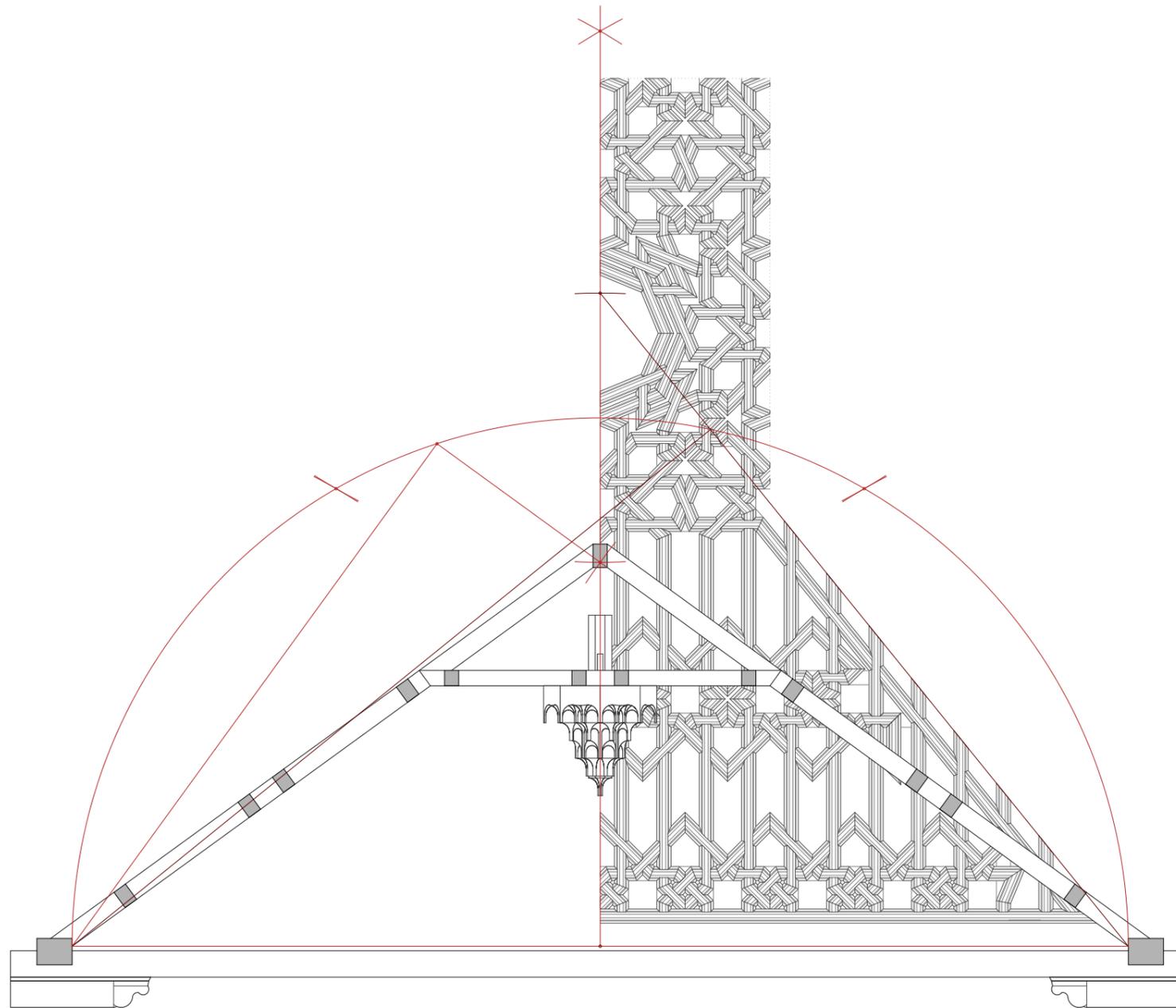
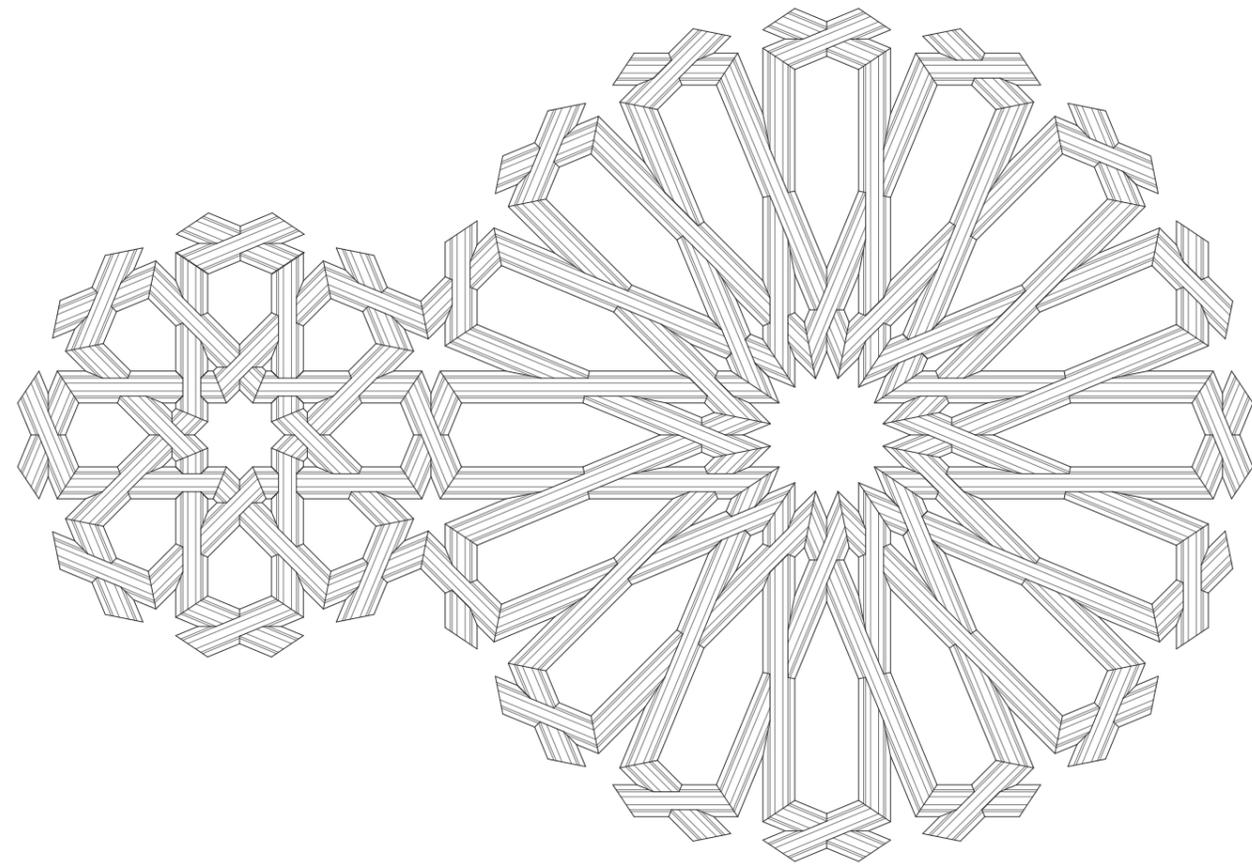


LEVANTAMIENTO DE LAS ARMADURAS DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL BAJO LA MAQUETA COMO MEDIO DIVULGATIVO



Alumno: Abelardo Salmerón Ibáñez
Tutor: Antonio Gómez Blanco

Trabajo Fin de Grado Curso 2017 - 2018
Escuela Superior de Arquitectura de Granada



ÍNDICE

1. Prólogo.

- 1.1. Introducción. p. 8
- 1.2. Objetivos y justificación. p. 9
- 1.3. Metodología. p. 10

2. Contexto histórico, artístico y urbano.

- 2.1. “La carpintería de armar española”. p. 12
- 2.2. San Miguel Bajo, parroquia en el Albaicín. p. 14

3. Estado actual del conjunto.

- 3.1. Estrategias de levantamiento p. 20
- 3.2. Patologías p. 23
- 3.3. Levantamiento general p. 25

4. La carpintería de lazo, desarrollo geométrico, estructural y constructivo.

- 4.1. Par y nudillo, construcción y funcionamiento estructural. Los cartabones de armar. p. 52
- 4.2. Las ruedas de lazo y sus cartabones. p. 57
- 4.3. El Mocárabe. p. 60

5. Aprendizaje a través de la maqueta. Nuevas herramientas de fabricación digital.

- 5.1. Ventajas y limitaciones de la impresión 3D. p. 64
- 5.2. Adaptación del modelo para la realización de la maqueta física. p. 66
- 5.3. Manual de montaje del artesanado de par y nudillo de la Iglesia de San Miguel Bajo en Granada. p. 68

6. Conclusiones

p. 144

7. Bibliografía

p. 146

8. Anexo

- 8.1. Diccionario de términos técnicos de la carpintería de armar española. p. 150
- 8.2. Maqueta física de la armadura de la Iglesia de San Miguel Bajo. p. 154

1 Prólogo

INTRODUCCIÓN

La idea base que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado surge por simple curiosidad por un oficio arraigado en parte de mi familia; curiosidad por el potencial de las nuevas herramientas de fabricación digital al alcance de cualquier persona; y curiosidad por materiales y tipologías más comunes en tiempos pasados, pero de una gran riqueza constructiva derivada de un gran conocimiento de la materia prima.

Quise buscar algo que relacionara los tres aspectos anteriores, de tal manera que el tiempo que le dedicara sirviera para saciar esa curiosidad, encontrar un ámbito en el que me sintiera cómodo dentro de la profesión de arquitecto, más allá del proyecto de edificación, y poner a prueba el potencial de las herramientas de fabricación digital dentro del área de la arquitectura y el patrimonio.

Echando un vistazo por la pequeña biblioteca que tenemos en casa, encontré un ejemplar de *“La carpintería de armar española”* de Enrique Nuere, carpintero de lo blanco y arquitecto, donde se expone la carpintería tradicional que se ha desarrollado en la península, desde forjados de piso hasta la lacería. Se relata todo un catálogo de tipologías constructivas en base a la madera [Fig.1-2], su posible origen, su evolución y un diccionario muy completo de términos dentro de esta área. A partir de todo este bombardeo información, y sobre todo, por los cautivadores dibujos de las armaduras que contiene, decidí encaminar este trabajo en este sentido.

Este libro fue promocionado por el Ministerio de Cultura y publicado en 1989 a partir de la entrega del Premio Marqués de Lozoya a Enrique Nuere, por parte de este ministerio, a raíz de su trabajo *“La carpintería de lo blanco, lectura dibujada del primer manuscrito de Diego López de Arenas”*, publicado en 1985, donde transcribió dicho manuscrito, empezando así, su labor de investigador y resaurador en este ámbito. A partir de este ejemplar, pude entrar a

conocer toda la investigación de Nuere y las fuentes de las que partió, resultando en el pilar fundamental durante la realización de este trabajo.

La carpintería tradicional realizada en España y su aplicación en estructuras de cubrición destaca por su calidad técnica, pero sorprendentemente apenas son conocidas más allá de su valor artístico y patrimonial. Esto me hizo pensar en si sería posible realizar un modelo a escala, de fácil fabricación en el que se refleje todo su funcionamiento, es decir, una maqueta que sirva como herramienta de aprendizaje mediante su ensamble recreando el proceso constructivo real.

De esta manera, decidí buscar un método que logre este objetivo y comprobar si es posible conocer, lo más detalladamente posible, la técnica que subyace en este tipo de estructuras de madera, más allá de su visualización sobre plano, de largas descripciones de sus estilos y decoraciones, partiendo de tratados antiguos como el de López de Arenas y de los diversos estudios, como los realizados por Nuere.

Por último, quiero dar las gracias a la Hermandad de la Aurora y al arquitecto Luis Anselmo Ibáñez Calero por facilitarme la información necesaria para poder empezar el levantamiento de la Iglesia de San Miguel Bajo cuyas armaduras servirán como modelo, y a mi padre, ya que gran parte de la bibliografía que se ha utilizado proviene de la pequeña biblioteca que ha ido recopilando con los años.

Este trabajo busca una manera de hacer que este tipo de conocimiento sea mucho más accesible desde cualquier punto del mundo con tan solo tener acceso a una impresora 3D doméstica y acceso a Internet, y tal vez, crear un sistema que pueda ser ampliable a otros ámbitos de la arquitectura renegados a libros de historia del arte y de la arquitectura.

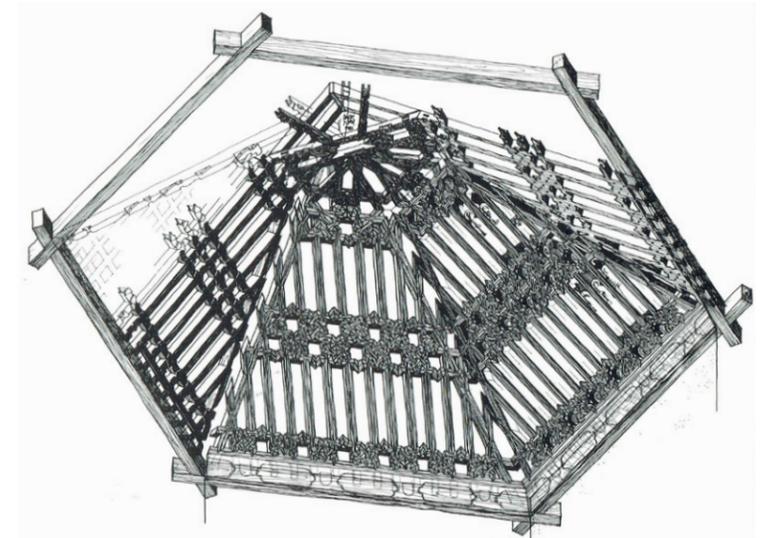


Fig. 1: Nuere incluso entra en el estudio de obras más singulares: “La planta hexagonal la encontramos en la techumbre de la capilla del Castillo de Mesones de Isuela, de Aragón. La disposición estructural sigue basándose en el equilibrio de dos paños opuestos trabados por los nudillos del almizate, lo que se puede apreciar en este dibujo, al no representar en él dos de los paños no resistentes de la armadura”. Extraído de *“La carpintería de armar española”* de Enrique Nuere (1989), p. 22.

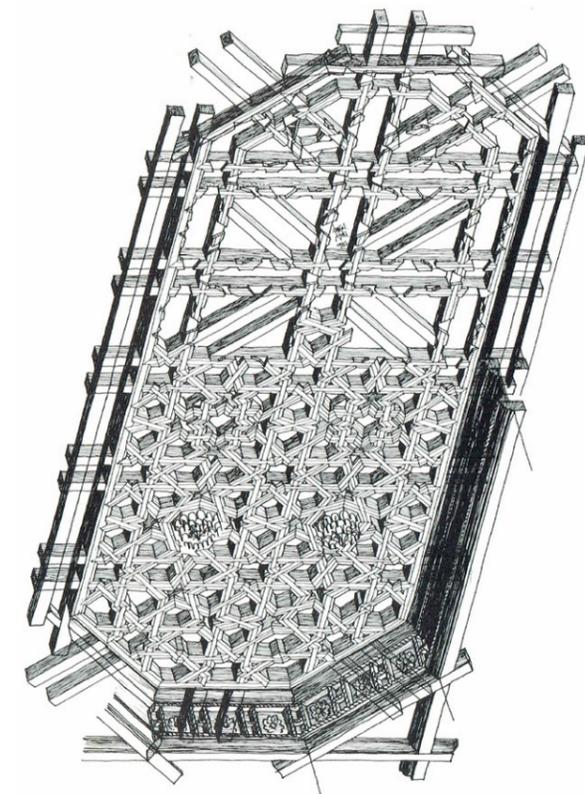


Fig. 2: Dibujo de Nuere en el que muestra lo estructural tras lo ornamental: “Techo de una de las capillas laterales de la Iglesia de Erustes en Toledo. Es un claro ejemplo de armadura plana apeinazada. En el dibujo he eliminado parcialmente sus elementos exclusivamente ornamentales, para explicar el funcionamiento estructural del mismo”. Extraído de *“La carpintería de armar española”* de Enrique Nuere (1989), p. 22.

OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

El propósito de este trabajo fin de grado será la de crear un camino sencillo y práctico para el conocimiento de una parte de la carpintería de armar española, muy arraigada en la historia de nuestro país y que destaca por su riqueza técnica y artística. Más concretamente, este trabajo se centrará en las armaduras de lacería, partiendo del sistema de cartabones que genera los diferentes patrones y dicta las medidas de todo el conjunto, desde las piezas individuales de madera hasta la estructura general de la armadura.

Se tratará de crear un modelo físico sobre un ejemplo significativo (la **Iglesia de San Miguel Bajo** en Granada), que permita, a través de su montaje, un aprendizaje rápido y completo del funcionamiento estructural de este tipo de armaduras de madera, del proceso constructivo del mismo y de las leyes geométricas que lo vertebran.

Aquí he de diferenciar entre un modelo fiel a la realidad, propio de un proyecto de levantamiento y que también se llevará a cabo, del modelo que busco. No se trata de crear una representación fiel de la realidad, se busca adaptar esa realidad a una maqueta que refleje sus aspectos constructivos y estructurales. Para esto, se abrirá un proceso previo de estudio de dichas armaduras, tras lo cual se procederá al diseño del modelo antes citado.

El objetivo final es la difusión de este conocimiento, que gracias a las tecnologías de fabricación digital que en los últimos años se han extendido con gran rapidez, como la impresión 3D o el corte láser, y a plataformas online como “*Thingiverse*”, este objetivo estará garantizado. Por otra parte, también se busca poner a prueba estas herramientas en el ámbito de la arquitectura, en el proyecto de re-

habilitación y restauración, en la catalogación del patrimonio y en la docencia. Cualquier persona o institución podrá acceder a esta información desde cualquier lugar, además de que con el acceso a estas herramientas de fabricación digital se podrá replicar el resultado de este trabajo, el modelo físico a escala de una armadura de lacería que se podrá montar paso a paso.

Por otro lado se valorará la posibilidad de poder ampliar la metodología empleada a otros casos más singulares dentro de las armaduras de lazo o incluso a otras tipologías como la carpintería tradicional japonesa, el oficio del cantero en el románico o en el gótico, sistemas que aprovechan las propiedades del material, que han evolucionado en torno a el y que la mayoría solo conoce superficialmente.

Siempre nos han insistido en la utilidad de la maqueta como medio de trabajo, en asignaturas como proyectos o composición, siempre se realizan, pero estas casi siempre acaban en la basura. No entendía la razón por la cual no se aprovechaban estos esfuerzos del alumnado. En muchas ocasiones el resultado son maquetas de una gran calidad sobre obras maestras de la arquitectura, pero los departamentos y la escuela en general nunca se interesó en mantener algunas de ellas como material docente. En la Escuela de Granada existe alguna excepción, como las maquetas realizadas en la asignatura Urbanismo 2 en el curso 2013-2014, en la que se realizaron, por parte de los alumnos, varias maquetas de proyectos urbanísticos como material educativo con la ayuda de dos impresoras 3D recién adquiridas. Este trabajo se propone, en parte, como crítica a esta carencia, y demostrar la utilidad, durabilidad y flexibilidad de estos procesos de fabricación, más ahora que por fin esta completamente operativo el taller de maquetas.

METODOLOGÍA

- **Investigación del contexto histórico, artístico y urbano** de la *Iglesia de San Miguel Bajo* y del proceso de constructivo de los artesonados de par y nudillo. Partiendo de la evolución urbana de la ciudad tras la Toma de Granada, y de como apareció el arte mudéjar. Las diferentes etapas constructivas de la iglesia, partiendo de un gótico tardío (1528-1539), hasta el uso de las nuevas ideas renacentistas (1551-1556); y sus etapas históricas .

- **Investigación sobre la carpintería de lazo**, las leyes geométricas que la regulan y su proceso constructivo. La mayor parte se sustentará sobre las publicaciones de Enrique Nuere y sobre imágenes cedidas por el arquitecto Luis Anselmo Ibáñez Calero de su archivo personal de la restauración de las armaduras en el año 2009.

- **Levantamiento en planta y sección** del conjunto mediante la toma de datos in situ y la realización de un estudio fotogramétrico completo del interior. Se dispone de parte de la planimetría general del edificio procedentes del último proyecto de restauración de las armaduras. Se pondrá un mayor énfasis en la planta de techos de la Iglesia de tal manera de poder analizar en mayor medida las armaduras.

- **Valoración de los datos obtenidos** y estimación de las posibles deformaciones o defectos, tanto de la iglesia en su conjunto, como de sus armaduras.

- **Recreación en 2D de la planta de techos** de la iglesia sin tener en cuenta las posibles deformaciones o defectos del mismo. Se trata de obtener un modelo “perfecto” a partir de sus principios geométricos con el que poder conocer las leyes que componen la estructura de la lacería.

- **Estudio en sección de las armaduras** atendiendo a su construcción y funcionamiento estructural. Estudio de varios supuestos constructivos en sección atendiendo a las distintas fuentes de información disponibles.

- **Levantamiento en 3D del objeto de estudio** de tal manera que refleje con la mayor fiabilidad posible su construcción y comportamiento estructural. También se realizarían esquemas volumétricos que expliquen el enlace de las diferentes piezas que forman la armadura.

- **Diseño y montaje de la maqueta** a partir del 3D que explique su proceso constructivo y su comportamiento estructural conforme se monte paso a paso. En esta parte será imprescindible tener en cuenta las limitaciones surgidas del método de fabricación elegido, la Impresión 3D.

- **Difusión del patrimonio mediante el resultado último de este trabajo**, la descarga online de un “kit” que incluya todas las piezas de la maqueta realizada y un manual de montaje paso a paso.

2 Contexto histórico, artístico y urbano.

“LA CARPINTERÍA DE ARMAR ESPAÑOLA”

Este trabajo se adentra en la carpintería realizada en la Península Ibérica desde el siglo XIII, la llamada carpintería de armar española o **carpintería de lo blanco**. Este nombre, según, Refael Cómez en el libro “*Los constructores de la España medieval*” (2009), viene de la necesidad de que las maderas sean alisadas para la construcción, es decir, “blanqueadas”¹. Principalmente, la carpintería de lo “blanco” era la que se realizaba para la edificación, igual que el carpintero de lo “prieto”, según las ordenanzas de carpinteros citadas por Nuere, “los dedicados a la fabricación de carros, aperos de labranza, ruedas de molino”².

El punto de partida han sido los estudios de Enrique Nuere, sobre todo su libro “*La carpintería de armar española*” (1989) [Fig. 3], donde reúne un catálogo de diversas tipologías de techumbres de madera y establece un primer diccionario de términos técnicos sobre esta materia, según el, “un instrumento de apoyo para quienes se interesen en el tema de nuestra carpintería”. Todo esto a raíz de su estudio del manuscrito de Diego López de Arenas “*Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes*”(1633)[Fig. 4], antes estudiado por Manuel Gómez-Moreno y Antonio Prieto y Vives.

En este libro, no solo quiere establecer unos cimientos para futuras investigaciones, sino que pone en duda el relato establecido sobre su supuesto origen islámico, de esta manera³:

En los últimos años se ha despertado un claro interés por nuestra carpintería, pero no es menos cierto que fundamentalmente lo ha sido desde la óptica de su supuesta paternidad mudéjar. Esta realidad ha limitado el estudio de la carpintería española, al interesarse exclusivamente por la de lacería, aparentemente más enraizada en lo musulmán, e ignorar el resto de lo que nuestros carpinteros construyeron en toda España durante más de diez siglos. [...] Nunca se ha relacionado esta carpintería de armar con la imprescindible que había de solucionar técnicamente las techumbres existentes sobre infinidad de bóvedas románicas, góticas o posteriores. [...]

Sólo así se entienden las constantes contradicciones que se plantean, cuando se intentan resolver problemas tales como los que surgen al tratar de averiguar que tradición islámica anterior la hizo posible, precisamente en un pueblo de nómadas, cuyos itinerarios discurren por tierras desarboladas, o cómo se explica la existencia de tantos carpinteros cristianos, que desde los siglos XIII y XIV nos consta que las realizaban, sin su correspondiente contrapartida en los mudéjares, o como justificar que en la zona del Levante español, precisamente la de más clara pervivencia musulmana, nos queden tan escasos ejemplos de estas techumbres que los historiadores del arte han bautizado como mudéjares. (p. 9)

1 Cómez, R. (2009). *Los constructores de la España medieval*. p. 97

2 Nuere, E. (2014, Junio 5). La carpintería de lo blanco a través de la imagen. [Entrada blog] Extraído de <http://enrique.nuere.es/blog/?p=8>

3 Nuere, E. (1989). *La carpintería de armar española*. p. 9

En sus estudios incluye los aspectos técnicos y constructivos de esta carpintería, yendo más allá de su superficie y no solo centrándose en la de lazo, incluyendo aquellas armaduras despreciadas por los historiadores en edificios del románico o gótico, o aquellas que simplemente se han estudiado desde el punto de vista estilístico y no constructivo, con el fin de tener una imagen completa de toda la carpintería que se realizó. En este punto abre el ámbito de estudio relacionándolo incluso con la construcción de los horreos asturianos, o las ornamentaciones de los mosaicos romanos.

En cuanto al lazo, Nuere establece una relación fundamental entre el mundo islámico y la Europa medieval, en la que la posición geográfica de España fue clave dada la convivencia a lo largo de más de 7 siglos. Por un lado, en la mayoría del Norte de África, exceptuando parte de marruecos, la madera era muy escasa, la base de su construcción y la de casi todo el mediterráneo era la fábrica, ya sea de piedra, ladrillo, etc. En Europa, sobre todo la parte atlántica, su construcción se basaba principalmente en la madera⁴. Esto resultó, tras la invasión musulmana de la península, una influencia mutua. Por un lado, la tradición carpintera castellana provenía de la visigoda y la del Norte de Europa, se basaba en el uso de cartabones, o plantillas, como herramienta fundamental a la hora de realizar una cubrición u otros elementos sin necesidad de la realización previa de planos. Esta tradición aún se puede ver en herramientas utilizadas en la actualidad en estas zonas de Europa. Además de esto cabe destacar las grandes similitudes de las soluciones constructivas de la carpintería de lazo y la de la Europa atlántica. Por la parte islámica proviene la geometría, las ruedas de lazo, las cuales se acabarían realizando con un nuevos conjuntos de cartabones⁵ [Fig. 5].

Así lo explica Nuere en el Seminario Internacional Arquitectura y Humanismo:

Y estoy convencido de que fue la tradición carpintera visigoda, en parte peinsular, en parte europea, la que hizo posible la misteriosa aparición de nuestra carpintería de lazo, pues solo alguien acostumbrado al control que su juego de cartabones le proporcionaba sobre el diseño y ejecución de una armadura, sería capaz de crear otro juego de cartabones que le permitiera un similar control de los complejos trazados de lacería, lo que demostraba un cierto nivel de conocimientos geométricos sin los cuales difícilmente habría encontrado la elegante solución que resolvía con sencillez el diseño de complejas soluciones poliédricas en los que los trazados discurren por todos sus paños sin perder su continuidad. (Min. 5:14-6:00)

4 Nuere, E. (2014, Junio 5). La carpintería de lazo. [Entrada blog] Extraído de <http://enrique.nuere.es/blog/?p=387>

5 Nuere, E. (2014, Noviembre 10). El origen de la carpintería de lazo [Video] <https://www.youtube.com/watch?v=GjUlqJgmMCY>. Conferencia de Enrique Nuere Mataúco en el Seminario Internacional Arquitectura y Humanismo. Aquí realiza un breve pero completo análisis del posible origen de la carpintería de lazo.



Fig. 3: Armadura ochavada sobre pechinas y retablo de Blas Moreno.



Fig. 4: Manuscrito de Diego López de Arenas “*Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes*” de 1633.

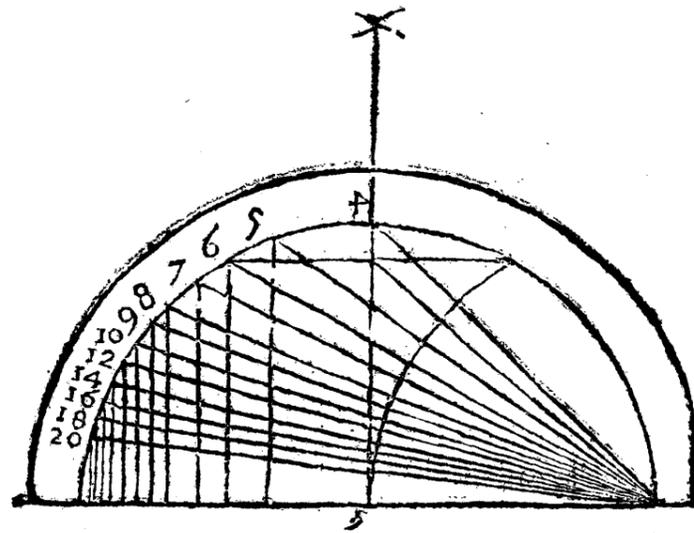


Fig. 5: Dibujo de Diego López de Arenas en “Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes” de una cambija (semicírculo) con los cartabones para la realización de las ruedas de lazo.



Fig. 6: Mimbar de la Mezquita de Kutubiyya (1137), construida en Córdoba. Extraído de <http://blog.stephens.edu/arh101glossary/?glossary=minbar>

Un ejemplo de esta relación sería el Mimbar de la Mezquita de Kutubiyya (1137) con una ornamentación desarrollada en el Medio Oriente llamada “Girih” (nudo en persa), pero siendo fabricado en Córdoba para luego ser llevado a Marruecos [Fig. 6].

En cuanto al lugar concreto donde surgió la carpintería de lazo, Nuere establece tres posibles puntos, Sevilla, Toledo o Granada, siendo esta última la más probable, destacando la armadura realizada en el Palacio del Partal en la Alhambra en época nazarí. Esta carpintería se extendería por toda la península incluso llegando a Galicia. De aquí acabaría extendiéndose incluso a América, como da fe el manuscrito de Fray Andrés de San Miguel, el cual fue escrito en América y en unas fechas similares al de Arenas.⁶ [Fig. 7]

No debemos olvidar que el lazo solo es una parte del oficio del carpintero, aunque existe mucha variedad dentro del lacería, esta solo engloba a las armaduras más lujosas, existe un número mayor de armaduras sin el. Además, dentro de la carpintería de lo blanco también se incluyen la fabricación de puertas y ventanas.

Todo este oficio fue regulado en Granada en 1528 al añadir el “Capítulo de carpinteros” a las Ordenanzas de Granada el 15 de Octubre de 1501, la cual reguló el gobierno de la ciudad y su marco jurídico, incluyendo la regulación de más de 50 oficios, entre los que se incluyen los albañiles, yeseros, pintores, carpinteros, etc. Dentro del

6 Nuere, E. (1990). *La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*. p. 10

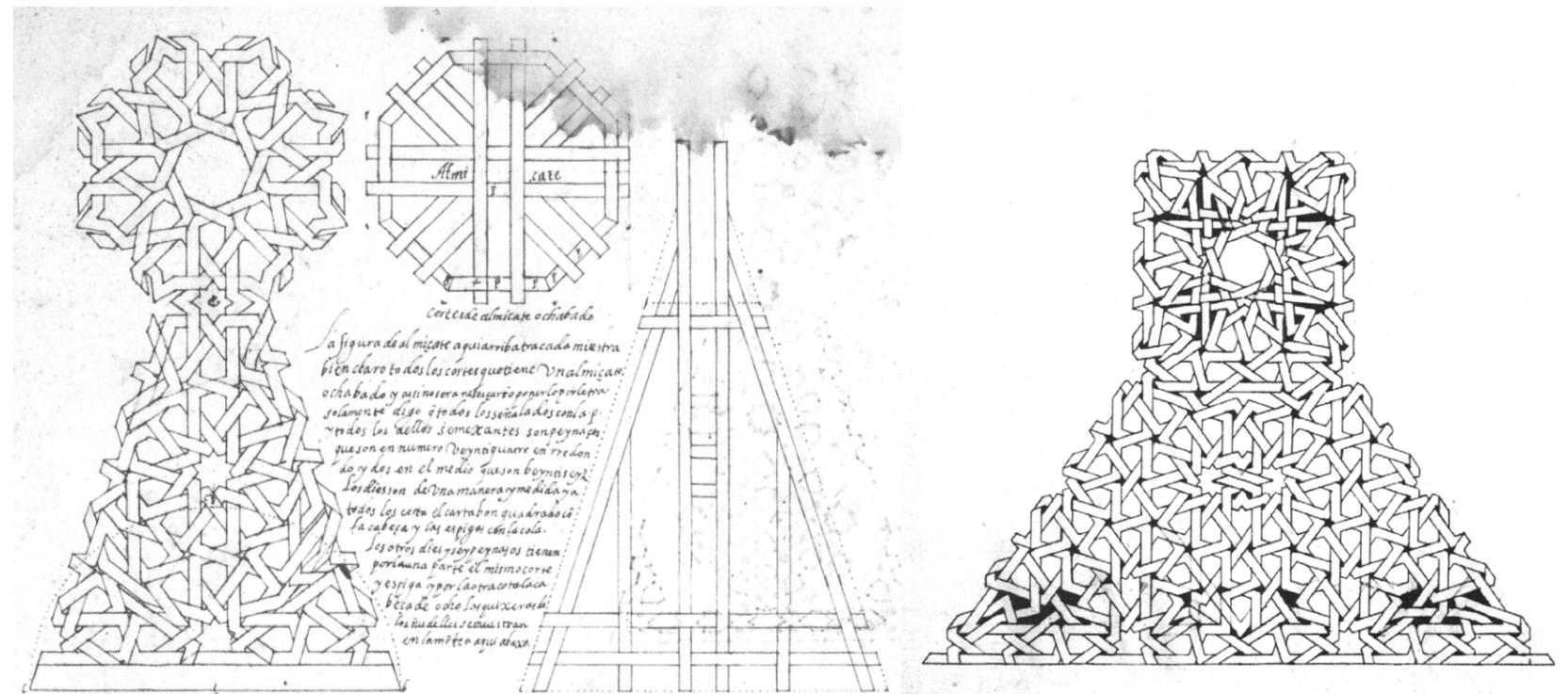


Fig. 7: Dibujos del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel, extraídos de “*La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*” de Nuere (1990)

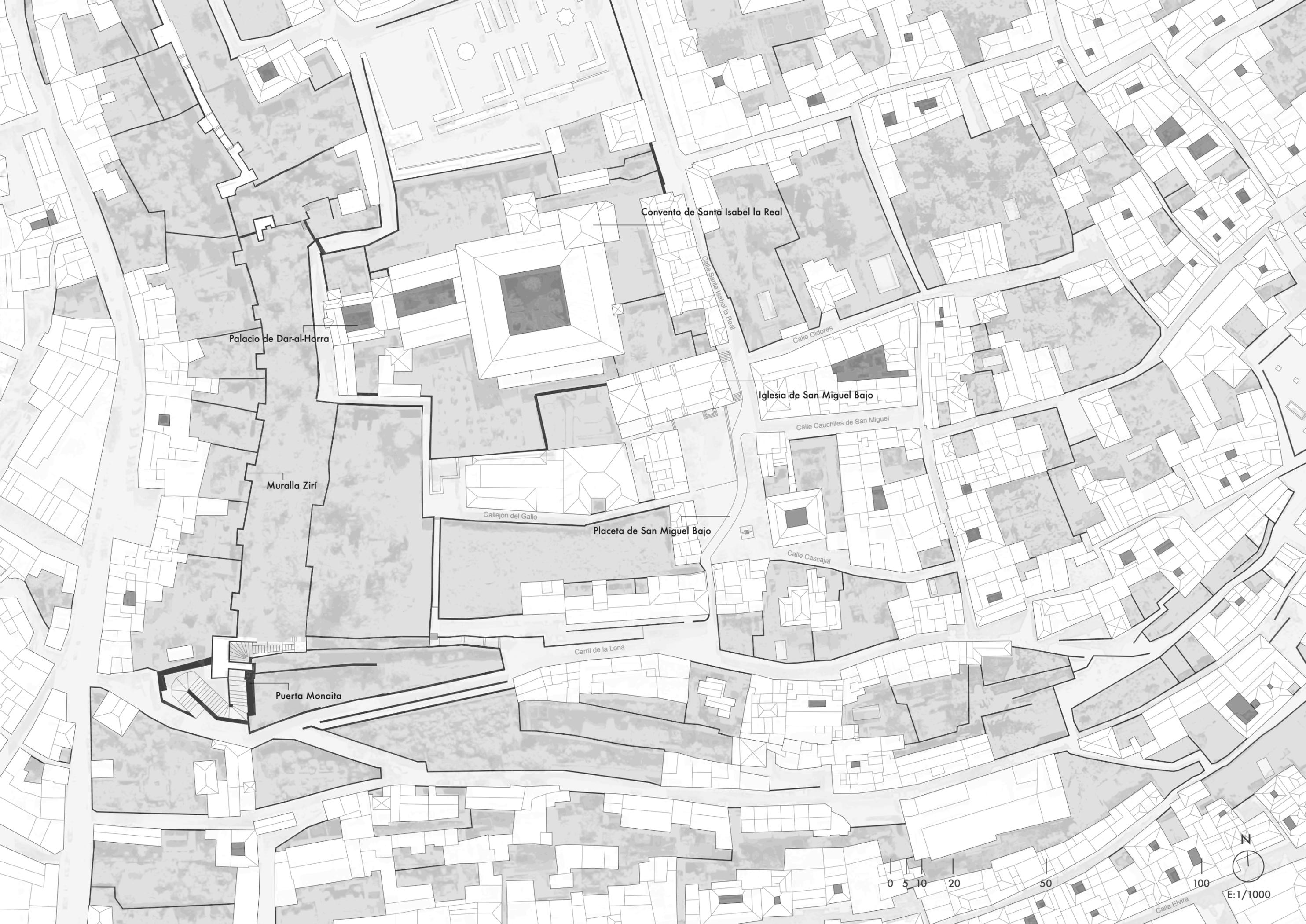
“Capítulo de carpinteros”, se establecían la necesidad de realizar un examen para poder ejercer. Se distinguían diferentes atribuciones, dependiendo de la complejidad y del tipo de carpintería. Según Rafael López dentro de los relacionados con la carpintería de lo blanco destacan están⁷:

- El **geométrico**: “Tenían que realizar una estancia con bóveda de media naranja con lazo lefe, una cuadra cuadrada y ochavada con mocárabes, y distintas maquinarias y elementos de guerra”.
- El **lacero**: “Tenían que realizar una cuadra ochavada de lazo lefe con pechinas”. (Lefe se traduciría como envolver, se refiere al uso de la rueda de diez que se envuelven entre sí).
- El **“carpintero de obras de fuera”**⁸: “los que sabían hacer una armadura de limas moamares con perfiles”.
- El **tendero**: “los que no salían de su taller para trabajar,[...] (arcas, mesas, puertas, ventanas...)”.

Aparte de los ya nombrados, también incluía a los carpinteros de lo prieto (elementos industriales como norias, carros, etc), al oficio de la fabricación de instrumentos musicales y a los entalladores, “los dedicados a los retablos, tabernáculos y sillas de coro”.

7 López, G. (1987). *Tradición y clasicismo en la Granada del siglo XVI*. pp. 307-315

8 Aljazair, G. (2015). Capítulo: *La carpintería de lo blanco en la Granada del siglo XVI*, dentro del libro: *La carpintería de lo blanco en ejemplos granadinos*. pp. 36-38



Palacio de Dar-al-Horra

Convento de Santa Isabel la Real

Iglesia de San Miguel Bajo

Muralla Ziri

Placeta de San Miguel Bajo

Puerta Monaita

0 5 10 20 50 100



E:1/1000

Calle Elvira

Callejón del Gallo

Carril de la Lona

Calle Cascajal

Calle Cauchiles de San Miguel

Calle Oidores

Calle Santa Isabel la Real

La Capilla Mayor, de planta cuadrada, se encuentra elevada respecto al nivel del resto de la iglesia, antes del Concilio del Vaticano II, la liturgia se celebraba en la parte más elevada, en el altar que se encontraba en el anterior retablo existente antes del actual. Este retablo fue obra de Tomas de Morales y del pintor Juan de Palenque entre 1559 y 1561. El actual fue realizado por Blas Moreno en 1753. Tras el Concilio Vaticano II, el altar se bajo hasta el nivel de la nave principal mediante una pequeña plataforma circundada de tres escalones¹¹.

La cubrición de la Iglesia se realiza de diferentes maneras, dejando a la vista las etapas de su construcción:

-La **Capilla Mayor** [Fig. 9] se cubre con una armadura ochavada sobre pechinas, decorada con lacería y pinturas de estilo renacentistas.

-La **nave central** [Fig. 10] se compone de dos tipos de cubriciones: En los dos primeros cuerpos, desde la Capilla Mayor, hay armaduras a dos aguas de parhilara con vigas madres sobre canes decoradas con policromía. En el último tramo se cubre con una armadura de par y nudillo a tres aguas y limas dobles (limas moamares) con lazo, tirantes, mocárabe y policromía.

- Las **capillas laterales** se resuelven con bóvedas de arista y vaídas rematadas con frescos.

11 Rodrigo, J. C. (2004). La iglesia mudéjar de San Miguel Bajo (Granada): adaptación al culto pos-conciliar. *Alonso Cano. Revista Andaluza de Arte*, 2, 25-30. <http://perso.wanadoo.es/alonsocano1601>. En este artículo se realiza un análisis más profundo sobre los cambios en los elementos que componen la liturgia tras el Concilio Vaticano II en la iglesia de San Miguel Bajo.

En una de estas capillas laterales asoma parte de la bóveda del aljibe originario de la anterior mezquita. Esta se sitúa en la placeta de San Miguel, junto a la portada lateral y recibía el agua de la acequia de Aynadamar pasando por el Aljibe del Rey. Se compone de dos columnas y un arco de herradura apuntado, y tiene una capacidad de 90 metros cúbicos [Fig. 5].

Las parroquias funcionaron como elementos básicos a la hora de construir la Granada cristiana, fueron los lugares donde se desarrollaba la vida cristiana referentes a la muerte, el matrimonio, los nacimientos, así como la catequesis¹². Las parroquias de la Alcazaba Cadima, entre las que se encuentra la de San Miguel Bajo, llegaron a tener 778 vecinos en 1587 (3890 habitantes, un vecino equivale a una familia de unos 5 miembros)¹³. Sin embargo, la parroquia de San Miguel fue suprimida en la desamortización durante la regencia de Espartero en 1842, aunque gracias al sacristán, continuó abierta¹⁴.

Fue expoliada durante la guerra civil sufriendo grandes daños, y declarada Bien de Interés Cultural el 29 de noviembre de 1982. Es la sede canónica de la Hermandad de la Aurora desde octubre de 2011, aunque su actividad se remonta hasta los años 80. Esta hermandad fue la promotora del proyecto de restauración del año 2009 a raíz de varios desprendimientos, finalizando las obras en 2013.

12 López, R. (1987). *Tradición y clasicismo en la Granada del XVI*. p. 65.

13 Bosque, J. (1988). *Geografía urbana de Granada*. p. 88

14 Barrios, J. M. (1999). *Reforma urbana y destrucción del patrimonio histórico en Granada*. pp. 142-143.

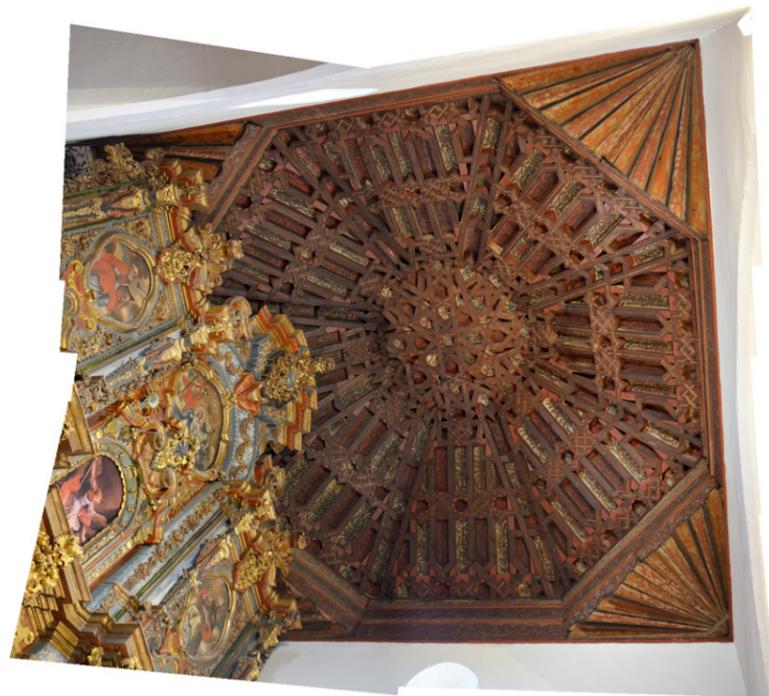


Fig. 9: Armadura ochavada sobre pechinas y retablo de Blas Moreno.

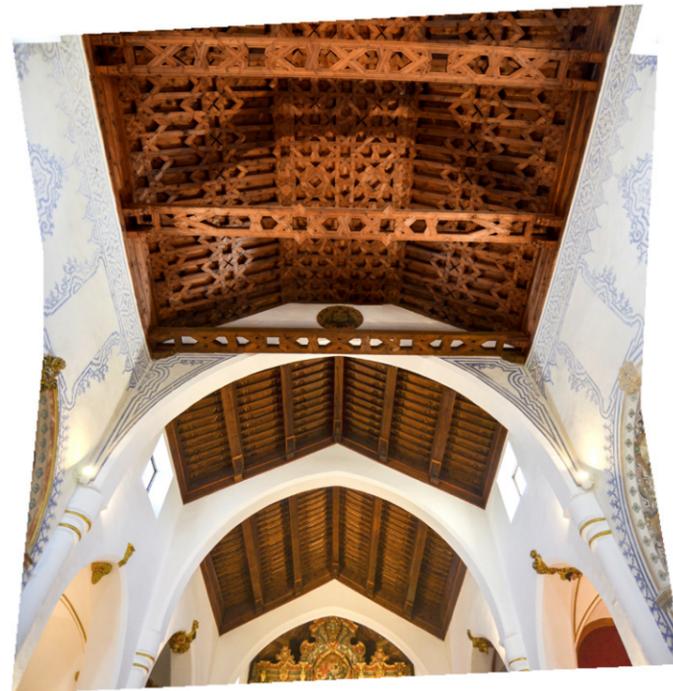


Fig. 10: Abajo armaduras de parhilara, y arriba armadura de par y nudillo a tres aguas.

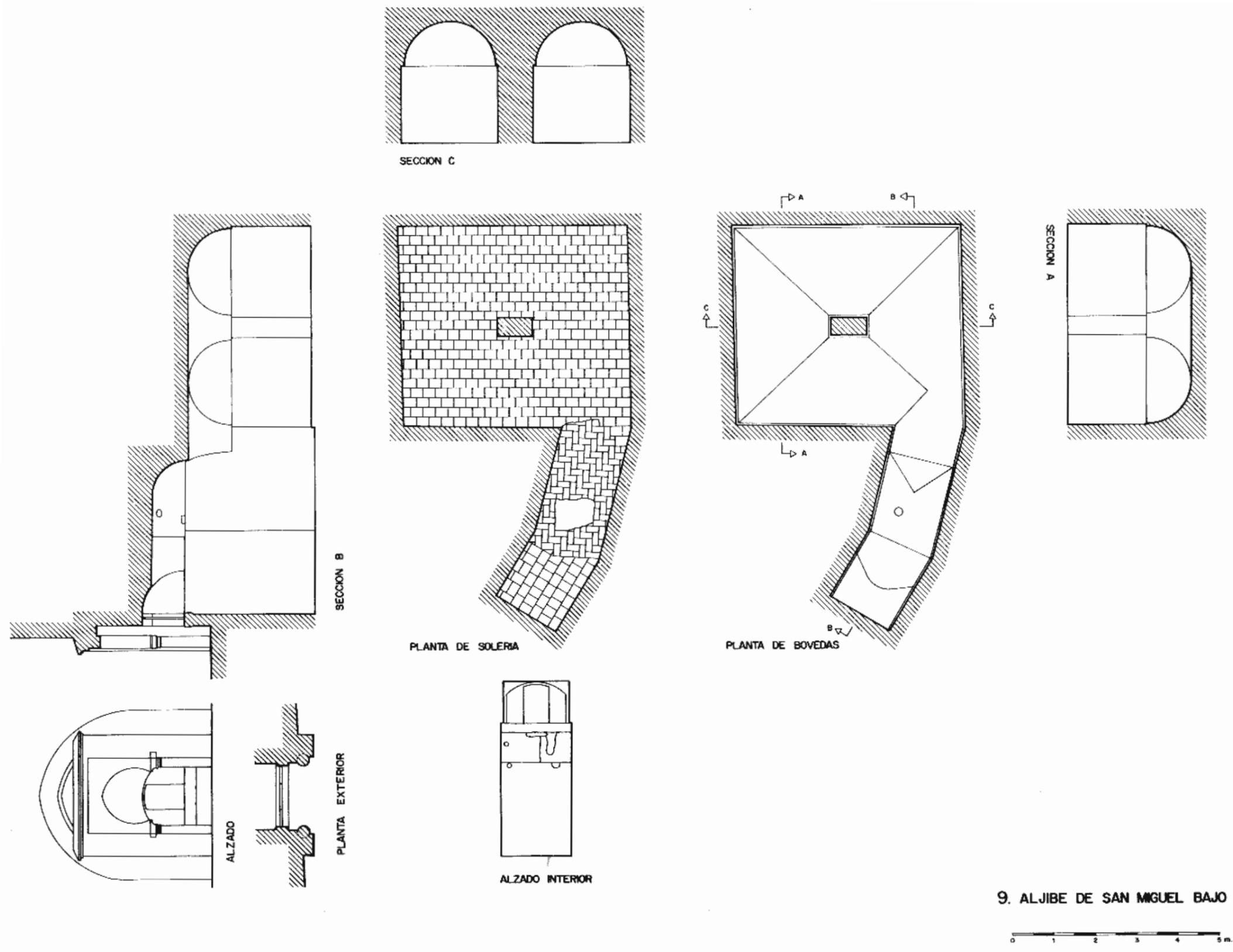


Fig. 5: Planos del aljibe bajo la Iglesia de San Miguel Bajo realizados por Antonio Orihuela y Carlos Vilchez (1991) en "Aljibes Pùblicos de La Granada Islàmica".

3 Estado actual del conjunto

ESTRATEGIAS DE LEVANTAMIENTO

La planimetría general de la Iglesia de San Miguel Bajo se ha obtenido partiendo de parte de la documentación del último proyecto de restauración cedidos por el arquitecto Luis Anselmo Ibáñez Calero y por la Hermandad de la Aurora. A partir de esta información, el levantamiento general de la Iglesia de San Miguel Bajo se completa mediante fotogrametría SFM (structure from motion), método informático por el cual se consigue obtener modelos 3D a partir de imágenes. Con una serie de fotografías (representaciones en 2D de un espacio 3D) que se han tomado con una previa planificación, es posible obtener una detallada geometría 3D con una alta fidelidad a la realidad, incluyendo su aspecto material. El programa informático (Visual SfM, Agisoft PhotoScan, Pix4D, etc) es capaz de encontrar puntos homólogos entre las fotografías, calculando, de esta manera, las coordenadas desde donde se han tomado las imágenes y la dirección en que se apuntaba, acabando con una nube de puntos tridimensional obtenida de esas concordancias entre fotografías.

Estas son las campañas de toma de imágenes que se ha realizado para completar el levantamiento:

- **Portada principal** (50 imágenes) [Fig. 11]
- **Portada lateral** (34 imágenes) [Fig. 12]
- **Nave principal con capillas** (193 imágenes) [Fig. 13]
- **Armaduras** (254 imágenes) [Fig. 16]
- **Retablo** (63 imágenes) [Fig. 14]

Desde las nubes de puntos obtenidas se sacarán las ortofotos necesarias para completar el levantamiento general y para empezar el estudio en detalle de la armadura de par y nudillo. Todas estas nubes de puntos han sido orientadas y escaladas con la toma in situ de varias medidas. En el caso de las portadas principal y lateral, se tomó como referencia el ancho de sus portones de acceso, 2,65m y 2,07m respectivamente. En cuanto a los modelos interiores se realizó sólo en el caso del modelo de las armaduras y luego se referenciarón a este último, tanto el retablo como la nave central.

Como ya se ha citado antes, la Iglesia de San Miguel Bajo tiene varias armaduras diferentes, empezando por la cúpula ochavada sobre el altar, y siguiendo con la sucesión de ellas que ocurre a lo largo de la nave central, dos de par-hilera sobre canes y una armadura de par y nudillo con tirantes dobles adornada con lacería. Dada la complejidad geométrica de esta última armadura se hace necesaria la realización de un estudio fotogramétrico con un mayor número de imágenes, 254 tomadas desde el interior de la nave principal de la Iglesia.



Fig. 11: Modelo portada principal (Diseño de Diego de Siloé, ejecutada por Pedro Asteasu)



Fig. 13: Modelo nave principal con capillas laterales



Fig. 12: Portada lateral (Obra de Pedro Asteasu)



Fig. 14: Modelo retablo (obra de Blas Moreno en 1753)

Estrategia de toma de fotografías

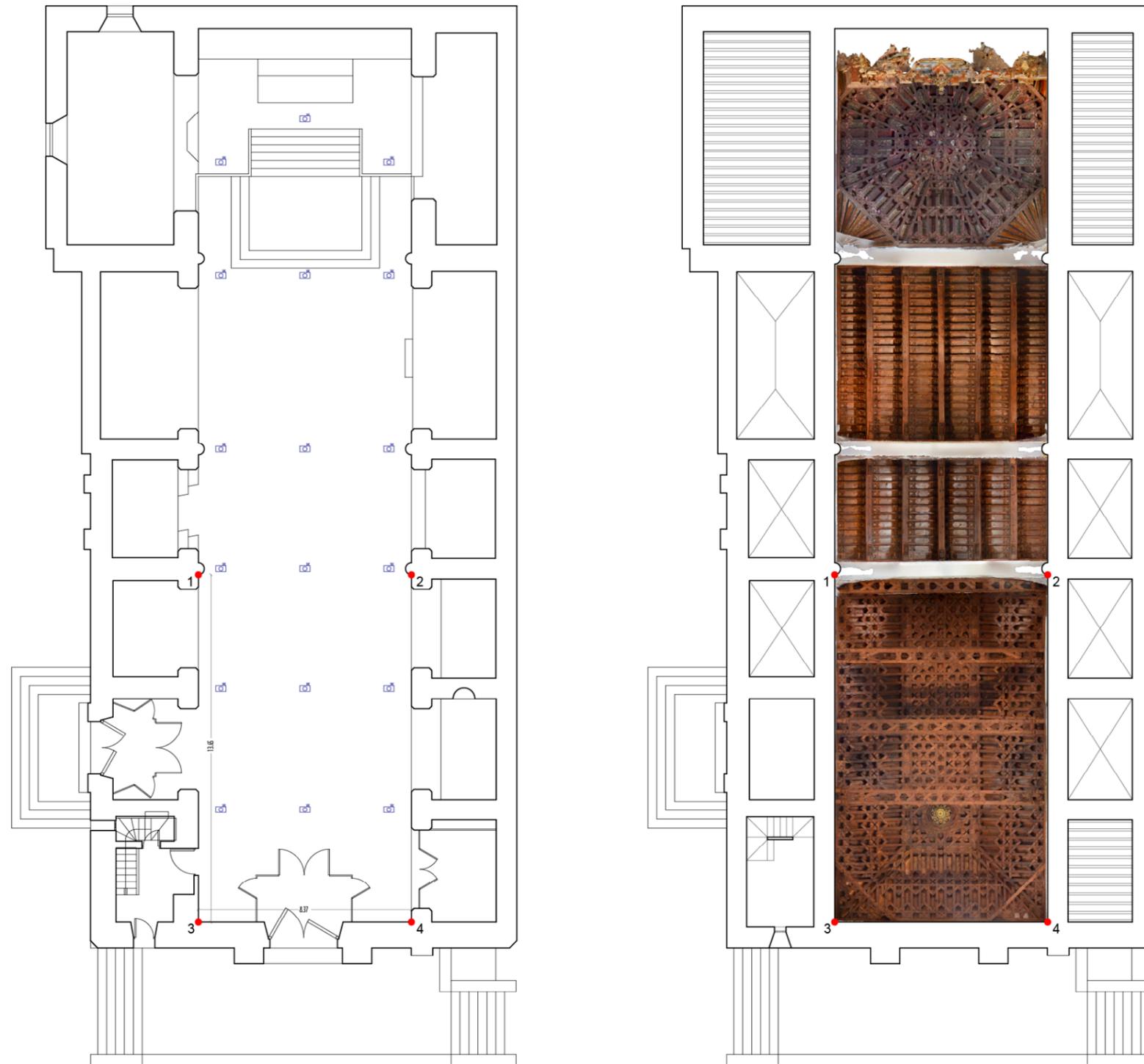


Fig. 15: Estrategia de toma de imágenes

La estrategia que se siguió para la toma de estas fotografías [Fig. 15] se basó en la realización de un barrido completo de imágenes de toda la cubierta desde varios puntos de la planta. Estos puntos se tomaron al realizar una cuadrícula de 3x7 basada en la luz que existe de un arco al siguiente (lado largo), y la disposición de los bancos, los cuales dejan un pasillo central más ancho y otros dos en los laterales más estrechos (lado corto).

Tras el alineamiento de las fotografías entre sí, y la obtención de una nube de puntos densa (alrededor de 48 millones), se dispuso a la orientación y escalado del resultado obtenido mediante la medición de las coordenadas de 4 puntos. Debido a la escasez de medios disponibles a la hora de realizar el levantamiento y la considerable diferencia de cota entre el objeto de estudio y el plano del suelo, se hace imposible la medición de dichos puntos de manera directa. De esta manera, se tomarán como puntos de referencia la proyección vertical de las esquinas de la armadura de par y nudillo sobre el plano del suelo.

Aquí estamos trabajando sobre dos hipótesis no verificadas:

- Los 4 puntos correspondientes a las esquinas inferiores de la armadura se encuentran en un mismo plano perfectamente horizontal formando un rectángulo.
- Estos 4 puntos se corresponden en planta con las esquinas del primer tramo de la nave principal de la Iglesia, desde el acceso principal, hasta el primer arco.

Estas hipótesis deberán ponerse en tela de juicio y su posible validez vendrá dada del análisis del modelo obtenido y de las ortofotos generadas. Se tendrá en cuenta el error resultante entre las esquinas que hemos tomado como referencia y las coordenadas que hemos establecido para esos puntos.

En este momento he de destacar el objetivo último por el cual se realiza este estudio; no se trata de realizar un levantamiento exhaustivo y detallado del estado actual del conjunto y posibles patologías, deformaciones, etc, sino el de obtener la información suficiente para poder recrear las armaduras de par y nudillo dentro de un "modelo teórico" y poder representar de forma global toda la planta de techos de la Iglesia.

Tras la orientación final de la nube de puntos con estos datos, podemos ver el error generado en cada punto de referencia y el error medio del conjunto. El error máximo que se observa es de 5 cm, y la

Ortofotos obtenidas

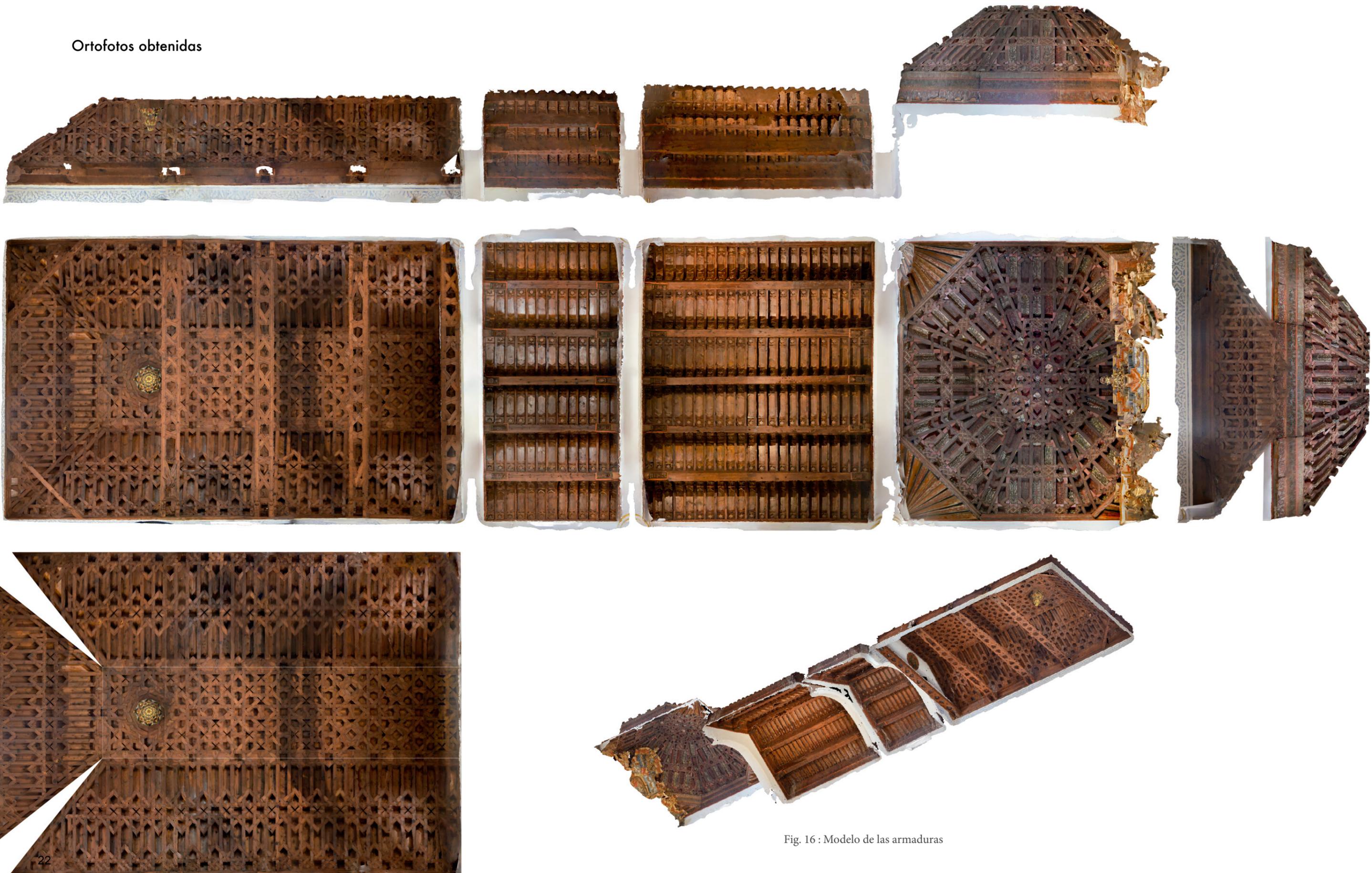


Fig. 16 : Modelo de las armaduras

ortofoto generada, a priori, coincide con la planimetría del edificio [Fig. 17]. Con este resultado podría darse por bueno las ortofotos generadas, pero se observan algunas discontinuidades en varias partes de las armaduras.

PATOLOGÍAS Y DEFORMACIONES

En este punto se realiza un mapa de elevaciones con el que visualizar fácilmente la evolución en altura del modelo obtenido, y así poder analizar posibles deformaciones o errores de orientación del modelo. Este mapa se ha realizado con *CloudCompare* [Fig. 18], un programa gratuito de procesamiento de nubes de puntos. La escala de colores se establece cada medio metro. Observando el resultado, podemos poner a prueba las suposiciones antes citadas:

- La cúpula ochavada sobre el presbiterio sigue perfectamente la forma de un octógono, además de estar perfectamente alineada y su almizate forma un solo plano horizontal.
- Las hileras de las armaduras de par-hilera de los dos tramos intermedios de la nave principal, están alineadas.
- Los tirantes de la armadura de par y nudillo también se encuentran en un mismo plano horizontal. Se puede observar cómo los faldones de la armadura crecen en altura de manera lineal en consonancia con el conjunto.

- La planta de techos obtenida coincide con la planta del edificio en el último proyecto de restauración, respetando la localización de los arcos y las dimensiones totales de la nave central.

Con estas observaciones, podemos dar por válido este modelo obtenido por fotogrametría, ya que cumple los requisitos necesarios para poder realizar este estudio. A partir de aquí asumimos como deformaciones aquellas irregularidades observables, tanto en el mapa de elevaciones como y en las ortofotos.

Para la interpretación rigurosa de estas deformaciones es necesario realizar un estudio más detallado, pero resulta imposible por falta de medios, además, ese no es el objetivo principal de este trabajo, por lo que solo se entrará a una interpretación general de los defectos encontrados partiendo de las patologías sufridas por el edificio a lo largo de los años y que han sido tratadas en sucesivas obras de restauración.

A lo largo de la historia de esta iglesia, las cubiertas han sufrido filtraciones de agua de manera cíclica, motivando multitud de pequeñas reparaciones y la sustitución de algunas tablazones. Esta conservación no ha sido constante en el tiempo, llegando, en última instancia, al desprendimiento de una parte del artesonado de par y nudillo, haciendo necesaria una intervención completa sobre toda la cubierta y dando lugar al proyecto de restauración del año 2009 a cargo del arquitecto Luis Anselmo Ibáñez Calero y de los restauradores Juan Aguilar Gutiérrez y Bárbara Hasbach Lugo.

Nombre	XY error (m)	Error en Z(m)	Error (m)
point 1	0.0683489	0.0210673	0.0715221
point 2	0.0641973	-0.0210671	0.0675656
point 3	0.0298004	-0.0210667	0.0364948
point 4	0.0166497	0.0210672	0.0268522
RMS	0.0498953	0.0210671	0.0541605

[Fig. 17] Error generado en cada uno de los puntos que se ha utilizado para la orientación de la nube de puntos de las armaduras de la iglesia

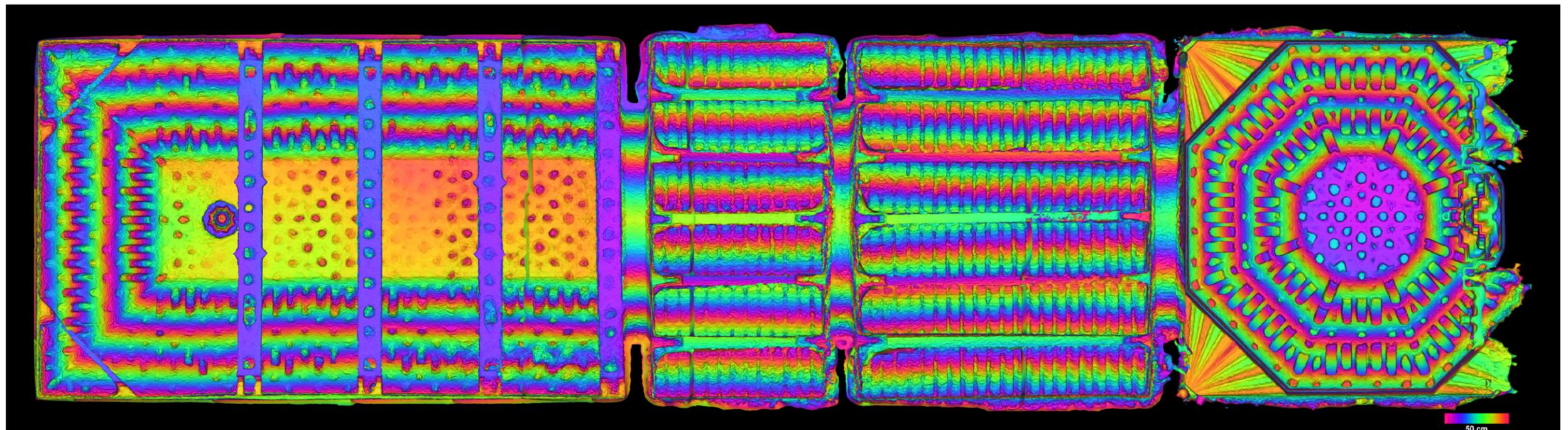


Fig. 18: Plano de elevaciones sobre la nube de puntos obtenida de las armaduras de San Miguel Bajo.

En esta última intervención se dejó constancia del sufrimiento general al que se ha visto sometida la cubierta y las armaduras, dejando ver deformaciones, grietas, decoloración de las maderas a causa del agua, pérdida de las policromías, falta de piezas, ataque de hongos y xilófagos, etc.

A todas estas patologías hay que añadir el sucesivo proceso de dilatación y contracción de las piezas de madera por culpa de las filtraciones antes citadas. Esta situación crónica ha propiciado la erosión de la base de las armaduras, la aparición de grietas y desajustes entre diferentes piezas, llegando incluso a desprenderse algunas de ellas. Sospecho que este fenómeno es uno de los principales causantes de algunas deformaciones observadas en las ortofotos obtenidas por fotogrametría.

Actualmente las armaduras se encuentran restauradas y la cubierta sobre ellas reconstruida, subsanando todos los problemas de filtraciones.

Entrando ya a valorar los resultados de este estudio, vemos que en el primer tramo de par-hilera, junto a la cúpula ochavada existe una deformación de los faldones en su parte más cercana al artesonado de par y nudillo. No se mantiene un ángulo constante con respecto a los muros en toda su longitud y los pares parecen obtener una mayor altura en este lado.

Por otro lado, en el artesonado de par y nudillo, observamos que los pares presentan un cierto ángulo en dirección hacia el presbiterio, provocando que estos pares no estén alineados con sus respectivos

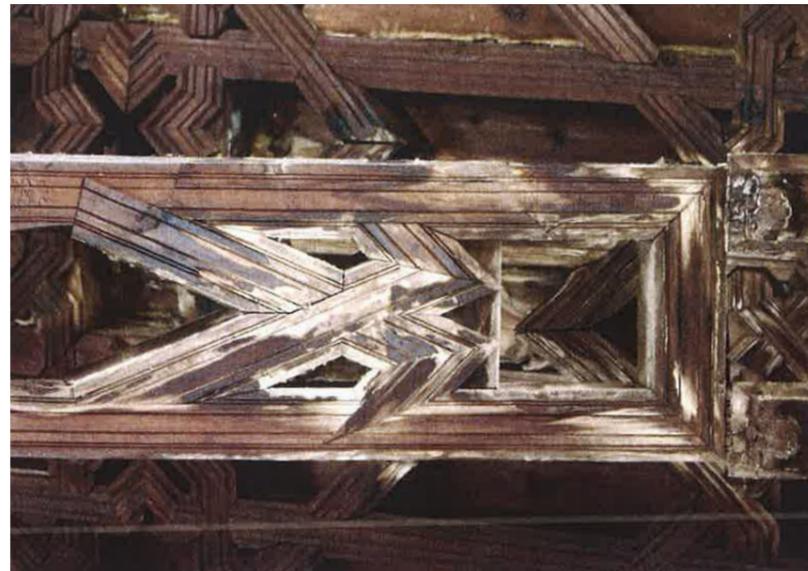


Fig. 19: Filtraciones de agua en tirante. Imagen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.

nudillos. Esta deformación está generalizada por toda el almizate, estando este desplazado alrededor de 13 centímetros en dirección al presbiterio.

Una posible explicación para este suceso vendría dado por el comportamiento estructural de la armadura ante su propio peso y el desgaste continuo sufrido a causa del agua.

Gracias a los tirantes de la armadura, las cargas horizontales que se generan por la transmisión de los esfuerzos diagonalmente, es contrarrestada. De esta manera, se reduce la luz del estribo que tiene que trabajar a flexión al recibir las cargas horizontales de los pares. Sin embargo esta armadura no cuenta con un cuarto faldón que termine de ligar toda la estructura, en vez de eso, se apoya sobre el muro encima del primer arco.

Teniendo en cuenta el historial de filtraciones de agua [Fig. 19-20], y las sucesivas intervenciones, es posible que las piezas de madera en contacto con el muro se deteriorasen, como se ve en la imagen de abajo, y el muro se erosionara [Fig. 21], permitiendo una deformación más sencilla en esta dirección. Sumando el peso propio de toda la cubierta y las armaduras, la reducción de la capacidad de carga por el deterioro del material, la dilatación y contracción de la madera por la humedad y su composición estructural, se podría explicar este desplazamiento en bloque de todo el almizate.

Por último, destacar otras patologías que no se sitúan en la cubierta. La más importantes son las humedades en los muros de las capillas de la derecha, que lindan con el huerto del Convento de Santa Isabel la Real.

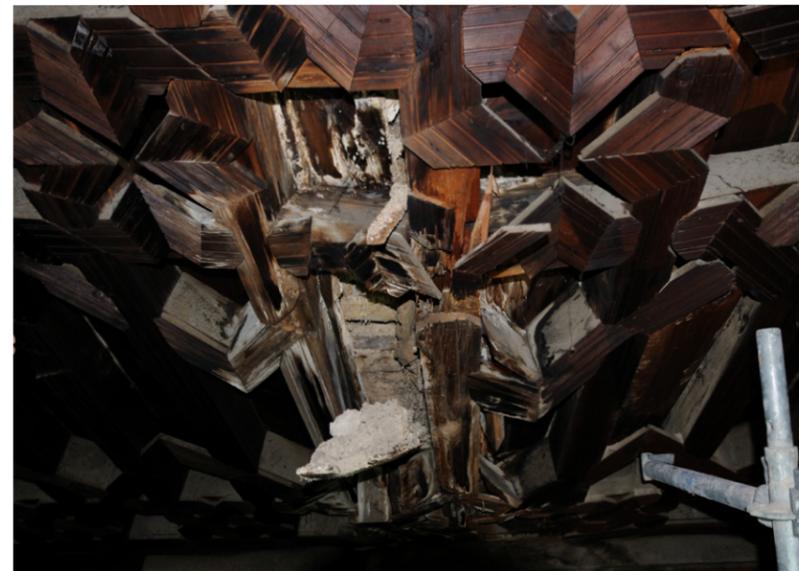
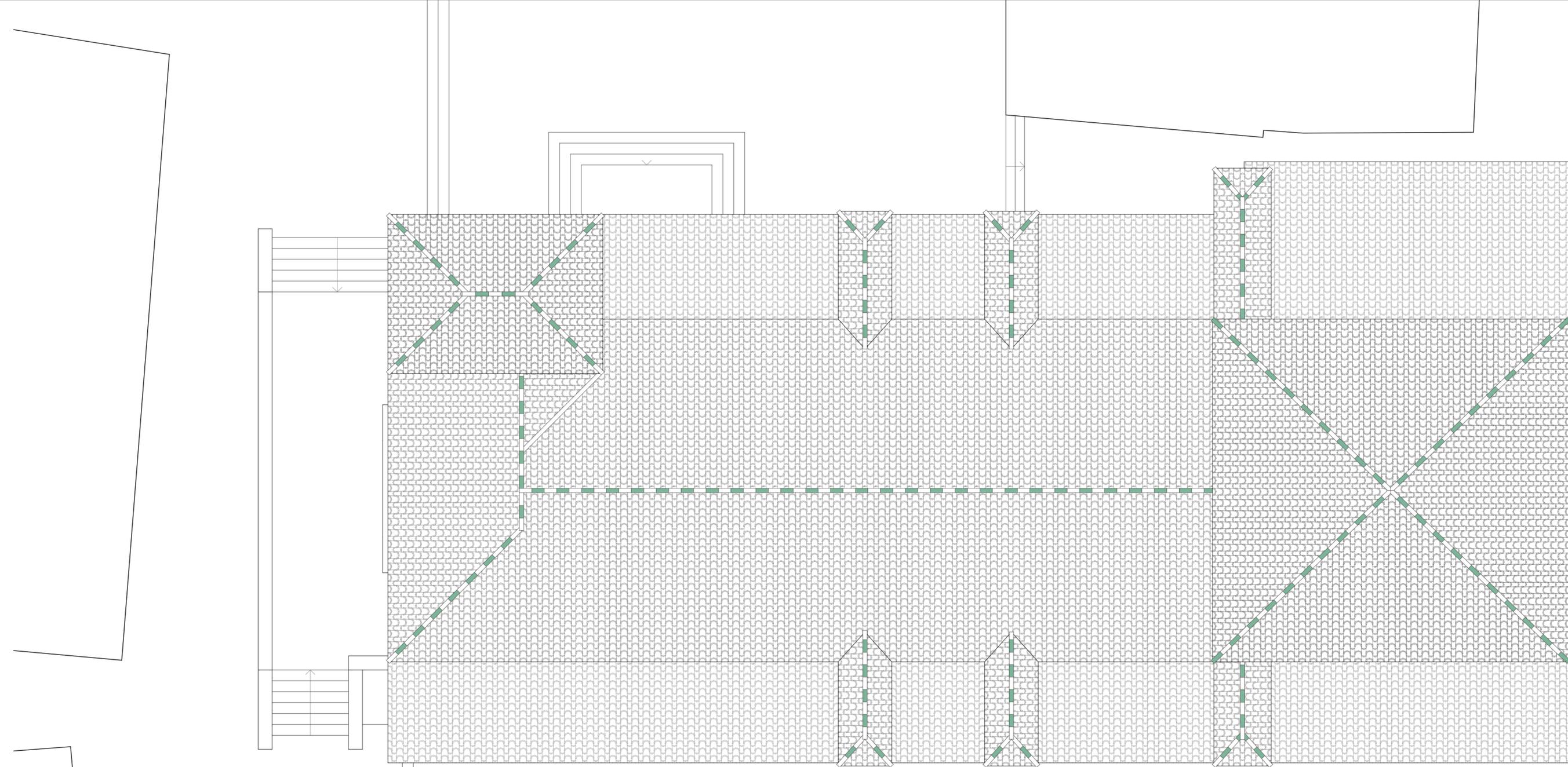


Fig. 20: Desprendimientos a causa de las filtraciones en el faldón. Imagen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.

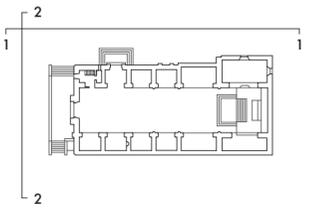
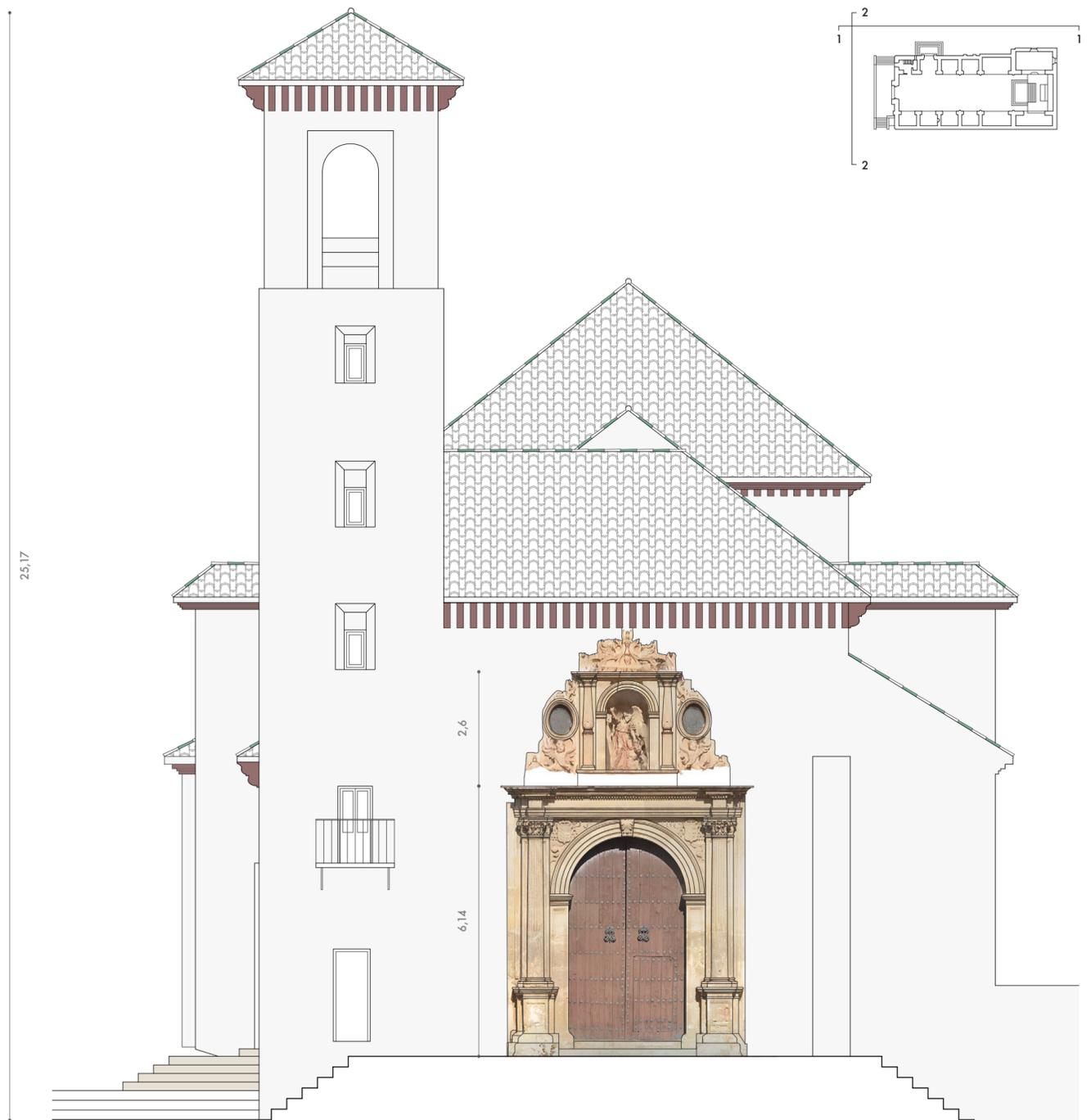
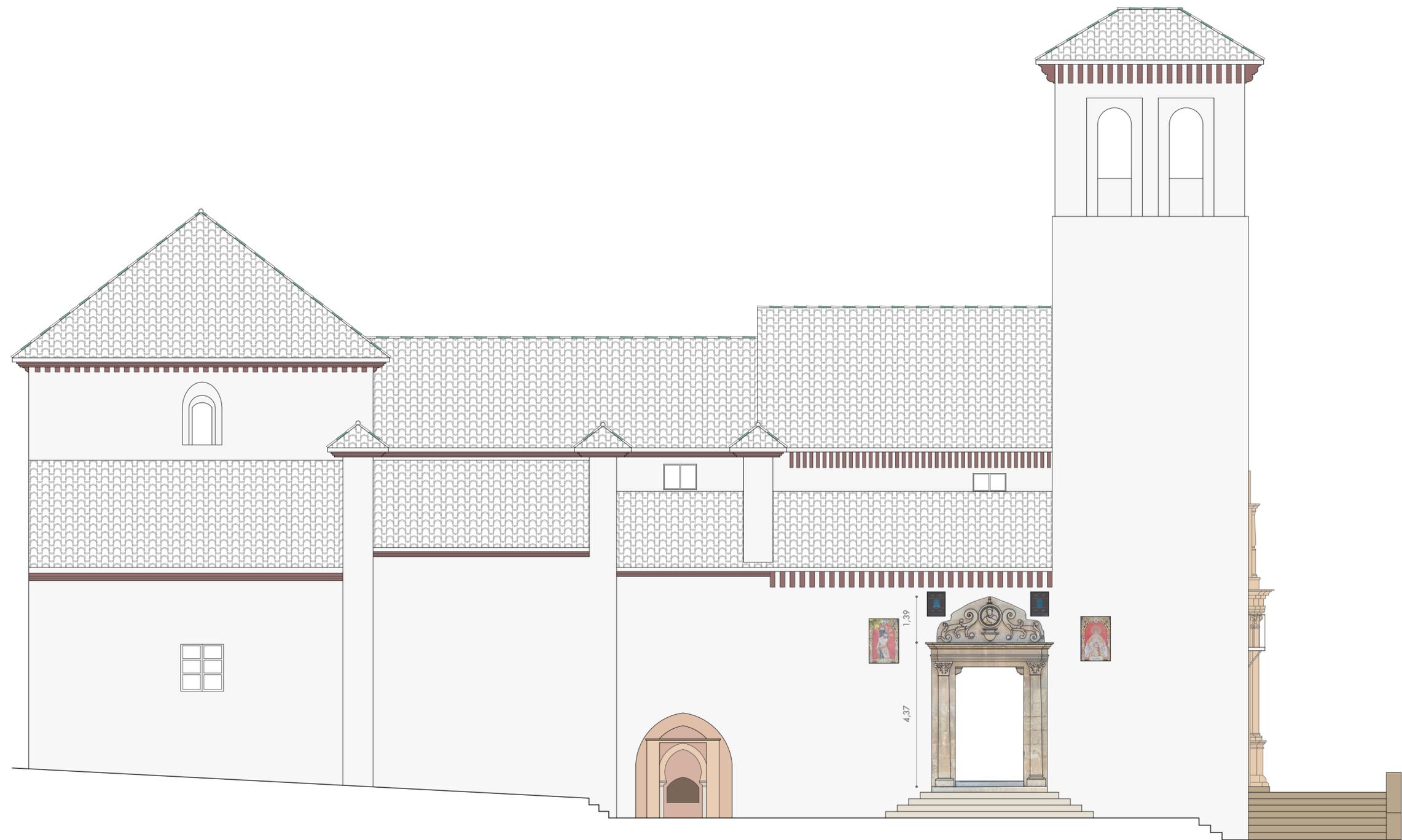


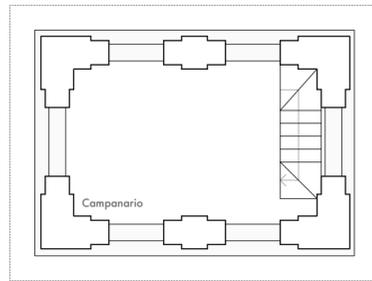
Fig. 21: Disgregación de la madera en el encuentro del artesonado de par y nudillo con el muro (derecha) y con el primer arco (izquierda). Imagen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.



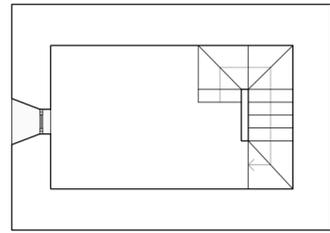
Planta Cubierta



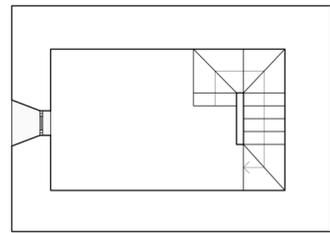




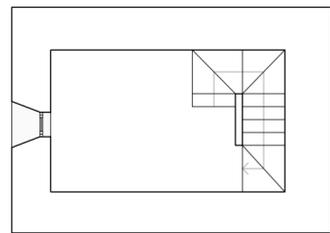
Planta 5



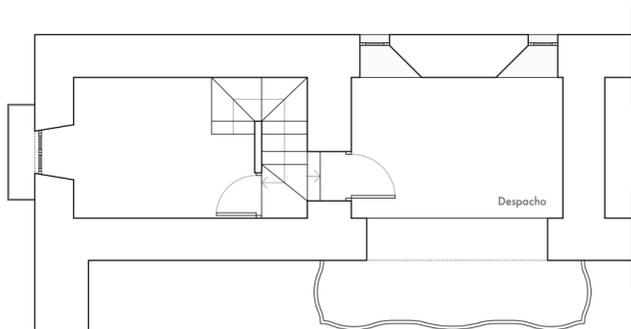
Planta 4



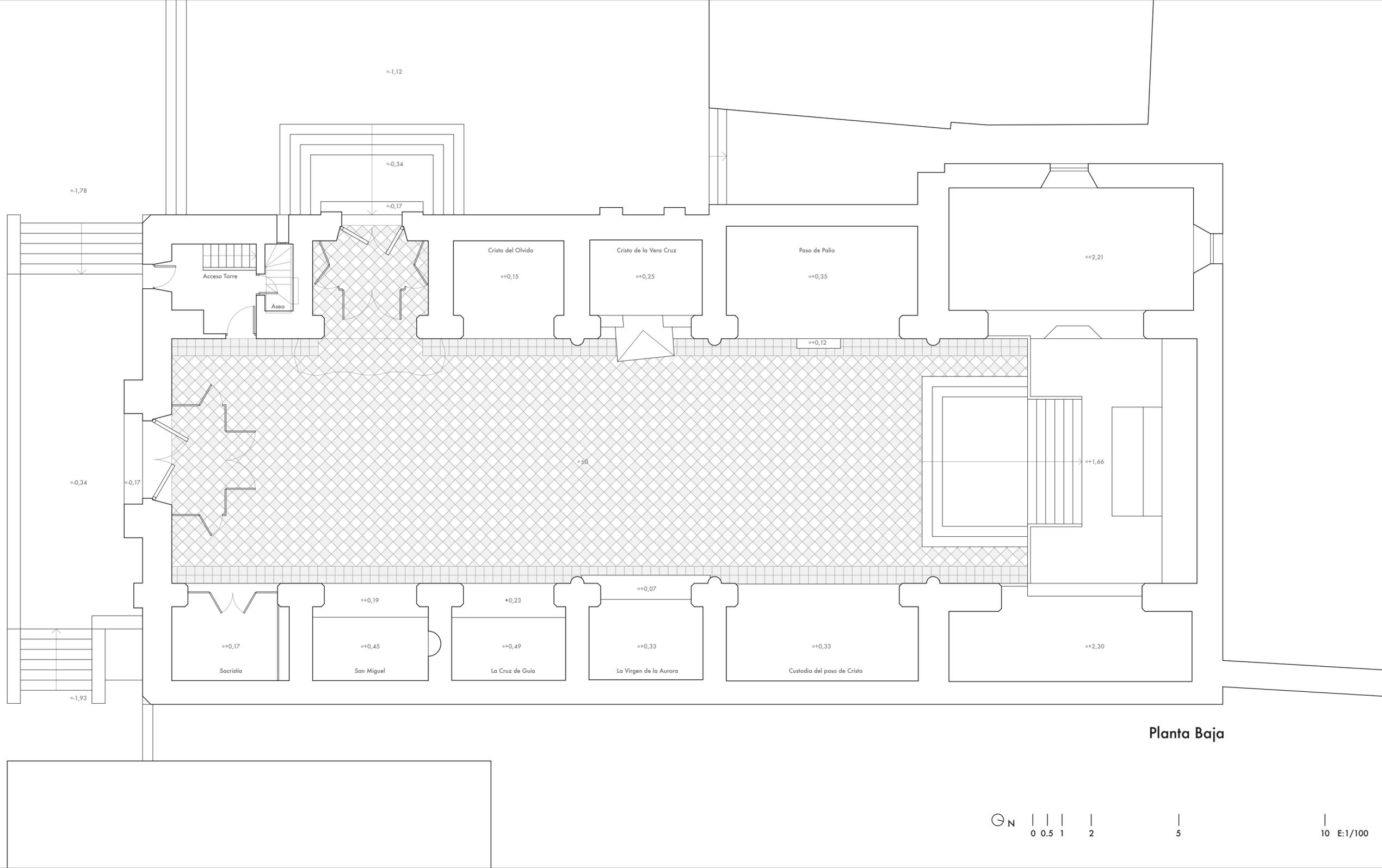
Planta 3



Planta 2



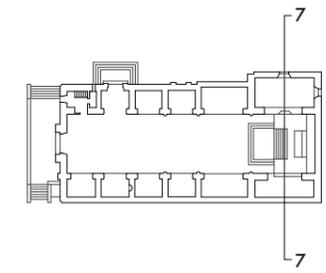
Planta 1



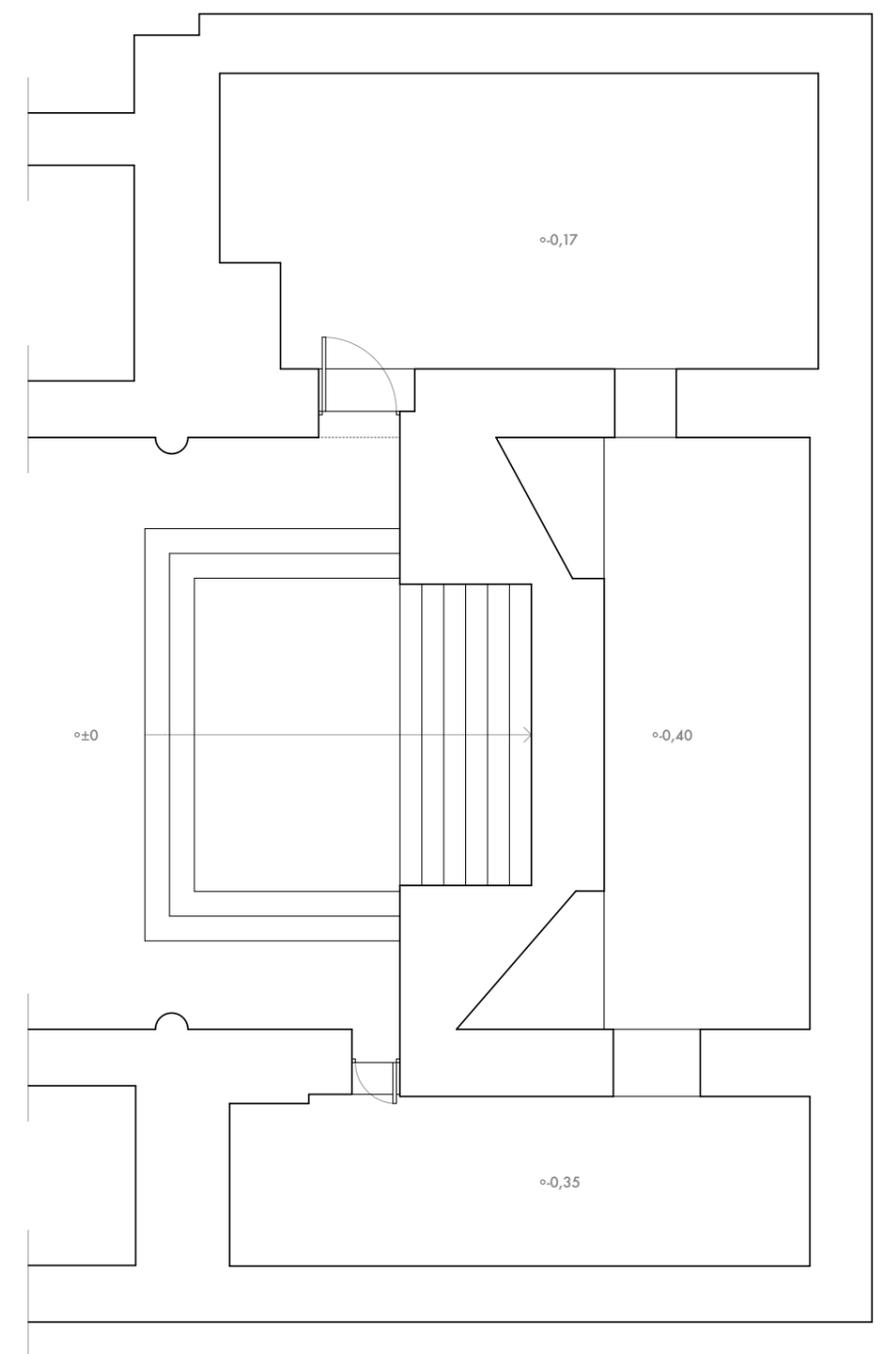
Planta Baja





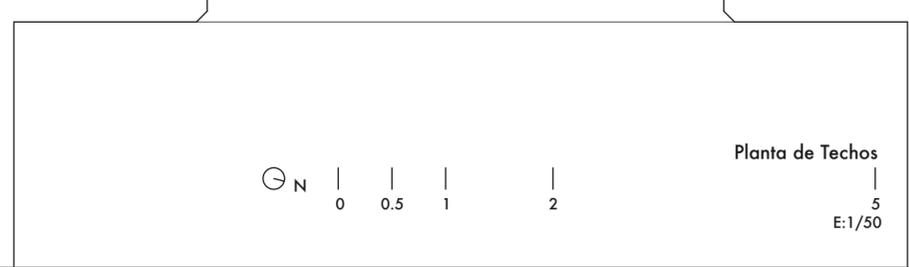
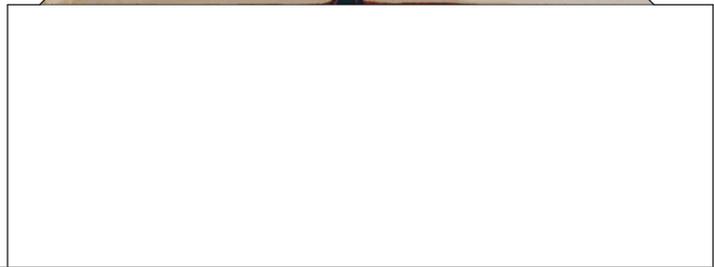
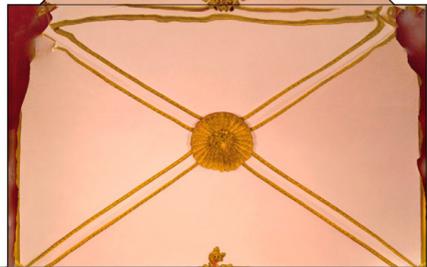
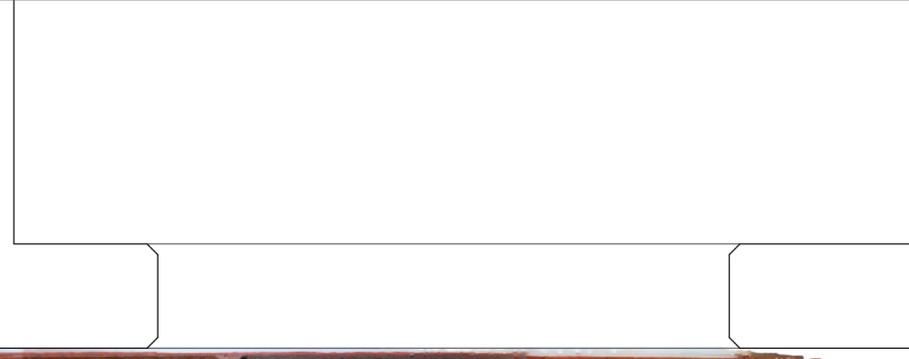
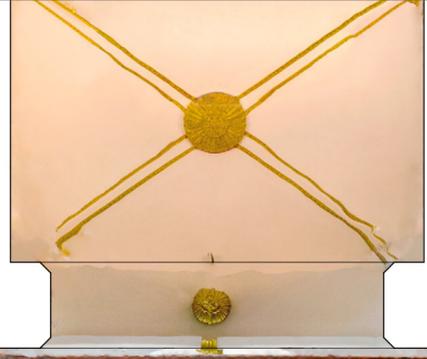
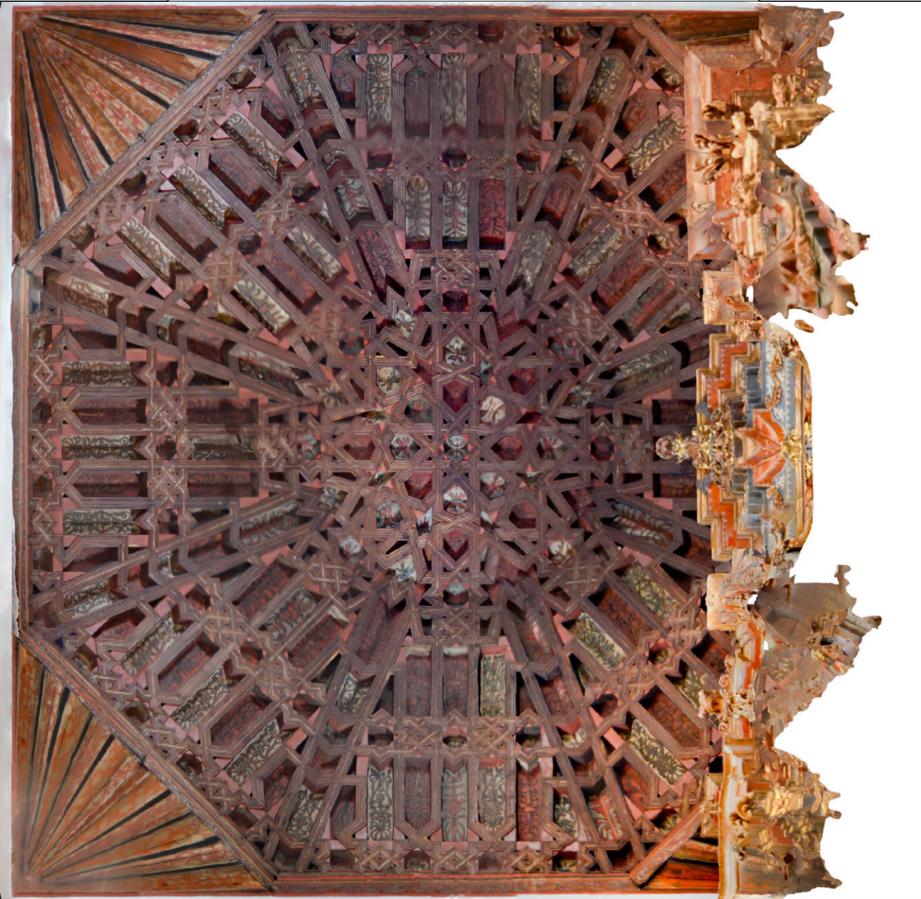
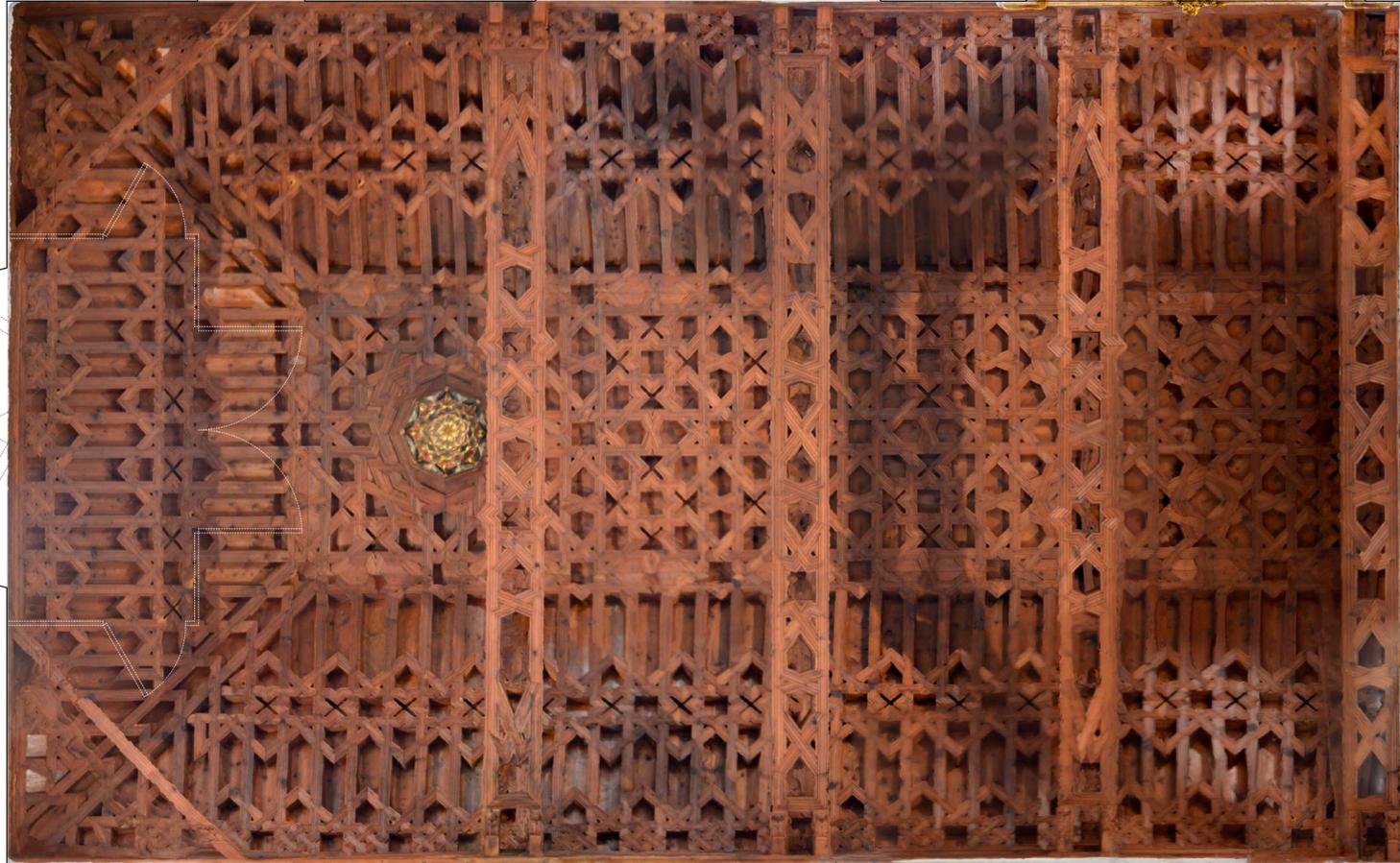


Sección 7

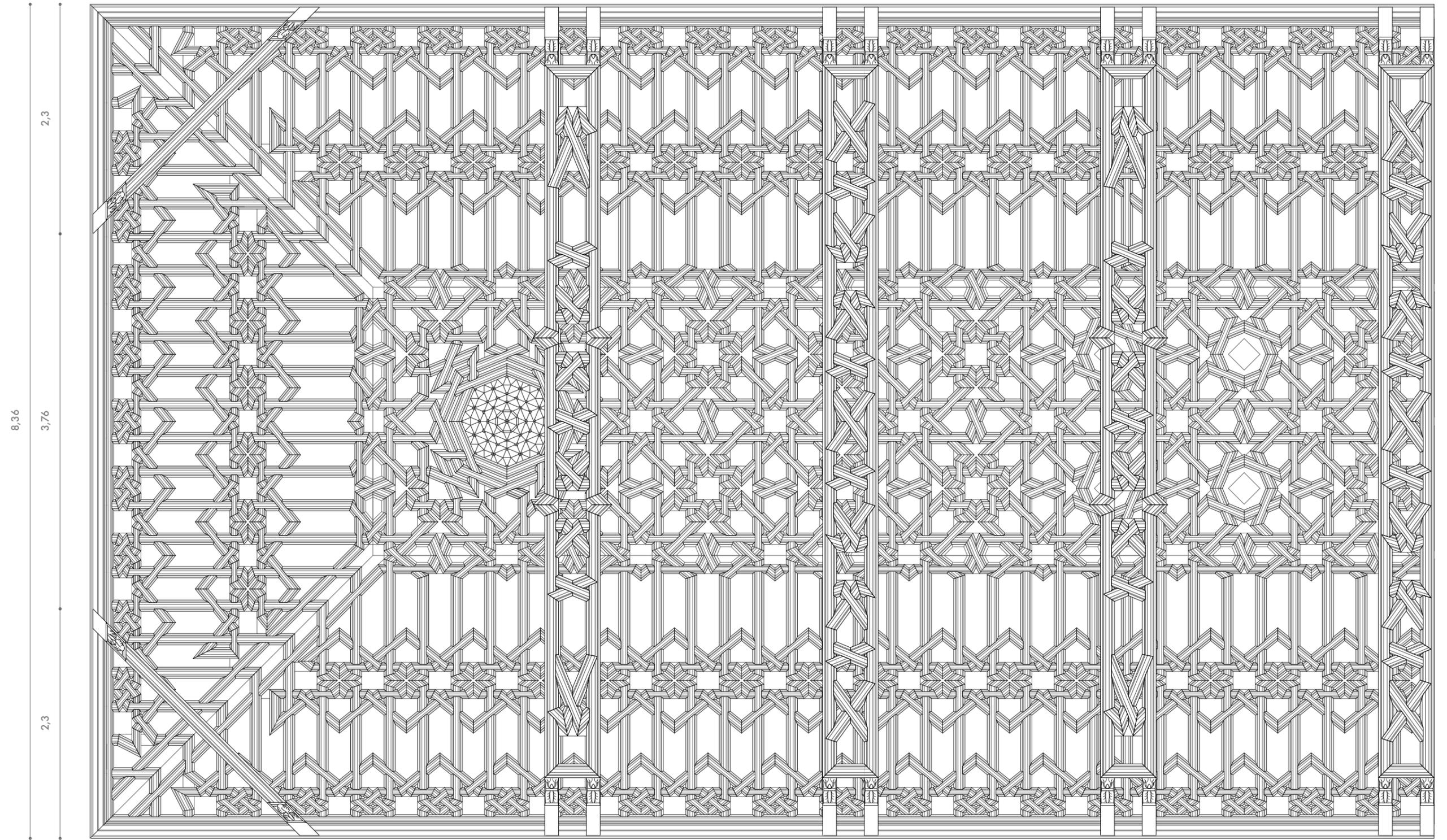


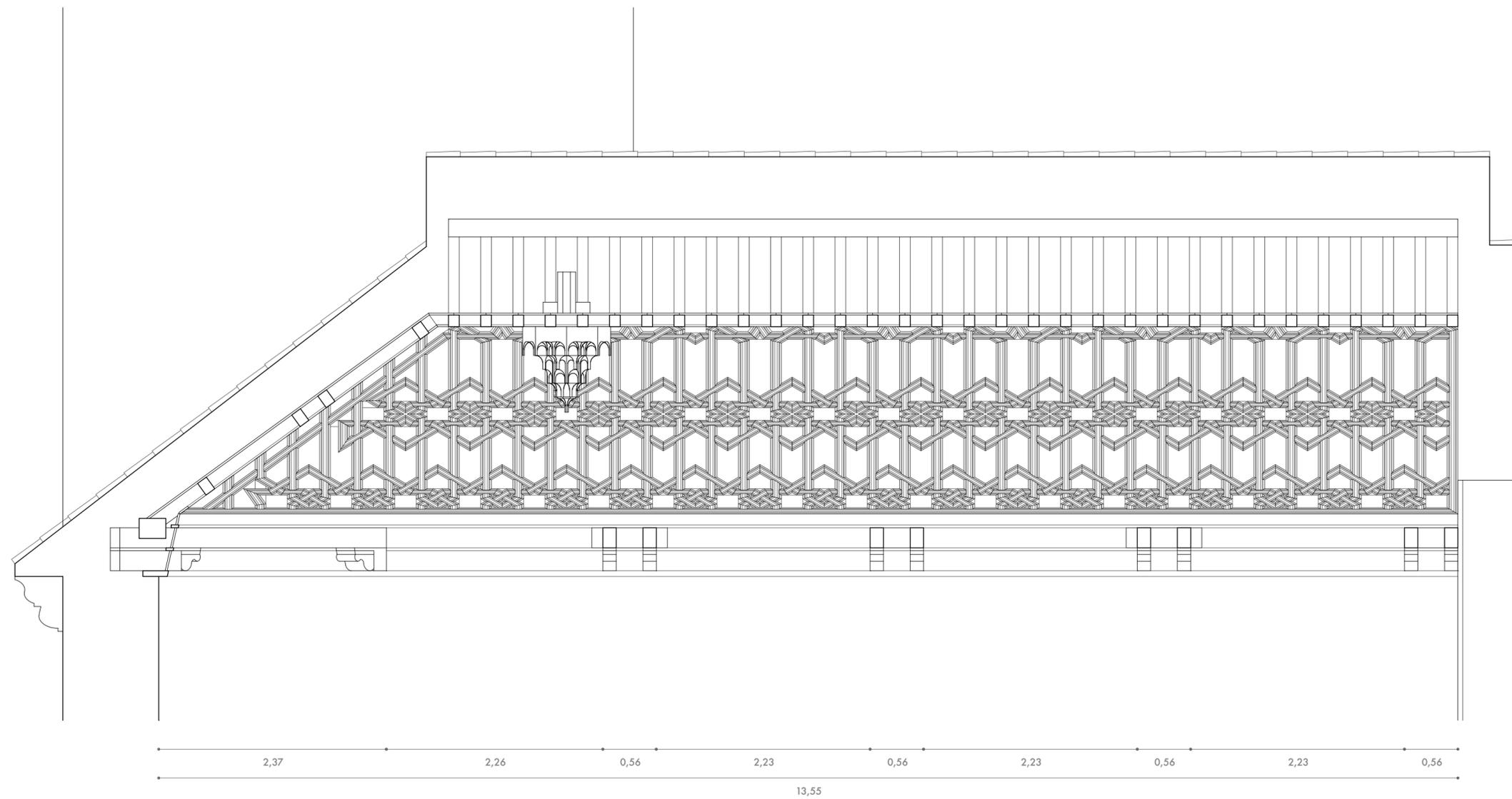
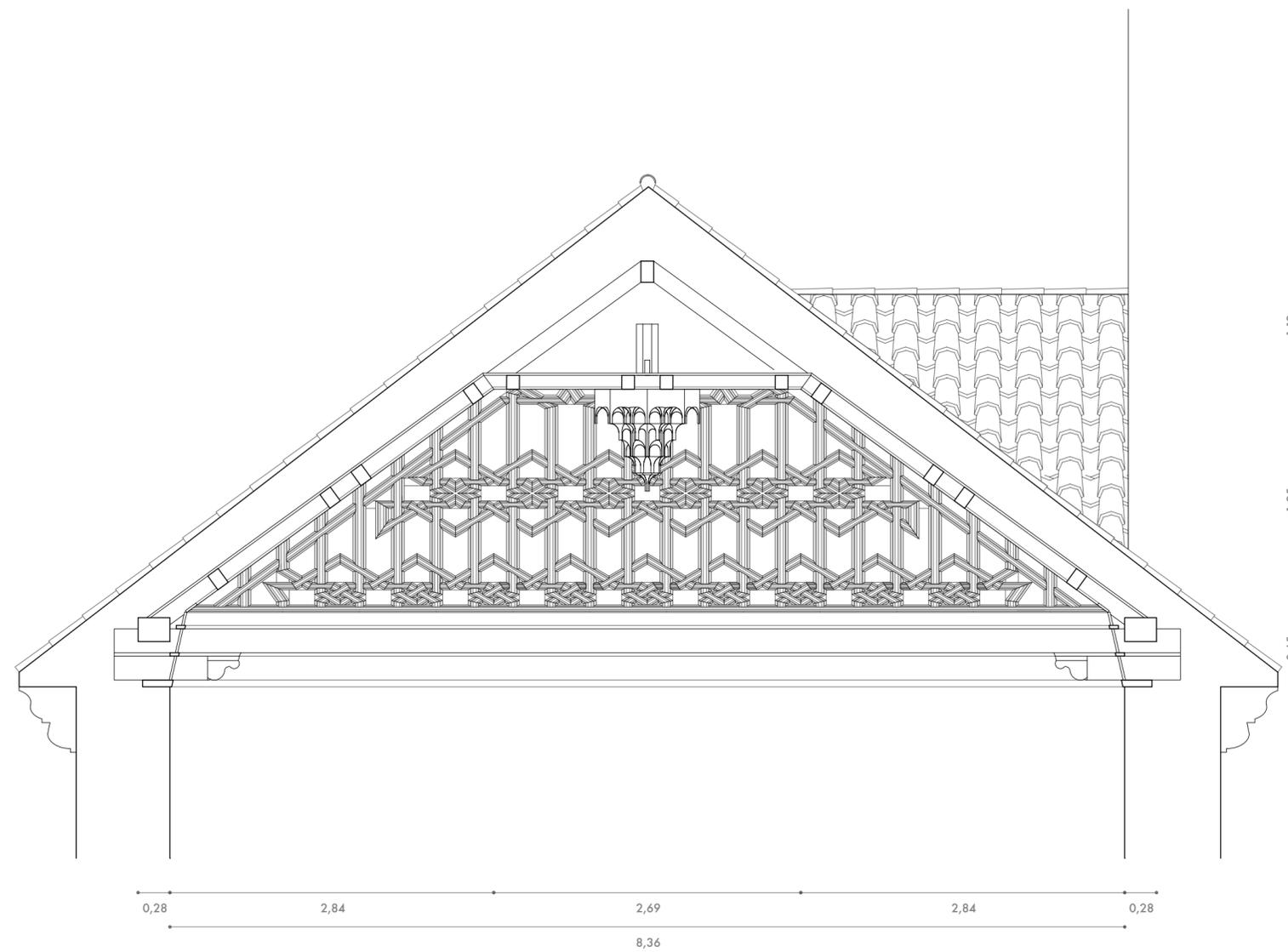
Planta bajo Altar

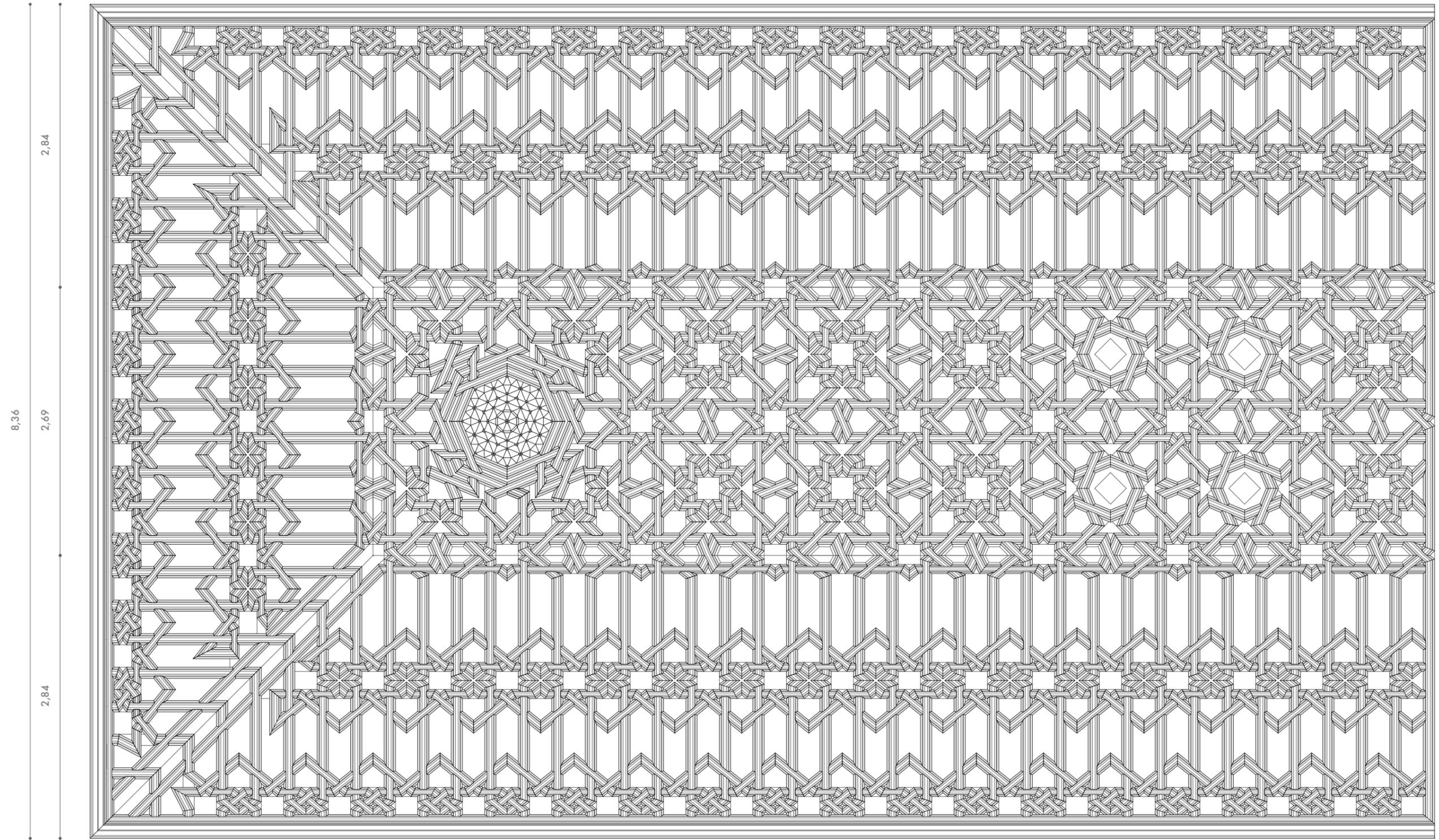




⊖ N | 0 | 0.5 | 1 | 2







2,84

8,36

2,69

2,84

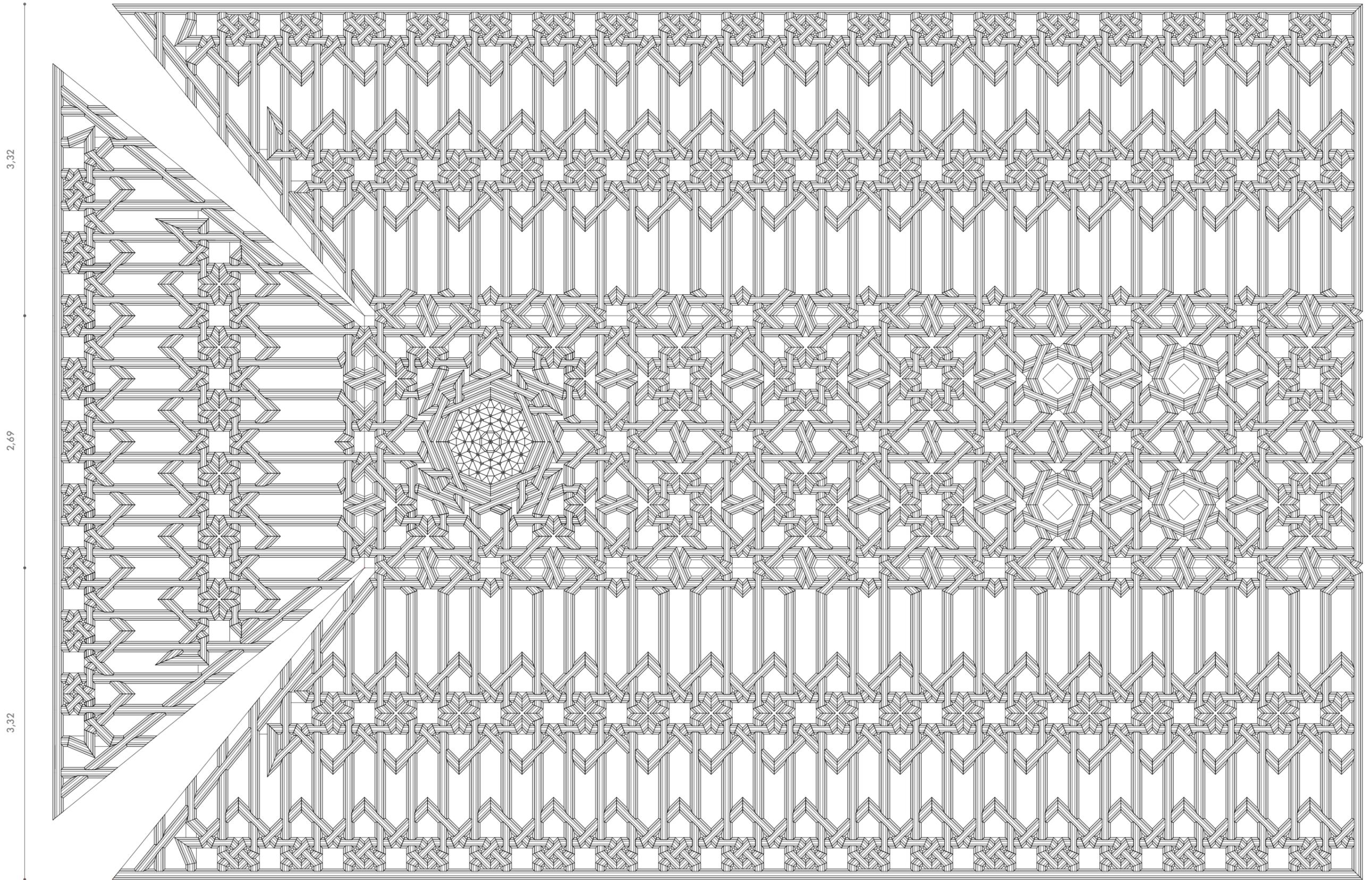
2,84

10,64

13,48

0.1 0.5 1 2

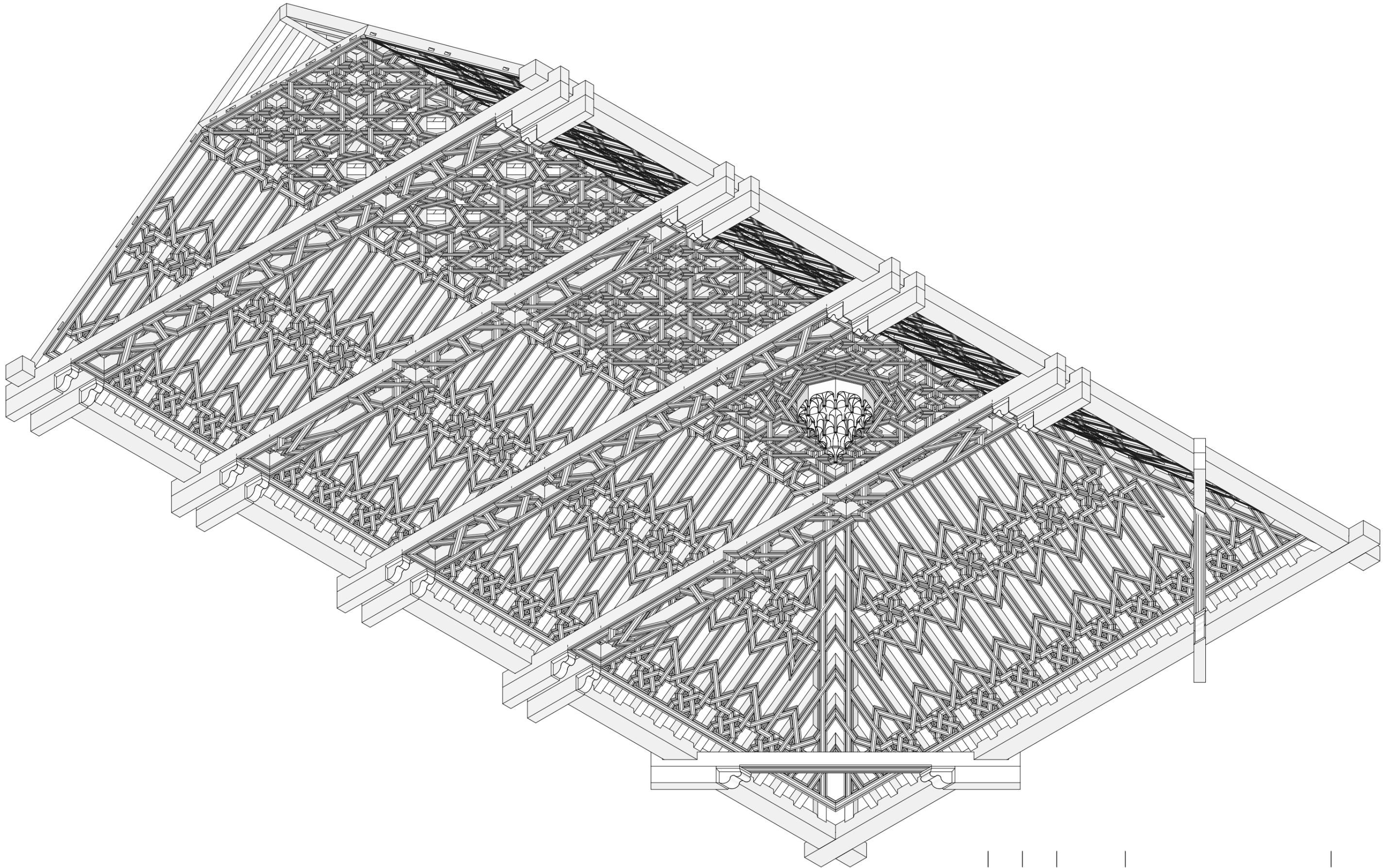
5 E:1/40



3,32

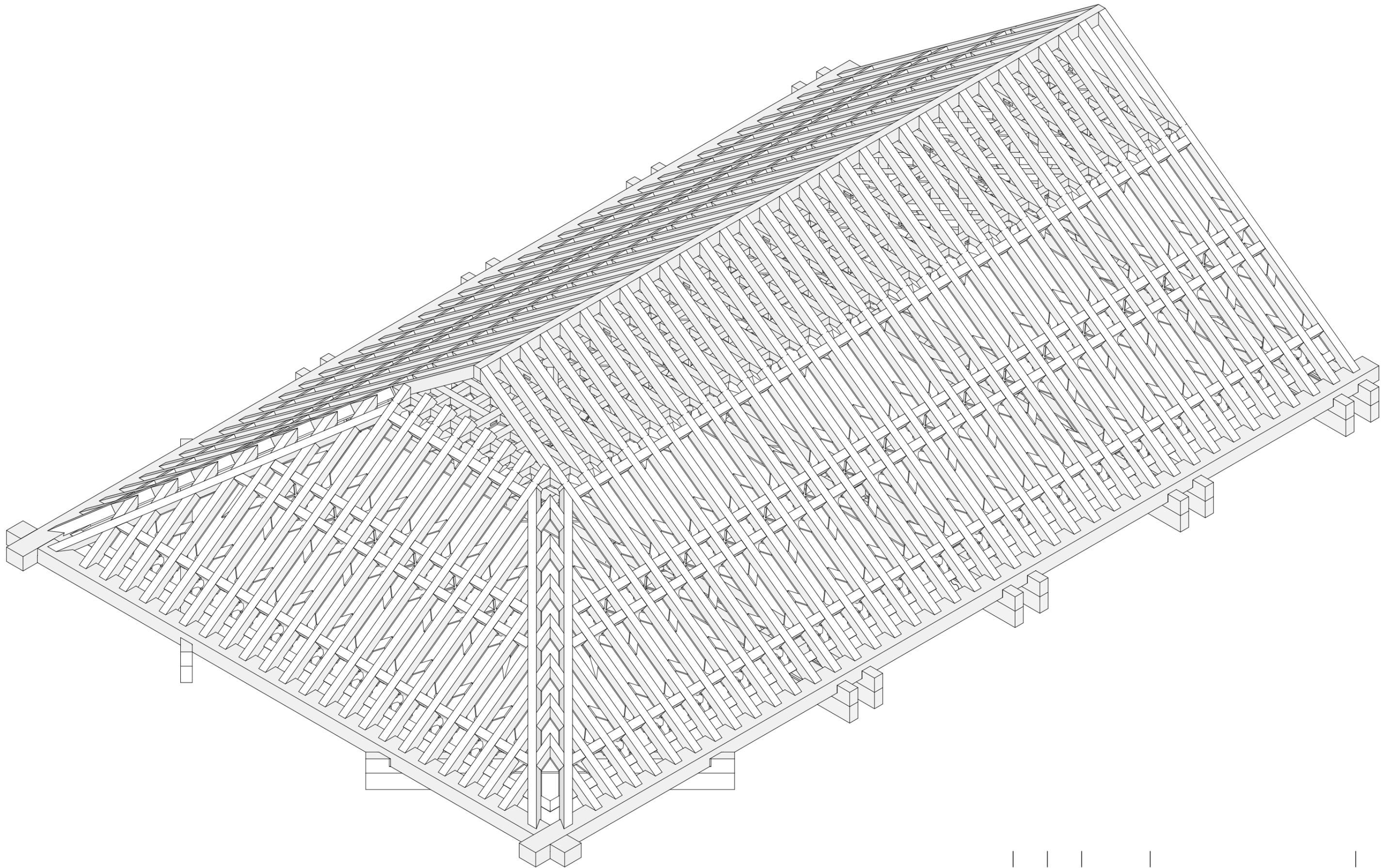
0.1 0.5 1 2

5 E:1/40



0 0.5 1 2

5 E:1/50



0 0.5 1 2

5 E:1/50

4 La carpintería de lazo, desarrollo geométrico, estructural y constructivo

PAR Y NUDILLO, CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL. LOS CARTABONES DE ARMAR

La carpintería de lo blanco comprende una amplia gama de elementos arquitectónicos, desde ventanas y puertas, hasta forjados de piso o de cubierta, y dentro de estas últimas existen multitud de variantes. La más representativa es la armadura de pares, donde se incluyen las de parhileras y las de par y nudillo. Esto es debido a su uso tradicional en el norte y centro europeo¹⁵. Por otro lado, las armaduras de cubierta tomarán más presencia sobre los forjados de piso debido a su mayor complejidad, por lo que fueron las más tratadas en los manuscritos que nos han llegado.

El sistema de par y nudillo evoluciona inicialmente de las armaduras de parhileras, al cual se le añadió una pieza nueva, el nudillo, para corregir algunos problemas de estabilidad. Su estructura se compone fundamentalmente de pares o alfardeas contrapuestas apoyados sobre estribos, los nudillos, que arriostran los pares, y los tirantes. Este sistema transmite las cargas verticales de la cubierta y de la propia armadura a través de los pares hasta los estribos, estas cargas al llegar diagonalmente producen esfuerzos horizontales en los estribos, por lo que se deben añadir tirantes y cuadrantes que las aguanten. Se utilizan varios tirantes repartidos por toda la armadura con la intención de no crear un gran momento flector en los estribos; al aumentar el número de tirantes, disminuimos la longitud del estribo que trabaja y la cantidad de carga que soporta, por lo que la pieza de madera puede ser más esbelta [Fig. 25]. De esta manera, la estructura de madera funciona por sí sola, y únicamente transmite cargas verticales a los muros sobre los que se apoya.

Dentro de esta categoría de cubriciones de madera existen algunas variantes, la mayoría surgidas por la evolución de este sistema, las armaduras se vuelven más complejas, no solo desde el punto de vista de la incorporación del lazo, sino desde el punto de vista estructural. En la figura 22, perteneciente a la transcripción del discurso de Nuere, "Dibujo, geometría, y carpinteros en la arquitectura"¹⁶, se pueden observar, de izquierda a derecha: en la primera fila, una armadura de parhileras, y otra de par y nudillo solo a dos aguas; en la segunda, armaduras de par y nudillo, la primera con limas bordones (una sola lima), y la segunda con limas moameres (limas dobladas); y por último, una armadura de par y nudillo ochavada y una de cinco paños (las de par y nudillo son, por lo general, de tres paños, dos faldones y el almizate, en este caso existe un segundo nivel de

¹⁵ Nuere, E. (1989). *La carpintería de armar española*. pp. 55-56.

¹⁶ Nuere, E. (2010, Enero 17). *Dibujo, geometría, y carpinteros en la arquitectura*. Recuperado de http://www.realacademiabellasartessanfernando.com/assets/docs/discursos_ingreso/nuere_matauco_enrique-2010.pdf?PHPSESSID=731674474c67d7d951b885a188629254

pares con sus estribos). Este dibujo ejemplifica la evolución formal y estructural que tendrán las armaduras de pares en España. También existirán armaduras de pares con diferentes plantas, lo más común serán las de planta cuadrada y la rectangular (sea la armadura ochavada o no), pero también existirán aquellas con polígonos regulares de 6, 12, o más lados como planta.

Lo más interesante de esta evolución ocurre en las limas de la armaduras, la línea donde se encuentran dos faldones diferentes. Esta pieza fue clave a la hora de lograr sistematizar el proceso de construcción y prefabricar los paños a pie de obra. Gracias a doblar la lima se puede ensamblar el paño que forma la esquina de manera independiente, como el resto de paños, permitiendo luego un montaje final más sencillo. Las limas bordones [Fig. 23] (sin duplicar la lima) tenían una geometría más compleja, y el proceso de colocar las péndolas que llegaban hasta ellas era más lento y complicado. Este cambio en las limas [Fig. 24] hizo aparecer un elemento muy reconocible en la cubierta del edificio, el escudete, una triángulo que se forma cuando los testeros de una armadura no llegan hasta la hilera, solo llegan hasta el almizate.



Fig. 22: Tipos de armaduras de pares. Extraído de "Dibujo, geometría, y carpinteros en la arquitectura", discurso realizado por de Enrique Nuere el 17 de Enero de 2010 en Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, p. 26.

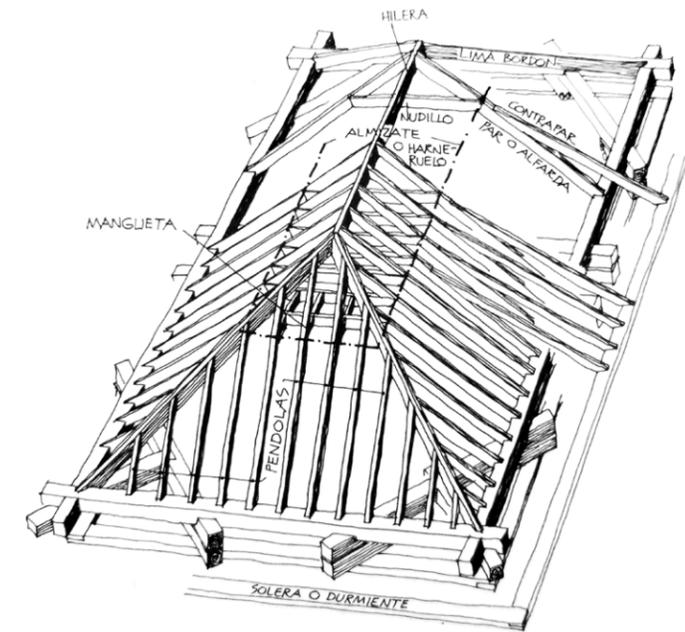


Fig. 23: Armadura de par y nudillo con limas bordones. Extraído de "Nuevo tratado de la carpintería de lo blanco", por de Enrique Nuere (2001), p. 67.

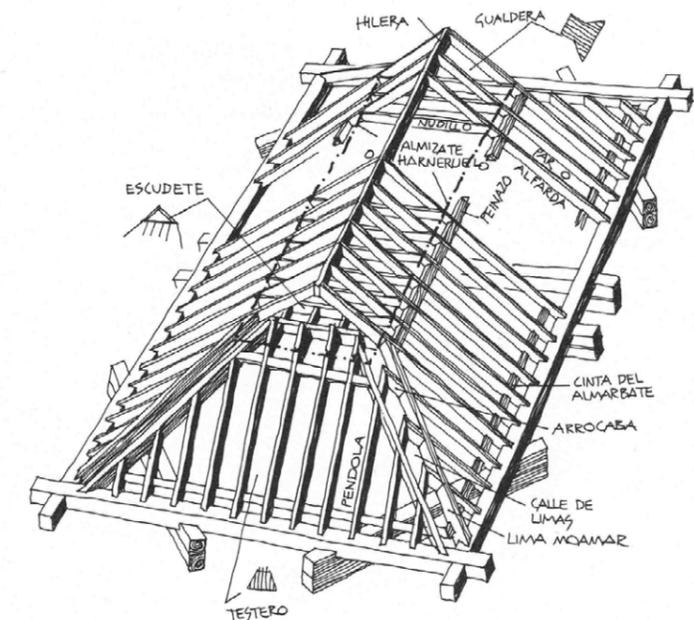


Fig. 24: Armadura de par y nudillo con limas moameres. Extraído de "Nuevo tratado de la carpintería de lo blanco", por de Enrique Nuere (2001), p. 67.

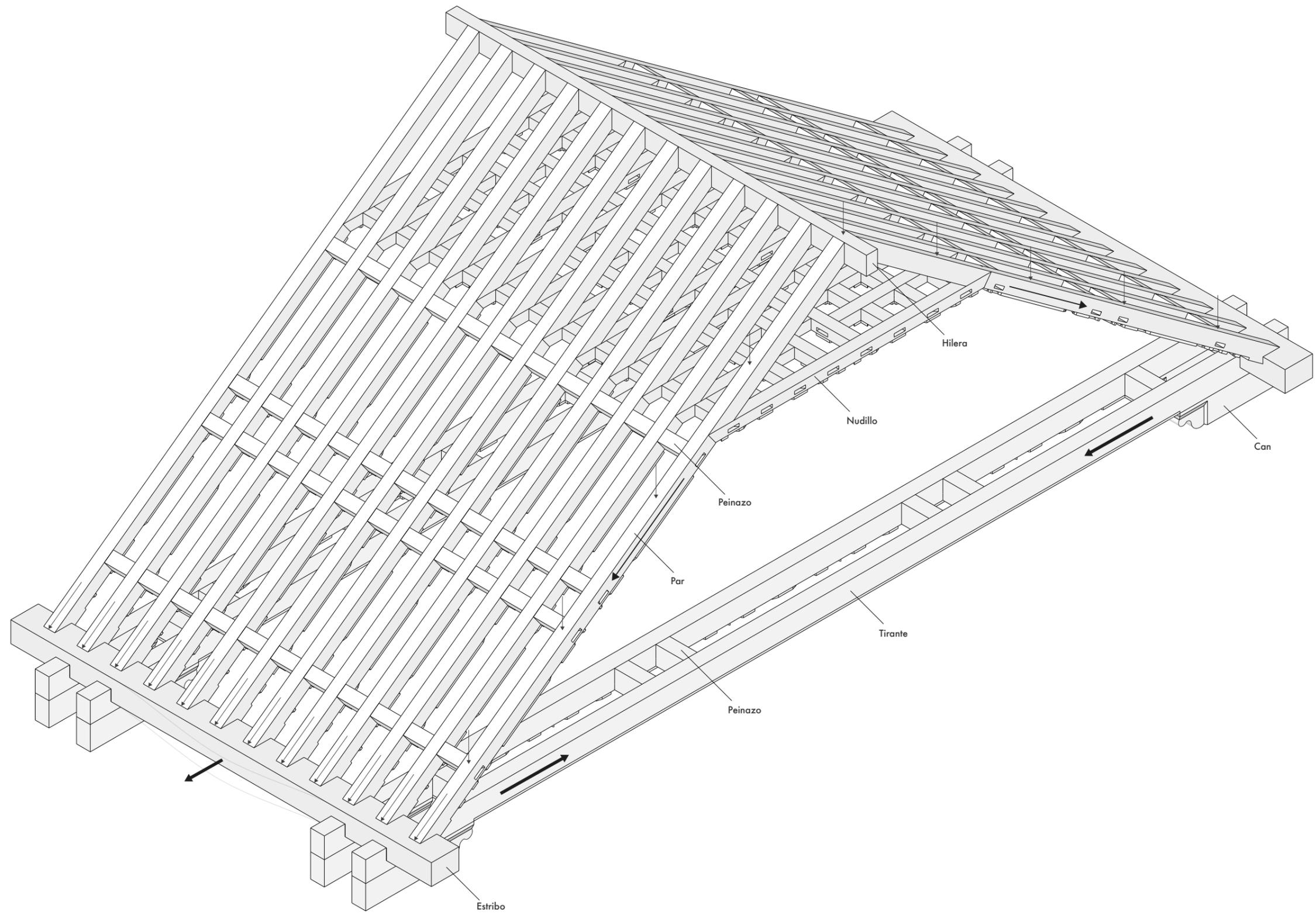


Fig. 25: Volumetría simplificada de una armadura de par y nudillo, indicando la transmisión de esfuerzos que se produce.

A la hora de construir una de estas estructuras no se realizaban planos previos, el carpintero solo debía conocer la luz a cubrir y la inclinación de la futura cubierta. El proceso de construcción comprendía varias fases, la primera trataba el encuentro de la armadura con la cabeza del muro, este encuentro se realizaba mediante la colocación de una serie de pequeñas maderas sobre el muro llamados nudillos (no confundir con los nudillos que forman el almizate), los cuales se enrasaban con la fábrica del muro para que pudieran funcionar como anclajes para la armadura. Sobre estos nudillos se clavaba la solera, una pieza longitudinal sobre la que descansaban los canes, y sobre estos los tirantes (los canes servían para disminuir la luz de los tirantes). Cuando los tirantes y los cuadrales, con sus respectivos canes, estaban en posición, se ensamblaban los estribos de tal manera que formaran una especie de perímetro de la armadura, en el caso de la Iglesia de San Miguel Bajo, la unión entre el estribo y los tirantes se realizaba mediante una “cola de milano”.

Todos estos elementos, incluido el estribo, se cubrían con el arrocabe [Fig. 26], el cual abarcaba desde la cinta del almarbate hasta la solera, creando un remate decorativo.

Como ya se ha mencionado, la característica fundamental de estas armaduras es su sistema de prefabricación, mientras se montaban los estribos y los tirantes, se realizaban los paños en los que se subdividía la armadura. Estos paños eran módulos que se repetían por toda la estructura, los cuales eran montados en el suelo de la obra y una vez estaban todos montados, a través de poleas y andamios, se izaban y se llevaban hasta sus correspondientes lugares. A su vez, las piezas que formaban estos paños también seguían un sistema, estos elementos también estaban estandarizados, tanto su forma (la armadura se compone de la repetición de un pequeño número de piezas), como por sus uniones. Estas uniones se realizaban a “caja y

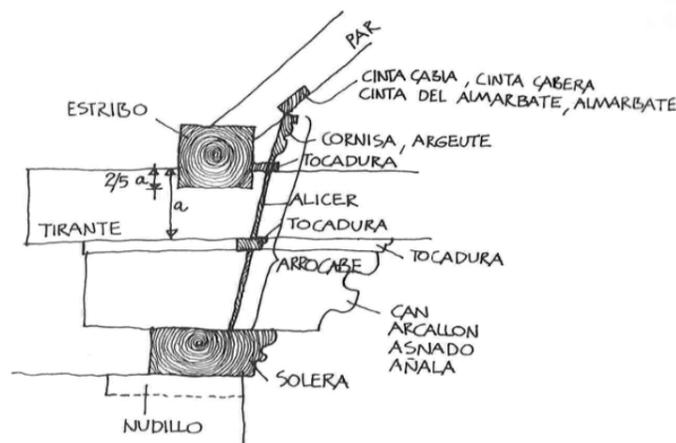


Fig. 26: Partes del arrocabe. Extraído de “La carpintería de armar española” de Enrique Nuere (1989), p. 65.

espiga”, se rebajaba el extremo de una de las piezas y se hacía encajar con el hueco realizado con un escoplo en otra.

Una vez montados los tirantes y los estribos, se colocaban dos paños opuestos de los faldones transversales o gualderas, sobre un paño del almizate sujeto con andamios, trabándose entre si y quedando en su posición final, permitiendo repetir la jugada sabiendo que los paños en posición serán estables aun con la armadura sin terminar. Al finalizar el montaje de los paños, si la armadura era de lazo, se procedía a terminar de colocar los taujeles restantes hasta completar todo el diseño mediante clavos de forja, y el racimo si lo hubiere.

Todos estos elementos se trazaban mediante los cartabones de armar [Fig. 29], los cuales servían para establecer las medidas generales de la armadura y las longitudes de las piezas que lo componen. Estos cartabones se denominan: cartabón de armadura, de coz de limas y de albanécar. Las armaduras con lazo requerían tres cartabones más, con los cuales se trazaban los taujeles que se tallarían directamente sobre las piezas estructurales, de esta manera un solo elemento cumplía dos cometidos, el estructural y el decorativo, de aquí la riqueza del lazo. Normalmente este tipo de armaduras con lazo funcionaban a “calle y cuerda”, es decir, la separación entre dos pares era el doble que el ancho del par.

En el caso de la Iglesia de San Miguel Bajo encontramos una armadura de par y nudillo de tres paños y a tres aguas, con cuatro tirantes dobles, dos cuadrales y un racimo de mocárabes decorando el almizate. El diseño de lazo parte de la rueda de 8, la cual se desarrollará en el siguiente apartado. En las siguientes dos páginas [Fig. 27 a] se observa una sección de la armadura e imágenes de su restauración.

17 Javier de Mingo en su blog *Albanécar. Bitácora de la carpintería de lo blanco*, en la entrada *La construcción de una armadura, II: El asiento*. (2015, febrero 15), reproduce todo el proceso constructivo. Recuperado de <http://www.albanecar.es/la-construccion-de-una-armadura2/>

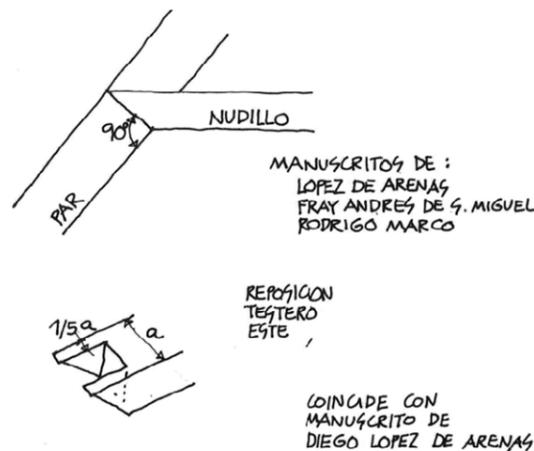


Fig. 27-28: Encuentro entre el par y el nudillo y entre el par y el estribo. Estos dibujos forman parte de “La carpintería de armar española” de Enrique Nuere (1989) p. 64, libro recomendado para el que quiera profundizar más sobre cómo se realizaban los encuentros entre diferentes piezas..

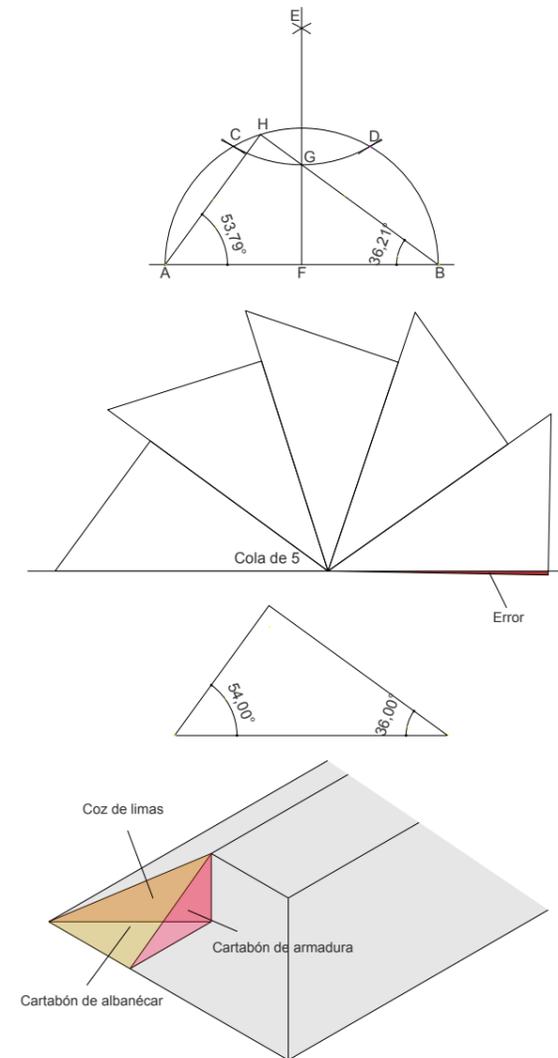
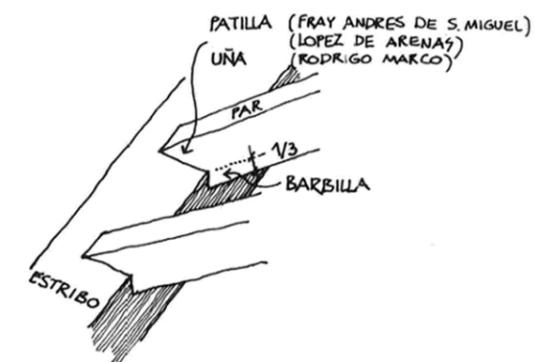


Fig. 29: Construcción del cartabón de armar inexacto y relación entre los cartabones en la armadura. El error se corregía cepillando uno de los lados hasta que el ángulo fuera una quinta parte del semicírculo.



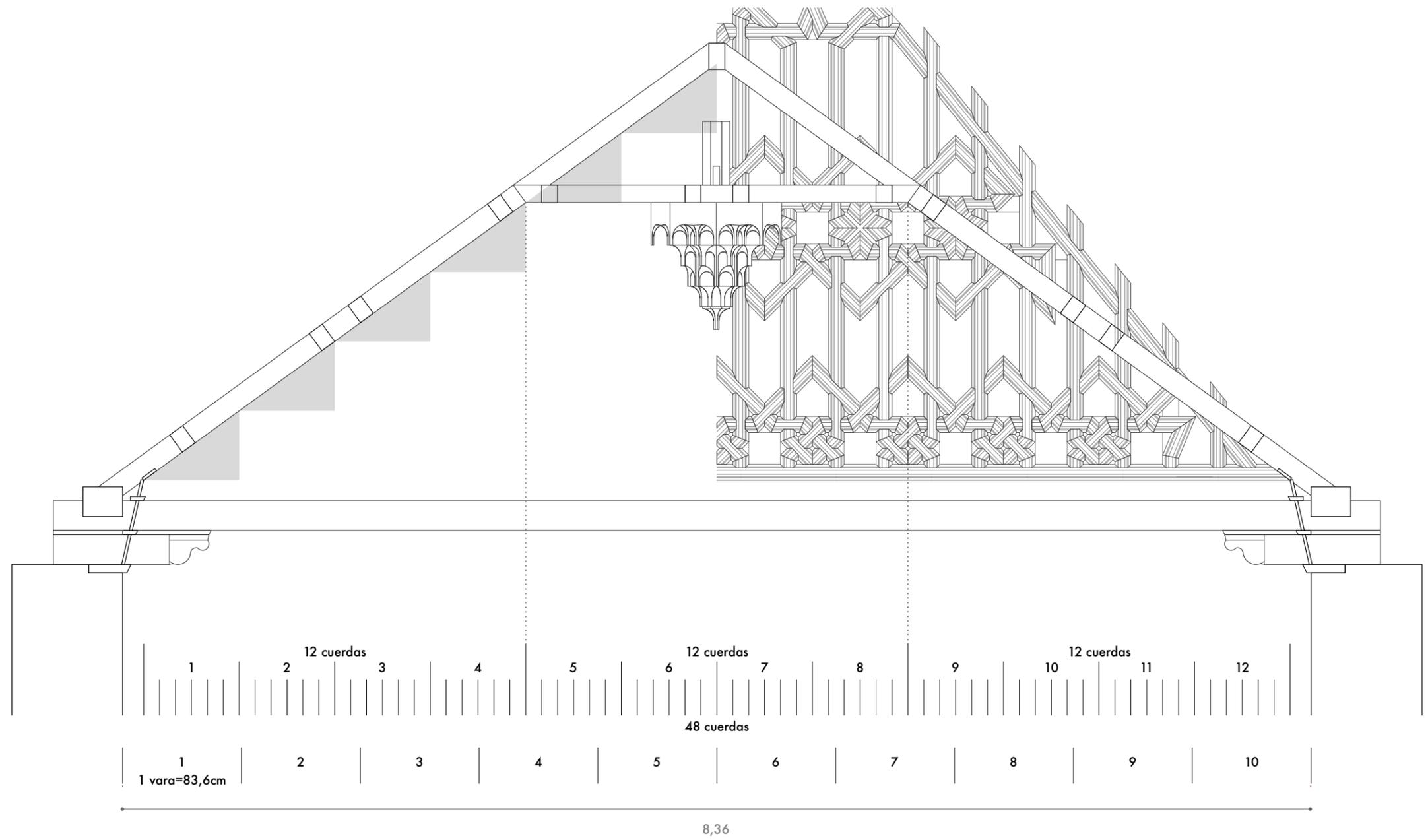


Fig. 30: Sección de a armadura de par y nudillo de la Iglesia de San Miguel Bajo con su racimo, y la proyección del diseño de lazo. Es una armadura con 48 gruesos en total.



Fig. 31: Encuentro entre tirante y estribo mediante una cola de milano. Imágen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.



Fig. 32: Encuentro entre par y nudillo. Se observan los taujeles clavados que completan el lazo. Imágen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.

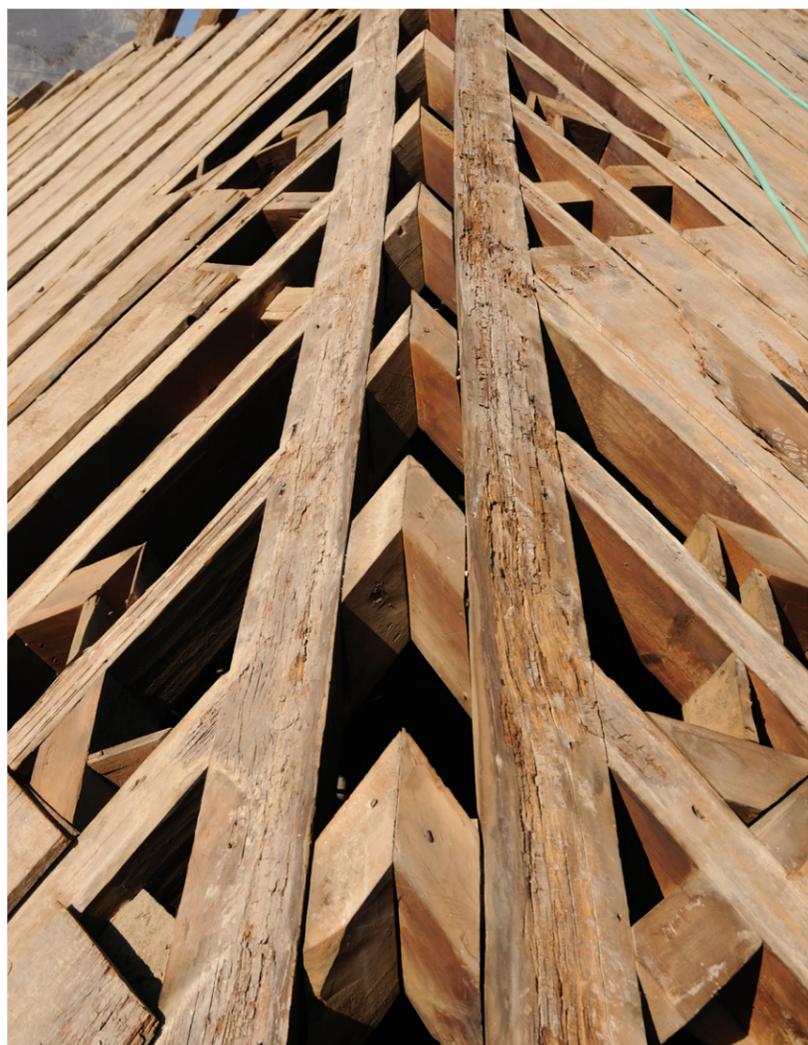


Fig. 33: Limas moamares. Se observa que a algunos de los taujeles que completan el lazo se les han añadido tablas en sus lados para parecer una pieza maciza. Imágen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.



Fig. 34: Pares y peñazos. Imágen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.



Fig. 35: Al desmontar la armadura se pueden ver los cornezuelos, es decir, el hueco en los extremos de los nudillos donde encajan los pares. Imágen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.

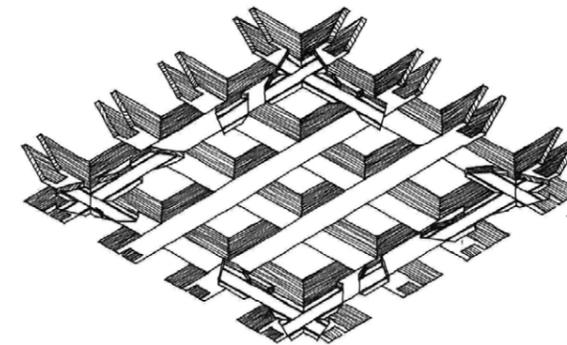
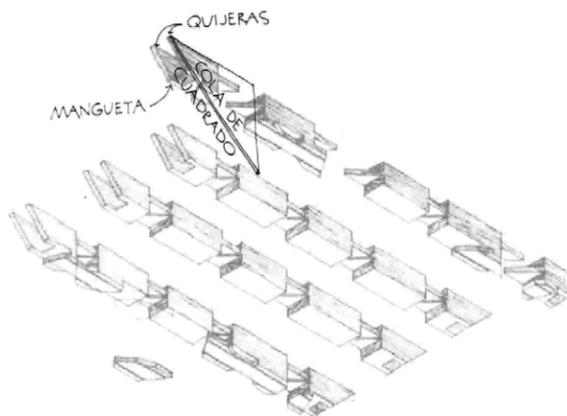
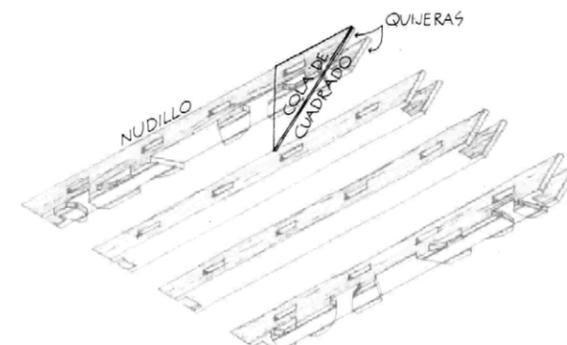
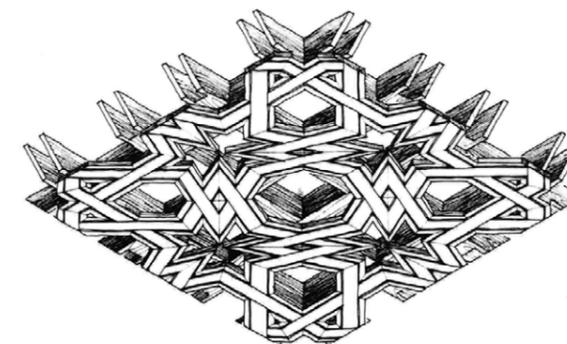


Fig. 36: Ejemplo de montaje de un almizate dibujado por Nuere en su libro "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel" (1990) p. 226. En este libro se profundiza en el trazado y construcción de estas armaduras desde el punto de vista del proceso que seguía el carpintero.

LAS RUEDAS DE LAZO Y SUS CARTABONES.

La introducción de la lacería en la carpintería de armar española supuso un gran reto geométrico, ya que el diseño de lazo debía acomodarse a la estructura de la techumbre, pero sobre todo, es debido a la evolución que estas estructuras tomarán hacia otras más complejas, complicando también los problemas geométricos a la hora de realizar el trazado del lazo.

Hablar de lazo es hablar sobre las ruedas que lo articulan. Estas ruedas provienen del arte islámico, siendo generadas a partir de la estrella de su centro (sino), el cual se rodea, mediante la prolongación de sus trazos, con varios elementos (zafate o azafate, almendrilla y el candilejo). Originalmente, estos diseños se trazaban por el geómetra musulmán y sin una trama rígida que seguir, en el arte islámico, la composición de estos trazados era más libre. Por el contrario, a la hora de introducir el lazo como elemento decorativo en las estructuras de madera, los carpinteros hallaron una forma de realizar el trazado de estas ruedas mediante cartabones [Fig.], al igual que hacían a la hora de establecer las características básicas de una armadura de pares. Establecieron una serie de reglas para que el lazo coincidiera con los elementos estructurales, los cuales eran paralelos entre sí y casi siempre a “calle y cuerda”, es decir, el espacio entre dos maderos (calle) era el doble que el ancho del propio madero (cuerda), impidiendo la realización de muchos diseños y estableciendo relaciones más rígidas entre diferentes ruedas.

Para la construcción de las principales ruedas de lazo era necesario la traza de tres cartabones para cada uno, así explica Nuere en “*La carpintería de armar española*” (1989) cómo se definen en términos generales cada uno de ellos:

El nominal con el ángulo que se obtiene dividiendo la circunferencia en tantas partes como brazos tenga la rueda correspondiente. El segundo cartabón necesario tiene uno de sus ángulos doble que el anterior definido, y el cartabón ataperfiles se obtiene dividiendo en dos el ángulo complementario del que se sirvió para definir el cartabón nominal de cada lazo. (p. 78)

Las principales ruedas son la de 7, 8, 9, 10 y 11, siendo la de 7 y 11 muy raras y la de 8 la más representativa [Fig. 38]. A partir de la de 12, las reglas cambian, la “aspilla” ya no se puede trazar siguiendo las mismas indicaciones. Las ruedas más grandes se trazaron apoyándose en las pequeñas, apropiándose de sus “aspillas”, estas ruedas se les denomina “desculadas”¹⁸ Por ejemplo, la rueda de 16 se obtenían continuando el trazado del lazo de la rueda de 8, acabando con una figura más grande y con unos zafates más alargados [Fig. 37]. La desculadas, normalmente, tiene brazos con un ángulo la mitad que el de la rueda de la que surge, exceptuando la rueda de 9, cuya

¹⁸ Nuere, E. (1989). *La carpintería de armar española*. pp. 112-114.

desculada es la 12. Así mismo, de la rueda de 7 se obtiene la de 14 (Nuere dice no haberla encontrado en ninguna armadura), de la de 8 la de 16, y de la de 10, la de 20. La manera más sencilla de identificar el tipo de rueda empleada en contar el número de zafates que se encuentran alrededor del sino.

En la iglesia de San Miguel bajo, su armadura de par y nudillo utiliza únicamente la rueda de 8, exceptuando en dos de sus tirantes donde aparece parte del sino de 16 junto con unos de sus zafates. Los cartabones que forman la rueda de 8 se les denomina, cartabón cuadrado, cartabón de 8 y blanquillo [Fig. 40].

Existen algunas imprecisiones, a la hora de obtener algunos de los cartabones geoméricamente no se obtienen los ángulos exactos necesarios para trazar la rueda, por lo que debían ser ajustados con el cepillo. Otra imprecisión viene por la necesidad de que el trazado de lazo se adaptara a la estructura: por un lado los zafates se tendrían que alargar ligeramente [Fig. 39], para que las conexiones entre diferentes ruedas respetaran la separación entre los elementos estructurales; por otro lado están las terminaciones perimetrales de los paños en su conexión con otros, presentando un problema geométrico en la continuidad del lazo que los carpinteros solucionaban gracias a su experiencia. Este último aspecto lo muestra muy claramente Nuere en su blog, en la entrada titulada “*Representación de una armadura de laceria*” donde analizar el techo del Salón del trono de la Alhambra¹⁹.

¹⁹ Nuere, E. (2014, Junio 10). *Representación de una armadura de laceria*. Recuperado de <http://enrique.nuere.es/blog/?p=229>

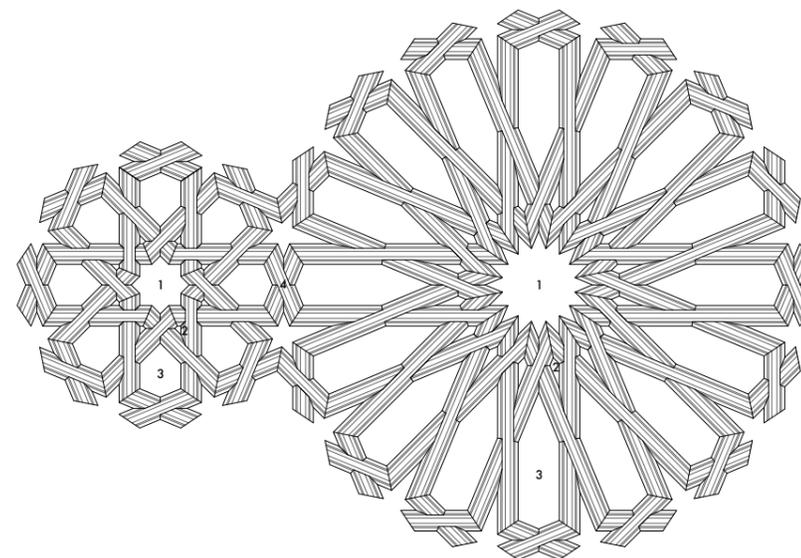


Fig. 37: Rueda de 8 y su desculada (16), las únicas utilizadas en la armadura de par y nudillo de la Iglesia de San Miguel Bajo. 1: sino, 2: almendrilla, 3: zafate, 4: aspilla

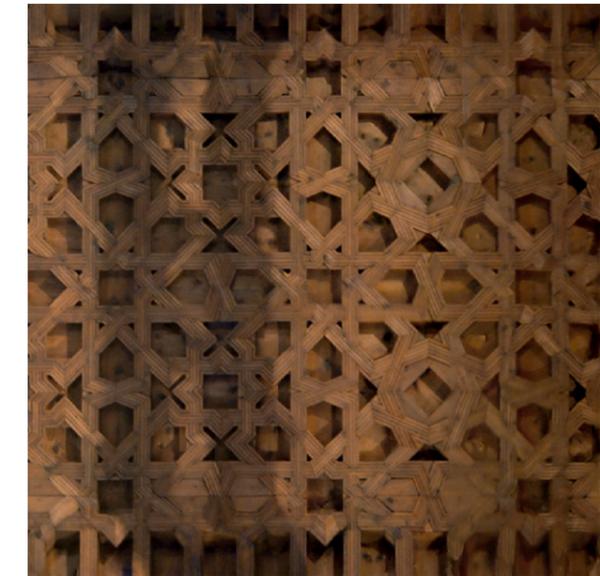


Fig. 38: Ejemplo del uso de la rueda de 8 de diferentes maneras en San Miguel Bajo.

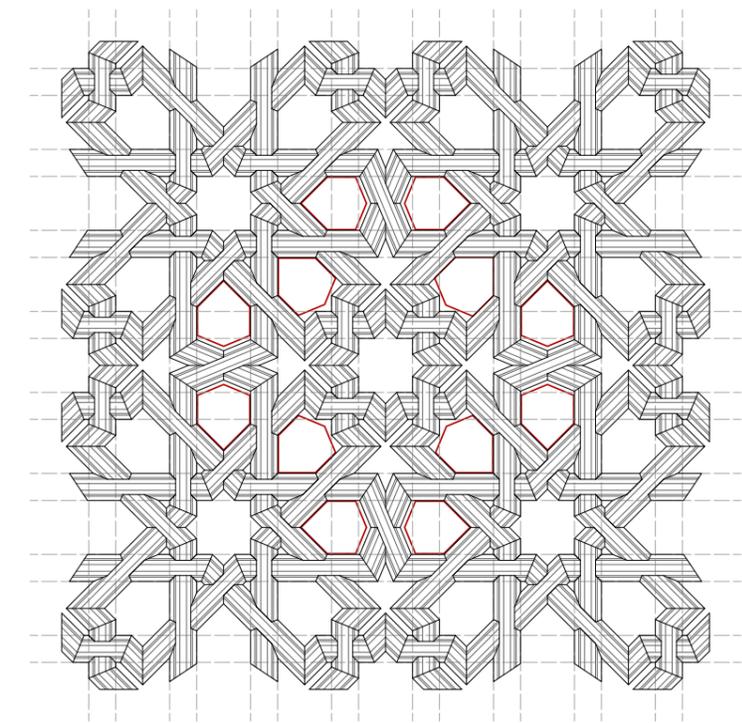


Fig. 39: Adaptación de la rueda al sistema de calle y cuerda, los zafates se alargan.

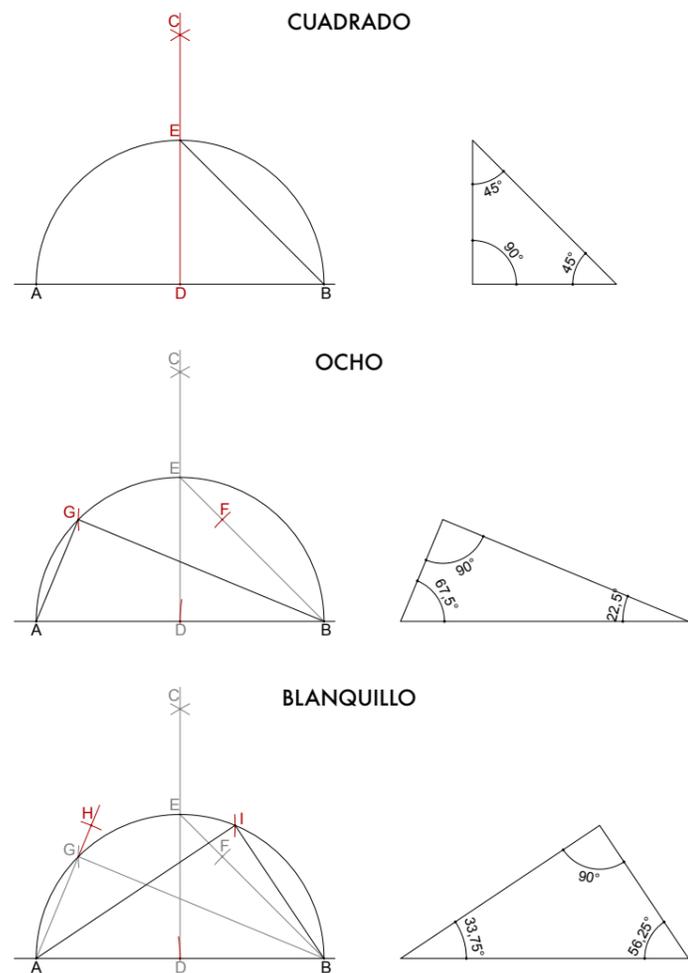


Fig. 40: Trazado de los cartabones de la rueda de 8, siguiendo los dibujos de Nuere en "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel" (1990), pp. 183-184:

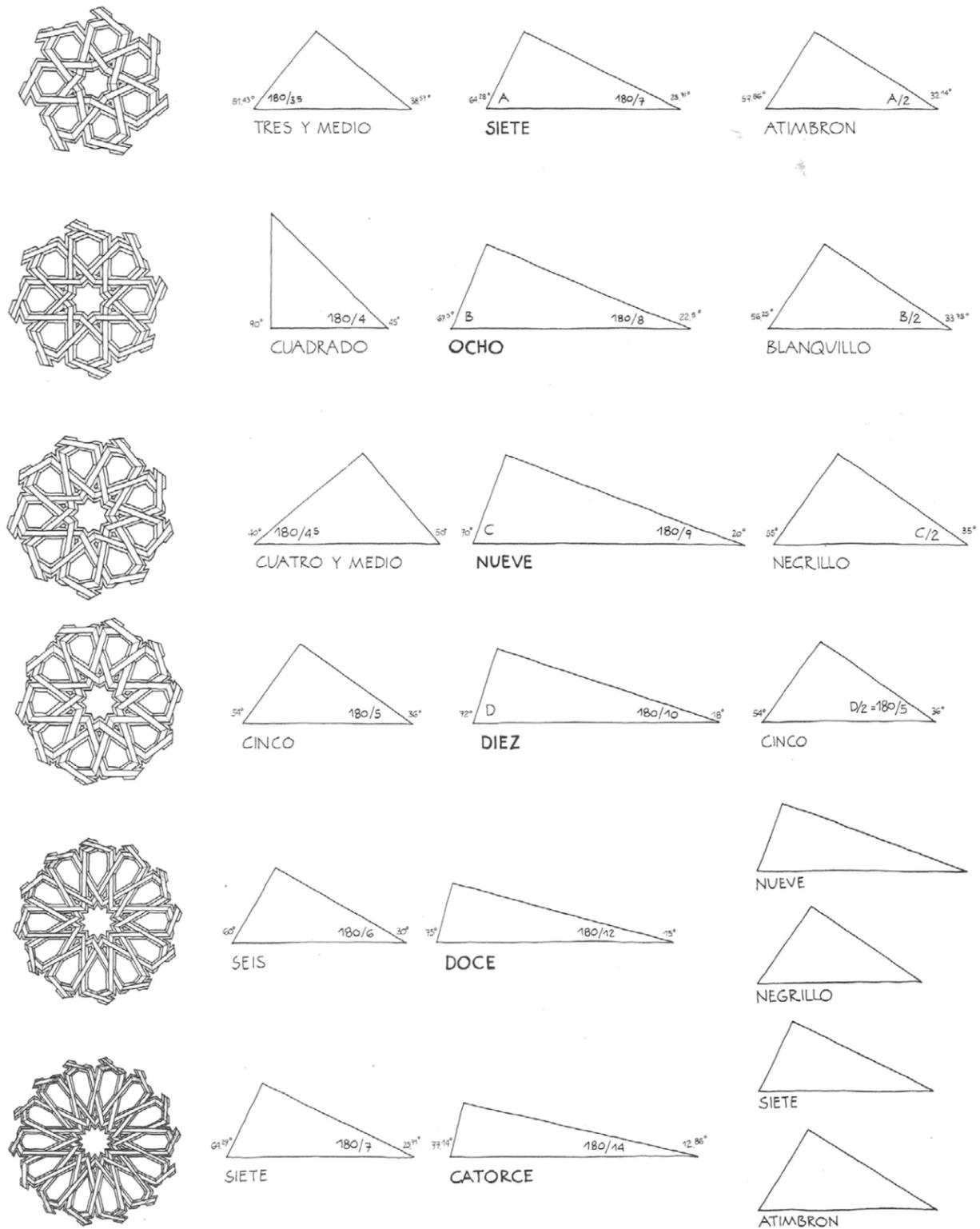


Fig. 41: Ruedas de 7, 8, 9, 10, 12 y 14 respectivamente junto con sus cartabones, dibujo extraído de "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel" (1990) de Enrique Nuere, p. 182.

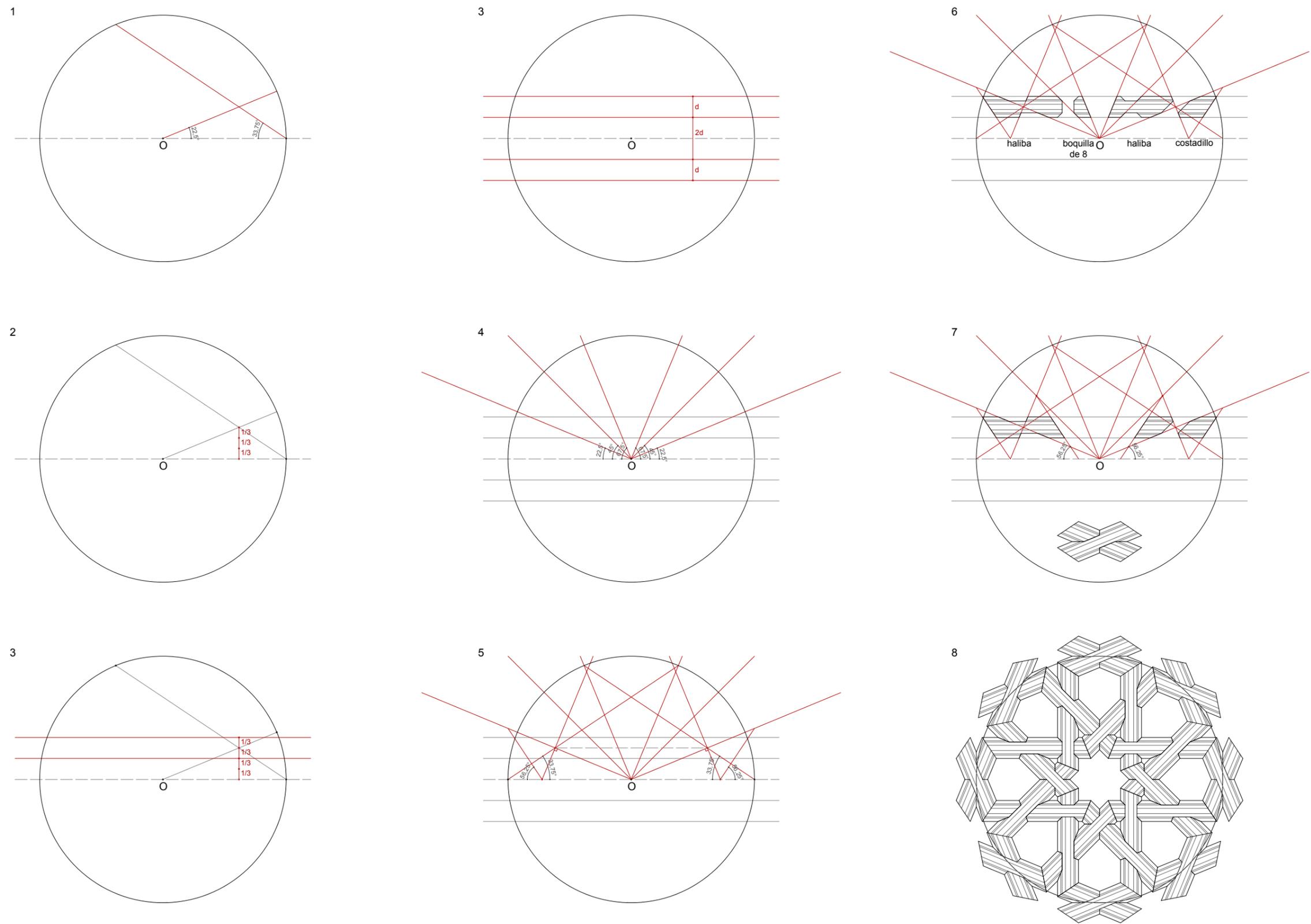


Fig. 42: Procedimiento mediante cartabones para trazar la rueda de 8. Se han seguido los pasos descritos por Nuere en "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel" (1990), p. 137-139, y los realizados por Gloria Aljazairi en "La carpintería de lo blanco en ejemplos granadinos" (2013), pp. 117-120

EL MOCÁRABE

El mocárabe surge tras una larga evolución de las soluciones adoptadas en la antigüedad a la hora de cubrir una estancia mediante una cúpula, de tal manera, que se produjera una transición correcta entre esta y el resto del edificio. Esta respuesta la hallaron los persas, las **pechinas**. En el territorio islámico, tras su gran expansión, los antecesores del mocárabe, llamados “muqarnas”, aparecen tallados en dichas pechinas como elementos decorativos, demostrando el gusto islámico por la geometría y las matemáticas.

El mocárabe realizado en España, no tiene tanto que ver con su función estructural, se trata de un sistema que evolucionó en el norte de África y Al-Ándalus, y que los carpinteros estandarizaron, convirtiéndose en una técnica constructiva aparte. Otra muestra más de la influencia mutua entre musulmanes y cristianos. Se realizaban principalmente en yeso y en madera, y se trataba de un sistema de piezas básicas con forma prismática yuxtapuestas unas a otras, generando bóvedas tridimensionales al colocarse cada hilera de piezas a una cota diferente que la anterior. Dos de los ejemplos más importantes que nos han llegado son las bóvedas de mocárabes de los pabellones alrededor del patio de los Leones de la Alhambra, las salas de Dos Hermanas y de Abencerrajes.

Dentro de las armaduras de lacería es muy común encontrar racimos de mocárabes colgados en el almizate a modo ornamental, o en pechinas, si hablamos de estructuras ochavadas. Estos racimos [Fig. 44]

se componen de un nabo central rodeado de “adarajas” o “jairas”, elementos prismáticos con base triangular, romboidal, rectangular, etc, obtenidos a partir del “chaplón de jairas” [Fig. 46], una tabla de madera de un grueso concreto de donde se cortan estos prismas previamente marcados con el uso de los cartabones utilizados para realizar la rueda de 8. De estos prismas, y mediante una serie de plantillas curvas [Fig. 47], se obtiene la parte vista de la adaraja ²⁰.

Lo más destacable de este sistema es la gran complejidad que genera a partir de su sencillez, a partir de un número pequeño de piezas se pueden generar infinitas combinaciones, ya que las proporciones de las piezas están relacionadas entre sí, permitiendo que diferentes piezas puedan encajar entre sí por alguno de sus lados ya sean de sección triangular (con ángulo recto o sin él), rectangular o romboidal. Nuere, en su libro “*La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*” realiza una lista de las principales adarajas. [Fig. 49-50-51]

En San Miguel Bajo contamos con un racimo dentro de la armadura de par y nudillo, en la parte más cercana a la entrada principal de la iglesia [Fig. 45]. Para su modelado [Fig. 43], ya que no se tiene información sobre cómo están montadas las adarajas, y tampoco sobre de que manera se sujeta el racimo, se ha optado por el uso de una “telera” [Fig. 48]. Para facilitar su impresión para la maqueta, se ha decidido macizar todo el racimo, y separarlo del nabo.

²⁰ Nuere, E. (1989). *La carpintería de armar española*. pp. 83-85.

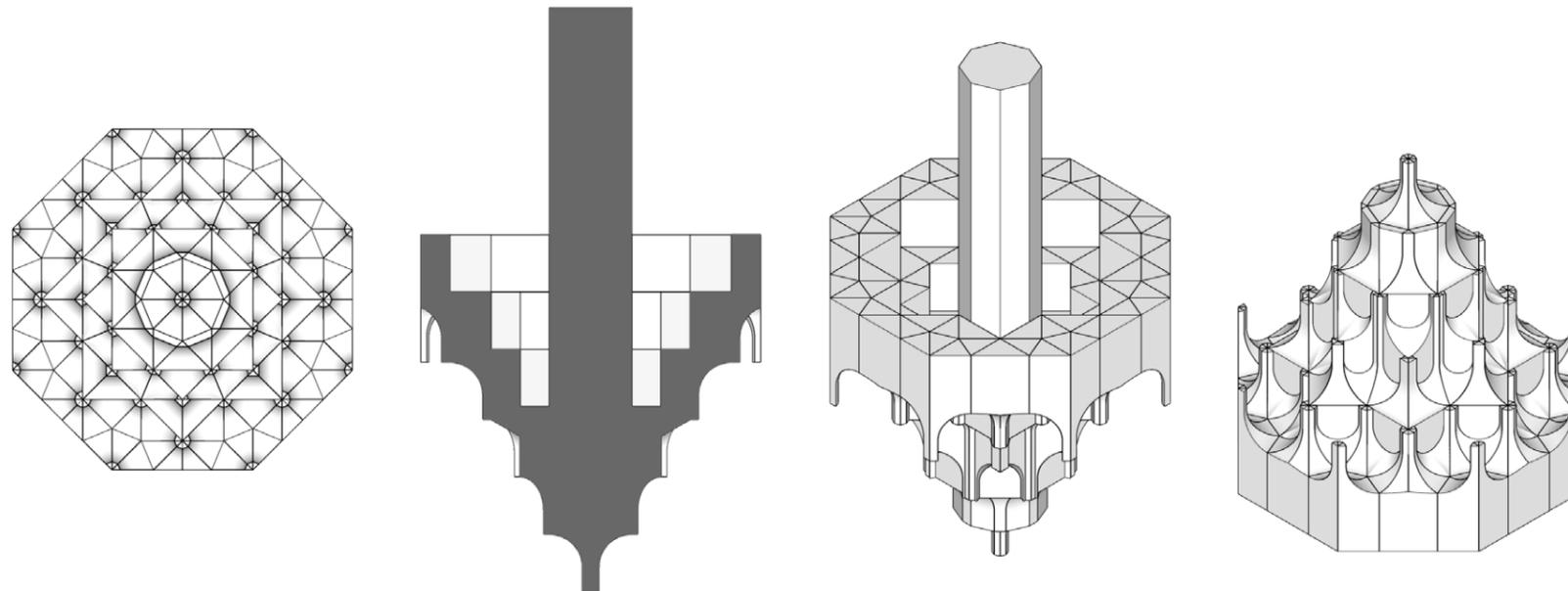


Fig. 43: Modelo 3D simplificado del racimo de la armadura de par y nudillo de la Iglesia de San Miguel Bajo en Granada. Para la realización del modelo que se imprimirá para la maqueta, se ha macizado la piña por completo y se ha dividido en dos para facilitar la impresión. Para este modelo se ha partido de los modelos de mocárabes realizados en el fab lab de la Escuela Superior de Arquitectura de Sevilla por parte de Antonio Saseta a partir de los manuscritos de Diego López de Arenas y Fray Andrés de San Miguel, y publicados en la web <https://www.thingiverse.com/thing:2133876>

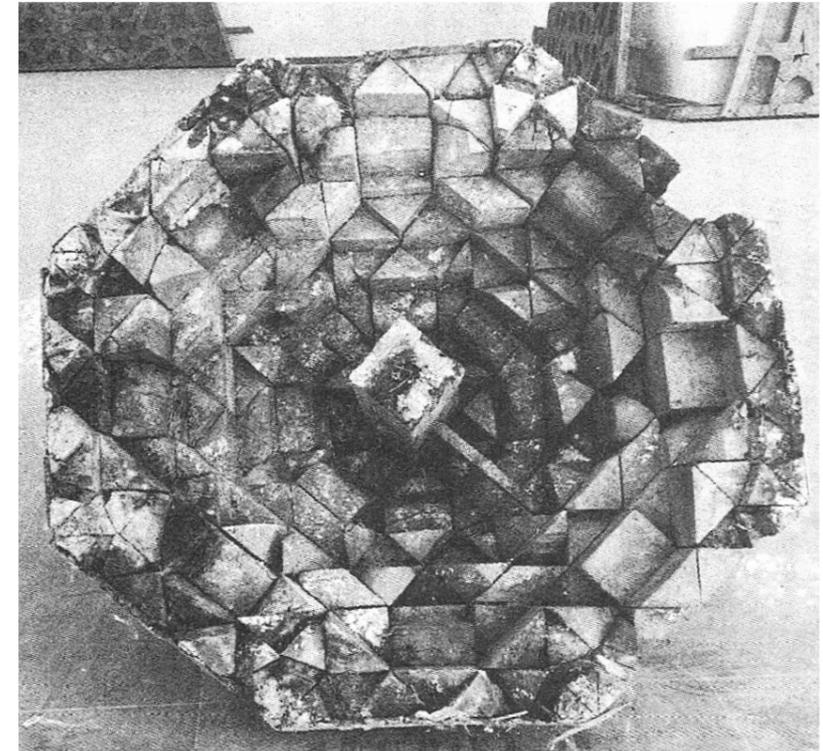


Fig. 44: “Racimo central de la ochava del presbiterio de la iglesia de La Merced de Granada visto por detrás; en él se aprecia la disposición de todas las adarajas alrededor del nabo central, del que se suspende todo el conjunto”. Extraído de “*La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*”, de Enrique Nuere (1990), p. 267.



Fig. 45: Racimo o piña de la armadura de par y nudillo de la Iglesia de San Miguel Bajo de Granada durante las obras de restauración iniciado en el año 2009. Imagen cedida por Luis Anselmo Ibáñez Calero, arquitecto responsable del proyecto de restauración del año 2009.

Fig. 46: Chaplón de jairas, con las jairas trazadas en su testa. Dibujado por Enrique Nuere en "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel" (1990), p. 266.

Fig. 47: Plantilla de mocárabes, extraído de "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel", de Enrique Nuere (1990), p. 272.

Fig. 48: Formas de sujetar el racimo, en la primera se atraviesa el nabo con un tablón, llamado telera, la cual descansa sobre los nudillos (esta es la forma que se utilizará en la maqueta), y la segunda, mediante una chapa metálica o cuerda colgada de la hilera. Extraído de "Nuevo tratado de la carpintería de lo blanco", de Enrique Nuere (2001), p. 236.

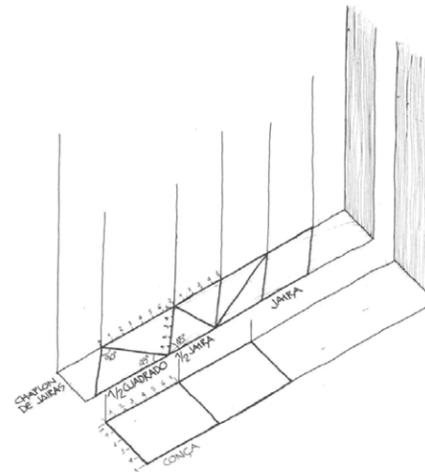


Fig. 46

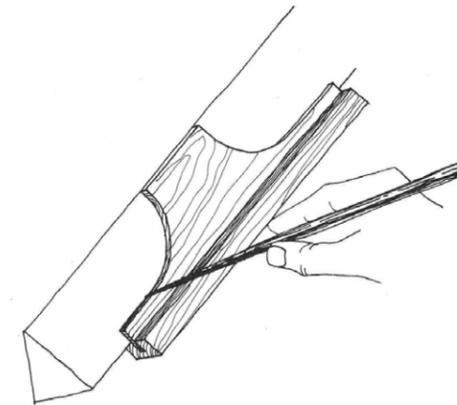


Fig. 47

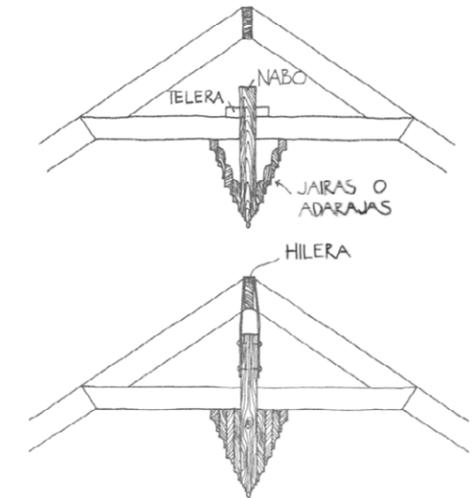


Fig. 48

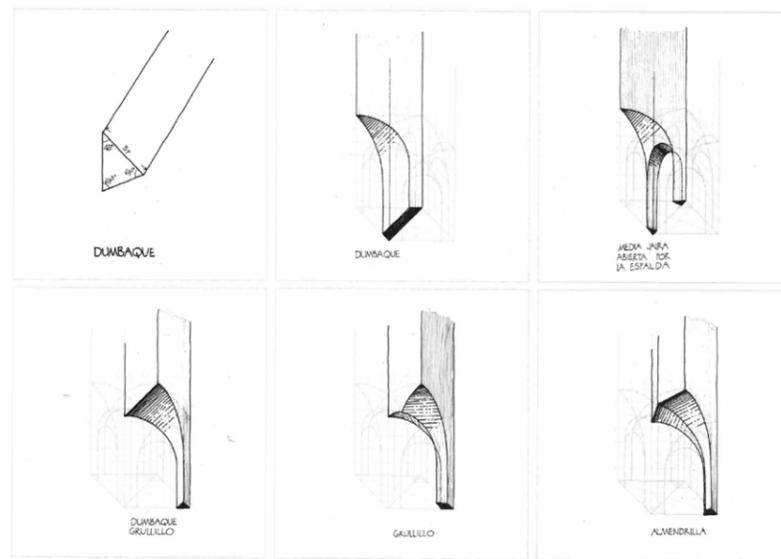


Fig. 49

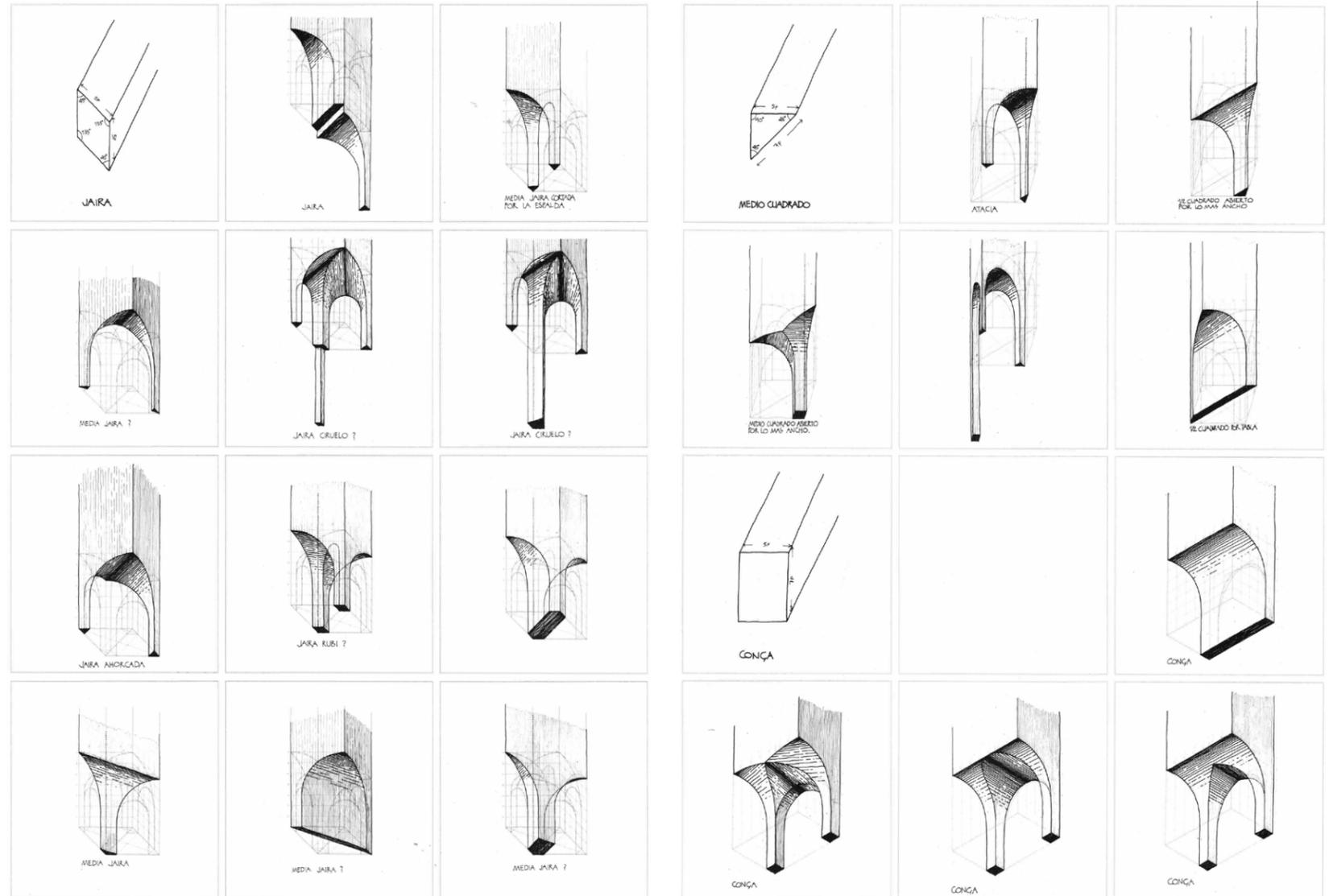


Fig. 50

Fig. 51

Fig. 49-50-51: Adarajas dibujadas por Nuere a partir de los manuscritos de López de Arenas y Fray Abdrés. Aquí expone las cuatro familias de adarajas: los dumbaques, las jairas, los medios cuadros y las conças. Extraído de "La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel", de Enrique Nuere (1990), pp. 273-275.

5 Nuevas herramientas de fabricación digital. Aprendizaje a través de la maqueta.

VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D

Tras el levantamiento de las techumbres de la Iglesia de San Miguel Bajo, el análisis de las reglas geométricas que lo componen y su funcionamiento estructural, queda abordar la adaptación del objeto de estudio para la realización modelo físico propuesto en los objetivos de este trabajo. Antes de abordar esta tarea, debemos conocer los procesos de fabricación digital que se emplearán, más concretamente, la impresión 3D, para ello, se ha utilizado como referencia el libro *“The 3D Printing Handbook”* (2017) de Ben Redwood, Filemon Schöffner y Brian Garret, y mi experiencia personal en este tema.

Una de las principales ventajas de esta herramienta de fabricación, radica en su gran flexibilidad, una sola máquina ofrece un gran abanico de oportunidades. Esta tecnología supone una revolución, ya que permite producir muchísimos productos diferentes sin necesidad de cambiar las características de la máquina, todo se realiza mediante un mismo proceso. La mayoría de la industria actual se compone de máquinas con funciones limitadas con un objetivo concreto, si las características del objeto a fabricar cambian, toda la cadena de montaje también, esto no sucede en el caso de la impresión 3D, sin embargo, aún no ha llegado a ser competitivo en costes. Debido a este último factor, la impresión 3D no destaca aún por su uso industrial a gran escala, sin embargo, su uso se ha extendido a un nivel más particular o en supuestos más concretos y complejos como la medicina.

Actualmente tiene multitud de aplicaciones en diversos ámbitos: la creación de prototipos de una manera rápida y flexible, usos académicos en diferentes etapas educativas, robótica, etc. Pero lo más destacable es la posibilidad de diseñar y fabricar en casa, es una tecnología al alcance de cualquier persona, sin contar con la multitud de plataformas “online” que han surgido alrededor de esta comunidad, como *“www.thingiverse.com”*, permitiendo compartir aquello que cada uno crea con el resto del mundo sin necesidad de intermediarios y de forma gratuita.

En este punto, entraremos a explicar más en detalle el proceso de fabricación que se empleará, la Impresión 3D FDM (Modelado por deposición fundida, Fused Deposition Modeling en inglés), un proceso de fabricación por adición de material fundido, un filamento termoplástico, que mediante el movimiento del extrusor por varios ejes, se deposita, capa a capa, formando la pieza deseada.

La línea de trabajo que se requiere para la fabricación de una pieza, según este método, parte del modelo 3D que se desea realizar, siguiendo por el uso obligado de un programa de trazado que con-

vierta dicho modelo en un código legible por la impresora, dentro de este programa será donde se configuren los parámetros de la impresión.

La elección de este método para la realización del modelo físico de las armaduras se justifica mediante varios factores inherentes a la geometría del propio objeto de estudio y a la necesidad de que la maqueta cumpla ciertos requisitos:

- **Geometría reglada y repetitiva:** Como ya se ha visto, estas estructuras de madera destacan por construcción mediante partes prefabricadas partiendo, a su vez, de la repetición de unos elementos muy característicos (pares, peñazos, nudillos, limas, etc). Las posibles diferencias entre varias piezas, dentro de una misma categoría, vienen dadas por el diseño del lazo, pero su geometría primaria y su función son las mismas. De esta manera, podemos ver que mediante el modelado de un número reducido de piezas (en comparación con el total de la armadura), podemos obtener todo en conjunto imprimiendo múltiples copias.

- **Gran detalle:** Para un manejo y montaje óptimo de la maqueta, esta no debe tener un tamaño excesivo, pero esto reduce drásticamente el detalle que es posible alcanzar. La impresión 3D nos permite jugar con un balance escala-detalle aceptable, nos permitiría mostrar elementos como las estrías de los taujeles sin sobrepasar un tamaño de 75x50cm (escala 1/20m) y, además, manteniendo la resistencia de las piezas más pequeñas.

- **Eficiencia:** La realización a mano de la maqueta con las características antes descritas sería imposible. El detalle deseado sería inalcanzable sin esta herramienta de fabricación digital, y el tiempo para su realización sería eminentemente mayor, sin contar las herramientas que serían necesarias. Con una sola impresora se pueden realizar todas las piezas requeridas con un coste de tiempo muchísimo menor alcanzando una gran precisión.

Por otro lado, cabe destacar la versatilidad que puede dar esta tecnología dentro del ámbito de estudio que se desarrolla en este trabajo. Partiendo del estudio fotogramétrico que se ha realizado para obtener las ortofotos, tanto del interior como del exterior de la iglesia de San Miguel Bajo, también podemos obtener las mallas 3D de dichas partes, que, mediante un procesado posterior, podemos obtener modelos imprimibles a escalas asequibles con una alta fidelidad a la realidad. Para ejemplificar este procedimiento, se han realizado la adaptación de los modelos de las dos portadas de la Iglesia para ser impresos a escala 1:50m [Fig. 52-53].



Fig. 52: Modelo realizado por impresión 3D de la portada principal de la Iglesia de San Miguel Bajo a escala 1:50m en dos partes. La portada podría haber sido diseñada por Diego de Siloé y ejecutada por Pedro Asteasu y Juan de Alcántara.



Fig. 53: Modelo realizado por impresión 3D de la portada lateral de la Iglesia de San Miguel Bajo a escala 1:50m. Esta portada fue realizada por Pedro de Asteasu.

Entrando más en detalle, vemos que esta tecnología conlleva una serie de aspectos a considerar desde un inicio como el material a usar, las características de la impresora, la forma del modelo, el detalle deseado... ya que acarreen varias limitaciones de diseño para poder realizar un modelo satisfactoriamente. Las principales consideraciones son las siguientes:

Las características de la impresora

Existen varios factores decisivos tales como el tamaño del espacio de impresión disponible, el grosor de la boquilla del extrusor, el número de extrusores, la disponibilidad de una cama caliente, etc. Cada uno de ellos limitan o incrementan las posibilidades de fabricación desde varios puntos de vista, en este caso las que tienen más relevancia son las siguientes:

- **Volumen de impresión útil:** En una impresora doméstica suele rondar un cubo de 18-20 cm de lado, aunque existen modelos con un volumen útil mayor. En nuestro caso, el cubo que representa el volumen útil tiene 19 cm de lado, por lo tanto, cualquier pieza que supere este tamaño deberá subdividirse en dos o más, según el caso.

- **Características del extrusor:** Dentro de este apartado destacan el tamaño de la boquilla y el número de extrusores disponibles. En cuanto a la boquilla, lo más importante es saber que todos aquellos detalles del modelo que sean de inferior medida que el diámetro de este, serán ignorados, y, por lo tanto, la pieza realizada carecerá de estos. El diámetro más común suele ser de 0,4 o 0,5 mm (en nuestro caso 0,4 mm), así pues, debemos asegurarnos que no existan partes o detalles de un tamaño inferior. Por otro lado, cada vez más impresoras salen al mercado con más de un extrusor, permitiendo realizar impresiones con dos materiales o más a la vez, permitiendo que las piezas realizadas sean multicolor o que, en el caso de necesitar un soporte extra para realizar una pieza, se pueda usar un material soluble en agua o en algún otro disolvente, de tal manera que se pueda eliminar este soporte sin dañar la pieza deseada con tan solo sumergirla en el disolvente requerido. En este caso solo contaremos con un extrusor.

- **Cama caliente:** No todas las impresoras cuentan con esta parte, aunque la mayoría sí. Está pensada para evitar uno de los mayores problemas que surgen por el uso de algunos plásticos como el ABS, el llamado "warping", cuya traducción al español más cercana vendría a ser "alabeo". Este fenómeno ocurre por la expansión

del material al someterlo a altas temperaturas para fundirlo, y la posterior contracción al volver a solidificarse generando grandes tensiones internas. Puede llegar a producir una gran deformación en las piezas, llegando incluso a soltarse de la base de impresión, y que la impresión falle por completo. El "warping" [Fig. 54] puede variar mucho de un material a otro y también se ve afectado por la forma del modelo a realizar y la configuración en el programa de trazado. Se pueden realizar impresiones sin necesidad de la cama caliente, pero eso limita muchísimo el abanico de materiales que podemos usar, sin contar que todos los materiales, en mayor o menor medida, se expanden y se contraen.

La forma del modelo

El primer acercamiento a esta tecnología suele inducir, erróneamente, a que puede realizar la impresión de cualquier cosa, independientemente de las características del modelo deseado. Uno de los grandes impedimentos de diseño subyace en el mismo fundamento de esta tecnología. Como se ha dicho anteriormente, la impresión FDM(Modelado por deposición fundida) se basa en ir depositando material fundido, capa a capa, de tal manera que la punta del extrusor acaba recorriendo toda la geometría del modelo a imprimir, de aquí se deduce la necesidad de tener una base estable sobre la que depositar el "hilo" de material fundido, de manera precisa, para que se solidifique. Si no existe este sustento, ya sea la propia base de la impresora o la capa anterior, el material acaba por caer, creando grandes irregularidades en la pieza final o, incluso, el fallo completo de la impresión.

Sabiendo esto, debemos evitar grandes vuelos en la pieza o partes que empiecen en el aire sin estar en contacto con la base. En principio esta premisa limitaría en gran cantidad las posibilidades de impresión, pero existen varias formas de saltársela: cambiando la orientación de la pieza a una más favorable la hora de imprimir, dividiéndola en varias partes, o añadiendo soportes auxiliares. Este último es añadido, generalmente, por el programa de trazado que convierte el modelo 3D en un código que la impresora sea capaz de interpretar. Si se dispone de un doble extrusor, se puede configurar para que se realice el soporte en un material que se pueda eliminar posteriormente de manera sencilla, como se mencionó anteriormente.

El Material

Existen multitud de materiales actualmente y dentro de cada categoría, infinidad variantes en cuanto a color, textura, caracterís-

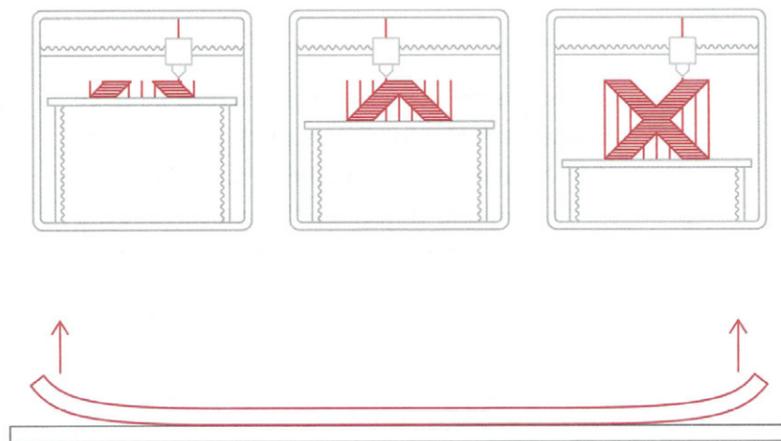


Fig. 54: Diagramas del sistema de impresión FDM y "warping" respectivamente, procedentes del libro "The 3D Printing Handbook", una guía muy completa sobre todas las facetas de la impresión 3D actuales y condicionamientos de diseño según el tipo que se use. Muy recomendable para el que quiera ampliar conocimientos sobre las herramientas de fabricación digital. Este libro ha sido clave a la hora tomar muchas decisiones como la elección de las tolerancias de la maqueta, el ajuste final de los parámetros de impresión, o la elección del material para imprimir. Extraído de "The 3D Printing Handbook" de Ben Redwood, Filemon Schöffner y Brian Garret pp. 28 y 30 respectivamente.

ticas mecánica, etc. No voy a entrar en detalle en ellos, solo enumerar algunos de los más comunes, junto con sus características generales e inconvenientes:

- **PLA** (Poliácido láctico): Uno de los más comunes y fáciles de usar. Es rígido y apenas sufre contracción térmica, sin embargo, es más frágil y poco flexible. Se funde a una temperatura más baja y no suele necesitar cama caliente.

- **ABS** (Acrilonitrilo butadieno estireno): Tiene un uso bastante generalizado. Es más flexible que el PLA, requiere una temperatura mayor y, para evitar el “warping” necesita el uso de cama caliente. Se puede lijar y pintar fácilmente, además de que se disuelve en acetona. Los rayos UV le afectan, y a la hora de imprimir puede causar vapores.

- **Nylon**: Es uno de los que tienen mejores características mecánicas y una gran resistencia química, sin embargo también el uno de los que más contracción térmica tiene, por lo que es obligatorio el uso de cama caliente, además de que también produce vapores.

- **PETG** (Tereftalato de polietileno): Similar al ABS en cuanto a características mecánicas, teniendo una temperatura de fusión y una contracción térmica menores. También tiene una mayor resistencia química, no produce vapores. Puede estar en contacto con alimentos.

- **TPU**(Poliuretano termoplástico): Es un material que destaca por su gran flexibilidad.

Por último, nombrar algunos materiales que se han usado como soporte en configuraciones con más de un extrusor, como el **HIPS** (Poliestireno de alto impacto) o el **PVA** (Acetato de polivinilo). Estos materiales son ideales para soporte debido a que se pueden eliminar tras la impresión sumergiendo la pieza en limoneno, en el caso del HIPS, y en agua, en el caso del PVA. De esta manera se pueden retirar los soportes sin dañar la pieza en el proceso.

Calidad vs tiempo

Como ya se ha citado al principio, es obligado el paso por un programa de trazado donde se establecerán los parámetros de la impresión. Aquí es donde se podrá elegir, entre otros, la altura de las capas, el número de pasadas por el perímetro, la densidad de la pie-

za, la temperatura a la que se somete el filamento de plástico, y otros muchos más. Aquí es donde se establece una batalla entre la calidad y la duración de la impresión, son directamente proporcionales.

Cuanto mayor sea el diámetro de la boquilla del extrusor y la altura de las capas, y menor sea la cantidad de plástico destinado a rellenar el interior, menor tiempo tomará a la impresora para recorrer todo el modelo, pero el resultado será más impreciso, por no decir, que la pieza tendrá una resistencia menor y será más propensa a efectos, como el antes mencionado “warping” o alabeo y otros relacionados con la adhesión entre capas.

ADAPTACIÓN DEL MODELO PARA LA REALIZACIÓN DE LA MAQUETA FÍSICA

Una vez expuestos todos estos conceptos y condicionantes, toca tratar los mecanismos que se han utilizado en la adaptación del levantamiento de la armadura de par y nudillo a maqueta.

Partiendo de las características de una impresora doméstica, y siendo bastante austeros en sus características, se decide que las piezas que se imprimirán no excedan un área de 19x19cm y que sólo se utilizará un extrusor. Por otro lado se buscará la simplificación de la armadura, en la medida de lo posible, sin perder de vista el objetivo de mostrar su funcionamiento estructural y su proceso constructivo lo más fielmente posible.

Se ha elegido el PETG blanco [Fig. 55] como material principal para la realización de la maqueta, debido a sus gran flexibilidad, resistencia y reducido “warping”, ya que se imprimirán piezas muy esbeltas que serán propensas a este efecto.

Subdivisiones

Algunos elementos como la hilera, los estribos o los tirantes, exceden con creces el tamaño máximo para poder ser impresos en una sola pieza, por lo que se ha optado por dividir dichas piezas. La mayoría se podrán realizar en dos partes aprovechando la diagonal de la superficie de impresión, ya que son elementos bastantes esbultos, otros elementos, como los estribos longitudinales, se tendrán que dividir en más partes.

Para que esto no suponga ningún problema a la hora de montar la maqueta y para no tener la necesidad de utilizar ningún pegamento en el proceso, se opta por colocar machihembrados [Fig. 56] en los



Fig. 55: Bobina de filamento SMARTFIL® PETG “Ivory white” de 750gr de la marca española “smart materials 3D” que se ha usado en la realización de la maqueta. Extraído de: smartmaterials3d.com

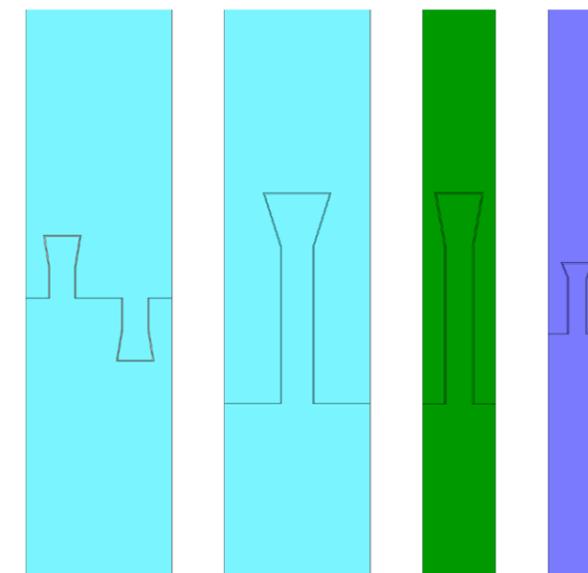


Fig. 56: Machihembrados en las piezas que se han dividido en dos o más partes según el espacio disponible.

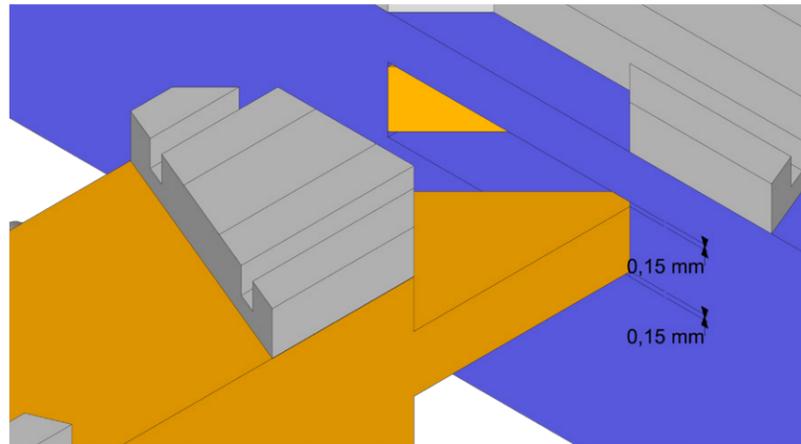


Fig. 57: Tolerancia de 0,15mm en el encuentro entre espiga y caja.

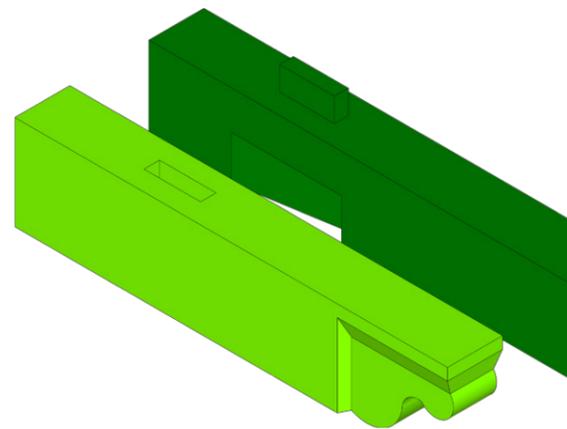


Fig. 58: Unión entre el can y el tirante para no tener la necesidad de usar adhesivo en la maqueta. En la realidad el tirante solo se apoya sobre el can, su función es reducir la luz total que tiene que abarcar el tirante.

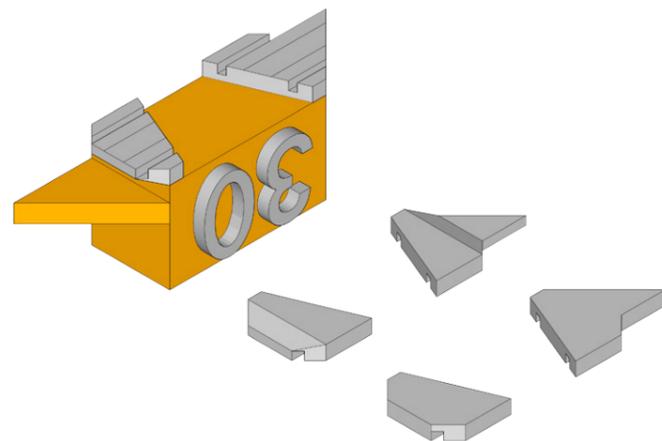


Fig. 59: Ejemplo de peinazo con el código numérico que lo representa. Se pueden observar los ajustes en sus taujeles para optimizar la impresión y asegurar un encaje correcto con el resto de la armadura.

finales de las piezas. Todas las piezas afectadas se expondrán con mayor detalle en el posterior manual de montaje, separando los pasos previos de los que representan el proceso de construcción real.

Tolerancias y reajustes

Como ya se ha explicado con anterioridad, este tipo de armaduras funcionan por la trabazón de sus piezas a caja y espiga. Seguiremos esta técnica en la maqueta, de tal modo que no sea necesario el uso de ningún adhesivo durante el montaje. Para ello es imprescindible estudiar las tolerancias entre las piezas que deben encajar para que la unión sea fácil pero aguante por sí sola una vez realizada. Después de realizar varias pruebas se observa que un espaciado de 0,15mm es suficiente [Fig. 57]. Esta tolerancia también se aplicará a los machihembrados antes mencionados.

Por otro lado, y para simplificar el proceso de montaje, se colocan unos salientes en los extremos de los tirantes y unos huecos en los canes para poder crear una unión como las anteriores [Fig. 58]. En la realidad los tirantes se apoyan sobre los canes y la gravedad es la que los mantiene unidos principalmente. Este cambio resultará en un montaje basado en etapas muy marcadas, empezando por la unión de las piezas separadas por su tamaño, pasando por el montaje de los faldones prefabricados donde incluimos los tirantes, y terminando por el montaje final. Todos estos cambios serán debidamente citados en el posterior manual de montaje.

El último cambio significativo con respecto a la realidad se centra en los taujeles. Ya que solo se dispone de un extrusor, y no podemos usar un material soluble para el soporte que será necesario a la hora de imprimir algunas piezas, se optimizarán los elementos que vuelen (principalmente taujeles) para ser realizados sin grandes problemas [Fig. 59]. Además se ensancharán las estrías de estos elementos, dejando solo dos carriles, de tal manera que se pueda observar bien el trazo de la lacería.

Simplificaciones

Aunque este sistema de cubrición destaca por su estandarización y prefabricación, para que resulte una maqueta más sencilla, se sustituirán algunos elementos estructurales que solo cambian en el diseño del lazo, como el los pares y el nudillo que lindan con el arco, por sus homólogos en el resto de la armadura.

Otras partes serán omitidas dado que podrían dificultar la observación de algunas partes de la maqueta, como el arrocabe, o por su tamaño reducido, como los taujeles que completan el lazo de la armadura. El objetivo es conocer como funciona este sistema a tra-

vés de una maqueta sencilla y práctica, no la de realizar un modelo completamente fiel de la realidad que contenga todos sus elementos. De esta manera, la maqueta se constituirá a partir de los canes, sin tener en cuenta la solera y los nudillos bajo esta, es decir, sin la transición entre la armadura y el muro de fábrica.

Codificación

Con el fin de tener pleno control sobre el proceso de producción y montaje de la maqueta, se decide asignar un código numérico a cada una de las piezas que la constituyen. Cada pieza tendrá un código de dos dígitos, comenzando por el 01, en un lateral de tal manera que tenga una buena visibilidad. La numeración comienza por la base, empezando por los estribos y luego los tirantes, pasando por la hilera, las gualderas y el testero,, para terminar con el conjunto del almizate. Existen 93 tipos de piezas y 847 en total dentro de la maqueta.

Por otro lado, y para que los diagramas que representarán el proceso de montaje sean más fáciles de comprender y las piezas individuales puedan ser identificadas más rápidamente, se ha establecido un código de colores en el que asigna uno a cada grupo de piezas diferente, asociados por tener funciones similares o por su situación en el artesonado.

	Estribo
	Can
	Tirante
	Peinazo
	Hilera
	Par (se incluyen: manguetas, péndolas y arrocabas)
	Lima moamar
	Nudillo
	Cuartillejo (las partes que lo forman)
	Racimo
	Taujel

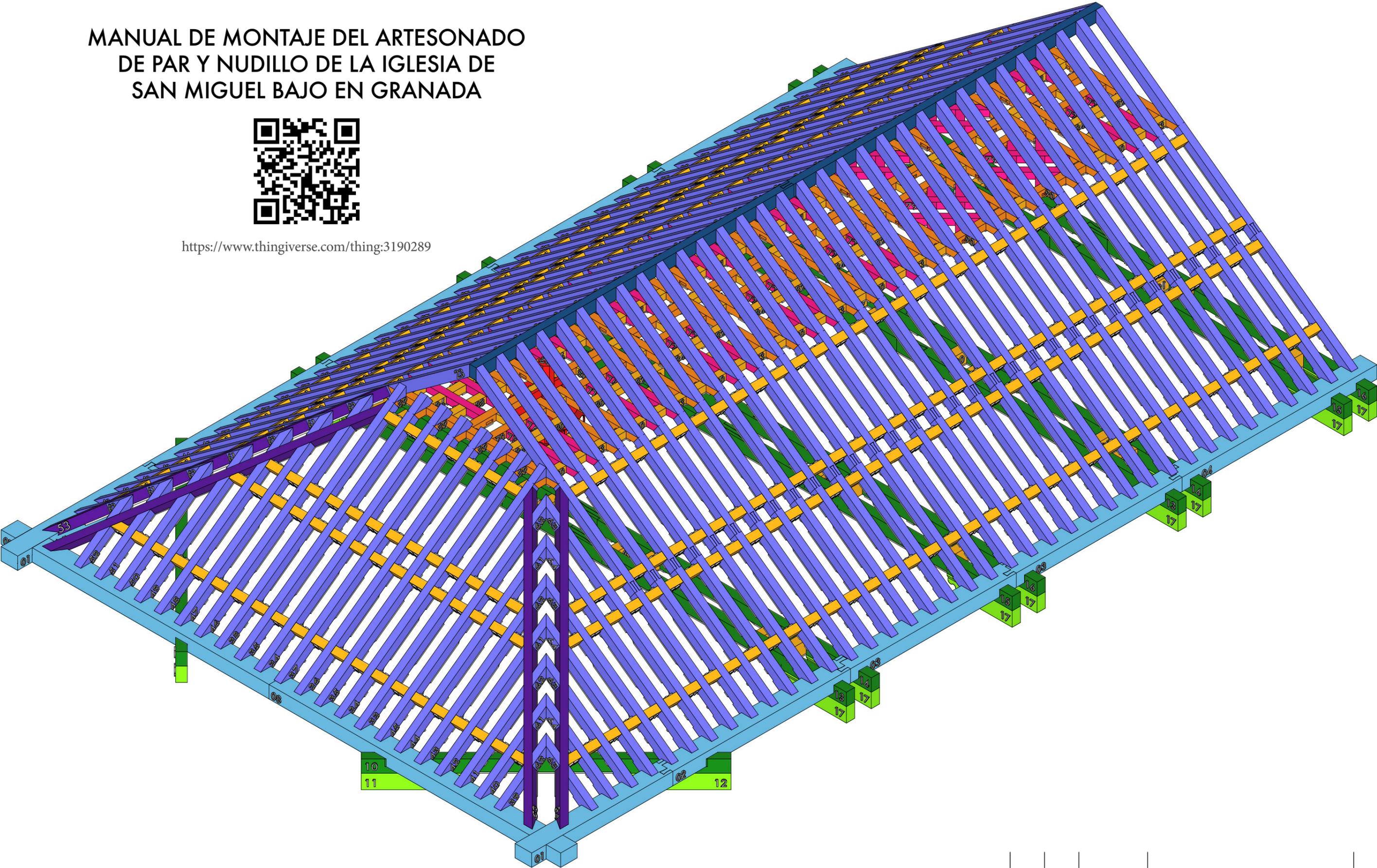
Urna

Como el objetivo final es la de llevar a término la maqueta que se ha diseñado y que pueda servir como herramienta de aprendizaje, se decide crear una urna que sirva a la vez de expositor, como de elemento de preservación para que pueda perdurar el mayor tiempo posible. Aprovechando este nuevo elemento, se decide que el lugar donde reposa la maqueta tenga la forma del muro real, a escala, en el que se sitúa el artesonado real. Se realizará mediante el corte láser de tableros de DM de 5mm para la base y de metacrilato de 2,5mm para la parte superior.

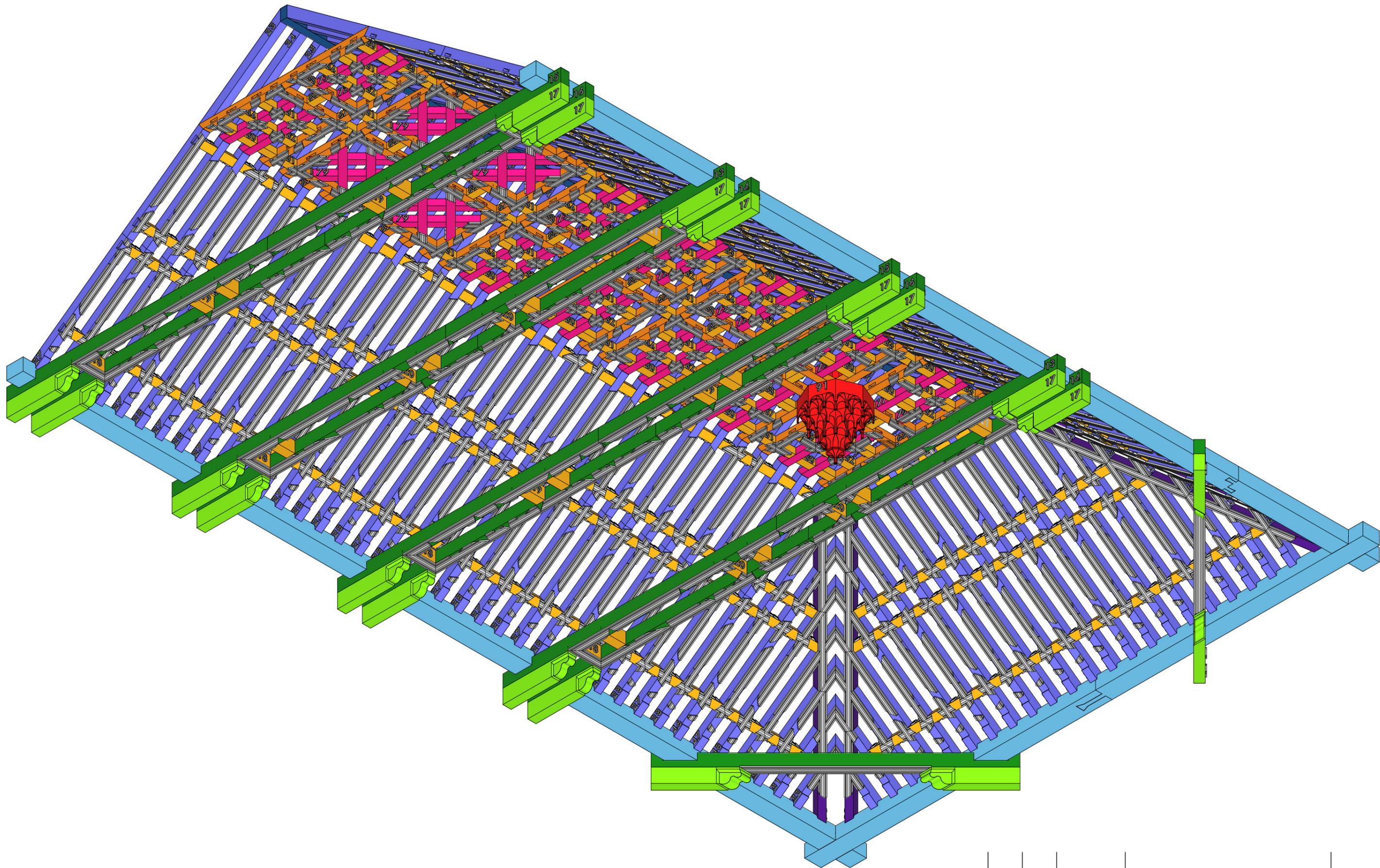
MANUAL DE MONTAJE DEL ARTESONADO DE PAR Y NUDILLO DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL BAJO EN GRANADA



<https://www.thingiverse.com/thing:3190289>



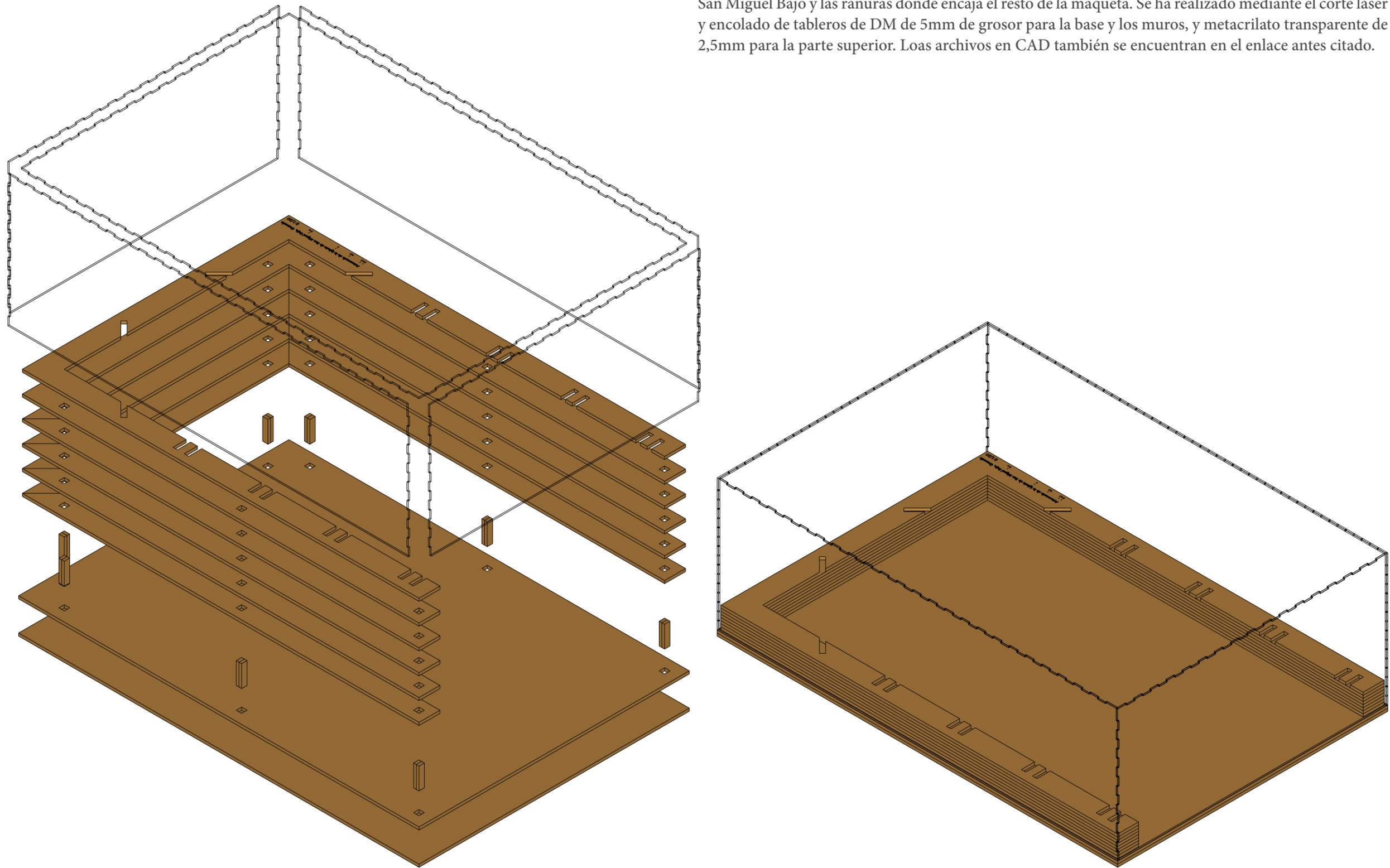
0 0.5 1 2



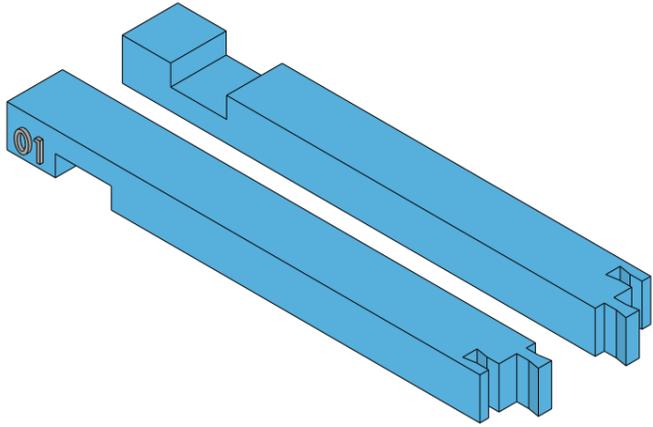
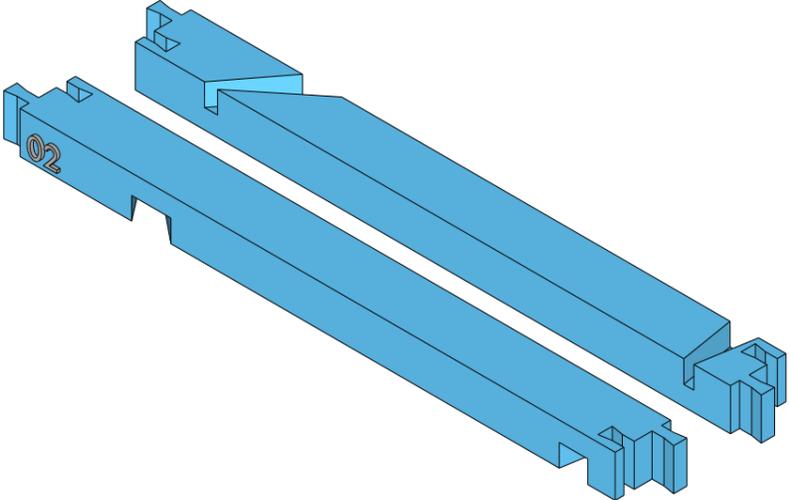
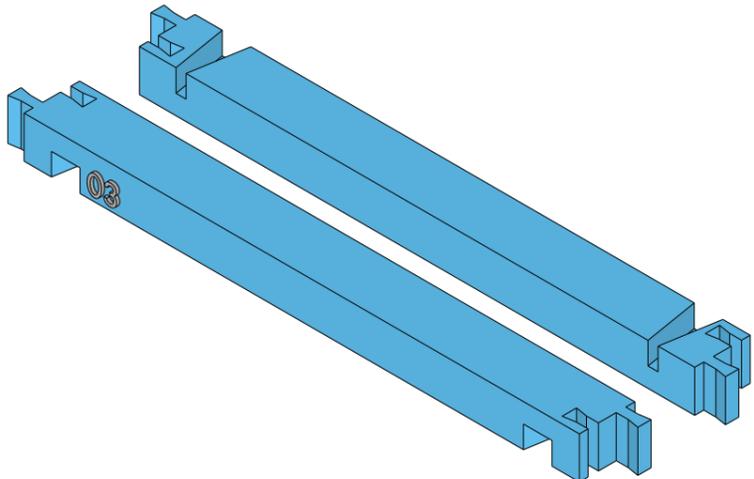
0 0.5 1 2

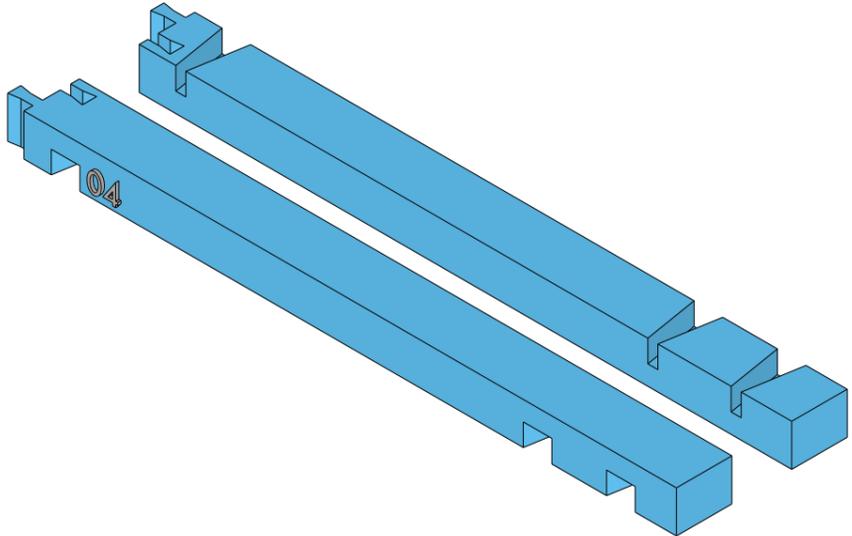
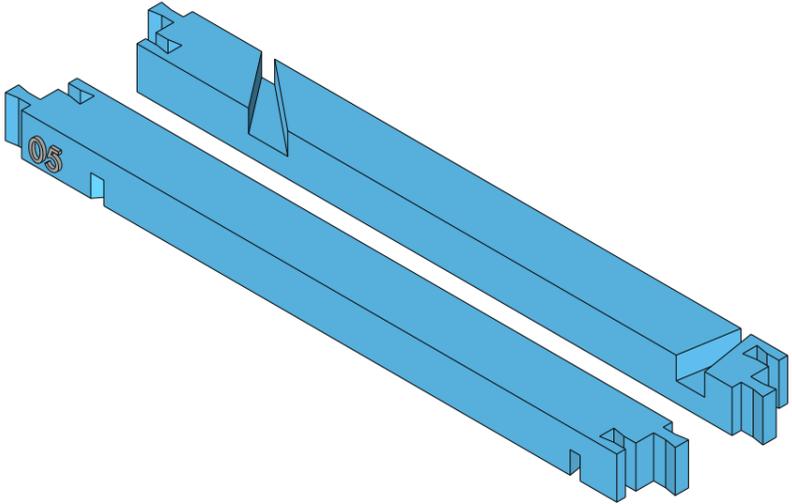
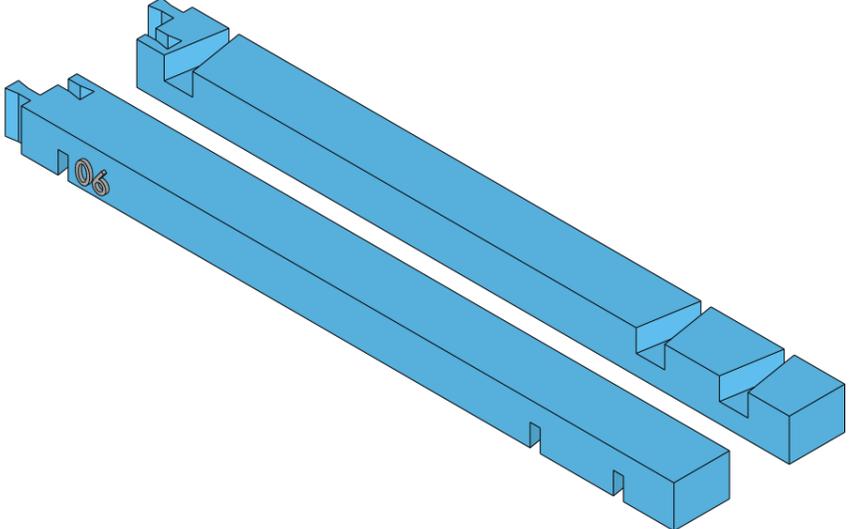
5 E:1/50

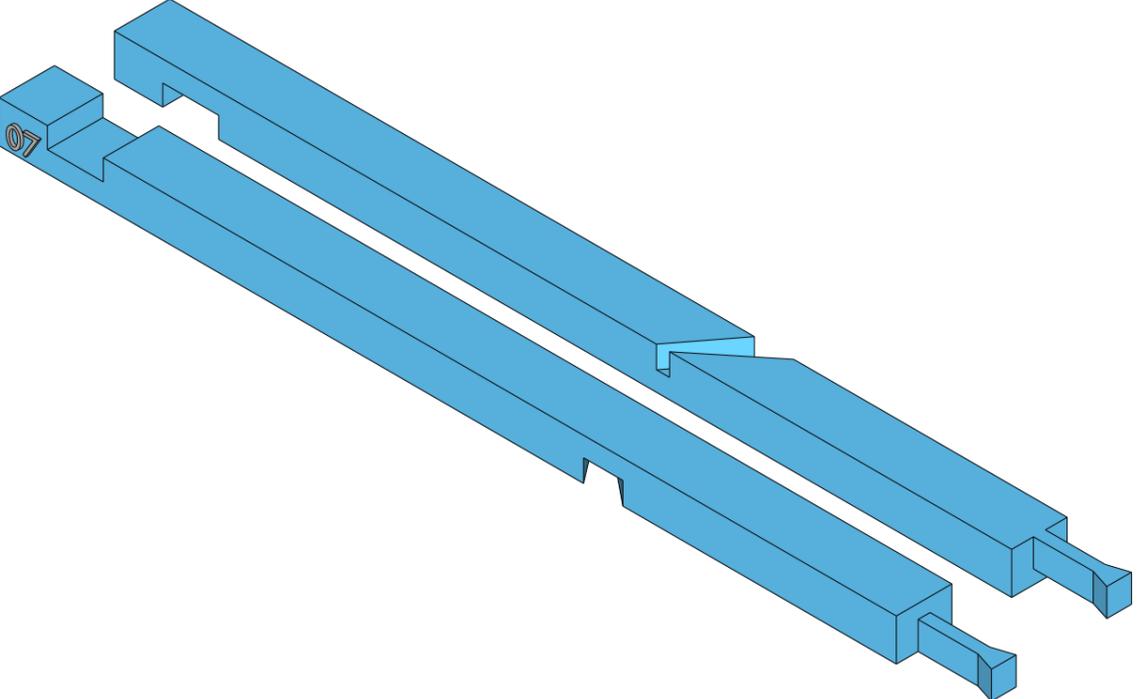
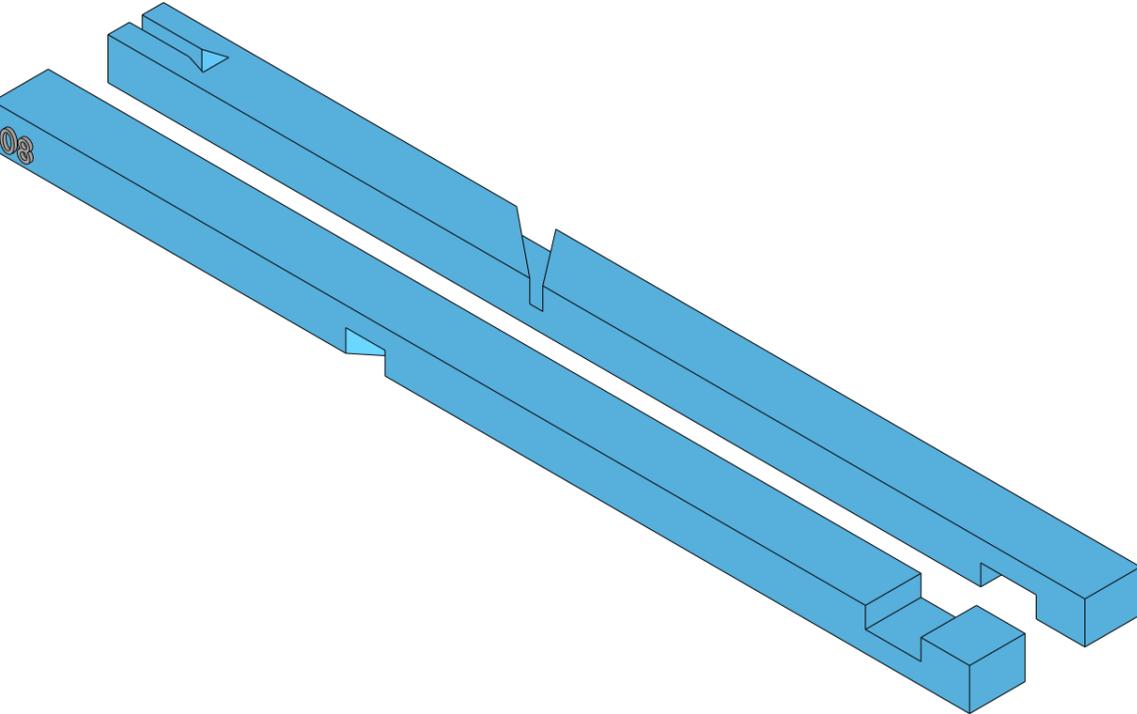
URNA Montaje opcional de una urna con una representación de los muros reales de la Iglesia de San Miguel Bajo y las ranuras donde encaja el resto de la maqueta. Se ha realizado mediante el corte láser y encolado de tableros de DM de 5mm de grosor para la base y los muros, y metacrilato transparente de 2,5mm para la parte superior. Loas archivos en CAD también se encuentran en el enlace antes citado.

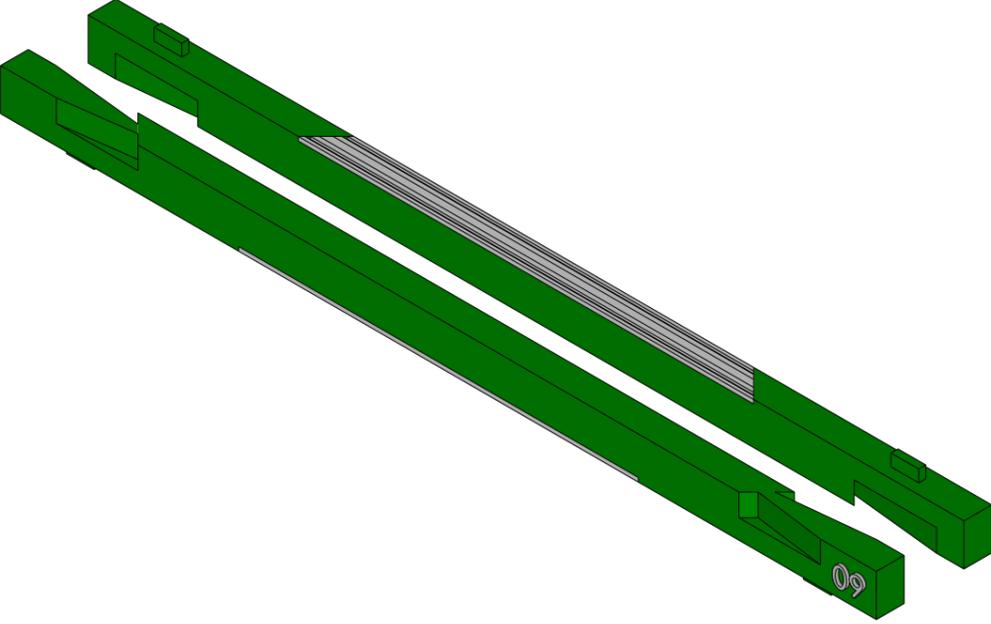
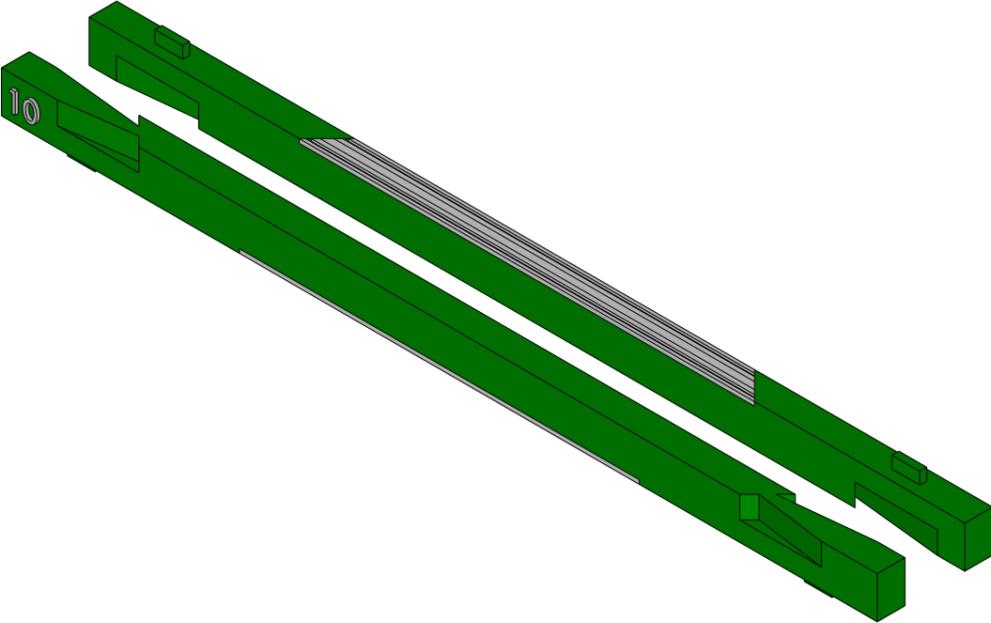


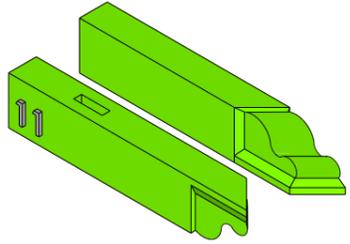
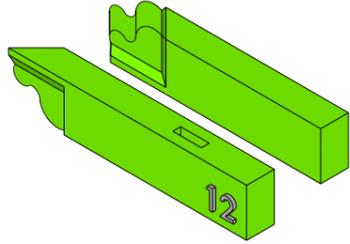
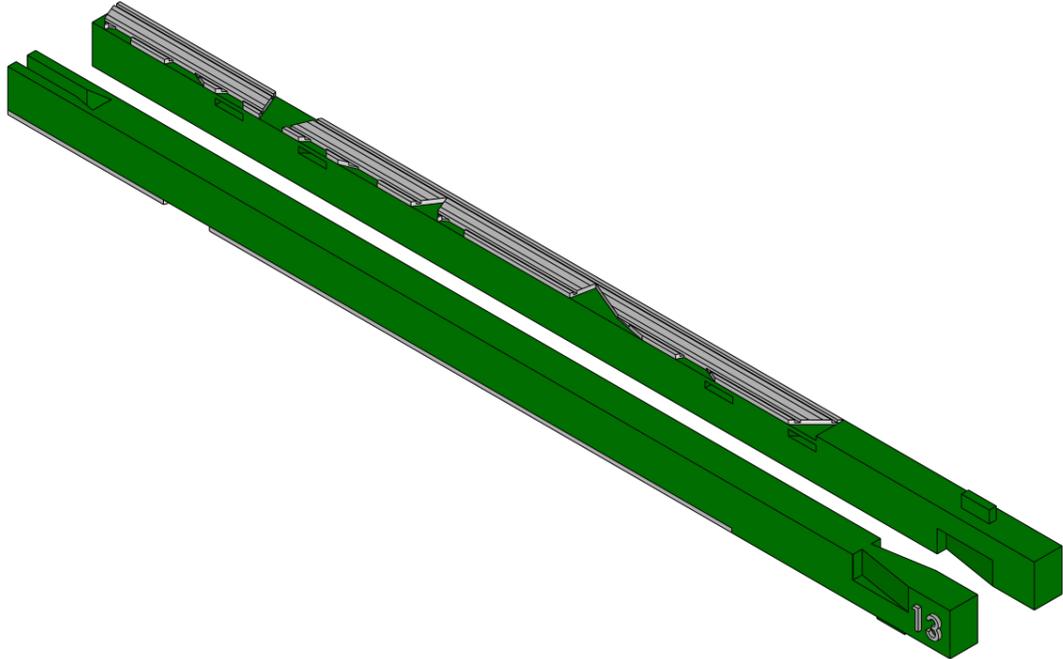
LISTA DE PIEZAS

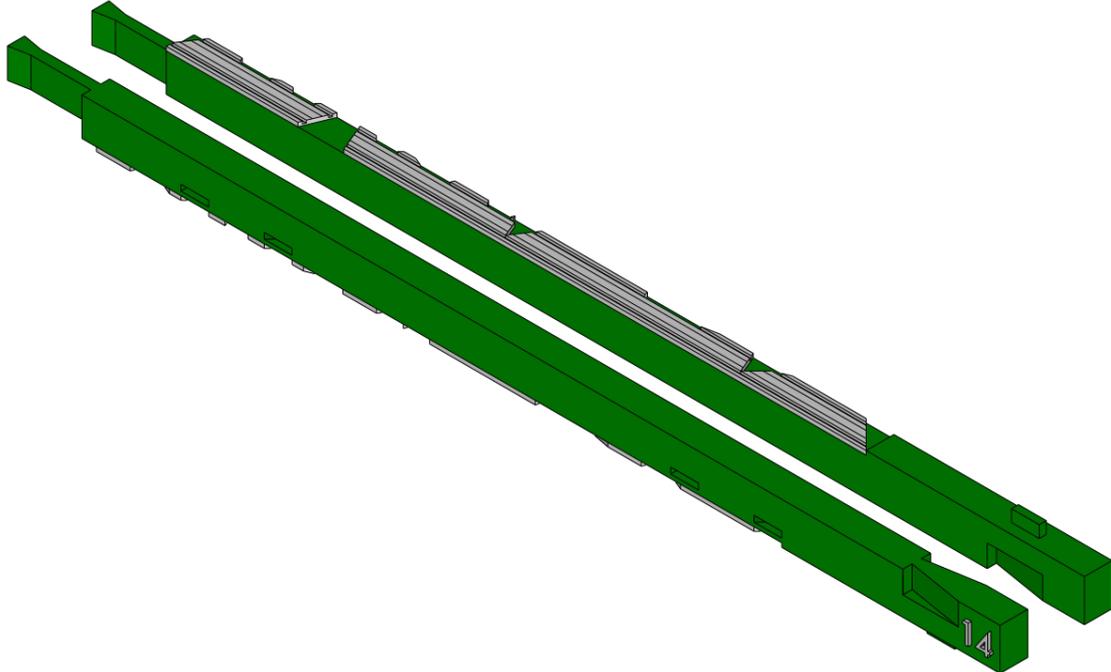
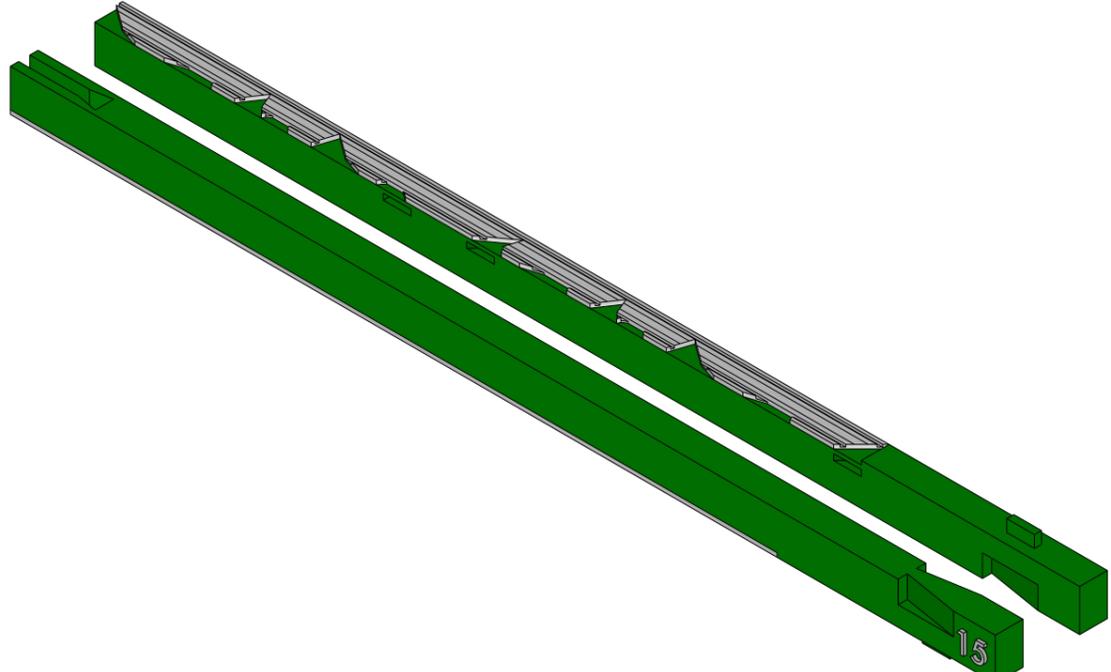
<p>01</p>		<p>x2</p>	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 1 (01,02,2x03,04) Estribo longitudinal 2 (01,05,2x03,06)</p>
<p>02</p>		<p>x1</p>	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 1 (01,02,2x03,04)</p>
<p>03</p>		<p>x4</p>	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 1 (01,02,2x03,04) Estribo longitudinal 2 (01,05,2x03,06)</p>

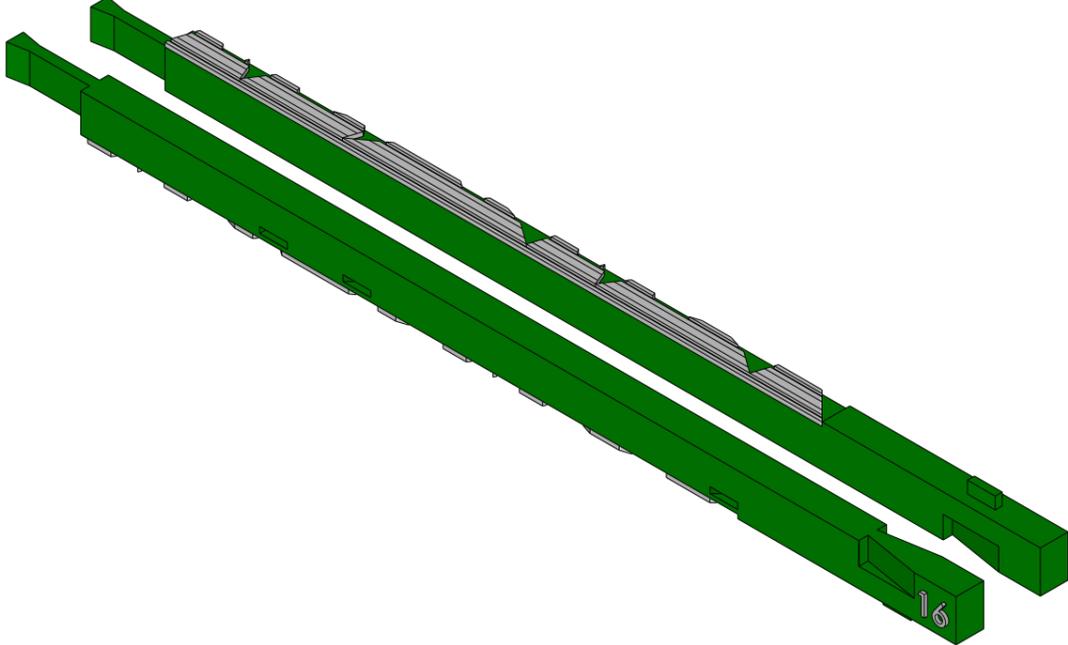
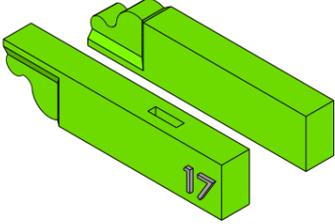
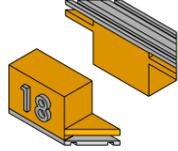
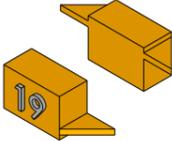
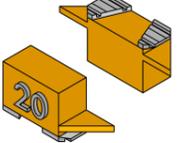
04		x1	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 1 (01,02,2x03,04)</p>
05		x1	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 2 (01,05,2x03,06)</p>
06		x1	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo longitudinal 2 (01,05,2x03,06)</p>

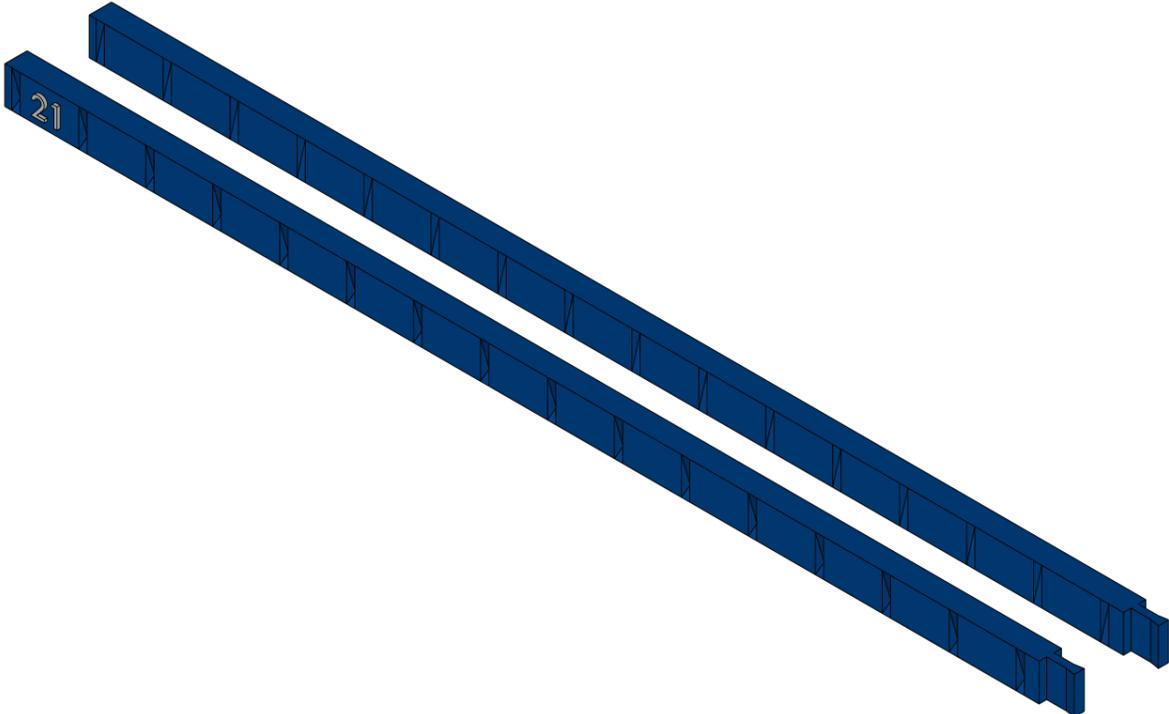
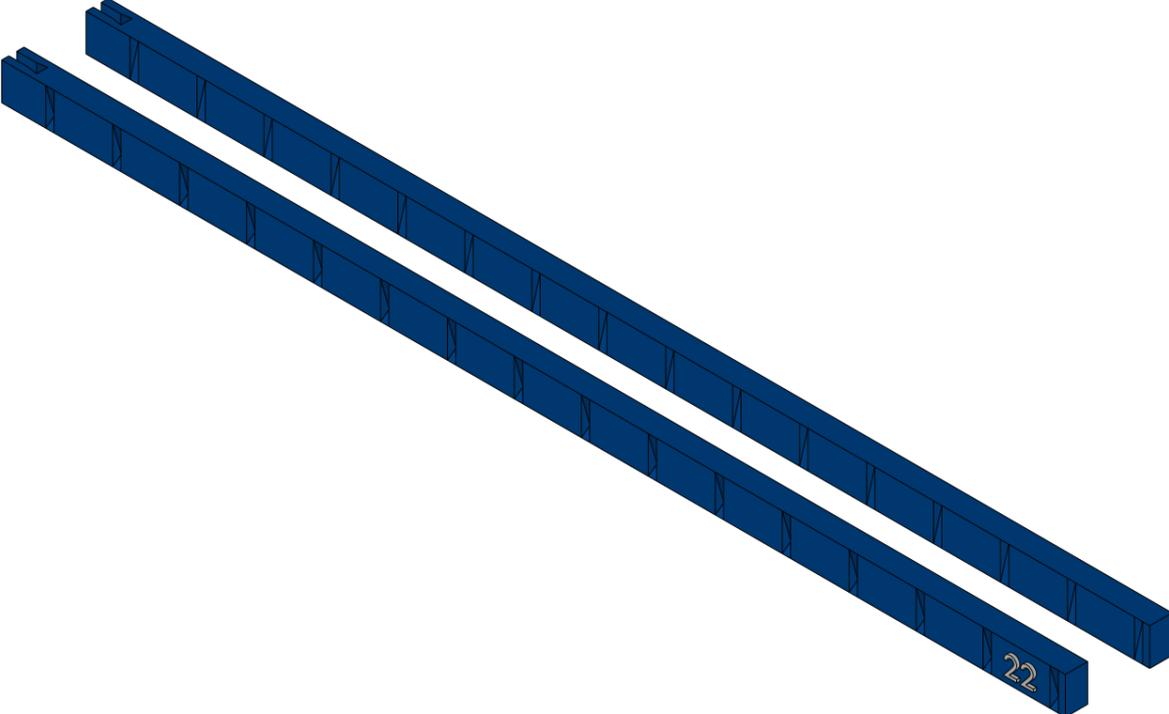
<p>07</p>		<p>x1</p>	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo Trasversal (07,08)</p>
<p>08</p>		<p>x1</p>	<p>ESTRIBO - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Estribo Trasversal (07,08)</p>

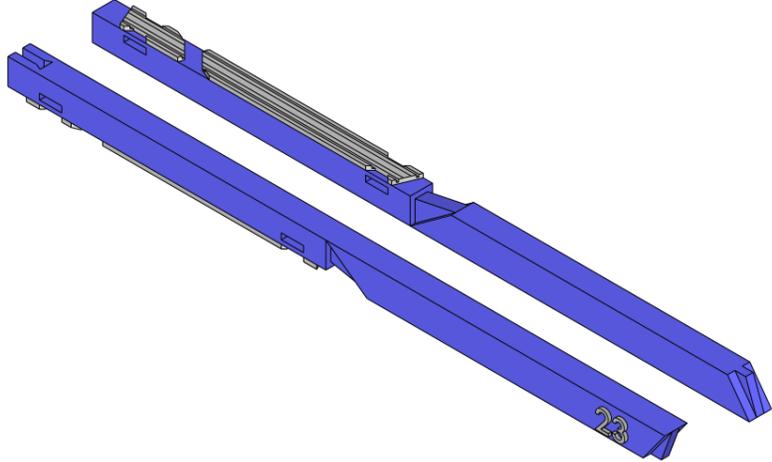
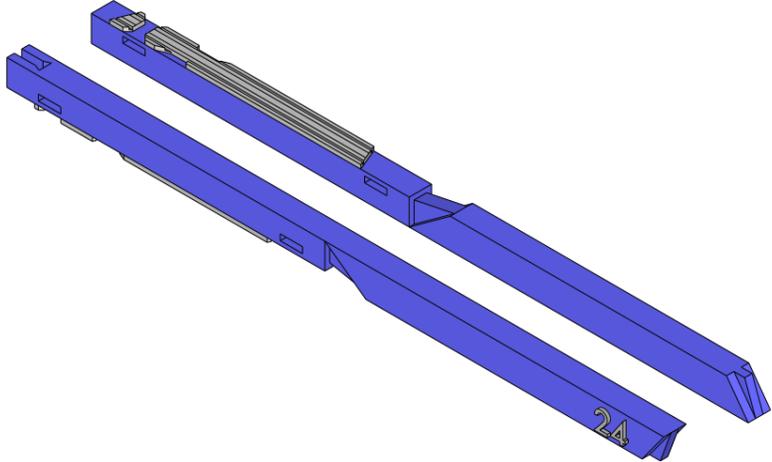
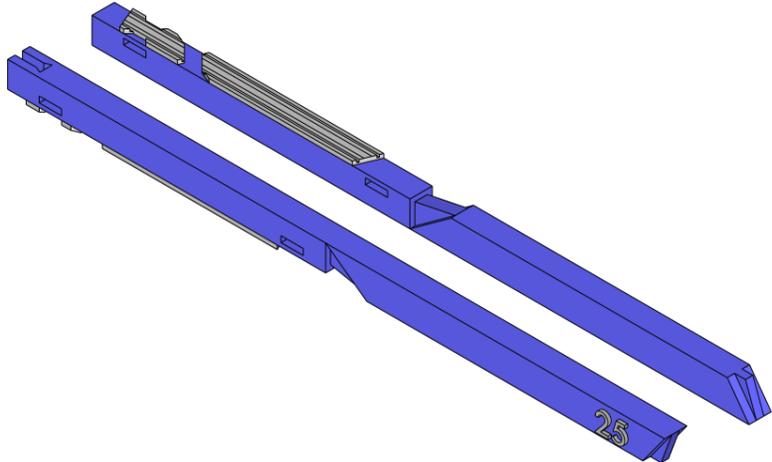
09		x1	CUADRAL
10		x1	CUADRAL

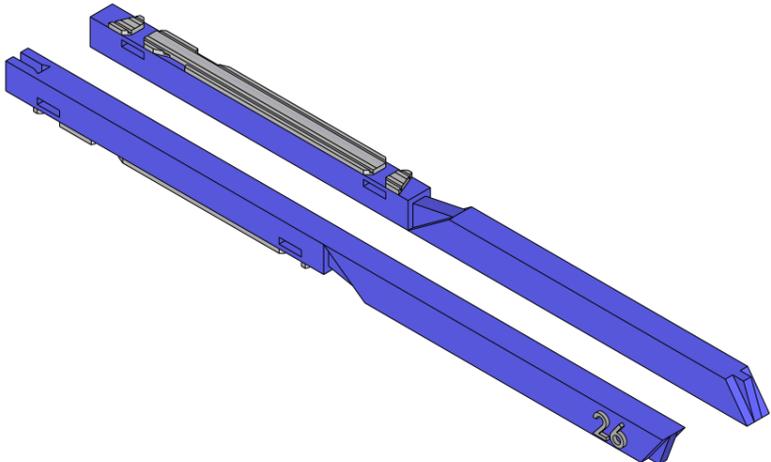
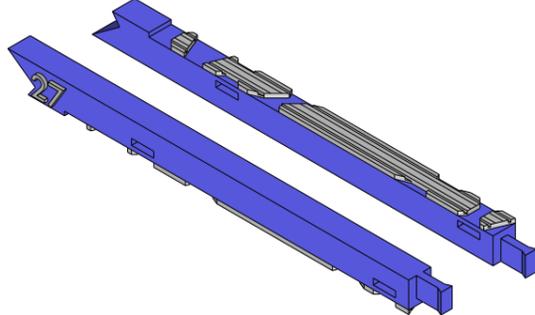
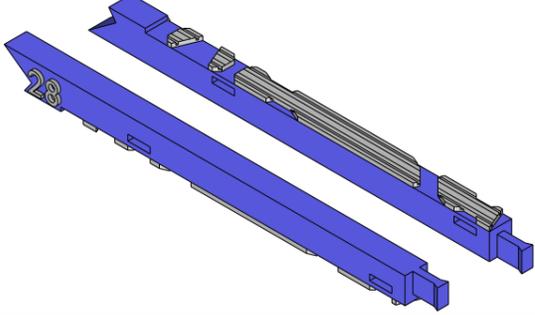
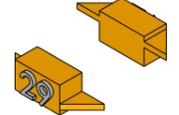
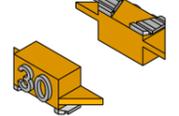
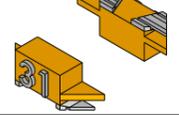
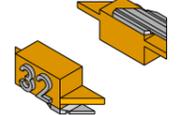
11		x2	CAN - Cuadral
12		x2	CAN - Cuadral
13		x4	TIRANTE - <i>Subparte</i> Incluido en: Tirante 1 (2x13,2x14)

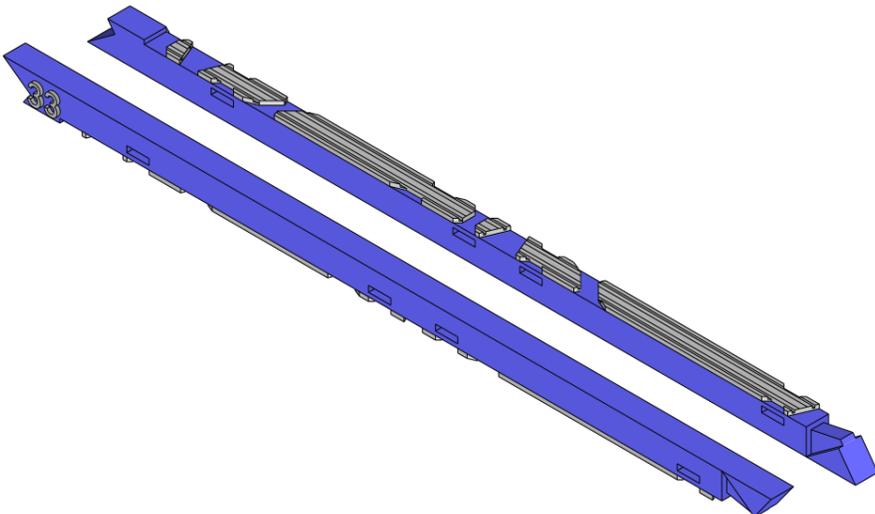
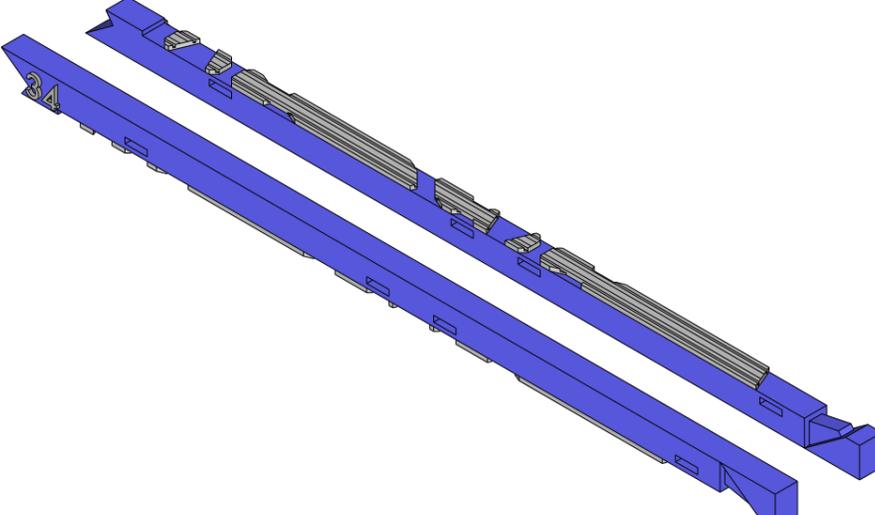
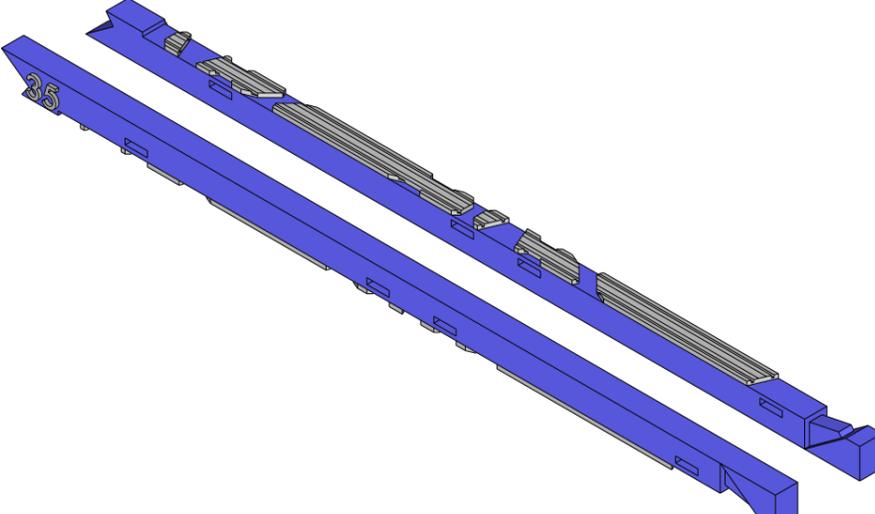
<p>14</p>		<p>x4</p>	<p>TIRANTE - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Tirante 1 (2x13,2x14)</p>
<p>15</p>		<p>x4</p>	<p>TIRANTE - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Tirante 2 (2x15,2x16)</p>

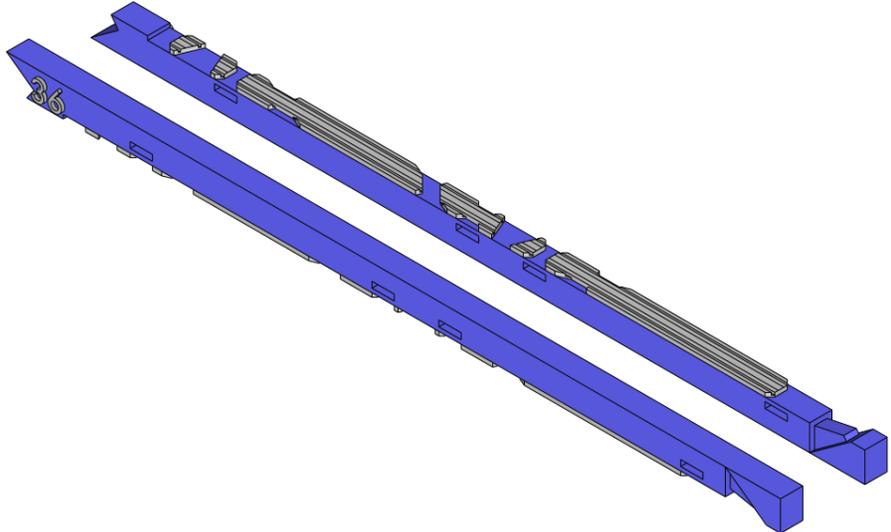
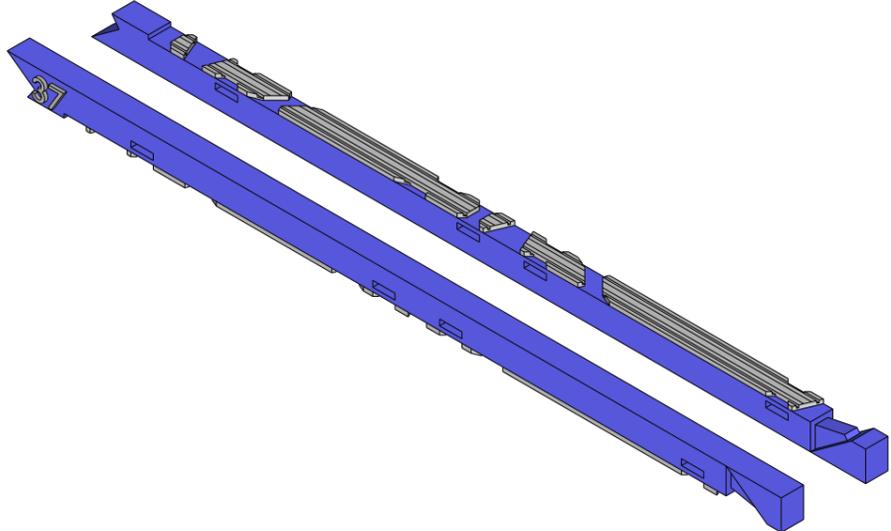
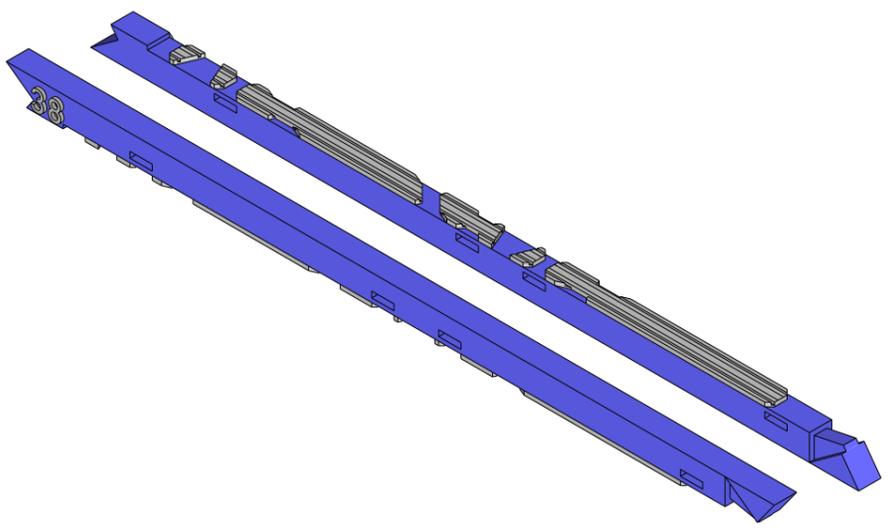
16		x4	<p>TIRANTE - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Tirante 2 (2x15,2x16)</p>
17		x16	CAN - Tirante
18		x8	PEINAZO - Tirante
19		x12	PEINAZO - Tirante
20		x8	PEINAZO - Tirante

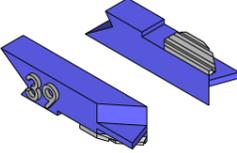
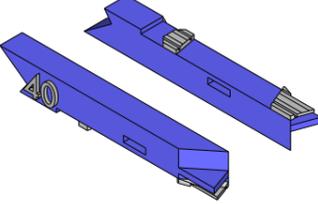
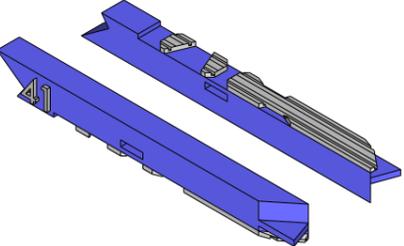
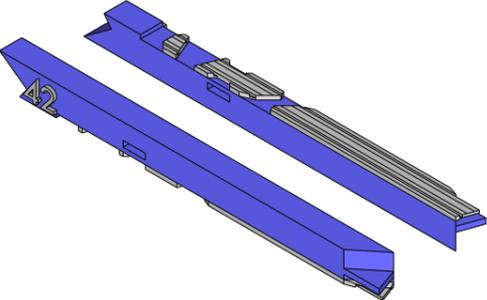
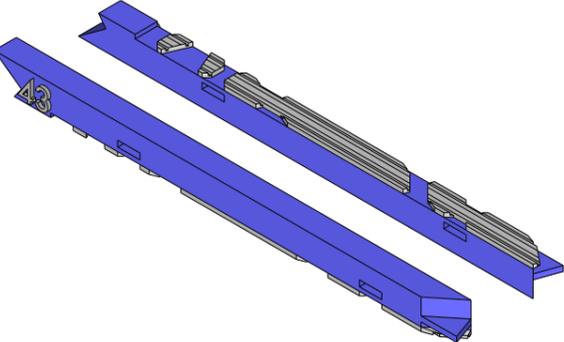
<p>21</p>		<p>x1</p>	<p>HILERA - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Hilera (21,22)</p>
<p>22</p>		<p>x1</p>	<p>HILERA - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Hilera (21,22)</p>

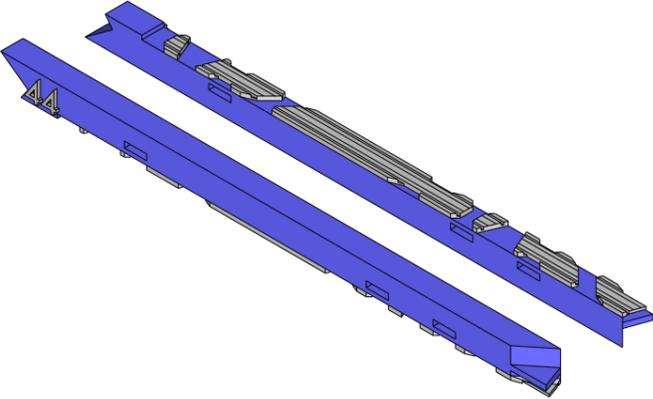
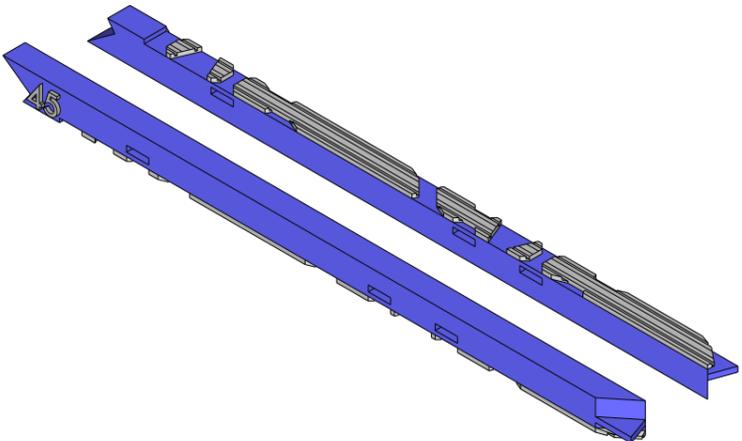
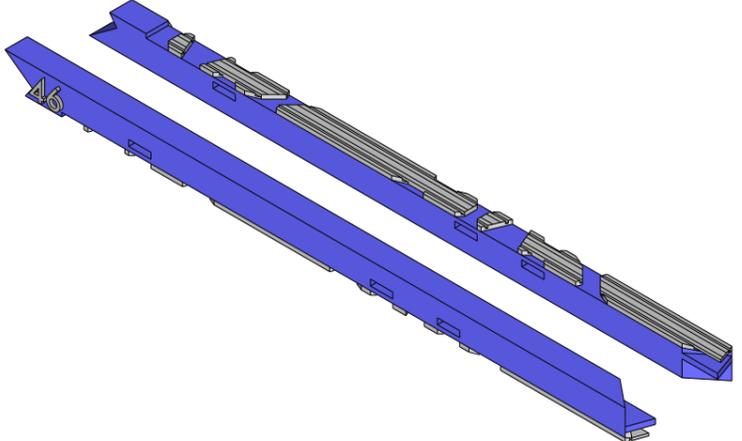
23		x16	<p>PAR - Gualdera - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Par 1 (23,27)</p>
24		x16	<p>PAR - Gualdera - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Par 2 (24,28)</p>
25		x16	<p>PAR - Gualdera - <i>Subparte</i></p> <p>Incluido en: Par 3 (25,27)</p>

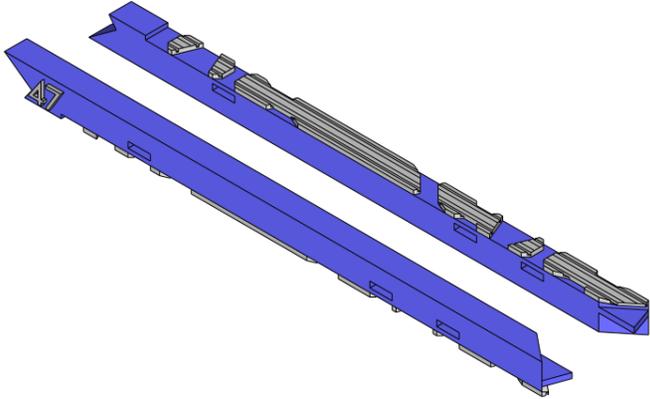
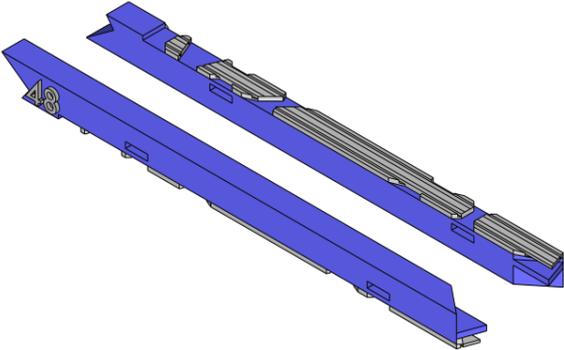
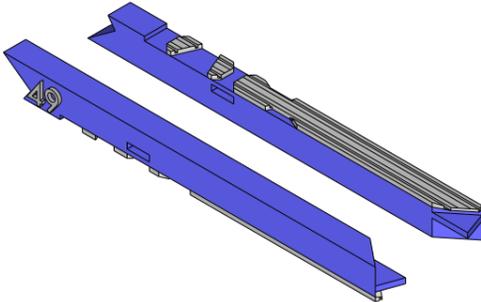
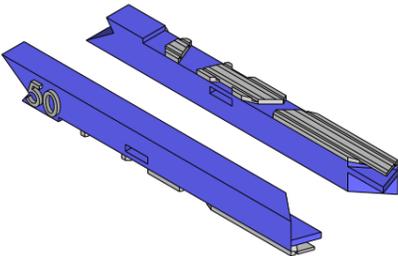
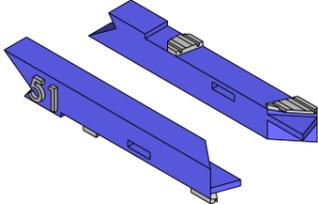
26		x16	<p>PAR - Gualdera - Subparte</p> <p>Incluido en: Par 4 (26,28)</p>
27		x32	<p>PAR - Gualdera - Subparte</p> <p>Incluido en: Par 1 (23,27) Par 3 (25,27)</p>
28		x32	<p>PAR - Gualdera - Subparte</p> <p>Incluido en: Par 2 (24,28) Par 4 (26,28)</p>
29		x36	<p>PEINAZO - Faldones</p>
30		x158	<p>PEINAZO - Faldones</p>
31		x108	<p>PEINAZO - Faldones</p>
32		x18	<p>PEINAZO - Faldones</p>

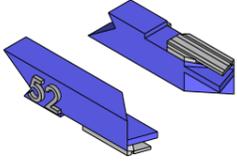
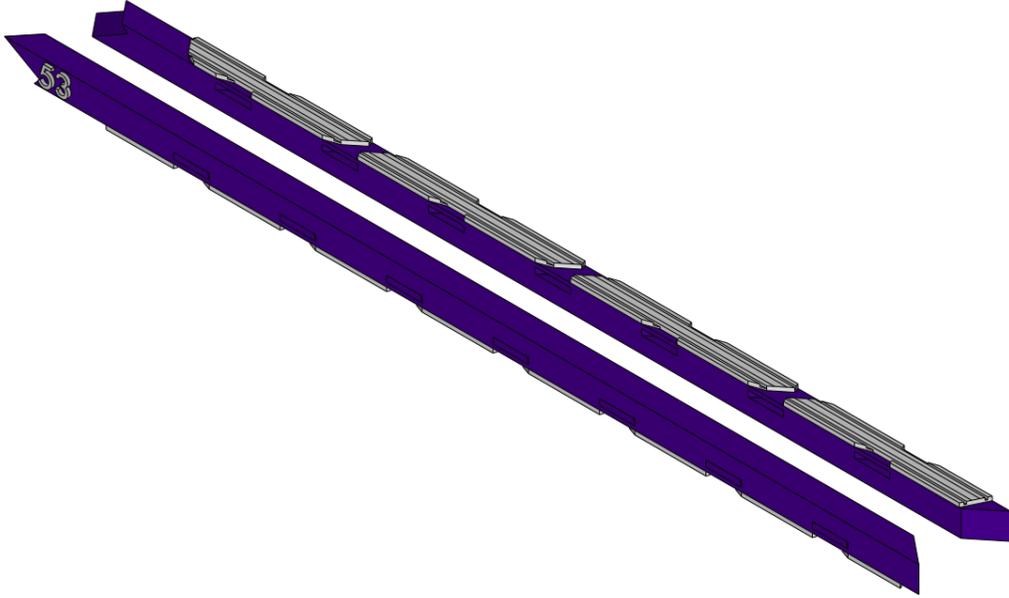
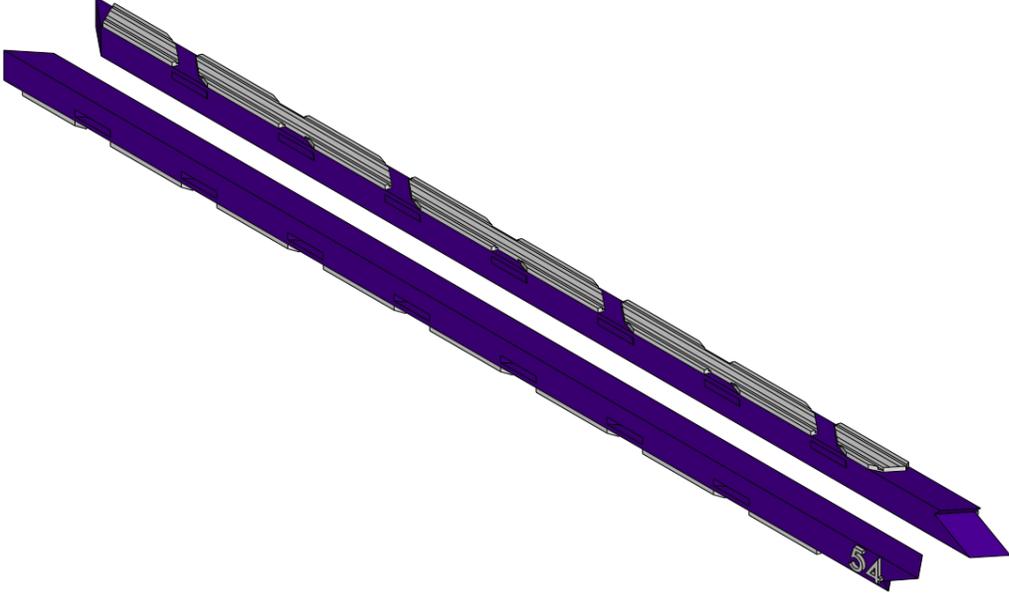
33		x1	MANGUETA - Testero
34		x2	MANGUETA - Testero
35		x2	MANGUETA - Testero

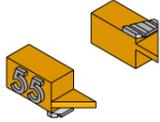
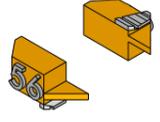
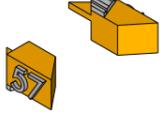
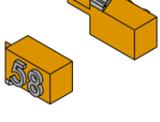
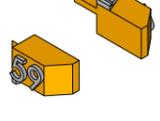
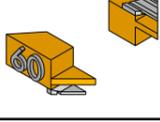
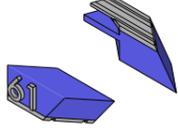
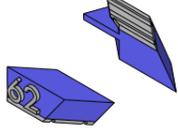
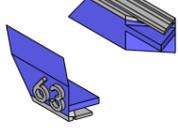
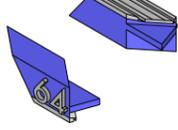
36		x1	MANGUETA - Testero
37		x1	MANGUETA - Testero
38		x1	MANGUETA - Testero

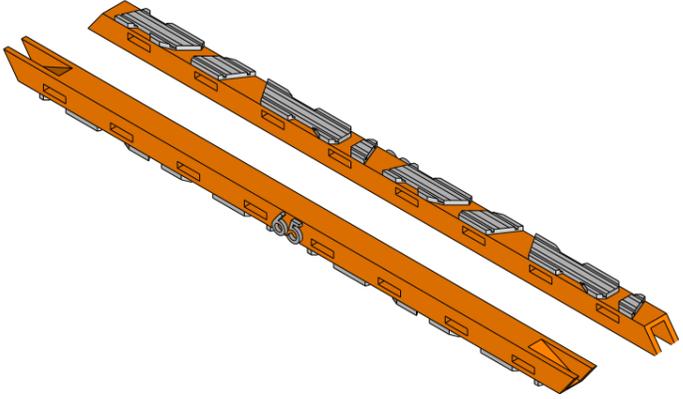
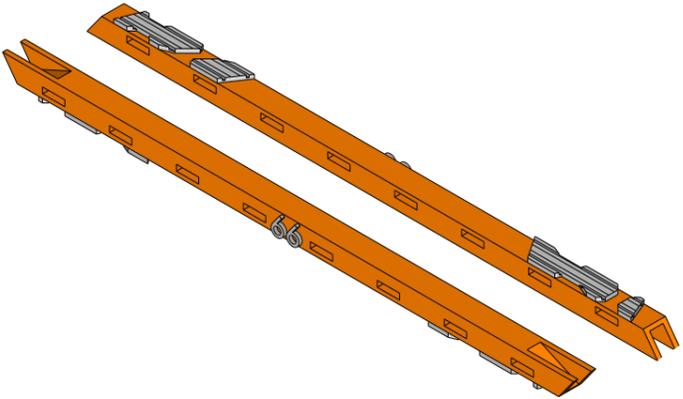
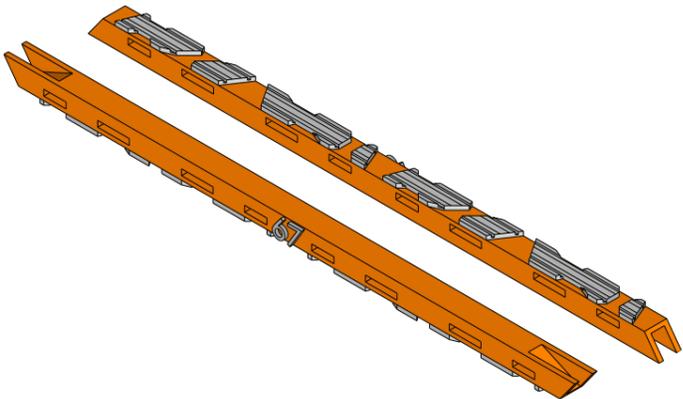
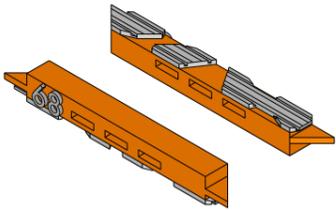
39		x2	PÉNDOLA
40		x2	PÉNDOLA
41		x2	PÉNDOLA
42		x2	PÉNDOLA
43		x2	PÉNDOLA

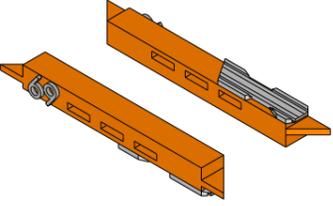
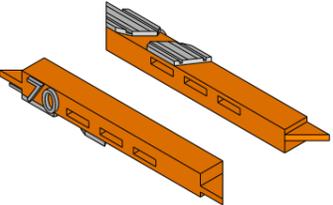
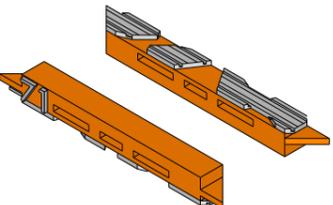
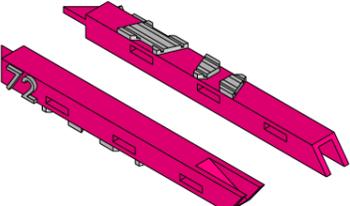
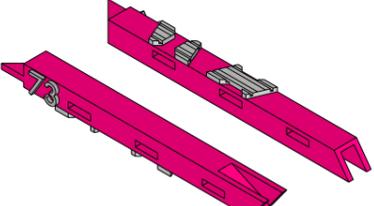
44		x2	PÉNDOLA
45		x2	PÉNDOLA
46		x2	PÉNDOLA

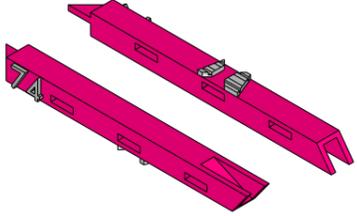
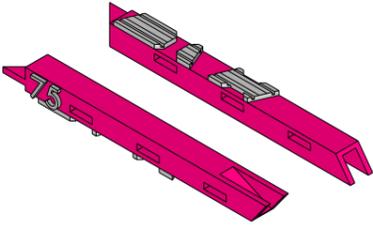
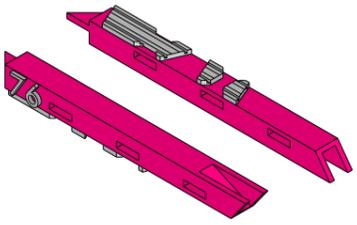
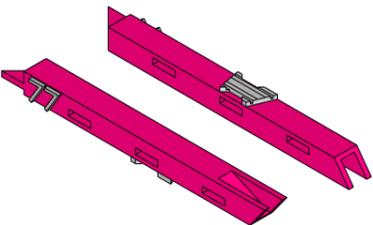
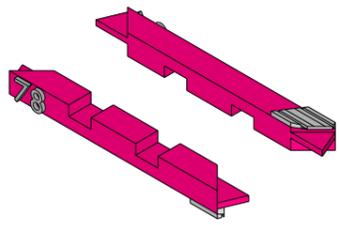
47		x2	PÉNDOLA
48		x2	PÉNDOLA
49		x2	PÉNDOLA
50		x2	PÉNDOLA
51		x2	PÉNDOLA

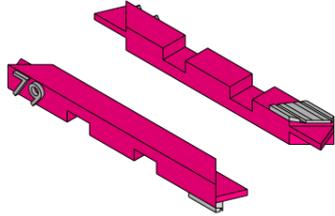
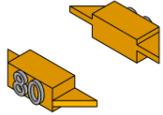
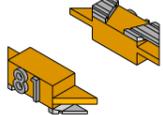
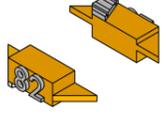
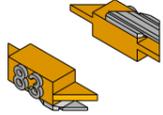
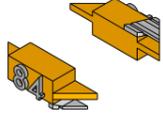
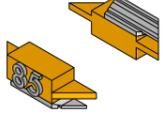
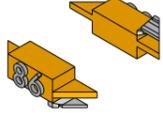
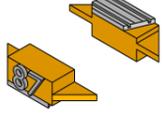
52		x2	PÉNDOLA
53		x2	LIMA MOAMAR
54		x2	LIMA MOAMAR

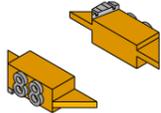
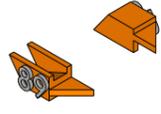
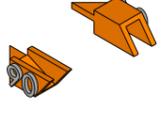
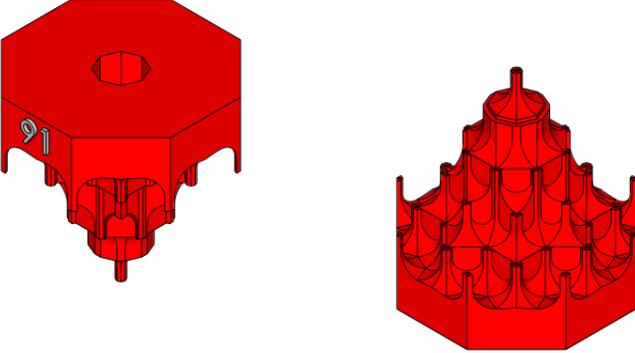
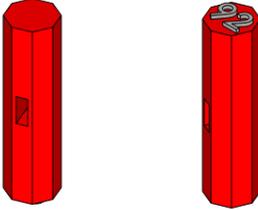
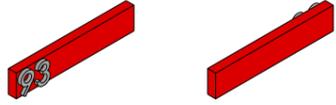
55		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
56		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
57		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
58		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
59		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
60		x2	PEINAZO - Faldones (esquinas)
61		x6	ARROCABA
62		x8	ARROCABA
63		x8	ARROCABA
64		x6	ARROCABA

65		x8	NUDILLO
66		x2	NUDILLO
67		x6	NUDILLO
68		x8	NUDILLO - Unión trasversal

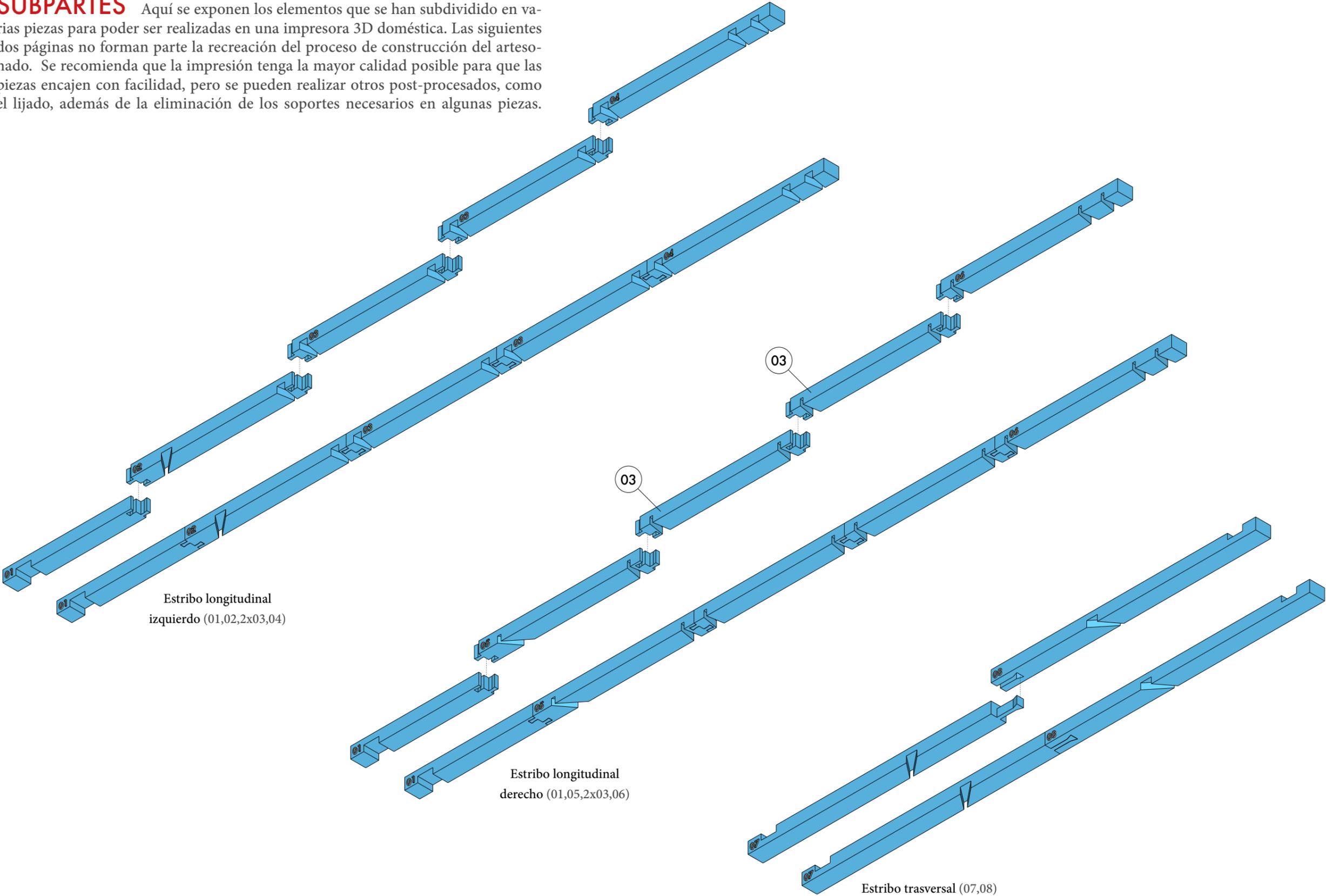
69		x2	NUDILLO - Unión trasversal
70		x2	NUDILLO - Unión trasversal
71		x8	NUDILLO - Unión trasversal
72		x8	NUDILLO - Cuartillejo
73		x8	NUDILLO - Cuartillejo

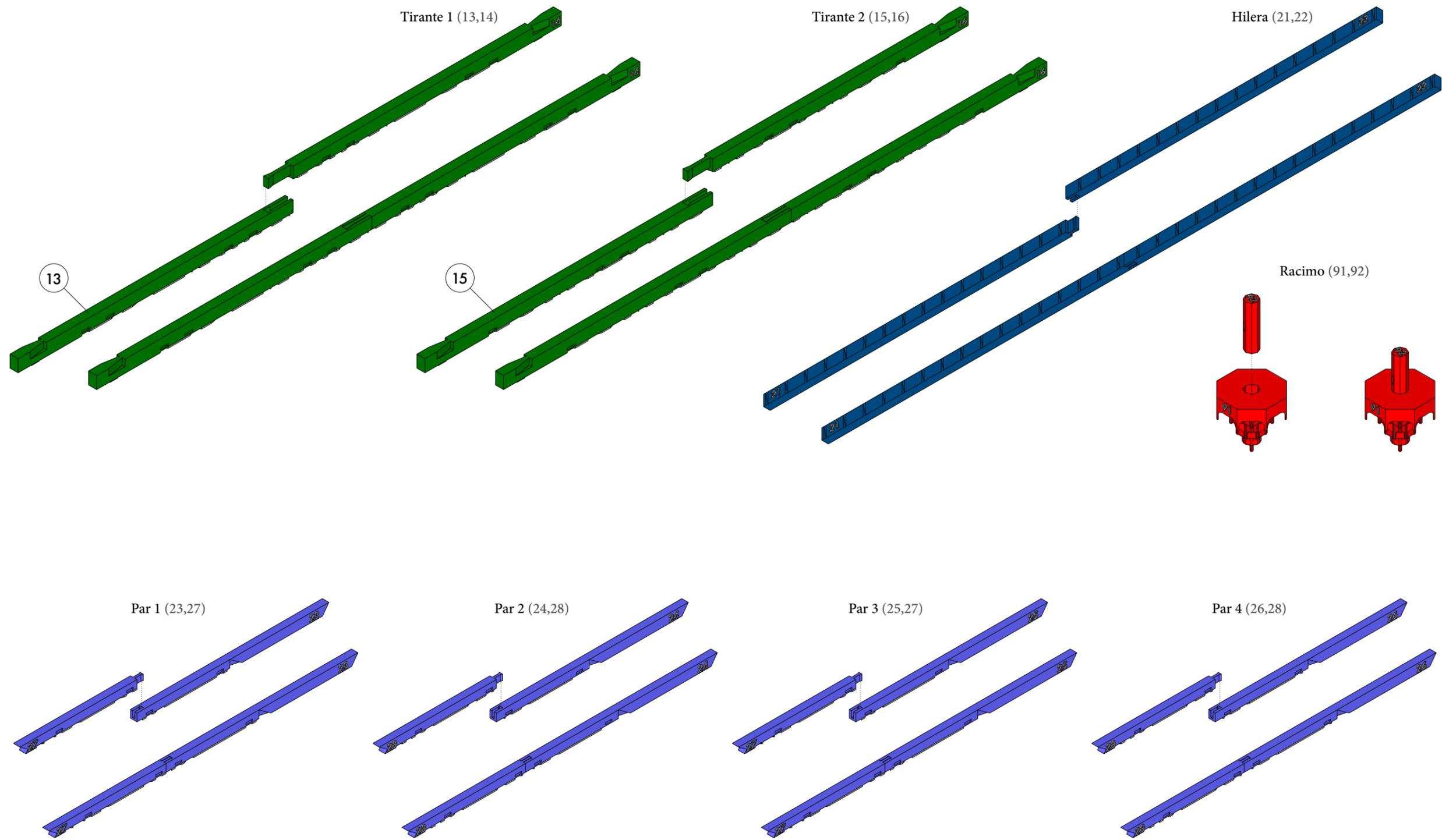
74		x2	NUDILLO - Cuartillejo
75		x2	NUDILLO - Cuartillejo
76		x2	NUDILLO - Cuartillejo
77		x2	NUDILLO - Cuartillejo
78		x8	CUARTILLEJO - Diagonal

79		x8	CUARTILLEJO - Diagonal
80		x38	PEINAZO - Almizate
81		x46	PEINAZO - Almizate
82		x20	PEINAZO - Almizate
83		x12	PEINAZO - Almizate
84		x20	PEINAZO - Almizate
85		x2	PEINAZO - Almizate
86		x2	PEINAZO - Almizate
87		x2	PEINAZO - Almizate

88		x2	PEINAZO - Almizate
89		x8	NUDILLO - Testero/Cuartillejo diagonal
90		x8	NUDILLO- Testero/Cuartillejo diagonal
91		x1	MOCÁRABE - <i>Subparte</i> Incluido en: Racimo (91,92)
92		x1	MOCÁRABE (Nabo)- <i>Subparte</i> Incluido en: Racimo (91,92)
93		x1	MOCÁRABE - Telera

SUBPARTES Aquí se exponen los elementos que se han subdividido en varias piezas para poder ser realizadas en una impresora 3D doméstica. Las siguientes dos páginas no forman parte la recreación del proceso de construcción del artesonado. Se recomienda que la impresión tenga la mayor calidad posible para que las piezas encajen con facilidad, pero se pueden realizar otros post-procesados, como el lijado, además de la eliminación de los soportes necesarios en algunas piezas.



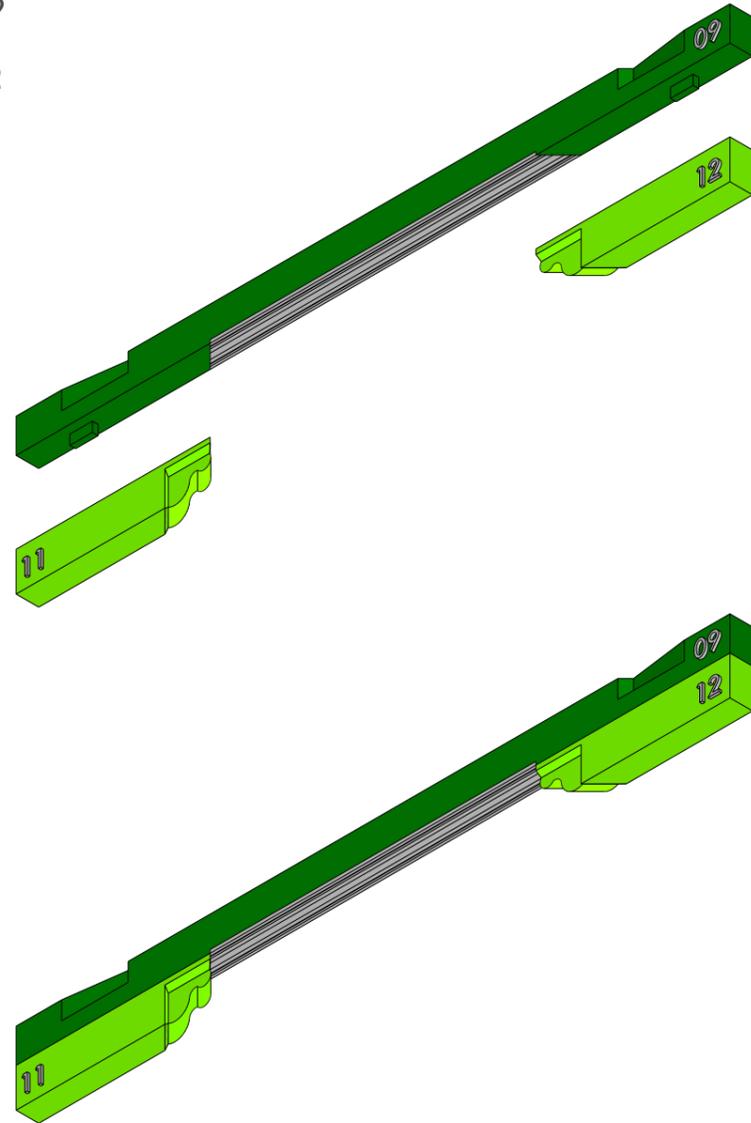


TIRANTES

En este apartado se mostrará el montaje de los tirantes y cuadrales de la armadura. Su función principal es la de aguantar el total de los esfuerzos horizontales que se producen en los faldones, la de los canes, es la de reducir la luz que tienen que abarcar estos tirantes. Al colocar varios tirantes repartidos por todo el largo del artesonado reducimos la cantidad de flexión a la que se ven sometidos los estribos gracias a reducir la longitud de los tramos que están afectados por las fuerzas horizontales transmitidas por los pares. En el proceso de construcción real los tirantes se apoyarían encima de los canes y funcionarían por gravedad, pero para simplificar el montaje de la maqueta se han realizado unos salientes en los tirantes para que encajen en los canes y poder manipularlos globalmente. Los canes se situaban sobre una pieza longitudinal de madera, la solera, la cual se clavaba a los nudillos, unas piezas pequeñas de madera empotrados a la cabeza del muro.

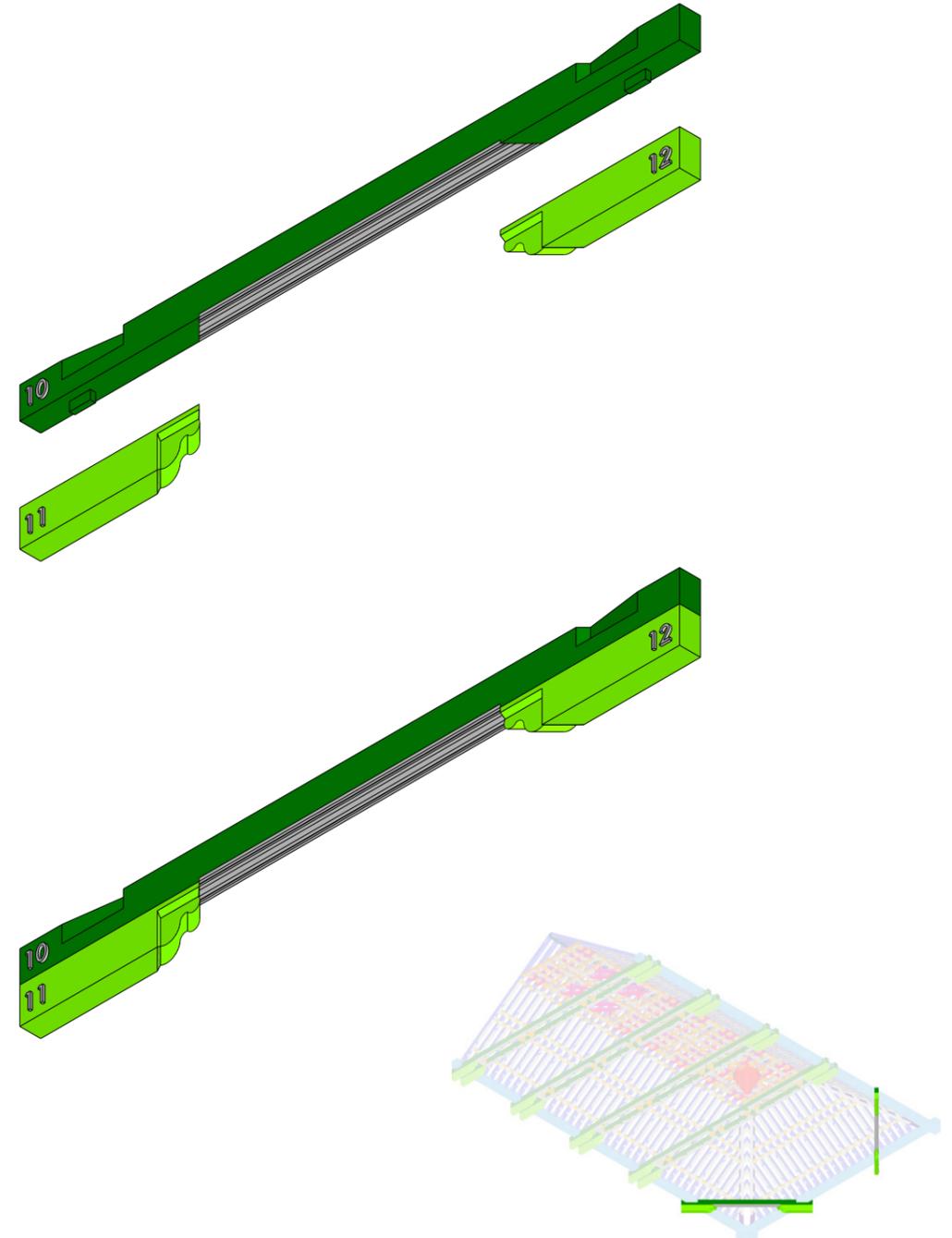
x1 CUADRAL 1

- x1 - 09
- x1 - 11
- x1 - 12



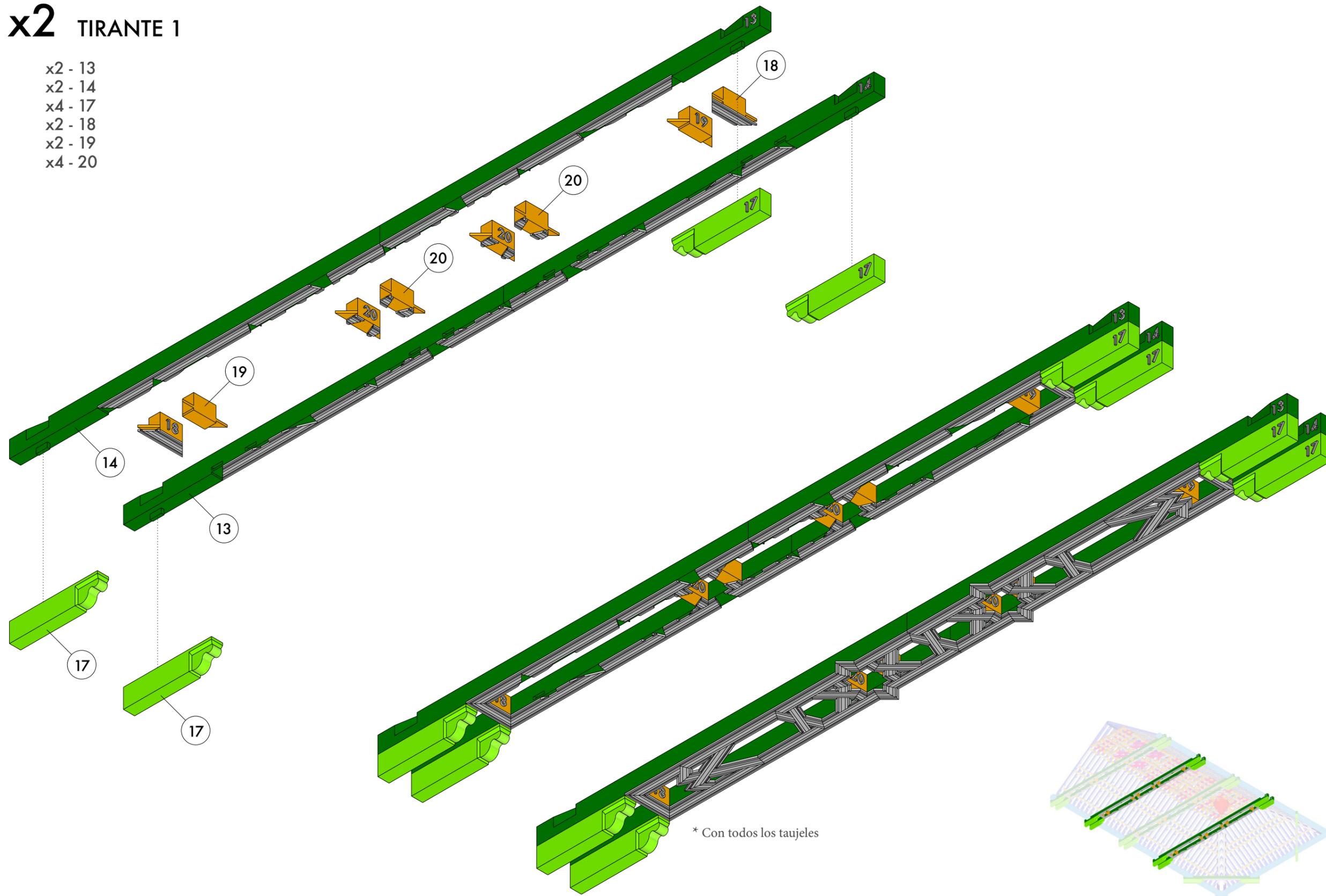
x1 CUADRAL 2

- x1 - 10
- x1 - 11
- x1 - 12



x2 TIRANTE 1

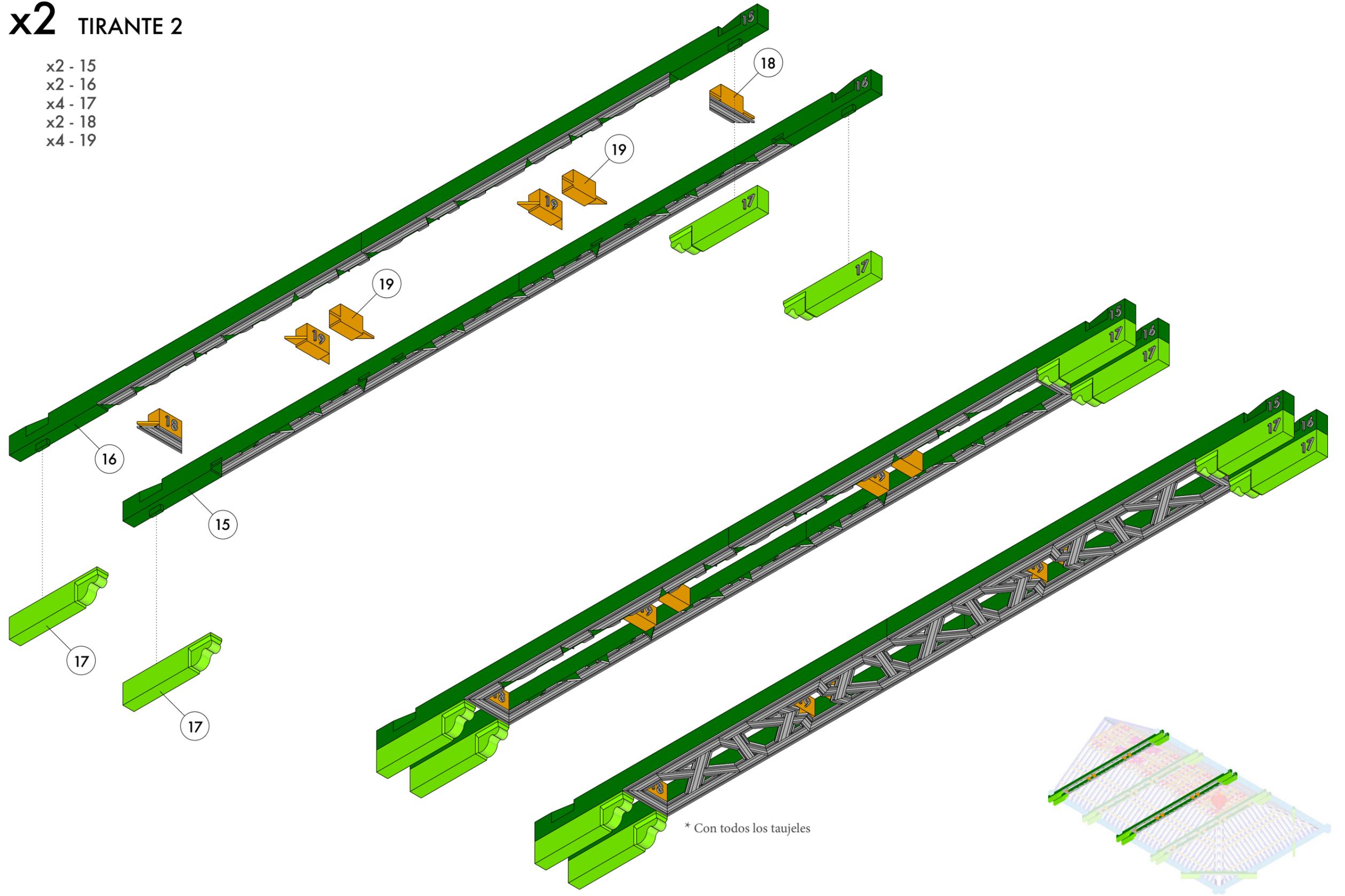
- x2 - 13
- x2 - 14
- x4 - 17
- x2 - 18
- x2 - 19
- x4 - 20



* Con todos los tajeles

x2 TIRANTE 2

- x2 - 15
- x2 - 16
- x4 - 17
- x2 - 18
- x4 - 19

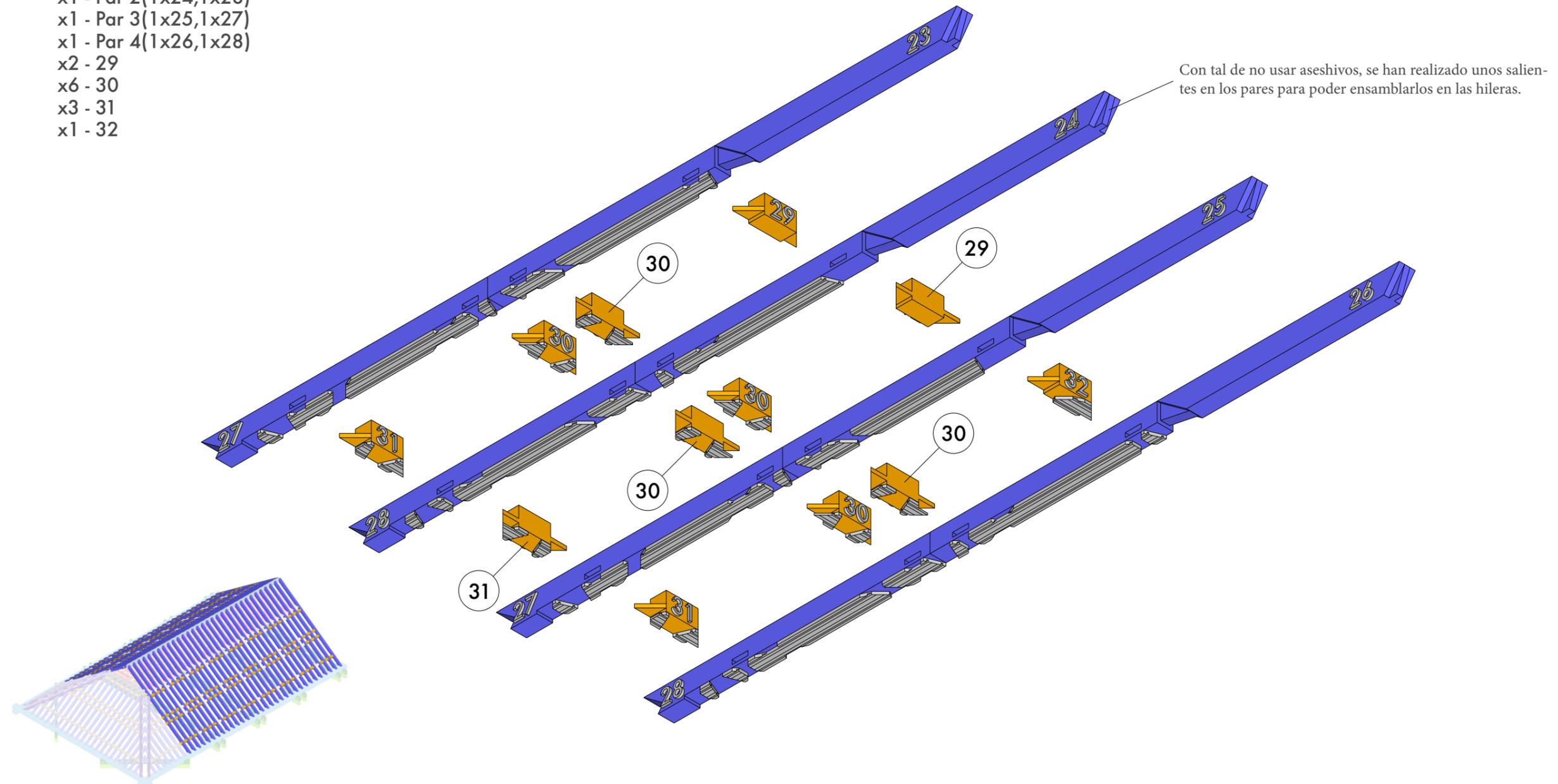


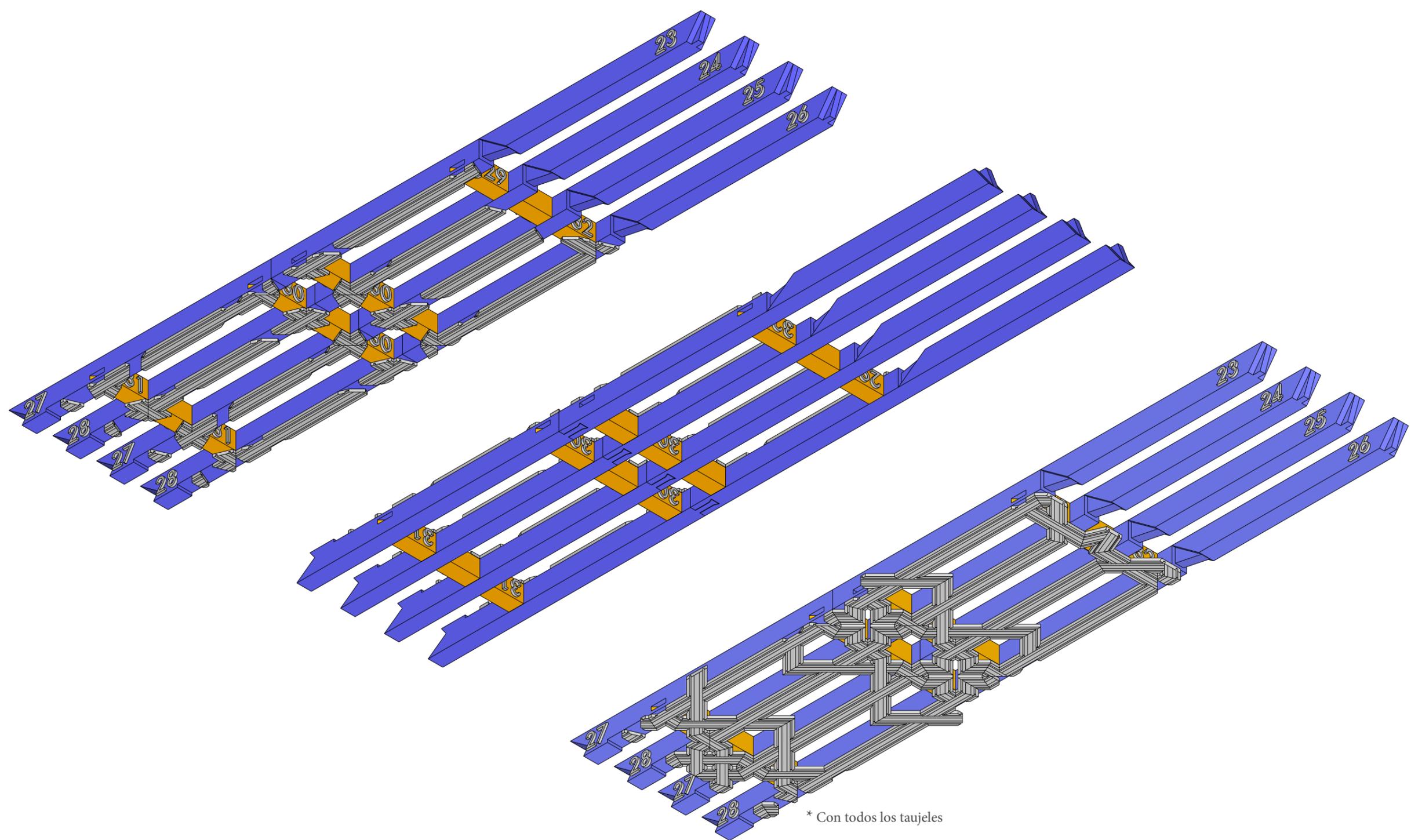
PAÑOS

En este apartado se mostrará el montaje de las piezas en las que se dividían este tipo de armaduras a la hora de la realización de su montaje final "in situ". Se podrá ver claramente la importante intencionalidad de prefabricación que subyace en este sistema, de tal manera que la fase de izado y colocación final de la armadura, la más complicada, fuera lo más breve posible manteniendo una estructura estable. También podemos observar la estandarización de este sistema, tanto de las piezas en sí, como la de las uniones entre ellas. Una vez ensamblados los elementos estructurales de cada paño, se colocaban los taujeles que completaban el diseño de lazo mediante clavos de forja, dejando la adición de los taujeles que conectan diferentes paños para el momento posterior del izado y montaje final de estos en sus lugares definitivos.

x16 PAÑO 1 - En Gualdera

- x1 - Par 1 (1x23, 1x27)
- x1 - Par 2 (1x24, 1x28)
- x1 - Par 3 (1x25, 1x27)
- x1 - Par 4 (1x26, 1x28)
- x2 - 29
- x6 - 30
- x3 - 31
- x1 - 32

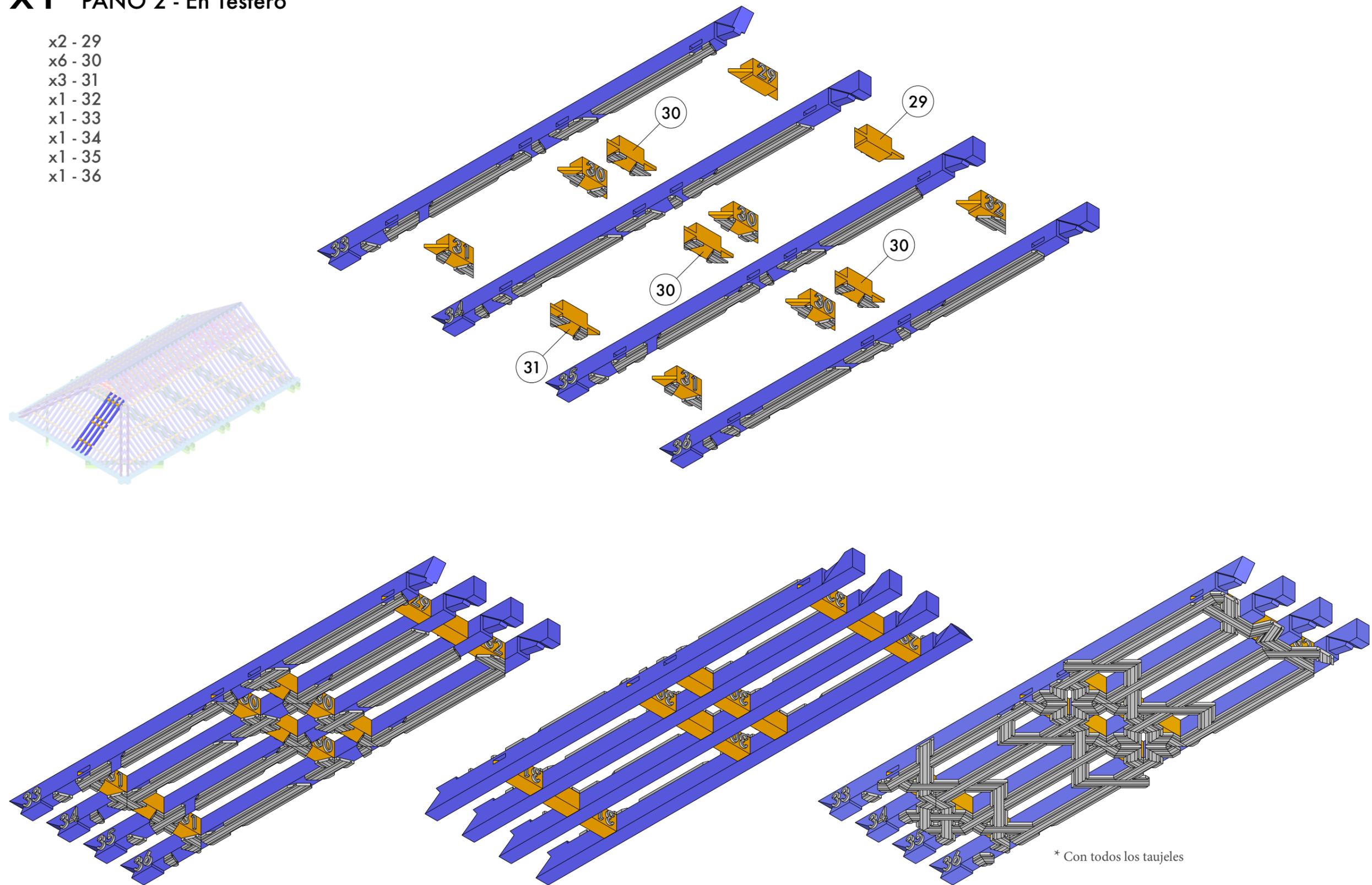




* Con todos los taujeles

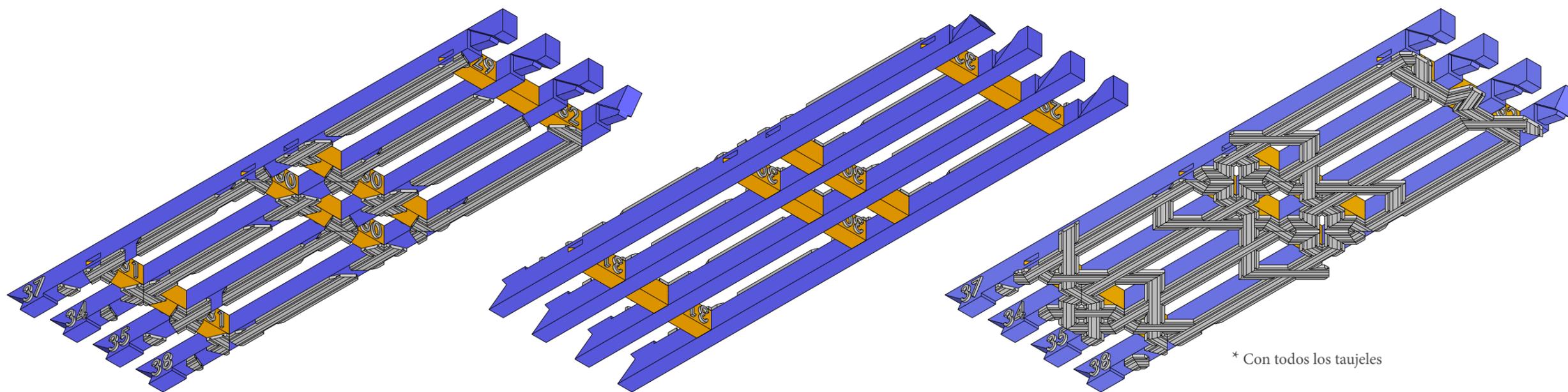
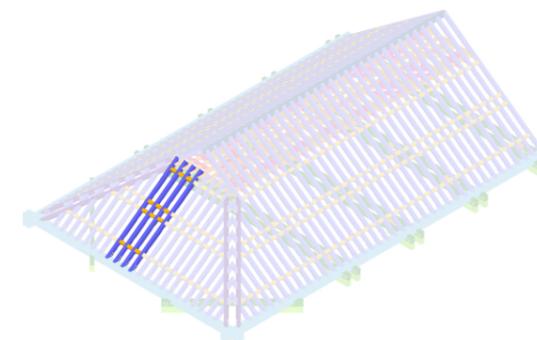
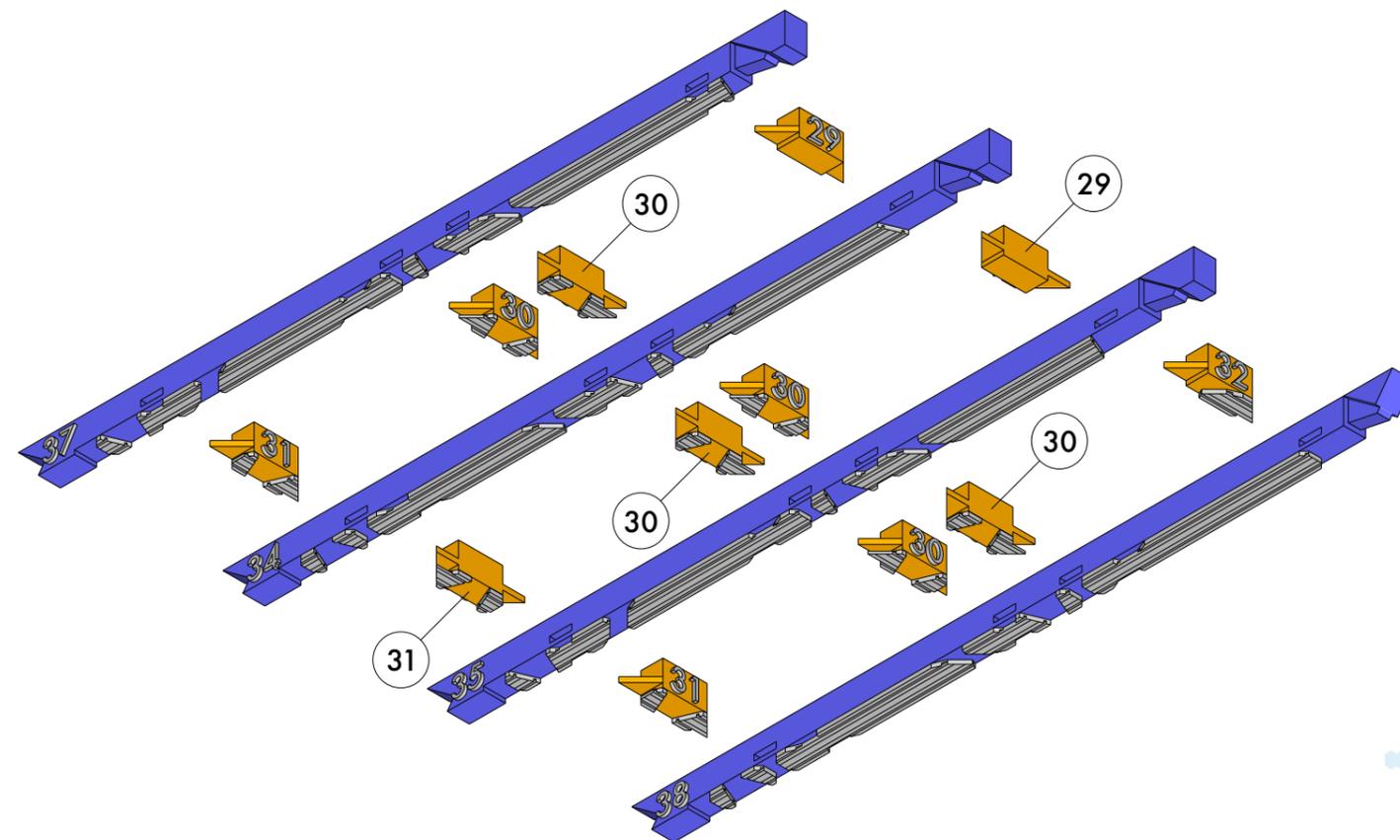
x1 PAÑO 2 - En Testero

- x2 - 29
- x6 - 30
- x3 - 31
- x1 - 32
- x1 - 33
- x1 - 34
- x1 - 35
- x1 - 36



x1 PAÑO 3 - En Testero

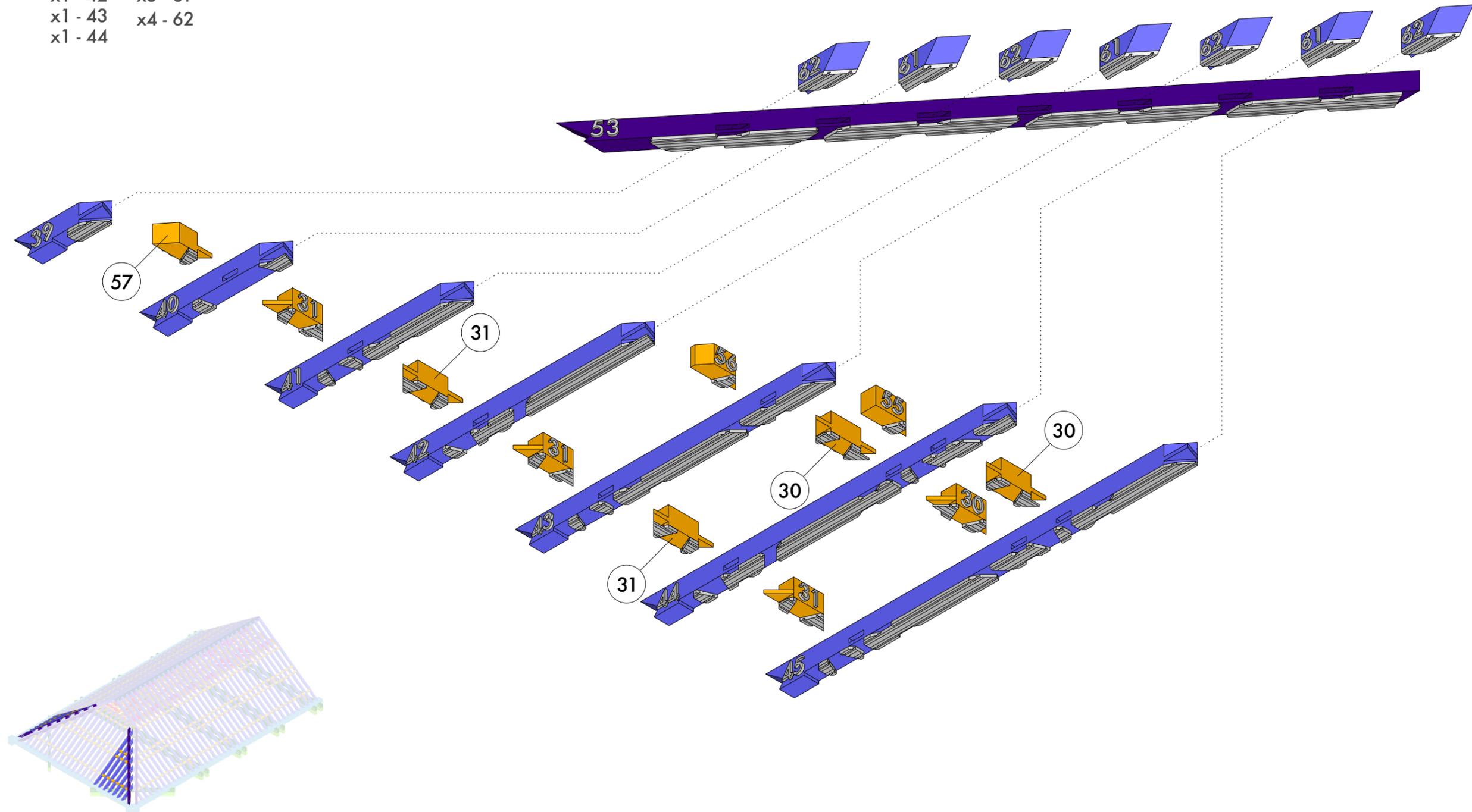
- x2 - 29
- x6 - 30
- x3 - 31
- x1 - 32
- x1 - 34
- x1 - 35
- x1 - 37
- x1 - 38

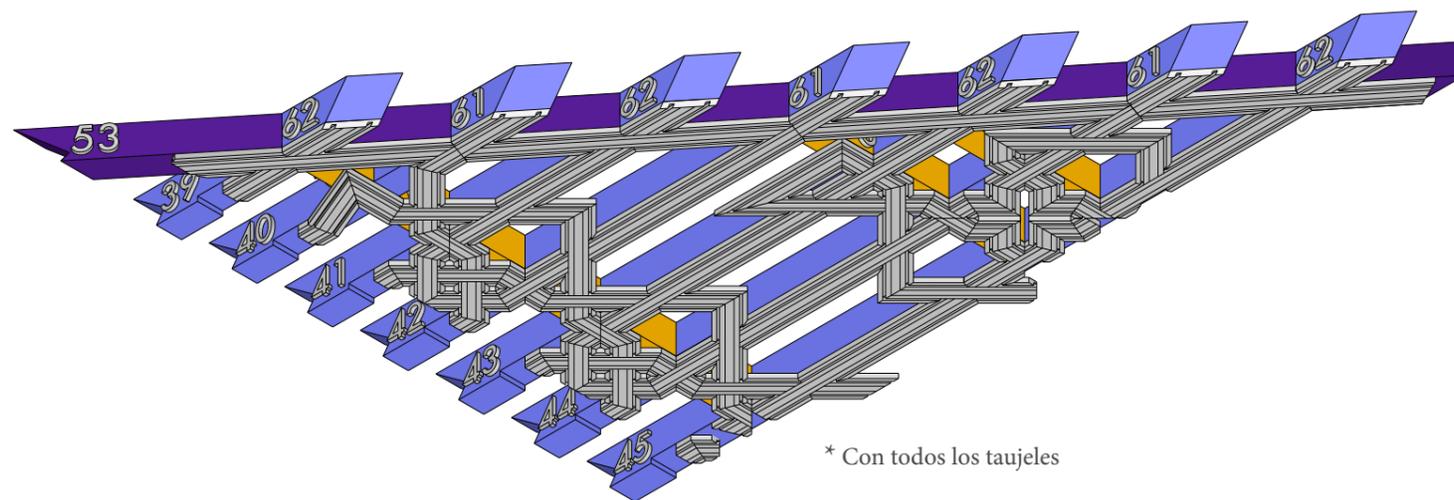
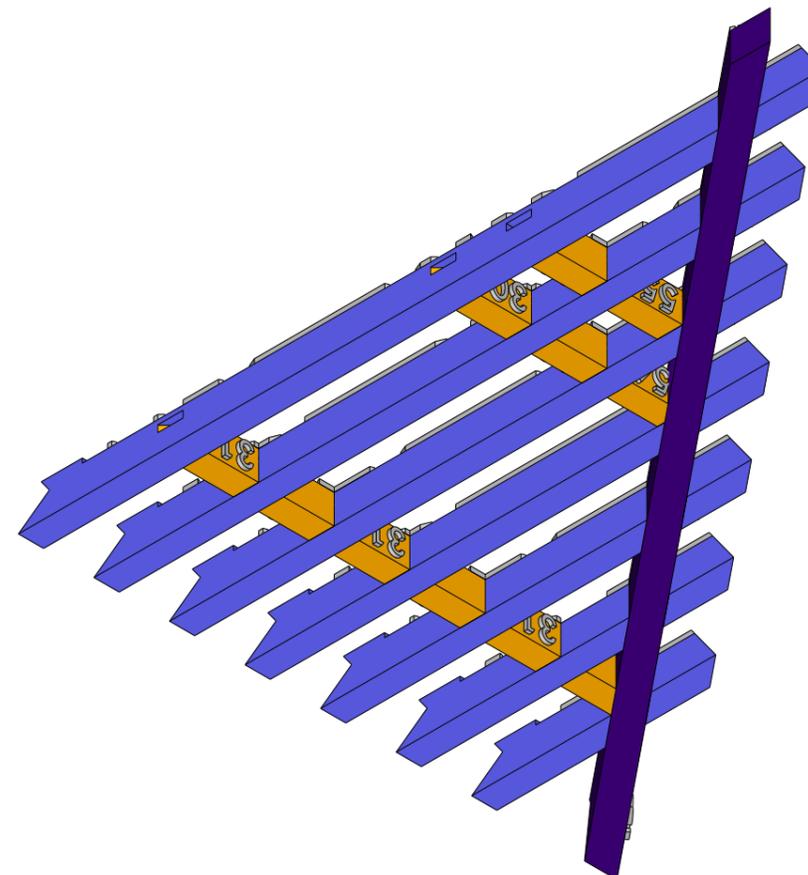
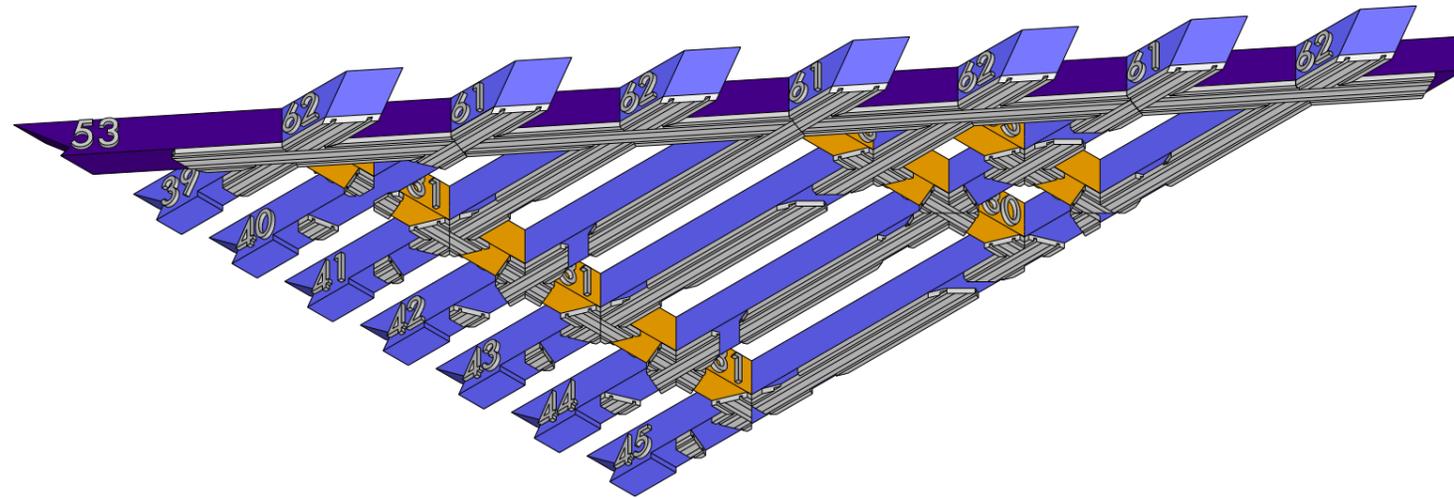


* Con todos los tajeles

x2 PAÑO 4 - En Gualdera y Testero

- x3 - 30
- x5 - 31
- x1 - 39
- x1 - 40
- x1 - 41
- x1 - 42
- x1 - 43
- x1 - 44
- x1 - 45
- x1 - 53
- x1 - 55
- x1 - 56
- x1 - 57
- x3 - 61
- x4 - 62

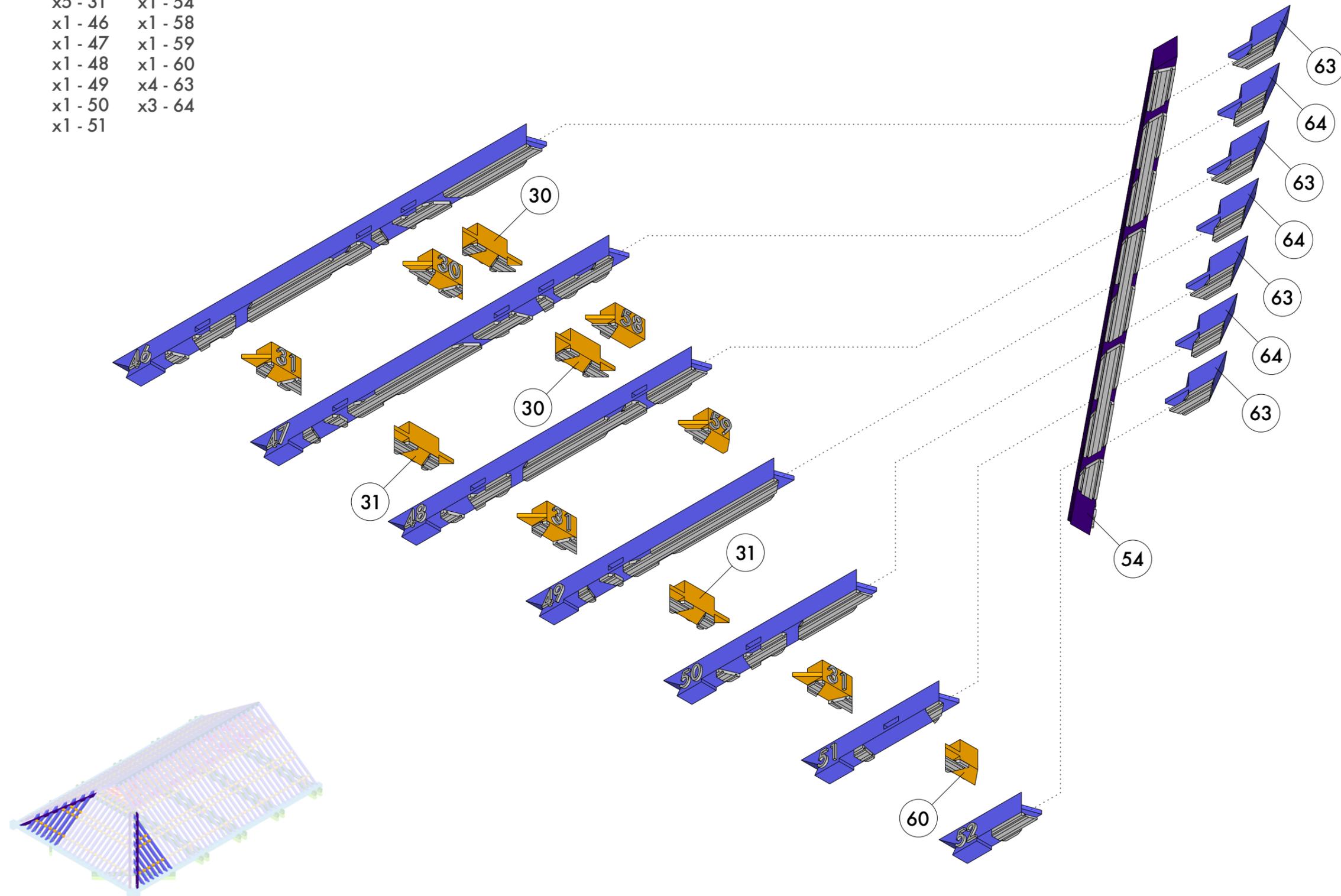


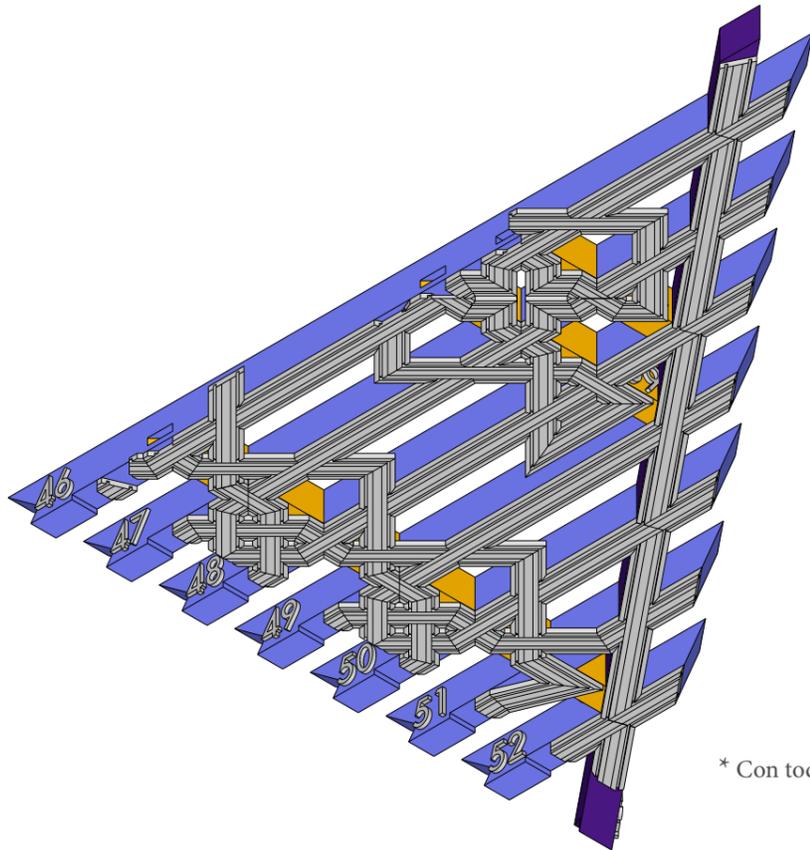
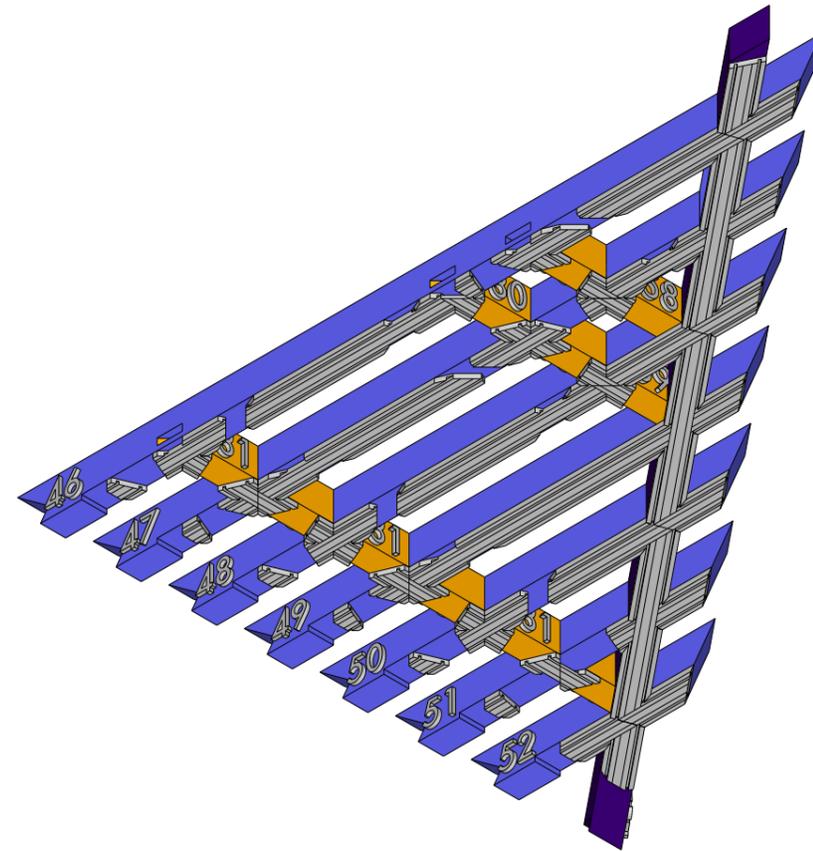
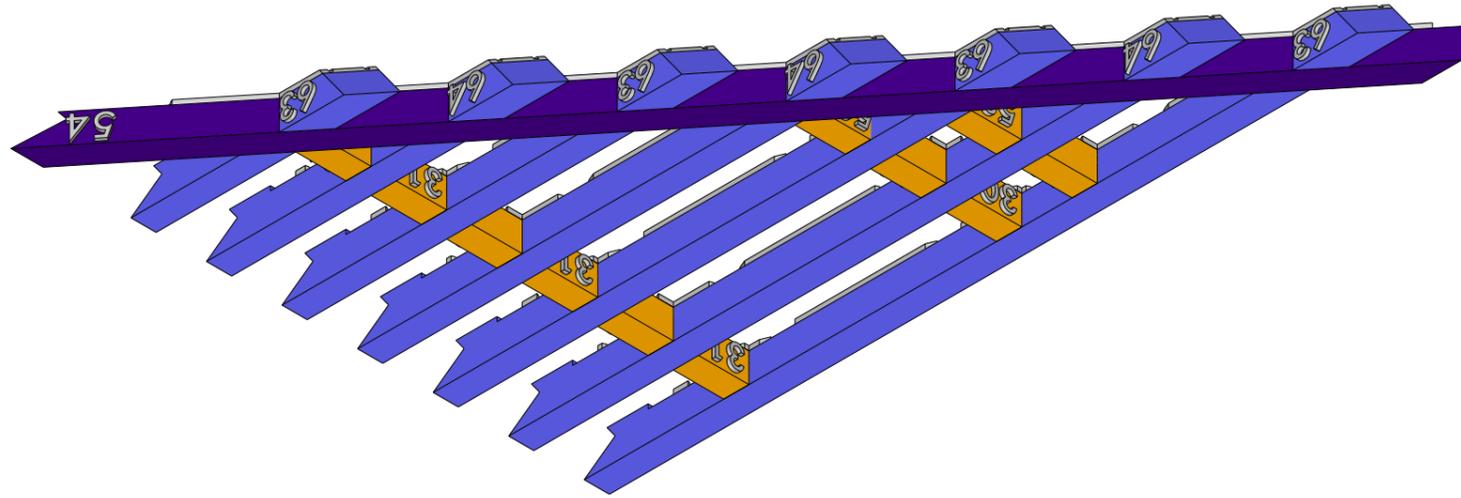


* Con todos los taujeles

x2 PAÑO 5 - En Gualdera y Testero

- x3 - 30
- x5 - 31
- x1 - 46
- x1 - 47
- x1 - 48
- x1 - 49
- x1 - 50
- x1 - 51
- x1 - 52
- x1 - 54
- x1 - 58
- x1 - 59
- x1 - 60
- x4 - 63
- x3 - 64

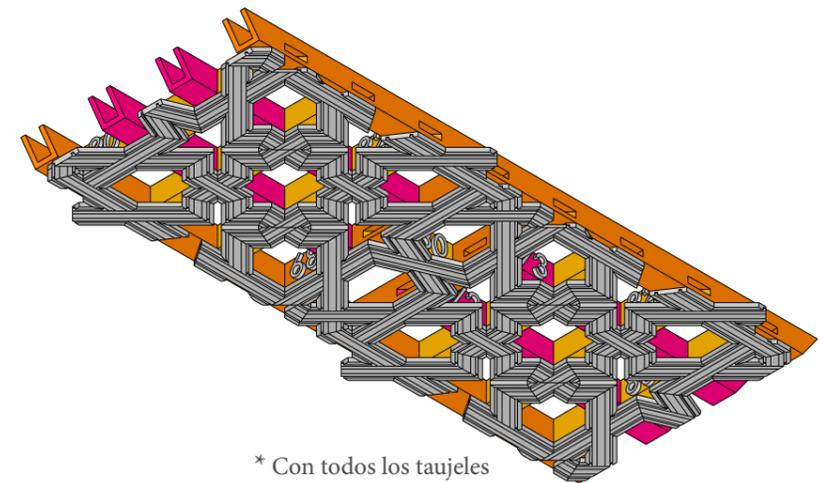
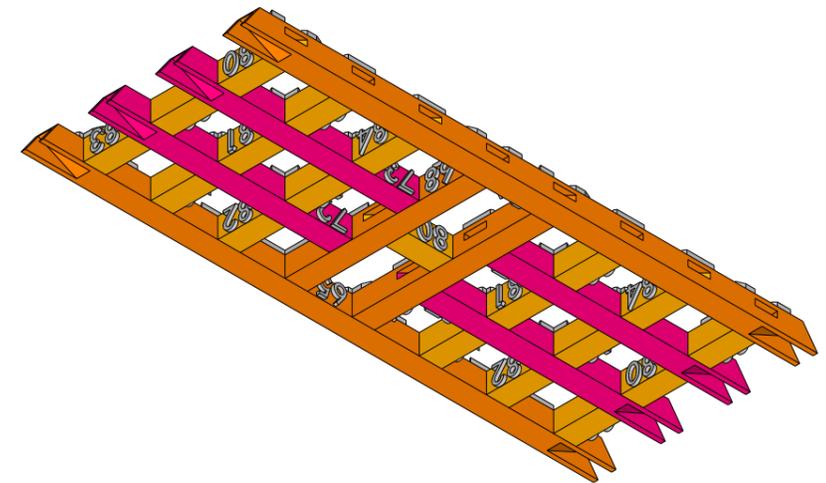
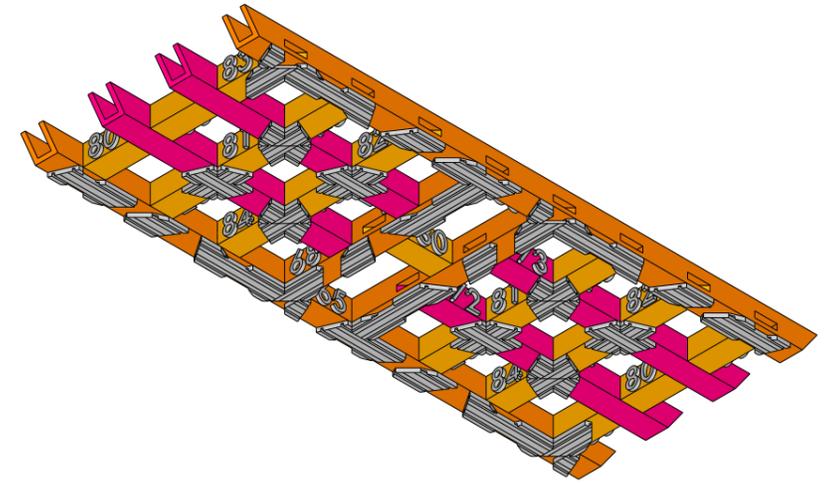
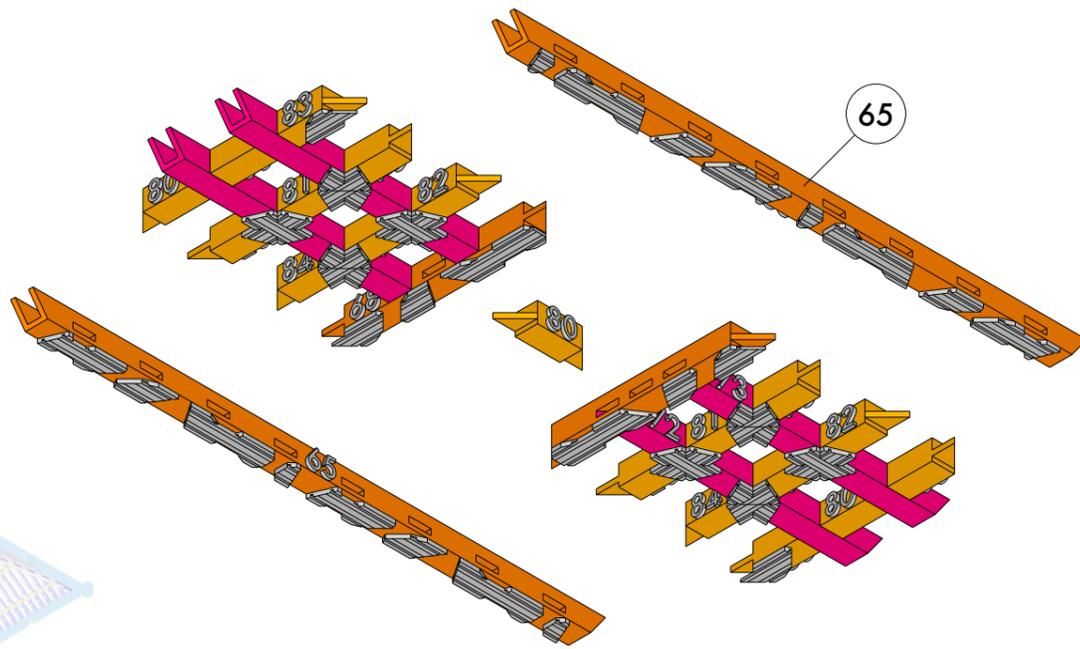
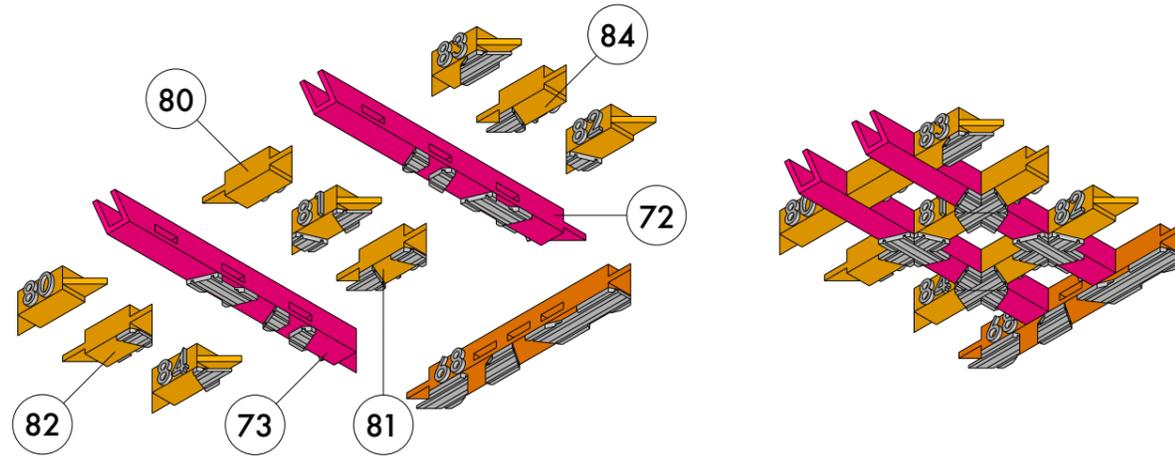




* Con todos los taujeles

x4 PAÑO 6 - En Almizate

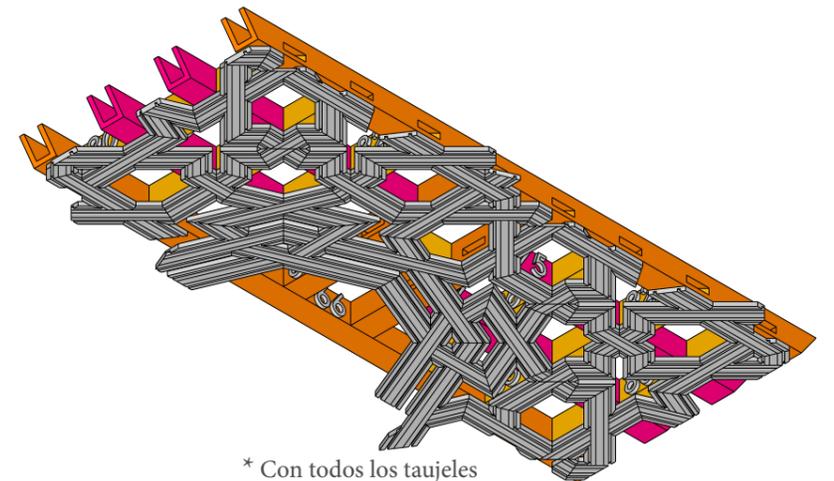
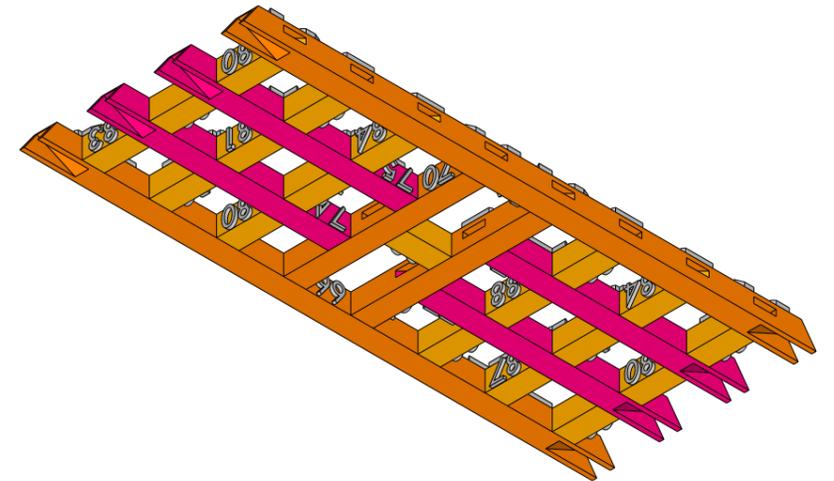
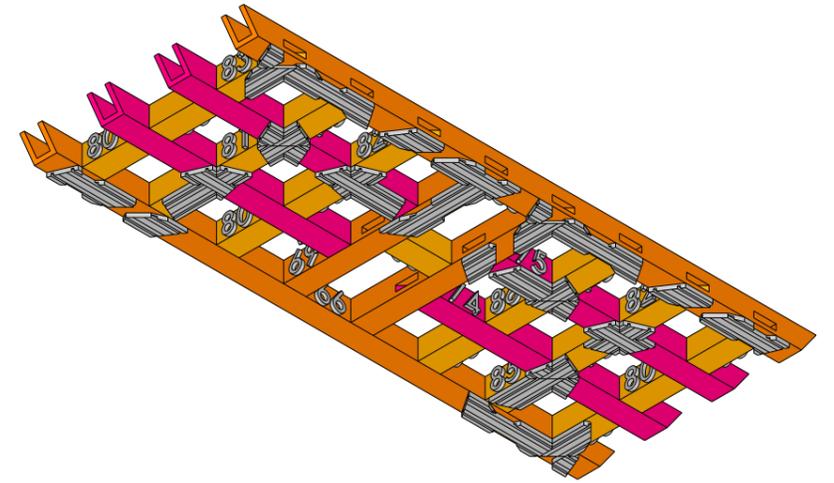
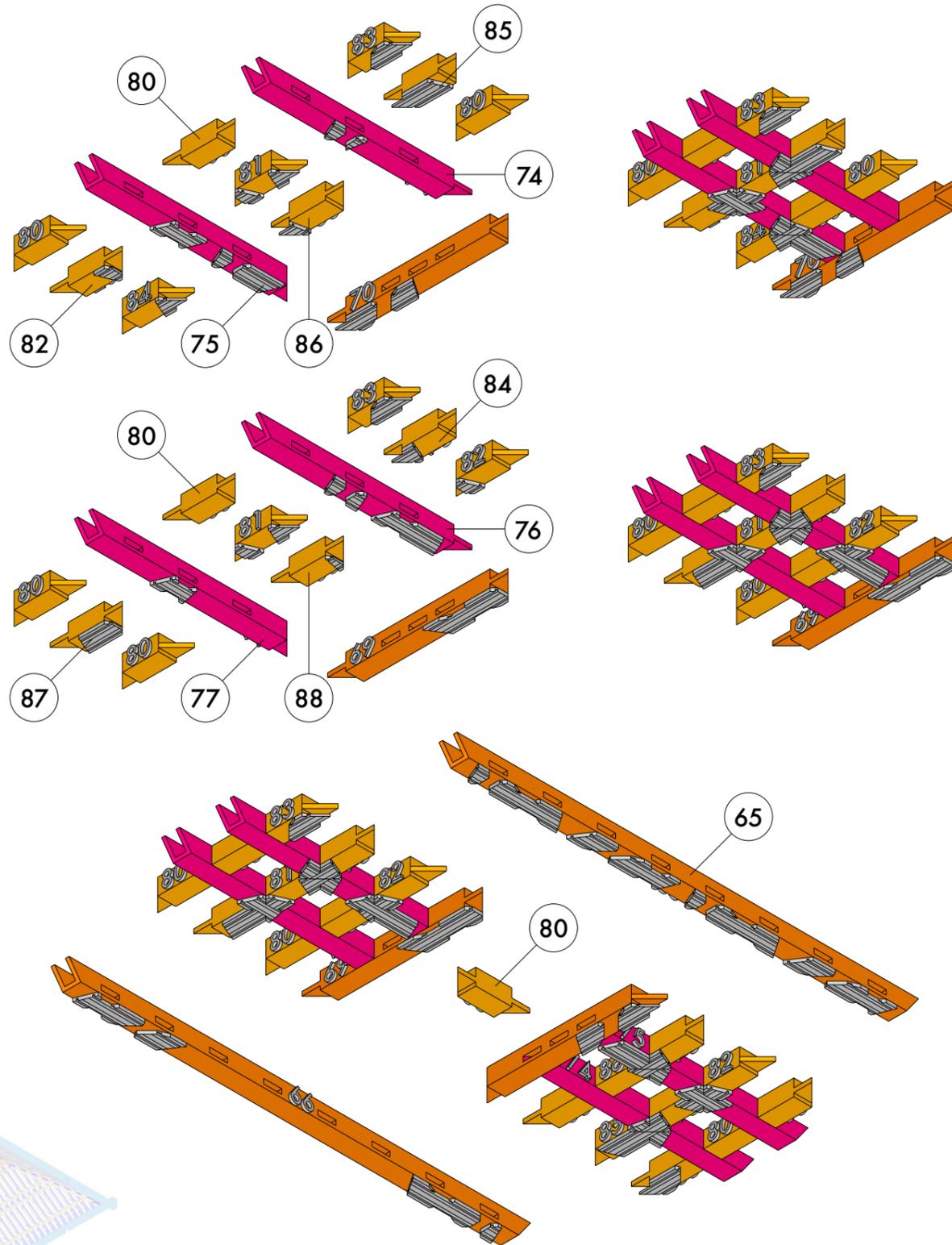
- x2 - 65
- x2 - 68
- x2 - 72
- x2 - 73
- x5 - 80
- x4 - 81
- x4 - 82
- x2 - 83
- x4 - 84



* Con todos los taujeles

x1 PAÑO 7 - En Almizate

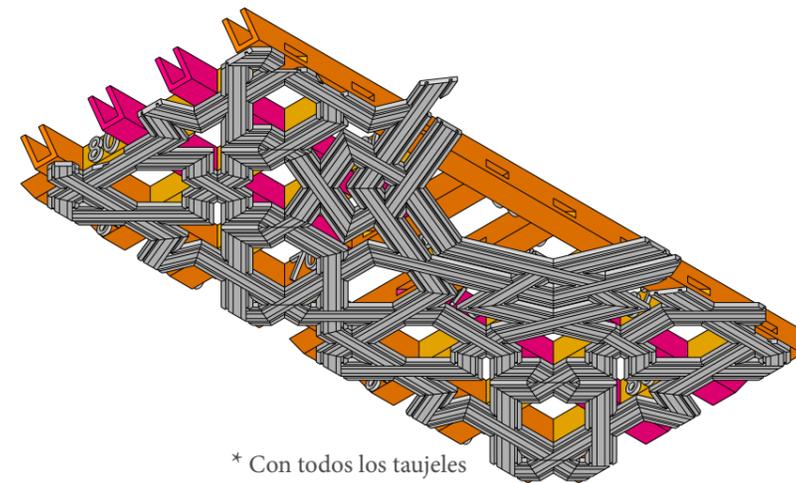
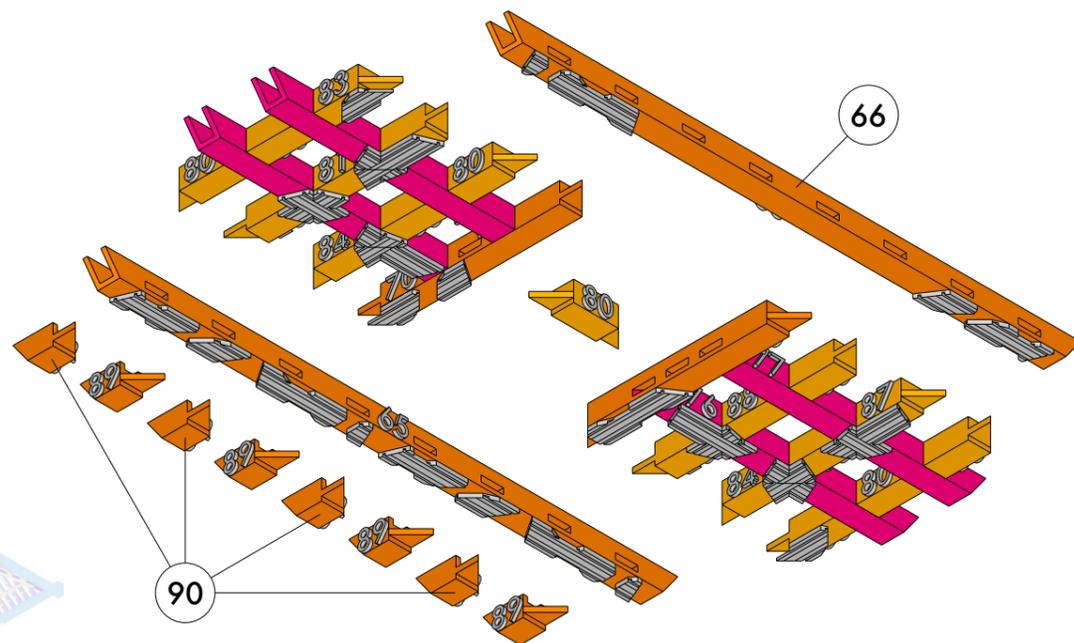
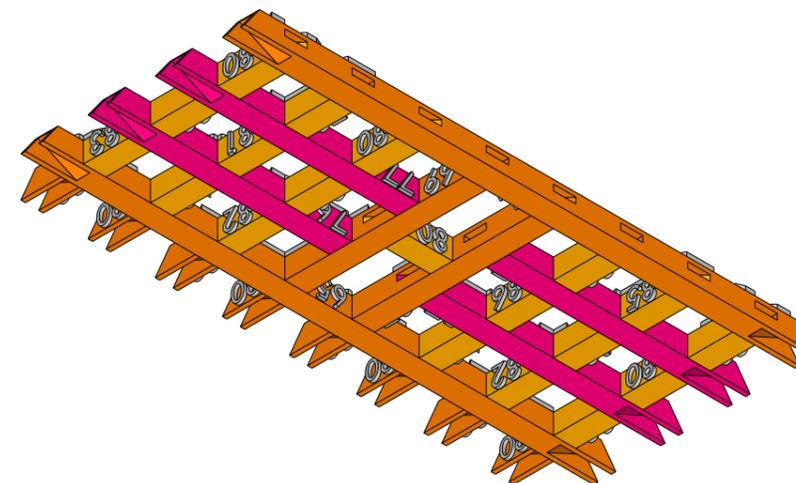
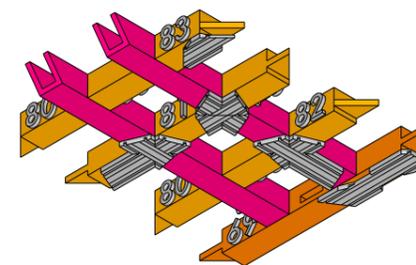
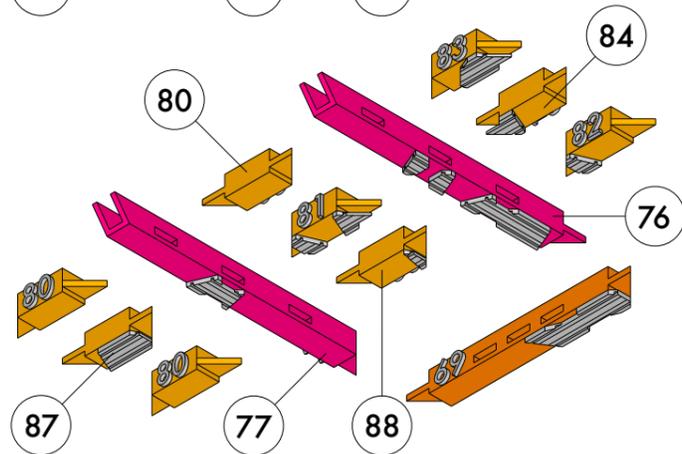
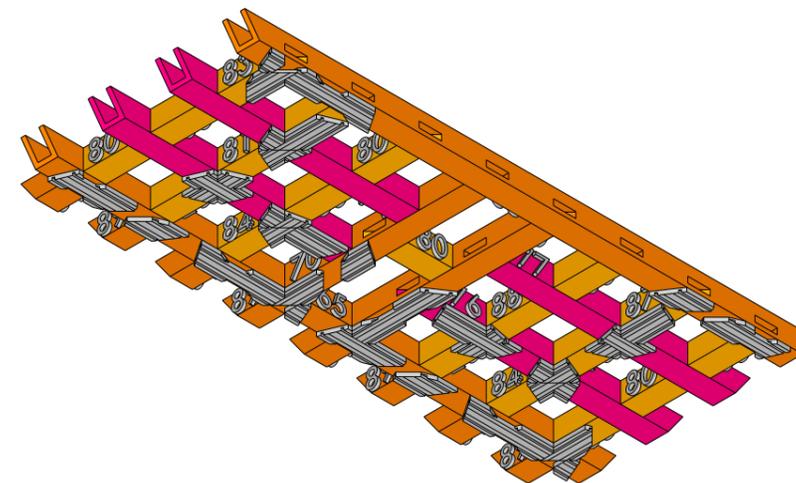
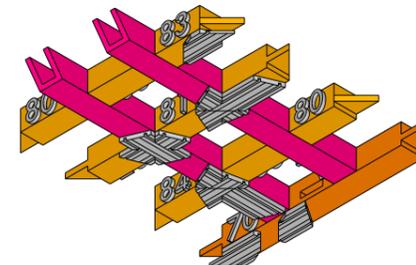
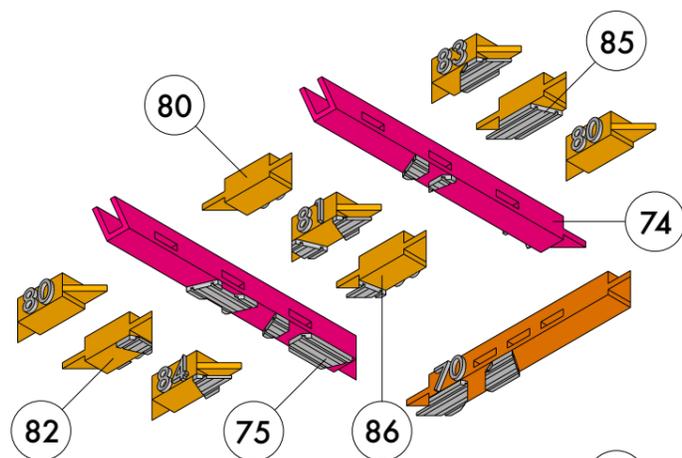
- x1 - 65
- x1 - 66
- x1 - 69
- x1 - 70
- x1 - 74
- x1 - 75
- x1 - 76
- x1 - 77
- x7 - 80
- x2 - 81
- x2 - 82
- x2 - 83
- x2 - 84
- x1 - 85
- x1 - 86
- x1 - 87
- x1 - 88



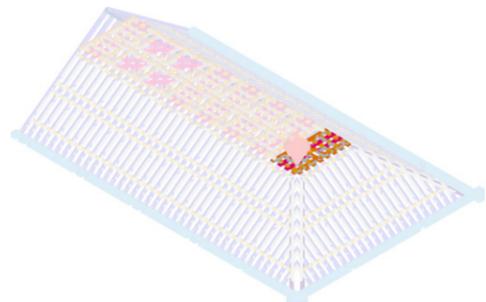
* Con todos los tajeles

x1 PAÑO 8 - En Almizate

- x1 - 65
- x1 - 66
- x1 - 69
- x1 - 70
- x1 - 74
- x1 - 75
- x1 - 76
- x1 - 77
- x7 - 80
- x2 - 81
- x2 - 82
- x2 - 83
- x2 - 84
- x1 - 85
- x1 - 86
- x1 - 87
- x1 - 88
- x4 - 89
- x4 - 90

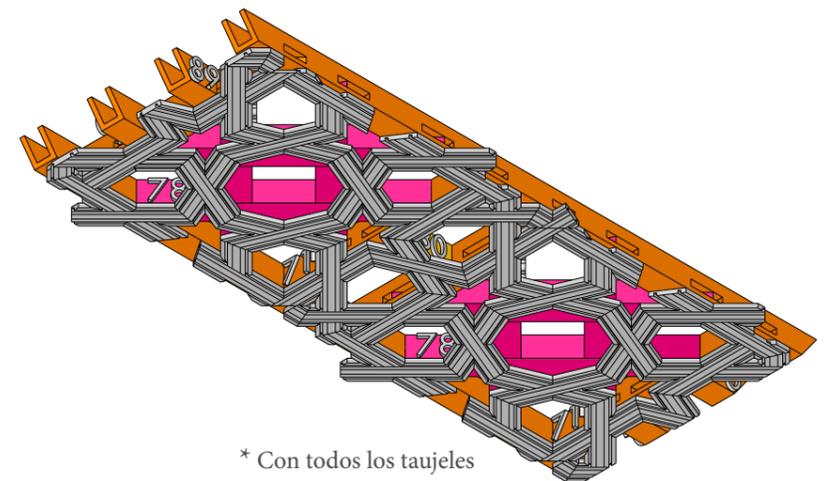
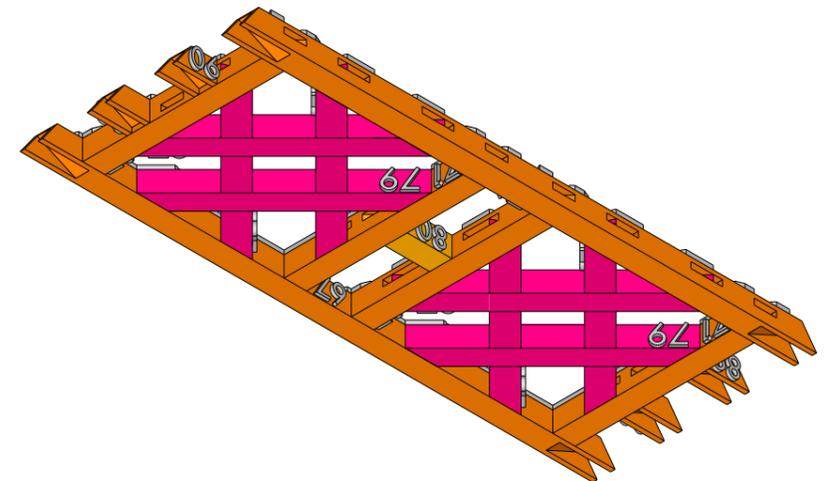
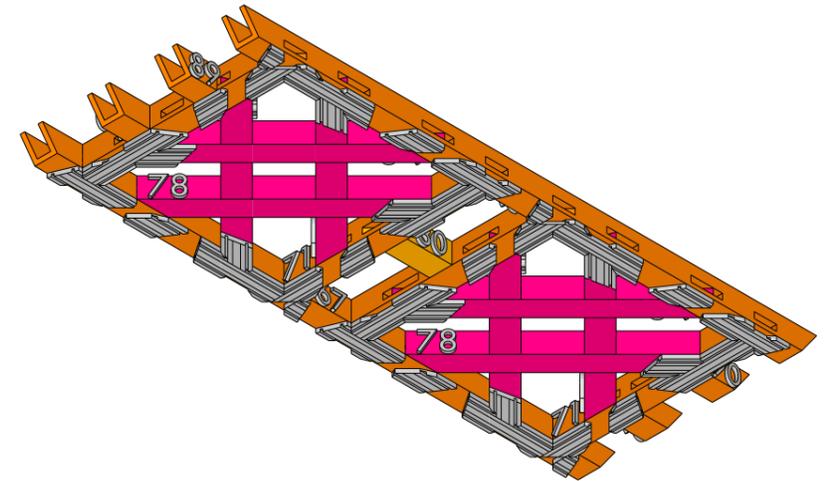
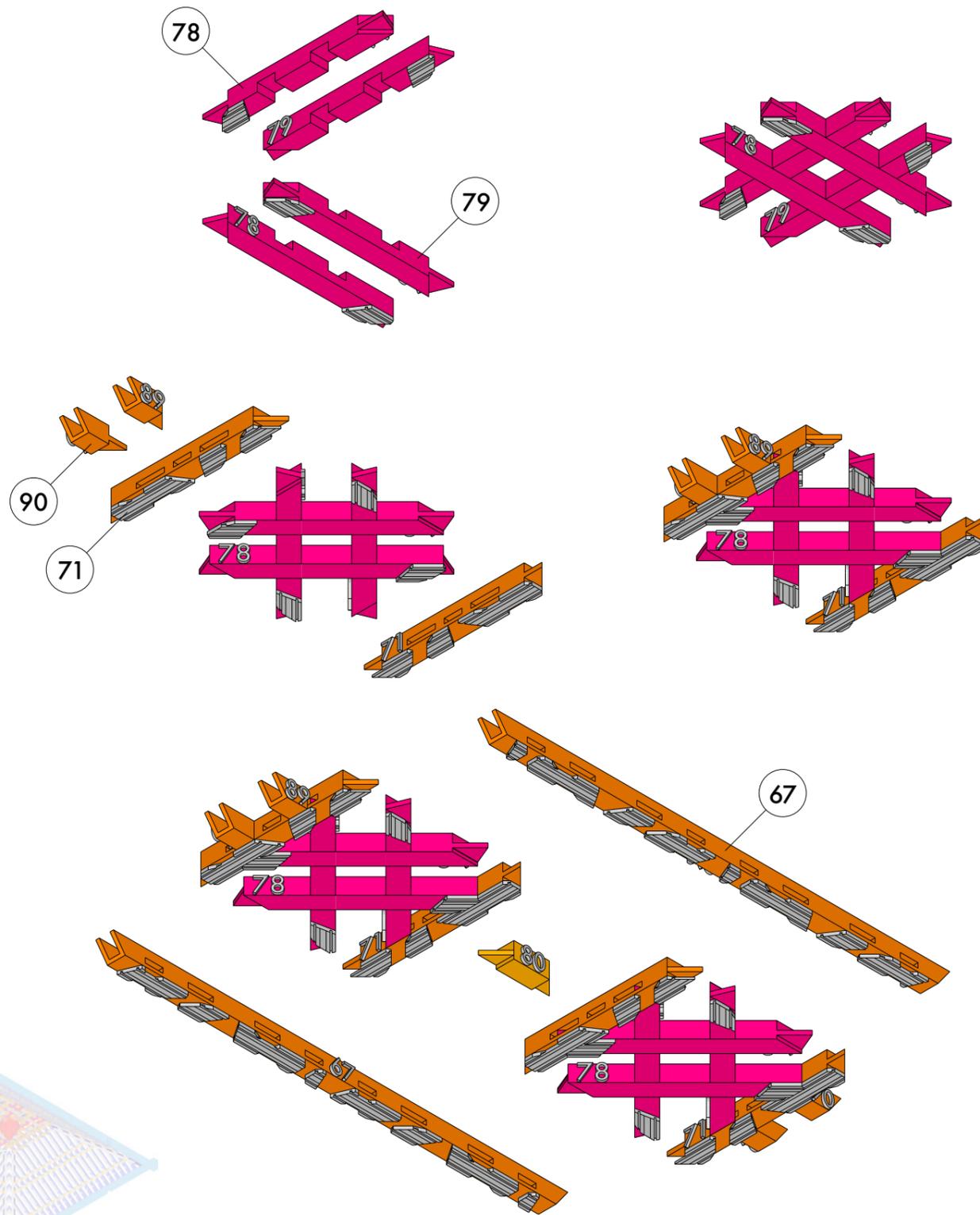


* Con todos los taujeles

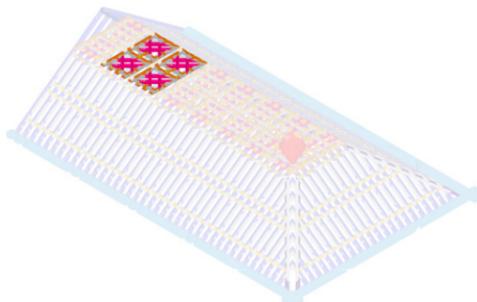


x2 PAÑO 9 - En Almizate

- x2 - 67
- x4 - 71
- x4 - 78
- x4 - 79
- x1 - 80
- x2 - 89
- x2 - 90

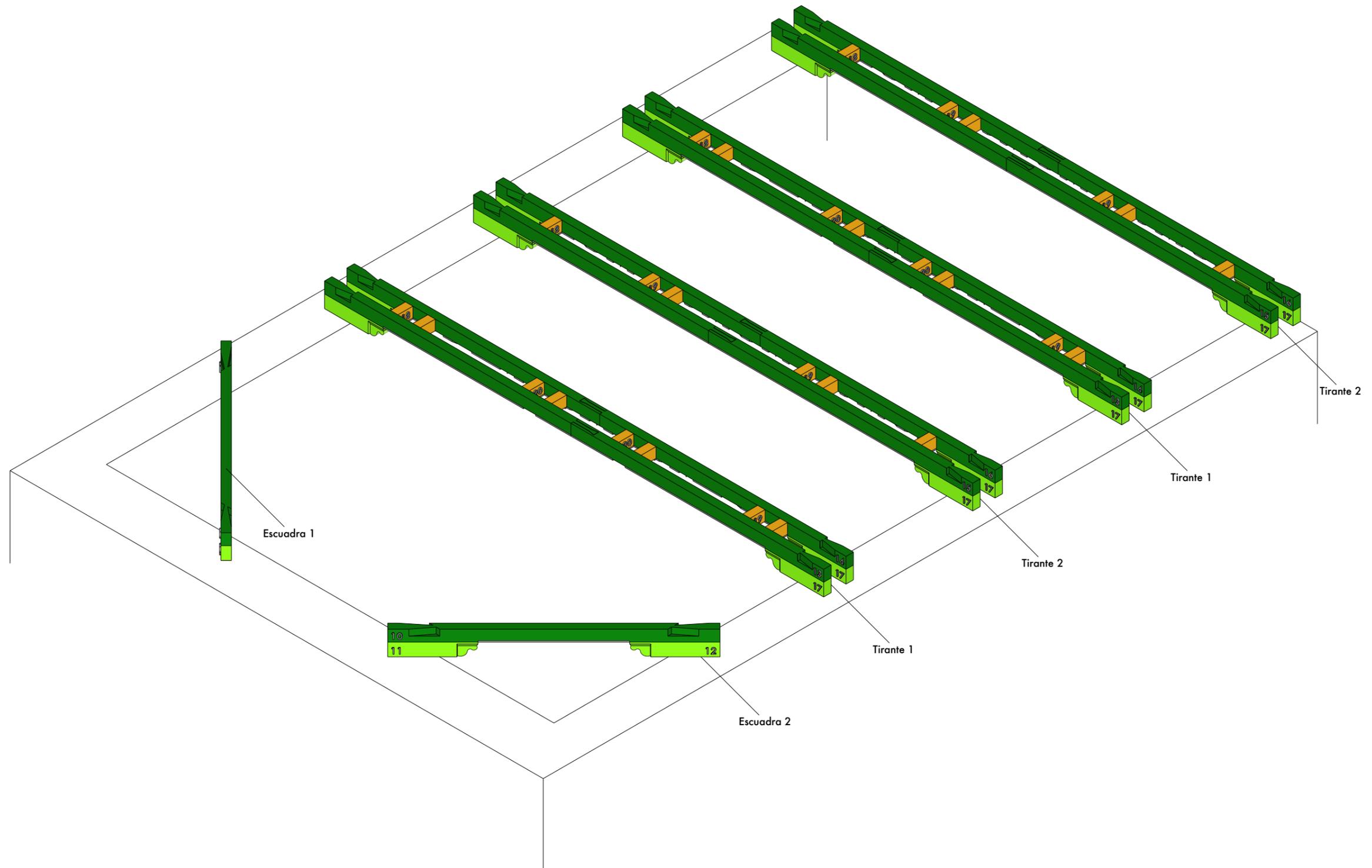


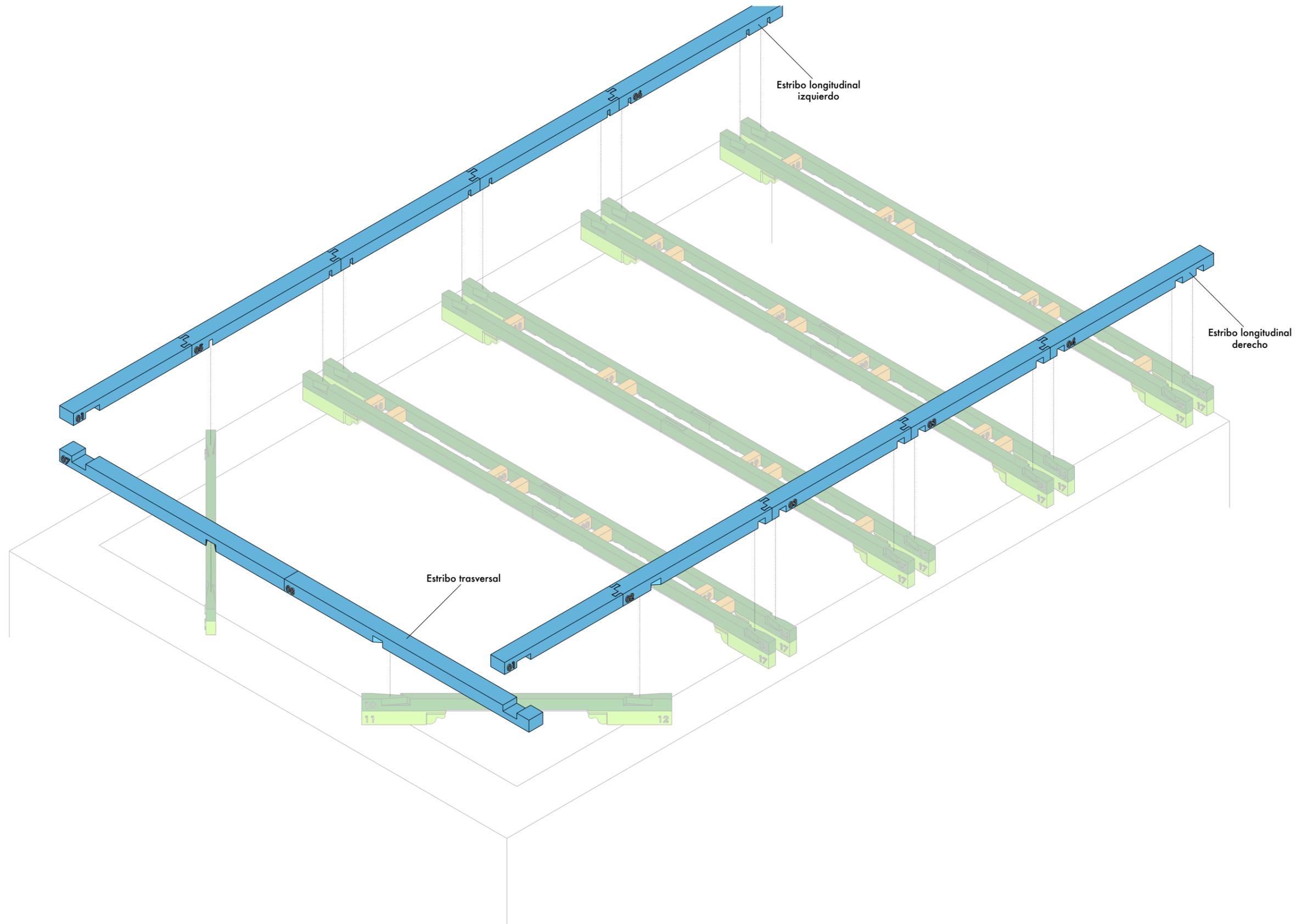
* Con todos los tajuales

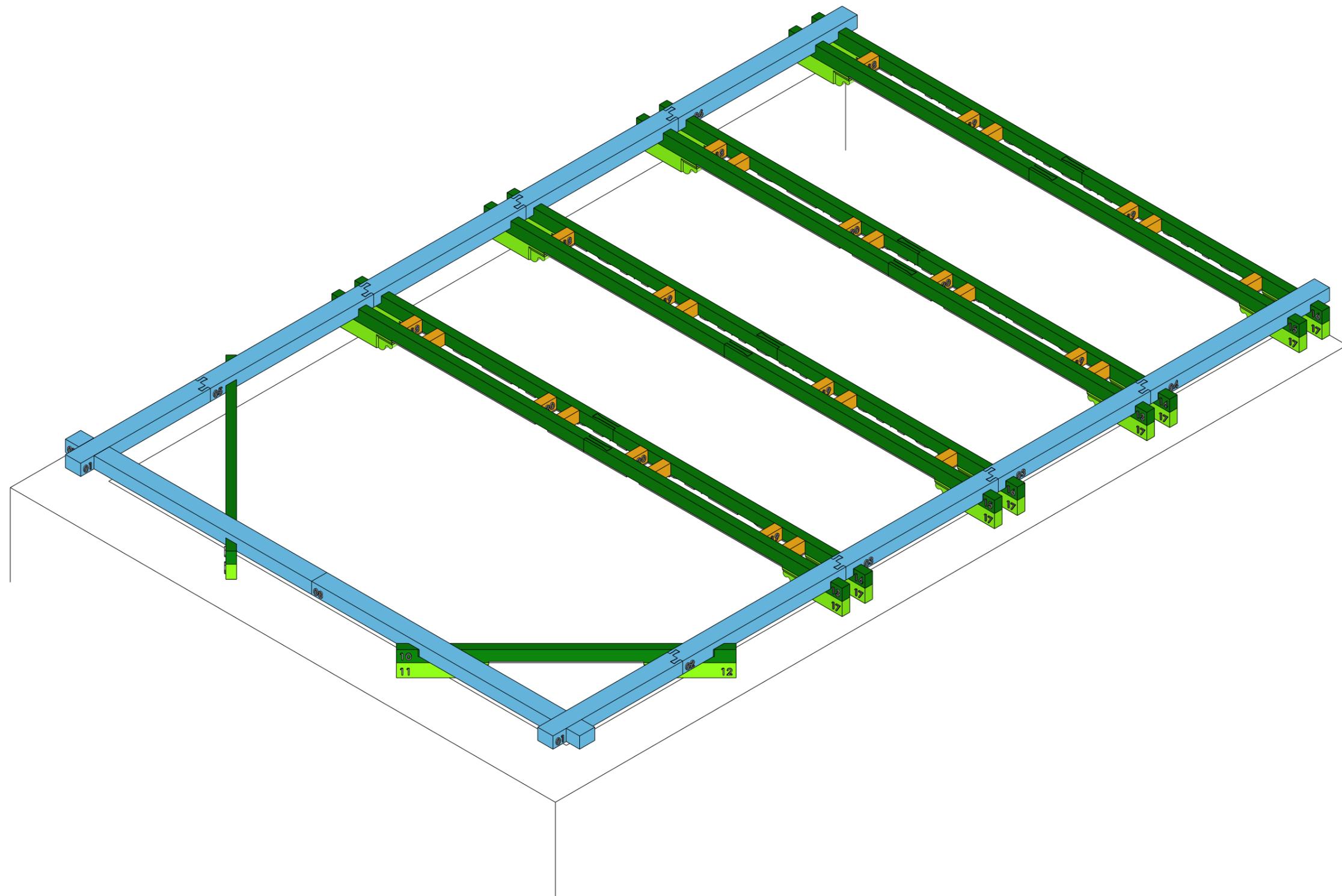


MONTAJE FINAL

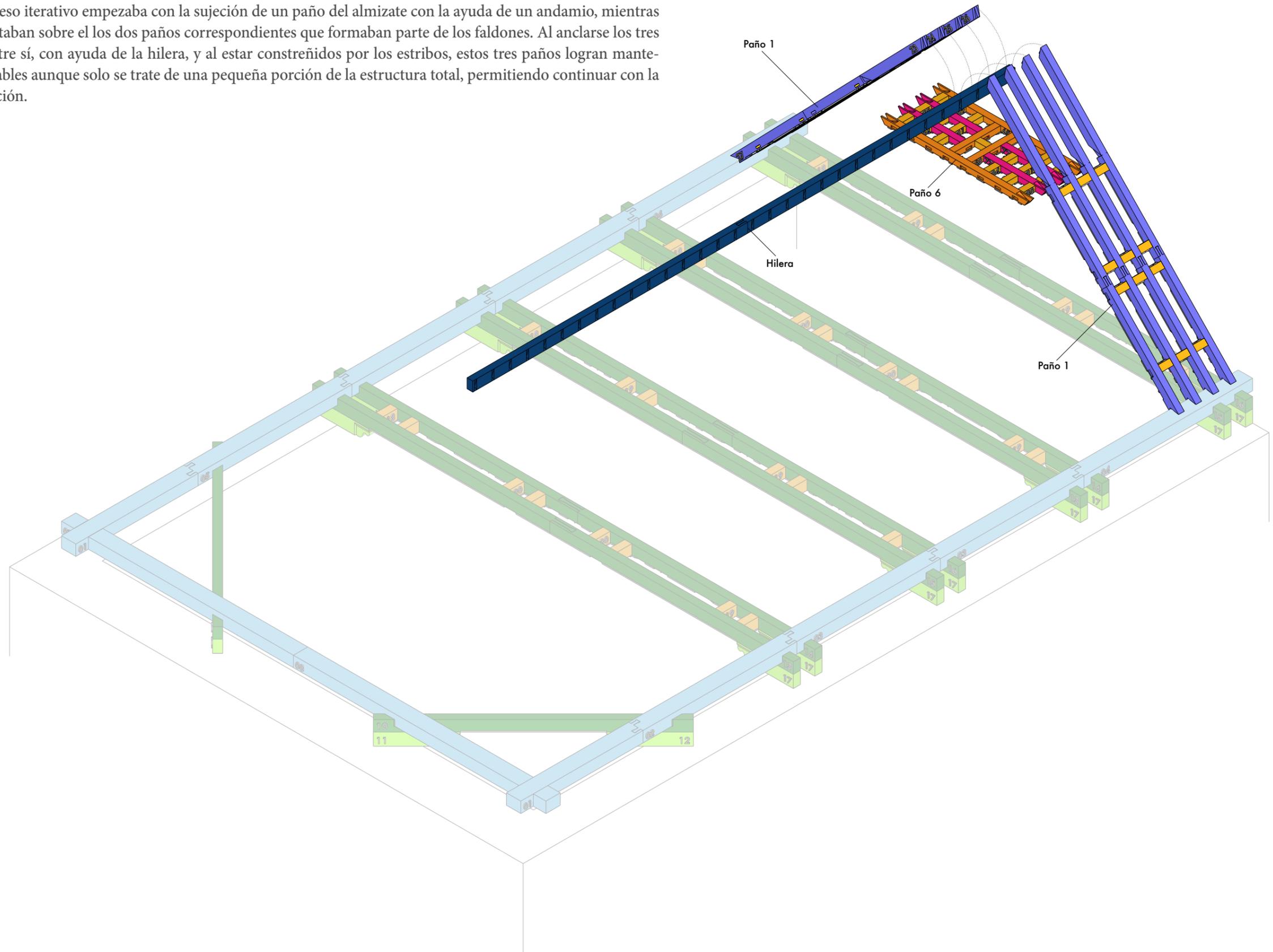
Una vez realizados los paños, y mediante poleas y andamios, ya sea desde el suelo o apoyados sobre los tirantes, se izaban y se colocaban en su respectivos lugares. Cuando los tirantes, cuadrales y estribos estaban posicionados, se iban colocando los paños uno a uno.



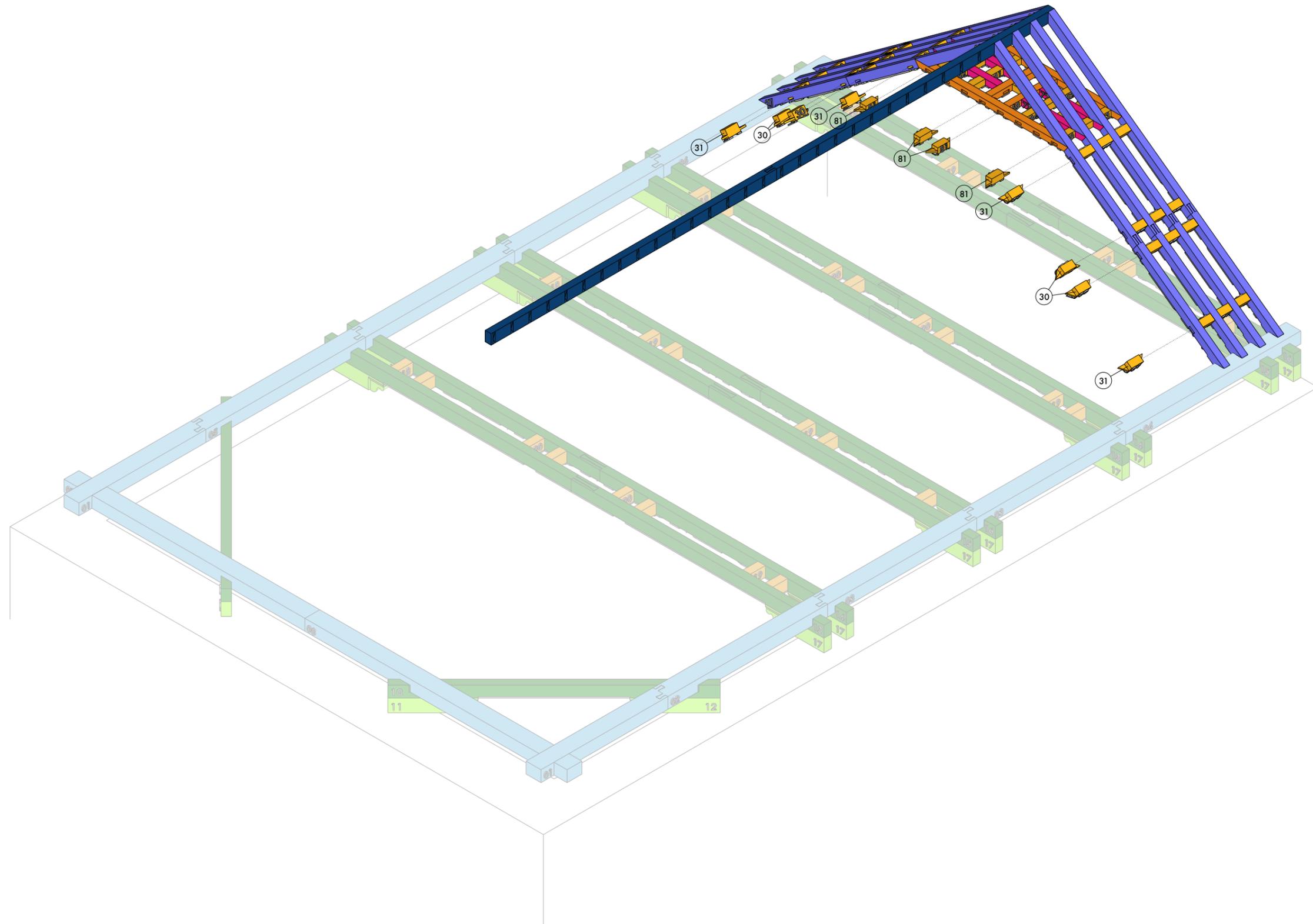


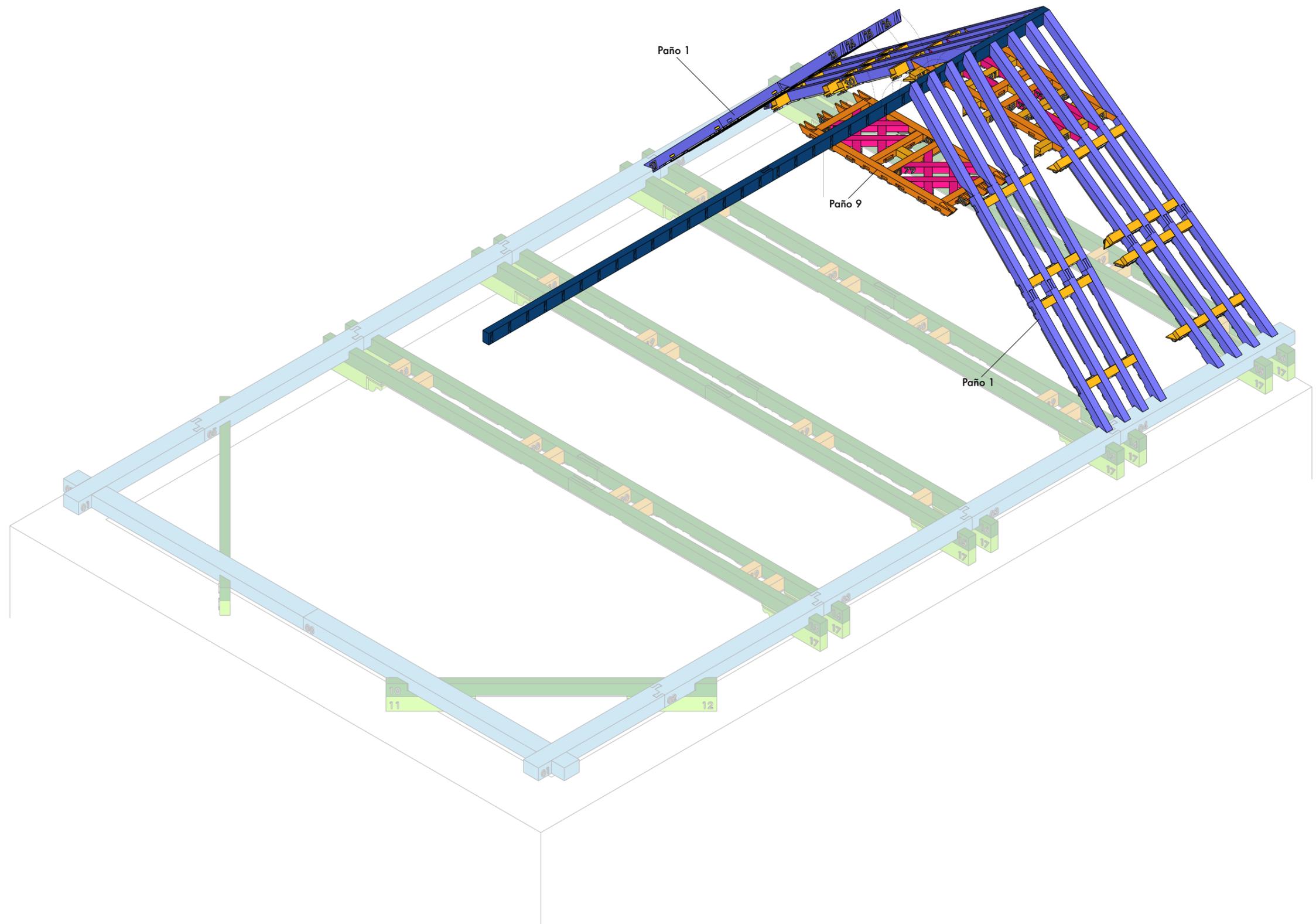


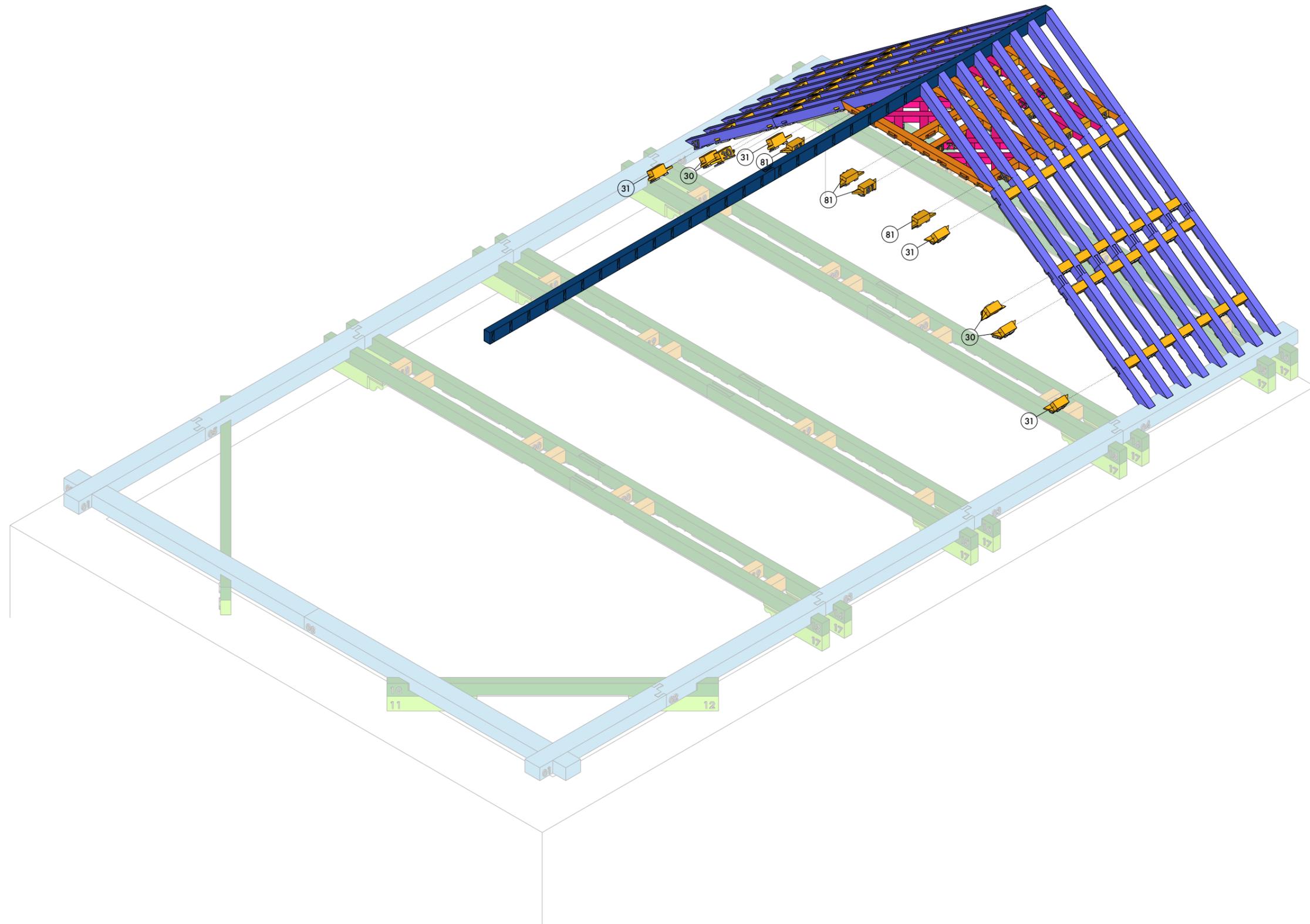
Este proceso iterativo empezaba con la sujeción de un paño del almizate con la ayuda de un andamio, mientras se depositaban sobre el los dos paños correspondientes que formaban parte de los faldones. Al anclarse los tres paños entre sí, con ayuda de la hilera, y al estar constreñidos por los estribos, estos tres paños logran mantenerse estables aunque solo se trate de una pequeña porción de la estructura total, permitiendo continuar con la construcción.

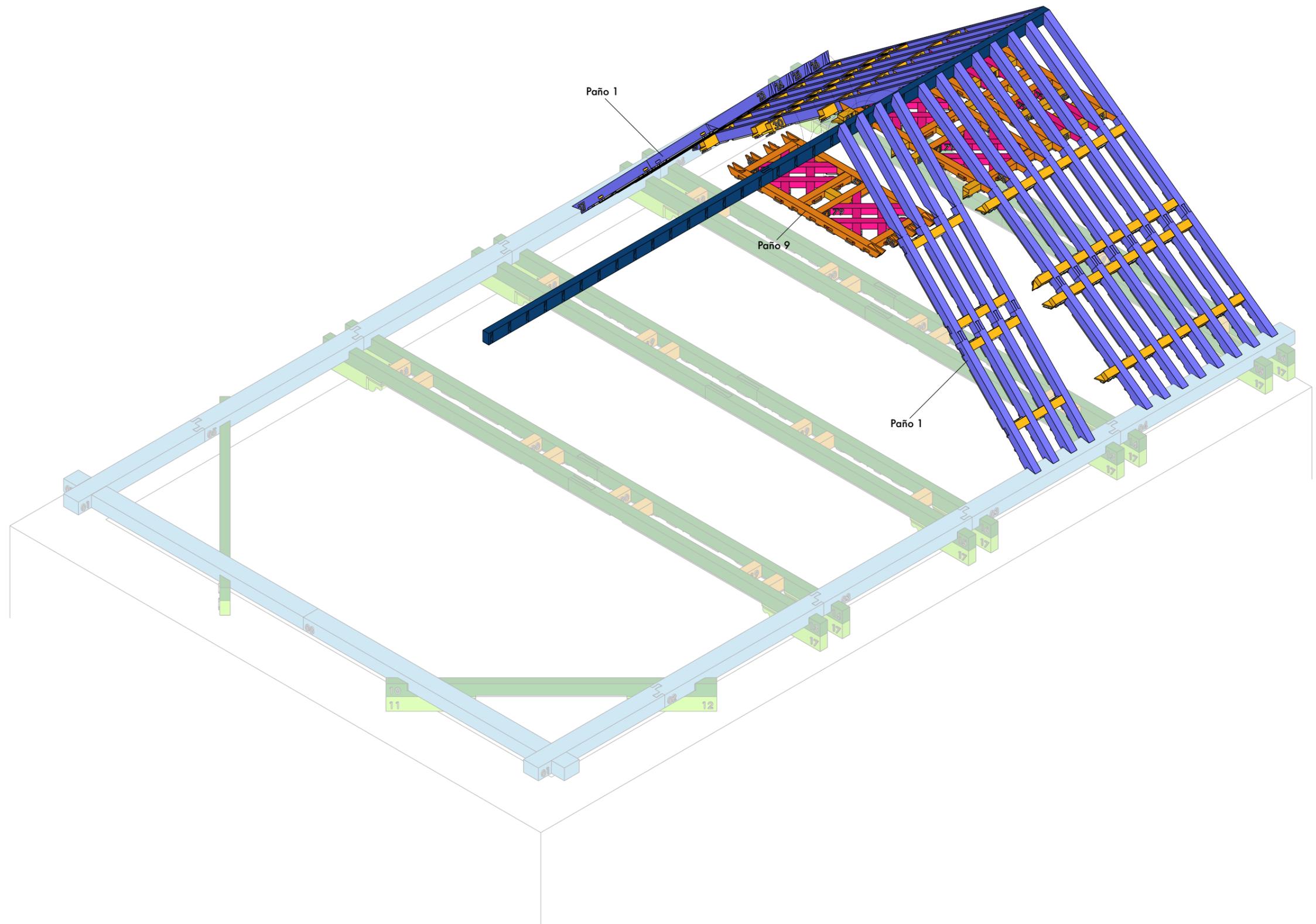


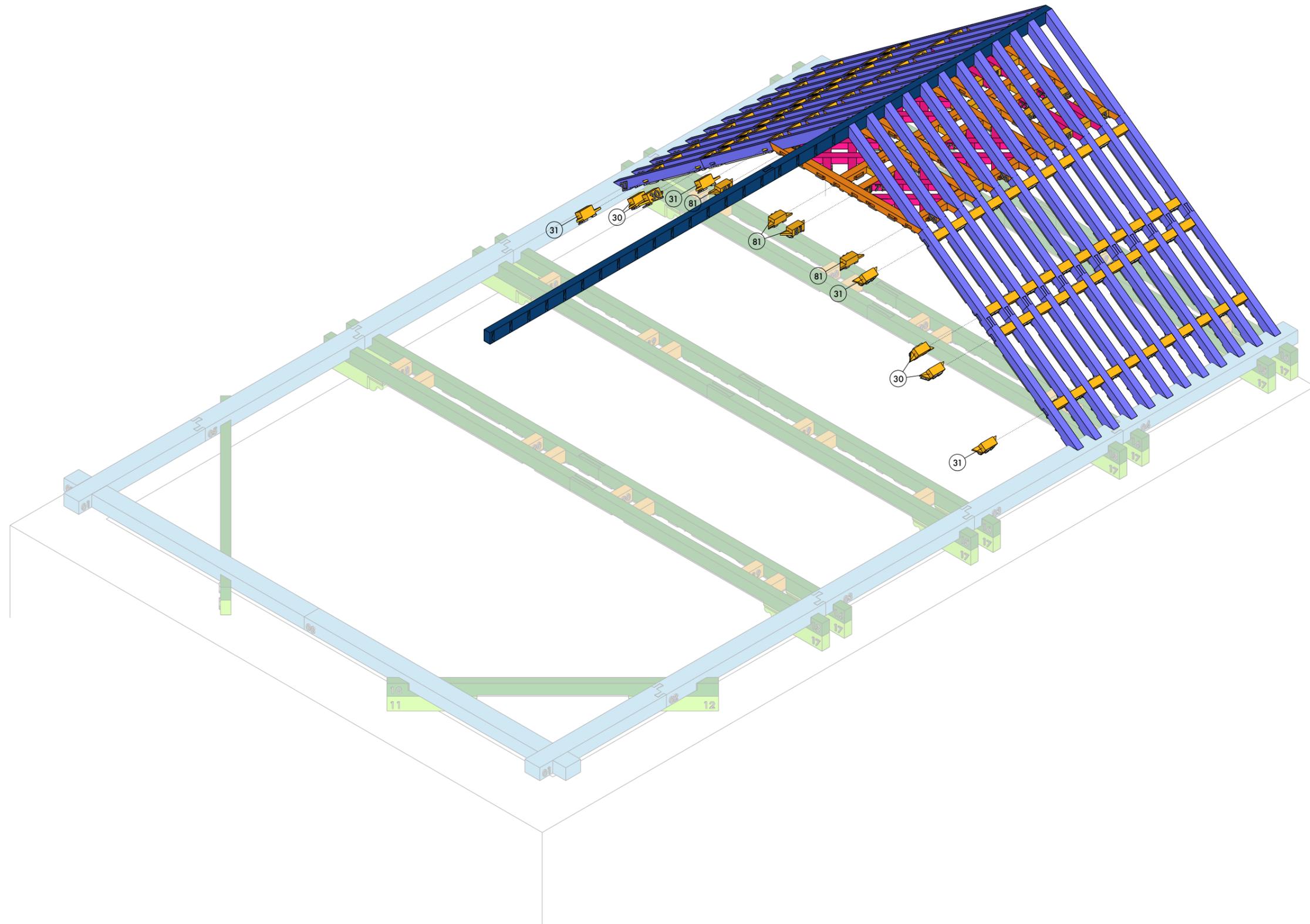
Tras el montaje de la primera tanda de paños, se colocaban los peinzos que los conectarían con la siguiente, repitiendo este proceso hasta conformar las dos aguas principales de la armadura.

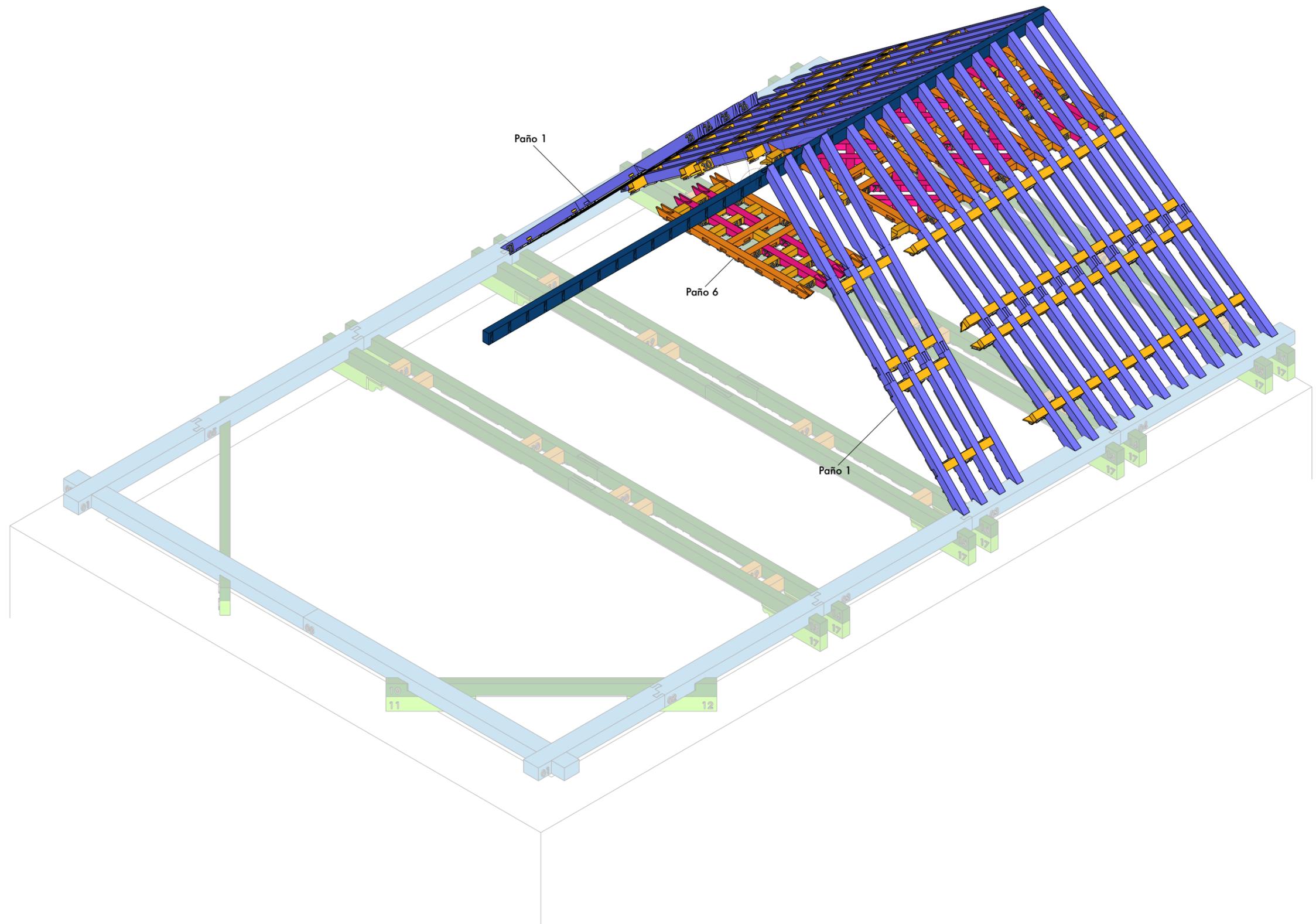


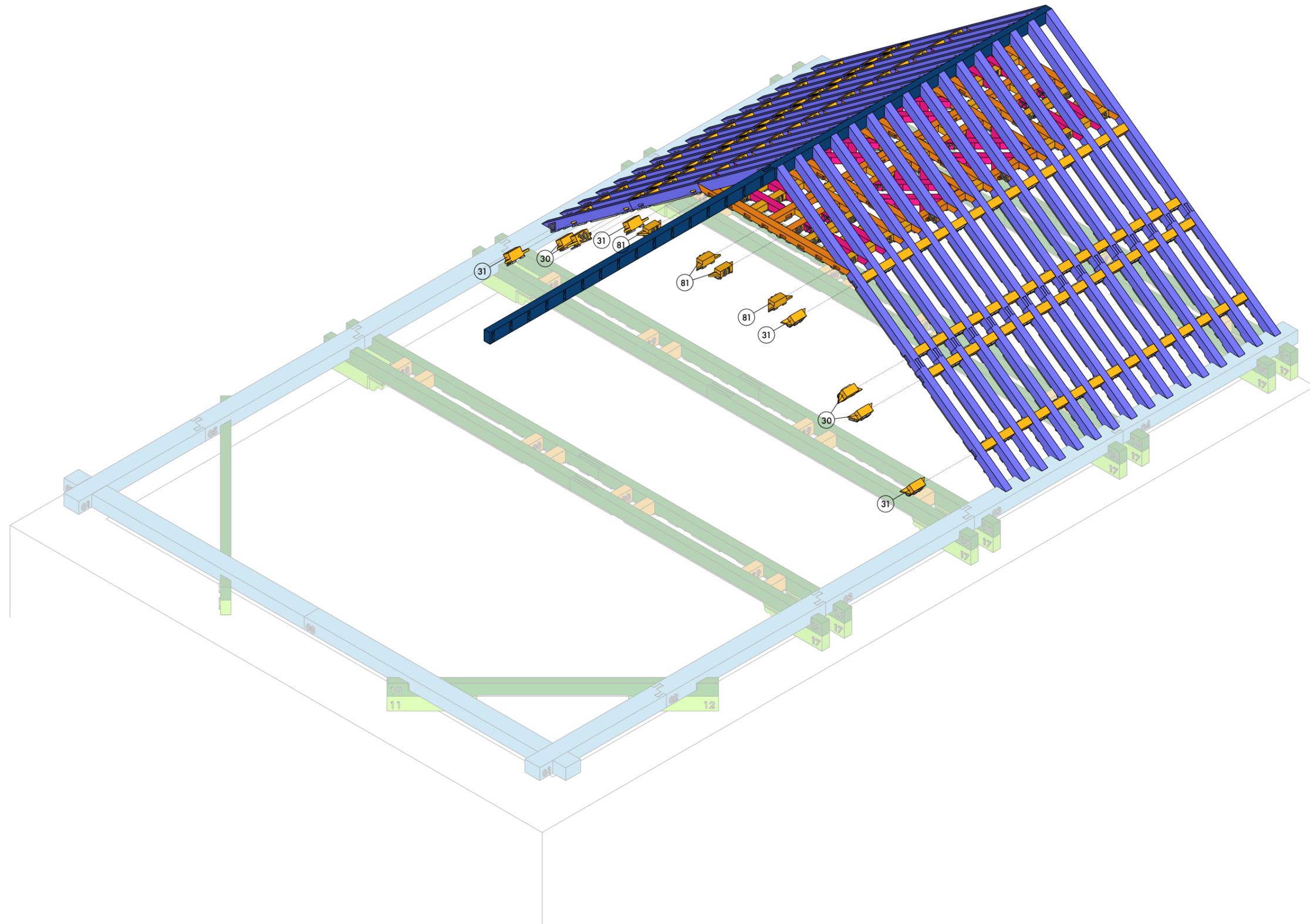


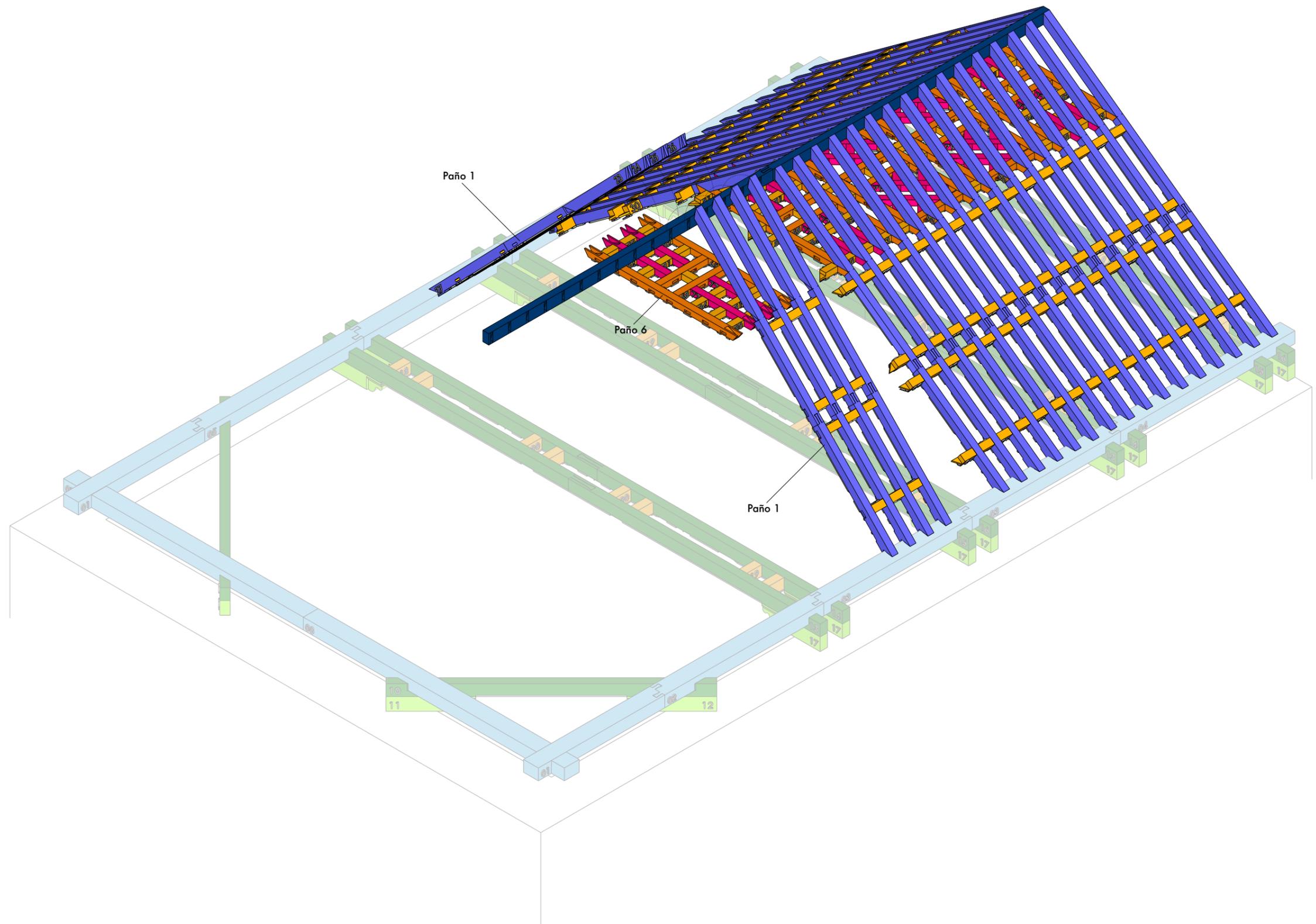


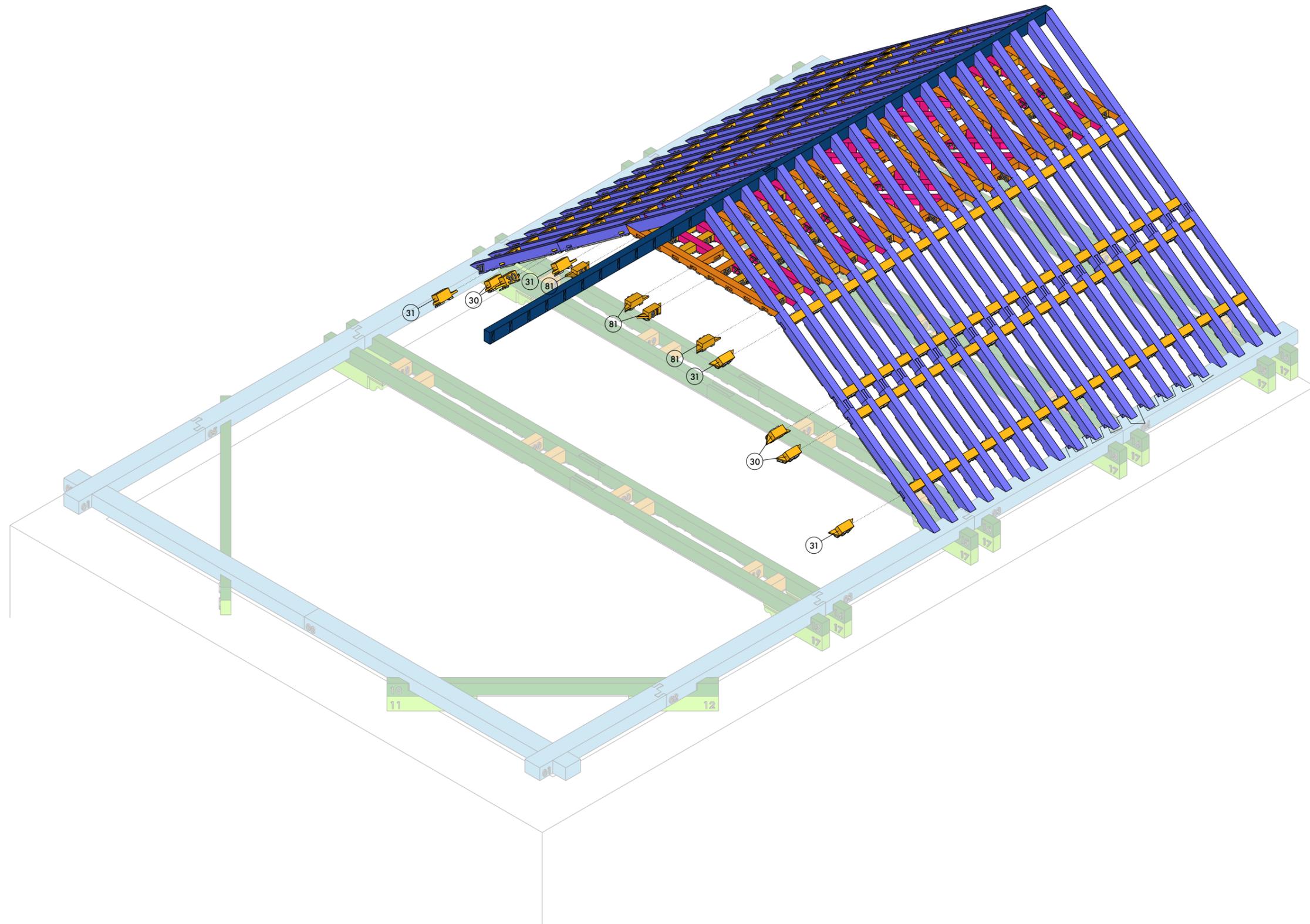


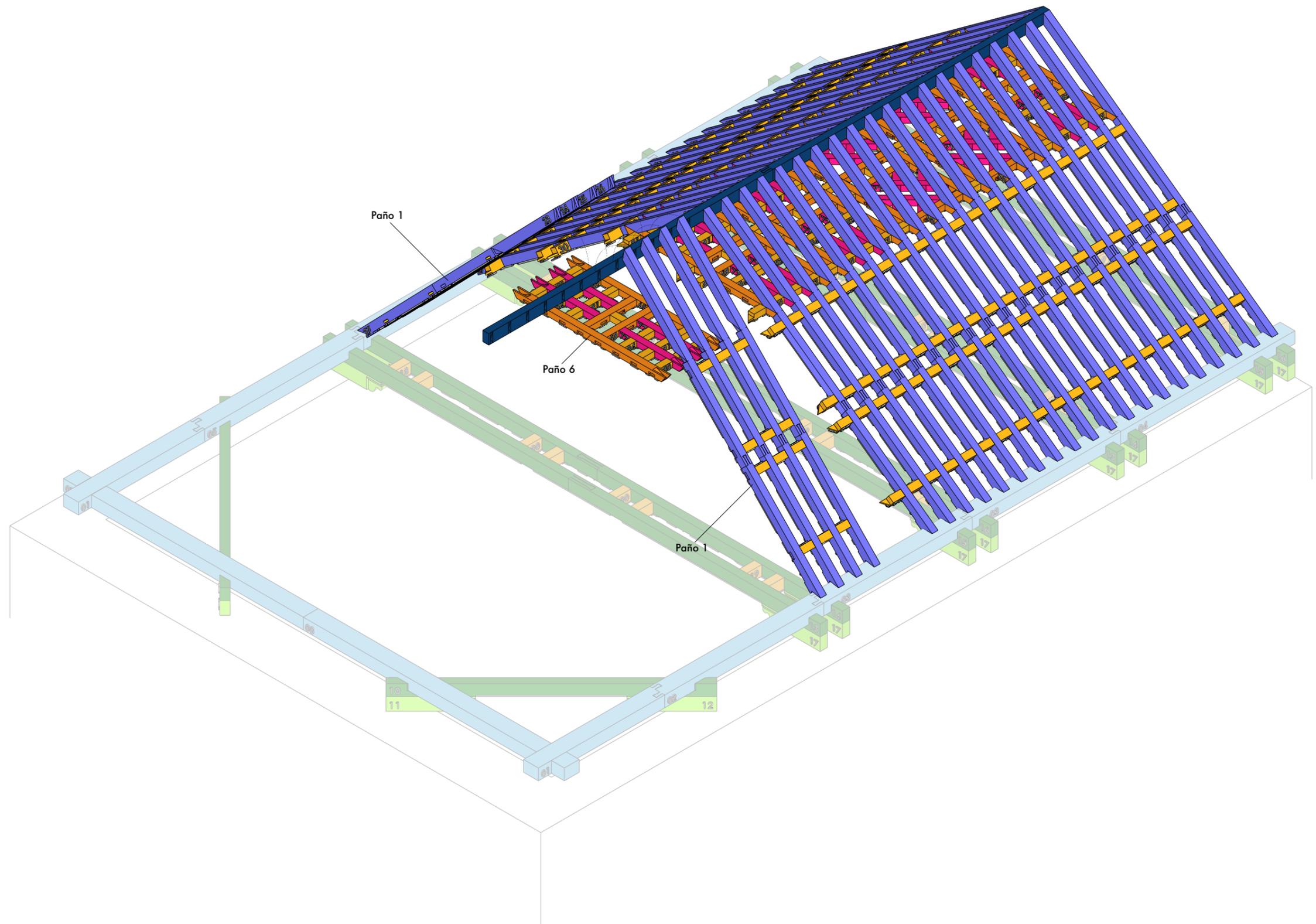


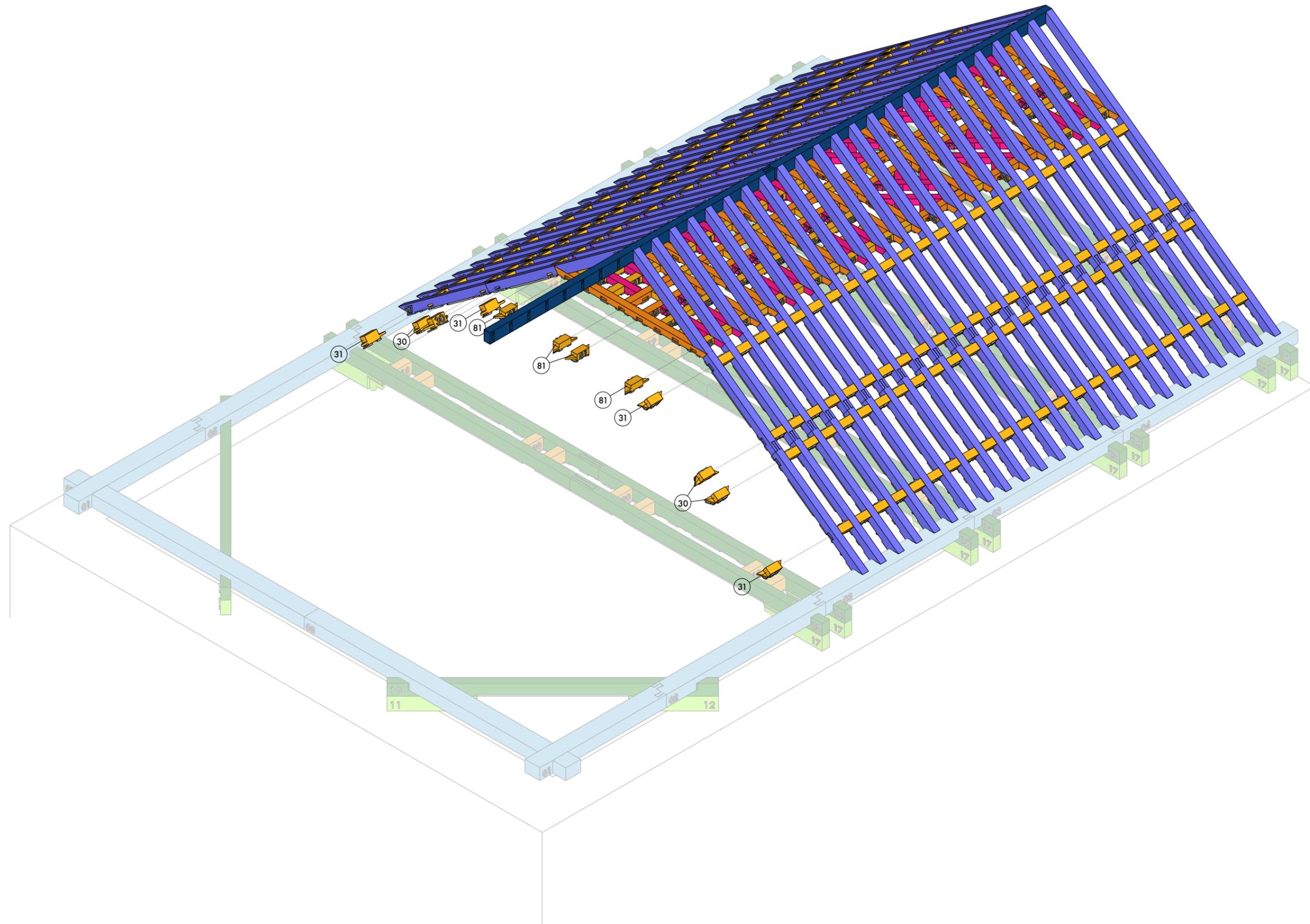


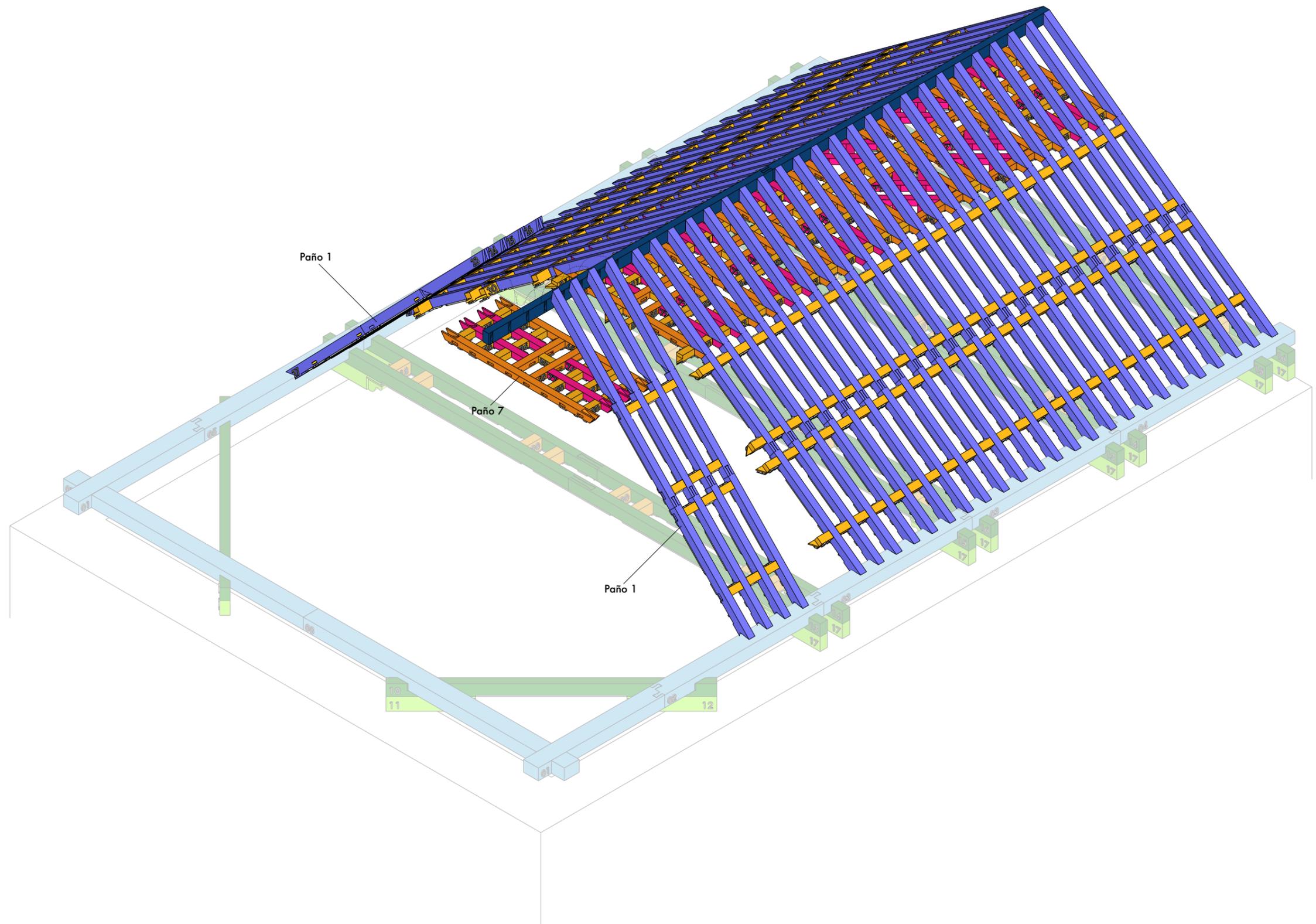


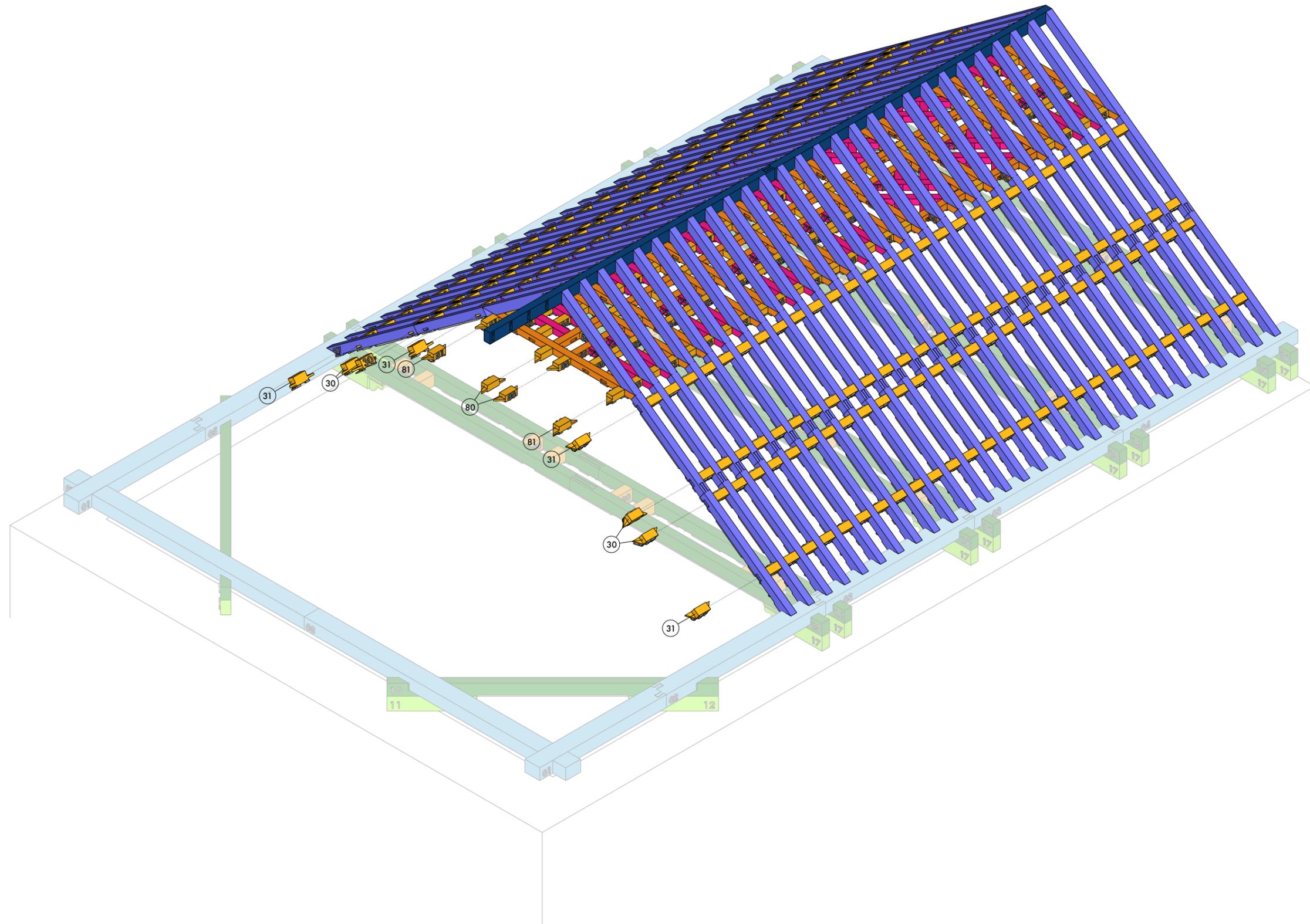


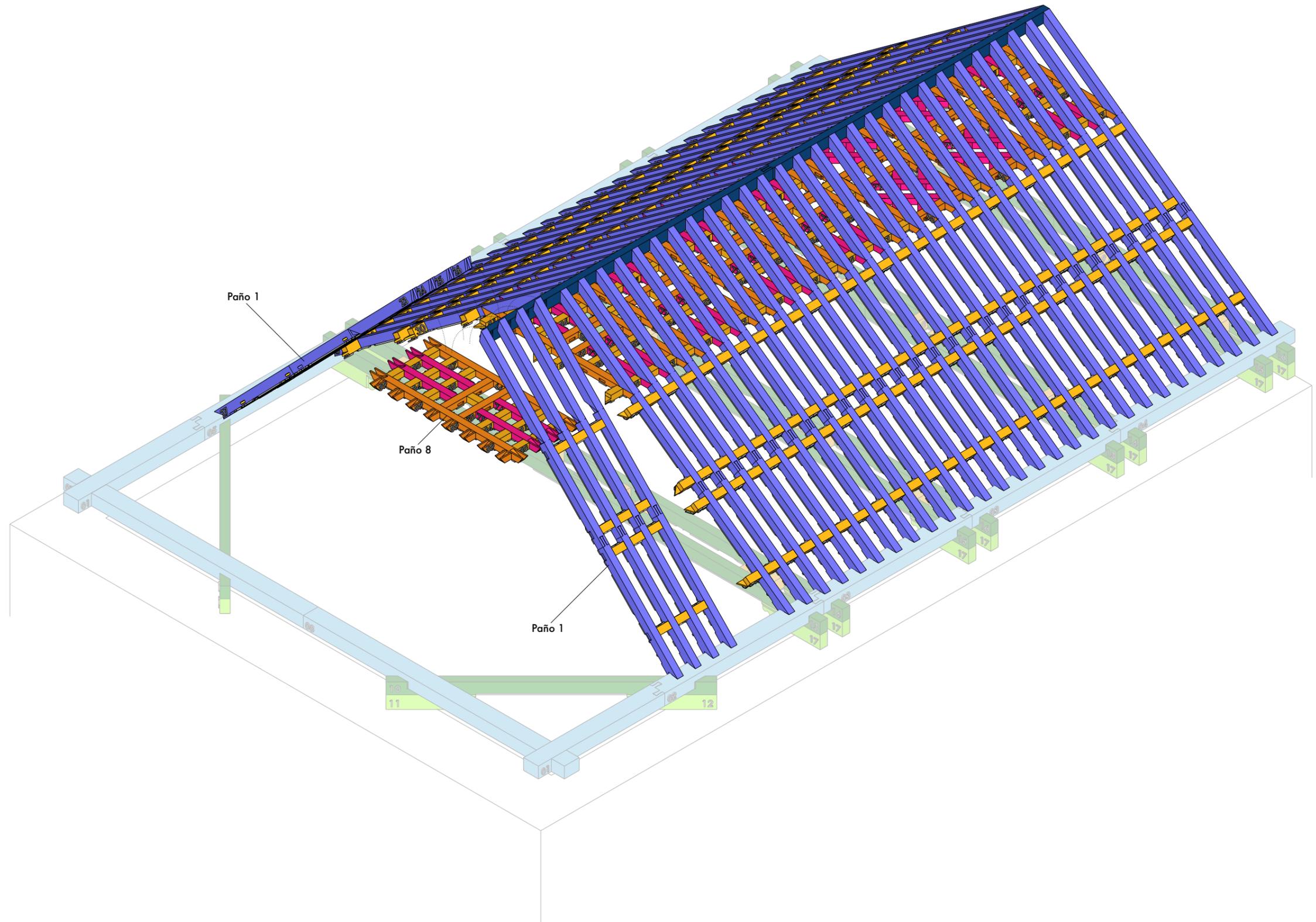




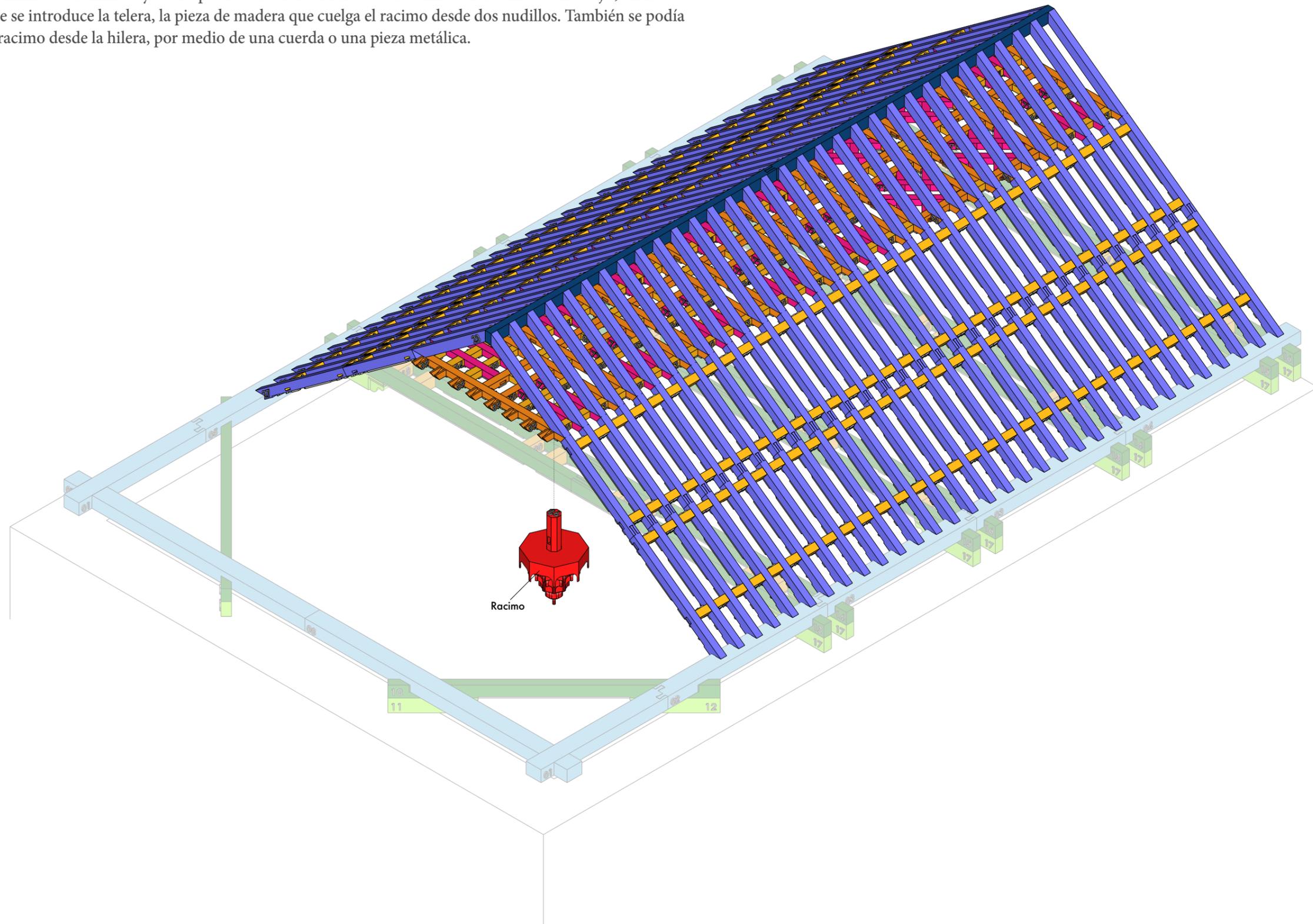


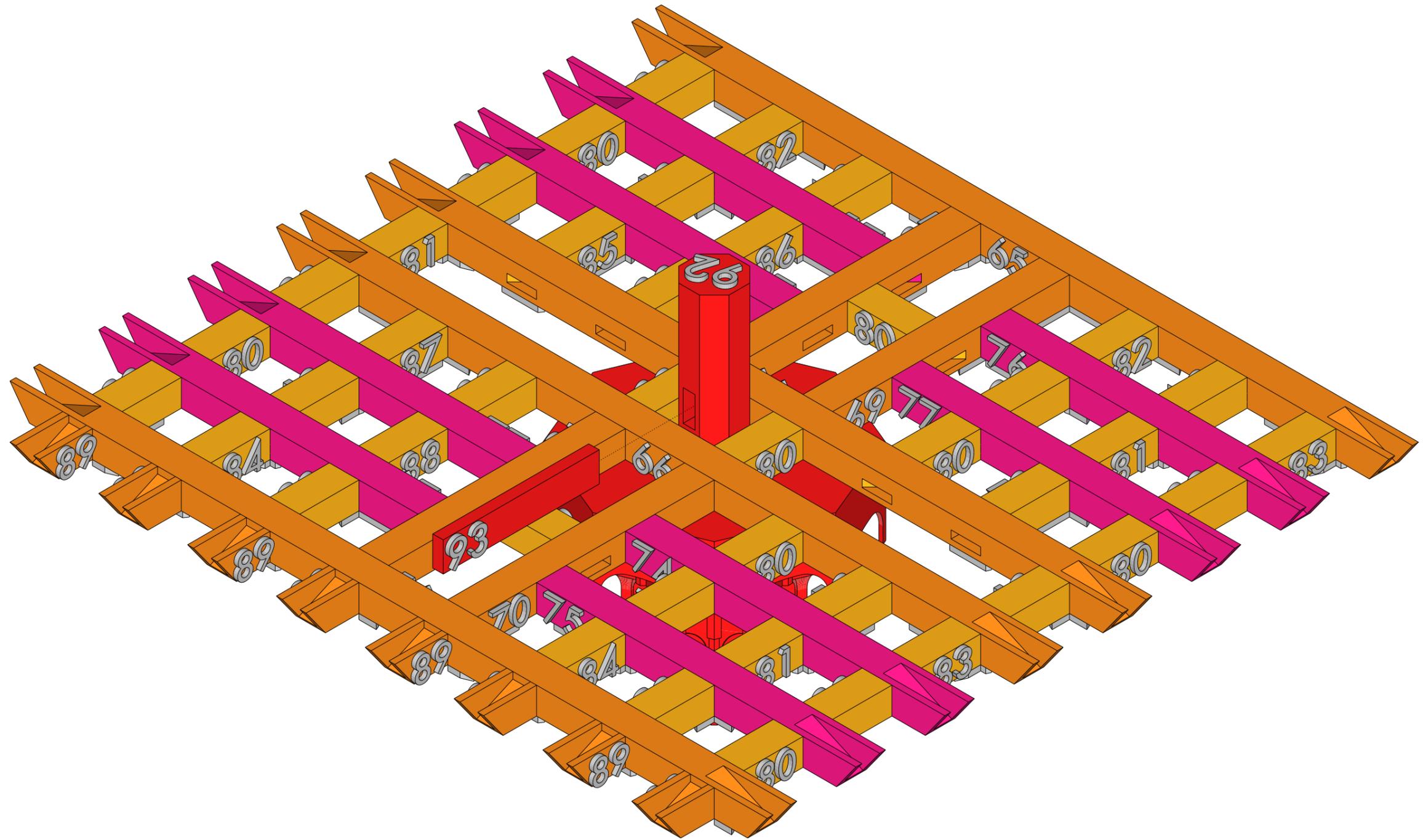


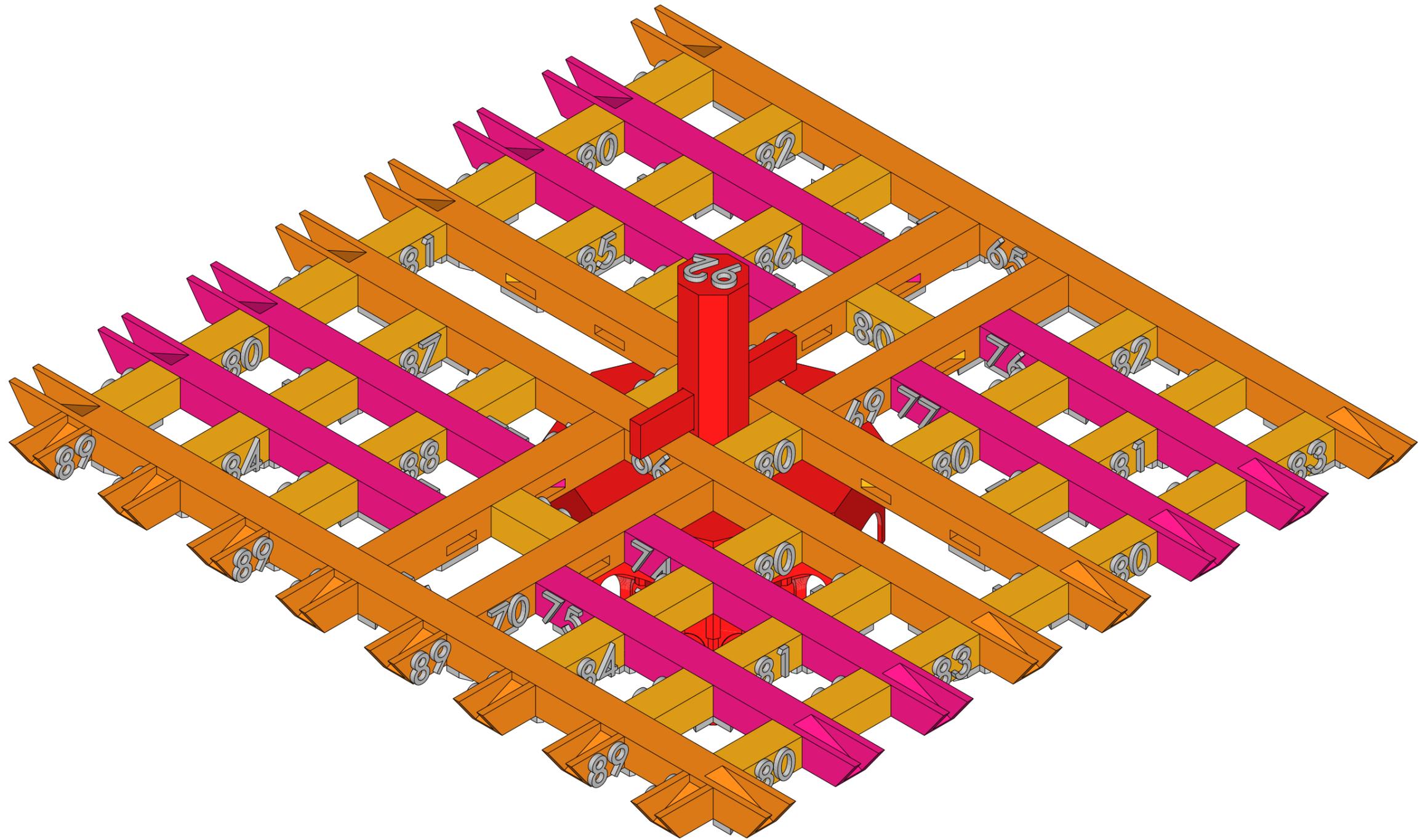


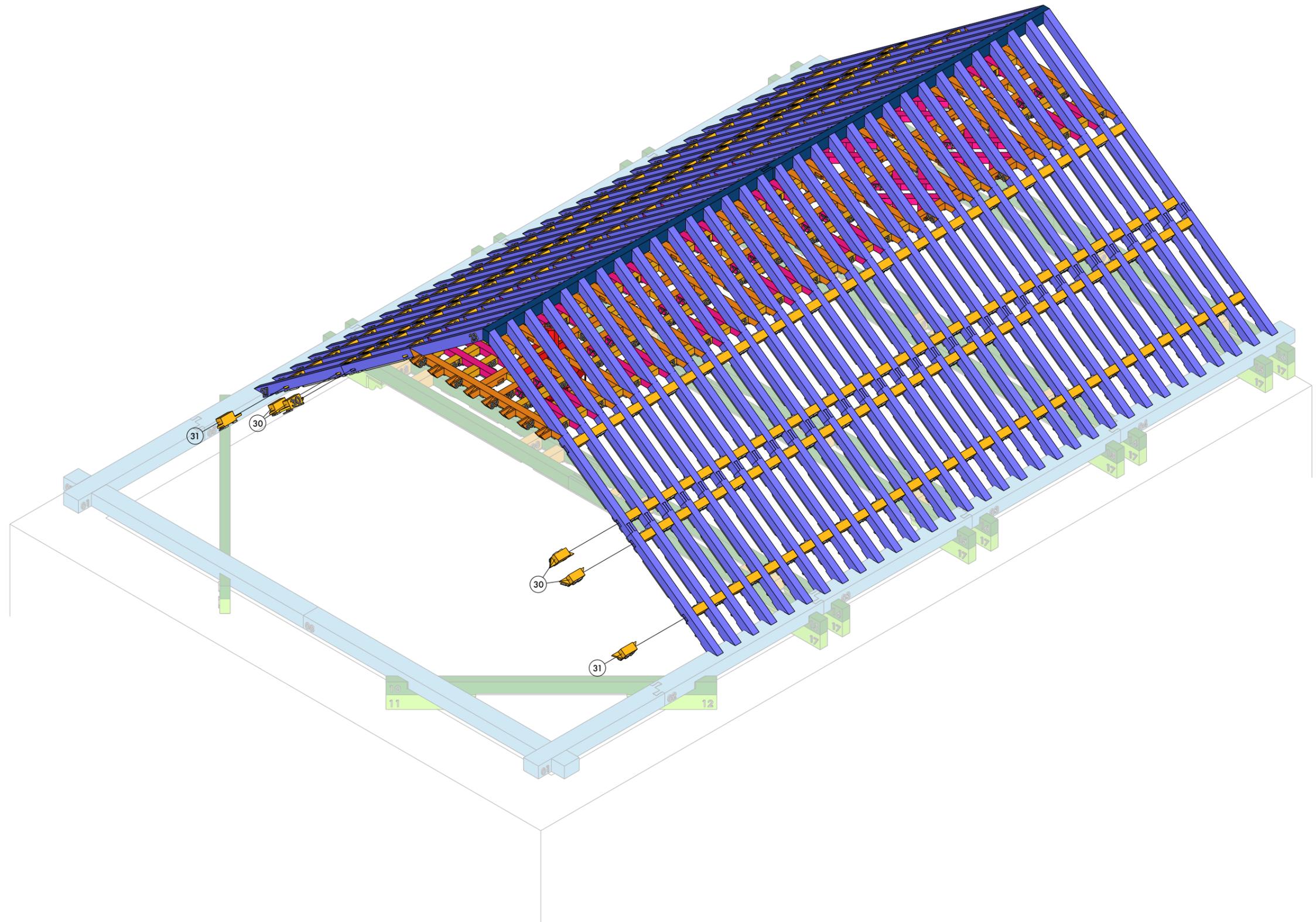


La colocación del racimo de mocárabes se realizaba una vez terminada la estructura, junto con la de los taujeles que terminaban el diseño de lazo, pero para facilitar el montaje del racimo en la maqueta, se colocará en su sitio una vez terminado el almizate y sus respectivos laterales. Al nabo del racimo se le realizaba una “caja”, un hueco por donde se introduce la telera, la pieza de madera que cuelga el racimo desde dos nudillos. También se podía colgar el racimo desde la hilera, por medio de una cuerda o una pieza metálica.

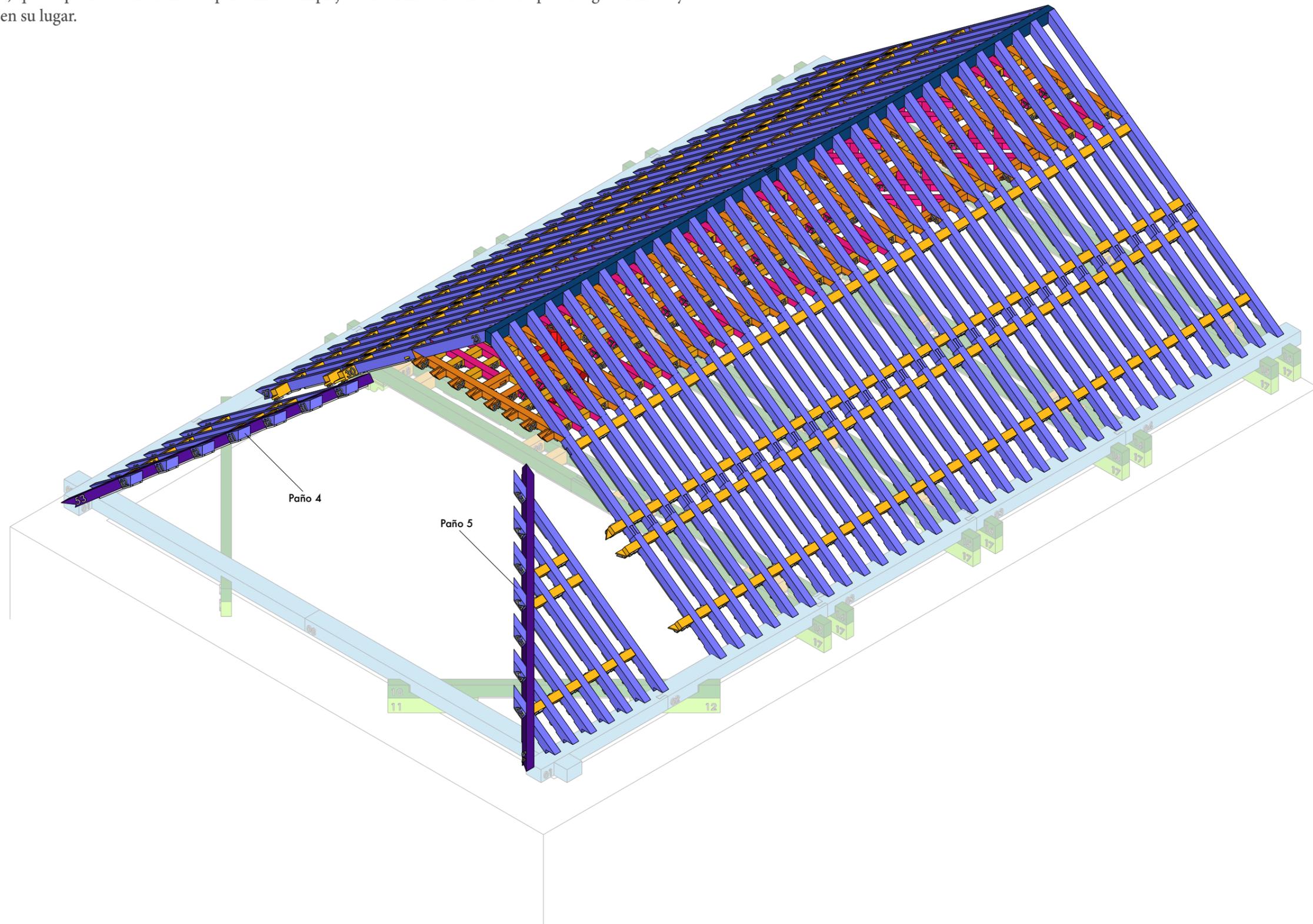


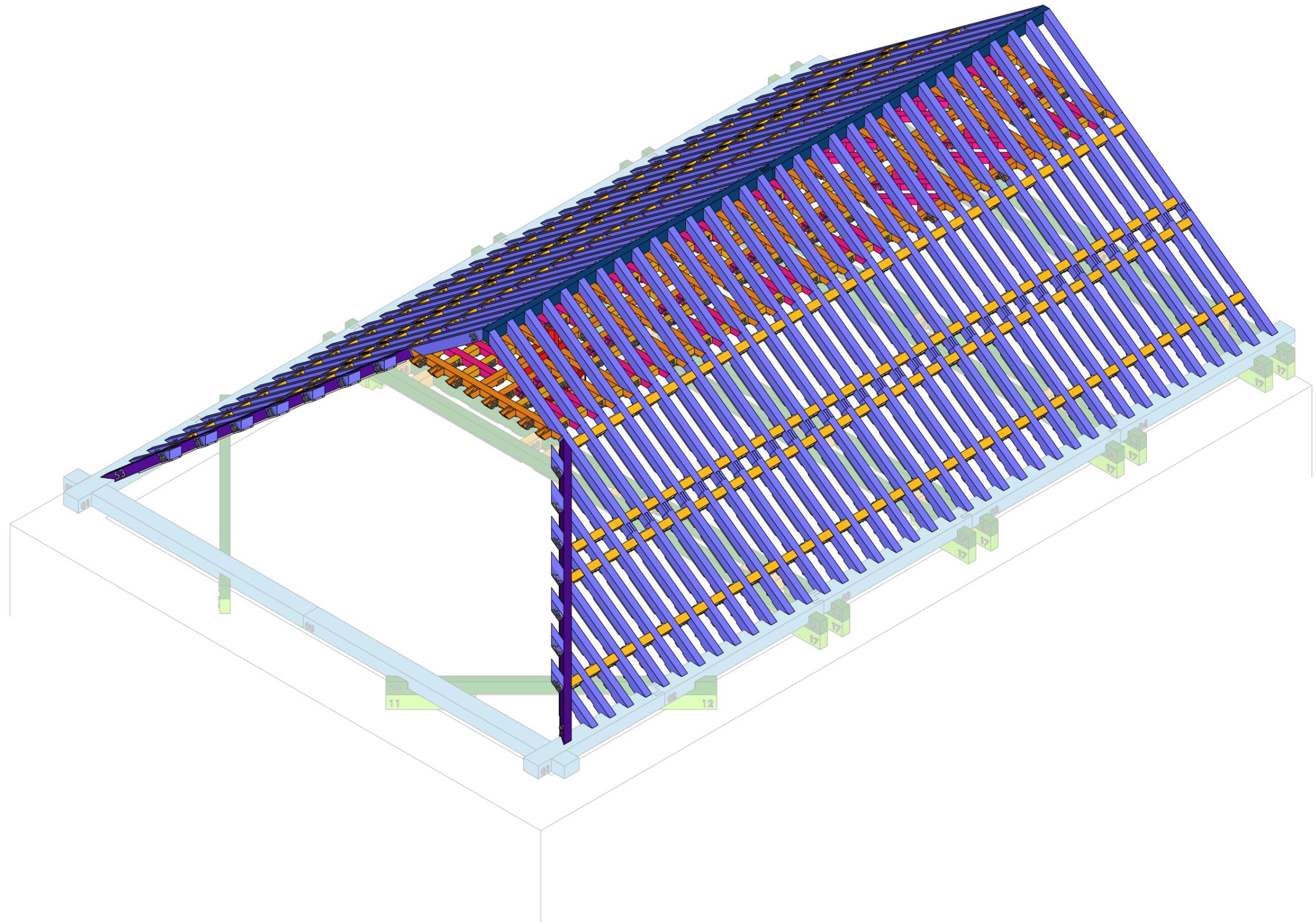


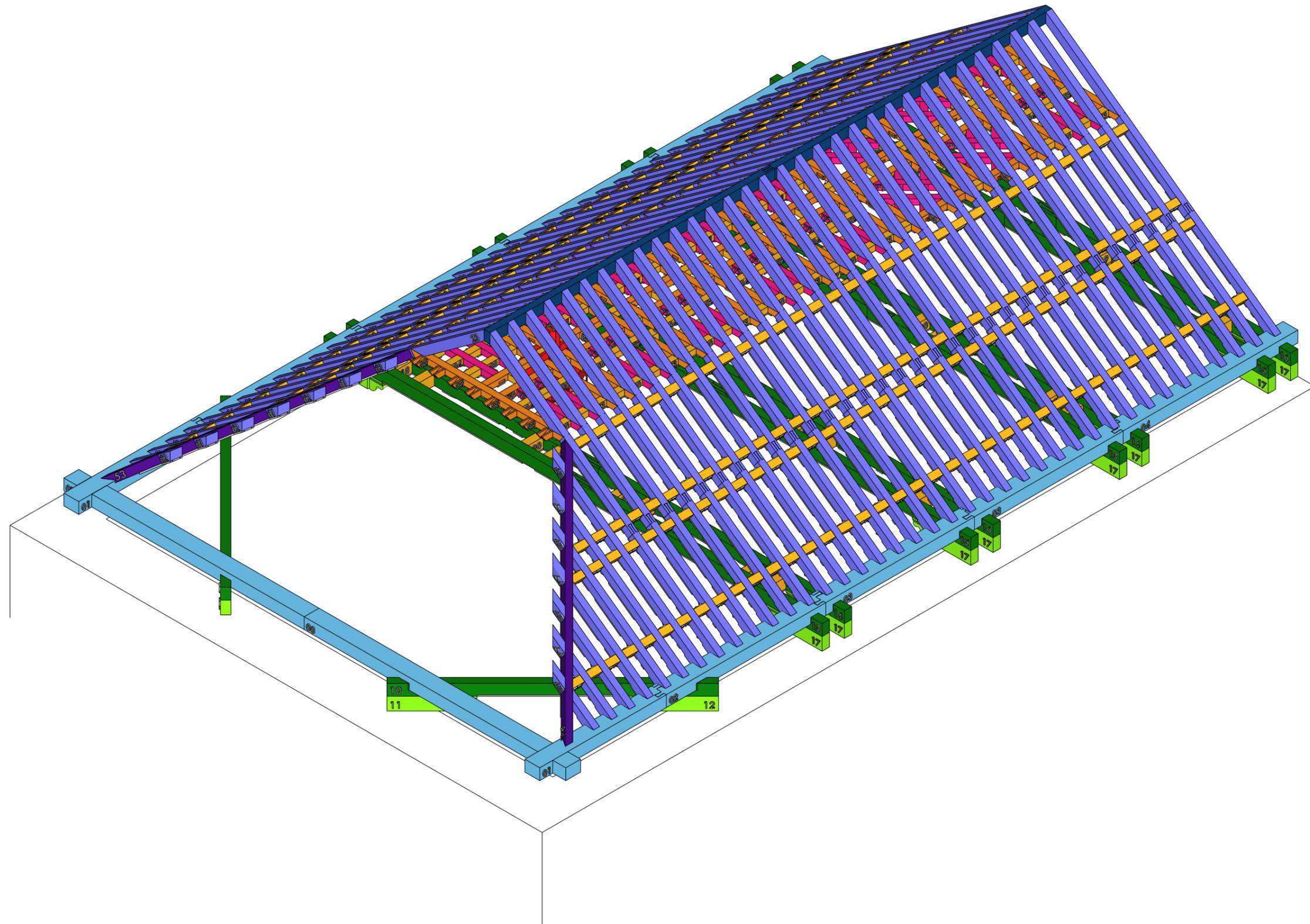




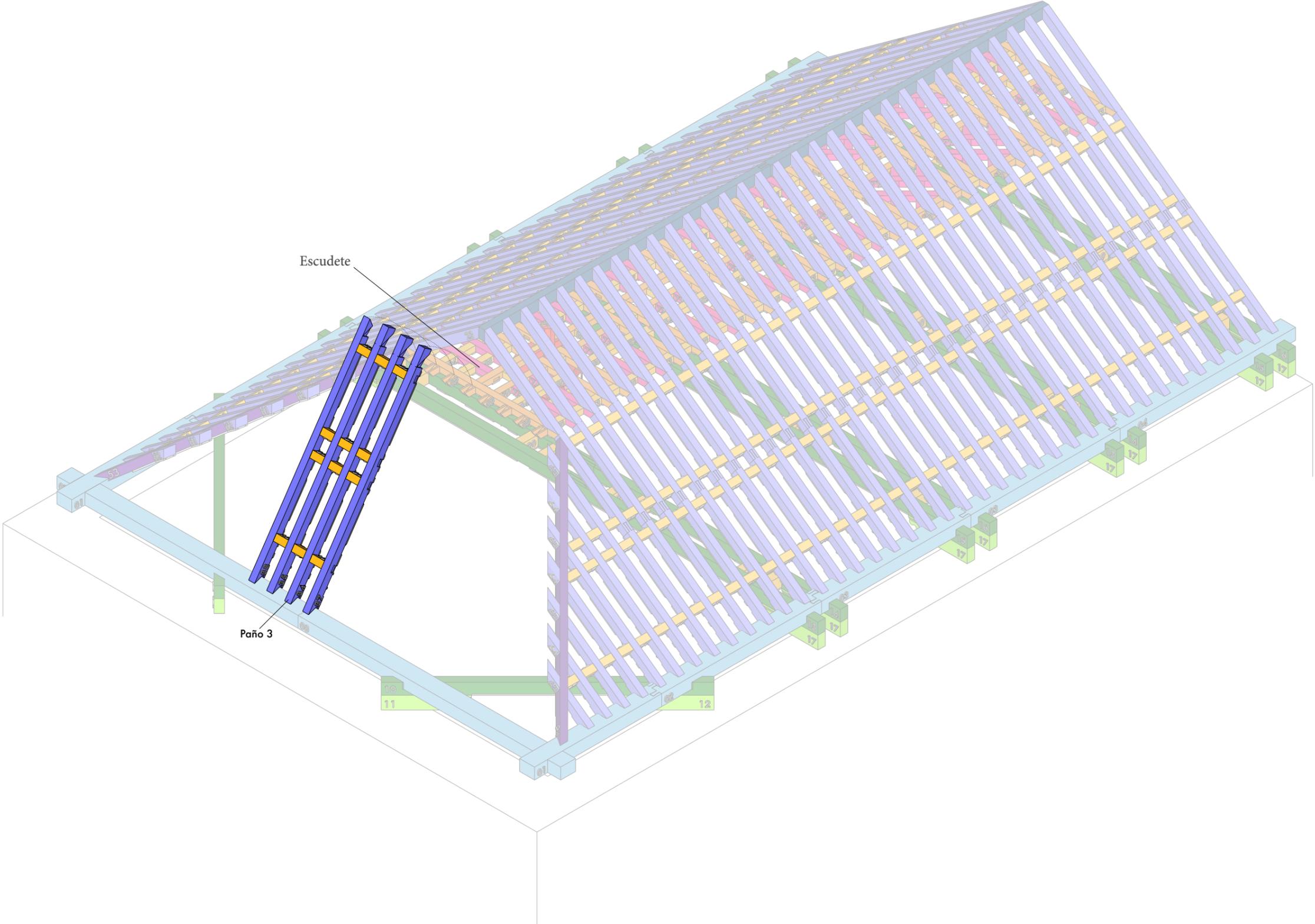
Tras terminar el almizate y su parte de los faldones, se colocaban los paños de esquina, es en este paño donde está la clave del sistema de prefabricación de los paños, fue gracias a doblar las limas (de limas bordones a moamares) que es posible construir esta parte más compleja de la armadura en el suelo para luego ser izada y colocada en su lugar.

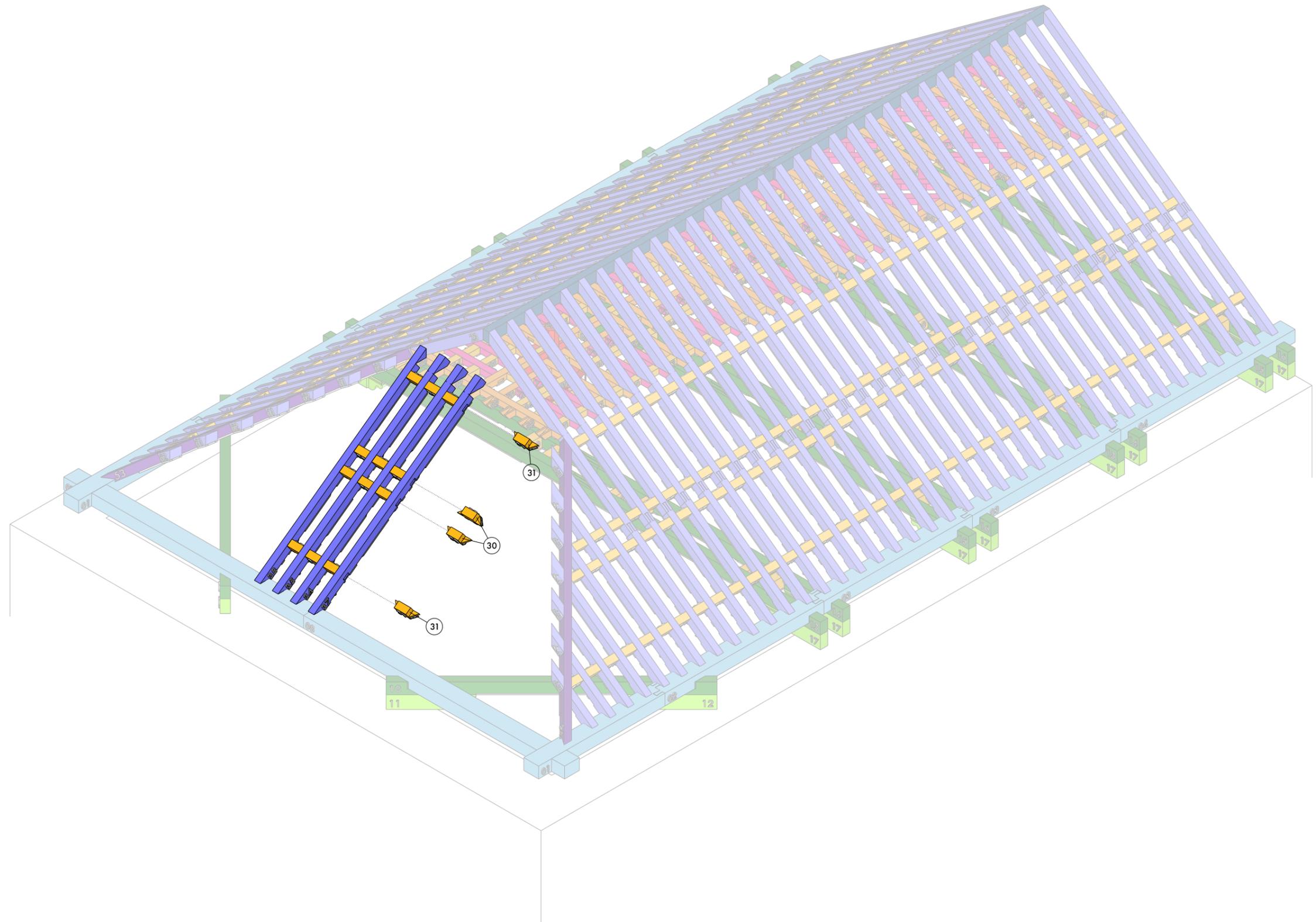


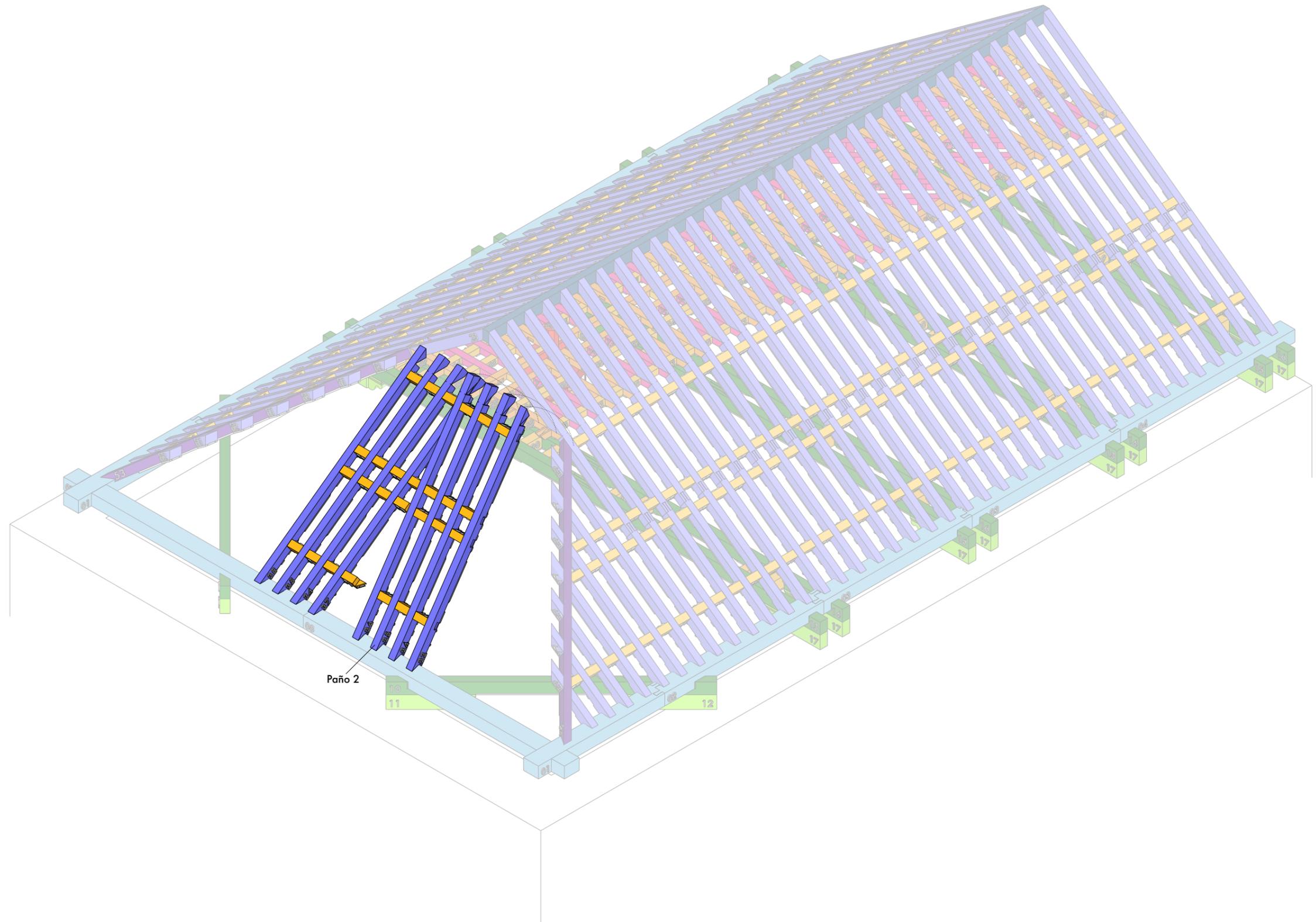


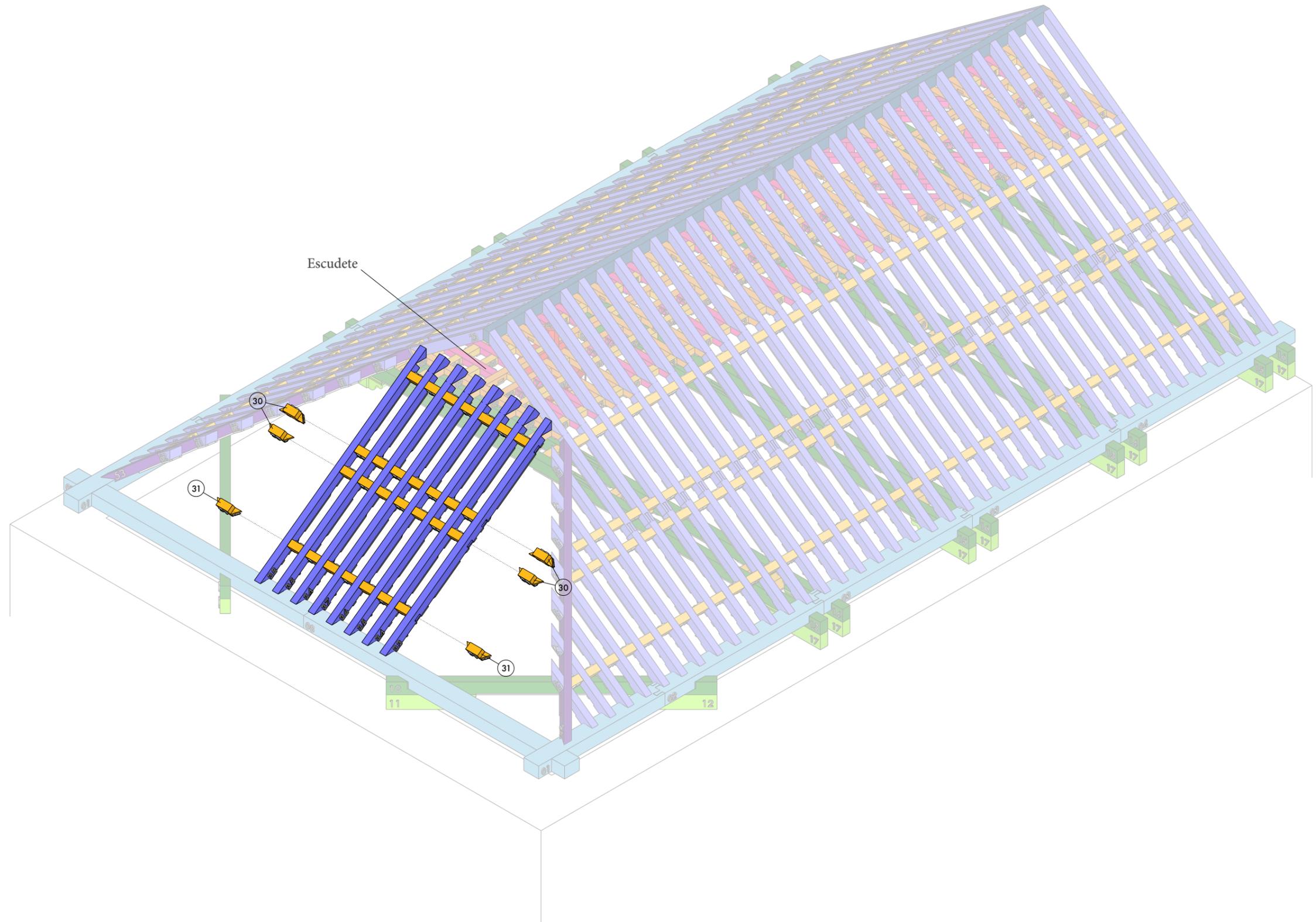


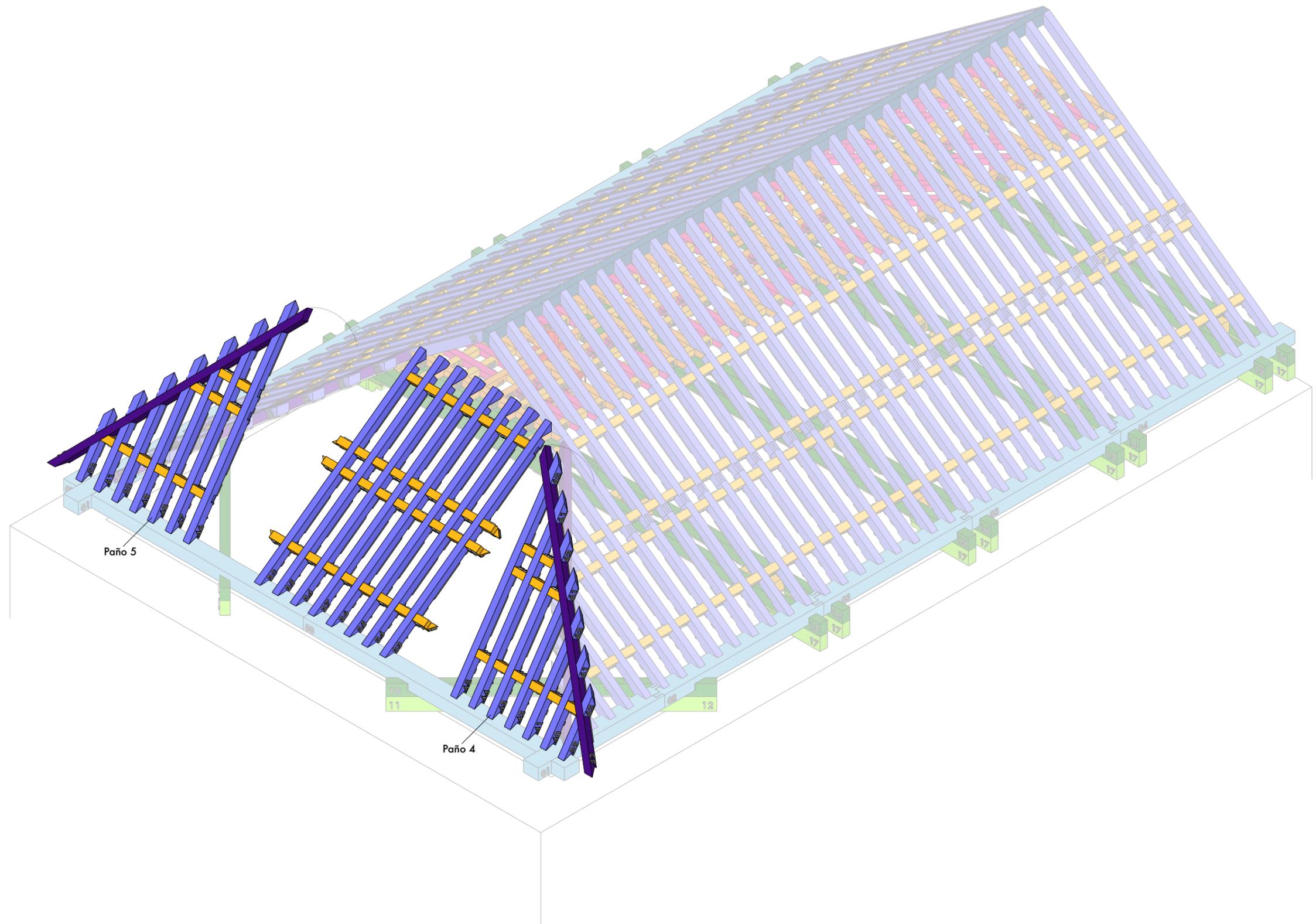
Con la colocación de los dos primeros paños de esquina, solo queda terminar con el testero de la armadura. La única diferencia con los paños de los faldones longitudinales, es que estos paños terminan en el almizate, dejando el característico triángulo que estas armaduras dejan en sus lados cortos, el escudete.

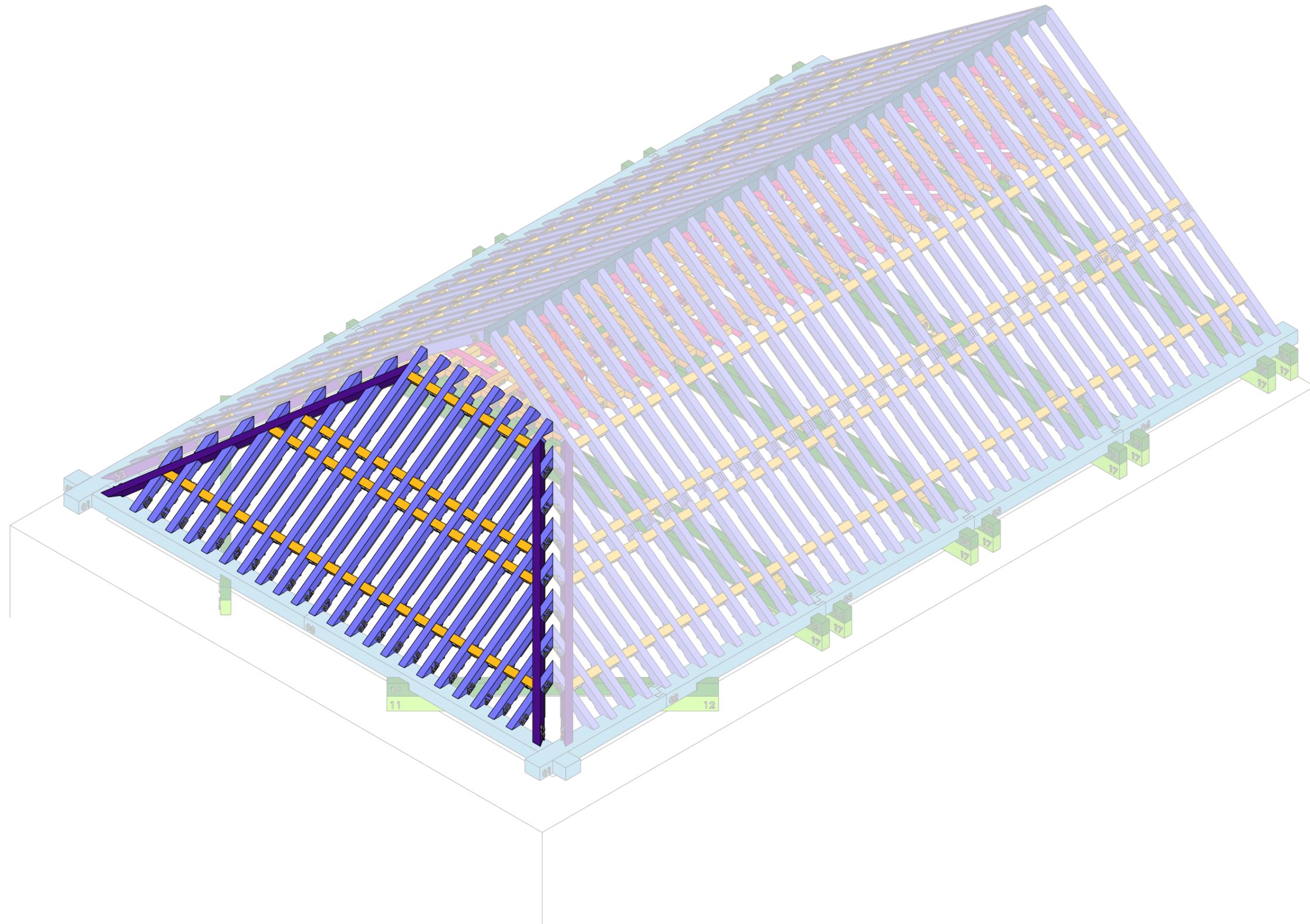


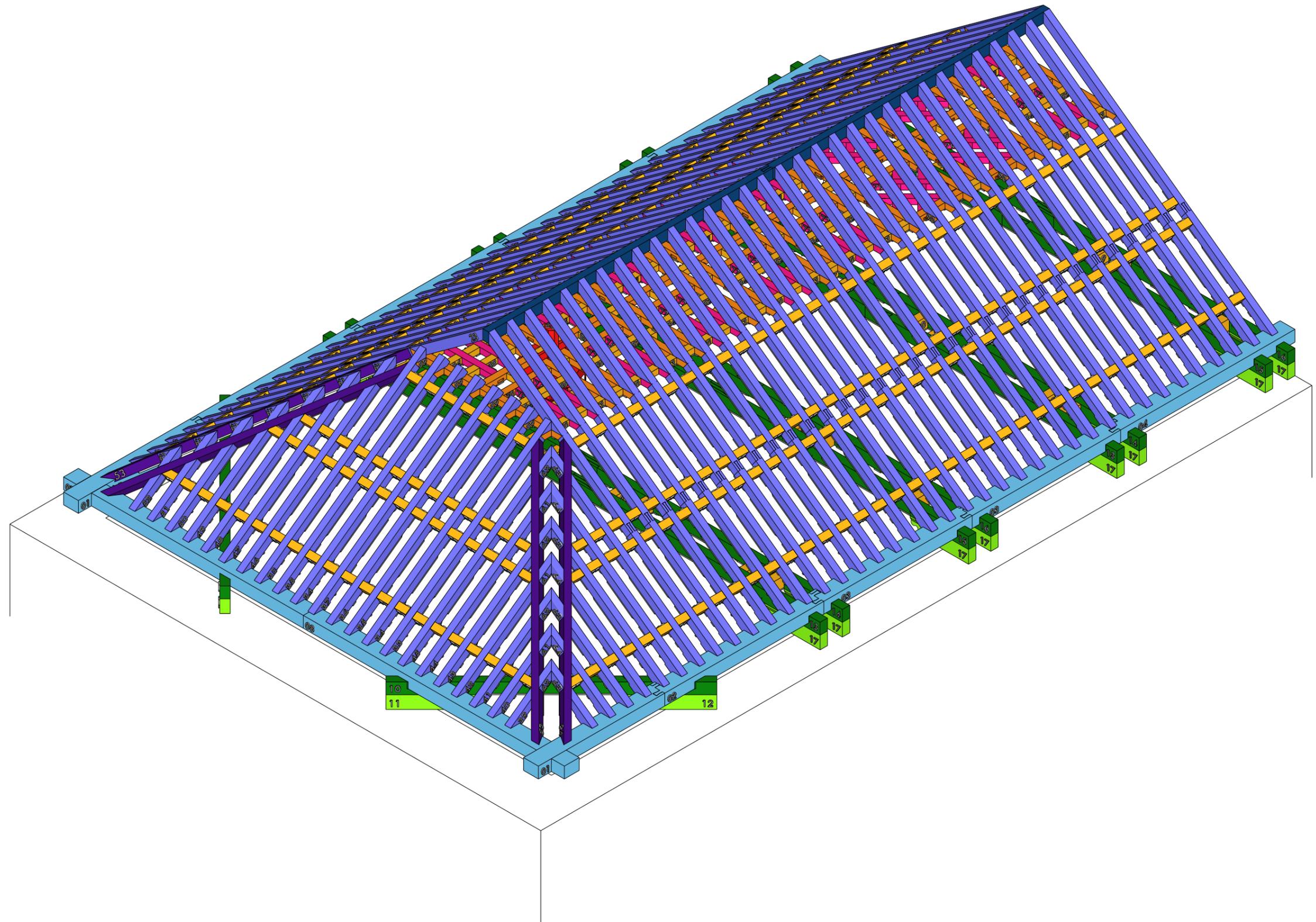












6 Conclusiones

Este trabajo comenzó como una manera de saciar mi curiosidad, sin embargo, esta se ha visto excesivamente incrementada. La línea general que sigue este Trabajo Fin de Grado es la documentación, análisis y difusión del patrimonio arquitectónico, sin embargo el objeto de estudio, la Iglesia de San Miguel Bajo, no es el protagonista, sino un medio para dar a conocer, de forma sencilla y rápida, un sistema constructivo que lo compone, la carpintería de lo blanco realizada en España, más concretamente la carpintería de lazo, que aunque solo constituye una pequeña parte de esta, es la más conocida. Para lograr este objetivo, se decidió apoyarse sobre la maqueta como medio de difusión, gracias a los nuevos procesos de fabricación al alcance, y así poner a prueba sus posibles aplicaciones y su viabilidad dentro del ámbito de la arquitectura y el patrimonio.

El porqué de una maqueta y no otro medio tiene una sencilla explicación: la arquitectura real se construye, no se dibuja, un plano es una representación en dos dimensiones de lo que es, fue o podría llegar a ser; una maqueta, sin embargo, está mucho más cerca de la realidad, es **una representación de un espacio en tres dimensiones a través de un modelo a escala, también en 3 dimensiones**. En un principio este planteamiento parece obvio, pero existen dos razones concretas para ello: la primera viene dada por el carácter divulgativo que busca este trabajo, se busca llevar este conocimiento a cualquier persona, incluidos los que están fuera de la profesión de arquitecto, un modelo tridimensional bien estructurado es mucho más fácil de comprender que cualquier plano. La segunda razón es el auge de nuevos procesos de fabricación, como la Impresión 3D, hoy accesible para casi cualquier persona o institución, por lo que con una buena guía, y acceso a Internet, cualquiera puede replicar el resultado de este Trabajo Fin de Grado.

El resultado ha sido una maqueta completa de **una armadura de par y nudillo basada en la existente en la Iglesia de San Miguel Bajo**, junto con un manual de montaje con las indicaciones pertinentes a la hora de fabricar las piezas y su ensamblaje. Con el uso de la Impresión 3D y el corte láser (solo la base opcional), se ha conseguido diseñar y realizar una maqueta capaz de enseñar sus entresijos mediante su montaje paso a paso, siendo las piezas duraderas y precisas, gracias a su método de fabricación.

La metodología empleada es resultado de la combinación de procesos de levantamiento y fabricación que hace una década se consideraban muy avanzados, pero que hoy están al alcance de cualquiera. El uso de la fotogrametría y el tener acceso a una impresora 3D doméstica han resultado clave para poder realizar este trabajo de forma exitosa, pero a un nivel casero y con muy pocos medios, por lo que me resulta emocionante imaginar lo que se puede llegar a realizar si se utilizaran métodos similares, pero a un nivel más profesional, como el uso de un escáner láser o estaciones totales para lograr levantamientos de mayor calidad; o el uso de otros procesos de fabricación aditivos como

la impresión con SLA (polímeros fotosensibles), mucho más rápida y con mejor calidad que la impresión 3D convencional, o sustractivos como las máquinas CNC (control numérico por computadora), dando acceso a trabajar con materiales como la madera a una escala mayor sin perder precisión y sin una inversión de tiempo mayor.

Con el acceso a todas estas herramientas se abre una gran oportunidad en muchos ámbitos de la profesión, desde el estudio del patrimonio y su restauración hasta la docencia:

- **Patrimonio:** Esta metodología se podría ampliar a otros supuestos en los cuales los estudios se han realizado casi exclusivamente desde el punto de vista estilístico, me refiero al estudio constructivo y estructural de las bóvedas góticas o románicas la original carpintería japonesa, etc. Por ejemplo, dentro del trabajo realizado se podría realizar el modelo completo de la armadura ochavada de San Miguel Bajo, o el de la armadura de 5 paños de la Iglesia de San Gil, demolida para realizar el ensanche de Plaza Nueva en Granada, de la cual aun existen restos de un par de sus paños en el Museo de la Alhambra.

- **Docencia:** Este aspecto me parece el más interesante, esta metodología se podría adaptar a multitud de ámbitos dentro de la enseñanza de esta profesión y fuera de ella. Se me ocurren ejemplos como: un modelo de una estructura de acero, la cual, gracias a la flexibilidad del plástico utilizado y a un buen diseño de los nudos, pueda mostrar de forma exagerada las deformaciones producidas por una carga, la creación de una colección de modelos de perfiles estructurales o para carpinterías, detalles constructivos tridimensionales desmontables, modelos totales o parciales de grandes obras de la arquitectura y el urbanismo que sean duraderos y puedan servir de recurso didáctico en asignaturas como proyectos, urbanismo o composición. En esta última ya se realiza una actividad semejante como práctica, con la diferencia que estas maquetas solo se exponen en clase durante un solo día, no se guardan de un curso para otro.

Quiero hacer la analogía de esta forma de enseñanza con el estudio anatómico del ser humano en medicina, ya que a la hora de enseñar anatomía se sirven de gran variedad de modelos tridimensionales desmontables, no solo de imágenes, tras lo cual se acaba trabajando con personas reales. No comprendo cómo, siendo la arquitectura *“el juego sabio, correcto, magnífico de los volúmenes bajo la luz”*, en palabras de Le Corbusier, la estudiemos casi exclusivamente en dos dimensiones y sin apenas realizar visitas, cuando claramente utiliza la palabra “volumen” para definirla. Para conocer nuestra arquitectura y nuestro patrimonio a un nivel más profundo, lo ideal es visitarlo, vivirlo en primera persona, lógicamente es la forma más útil para conocer algo a fondo, pero en este caso es claramente inviable salvo en contadas ocasiones. El siguiente nivel para aproximarnos lo máximo posible a la realidad es el uso de la maqueta, siendo su producción muchísimo más accesible y asequible que nunca, abriendo un gran abanico de posibilidades.

7 Bibliografia

- Alcaraz, B. (2014, Febrero 8). El Aljibe de San Miguel Bajo [Entrada blog]. Recuperado de <http://brunoalcaraz.blogspot.com/2014/02/el-aljibe-de-sanmiguel-bajo-iglesia-de.html>
- Aranda, G. (2013, Febrero 14). Mocárabes versus muqarnas [Entrada blog]. Recuperado de <http://www.alhambra-patronato.es/elblogdelmuseo/index.php/mocarabes-versus-muqarnas/>
- Aranda, G. (2015, Agosto 11). Fragmento de una bóveda de mocárabe quebrada del Palacio de Comares, hoy en el Museo de la Alhambra [Entrada blog]. Recuperado de <http://www.alhambra-patronato.es/elblogdelmuseo/index.php/boveda-mocarabe-comares/>
- *Arte Mudéjar*. (1983). Granada: Exposición presentada por la Comisión Nacional para la Celebración del V Centenario del Descubrimiento de América y el Excmo. Ayuntamiento de Granada.
- Barrios, J. M. (1999). *Reforma urbana y destrucción del patrimonio histórico en Granada*. Granada: Universidad de Granada.
- Blanco, R. (2007). Cubiertas de madera de las iglesias fernandinas de Córdoba. *Informes de la Construcción*, 59, 33-41. doi:10.3989/ic.2007.v59.i507
- Bosque, J. (1988). *Geografía urbana de Granada*. Granada: Universidad de Granada.
- Carrera, J. J. (2013, Junio 19). Los Mocárabes (I)[Entrada a Blog]. Recuperado de <http://sombrasdetinta.blogspot.com/2013/06/los-mocarabes-i.html?q=mocarabe>
- Carrera, J. J. (2013, Junio 20). Los Mocárabes (II)[Entrada a Blog]. Recuperado de <http://sombrasdetinta.blogspot.com/2013/06/los-mocarabes-ii.html?q=mocarabe>
- Casel, M. (2015, Enero 17). Pieza del mes en el museo de la Alhambra: las gorroneas de entrada al cuarto dorado [Entrada blog]. Recuperado de <http://legadonazari.blogspot.com/2015/01/pieza-del-mes-en-el-museo-de-la.html>
- Cómez, R. (2009). *Los constructores de la España Medieval*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- de Mingo, J.(2016, Noviembre 3). *El trazado geométrico de las armaduras de lazo* [Vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=TfJFDaH9iPw>
- de Mingo, J.(2018). *Albanécar. Bitácora de la carpintería de lo blanco*. Recuperado Marzo 2018, de <http://www.albanecar.es/>
- Fab Lab Sevilla. (2017, Febrero 24). Andalusi “muqarba” system. Recuperado Mayo 2018, de <https://www.thingiverse.com/thing:2133876>
- *FDM 3D Printing materials compared*. (s.f.). Recuperado Febrero 2018, de <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared>
- Fernández, A., Marinetto, P., Aljazair, G. (2017). *La carpintería de lo blanco en ejemplos granadinos*. Granada: Universidad de Granada.
- Fernández, M. C. (2011). Reconstrucción de una armadura de cubierta de lazo, en la iglesia parroquial de Almenara de Tormes (Salamanca). *Informes de la Construcción*, 63, 13-19. doi: 10.3989/ic.09.015
- García, J. (2004). *La Iglesia en el Reino de Granada durante el siglo XVI*. Granada: Editorial Ave María.
- *Iglesia de San Miguel Bajo (Granada)*. (s.f.). Recuperado Enero 2018, de [https://granadapedia.wikanda.es/wiki/Iglesia_de_San_Miguel_Bajo_\(Granada\)](https://granadapedia.wikanda.es/wiki/Iglesia_de_San_Miguel_Bajo_(Granada))
- Jimenez, N. (2001). *Proyecto de exposición temporal sobre maderas mudéjares en Granada* (Trabajo fin de máster. Universidad de Granada, Andalucía). Recuperado de <http://hera.ugr.es/tesisugr/16618543.pdf>
- Ladera M. A. (1988). *Granada después de la conquista. Repobladores y mudéjares*. Granada: Diputación Provincial de Granada.
- López de Arenas, D. (1633). *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes*. Sevilla.
- López, R. (1987). *Tradición y clasicismo en la Granada del XVI*. Granada: Diputación Provincial de Granada.

- Martín, A., y López J. M. (2007). Restauración de la iglesia mudéjar y alminar de San Juan de los Reyes de Granada. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 62, 86-107. Recuperado de <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/viewFile/2357/2357>
- Minbar of the Kutubiyya Mosque. (s.f.). Recuperado Octubre 2018, de <http://blog.stephens.edu/arh101glossary/?glossary=minbar>
- Montero, A. (2017). La transformación urbana en Granada del medievo a la modernidad. *Arqueología y Territorio*, 14, 159-174. Recuperado de <https://www.ugr.es/~arqueologyterritorio/PDF14/12-Montero.pdf>
- Museo de la Industria Harinera de Castilla y León. (2016, Octubre 7). Maqueta de la Semana en la exposición Ars Mechanicae: construcción de una Armadura Mudéjar. [Entrada blog]. Recuperado de http://mihacale.blogspot.com/2016/10/maqueta-de-la-semana-en-la-exposicion_7.html
- Nuere, E. (1989). *La carpintería de armar española*. Madrid: Ministerio de Cultura.
- Nuere, E. (1990). *La carpintería de lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*. Málaga. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental, Delegación de Málaga.
- Nuere, E. (2001). *Nuevo tratado de la carpintería de lo blanco*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Nuere, E. (2010, Enero 17). *Dibujo, geometría, y carpinteros en la arquitectura*. Discurso del Académico Electo Excmo. Sr. D. Enrique Nuere Matauco leído en el acto de su recepción pública, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid. Recuperado de http://www.realacademiabellasartessanfernando.com/assets/docs/discursos_ingreso/nuere_matauco_enrique-2010.pdf?PHPSESSID=731674474c67d7d951b885a188629254
- Nuere, E. (2014). *Conferencias y estudios sobre la carpintería de armar española*. Recuperado Marzo 2018, de <http://enrique.nuere.es/blog/>
- Nuere, E. (2015, Noviembre 10). *El origen de la carpintería de lazo* [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=GjUlqJgm-MCY>
- Orihuela, A., Vílchez, C. (1991). *Aljibes Públicos de La Granada Islámica*. Granada: Ayuntamiento de Granada.
- Parrinello, S., Gomez, A., Picchio, F. *El palacio del Generalife. Del levantamiento digital al proyecto de gestión*. Pavia: Pavia University Press.
- Pastor, L. (2016, Agosto 12). Unidades de medida [Entrada blog]. Recuperado de <http://luispastor.es/unidades-de-medida/recopilacion-de-unidades-de-medida/>
- *Patrimonio Inmueble de Andalucía, Iglesia de San Miguel Bajo*. (2011). Recuperado Enero 2018, de http://www.iaph.es/patrimonio-inmueble-andalucia/resumen.do?id=i16959&ids=180870078#_identificacion
- Peláez, M. (2017, Marzo 1). “Hay que pensar y sacar conclusiones por tu cuenta”. *Descubrir el Arte*. Recuperado de <http://www.descubrirelarte.es/2017/03/01/hay-que-pensar-y-sacar-conclusiones-por-tu-cuenta.html>
- Prados, M. V. (2012, Noviembre 6). La lona “la casa de todos” (primera parte) [Entrada blog]. Recuperado de <https://albayzindeayer.wordpress.com/2012/11/06/la-lona-la-casa-de-todos-primera-parte/>
- Prados, M. V. (2013, Febrero 18). La lona “la casa de todos” (segunda parte) [Entrada blog]. Recuperado de <https://albayzindeayer.wordpress.com/2013/02/18/la-lona-la-casa-de-todos-segunda-parte/>
- Redwood B., Schöffner F., Garret B. (2017). *The 3D Printing Handbook*. The Netherlands: 3D Hubs.
- Rodrigo, J. C. (2004). La iglesia mudéjar de San Miguel Bajo (Granada): adaptación al culto pos-conciliar. *Alonso Cano. Revista Andaluza de Arte*, 2, 25-30. Recuperado de <http://perso.wanadoo.es/alonsocano1601>
- *Taujel - Artesonado de la Iglesia de Santa María del Castillo* [Video]. (2013, Febrero 28). Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=v11_0dU0BdE

8 Anexos

DICCIONARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS DE LA CARPINTERÍA DE ARMAR ESPAÑOLA

Los siguientes términos y sus definiciones se han transcrito en su mayoría del completo diccionario incluido en el libro “La carpintería de armar española” (1989) del arquitecto Enrique Nuere, y el resto, del diccionario de la web “www.albanecar.es” llevada por el arquitecto Javier de Mingo. El objetivo de este anexo es que el lector pueda comprender el léxico característico de la carpintería de armar española utilizado en este Trabajo Fin de Grado, por lo que se va a referenciar directamente a las fuentes más fiables en este momento. Junto a cada término también se han incluido algunos de sus sinónimos más utilizados.

A cuerda y calle: “Dícese de la disposición de maderas que componen una armadura o un trabajo de lacería, cuando la distancia entre ellas es el doble de su grueso.” (Nuere, 1989, p. 127)

Adarajas: “Cada una de las piezas prismáticas que componen una labor de mocárabes.” (Nuere, 1989, p. 128)

Agudo: “Forma del extremo de un taujel, que debe de simular su paso por encima de otro, no pudiendo hacerlo realmente por tratarse de una madera que ha de ser enteriza por razón estructural.” (Nuere, 1989, p. 129)

Albanecar: “Cartabón que mide en el plano de los faldones de una armadura, el ángulo del estribo con la lima.” (Nuere, 1989, p. 130)

Alicer: “Elemento de madera, generalmente de tabla, que se utiliza para cubrir parte de la infraestructura de la armadura, formando parte del arrocabe.” (Nuere, 1989, p. 134)

Almarbate: “Pieza corrida que ata los pares de una armadura por su parte más baja sobre la solera o el estribo. Cuando la armadura es de lazo, la cinta del almarbate es el límite del mismo por su parte inferior.” (Nuere, 1989, p. 135)

Almendrilla: “Figura plana con forma romboidal, que en la labor de lacería se forma entre las puntas del sino y los costadillos de los azafates. Su perfil es almendrado.” (Nuere, 1989, p. 136)

Almizate: (Harnezuelo) “Paño horizontal plano formado por el conjunto de los nudillos en las armaduras de par y nudillo.” (Nuere, 1989, p. 137)

Apeinazado: “Trabado con peinazos. En una lacería apeinazada, los pares, nudillos y peinazos que la forman son elementos estructurales y decorativos a la vez.” (Nuere, 1989, p. 140)

Armadura: “Conjunto formado por elementos de madera, unidos entre sí para cubrir o techar un edificio o una estancia.” (Nuere, 1989, p. 142)

Armadura de par y nudillo: (Armadura de par y puente) “Similar a la de parhilara, añadiéndole los nudillos, que son unos travesaños horizontales que unen cada pareja de pares concurrentes.” (Nuere, 1989, p. 145)

Armadura de parhilara: (Armadura de mojinetes) “Compuesta por pares, que forman la pendiente de la cubierta, apoyados en su parte inferior en un estribo, siendo su remate superior en la hilera.” (Nuere, 1989, p. 146)

Armadura ochavada: “Armadura rectangular con las esquinas ochavadas” (Nuere, 1989, p. 148)

Arrocaba: “En una armadura de madera de limas moamares, son las piezas que dan continuidad visual a las péndolas dentro de la calle de limas, de su misma escuadría y forma romboidal.” (Nuere, 1989, p. 149)

Arrocabe: “En una armadura de madera es el conjunto formado por los elementos que desde la cinta del almarbate en los faldones, hasta la solera, se anteponen a modo de remate y tapajuntas a las piezas estructurales. Solera, estribo y barbilla de los pares, que no van vistos.” (Nuere, 1989, p. 149)

Artesonado: “Techo que se resuelve con artesones. Por extensión del techos de par y nudillo con testereros (ochavados o no) cuya forma recuerda una gran artesa.” (Nuere, 1989, p. 150)

Aspilla: “Pieza con forma de cruz de S. Andrés que remata la cabeza de los azafates en una rueda de lazo.” (Nuere, 1989, p. 152)

Ataperfiles: “Ataperfiles es el cartabón cuya cola (ángulo menor), es la mitad que la cabeza (ángulo obtuso mayor), del cartabón de quien toma el nombre. Ataperfiles con denominación propia son el *antimborn*,

que es el ataperfiles del cartabón de 7, *blanquillo*, ataperfiles del 8 y *negrillo*, ataperfiles del 9. El cartabón del 10 usa como ataperfiles al de cinco, y el resto de los lazos forman sus aspillas prestadas de las ruedas de las que se desculatan.” (Nuere, 1989, p. 153)

Azafate: (zafate) “En labor de lacería figuras que se forman alrededor del sino, limitados por los costadillos y las aspillas. Las azafates redondos son hexágonos irregulares, mientras que los azafates harpados modifican esta figura para tomar la del arpón.” (Nuere, 1989, p. 154)

Barbilla: “Corte angular dado en un madero, para apoyar o encajar en otro. En los pares de una armadura el corte vertical dado en la base de la alfarda, que transmite el empuje al estribo.” (Nuere, 1989, p. 156)

Caja y espiga: “Ensamble de dos maderas, rebajando la testa de una de ellas para que encaje en una escopleadura realizada en la otra.” (Nuere, 1989, p. 162)

Calle de limas: “En una armadura de madera cuando el encuentro entre dos paños se resuelve mediante limas moamares o dobladas, calle de limas es el espacio que queda entre ambas.” (Nuere, 1989, p. 163)

Can: “Pieza que se sotopone a la viga o tirante en el punto de entrega al muro, para disminuir su luz libre, y/o aumentar la sección de trabajo caso de haber empotramiento, en vez de apoyo.” (Nuere, 1989, p. 165)

Candilejo: “Estrella de cinco puntas que en la labor de lacería se forma entre las aspillas y las cabezas de los azafates. En lazo de diez el candilejo en regular.” (Nuere, 1989, p. 166)

Carpintero de lo blanco: “Carpintero dedicado a la realización de toda la carpintería en la edificación, así como los ingenios de guerra.” (Nuere, 1989, p. 168)

Cartabón: “Triángulo rectángulo. En carpintería es un útil de madera que se emplea para trazar. 1. Generalmente se denominan los cartabones por el número de veces que su ángulo menor es contenido en la semicircunferencia. Así se utilizaban en carpintería los cartabones de 4, 4½, 5, 6, 7, 8, 9, 10. 2. En estrecha relación con otros cartabones, y su uso en la labor de lacería, existe otra familia denominada de ataperfiles. 3. Los cortes e inclinaciones de las armaduras, se resuelven por medio de un juego de cartabones especificados de cada armadura, llamados cartabón de armadura, albanecar y coz de limas.” (Nuere, 1989, p. 169)

Cartabón de armadura: “Triángulo rectángulo indicativo de la pendiente del faldón de una cubierta. Su ángulo característico lo forma la dirección de una alfarda con la horizontal.” (Nuere, 1989, p. 170)

Copete: “Corte superior del par donde se apoya la hilera. En general extremo de una pieza de madera.” (Nuere, 1989, p. 181)

Cornezuelo: (Quijada, quijera) “Cornezuelos son los extremos salientes del ensamble utilizado en los nudillos para empalmarlos con los pares.” (Nuere, 1989, p. 181)

Cornisa: “En una armadura de madera, el conjunto de piezas que constituyen el arrocabe, forman la cornisa o cornisamento de los muros sobre los que descansan” (Nuere, 1989, p. 182)

Costadillo: “En la labor de lacería, los miembros que constituyen uno de los lados paralelos de los azafates, y que limitan con las aspillas.” (Nuere, 1989, p. 183)

Coz de limas: “Cartabón que mide la inclinación de la lima con la horizontal en el plano vertical que la contiene.” (Nuere, 1989, p. 183)

Cuadral: “Madero estructural dispuesto en ángulo, para atirantar o afianzar a otros dos que forman en el estribo dicho ángulo. En armaduras ochavadas, los cuadrales estriban los paños de la ochava.” (Nuere, 1989, p. 184)

Cuarta: (Palmo) “Medida de longitud divisor de la vara. Cada vara contiene cuatro cuartas o palmos. 208,9mm.” (Nuere, 1989, p. 186)

Cuartillejo: “En la labor de lacería, superficie cuadrada en los que los vértices son centros de sino, desde los que se trazan las correspondientes ruedas con todos sus miembros. Formado por 4 cuartos de rueda.” (Nuere, 1989, p. 186)

Cuerda: “En carpintería en general y en labor de lacería en particular, el grueso de los maderos. También cuerda para plantear alguna medida o trazo.” (Nuere, 1989, p. 188)

Desculatar: (Descopetar) “Dar origen a la rueda de lazo dependiente de otra. La de 8 desculata la de 16, la de 9 la de 12, la de 10 la de 20, la de 7 la de 14.” (Nuere, 1989, p. 189)

Escopleadura: (Escopladura, espera, muesca) “Caja realizada en la madera con un escoplo, para que encaje en ella la espiga de otra masera.” (Nuere, 1989, p. 197)

Escudete: “En cubiertas a cuatro aguas de limas moamares, los faldones del testero no llegan hasta la cumbrera, se produce un triángulo en el plano vertical de los partorales llamado escudete.” (Nuere, 1989, p. 199)

Espiga: “Parte del ensamble denominado caja y espiga. Corresponde a la testa rebajada de una de las maderas, de modo que ajuste en la caja de la otra.” (Nuere, 1989, p. 200)

Estribo: (Cerco) “Parte de la armadura destinada a recibir los pares. Resiste el empuje de estos gracias a los tirantes. En armaduras pequeñas puede no existir el tirante, sustituido por el propio estribo de los testers.” (Nuere, 1989, p. 201)

Faldón: “Se denomina faldón a cada uno de los paños oblicuos de una armadura, recibiendo tal nombre posiblemente debido a su forma de trapecio isósceles, semejante al perfil de una falda. A su vez los faldones se clasifican en función de su posición, pudiendo ser testers si están a la cabeza o a los pies de la nave en cuestión, o gualderas si se encuentran en los laterales de la misma.” (de Mingo, s.f., recuperado Septiembre 2018, de <http://www.albanecar.es/diccionario/>)

Garganta: “En general estrechamiento. Escopleadura hecha para escasear una pieza. En los pares, rebaje que se hace para alojar los cornezuelos de los nudillos.” (Nuere, 1989, p. 203)

Gualdera: “Faldón situado en los laterales de la nave.” (de Mingo, s.f., recuperado Septiembre 2018, de <http://www.albanecar.es/diccionario/>)

Haliba: “En labor de lacería, una de las piezas componente de la rueda de lazo, contigua a signos, azafates y almendrillas. Su forma recuerda al *halibut*.” (Nuere, 1989, pp. 205-206)

Hilera: “Madera colocada horizontalmente, donde rematan las cabezas de los pares de las armaduras de madera. Sobre el se forma el caballete o lomo de la cubierta.” (Nuere, 1989, p. 207)

Jaira: “Es una determinada adaraja compuesta por dos prismas triangulares isósceles de ángulo menor cola de cuadro (45°), formando por su unión un rombo. Los distintos recortes posibles, y las caras donde se dan, dan lugar a diferentes tipos como: Jaira ciruelo, jaira ahorcada, jaira rubí.” (Nuere, 1989, p. 209)

Lacería: (Lazo) “Genéricamente, la labor que se produce por el continuo entrecruzamiento de líneas, alternativamente por arriba y por abajo formando determinados trazos geométricos, sin aparente solución de continuidad. En la carpintería de lo blanco este tejido además de obedecer a las leyes internas del trazado geométrico, depende muy estrechamente de factores constructivos como son modulación y dimensiones de los elementos que lo forman, lo que le confiere un aspecto propio y diferente de otros desarrollos sometidos a otros condicionantes.” (Nuere, 1989, pp. 212-213)

Lima bordón: “Pieza única con que se resuelve el encuentro de dos faldones. Normalmente va desde el encuentro de los estribos a la hilera.” (Nuere, 1989, p. 214)

Lima moamar: (Lima doblada, lima mohamar) “La resolución del encuentro de dos faldones mediante dos piezas, cada una perteneciente a uno de los planos de los faldones. Su aparición permitió prefabricar en el suelo los faldones de una armadura, potenciando así los trabajos de lacería apeinazada.” (Nuere, 1989, p. 215)

Mangueta: “Arenas denomina manguetas a todas las piezas de longitud variable, que en los paños testers van del estribo a las limas.” (Nuere, 1989, p. 218)

Mocárabe: “Labor originalmente [...] de función estructural y más tarde únicamente decorativa, con la que mediante piezas pequeñas cortadas de acuerdo a ciertas reglas geométricas, y compuestas de infinidad de maneras se cubre el espacio.” (Nuere, 1989, p. 222)

Morisco: “Particularización de mudéjar. Precisión cronológica que designa aquello que siendo mudéjar, es posterior a la conversión obligatoria de los mudéjares a cristianos.” (Nuere, 1989, p. 225)

Mudéjar: “TORRES BALBÁS: Todas las obras realizadas en el territorio cristiano peninsular en que hay influencia del arte islámico. Las del mismo carácter de otros países derivados de los mudéjares cristianos.” (Torres Balbás, citado por Nuere, 1989, p. 222)

Nudillo: “Genéricamente conector. I. Tacos que se reciben empotrados en una fábrica para clavar en ellos otros elementos. II. Pieza horizontal que conecta los pares en las armaduras de par y nudillo.” (Nuere, 1989, p. 227)

Ochavado: “Con esquinas en forma de octógono.” (Nuere, 1989, p. 229)

Oreja: “Parte del taujel que apoya en el rebaje de otra pieza en sus encuentros.” (Nuere, 1989, p. 229)

Paño: “En una cubierta, cada uno de los planos inclinados de la misma que cubren la estancia. Según la tipología de cubierta, los paños tendrán forma triangular, cuadrada, rectangular o trapezoidal.” (Nuere, 1989, p. 230)

Par: (Alfarda) “En las armaduras de parhilera y par y nudillo, cada una de las maderas que forman los faldones, cuyo extremo superior se apoya en la hilera, descansando el inferior en el estribo.” (Nuere, 1989, p. 231)

Patilla: “Corte angular que se da a un madero para apoyar en otro.” (Nuere, 1989, p. 233)

Peinazo: “Madero que se ensambla a otro para formar una trama determinada, ya sea una puerta o ventana, o la armadura de una techumbre con o sin lazo.” (Nuere, 1989, p. 234)

Pendola: “Las piezas de madera que en los faldones de cubierta y en la zona del cuarto de limas, terminan en la lima. Genéricamente, madero que pende.” (Nuere, 1989, p. 235)

Racimo: (Piña) “Conjunto de mocárabes dispuestos de forma escalonada. Formando un colgante decorativo.” (Nuere, 1989, p. 243)

Romo: “Forma del extremo de un taujel al ensartar en otro para simular su paso por debajo de este último.” (Nuere, 1989, p. 245)

Rueda: “En la labor de lacería, el conjunto formado por el sino y sus azafates, rematados por las aspillas.” (Nuere, 1989, p. 246)

Sino: (Signo) “En la labor de lacería, el polígono regular con forma de estrella que da nombre a cada tipo de lazo, centro y origen de cada rueda.” (Nuere, 1989, p. 248)

Solera: “Durmiente. Pieza de madera que se asienta en la coronación de un muro al que se conecta mediante nudillos, cuya función es servir de transición entre la fábrica y la cubierta de madera. Sobre la solera asientan los tirantes, (directamente o a través de canes), quienes a su vez reciben el estribo en donde apoyan los pares.” (Nuere, 1989, p. 248)

Taujel: “Listón de madera. Madero de sección determinada con que se compone el lazo en la labor de lacería.” (Nuere, 1989, p. 251)

Tercia: (Pie) “Medida de longitud equivalente a la tercera parte de una vara, también llamada pie. 278,6mm.” (Nuere, 1989, p. 252)

Testero: “En la armadura, los lados menores de una pieza rectangular.” (Nuere, 1989, p. 253)

Tirante: “Elemento estructural para soportar tracciones. En armaduras de madera, pieza que conecta los estribos manteniendo una distancia, absorbiendo el empuje de los pares, para que no se transmita al muro.” (Nuere, 1989, p. 253)

Tocadura: “Remate decorado (tabla, moldura) de los elementos de madera utilizados para componer el arrocabe.” (Nuere, 1989, p. 254)

Uña: “Punta del par en su extremo bajo.” (Nuere, 1989, p. 257)

Vara: “Medida de longitud dividida en tres pies y cuatro palmos, equivalente a 835,9mm.” (Nuere, 1989, p. 257)

MAQUETA FÍSICA DE LA ARMADURA DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL BAJO.

