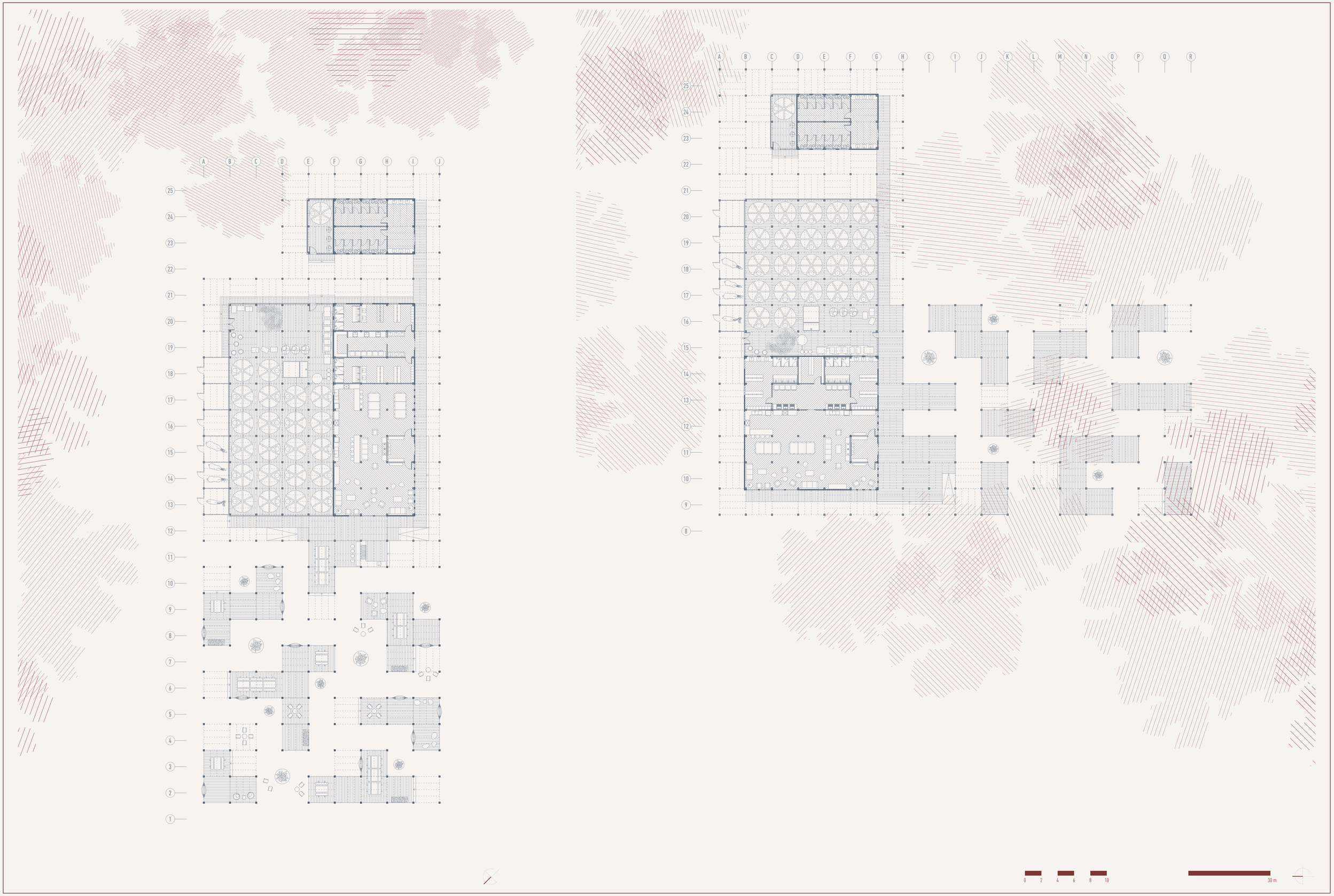
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo



Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Temporal
Centro Servicios 2

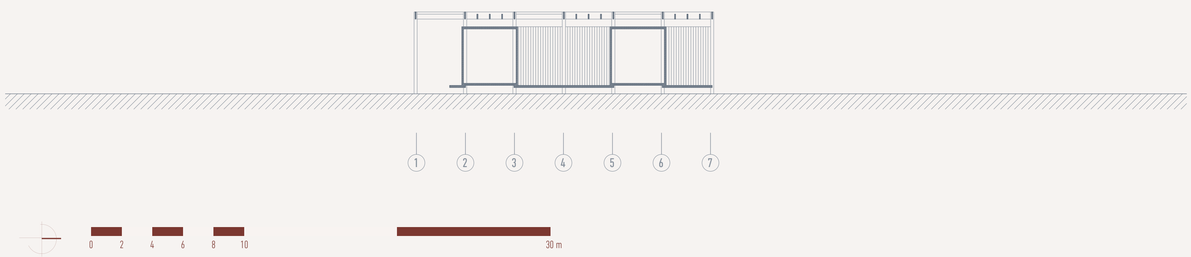
Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

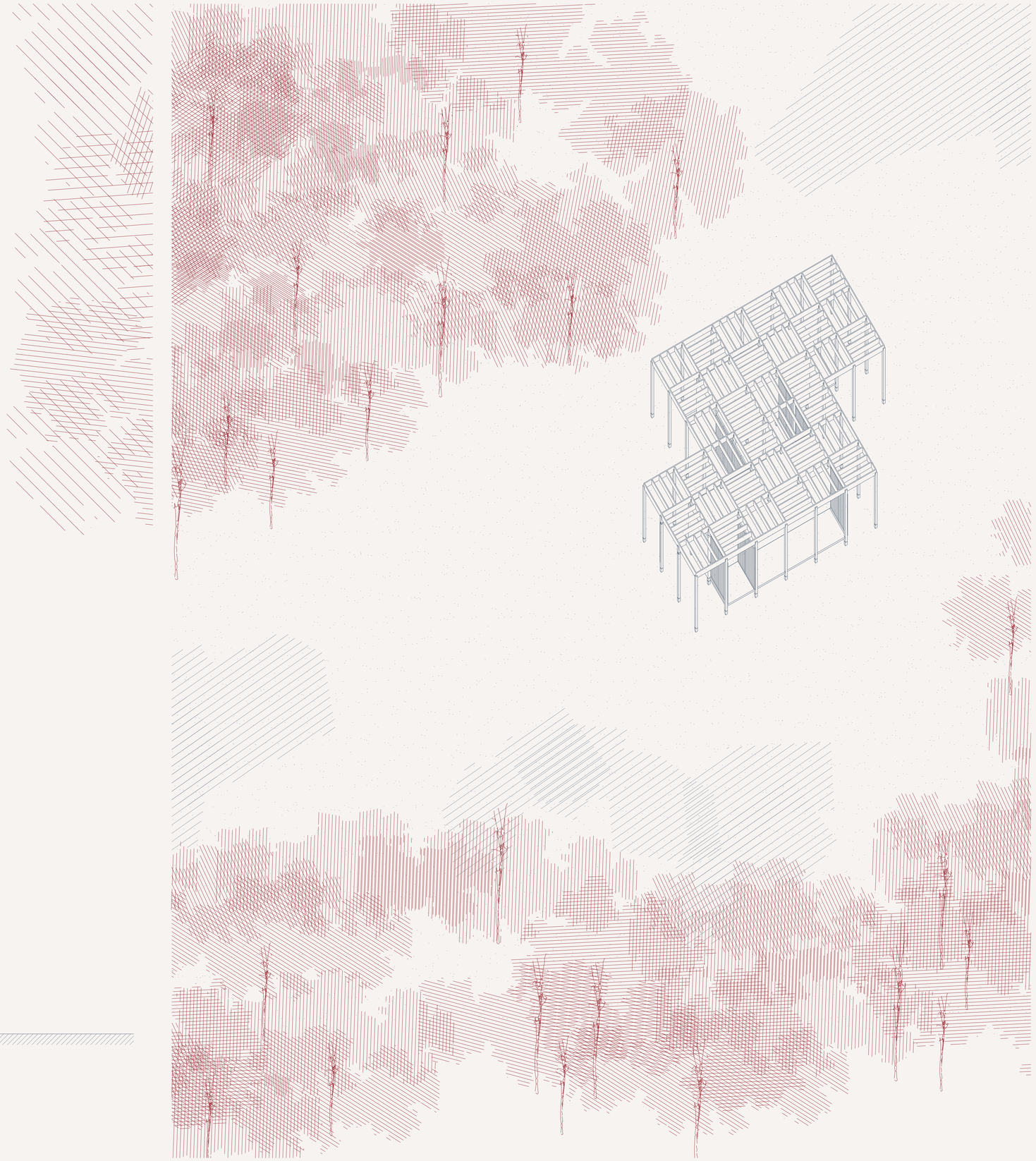


Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Temporal
Centro Servicios 2

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

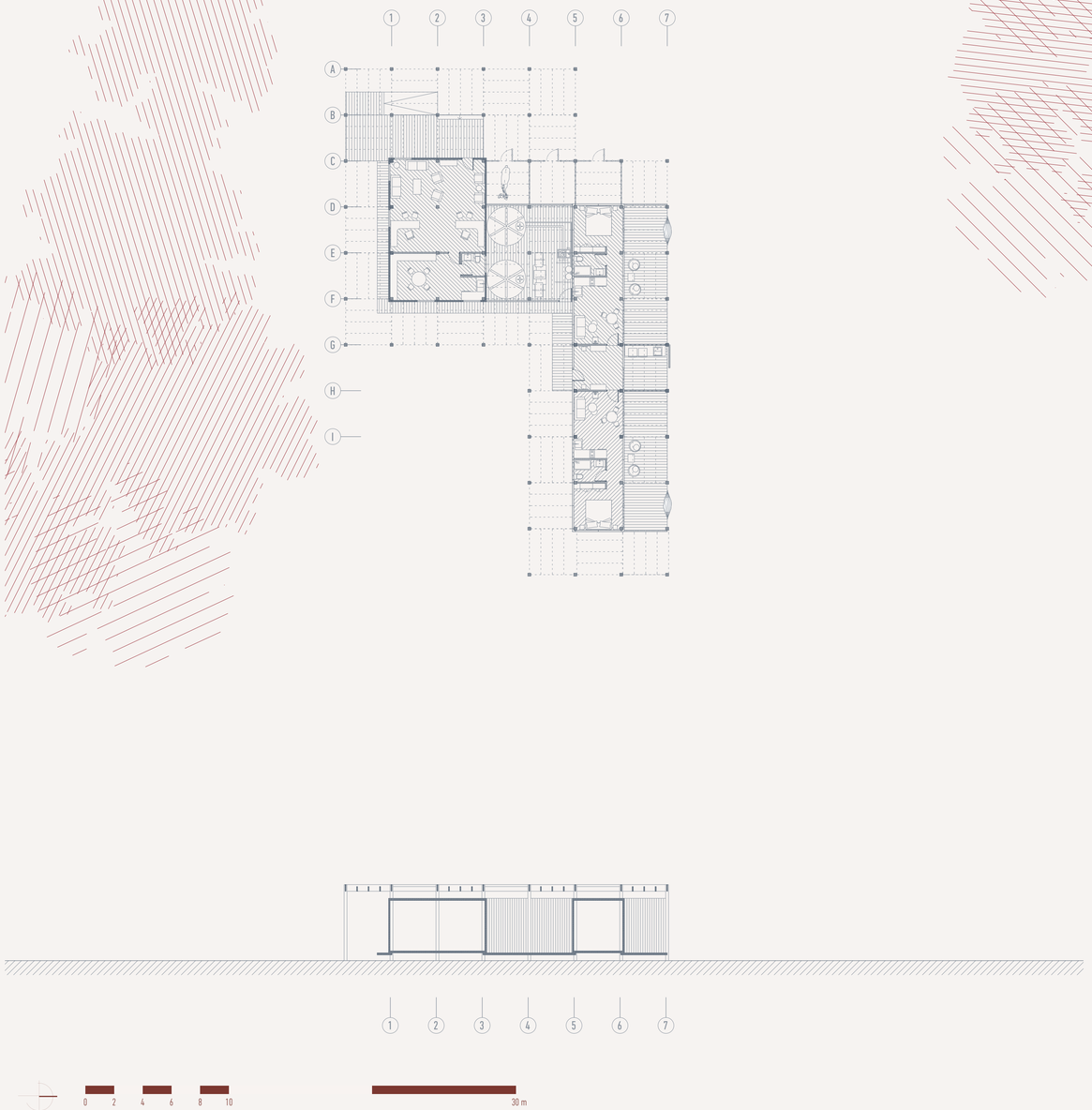


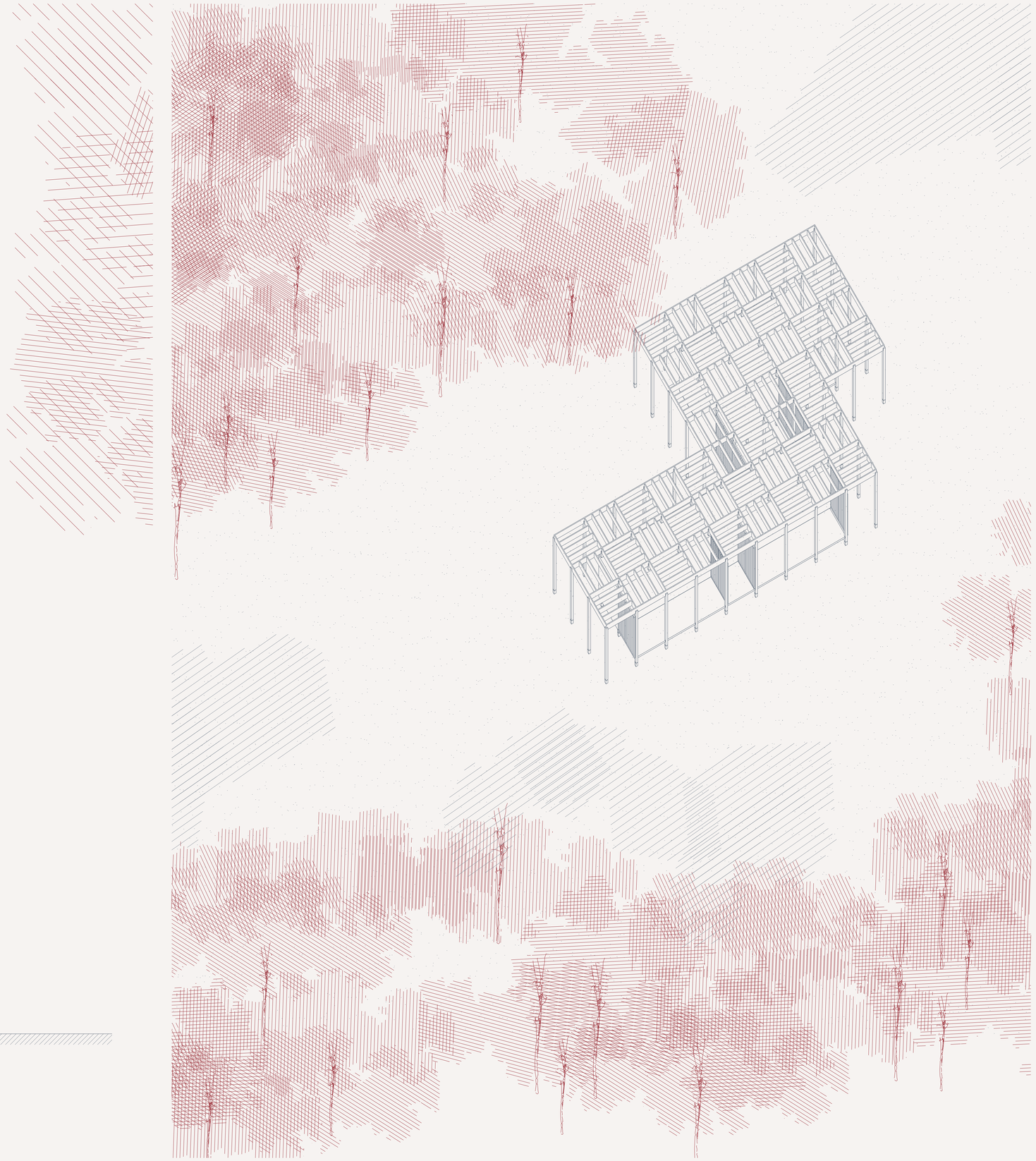


Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Estacional
Administración + Habitáculo

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo

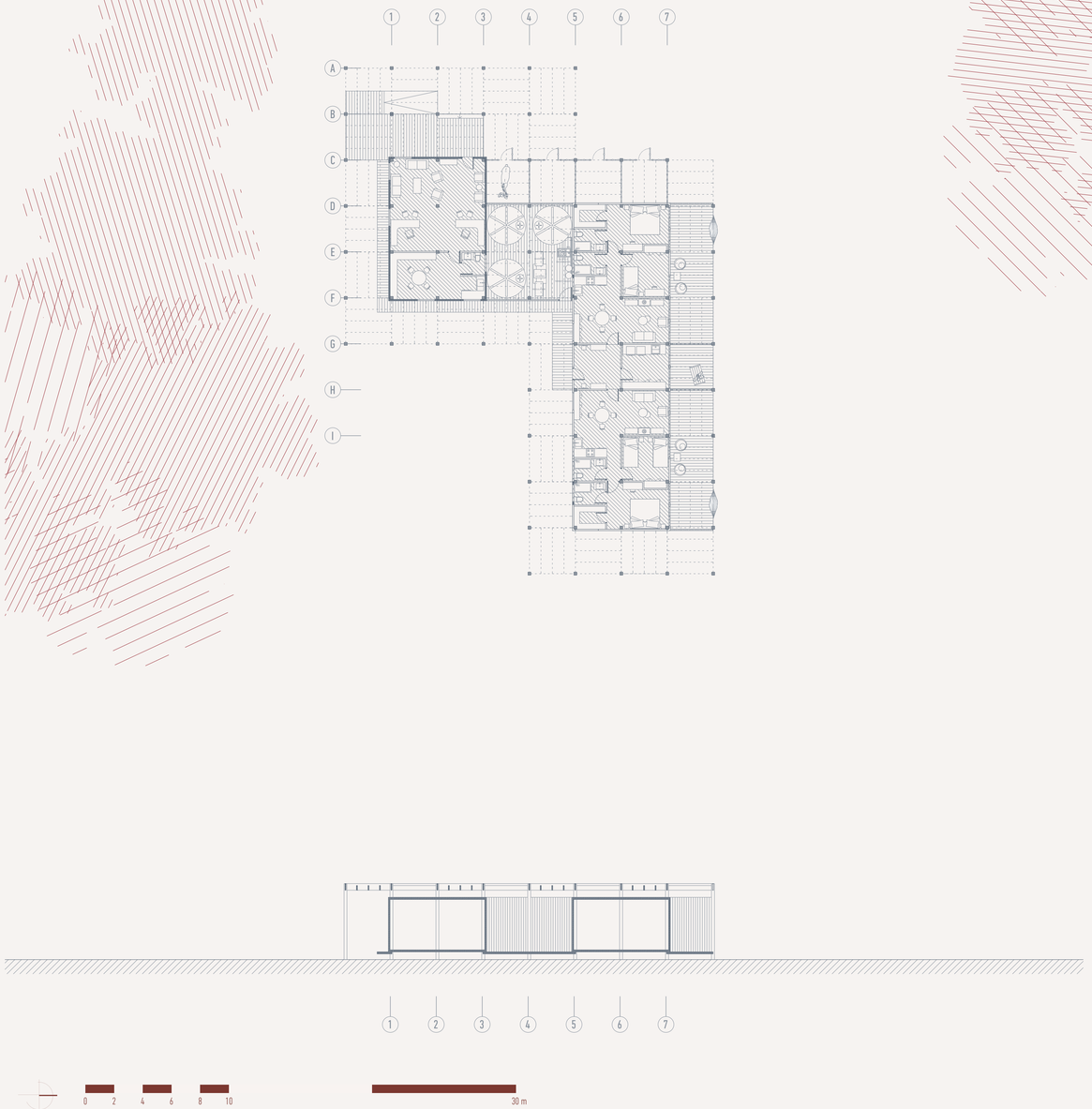


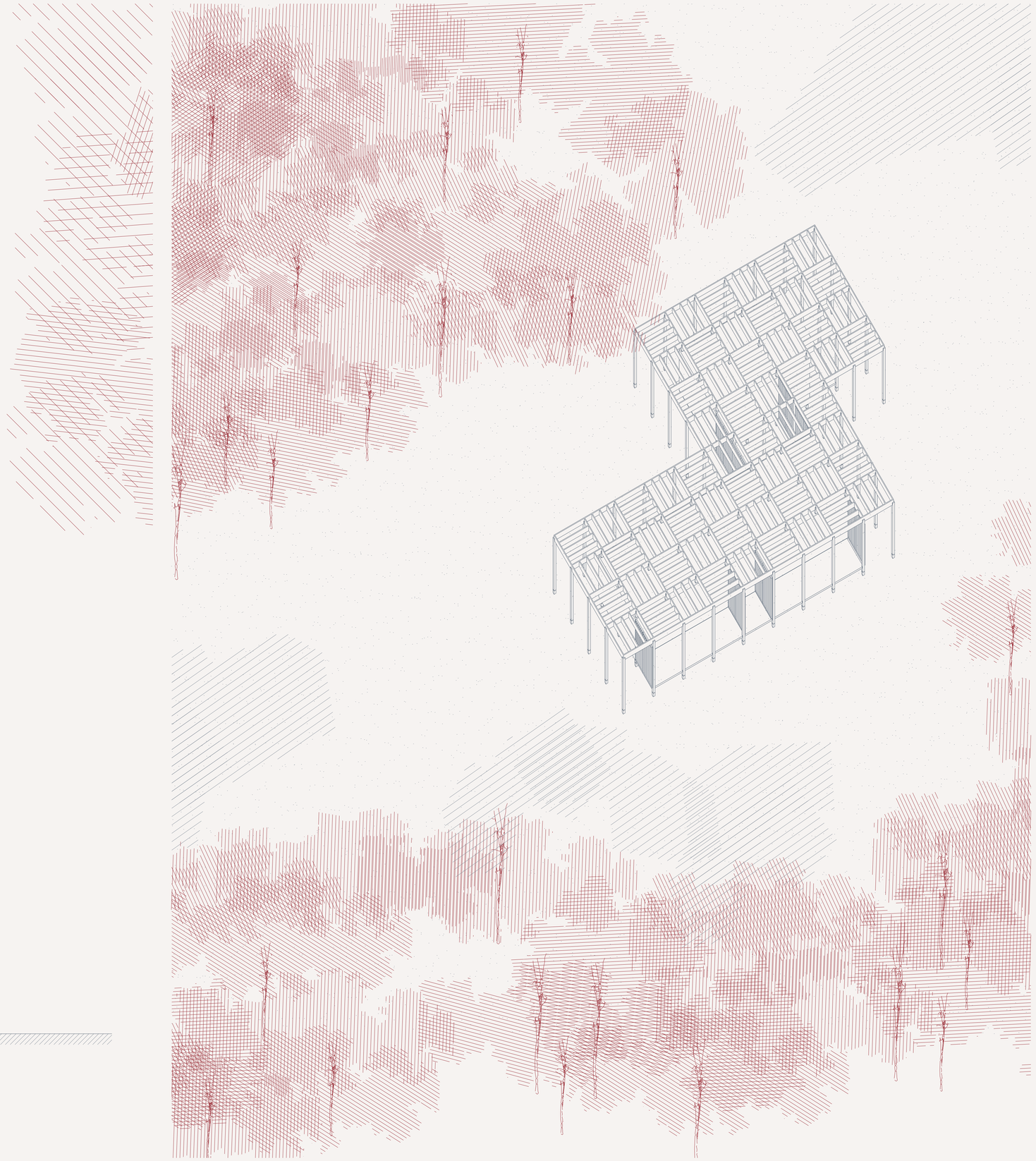


Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Estacional
Administración + Habitáculo

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo





Magíster de Arquitectura Sustentable y Energía
FADEU - Pontificia Universidad Católica

Variación Estacional
Administración + Habitáculo

Keren Codriansky Plotkin
Examen de Grado y Titulo