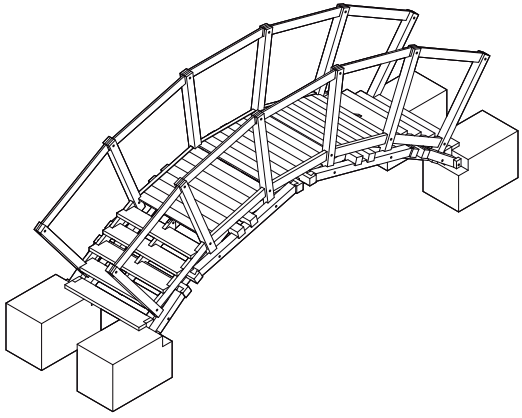
Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Arquitectura
Valparaíso, Marzo 2017

Modalidad i+d

PROTOTIPO de PUENTE PEATONAL de MADERA

ensamblada con uniones carpinteras mecanizadas por un robot manipulador

Financiado por FONDEF ID14I10378



Alumno Diego Enrique Poblete Moris

Memoria para optar al título de Arquitecto

Profesor Referente Luis Felipe González
Profesor Coreferente Francisco Quitral

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución





Agradecimientos

A mi compadre Andrés por los días de montaje, a Ricardo y Nadia por el apoyo moral y a mi Viejo por la última entrega.





Dedicatoria

A mi familia por su apoyo incondicional,
en primer lugar a la Laly y a mi Viejo
por poner cada grano de su esfuerzo
para sacar adelante esta carrera.

RESUMEN

En zonas geográficamente aisladas de nuestro país el acceso a servicios y equipamientos básicos, que debiese ser simple y garantizado, se ha visto vulnerado por la falta de conectividad peatonal; alterando la vida diaria de muchas familias, sobre todo en materia de salud y educación.
En este contexto se impulsa la investigación y desarrollo de un prototipo de puente peatonal de madera, por ser un material renovable y de pequeña luz variable (5-12m). Diseñado a partir de la prefabricación avanzada de piezas por robots manipuladores que en la industria creativa ofrecen grandes ventajas por su precisión, flexibilidad y fiabilidad con bajo costo operacional, maximizando la interacción del usuario.
Se estudiaran referentes arquitectónicos para el prototipo en cuestión teniendo en cuenta como características, un sistema modular de estructura portante armable sin herrajes a base de uniones carpinteras de fácil manipulación, posibilitando un sencillo montaje y traslado.
Se hará una parametrización de componentes para obtener una cantidad finita de modelos y piezas, que luego serán mecanizadas por el manipulador y testeadas para evaluar los resultados.

ABSTRACT

In geographically isolated areas of our country access to basic services and equipment, which should be simple and guaranteed, has been violated by the lack of pedestrian connectivity; altering the daily lives of many families, especially in health and education issues.
In this context the research and development of a prototype of pedestrian wooden bridge is promoted, being a renewable material with a small clear span (5-12m). Designed from the advanced prefabrication of parts by manipulator robots that in the creative industry offer great advantages for its precision, flexibility and reliability with low operational cost, maximizing the user interaction.
Architectural references will be studied for the prototype in question, taking into account as characteristics, a modular system of self-supporting structure with assembly instructions, without fittings, based on easy-to-handle carpentry joints, making it easy to assemble and transporting.
A parameterization of components will be done to obtain a finite number of models and parts, which will then be mechanized by the manipulator and tested to evaluate the results.

GLOSARIO

Puente de arco: Estructura con forma de arco que transmite su peso propio y las sobrecargas de uso hacia los apoyos por la compresión del arco.

Luz de un puente: Distancia entre dos apoyos.

Radio curvatura: Altura del arco desde la base hasta la clave (punto máximo arco), también denominado como flecha.

Estribos: Apoyos que se encargan de enlazar el camino con el puente.

Madera aserrada: Pieza producida por un trabajo de labrado, obteniendo caras paralelas entre sí.

Madera laminada: Pieza producida por el encolado de láminas de madera, obteniendo un producto de alta calidad dimensional.

CLT: Cross Laminated Timber, hace referencia a la madera contralaminada.

Escuadría: Dimensiones de alto por ancho de la sección transversal de una pieza de madera labrada a escuadra.

Listón: Pieza que tiene como escuadría 1x2", 2x2", 2x3" o 2x4".

Tabla: Pieza que predomina el alto sobre el espesor de la escuadría tales como 1x4", 1x5", 1x6".

Cuartón: Pieza de escuadría cuadrada 4x4", 5x5" o 6x6".

Grado de libertad: Movimiento de las piezas en un espacio tridimensional ya sea por traslación, rotación o la combinación de éstas.

Manipulador: Robot con varios grados de libertad que tiene la capacidad de desplazar o manipular herramientas, piezas o instrumentos especiales.

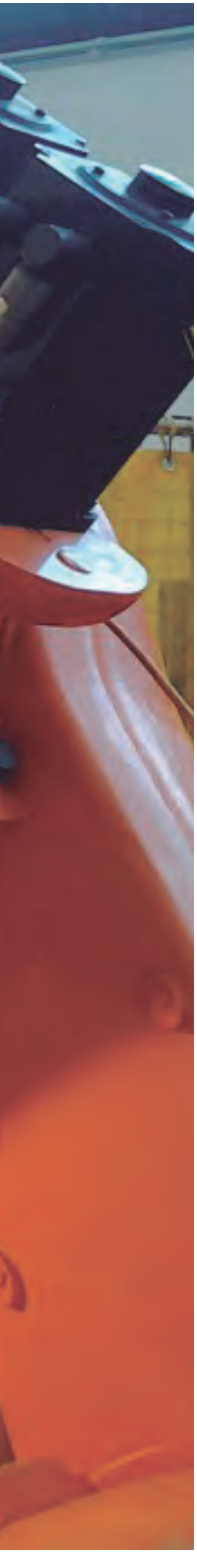
RhinoCeros: Herramienta de diseño para modelado en tres dimensiones dando la posibilidad de crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas NURBS.

Grasshopper: Herramienta de programación visual, Plug-in de RhinoCeros, aportando al diseño paramétrico 3D.

KUKA|prc: Controlador de Robot KUKA que se agrega a Grasshopper donde se realiza la simulación de las trayectorias, lográndose ver futuras colisiones que pueden aparecer durante el mecanizado de piezas.



ÍNDICE



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 13
1.1 Introducción al tema 15
1.2 Puentes de madera en la historia 16
1.3 Motivación 18

2. OBJETIVOS 23
2.1 Objetivo general 24
2.2 Objetivo Específico 24
2.3 Iniciativas en Chile 26

3. METODOLOGÍA 29
3.1 Metodología de trabajo 30
3.2 Estado del Arte 32

4. ANTECEDENTES 35
4.1 Antecedente que justifican la oportunidad 36
4.1.1 Herramienta 39

5. REFERENTES 43
5.1 Puente autoportante 44
5.2 Rainbow bridge 46
5.3 Puente Kintai, Iwakuni, China 48
5.4 Puente Viento y Lluvia / Puente Peitian 50

6. PROTOTIPO 53
6.1 Elección de referente 54
6.2 Prototipo 1 56
6.2.1 Programación prototipo 1 y 2 58
6.2.2 Uniones 60
6.2.3 Variaciones 61
6.3 Prototipo 2 64
6.3.1 Programación diagonales prototipo 2 66
6.3.2 Uniones 68
6.3.3 Variaciones 70
6.4 Prototipo 3 72
6.4.1 Programación prototipo 3 74
6.4.2 Uniones 76
6.4.3 Variaciones 78
6.5 Prototipo 4 80
6.5.1 Programación prototipo 4 82
6.5.2 Uniones 84
6.5.3 Variaciones 85
6.6 Gráfico comparativo 86
6.7 Prototipo final 87
6.7.1 Proceso constructivo 102
6.7.2 Variación prototipo 105

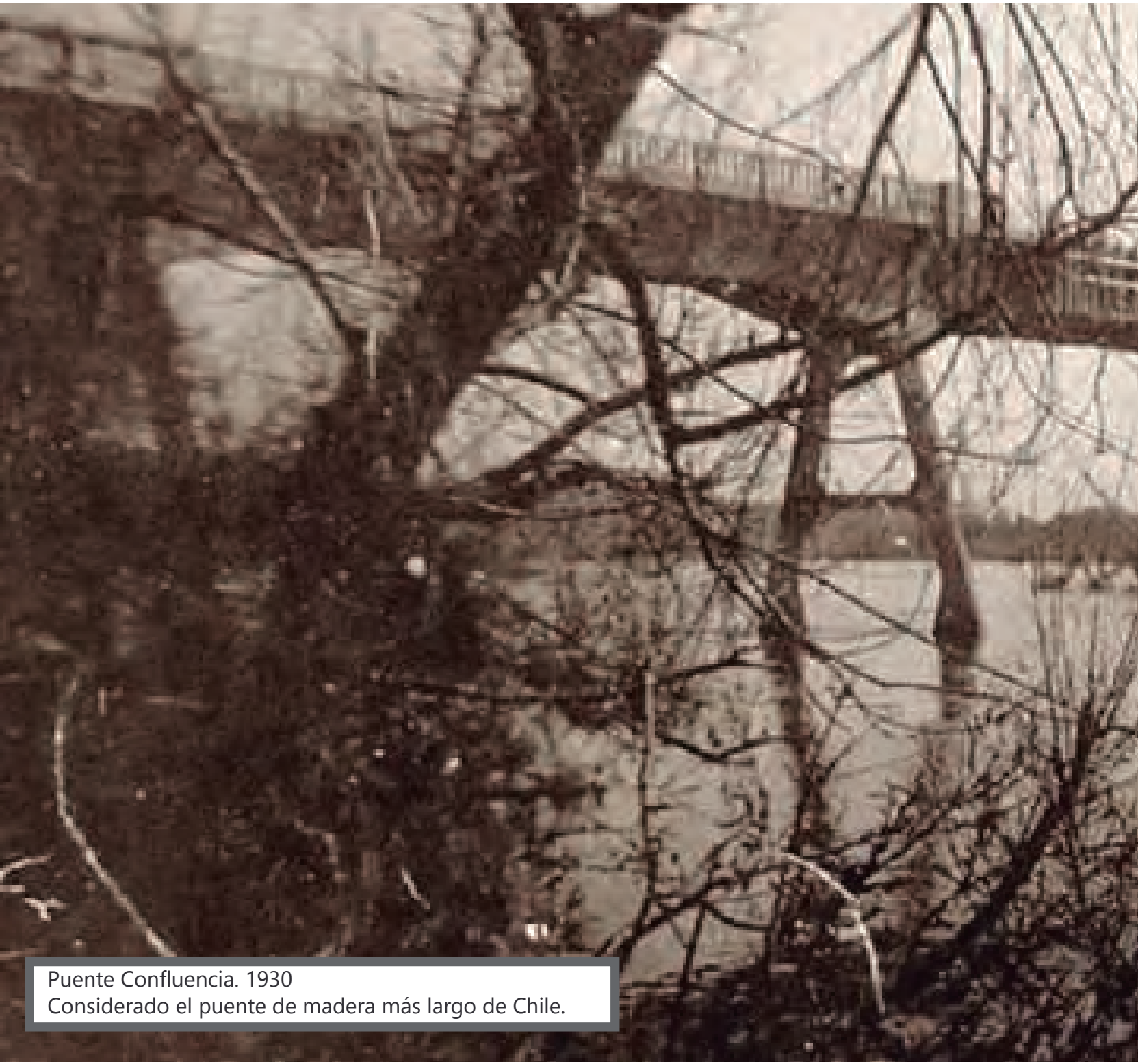
7. MECANIZADO 109
7.1 Mecanizado piezas marco, transversales y postes 110
7.2 Montaje prototipo escala 1:1 116

8. CONCLUSIONES 121

9. BIBLIOGRAFÍA 125

10. ANEXOS 129

11. DISCO COMPACTO CD 154



Puente Confluencia. 1930
Considerado el puente de madera más largo de Chile.



1. INTRODUCCIÓN



Identificaron 200 puentes de madera que deberán ser reconstruidos en la provincia.
11.08.2015

www.soychile.cl/Osorno

1.1 INTRODUCCIÓN AL TEMA

En las **zonas aisladas** de nuestro país, la realidad de miles de familias puede verse vulneradas por la **falta de conectividad peatonal** entre zonas, ya sea para laborar o educarse día a día.

Es aquí donde la **necesidad de un puente** se hace presente. El hombre desde los tiempos más remotos busca la manera de atravesar los obstáculos cedidos por la naturaleza, que probablemente por el derribamiento de un tronco, se logra la conectividad entre dos riberas, siendo la madera unos de los primeros materiales en ser utilizados.

La **madera como material de construcción** demuestra claras ventajas, una de ellas es la capacidad de ser degradable, renovable y no contaminante.
Chile posee una gran área de plantaciones forestales de calidad, proporcionándole un gran volumen de madera a nivel industrial.

1.2 PUENTES DE MADERA EN LA HISTORIA[1]

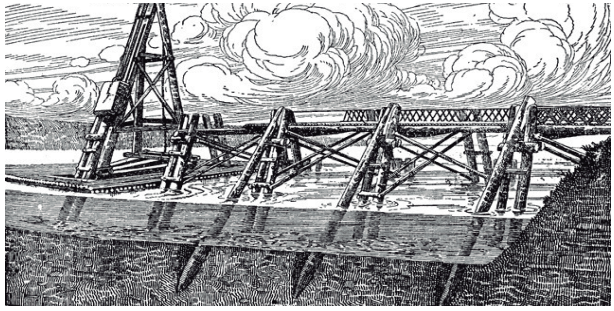
Puente de Bassano, 1569
Andrea Palladio, Italia
Vigas de madera con cubierta

Longitud total: 58 m



PREHISTORIA

1.000 d.C



Puente de Julio César en el Rin, 55 a. C
Julio César, Roma
Puente militar de madera compuesto por una serie de caballetes

Longitud total: 500 m



Puente de Trajano, 103 d. C
Apolodoro de Damasco, Roma
Arcos de madera asentados en pilares

Longitud total: 1.135 m

Puente Sioux Narrows, 1936
Kenora - Ontario
Puente de Pino Oregón tratado con creosota y estructura de caja de cerchas Howe

Longitud total: 64 m



1.800 d.C

XX

XXI



Hyde Hall Bridge, 1825
Oswego
Puente de madera cubierto

Longitud total: 16 m



Puente de Ojuela, 1892
México.
Puente colgante de madera

Longitud total: 318 m

[1] Los puentes de madera en la historia, AITIM, Septiembre-Octubre 2008.

1.3 MOTIVACIÓN

El producto de esta investigación es de **interés público**, por apuntar al mejoramiento de la conectividad para **zonas aisladas y rurales**, empleando medios más sustentables.
En nuestro país existen más de Diez mil puentes de madera en sectores rurales, principalmente en el centro sur, donde están siendo frecuentemente reparados o reemplazados por deterioro. Familias como las que se mostrarán a continuación tienen una realidad que da cuenta de las dificultades que se deben sortear en sectores extremos, para aspirar a algo que debiera ser tan simple y accesible como la educación, significando una dificultad a la vida diaria.



Menores arriesgan su vida cruzando peligrosamente río para poder educarse.
18-08-2014

"Se trata de la historia de cuatro menores: Pamela, Claudia, Matías y Paulina, quienes día a día, arriesgan sus vidas para llegar a la escuela, atravesando el peligroso río Achibueno."

www.chilevision.cl



Campesinos cruzan un río a través de un tronco tras el derrumbe de un puente en Carahue. 27-08-2014

"Son cerca de 20 familias del sector Los Placeres en Alto Loncoyamo. Los vecinos señalaron que un camión de alto tonelaje destruyó el antiguo puente de madera. Según indicaron, la riesgosa maniobra es la única forma de cruzar."

www.soytemuco.cl



El niño que va al colegio en canopy. 16-04-2016

"Christopher Arriagada tiene Cuatro años y todos los días debe cruzar el río Ignao en un carro hechizo, en Pitriuco. Son siete las familias que utilizan este sistema. Piden lo mínimo: una pasarela."

Diario La Tercera



Piden reparar el puente Tricauco que afecta conectividad vial en Ercilla. 25-08-2016

"El puente se encuentra cortado hace más de un año, impidiendo el paso de vehículos y poniendo en riesgo a los peatones que lo transitan."

www.angolnoticias.cl



Vecinos de Colbún Alto rechazan pasarela para reemplazar puente caído. 14-10-2016

"Cerca de 200 personas deben cruzar un viaducto en desuso mediante arriesgadas maniobras para no caer a un estero."

Diario El Mercurio



Vecinos de Colbún Alto quedaron completamente aislados debido al colapso de puente. 19-10-2016

"Para colmo de males, el único puente transitable que les quedaba a los habitantes de Colbún Alto, se desplomó cuando un camión cargado con material cruzaba por el viaducto, dejando a más de 800 habitantes completamente aislados."

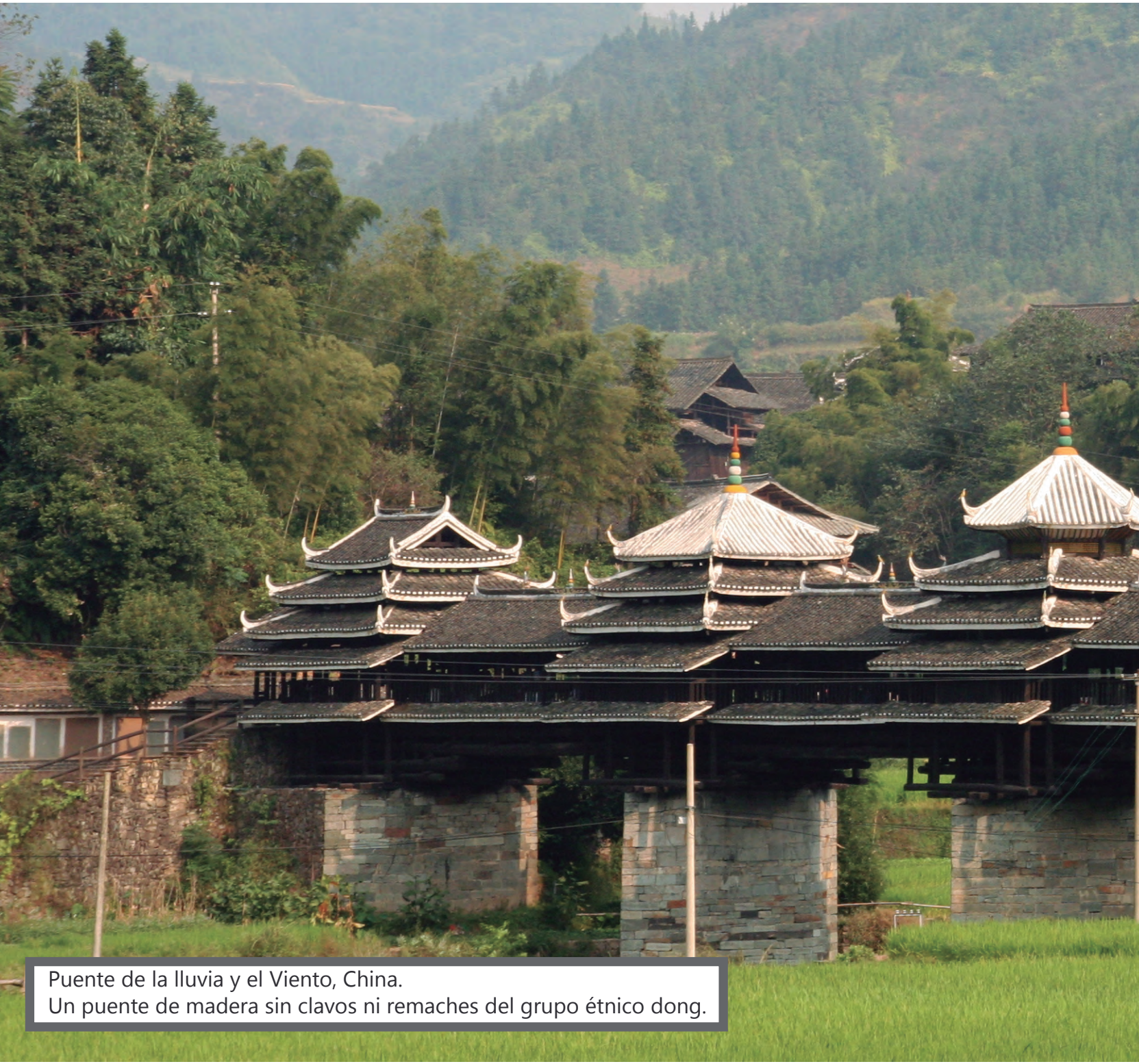
www.mnoticias.cl



Vecinos, privados y municipio arman pasarela peatonal en Vallenar. 17-11-2016

"Un grupo de vecinos preocupados y cansados de esperar por una solución para tener un acceso a sus casas en la ladera sur del Río Huasco, nuevamente se acercaron a hablar con el alcalde, para juntos buscar una solución y poder mejorar el acceso a sus hogares."

www.extranoticias.cl



Puente de la lluvia y el Viento, China.
Un puente de madera sin clavos ni remaches del grupo étnico dong.



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de esta investigación y desarrollo es la confección de un **prototipo de puente peatonal de madera** para el mejoramiento de la conectividad en sectores aislados geográficamente de nuestro país, incorporando técnicas de diseño y programación de componentes a través de **RhinoCeros** (modelador gráfico), **Grasshopper** (programación visual) y **KUKA|prc** (controlador de Robot KUKA).

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Diseñar un prototipo de puente peatonal de madera para problemas de conectividad peatonal, de **pequeña luz** (5 a 12 m) sin apoyo intermedio que a su vez se pueda variar por la parametrización de componentes, obteniendo una cantidad finita de modelos que finalmente serán prefabricados por **robots manipuladores** con **piezas comercialmente disponibles** (catálogo de madera nacional), potenciando la elaboración de productos de calidad.

Prototipo de puente peatonal de madera **sin herrajes** anhelando la no utilización de clavos, tornillos o cualquier material de hierro, logrando un sistema completamente renovable. Producto de ello se creará una **estructura portante armable** a base de uniones carpinteras, con fácil **manipulación** de montaje y transporte.

Oportunidad

Confección de un prototipo de puente peatonal de madera ensamblada con uniones carpinteras mecanizadas por un robot manipulador.

Objetivo, responder a los problemas de conectividad en zonas extremas dentro de nuestro país, mediante un prototipo de puente peatonal de madera.

Criterios fundamentales para el diseño:

1. **FLEXIBLE**
   Parametrización del prototipo, para la variabilidad de la luz, teniendo una cantidad finita de puentes y piezas.
2. **PREFABRICACIÓN**
   Diseño en la fabricación de una cantidad finita de piezas.
3. **ESTÁNDAR**
   Diseño modular del prototipo de puente peatonal de madera.
4. **MANIPULABLE**
   Estructura armable manipulable para fácil transporte y montaje.

2.3 INICIATIVAS EN CHILE



07/07/2014 - BIOBÍO - REPORTAJE

Puentes de madera: una alternativa para la conectividad [2]

"Nueva tecnología garantiza durabilidad de 50 años, la estructura requiere un equipamiento mínimo de instalación, es renovable y ecológica, ideal para construir viaductos para zonas rurales.

Puentes tensados de madera, es la propuesta que ha sido desarrollada por profesionales de la Universidad de Concepción (UdeC), con una tecnología que ha sido pionera en Latinoamérica que permite que viaductos de este tipo duren 50 años".

[2] Puentes de madera: una alternativa para la conectividad, CORMA, 2014.

CATÁLOGO A UTILIZAR

PINO SECO CEPILLADO	
Escuadría	**Largo (m)**
1x2"	3.2
1x3"	3.2
1x4"	3.2
1x5"	3.2
1x6"	3.2
1x7"	3.2
1x8"	3.2
1x10"	3.2
2x2"	3.2
2x3"	3.2
2x4"	3.2
2x5"	3.2
2x6"	3.2
2x8"	3.2
2x10"	3.2

VIGAS ESTRUCTURALES	
Escuadría	**Largo (m)**
2x6"	4.0
2x6"	4.8
2x8"	4.0
2x8"	4.8

MADERA PINO OREGÓN	
Escuadría	**Largo (m)**
1x2"	3.2
1x4"	3.2
2x4"	3.2
2x6"	3.2
2x6"	3.2
110x110 mm	3.2
130x130 mm	3.2
1x5"	3.2

PILAR LAMINADO	
Escuadría	**Largo (m)**
90x90 mm	2.5
115x115 mm	2.7
42x185 mm	6.0



Puente U Bein, Myanmar. 1849
Un puente de madera de un kilómetro de largo.



3. METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo se compondrá de los siguientes puntos:

1 Revisión de la literatura correspondiente.

Se investigará por medio de la literatura un referente arquitectónico relacionado con la elaboración de sistemas de puentes armables de madera.

2 Elección de un modelo de puente de referencia.

En base al sistema armable se elegirá el referente que mejor se adapte a los criterios de diseño.

3 Especificación de sectores críticos.

Se hará un breve análisis del sistema constructivo del referente donde se especificarán los sectores críticos (uniones carpinteras).

4 Parametrización del modelo de referencia.

Por medio de la herramienta Grasshopper (programación visual) de Rhinoceros se hará una parametrización completa para obtener una cantidad finita de prototipos, utilizando parámetros como radio curvatura y luz sin apoyo intermedio.

5 Parametrización de geometría de las uniones carpinteras.

Se hará una separación de las piezas del prototipo para luego parametrizar las uniones carpinteras correspondientes.

6 Restricciones geométricas sobre los parámetros.

Especificación de restricciones sobre los parámetros tanto para los prototipos y sus uniones.

7 Simulación de trayectoria de la herramienta.

Teniendo la parametrización de las uniones (piezas), se procede a programar con el Plug-in KukaPRC para luego simular el mecanizado de las piezas.

8 Mecanizado en laboratorio de piezas a escala real.

Mecanizado de piezas a escala 1:1, para ver los resultados del diseño de uniones carpinteras.

9 Armado de puente escala real.

Con las piezas definitivas, se realizará el montaje del puente escala 1:1, para futuras conclusiones.

3.2 ESTADO DEL ARTE

Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2014

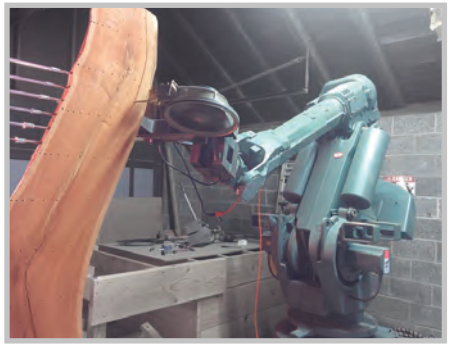
Este libro ilustra todo tipo de técnicas materialmente eficientes para el diseño y la fabricación, donde daremos énfasis a los temas relacionados con la madera.

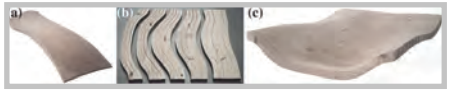
Modelado de superficies con bordes vivos [3]

Esta sección muestra una técnica para diseñar y fabricar en "wood flitch" superficies con bordes vivos.

El proceso utiliza una sierra de cinta (**Fig.1**) operada robóticamente para cortar una serie de tiras curvadas (**Fig.2**) que tienen como fin componer un elemento de descanso.
Otro caso muestra una sierra de cinta fija (**Fig.3a**) donde el robot maneja las piezas para lograr la curvatura.

El control de 6 ejes del Manipulador robótico permite que la hoja de sierra de cinta tenga una alta eficiencia en el proceso, donde cada operación de corte forma dos superficies acabadas: la parte inferior de una pieza y superior de la siguiente (**Fig.3b**) logrando un acabado limpio para ser fácilmente montadas (**Fig.4**).


Fig.1


Fig.2

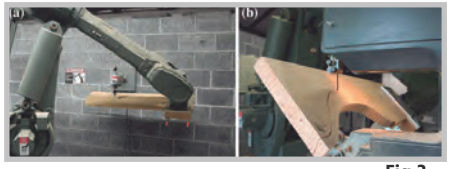

Fig.3


Fig.4

[3] Bandsawn Bands. **Robotic Fabrication in Architecture, Art and Desing 2014.**

Diseño y fabricación de juntas por medio de robots manipuladores para un armazón delgado curvo-plegado de panel contralaminado (CLT) [4]

El prototipo presentado en esta sección utiliza la técnica de "curved folding" para un armazón delgado construido a partir de paneles contralaminados (CLT) (**Fig.5**).

Inspirado en la carpintería tradicional de madera, se han diseñado conexiones para el acoplamiento integrado de paneles CLT curvos, utilizando el proceso de geometría digital combinado con las ventajas de las técnicas tradicionales de carpintería y de la tecnología moderna automatizada.

La fabricación del prototipo a gran escala es por medio de la automatización robotizada (**Fig.6**) utilizando una cuchilla de 25 mm y una hoja de sierra (**Fig.7**).



Fig.5



Fig.6



Fig.7

4 Design and Fabrication of Robot-Manufactured Joints for a Curved-Folded Thin-Shell Structure Made from CLT Robotic Fabrication in Architecture, Art and Desing 2014.



El puente de la Capilla (Kapellbrücke), Lucerna. Siglo XIV
Un puente medieval de madera con 200 m de longitud.



4. ANTECEDENTES

4.1 ANTECEDENTES QUE JUSTIFICAN LA OPORTUNIDAD

Industria secundaria de la madera[5]

Esta investigación se enmarca en las **estrategias nacionales y mesoregionales del estado CORFO 2015** que tiene como visión "desarrollar una industria secundaria maderera competitiva e inserta en mercados nacionales e internacionales, generando productos de madera destinados a abastecer principalmente al mercado de la construcción". Para ello, en el año 2025 se espera un aumento del 30% de las exportaciones de las Pymes de productos de re-manufactura en madera.

Una de las estrategias del programa es potenciar el mercado de la madera por medio de la **sustentabilidad**, es aquí donde la confección de un prototipo puente peatonal **armable** de madera es decir **sin herrajes** se hace presente para lograr que sea lo más sustentable y/o renovable posible.

Tendencias

En países como Nueva Zelandia existen más de 150 pequeñas empresas expertas en entregar soluciones en madera, en Chile, no sobrepasan los 7 u 8 (Francisco Lozano, CTT CORMA).

En el país existen muy pocos calculistas especializados en madera, sistemas constructivos y pocas ofertas de productos industrializados.

En países con igual masa forestal, se logra una mayor productividad y mayores valores en m3, como por ejemplo Alemania, Italia o Francia producen entre 3 y 7 veces más.

¿Por qué la utilización de madera?

La madera como material de construcción se le puede considerar como un "material vivo", ya que incluso después de ser procesada, aún sigue siendo capaz de cambiar su forma por efectos de la humedad, transformándola en un material higroscópico.

Sus principales ventajas:

Requiere poca energía en sus procesos de transformación, dejando una **baja huella de carbono**.

Gran **eficiencia energética** debido a su baja pérdida calorífica.

Ecológica ya que reduce el efecto del cambio climático.

Sostenible en el tiempo por ser un recurso renovable, proveniente de plantaciones forestales.



Comparación en ciudad de Concepción / Detalles

	Casa Ladrillo	Casa Madera
Demanda energía	**145 kWh/m2 año**	**104 kWh/m2 año**
Consumo de kerosene	**1.296 litros**	**930 litros**
Costo (considera 0,036 UF/litro)	**42,2 UF**	**30,3 UF**
Ahorro	**28%, que equivalen a 367 litros de kerosene o 11,9 UF al año**	
Cielo	Yeso cartón 10 mm 100 mm poliestireno expandido de 10kg/m3 Estructura MSD Cepillado 2x2	Yeso cartón 10 mm 100 mm poliestireno expandido de 10kg/m3 Estructura MSD Cepillado 2x2
Transmitancia térmica	0,45 W/m2 °C	0,45 W/m2 °C
Muros	Ladrillo de 290 x 140 x 113 mm Sin estuco	MSD Cepillado 2x3 y 2x4 AraucoPly Estructural de 9,5 mm Yeso cartón de 10 mm Lana de vidrio panel rígido de 60 mm
Transmitancia térmica	1,7 W/m2 °C	0,55 W/m2 °C
Ventanas	Vidrio simple claro de 4 mm	Vidrio simple claro de 4 mm
Transmitancia térmica	5,8 W/m2 K	5,8 W/m2 K
Temperatura de 24.00 a 7.00 h	17 °C	17 °C
Temperatura de 8.00 a 23.00 h	20 °C	20 °C

[5] Industria secundaria de la madera Maule - Biobío - Araucanía- Los Ríos, CORFO, 2015.

Industria creativa

La industria creativa o economía creativa es la involucrada en utilizar la generación de ideas creativas y el capital intelectual como principales insumos.
En Robots es uno de los campos de aplicación más fértiles, por su precisión, flexibilidad y fiabilidad con bajo costo operacional.

¿Por qué la utilización de Robots Manipuladores?

Las ventajas que nos ofrece la robótica, específicamente manipuladores hoy en día se destacan las siguientes:

Flexibilidad de manufactura de piezas, apuntando a la variedad de formas y tamaños.

Reducción del desperdicio de material, y de costos.

Fabrican productos o efectúan operaciones sobre ellos con una buena **calidad** y ésta es uniforme.

Nueva apertura de la fabricación automatizada a la industria creativa (**programación visual**).

4.1.1 HERRAMIENTA

ROBOT KR 125/2

El Robot KR 125/2, de la marca KUKA Roboter Gmbh, uno de los fabricantes líderes en robot industriales a nivel mundial. Es un modelo standard para altas cargas, diseñado para la mayor optimización y flexibilidad, capaz de montarse y configurarse en función de las exigencias de la empresa, idóneo para la automatización de diversos procesos, ofreciendo un gran rendimiento y control, generando métodos de producción más eficientes, rápidos, con mejor respuesta y seguros.

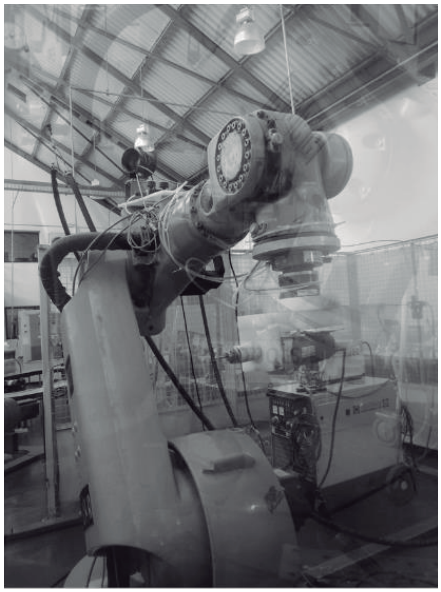
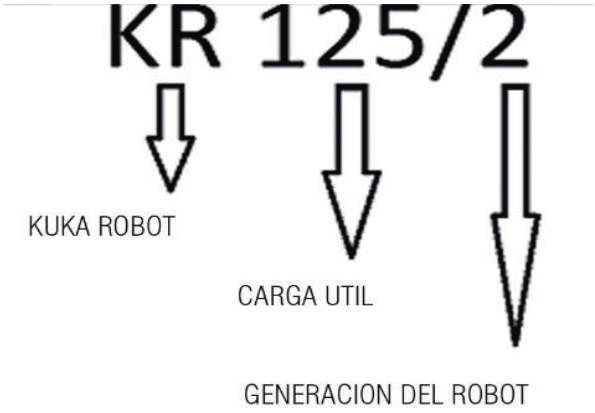


Fig.2 ROBOT KUKA KR 125/2

Fig.1 El modelo en cuestión es el KR 125/2



Especificaciones ROBOT KUKA[6]

Las partes constituyentes de un robot de este tipo son:

- **Manipulador o brazo mecánico:** Se encarga de realizar los movimientos necesarios para llevar a cabo una tarea y está formado por una serie de elementos o eslabones unidos por articulaciones.

- **Unidad de control:** Es un computador que se encarga de controlar los distintos componentes del robot, almacena trayectorias a seguir.

- **La herramienta:** El brazo mecánico por sí solo no hace nada, es la herramienta la que facilita el realizar las diversas tareas, esta puede ser una pinza, equipo para soldadura, herramienta de corte, etc.

- **Fuente de poder:** Esta puede ser hidráulica, eléctrica o neumática. La unidad de control utiliza energía eléctrica, pero el brazo mecánico o herramienta pueden usar energía hidráulica o neumática.

Fig.3 Partes constituyentes de un brazo robótico

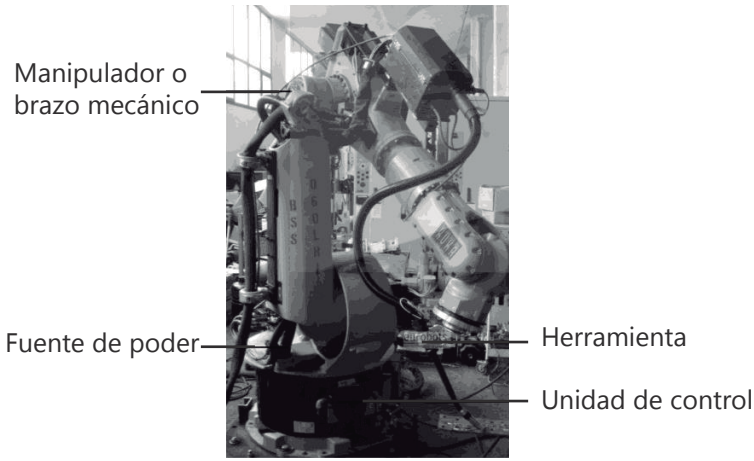
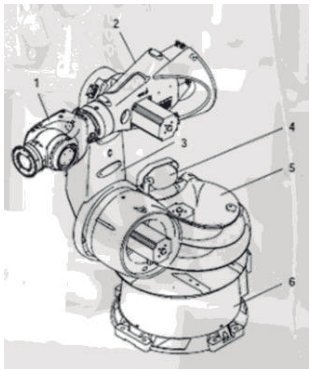


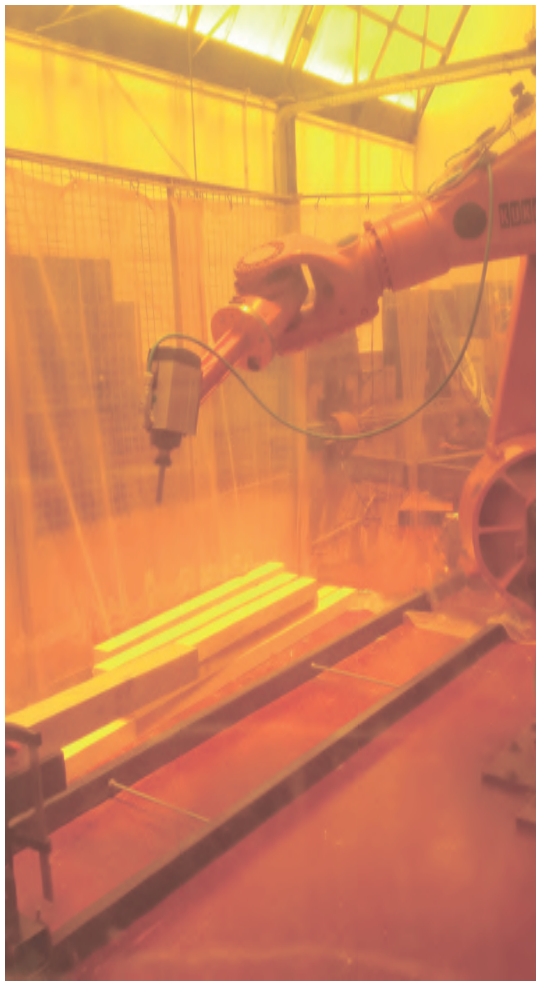
Fig.4 Componentes principales del robot.



1. Muñeca.
2. Brazo.
3. Brazo de oscilación.
4. Sistema de compesación de peso.
5. Columna giratoria
6. Base del robot

[6] Elaboración Propia, TALLER AVANZADO 01 – AUTOMATIZACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, 2013

ROBOT KUKA KR-125/2[7]



Especificaciones	Características
Número de ejes	6
Zona de movimiento(°)	Eje 1= +/-185 grados Eje 2= +115/-55 grados Eje 3= +70/-210 grados Eje 4= +/-350 grados Eje 5= +/-135 grados Eje 6= +/-350 grados
Carga útil nominal (Kg)	15 Kg en la muñeca
Carga total máxima (Kg)	10 Kg de carga adicional en el eje 3
Alcance máximo (mm)	1570 mm, medido en el centro del eje 5
Repetibilidad (mm)	0,1 mm en todo el campo de trabajo con carga máxima
Sistema de accionamiento	Electromecánico con servomotores de corriente alterna conmutados electrónicamente
Peso (kg)	222 kg
Nivel de ruido (db)	<75 db fuera de la zona de trabajo

[7] Laboratorio CIMA, Centro Integrado de Manufactura y Automatización, UTFSM, 2016



Puente de Saphan Mon, Tailandia.
Puente de madera más largo y más grande hecho a mano en Tailandia.



5. REFERENTES

5.1 PUENTE AUTOPORTANTE

Puente autoportante de Leonardo Da Vinci

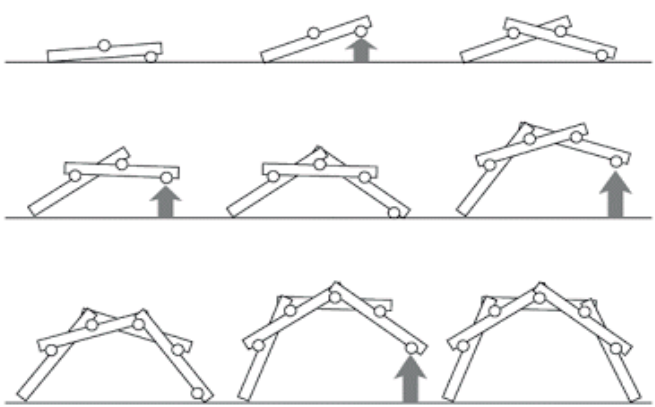
Todas aquellas tipologías de puentes, cuyo comportamiento estructural es referente al arco, pueden ser considerados como puentes de arco. Dado que la madera siempre ha mostrado notables dificultades para asumir formas curvas, que no siendo naturales no son apropiadas para ello, muchos constructores de puentes, reconocen la eficacia del esquema de arco estructural, han tratado de evadir el impedimento a través de inteligentes combinaciones de elementos de dimensiones muy pequeñas.

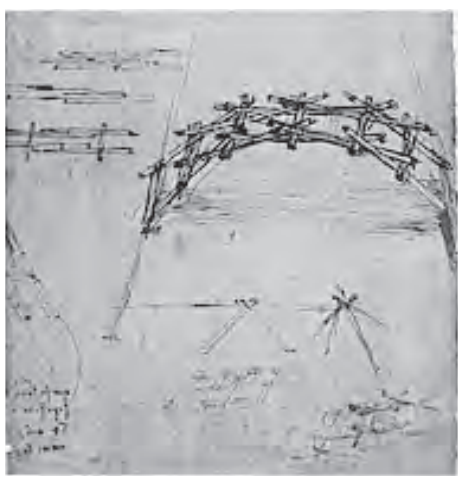
Leonardo tuvo un interés especial en el diseño de puentes madereros provisionales, todos destinados al uso militar. En la famosa carta dirigida a Ludovico Sforza en 1482, Leonardo se propone como un experto en el diseño militar de estructuras y máquinas, afirmando tener diseños de puentes muy ligeros y resistentes, adecuados para enfrentar a los enemigos, además de puentes seguros e ignífugos, fáciles de construir y de desmantelar.

La tipología estructural del puente de madera a estudiar es aquella en la que el arco se obtiene gracias a un inteligente conjunto de piezas de madera. De hecho, el puente militar que Leonardo dibuja en el Fol.22 r.a. Del Códice Atlántico, es una estructura de arco hecha con vigas rectas articuladas con cuerdas.

Leonardo, en su códice, presenta además el proceso constructivo dibujando la secuencia constructiva. Lo importante a destacar es que una vez terminada la construcción, y si se realizó un correcto estribado, ninguna de sus piezas logra salir de su posición.[8]







8 TIMBER ARCH BRIDGES: A DESIGN BY LEONARDO, CIMNE, Barcelona, 2004.

5.2 RAINBOW BRIDGE, CHINA

El festival Qingming junto al río, 1085-1145

Es una pintura del artista Zhang Zeduan durante la dinastía Song donde captura la vida diaria de la gente y el paisaje de la capital, Bianjing, de hoy Kaifeng.

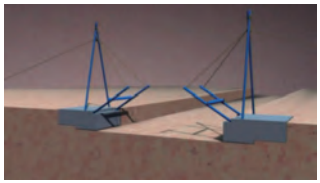
Documental, NOVA Builds a Rainbow Bridge

En una de las secciones de esta pintura se muestra un puente de madera denominado Rainbow Bridge. Este antiguo puente ha sido la obsesión de toda la vida del profesor Tang Huan Cheng, uno de los historiadores más eminentes de los puentes en China. Él y un equipo de ingenieros, tales como Bashar Altabba (ingeniero estructural), y Marcus Brandt (formador de madera de Pennsylvania), historiadores de puente y expertos en construcción de NOVA van a la ciudad de Jinze, no lejos de la famosa ciudad Song de Suzhou, para la reconstrucción del Rainbow Bridge.

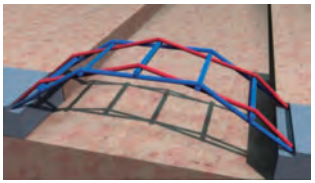
Una de las características únicas del Rainbow Bridge es que es un puente de arco hecho de vigas de madera, que por medio del apilamiento y compresión de las piezas logra trabarse completamente, de la misma forma que se muestra en la estructura del puente autoportante de Leonardo Da Vinci.

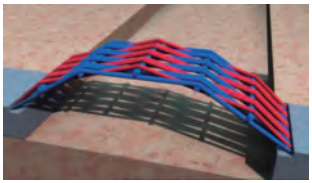
El equipo debe comenzar en construir fuertes pilares que impide que se hunda en los suaves bancos fangosos del río. En la semana siguiente colocan 15 toneladas de piedra sobre estos pilotes. La construcción de los arcos se realiza por medio de dos barcos en el río, tejiendo junta por junta. El equipo de construcción en ocasiones utiliza clavos para sostener la estructura en algunos lugares, y cuerda de bambú en otros, métodos que los antiguos chinos podrían haber empleado. Con la estructura del arco del puente en su lugar, los hombres ahora colocan tablones, para la instalación de barandas. Paso a paso, la idea de un Rainbow Bridge está cobrando vida. El profesor Tang organiza una demostración por medio de hombres guiando a dos búfalos, donde su peso combinado de las cuatro toneladas no mueve el arco del puente.[9]











9 Rainbow Bridge, Secrets of the Ancient Chinese, JanMTv 1999.

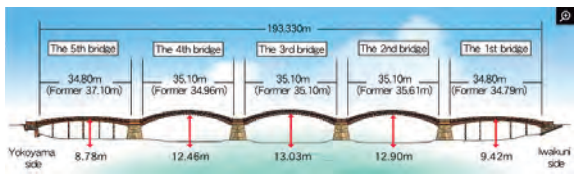
5.3 PUENTE KINTAI, IWAKUNI, JAPON

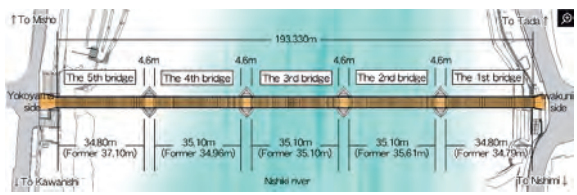
Inmediatamente después de la derrota en la batalla de Sekigahara (1600), Hiroie Kikkawa, el primer señor feudal del dominio Iwakuni, ordena la construcción de una fuerte ciudad para defenderse de los ataques enemigos. Construye su castillo en la montaña alrededor del río Nishiki, dejando la clase alta a los pies de la montaña y en la orilla opuesta la clase media y baja. Como resultado, la ciudad del castillo se compondría de dos distritos atravesados por el río, donde se hizo necesario algún medio para vincularlos, un gran puente de madera.

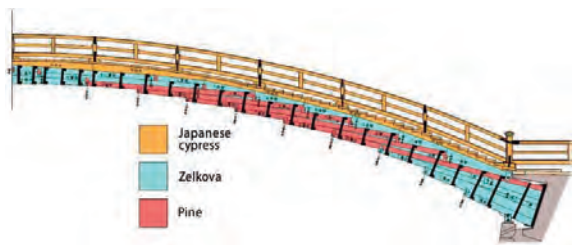
Puente Kintai

Reconstruido por última vez en 1953, corresponde a una infraestructura original de 1673 la cual consiste en una secuencia de arcos sobres pilares de piedra (originales en madera) sobre el río Nishiki.
Los tramos que lo unen a la orilla miden 34,8 metros de largo, mientras que los tres de en medio 35,1 metros cada uno sumando 194 metro de inicio a fin.
Para poder soportar las grandes inundaciones se implementaron gruesas vigas de sujeción unidas por cinturones de metal en las partes principales, reemplazadas luego por cobre.[10]











10 [Kintaikyo] página web oficial Iwakuni. kintaikyo.iwakuni-city.net/en/

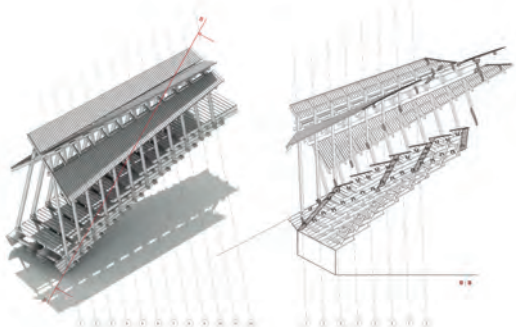
5.2 PUENTE VIENTO Y LLUVIA / PUENTE PEITAN

El puente de viento y lluvia fue construido gracias al esfuerzo de más de 70 estudiantes de arquitectura de la Universidad de Hong Kong que adaptó y empleó la sabiduría de la artesanía y técnicas locales con una ejecución altamente sofisticada. Donn Holohan, el supervisor del proyecto, explicó que no sólo el puente ayuda a enlazar la ruta de transporte, donde estaba desconectado del pueblo, sino también es una parte importante en la regeneración del medio ambiente de la comunidad después de haber sido devastado por una gran inundación en 2014.

La estructura es de maderas entrelazadas recíprocamente basada en la carpintería tradicional China, diseñada para ser construida sin el uso de elementos mecánicos de sujeción.
Cada uno de sus 265 elementos hechos de madera y sin el uso de tornillos o clavos lo transforma en único e integral, por lo que fue fundamental el uso de un diseño digital para el proceso previo de planificación y prueba de una infraestructura que además implementa métodos sostenibles para su construcción.[11]

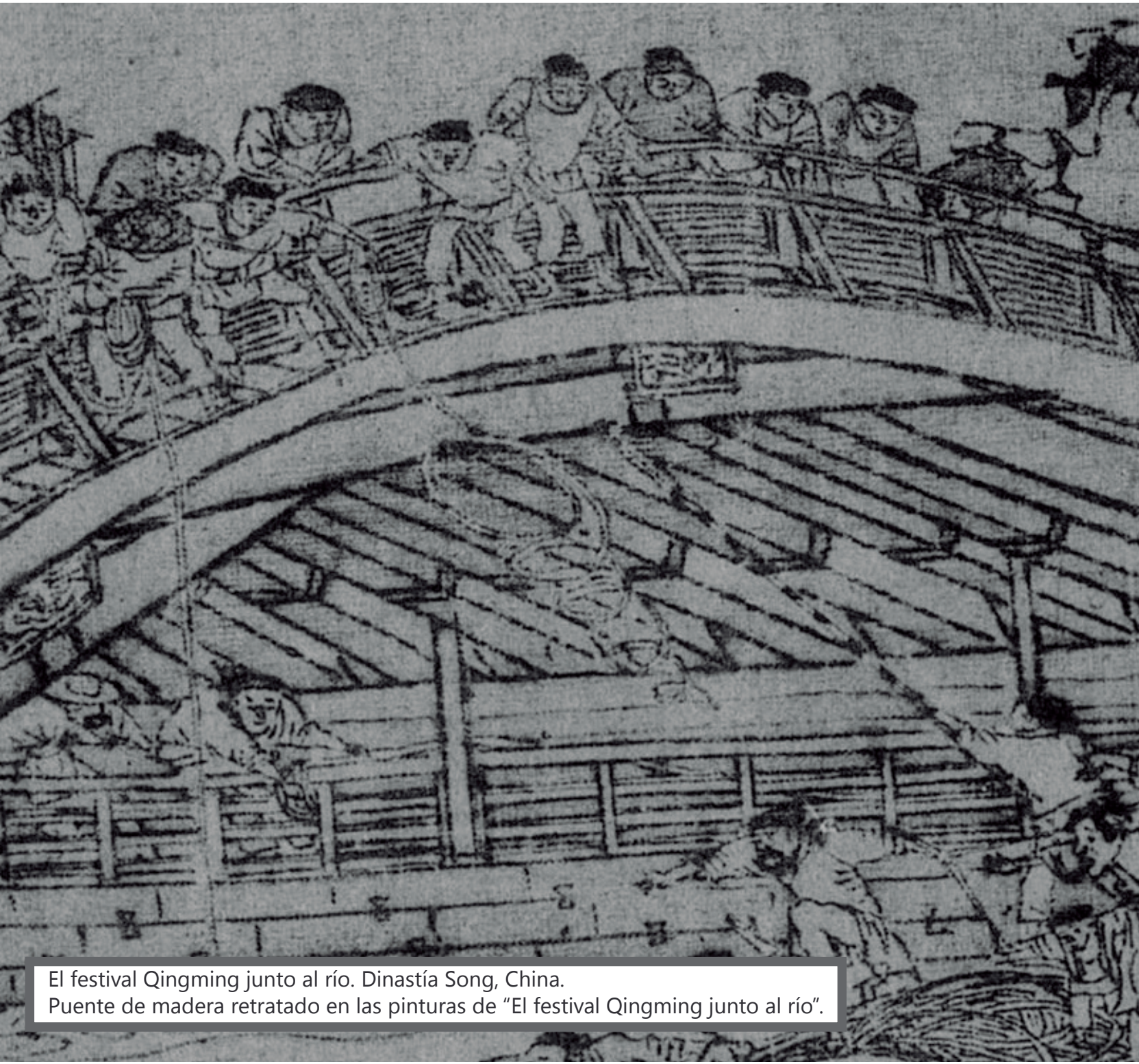




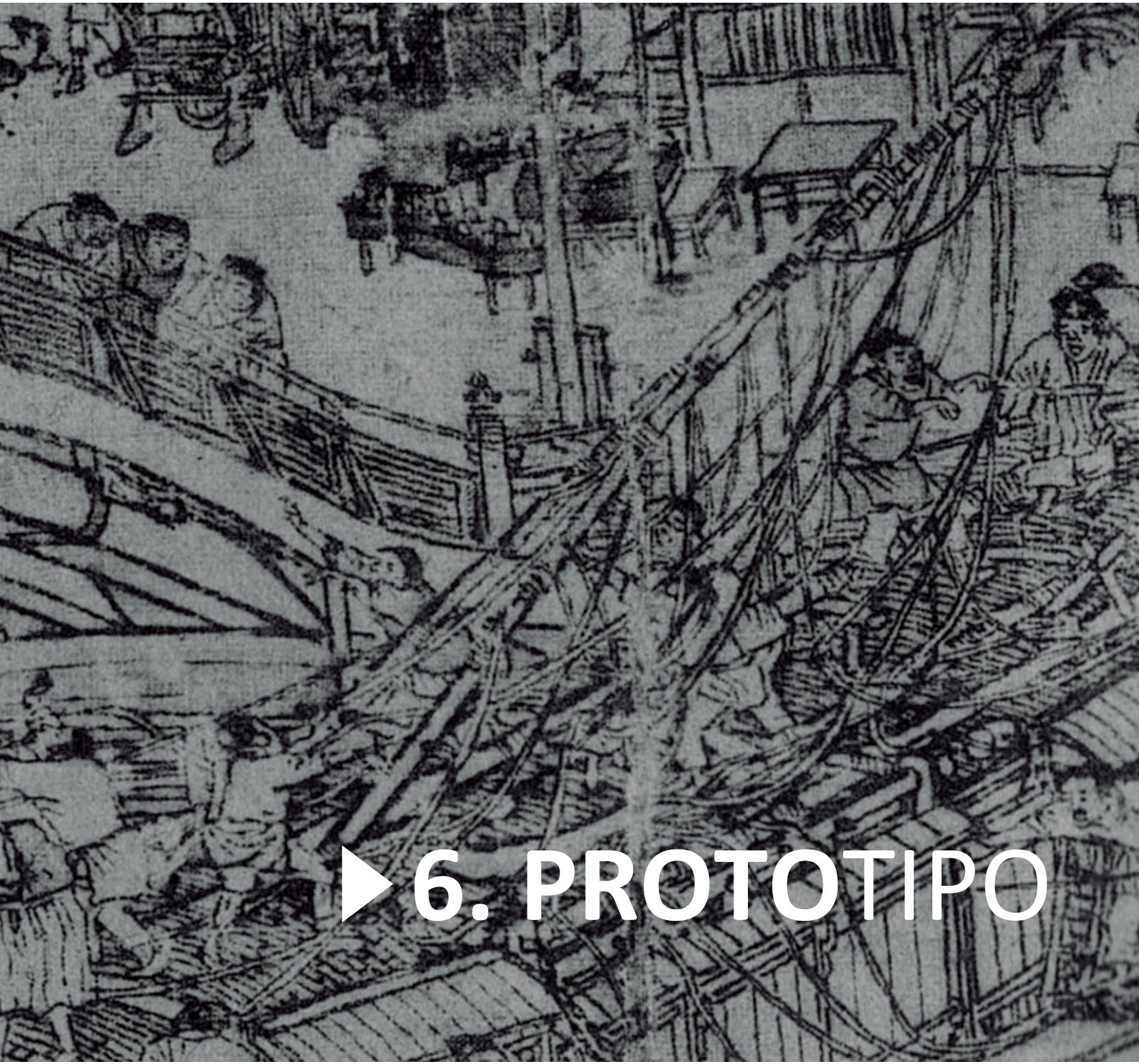




11 Puente Viento y Lluvia / Donn Holohan- Universidad de Hong Kong, 2016.



El festival Qingming junto al río. Dinastía Song, China.
Puente de madera retratado en las pinturas de "El festival Qingming junto al río".



▶6. PROTOTIPO

6.1 ELECCIÓN DE REFERENTE

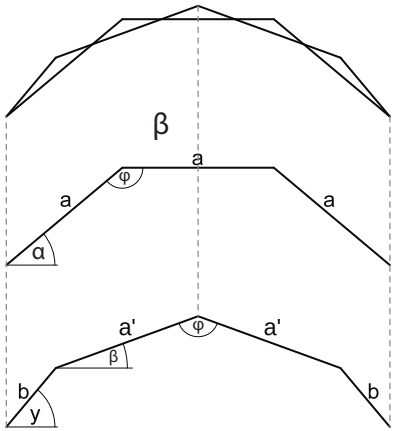
Sistema de puente autoportante de Leonardo da Vinci y Rainbow Bridge.

El puente autoportante arqueado es un modelo fuerte y ligero donde el propio peso de sus elementos ayuda a mantenerlo estable. Su fácil forma de transportar, colocar y retirar, responde a los criterios de diseño propuestos, como ser **manipulable** y **estándar**, convirtiéndose en el modelo referente a investigar.

Parámetros a utilizar: **Luz** sin apoyo intermedio, **Radio curvatura** (altura máxima del arco), y **largo listón**.

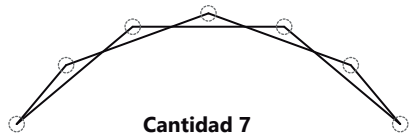
Descomposición
Estructura marcos

$\alpha = 2*\beta$
$\beta = \alpha/2$
$\varphi = 180°-\alpha$
$a = a'$



Sectores
Críticos

1. Unión entre listones

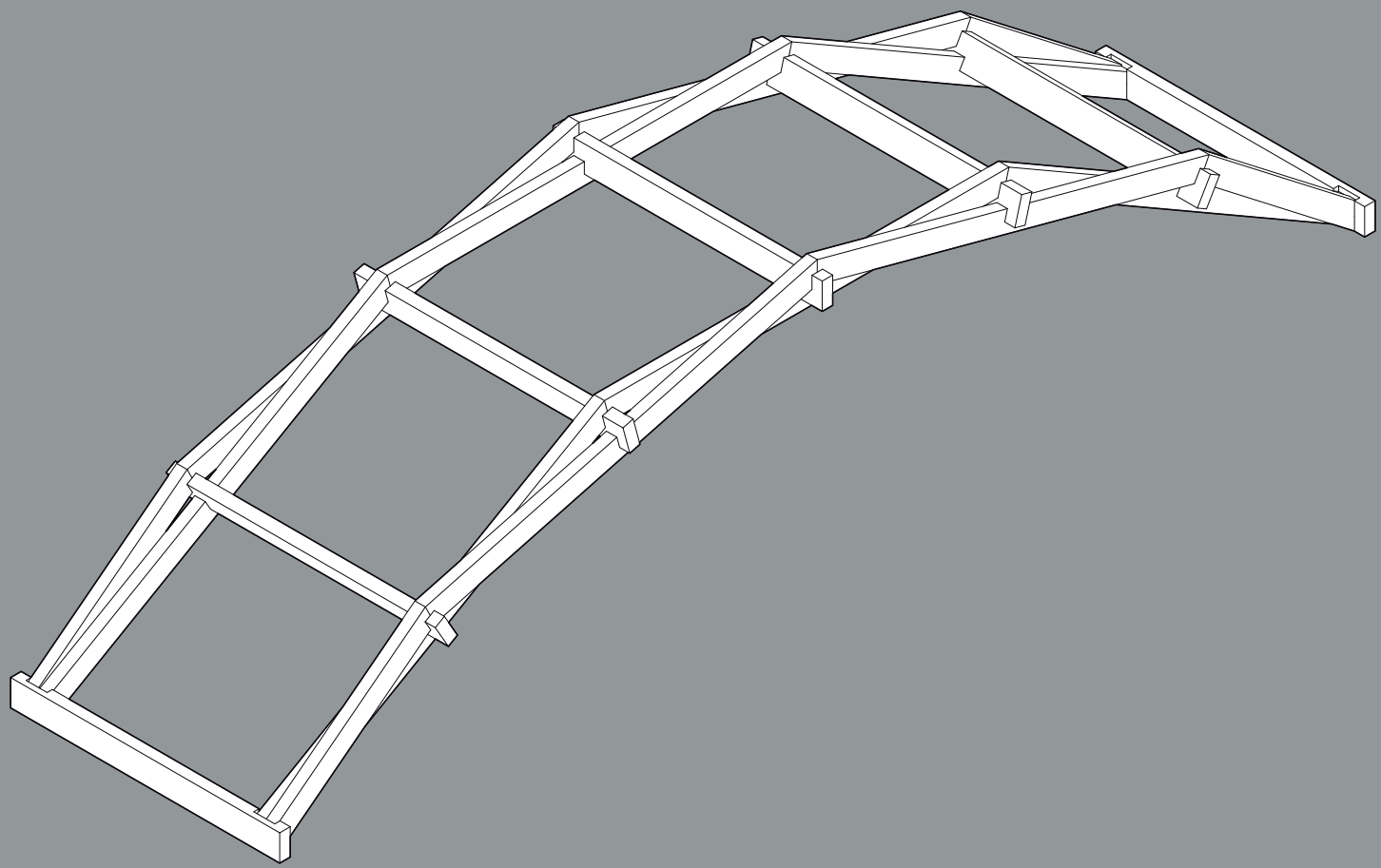


2. Unión entre marco y viga transversal



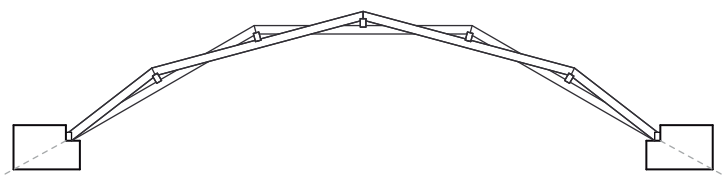


Prototipo ①

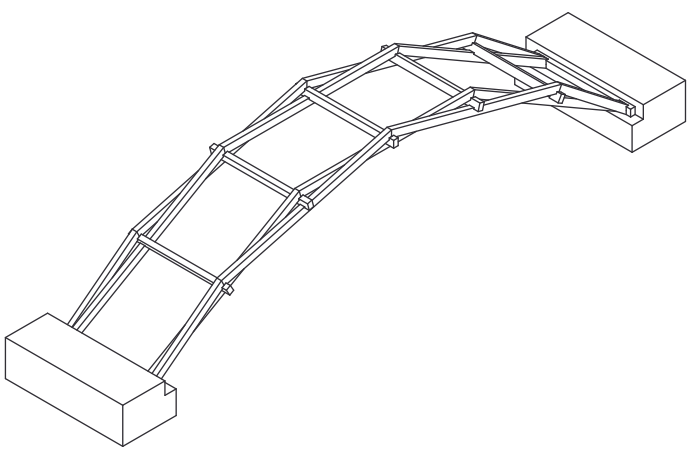


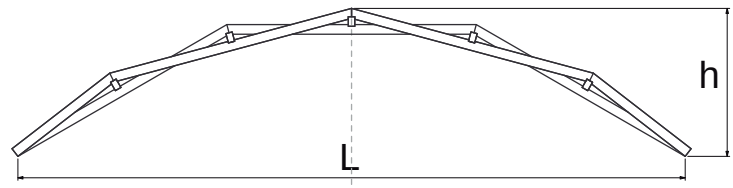
6.2 PROTOTIPO 1

Tomando como referente el puente de Leonardo Da Vinci, se analiza el sistema constructivo para aplicarlo en el primer modelo.
La diferencia que tiene, es la continuidad de los elementos que componen el marco, donde cada intersección con las vigas transversales son por caja y espiga. Dependiendo de la luz deseada, el sistema muestra varias falencias, con respecto a esfuerzos laterales. La escuadría de los listones a utilizar son de 2x4".

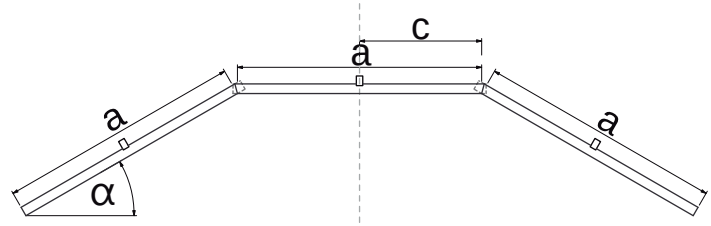


Fundación
Corrida hormigón

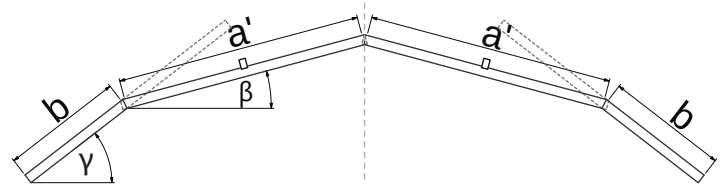




$\alpha = 2*\beta$
$\beta = \alpha/2$
$a = a'$



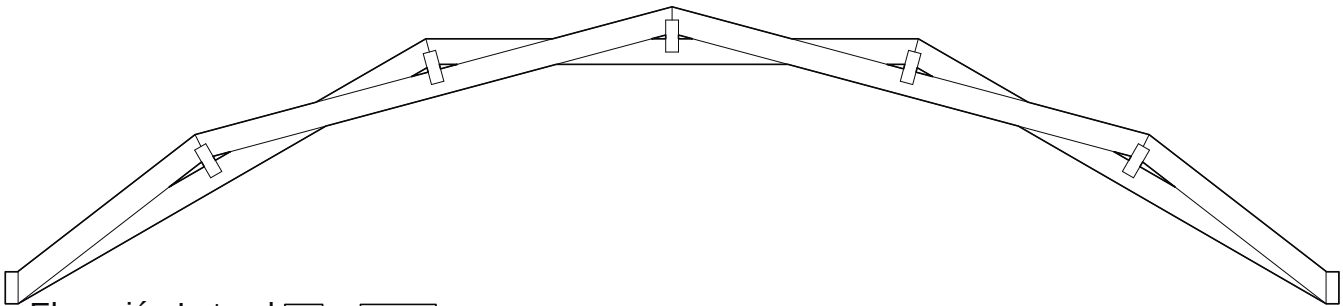
Composición
Marco A



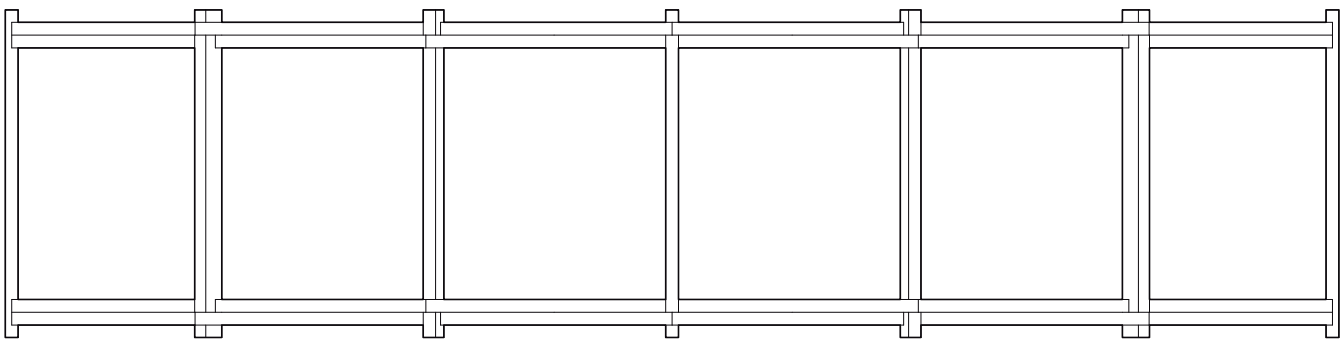
Composición
Marco B

Si $\alpha = 40°$, $c = a/2$ y $\gamma = 50°$

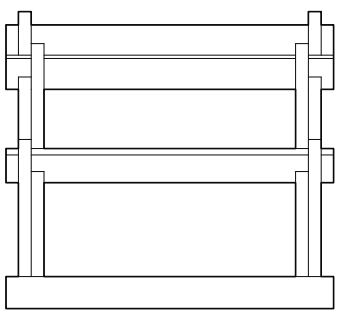
Si $\alpha < 40°$, $c \approx a/2$



Elevación Lateral 0 15 30 60



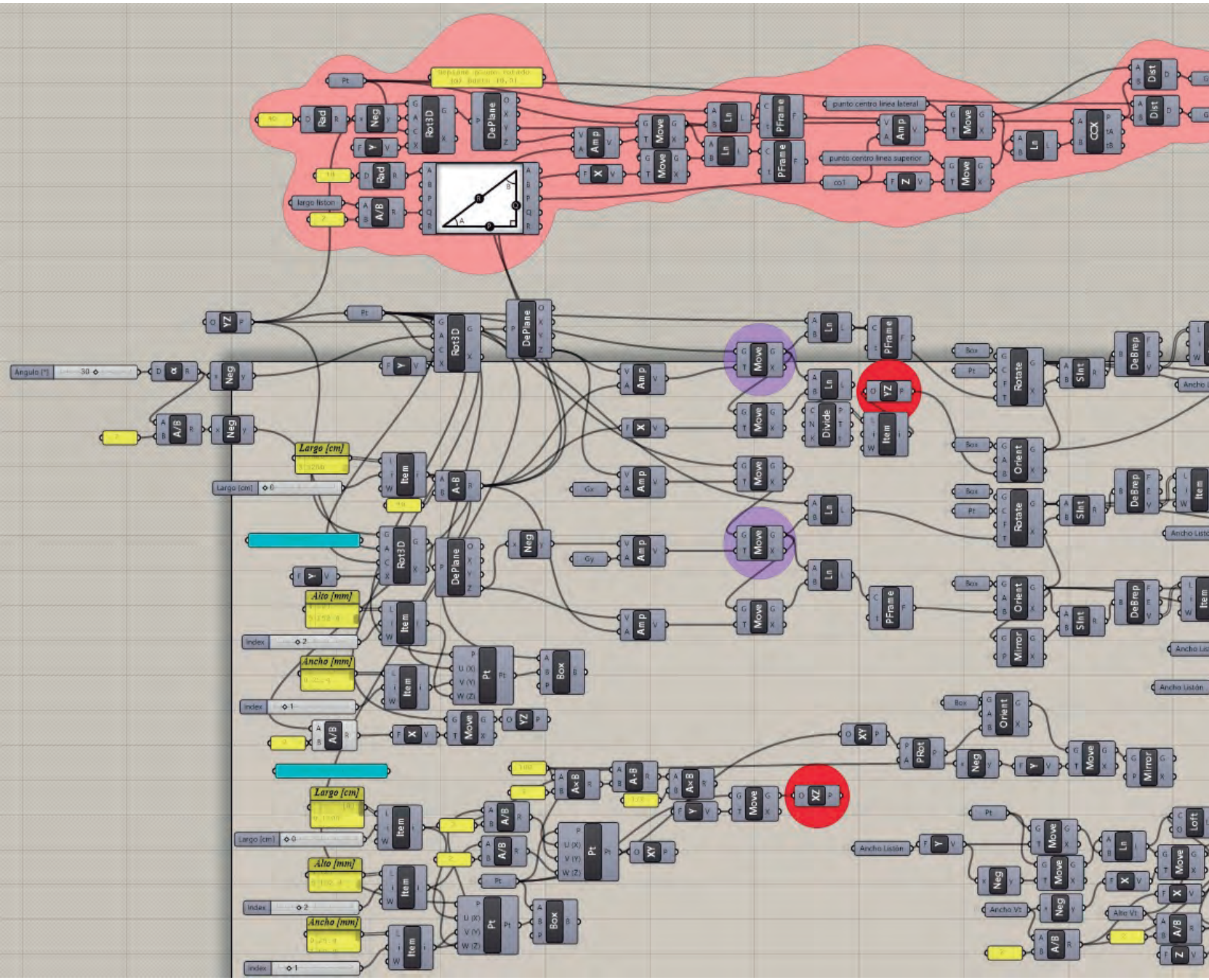
Planta Superior 0 15 30 60

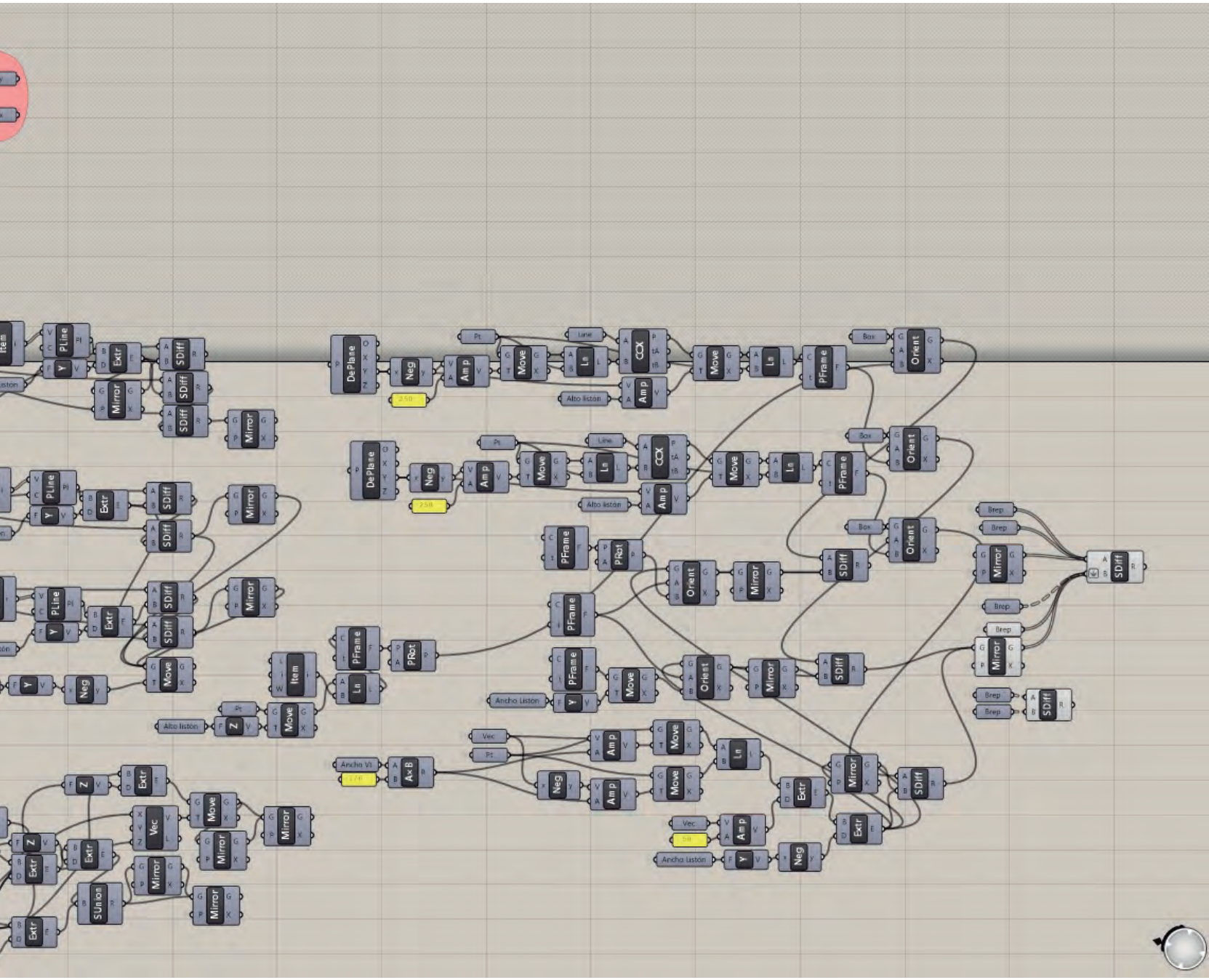


Elevación Frontal 0 15 30 60

Parámetros	
Luz máxima (m)	8.65
Luz mínima (m)	3.32
Radio curvatura máx. (m)	1.84
Radio curvatura min. (m)	0.74
Cantidad piezas (uni)	21
Cant. tipos de uniones (uni)	3

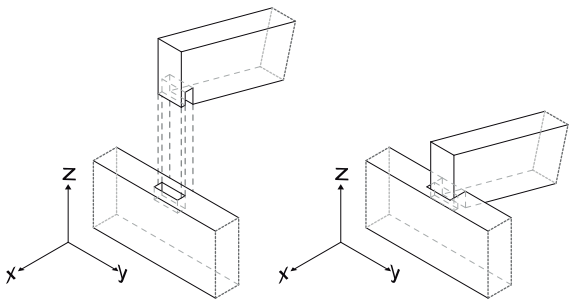
6.2.1 PROGRAMACIÓN PROTOTIPO 1 y 2



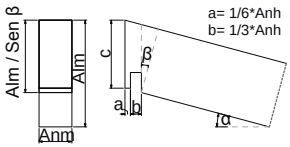

DePlane
Neg
Amp
Pt
Move
Line
Ln
CCX
Alto listón
PFrame
Box
Orient
PLine
Extr
SDiff
Mirror
PRot
Item
Ancho Liston
Brep
Vec
Ancho Vi
A×B
Z
Y
SUnion

6.2.2 UNIONES

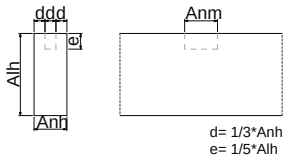
Unión Caja y Espiga

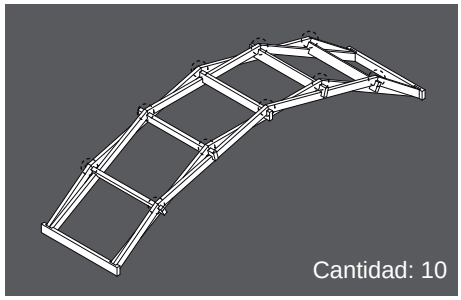


Macho

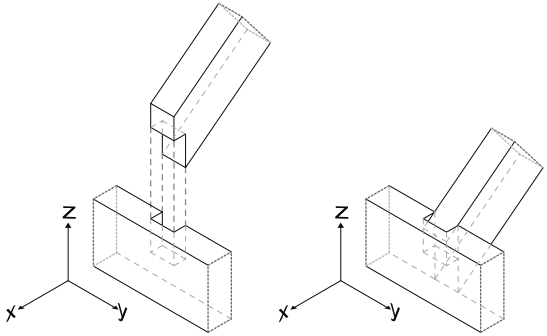


Hembra

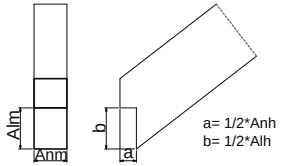




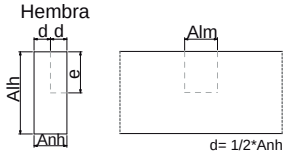
Unión de barbilla a tope con caja

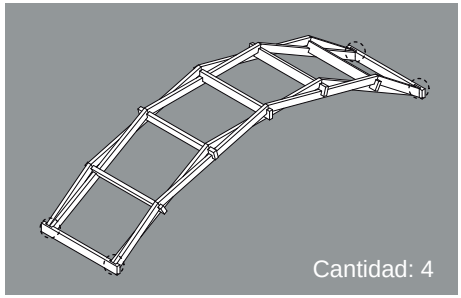


Macho

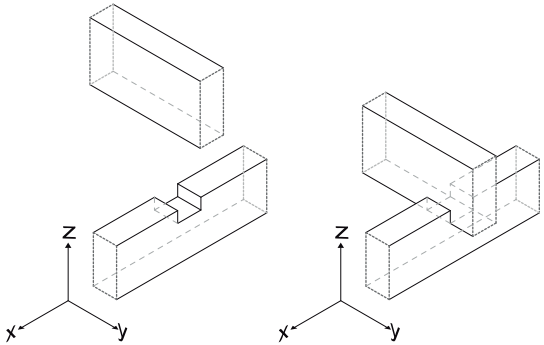


Hembra





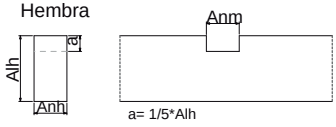
Unión de Caja de simple entalladura

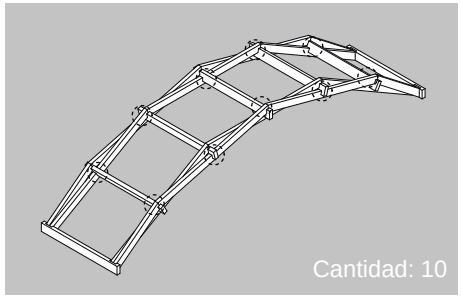


Macho



Hembra

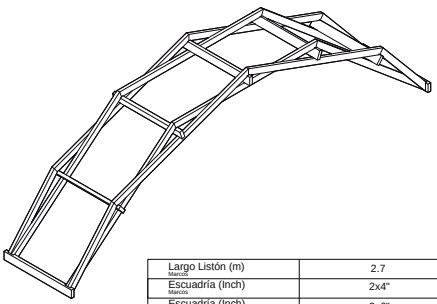




6.2.3 VARIACIONES

Variación de ángulo

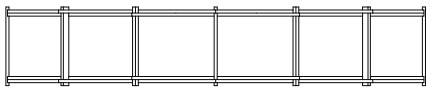
1



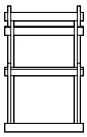
Largo Listón (m) Marco8	2.7
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x6"
Ángulo de inclinación	40°
Luz (m)	7
Radio curvatura (m)	2.1



Elevación Lateral 0 25 50 100

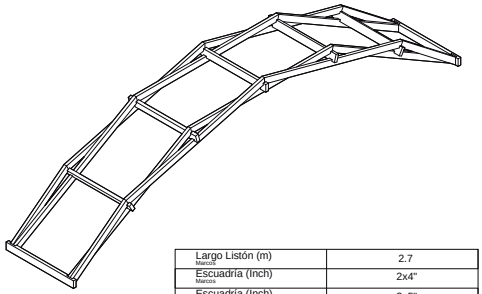


Planta Superior 0 25 50 100



Elevación Frontal 0 25 50 100

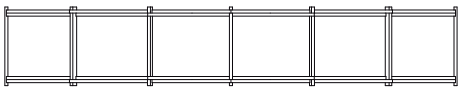
2



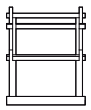
Largo Listón (m) Marco8	2.7
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	7.5
Radio curvatura (m)	1.63



Elevación Lateral 0 25 50 100

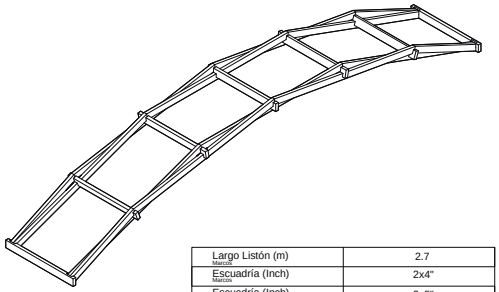


Planta Superior 0 25 50 100



Elevación Frontal 0 25 50 100

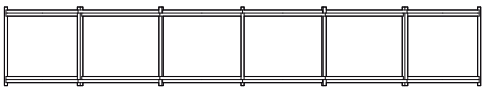
3



Largo Listón (m) Marco8	2.7
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	20°
Luz (m)	7.8
Radio curvatura (m)	1.1



Elevación Lateral 0 25 50 100



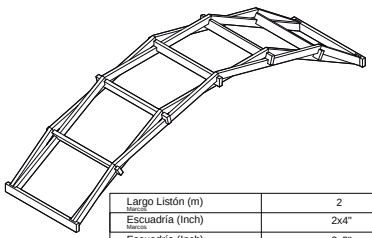
Planta Superior 0 25 50 100



Elevación Frontal 0 25 50 100

Variación de largo listón

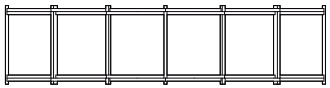
1



Largo Listón (m) Marco/R	2
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	5.3
Radio curvatura (m)	1.2



Elevación Lateral 0 25 50 100

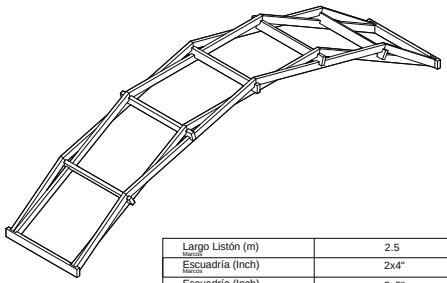


Planta Superior 0 25 50 100



Elevación Frontal 0 25 50 100

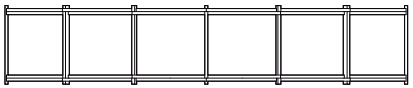
2



Largo Listón (m) Marco/R	2.5
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	6.7
Radio curvatura (m)	1.5



Elevación Lateral 0 25 50 100

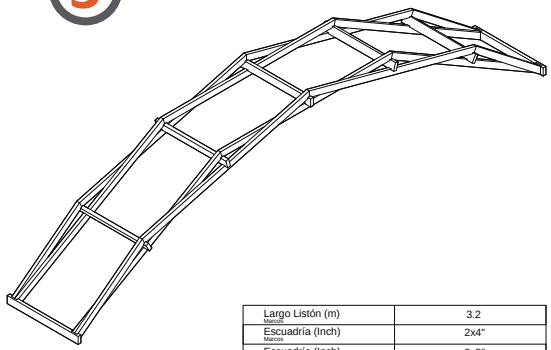


Planta Superior 0 25 50 100

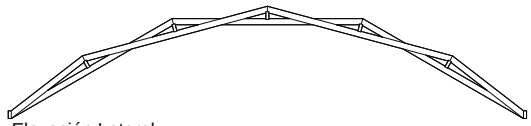


Elevación Frontal 0 25 50 100

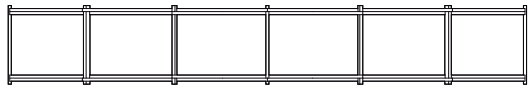
3



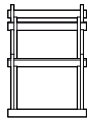
Largo Listón (m) Marco/R	3.2
Escuadría (Inch) Marcos	2x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	8.65
Radio curvatura (m)	1.85



Elevación Lateral 0 25 50 100

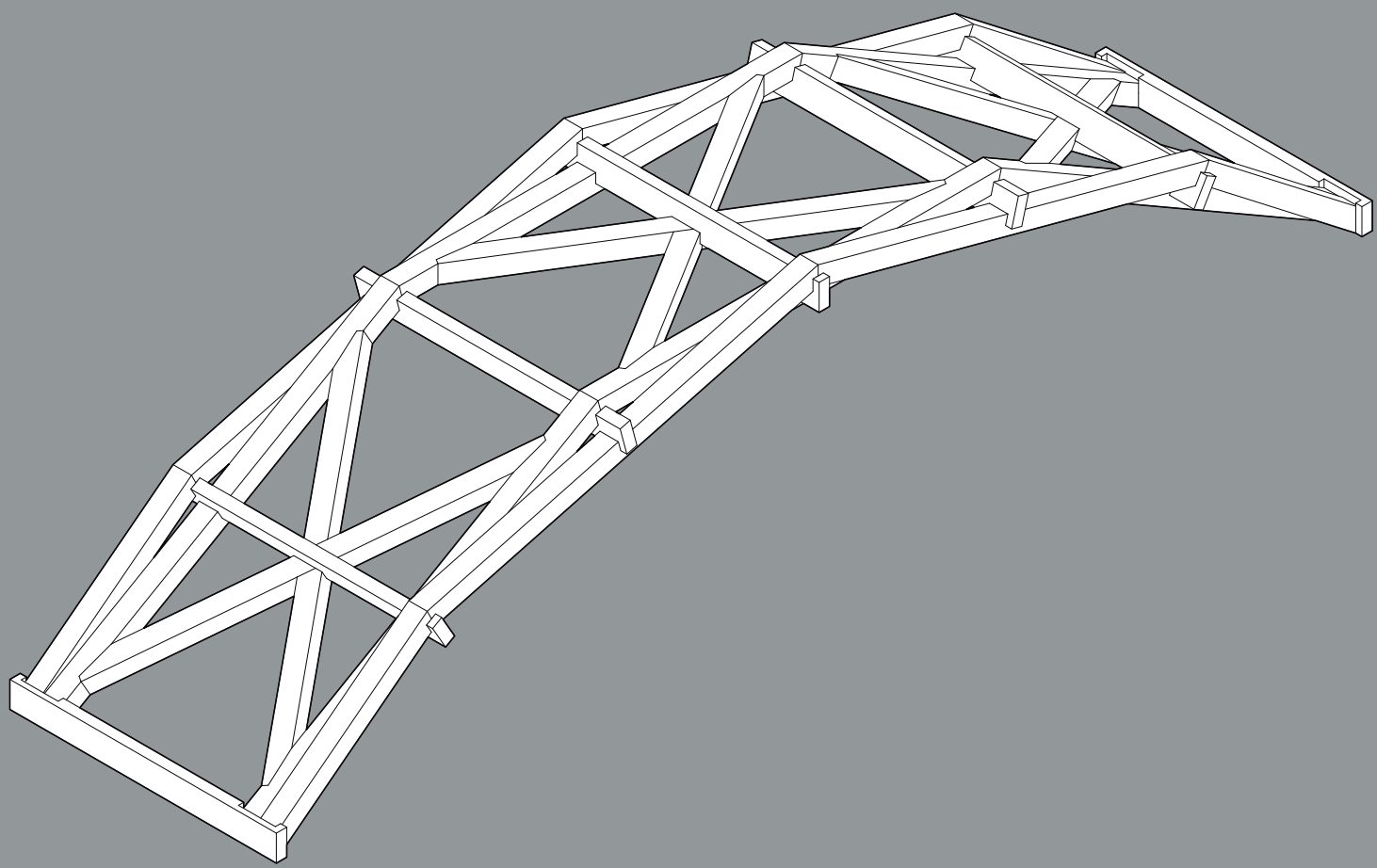


Planta Superior 0 25 50 100



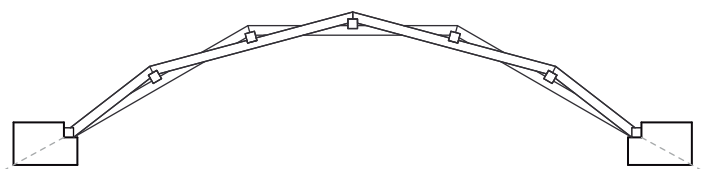
Elevación Frontal 0 25 50 100

Prototipo ②

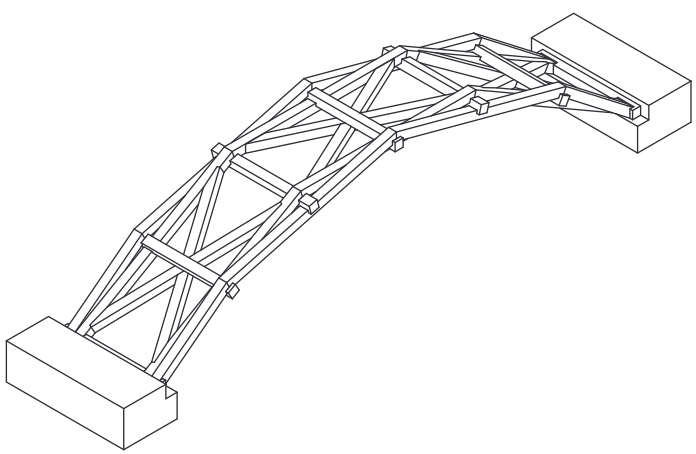


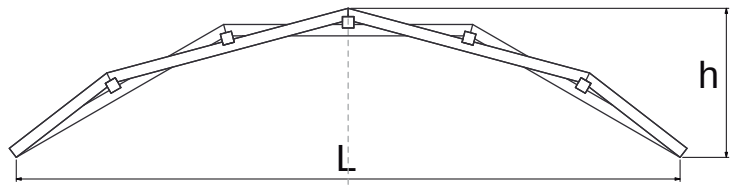
6.3 PROTOTIPO 2

El prototipo 2 es una mejora del primero, donde se toma como ángulo fijo de inclinación 30° por ser el más estable estructuralmente.
La escuadría de los listones aumenta (cuartones), para asemejarse a la sección circular, como se muestra en el Rainbow Bridge y además se le agregan diagonales para disminuir los movimientos producidos por esfuerzos laterales.
Aumenta la cantidad de piezas y de uniones.

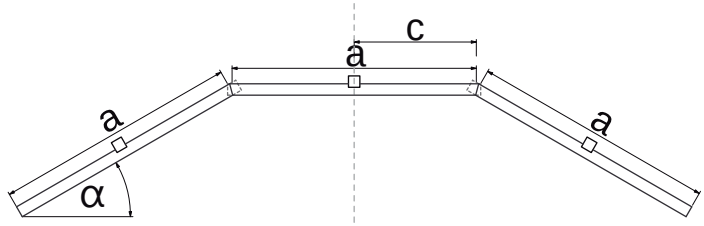


Fundación
Corrida hormigón

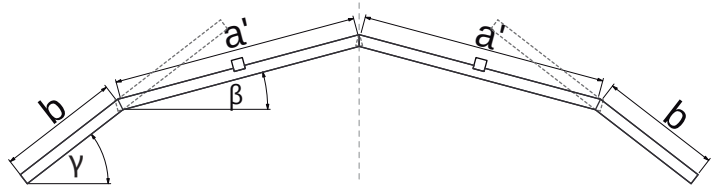




α = 2*β
β = α/2
a = a'



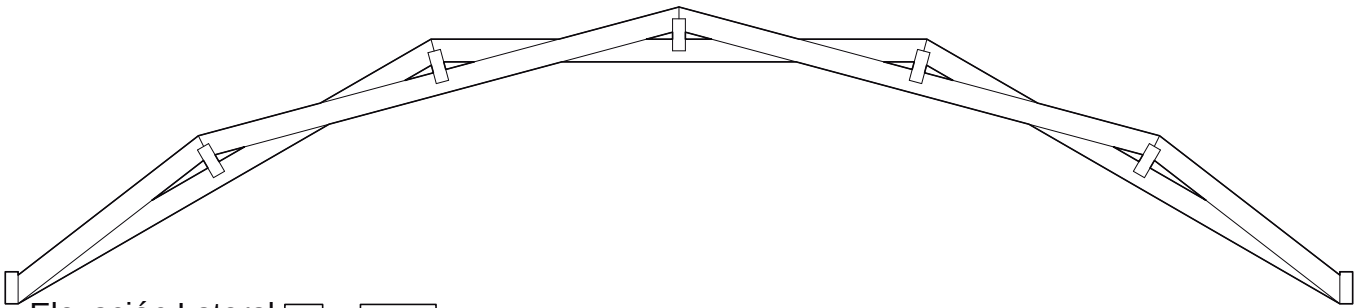
Composición
Marco A



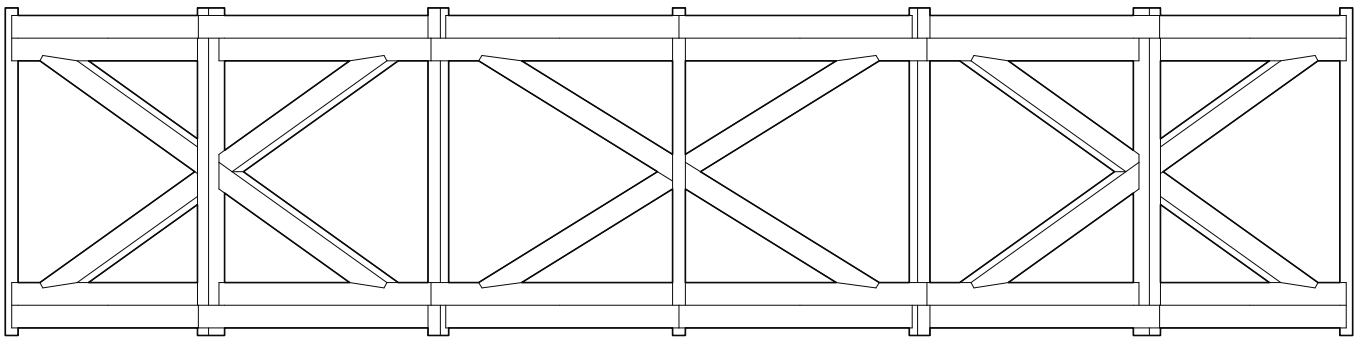
Composición
Marco B

Si α = 40°, c = a/2 y γ =50°

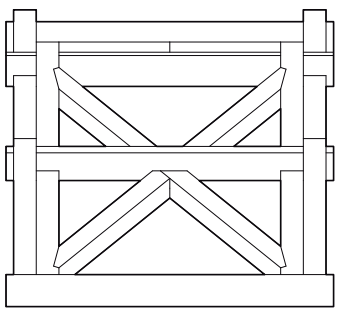
Si α < 40°, c ≈ a/2



Elevación Lateral 0 15 30 60



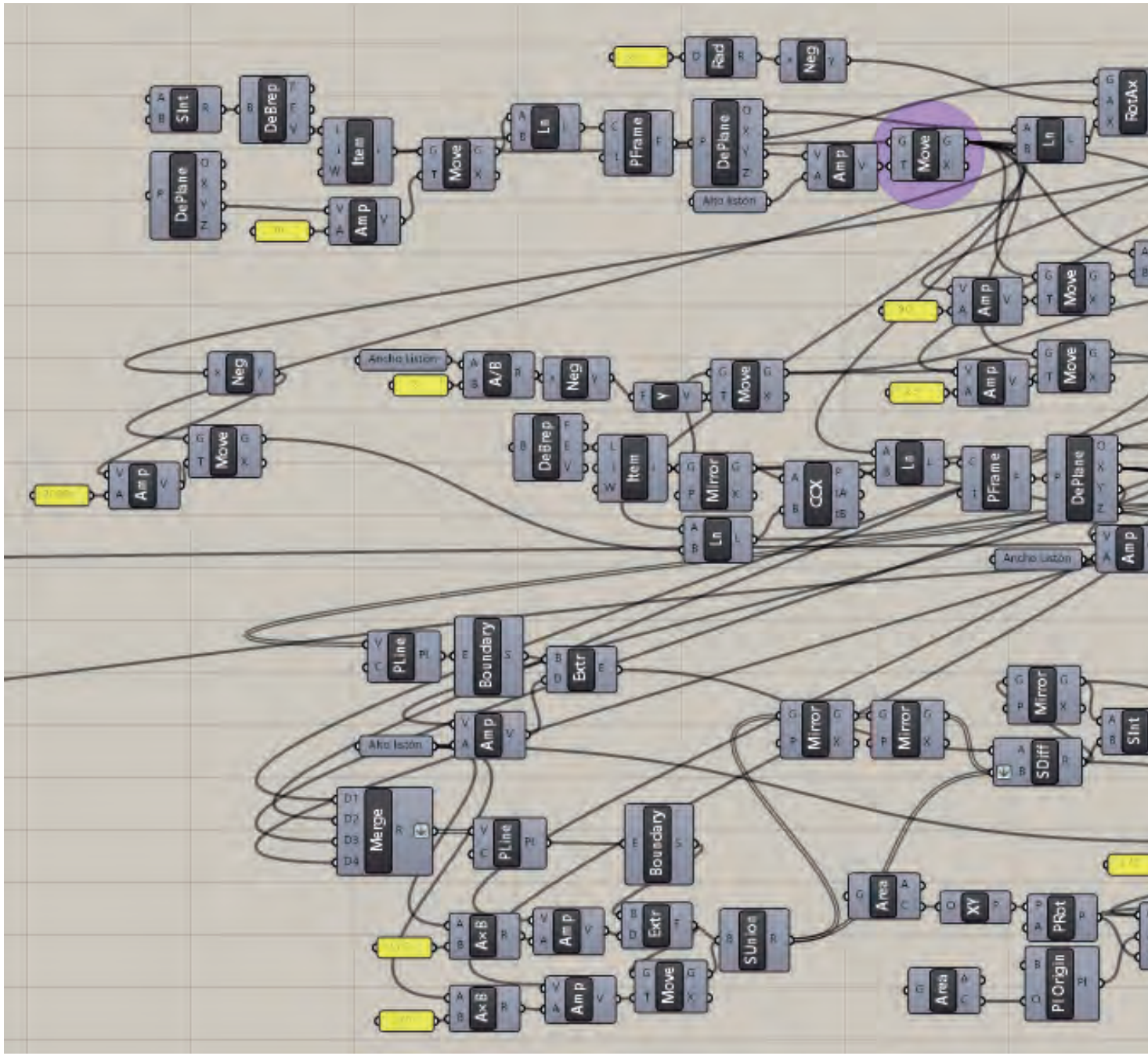
Planta Superior 0 15 30 60

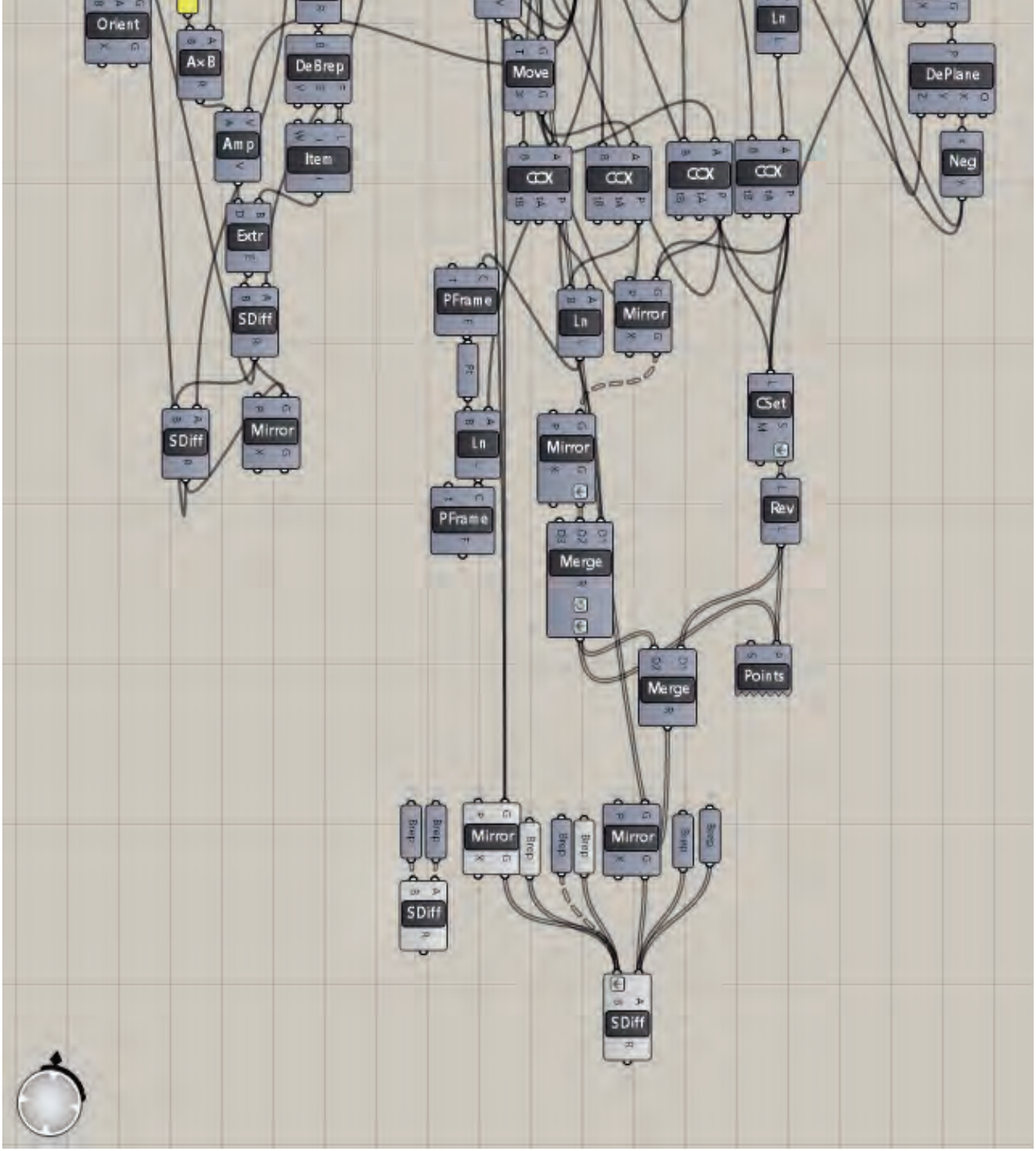


Elevación Frontal 0 15 30 60

Parámetros	
Luz máxima (m)	8.65
Luz mínima (m)	3.32
Radio curvatura máx. (m)	1.84
Radio curvatura min. (m)	0.74
Cantidad piezas (uni)	27
Cant. tipos de uniones (uni)	5

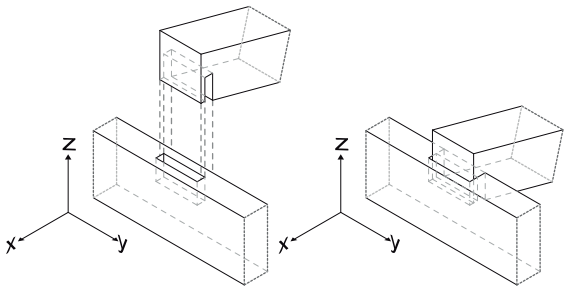
6.3.1 PROGRAMACIÓN DIAGONALES PROTOTIPO 2



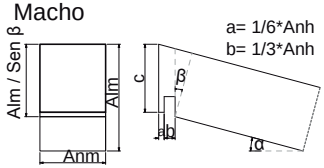

Orient
A×B
DeBrep
Amp
Item
Extr
SDiff
SDiff
Mirror
Move
Ln
DePlane
Neg
CCX
CCX
CCX
CCX
PFrame
Ln
Mirror
CSet
Ln
Mirror
Rev
PFrame
Merge
Merge
Points
Brep
Brep
Mirror
Brep
Brep
Brep
Mirror
Brep
SDiff
SDiff

6.3.2 UNIONES

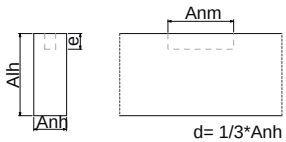
Unión Caja y Espiga

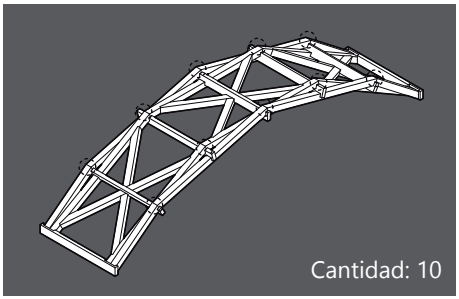


Macho

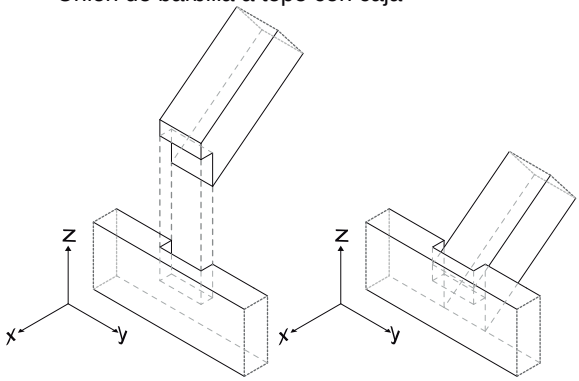


Hembra

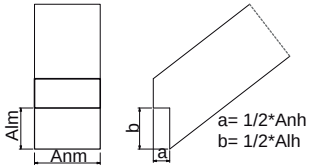




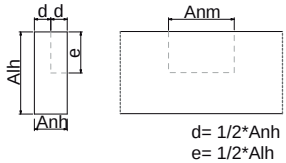
Unión de barbilla a tope con caja

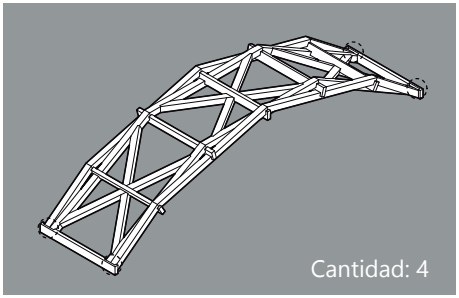


Macho

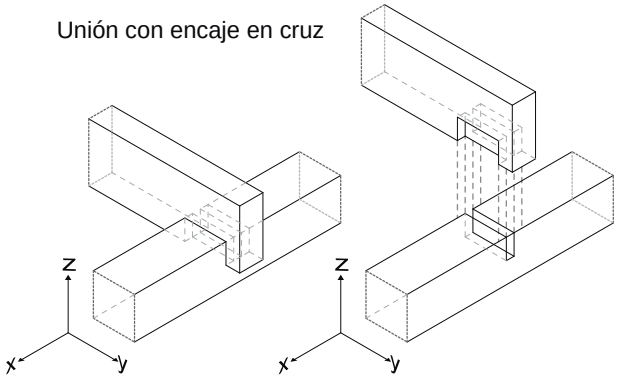


Hembra

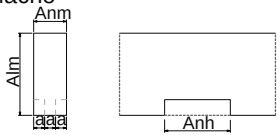




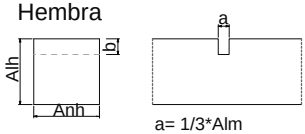
Unión con encaje en cruz

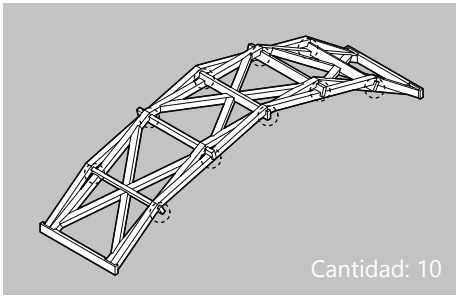


Macho

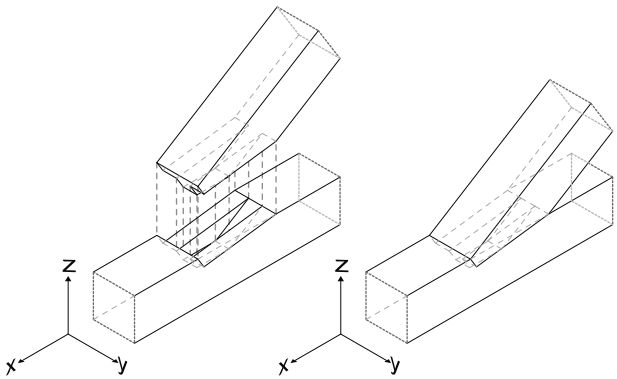


Hembra

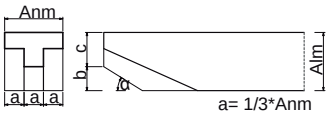




Unión Caja y Espiga con espera

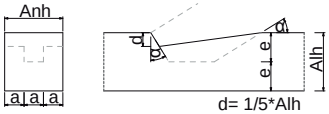


Macho

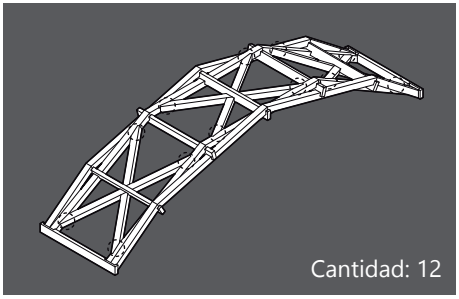


a= 1/3*Anm
b= 2/5*Alm
c= 3/5*Alm

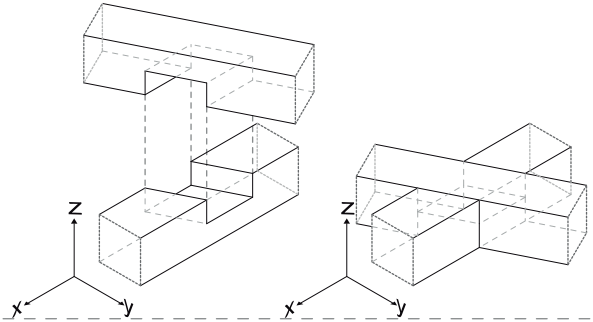
Hembra



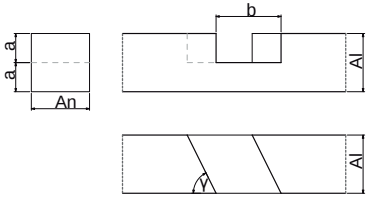
d= 1/5*Alh
e= 1/2*Alh



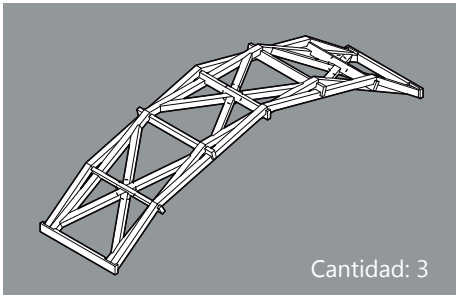
Unión a media madera en cruz



Macho y hembra



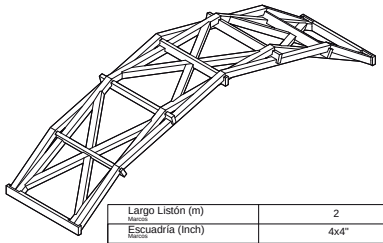
a= 1/2*Al
b= Al / Sen(γ)



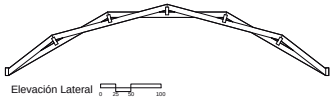
6.3.3 VARIACIONES

Variación de largo listón

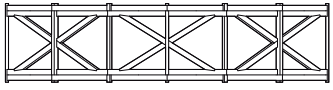
1



Largo Listón (m) Marcos	2
Escuadría (Inch) Marcos	4x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	5.3
Radio curvatura (m)	1.2



Elevación Lateral

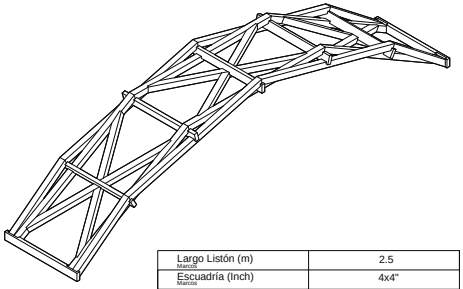


Planta Superior

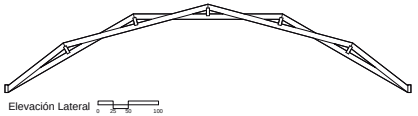


Elevación Frontal

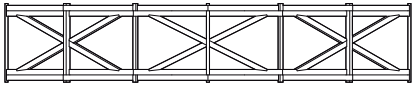
2



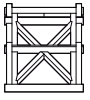
Largo Listón (m) Marcos	2.5
Escuadría (Inch) Marcos	4x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	6.7
Radio curvatura (m)	1.5



Elevación Lateral

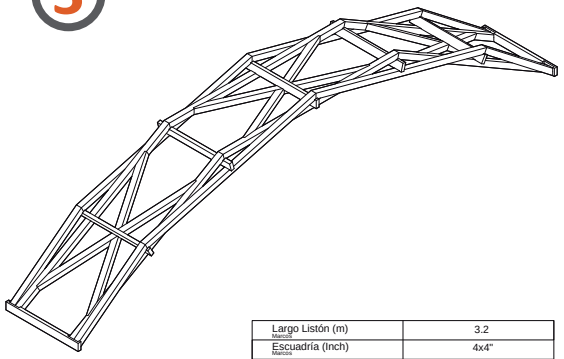


Planta Superior

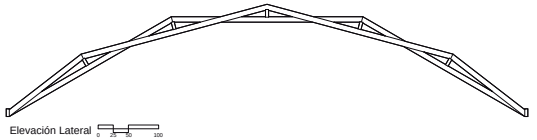


Elevación Frontal

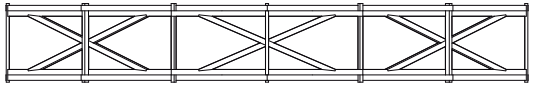
3



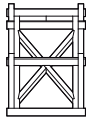
Largo Listón (m) Marcos	3.2
Escuadría (Inch) Marcos	4x4"
Escuadría (Inch) Viga transversal	2x5"
Ángulo de inclinación	30°
Luz (m)	8.65
Radio curvatura (m)	1.85



Elevación Lateral

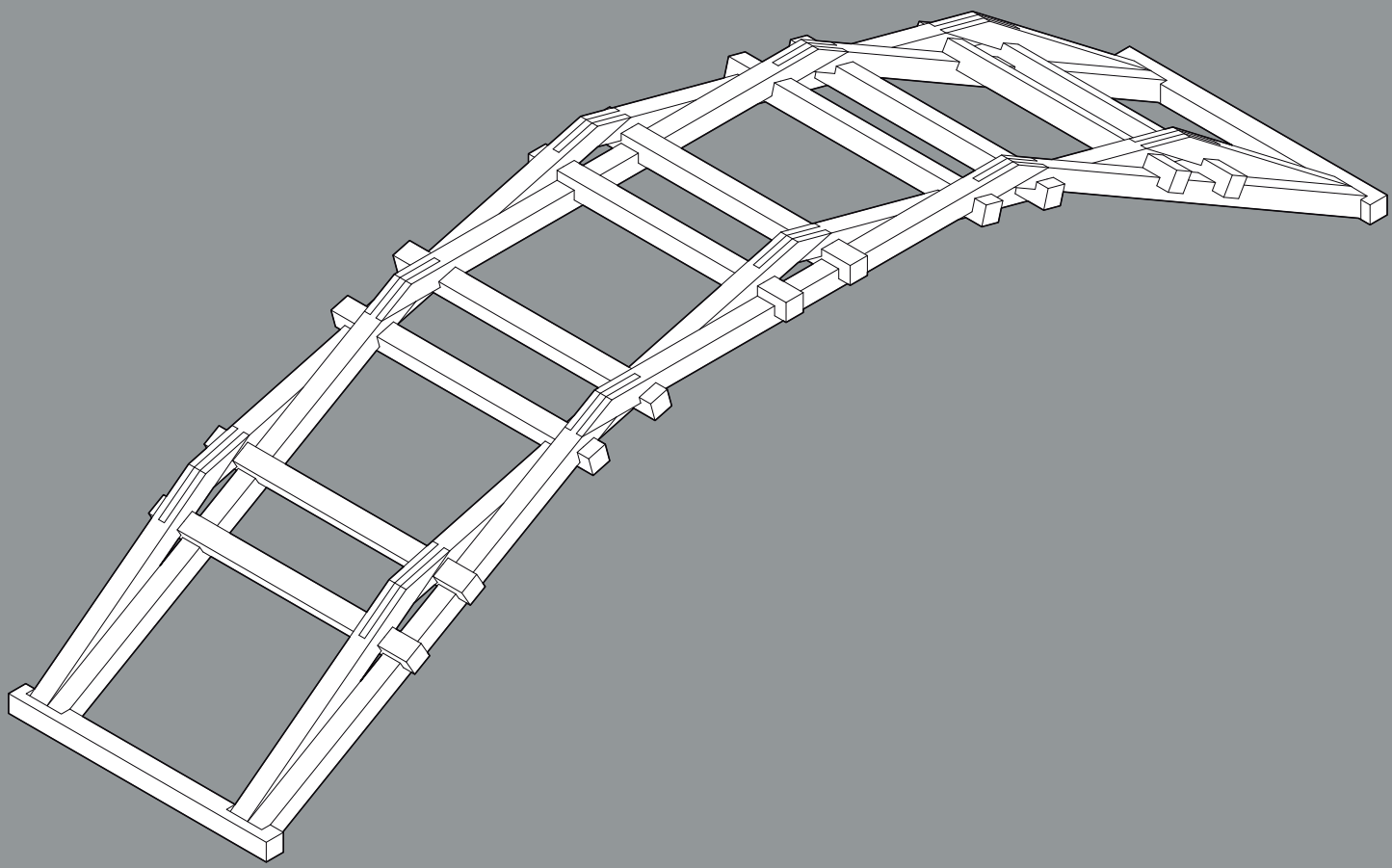


Planta Superior



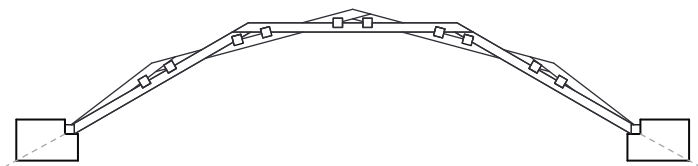
Elevación Frontal

Prototipo ③

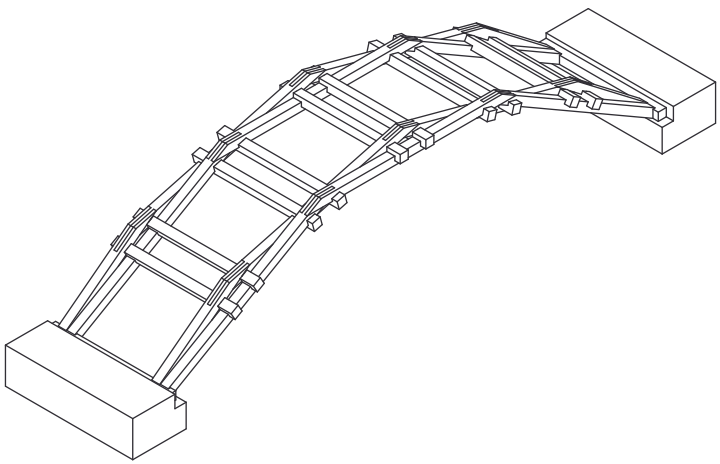


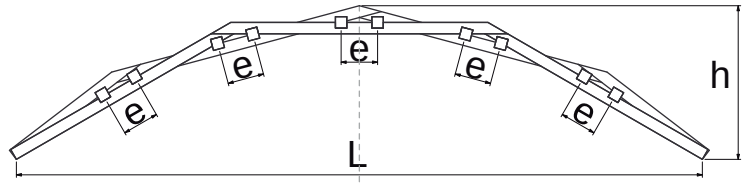
6.4 PROTOTIPO 3

Por las exigencias de los prototipos 1 y 2 (caja y espiga en la intersección marco y v. transversal), se propone un tercer modelo que tiene como característica eliminar las diagonales y duplicar la cantidad de vigas transversales, donde la separación entre estas da la estabilidad estructural.
Solo disminuye en una unidad la cantidad de piezas y de uniones desiguales.
La continuidad de los marcos se hace por medio de unión de quijera.

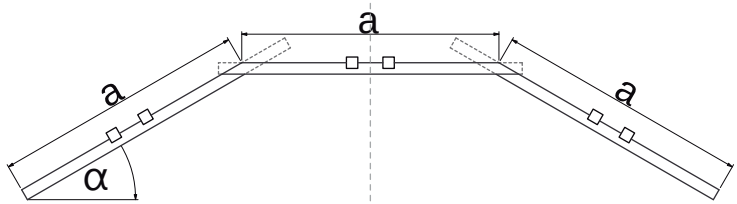


Fundación
Corrida hormigón

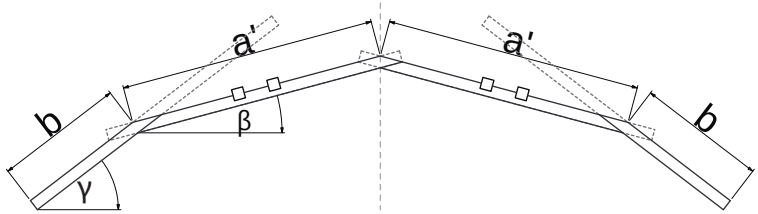




$\alpha = 2*\beta$
$\beta = \alpha/2$
$a = a'$



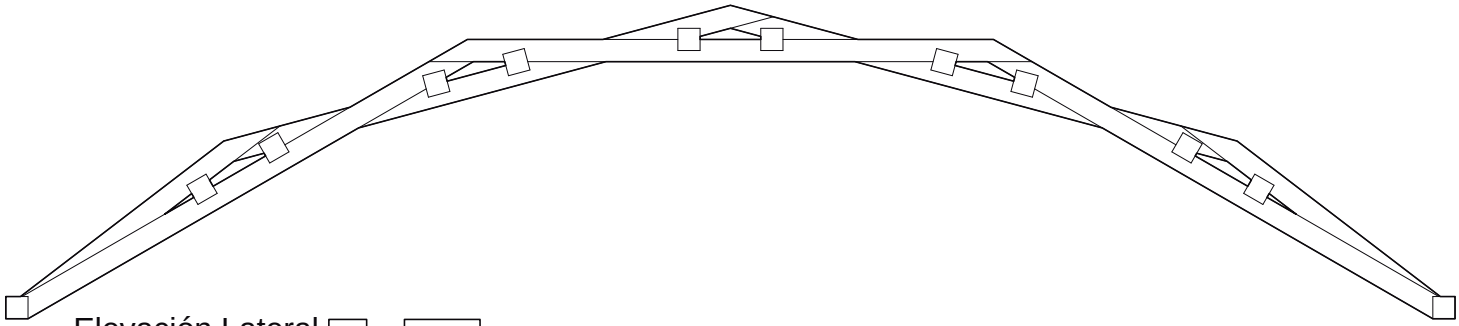
Composición
Marco A



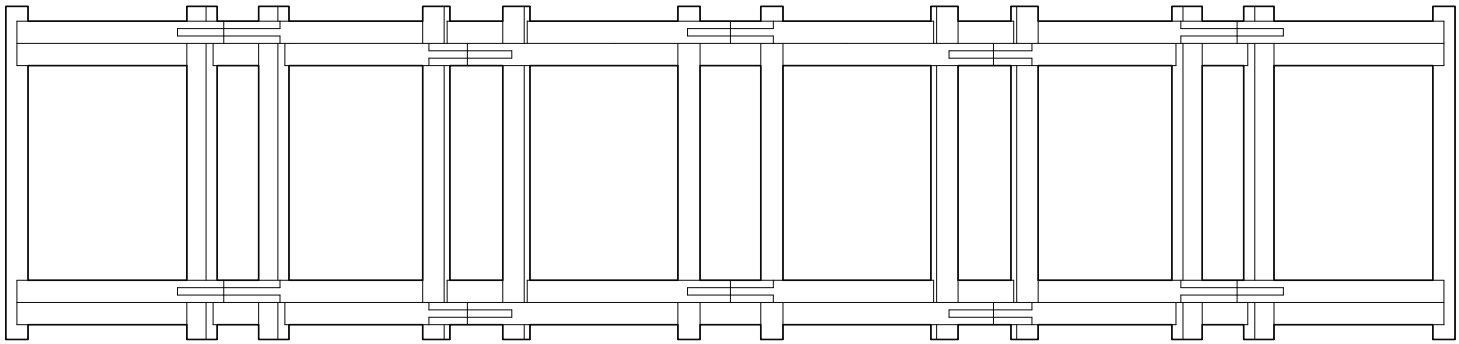
Composición
Marco B

Si $\alpha = 40°$, $c = a/2$ y $\gamma = 50°$

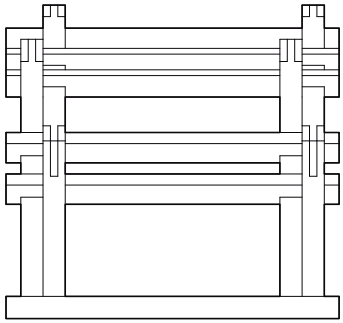
Si $\alpha < 40°$, $c \approx a/2$



Elevación Lateral 0 15 30 60



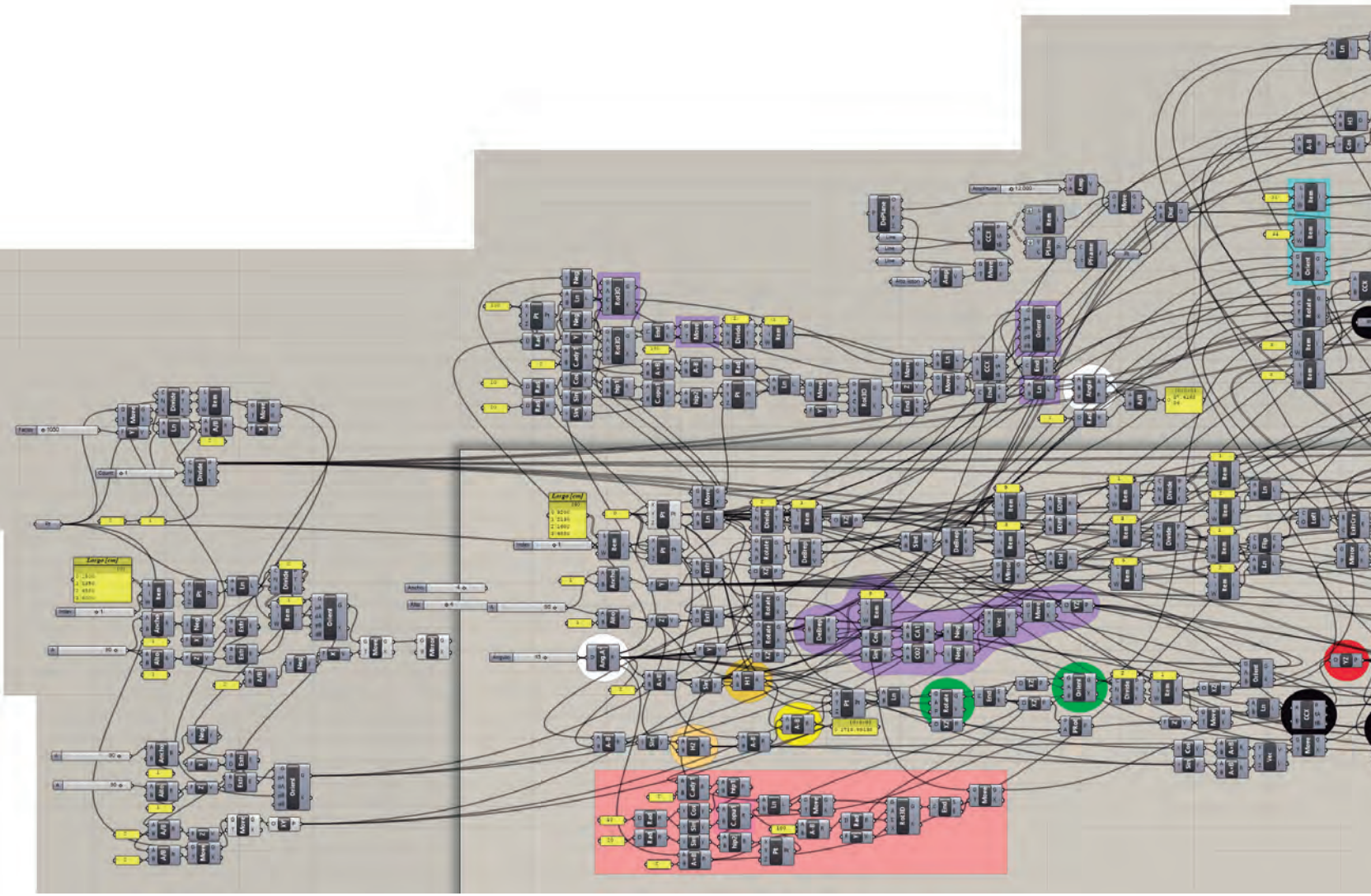
Planta Superior 0 15 30 60

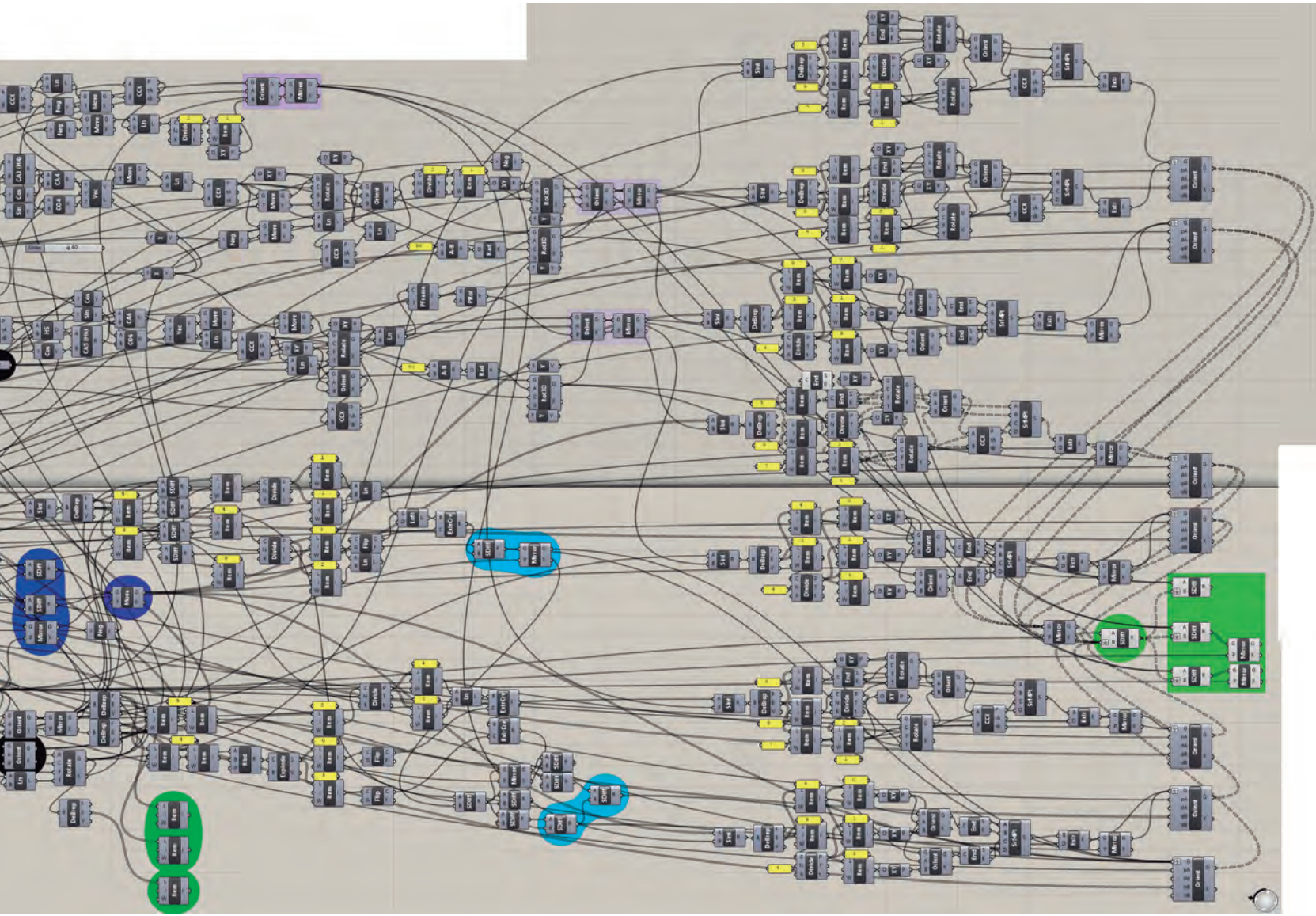


Elevación Frontal 0 15 30 60

Parámetros	
Luz máxima (m)	7.8
Luz mínima (m)	4.5
Radio curvatura máx. (m)	1.7
Radio curvatura min. (m)	1
Cantidad piezas (uni)	26
Cant. tipos de uniones (uni)	4

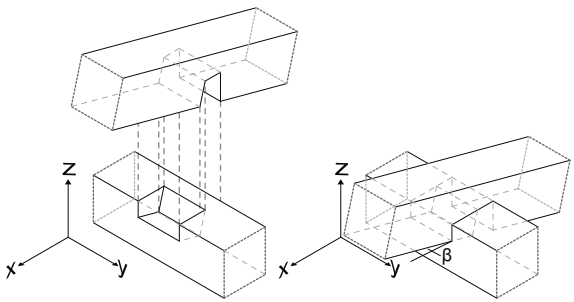
6.4.1 PROGRAMACIÓN PROTOTIPO 3



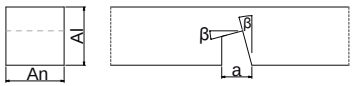


6.4.2 UNIONES

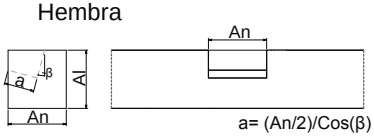
Unión a media madera con encaje en (β)

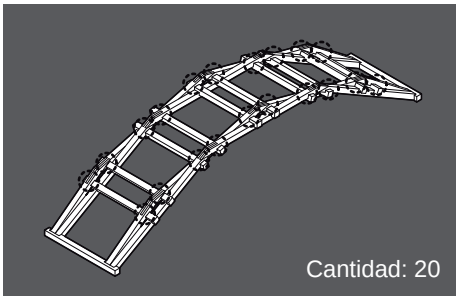


Macho

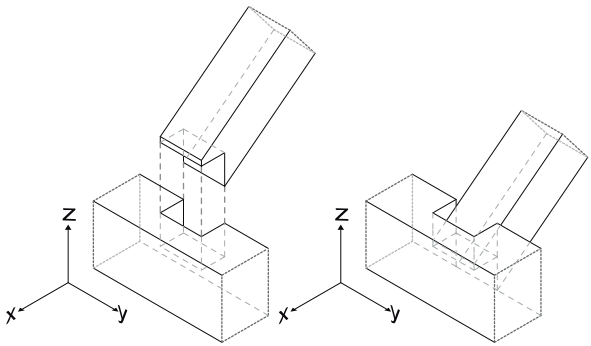


Hembra

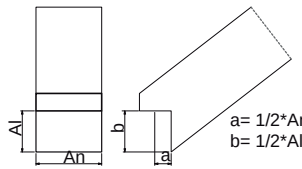




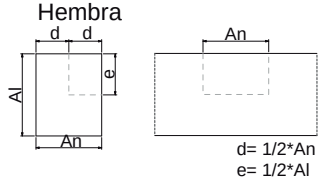
Unión de barbilla a tope con caja

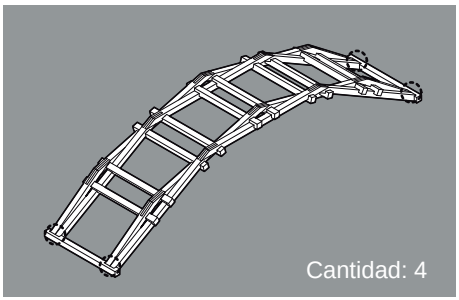


Macho

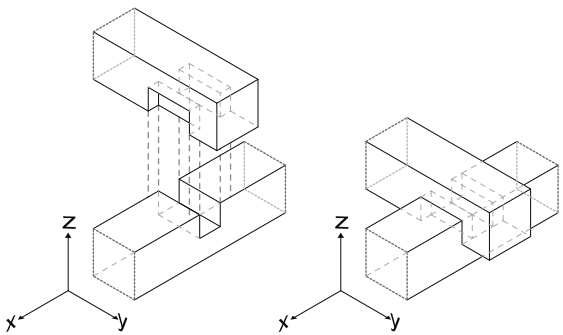


Hembra

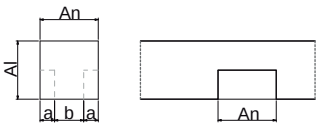




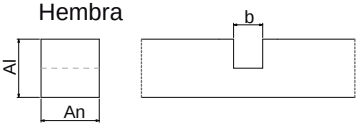
Unión con encaje en cruz

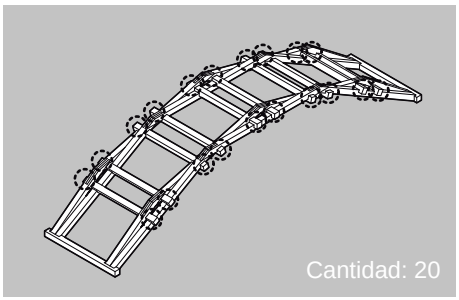


Macho

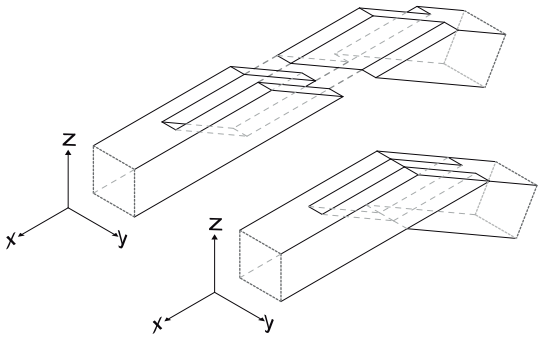


Hembra

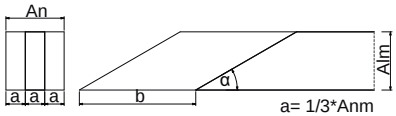




Unión de quijera

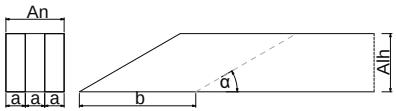


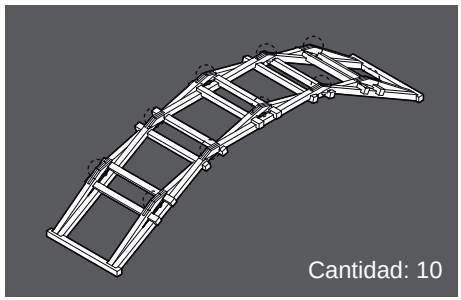
Macho



a= 1/3*Anm
b= 2/5*Alm

Hembra

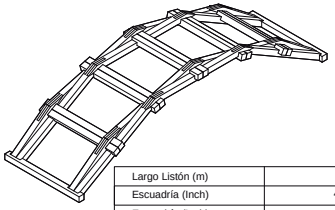




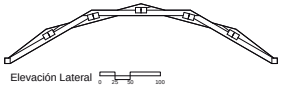
6.4.3 VARIACIONES

Variación de largo listón

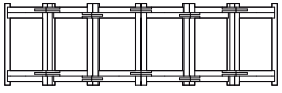
1



Largo Listón (m)	2
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	4x4"
Ángulo	30°
Luz (m)	4.5
Radio curvatura (m)	1



Elevación Lateral

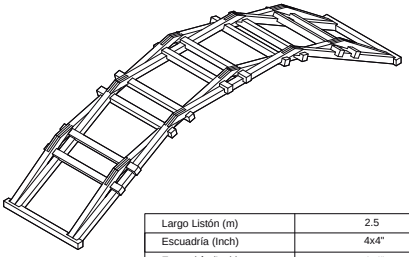


Planta Superior

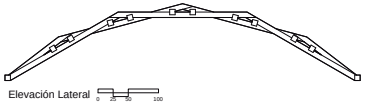


Elevación Frontal

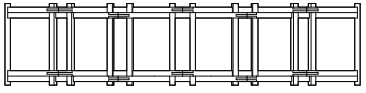
2



Largo Listón (m)	2.5
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	4x4"
Ángulo	30°
Luz (m)	5.87
Radio curvatura (m)	1.27



Elevación Lateral

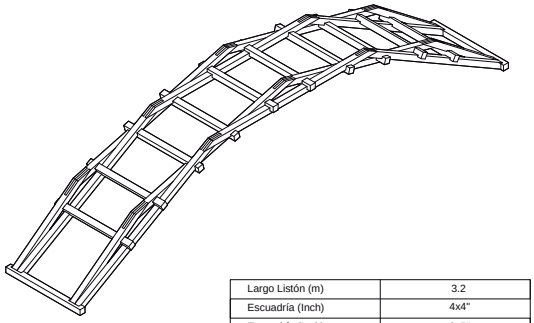


Planta Superior

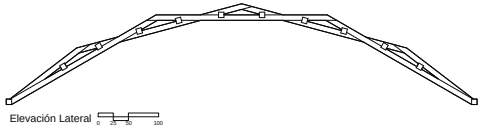


Elevación Frontal

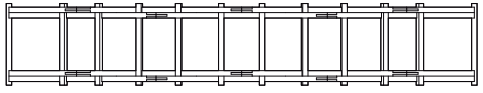
3



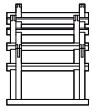
Largo Listón (m)	3.2
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	2x5"
Ángulo	30°
Luz (m)	7.8
Radio curvatura (m)	1.66



Elevación Lateral

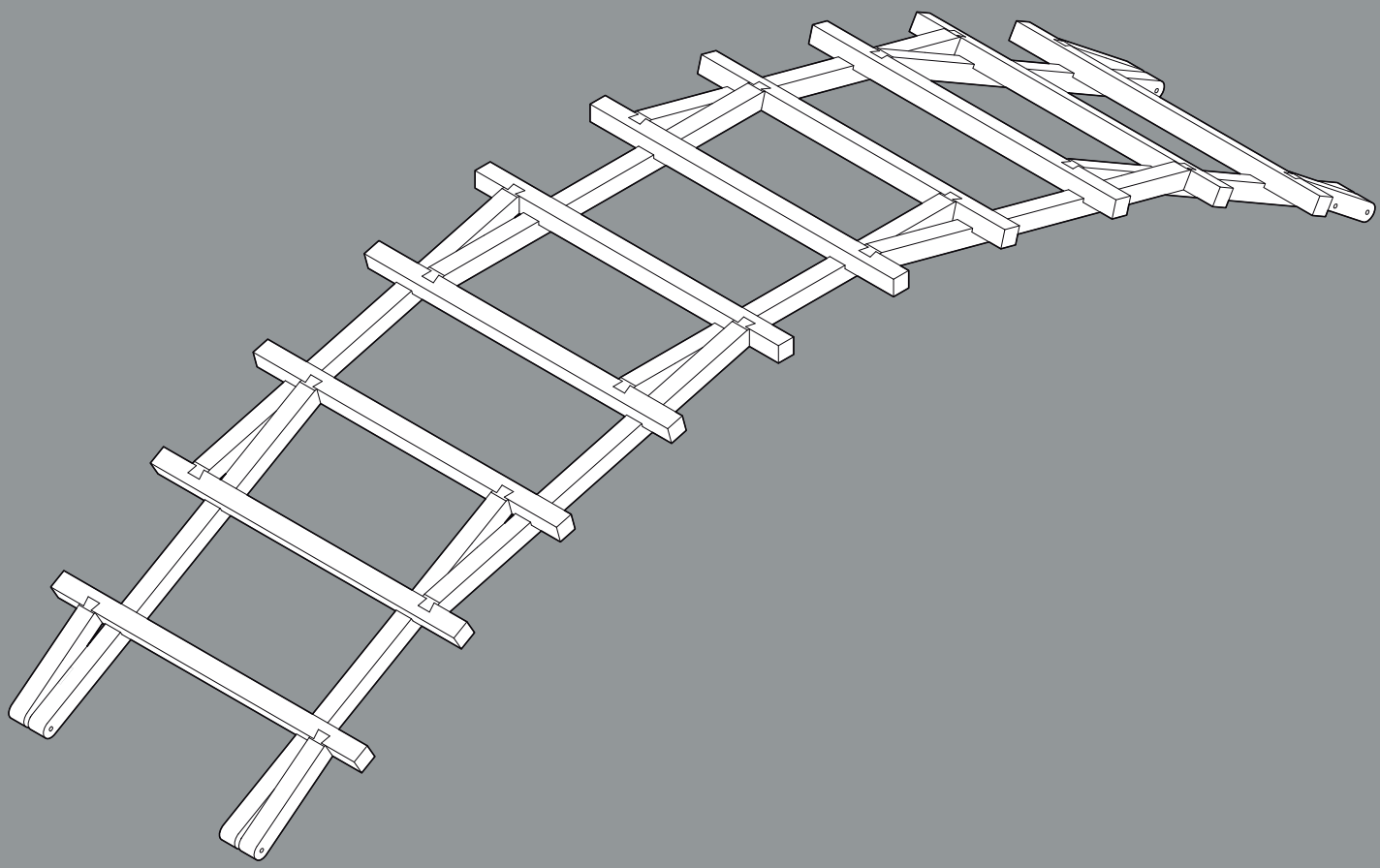


Planta Superior



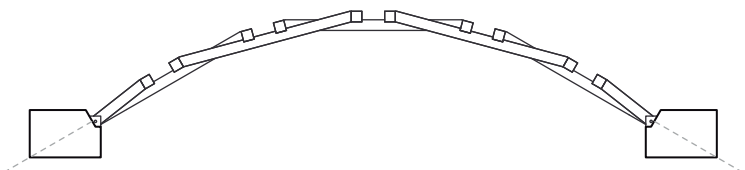
Elevación Frontal

Prototipo ④

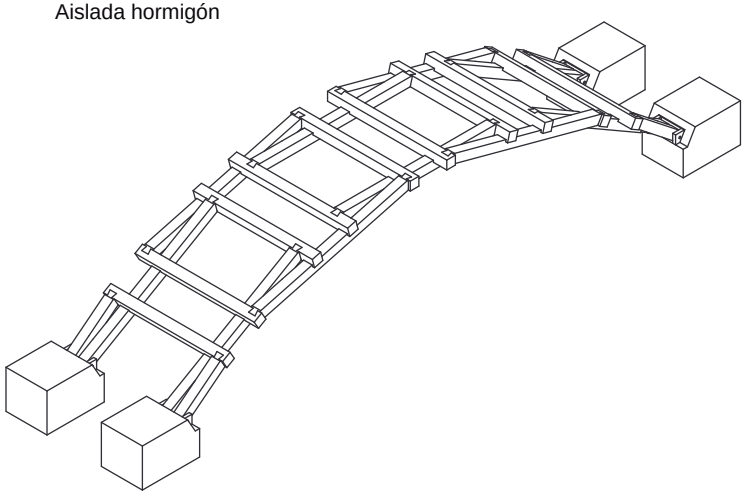


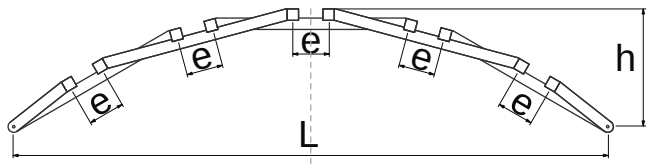
6.5 PROTOTIPO 4

Considerando la cantidad de piezas, uniones, luz y radio curvatura, se propone un cuarto modelo. Sus características es separar los elementos del marco y ensamblarlos a tope con las vigas transversales, disminuyéndose el radio curvatura y aumentando la luz.
La cantidad de uniones desiguales disminuye y las fundaciones a utilizar pasan a ser aisladas, ya que los esfuerzos no son tan exigentes por ser de uso peatonal.

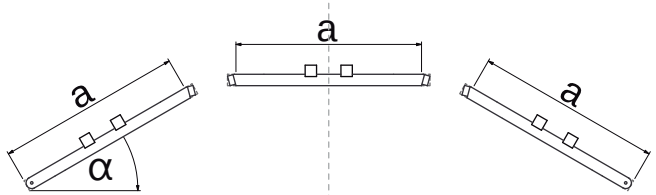


Fundación
Aislada hormigón

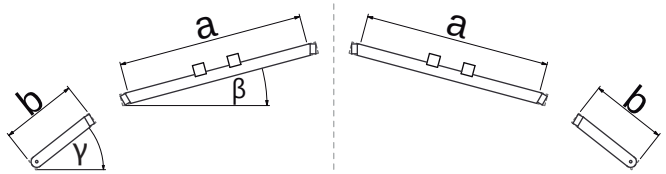




$\alpha = 2*\beta$
$\beta = \alpha/2$
$a = a'$



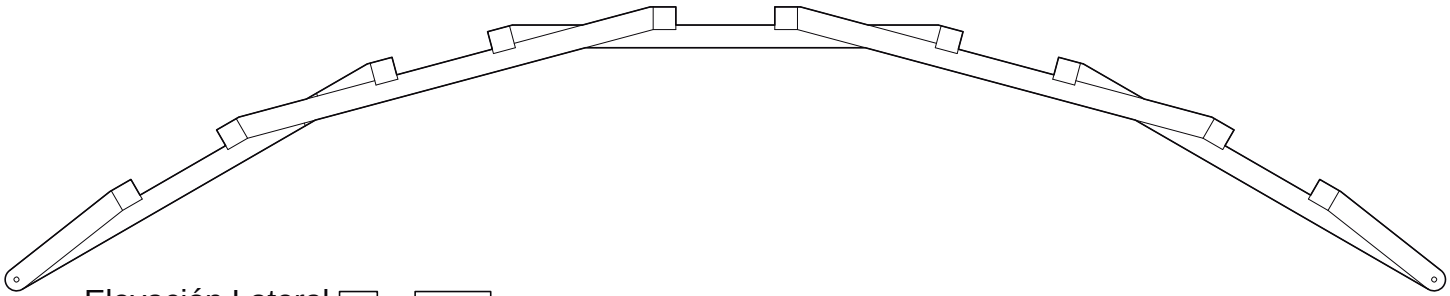
Composición
Marco A



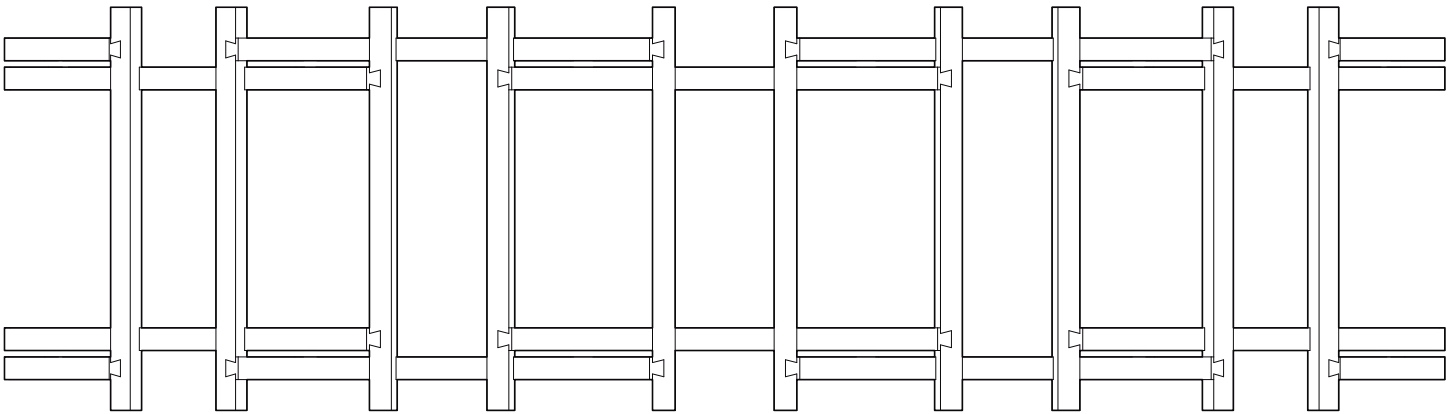
Composición
Marco B

Si $\alpha = 40°$, $c = a/2$ y $\gamma = 50°$

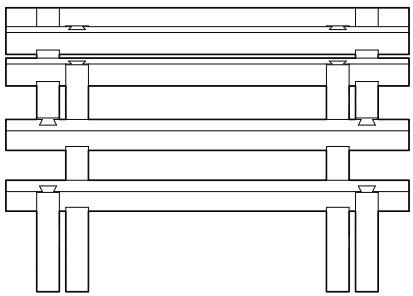
Si $\alpha < 40°$, $c \approx a/2$



Elevación Lateral 0 15 30 60



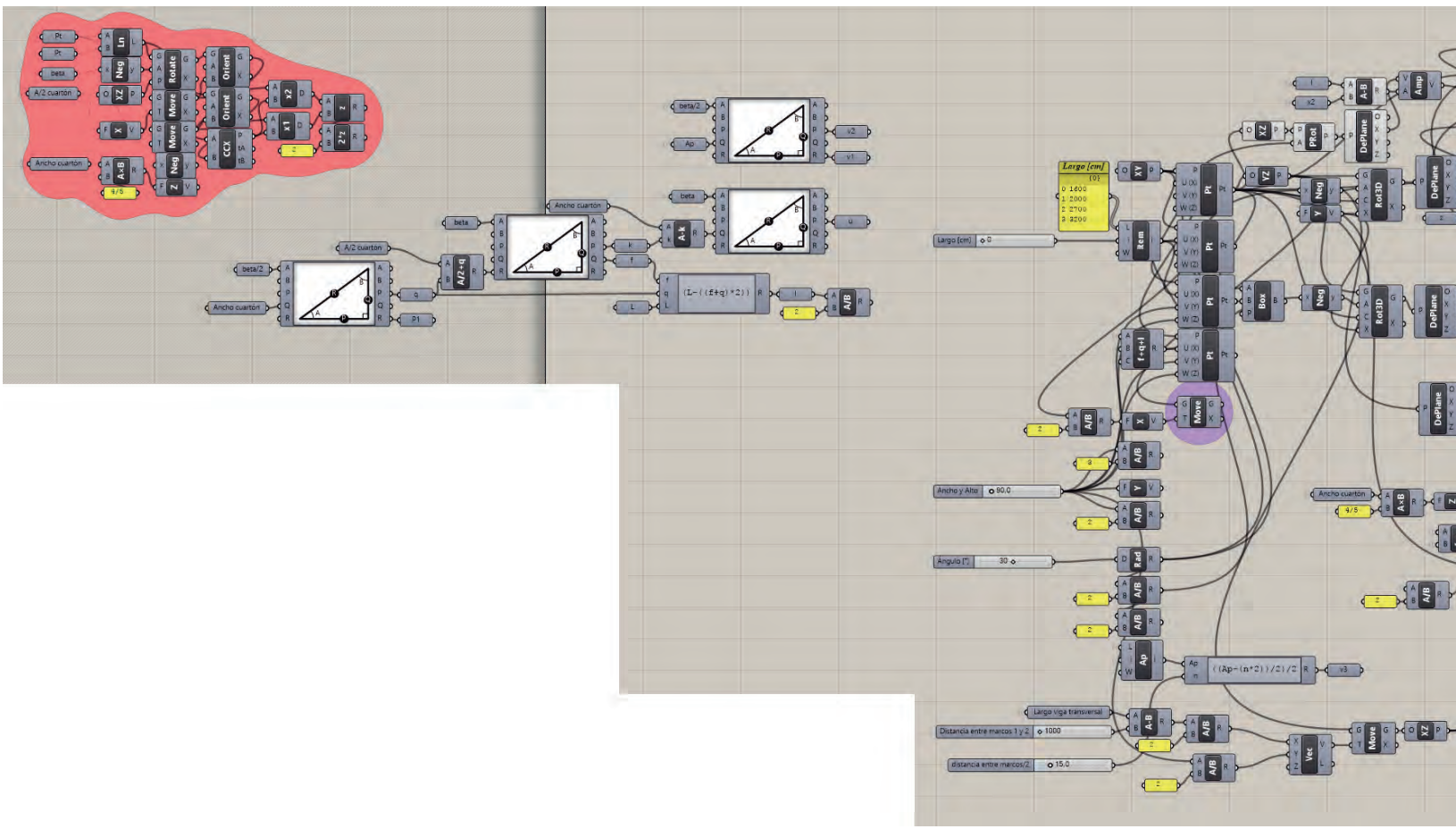
Planta Superior 0 15 30 60

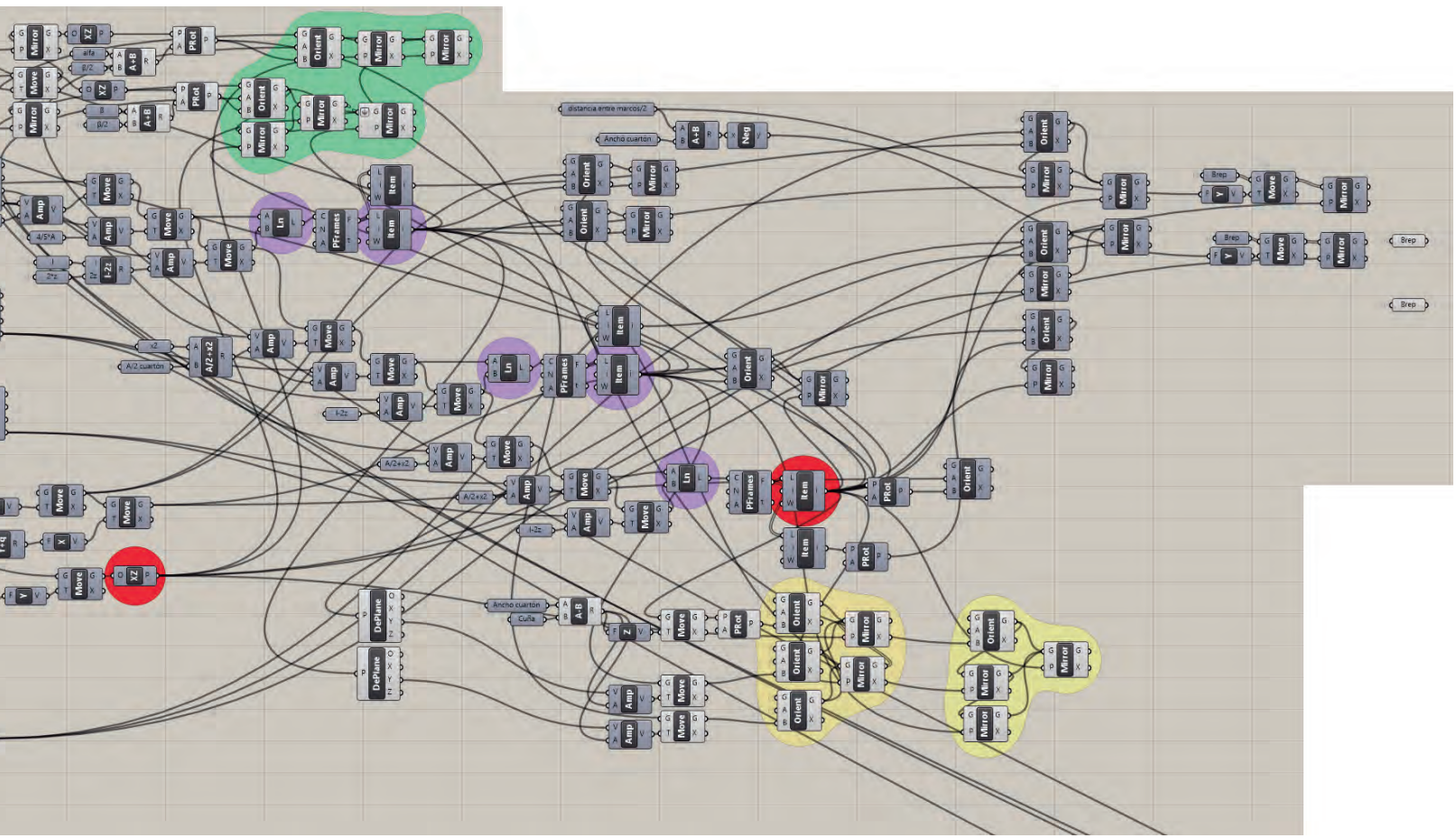


Elevación Frontal 0 15 30 60

Parámetros	
Luz máxima (m)	12.25
Luz mínima (m)	4.08
Radio curvatura máx. (m)	2.2
Radio curvatura min. (m)	0.86
Cantidad piezas (uni)	24
Cant. tipos de uniones (uni)	3

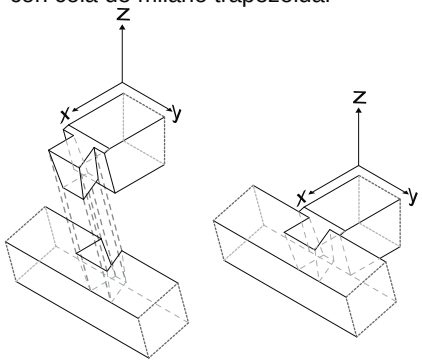
6.5.1 PROGRAMACIÓN PROTOTIPO 4



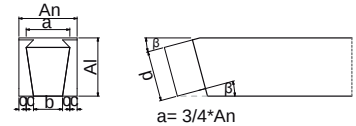

distancia entre marcos/2
Ancho cuarton
Cuña
alfa
β/2
A/2 cuarton
A/2+x2
4/5*A
2*z
I-2z
Brep

6.5.2 UNIONES

Unión a media madera en T
con cola de milano trapezoidal



Macho

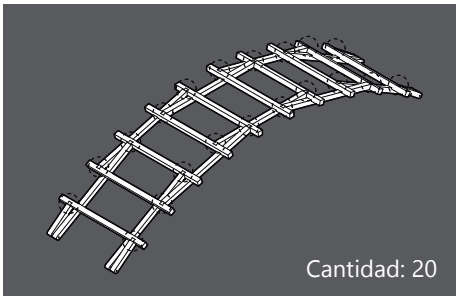


a= 3/4*An
b= 1/2*An
c= 1/8*An

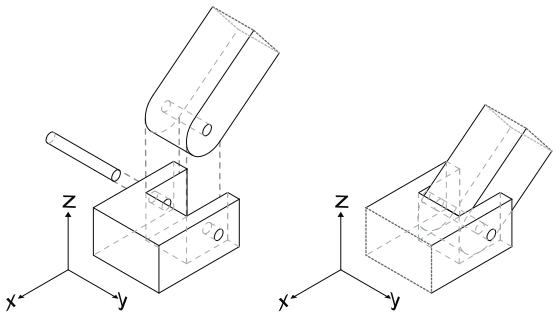
Hembra



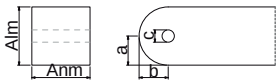
d= An-((A/2)/Cos(β))
e= 1/2*An
g= 1/4*An



Unión de quijera con clavija

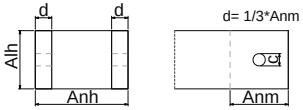


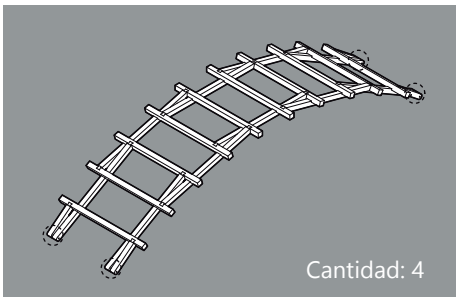
Macho



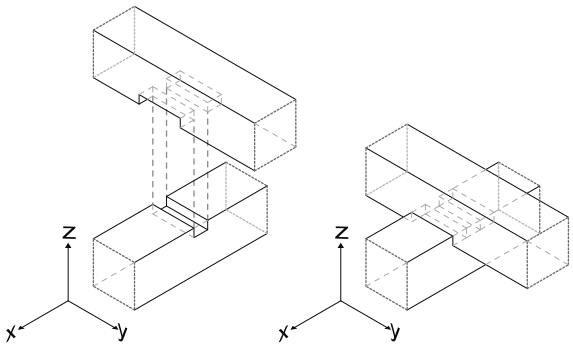
a= 1/2*Anm
b= 1/2*Alm

Hembra

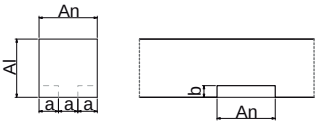




Unión con encaje en cruz

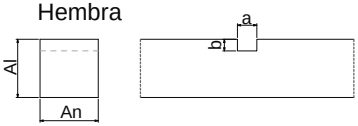


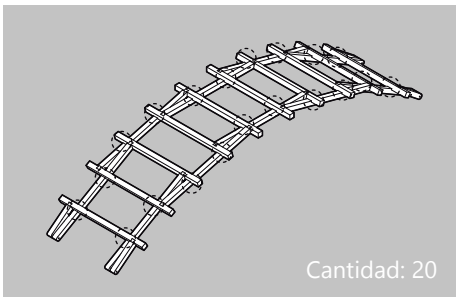
Macho



a= 1/3*An
b= 1/3*An

Hembra

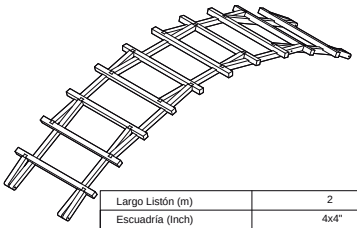




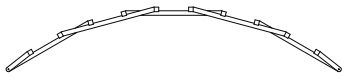
6.5.3 VARIACIONES

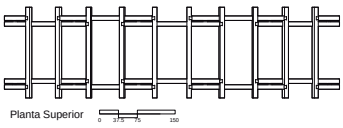
Variación de largo listón

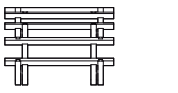
1



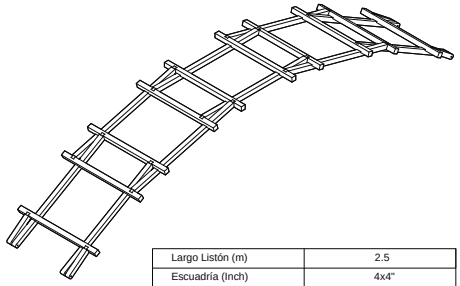
Largo Listón (m)	2
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	4x4"
Ángulo	30°
Luz (m)	6.6
Radio curvatura (m)	1.27



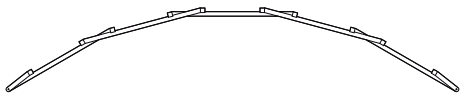


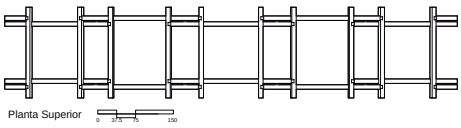


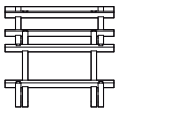
2



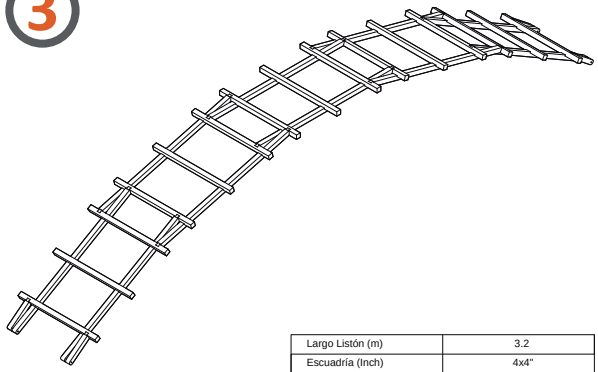
Largo Listón (m)	2.5
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	4x4"
Ángulo	30°
Luz (m)	8.9
Radio curvatura (m)	1.65



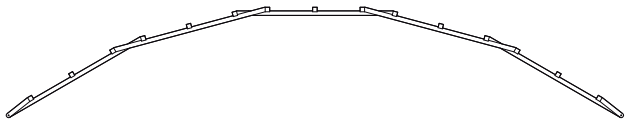


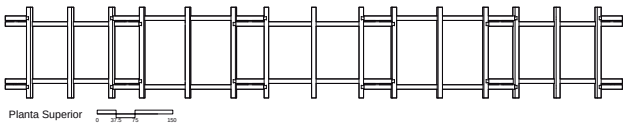


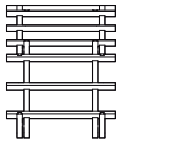
3



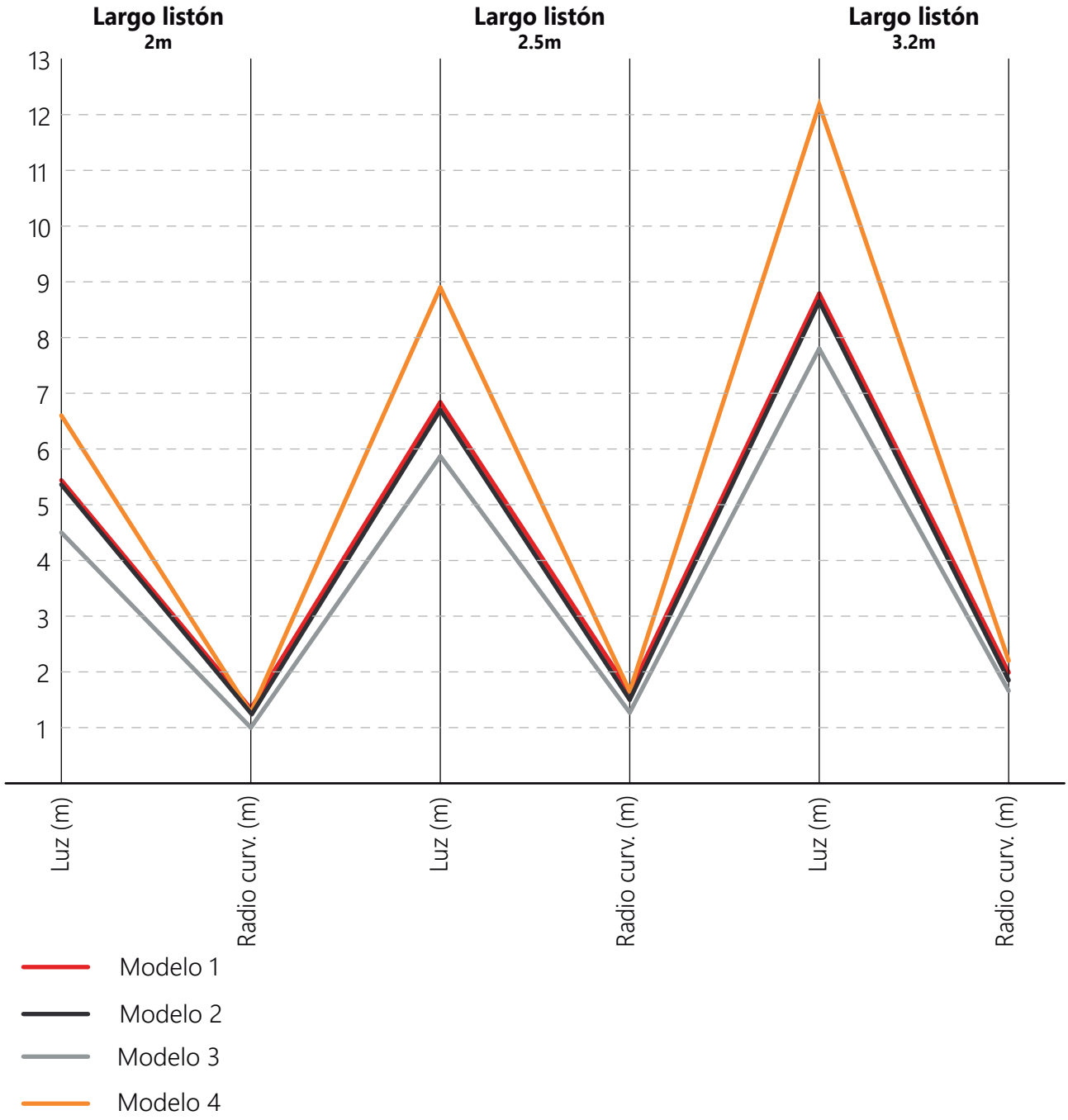
Largo Listón (m)	3.2
Escuadría (Inch)	4x4"
Escuadría (Inch)	4x4"
Ángulo	30°
Luz (m)	12
Radio curvatura (m)	2.2





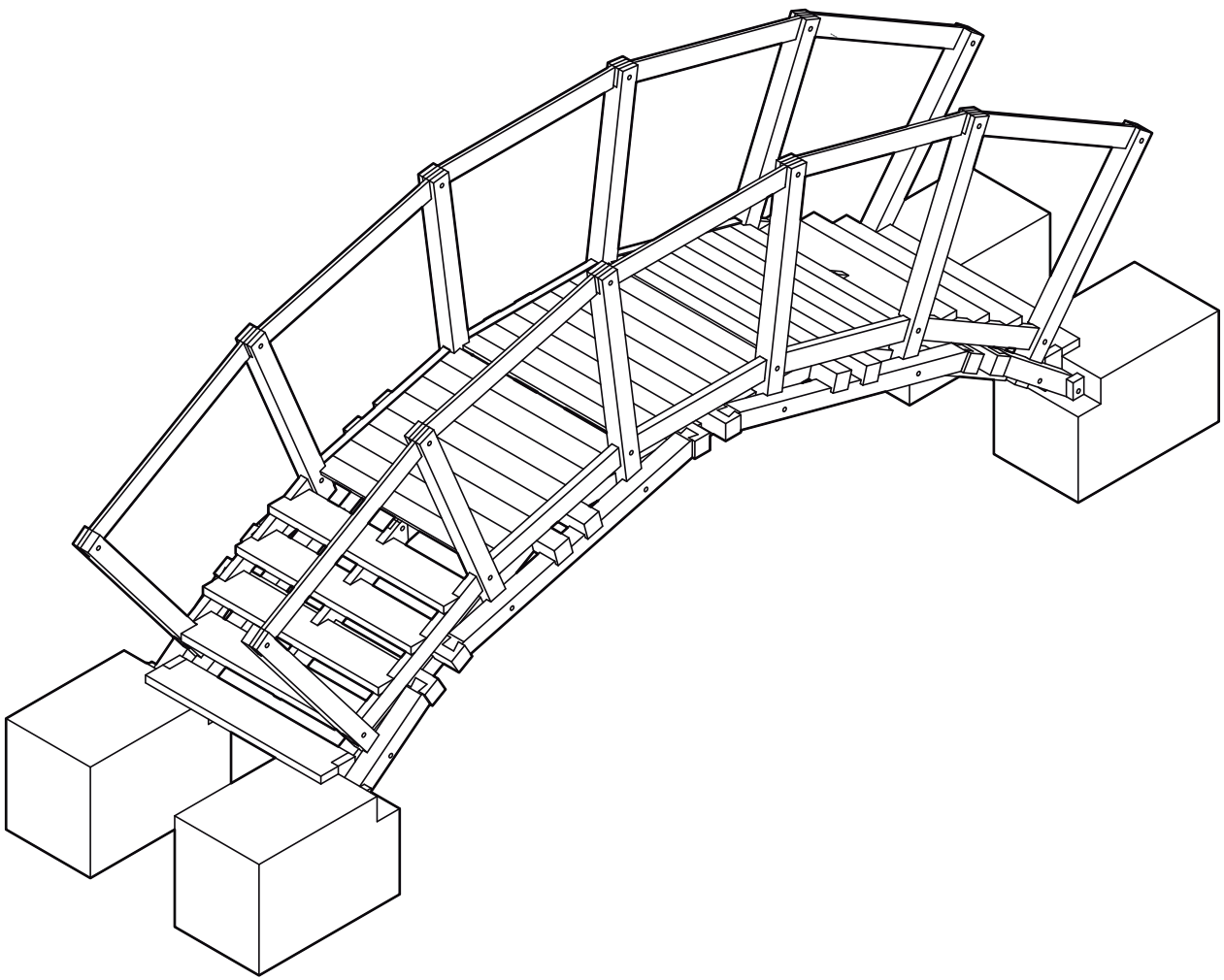


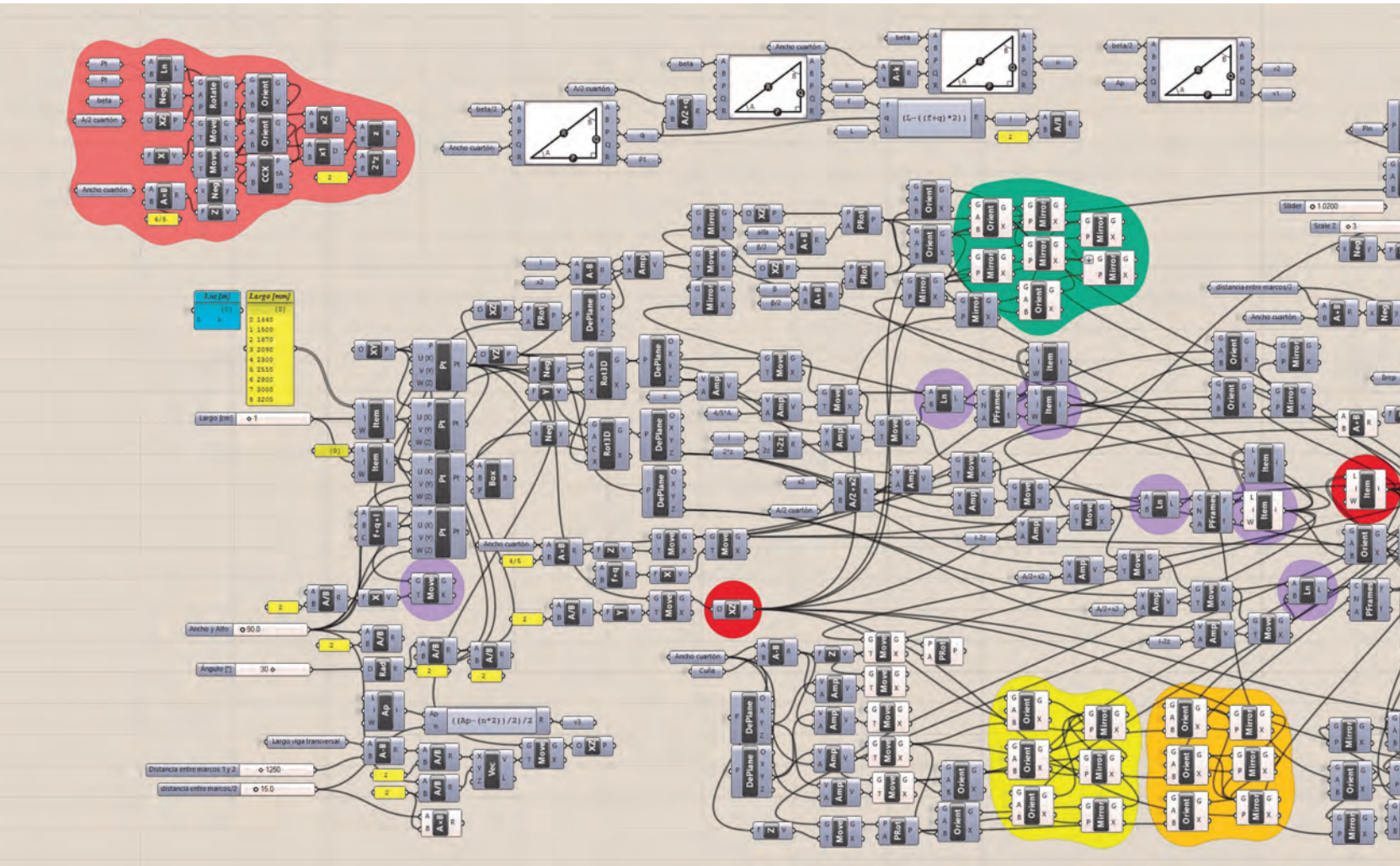
6.6 GRÁFICO COMPARATIVO



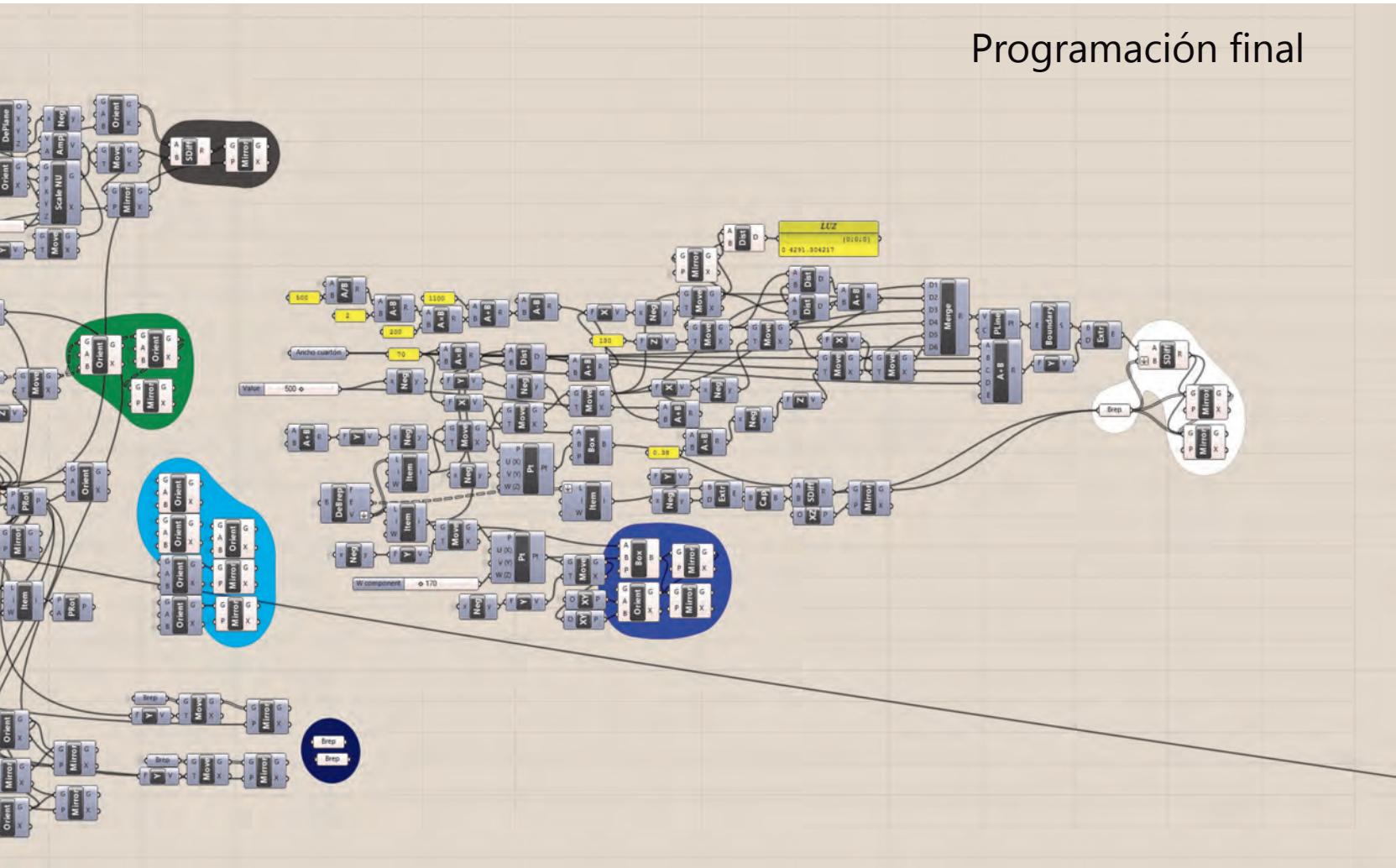
6.7 PROTOTIPO FINAL

En el gráfico anterior el prototipo 4 presenta mayores luces teniendo radios curvatura similar a los demás, por esto y por tener una menor cantidad de uniones desiguales, se convertirá en el prototipo a seguir investigando. En los marcos y vigas transversales se utilizará madera laminada por su calidad dimensional y en piezas más pequeñas pino radiata de 1x4". El ancho varía de 1 a 1.5 metros, y la luz de 4 a 12 metros, dando una cantidad de 9 prototipos.



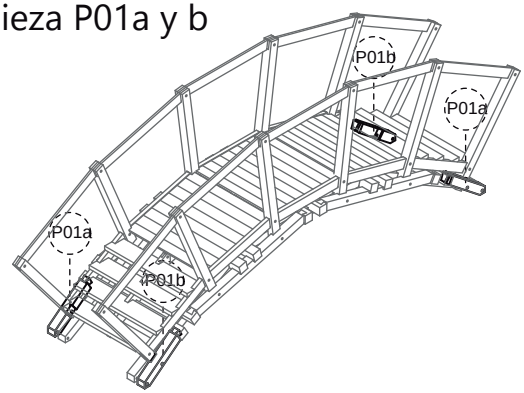


Programación final

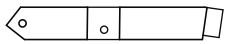


Composición marco

Pieza P01a y b



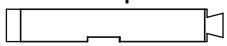
Vista Lateral



Vista Frontal

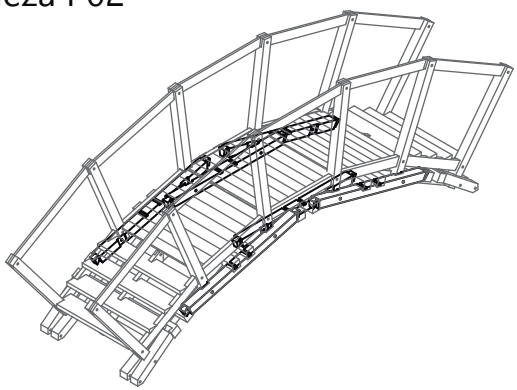


Vista superior

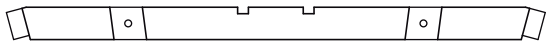


Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
P01a	90x90	P01a mA P01a mB	2
P01b	90x90	P01b mA P01b mB	2

Pieza P02



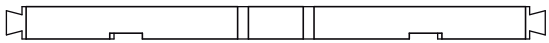
Vista Lateral



Vista Frontal

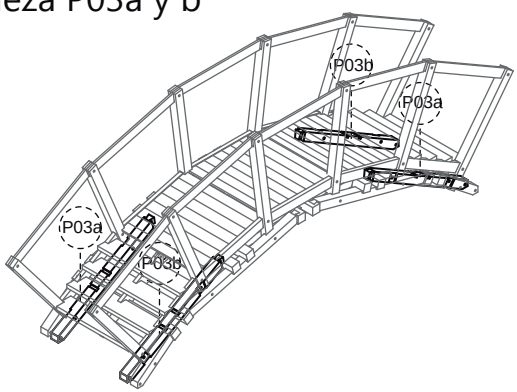


Vista superior



Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
P02	90x90	P02 mA P02 mB	6

Pieza P03a y b



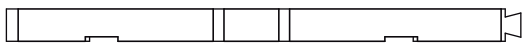
Vista Lateral



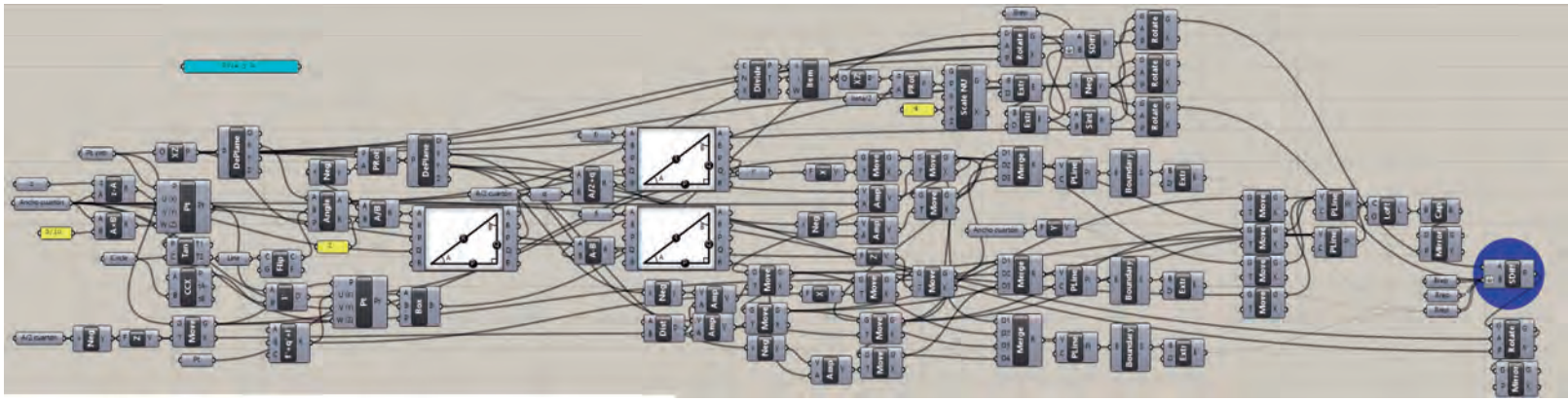
Vista Frontal

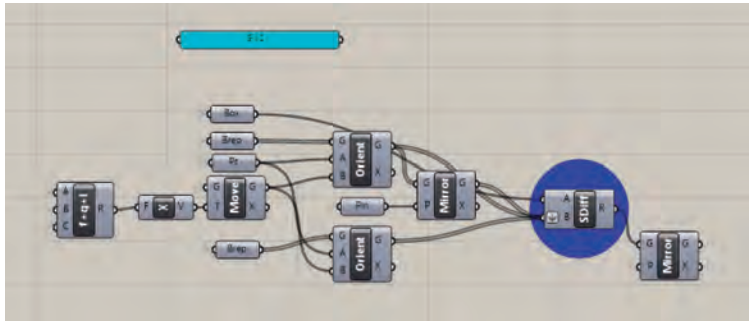


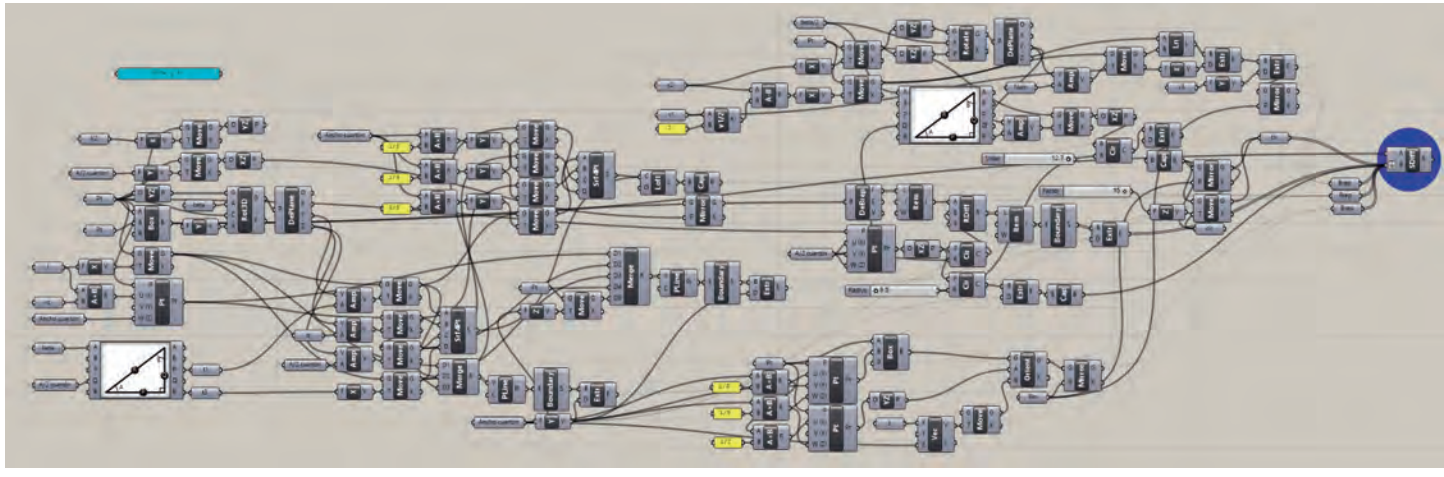
Vista superior



Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
P03a	90x90	P03a mA P03a mB	2
P03b	90x90	P03b mA P03b mB	2

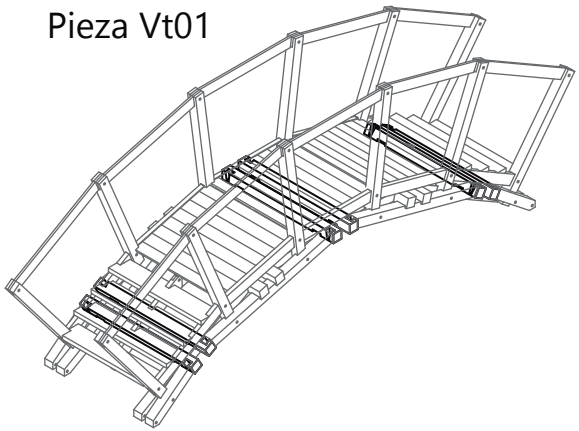




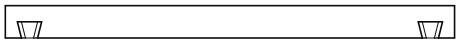


Vigas transversales

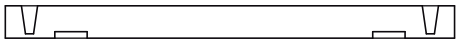
Pieza Vt01



Vista Superior

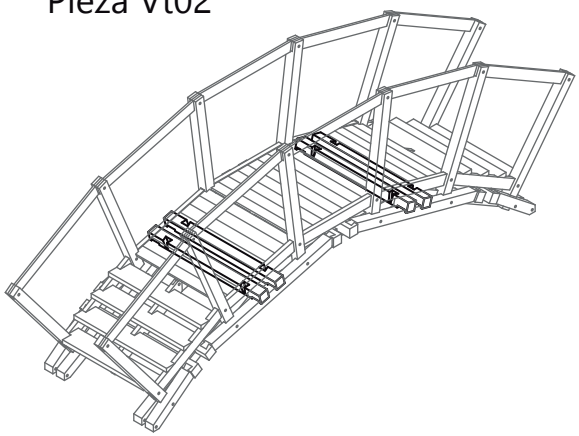


Vista Lateral

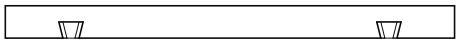


Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
Vt01	90x90	Vt01 mA Vt01 mB	6

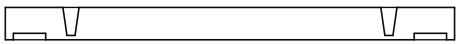
Pieza Vt02



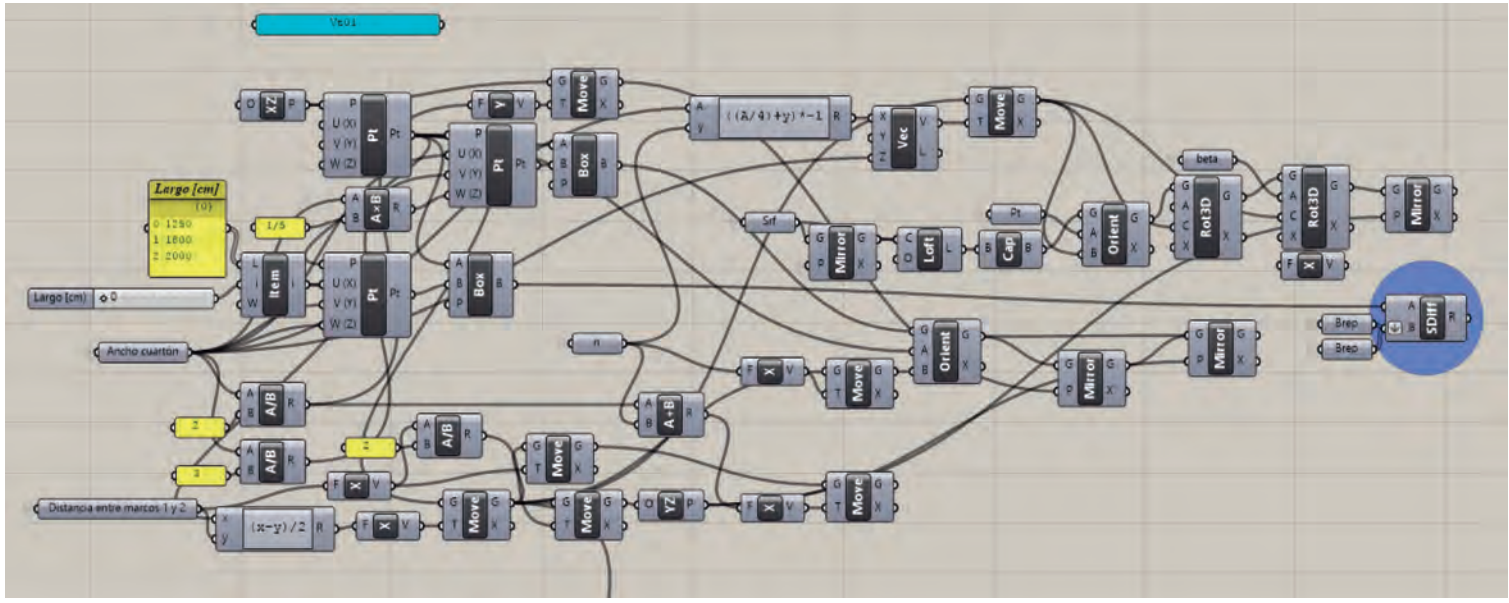
Vista Superior

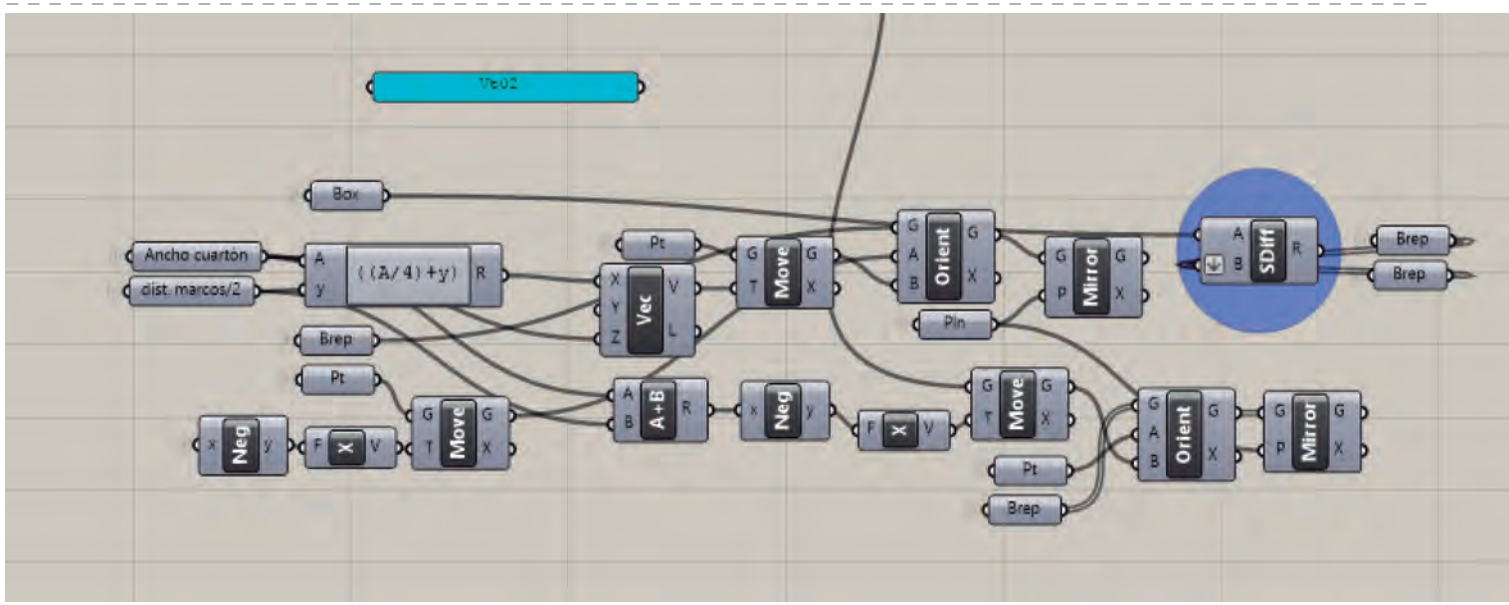


Vista Lateral



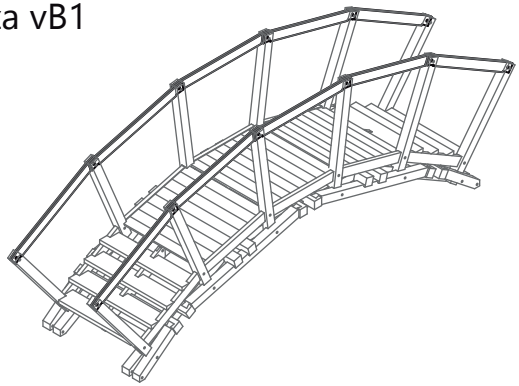
Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
Vt02	90x90	Vt02 mA Vt02 mB	4


Vt01
Largo [cm]
Largo [cm]
Ancho cuartón
Distancia entre marcos 1 y 2
(x-y)/2
((A/4)+y)*-1
beta
Brep
Brep


Vt02
Box
Ancho cuartón
dist. marcos/2
((A/4)+y)
Brep
Pt
Neg
Pin
Brep
Brep
Pt
Brep

Composición baranda

Pieza vB1



Vista Lateral

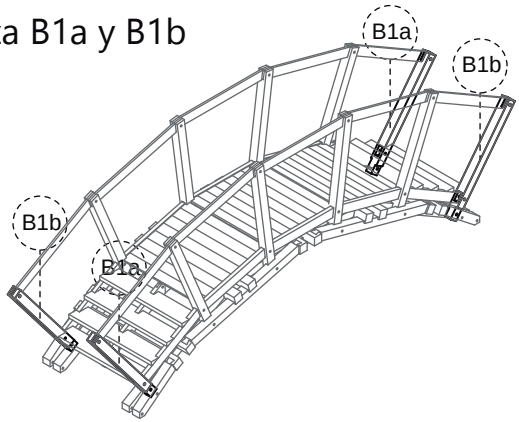


Vista Frontal

Vista superior

Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
vB1	1x4"	vB1	6

Pieza B1a y B1b



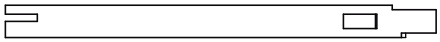
Vista Superior



Vista Frontal

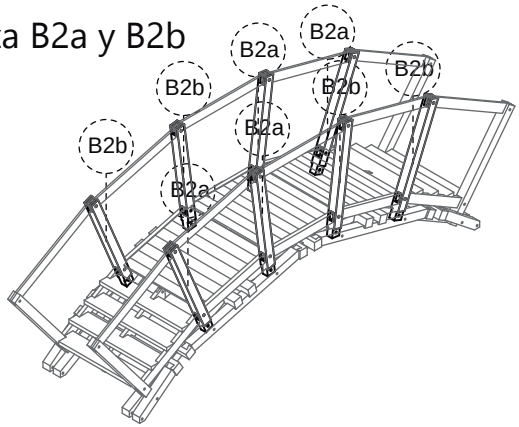


Vista Lateral



Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
B1a	90x90	B1a	2
B1b	90x90	B1b	2

Pieza B2a y B2b



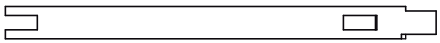
Vista Superior



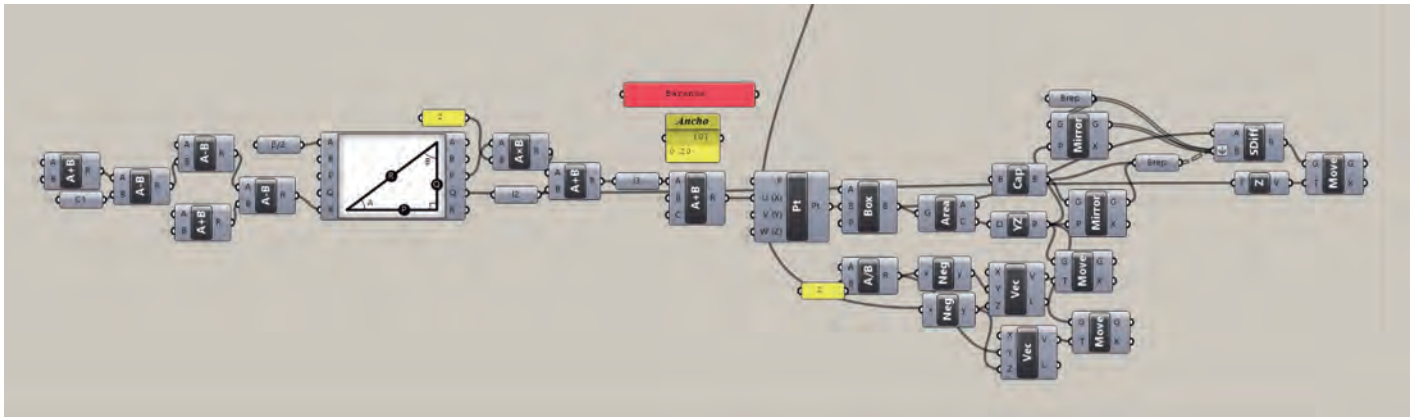
Vista Frontal

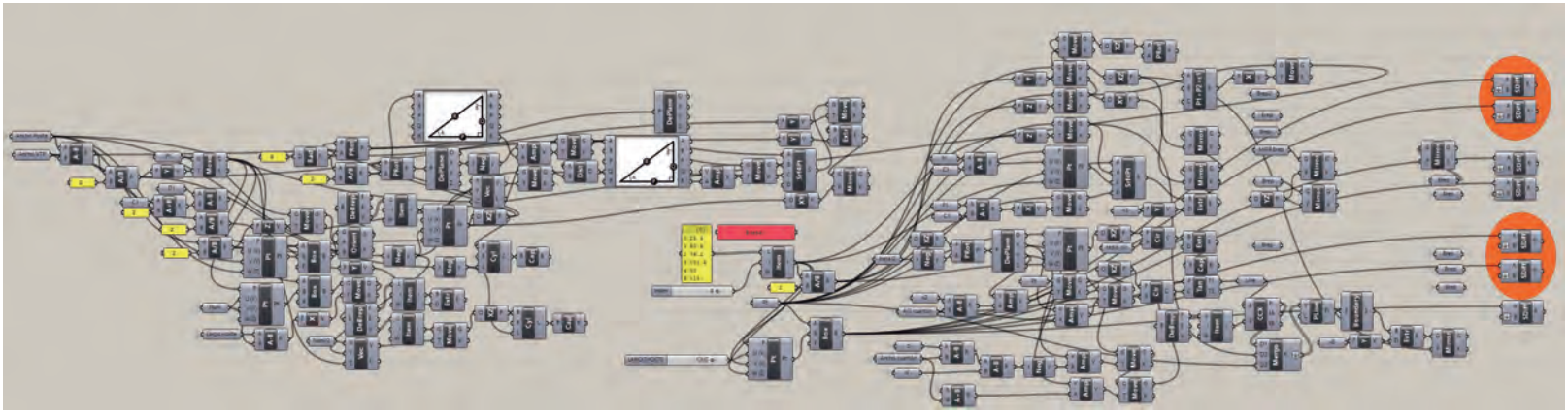


Vista Lateral



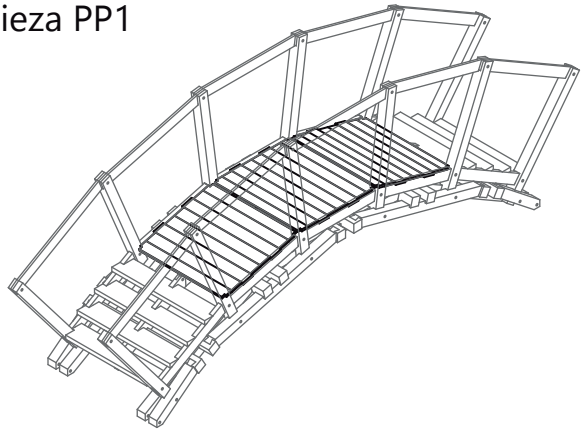
Pieza	Escudría (mm)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
B2a	90x90	B2a	4
B2b	90x90	B2b	4


Ancho
Box
Mirror
SDiff
Move
Vec
Neg

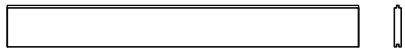


Composición piso

Pieza PP1



Vista Superior

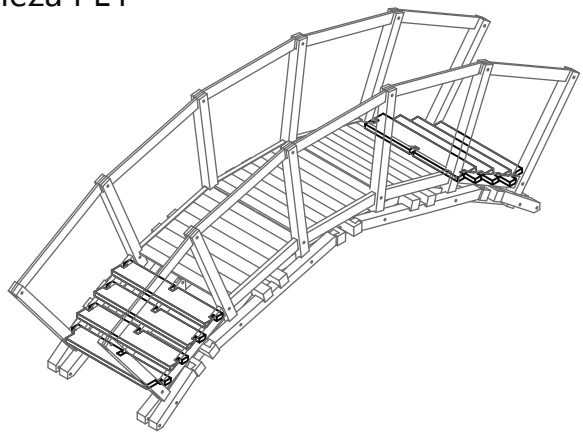


Vista Frontal

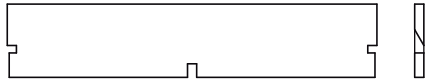


Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
PP1	1x4"	-	24

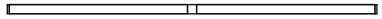
Pieza PE1



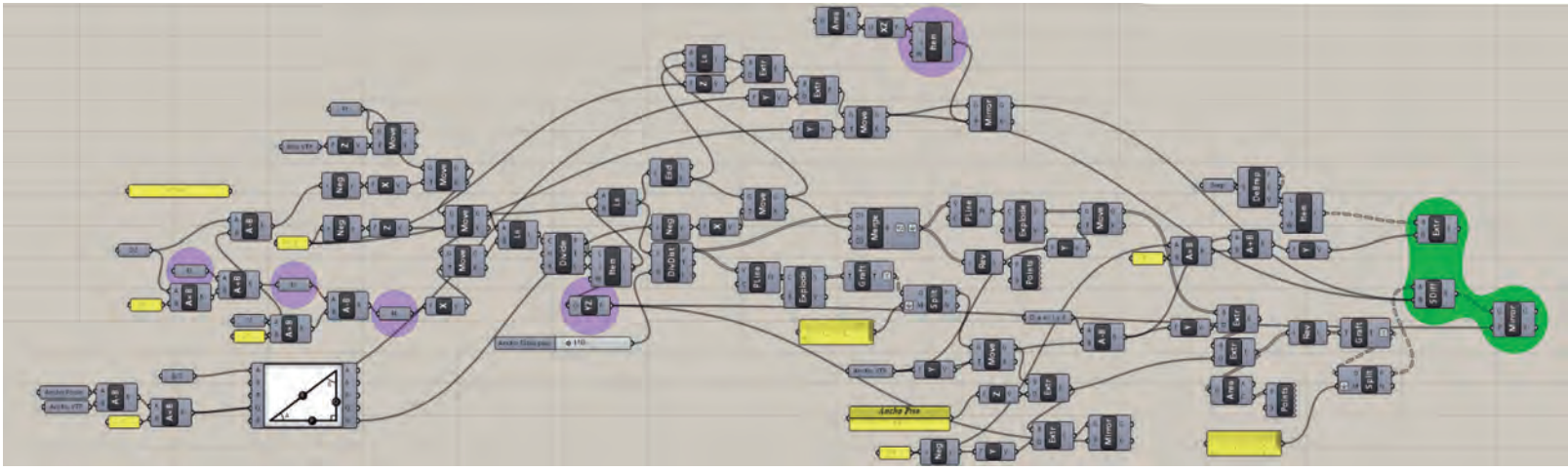
Vista Superior

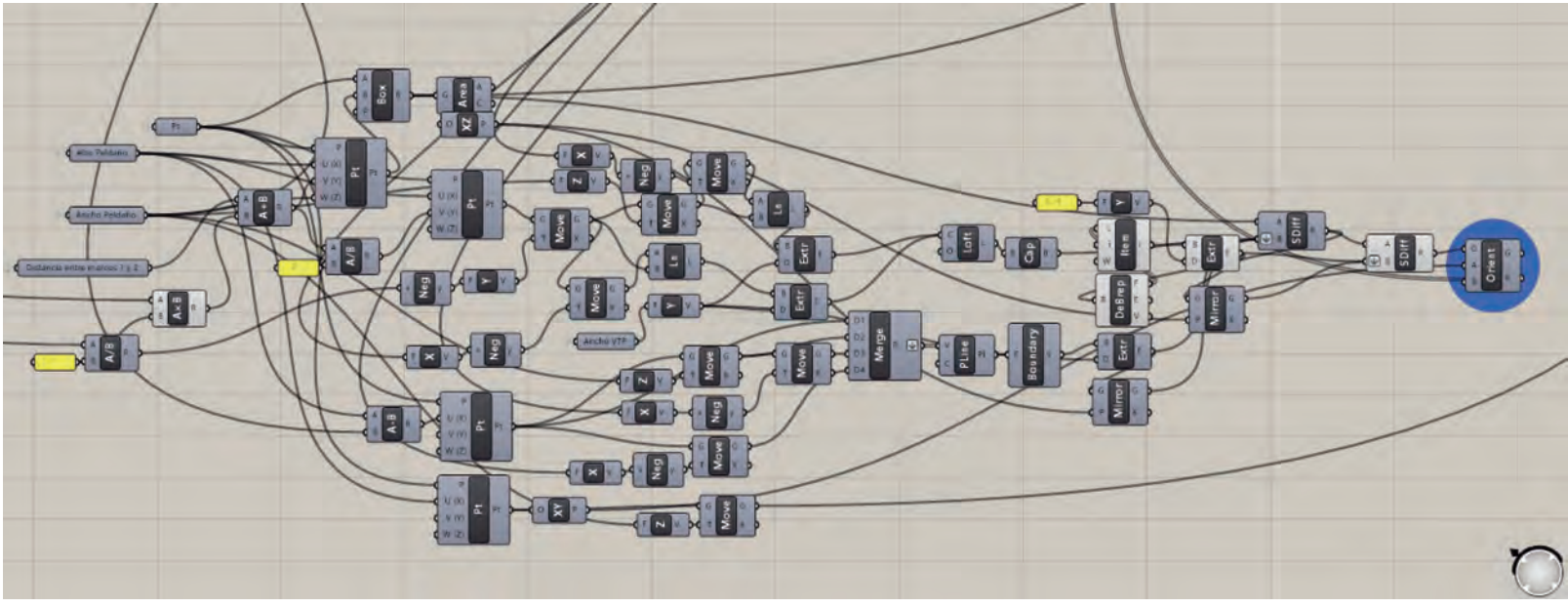


Vista Frontal



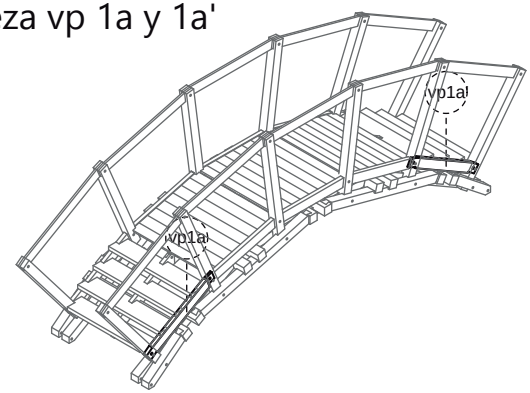
Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
PE1	2x8"	PE1	8





Composición vigas piso

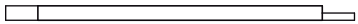
Pieza vp 1a y 1a'



Vista Lateral

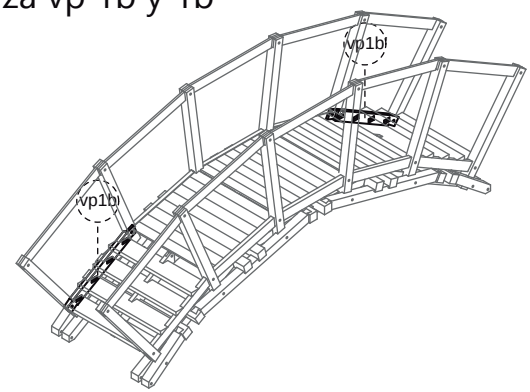


Vista superior



Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
vp1a	2x4"	vp1a	1
vp1a'	2x4"	vp1a'	1

Pieza vp 1b y 1b'



Vista Lateral

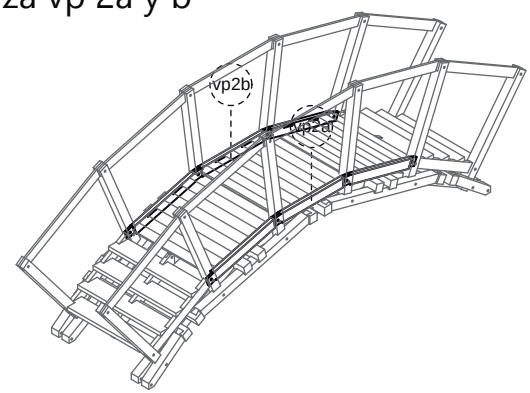


Vista superior

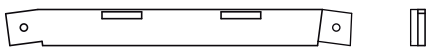


Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
vp1b	2x4"	vp1b	1
vp1b'	2x4"	vp1b'	1

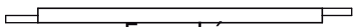
Pieza vp 2a y b



Vista Lateral

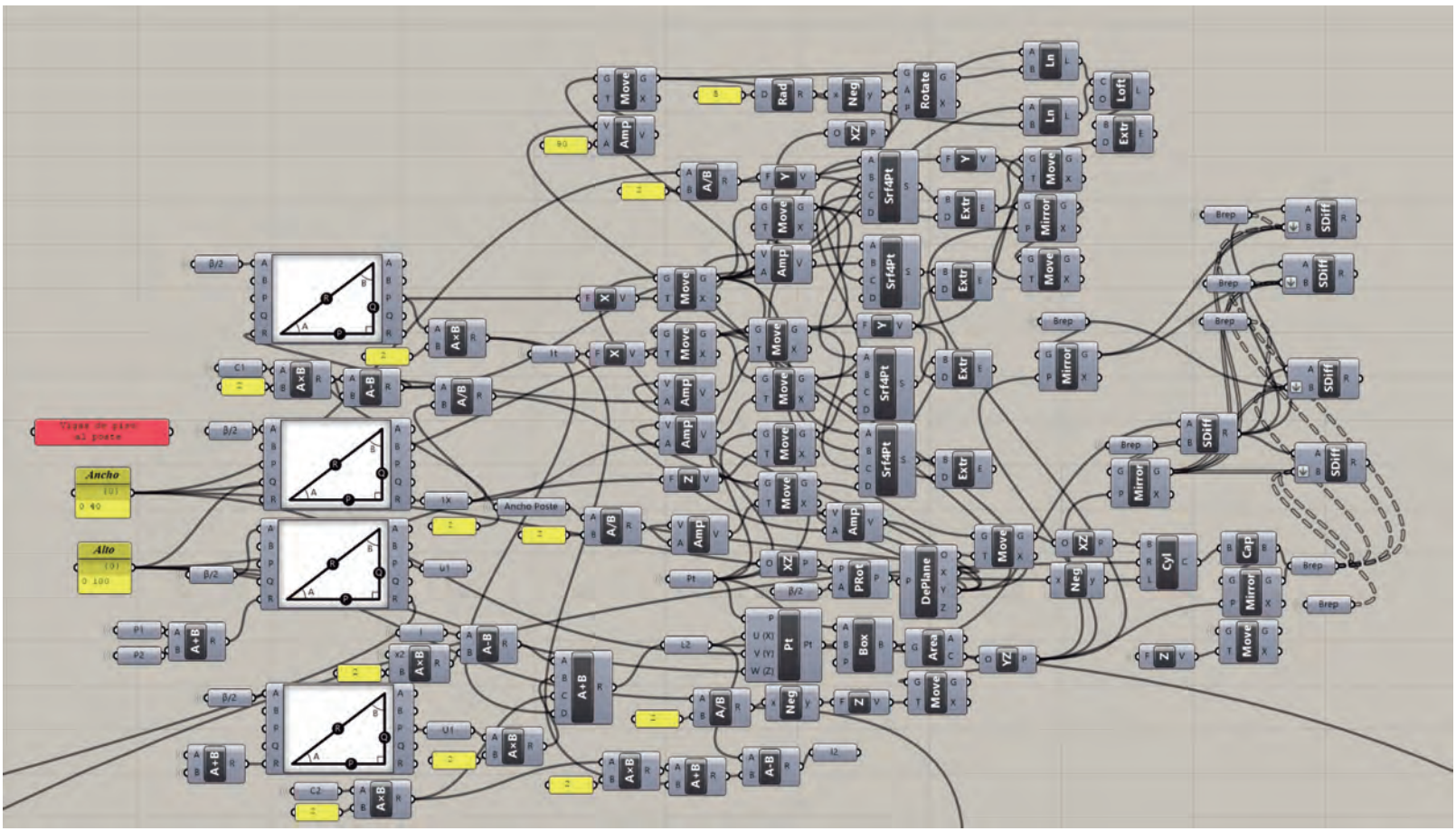


Vista superior



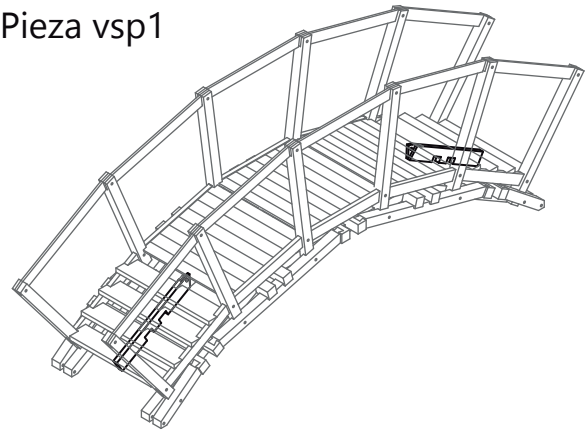
Escudría

Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
vp2a	2x4"	vp2a	3
vp2b	2x4"	vp2b	3


Ancho
Alto
Ancho Poste

Composición vigas secundarias piso

Pieza vsp1



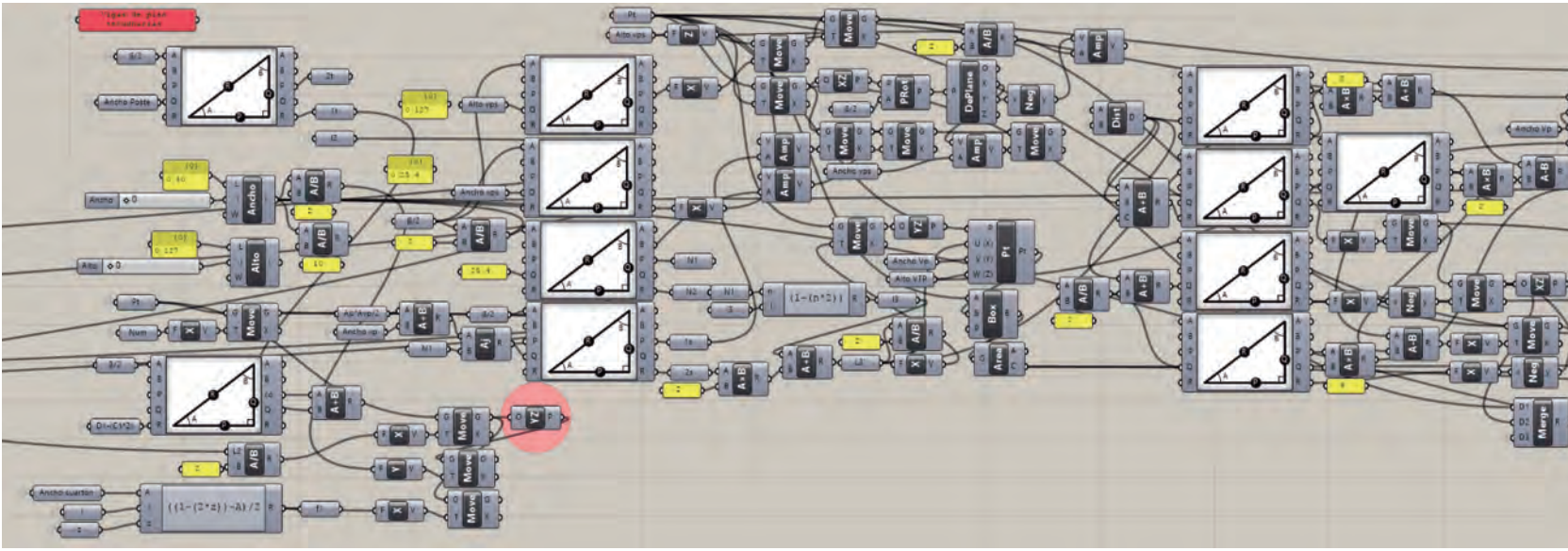
Vista Lateral



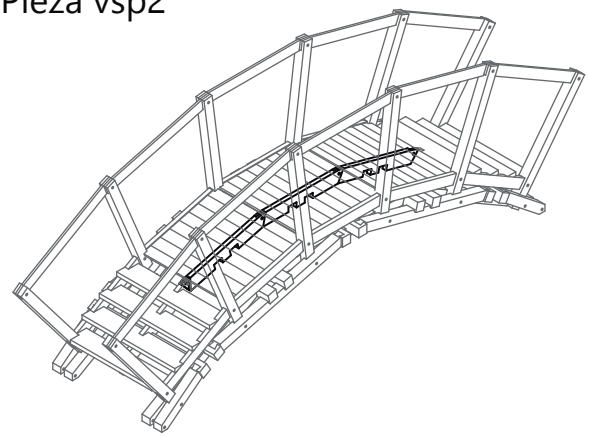
Vista superior



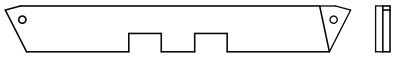
Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
Vsp1	2x4"	Vsp1	2



Pieza vsp2



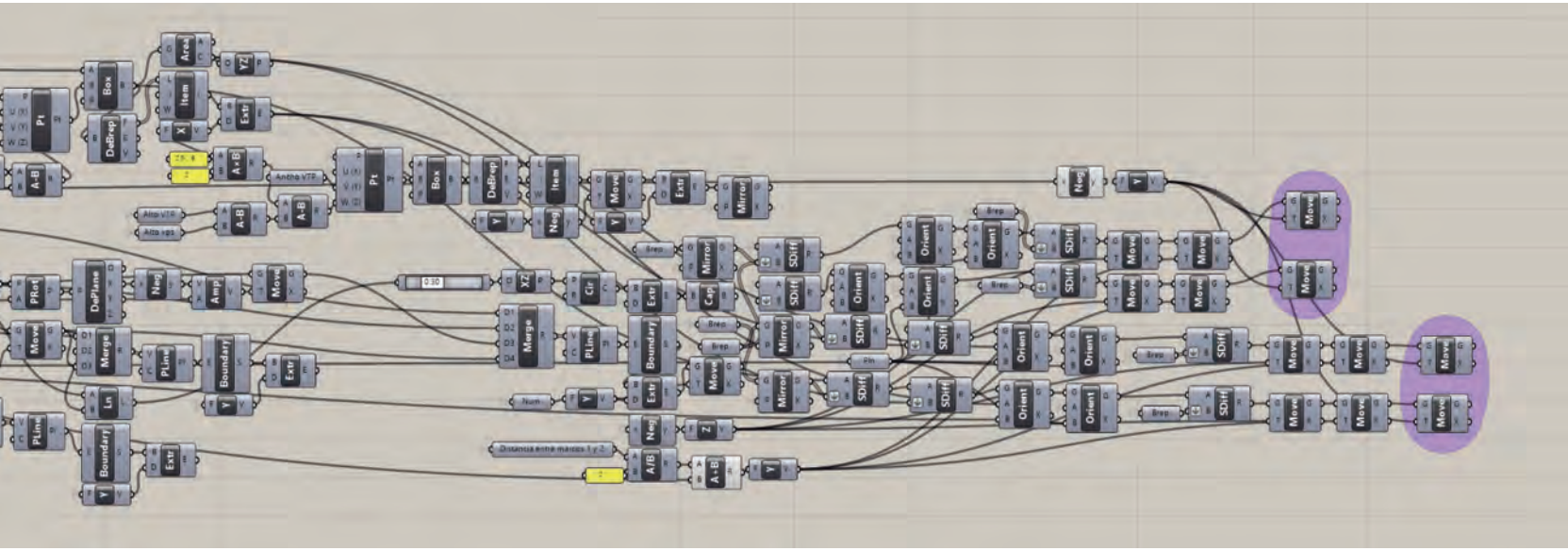
Vista Lateral



Vista superior

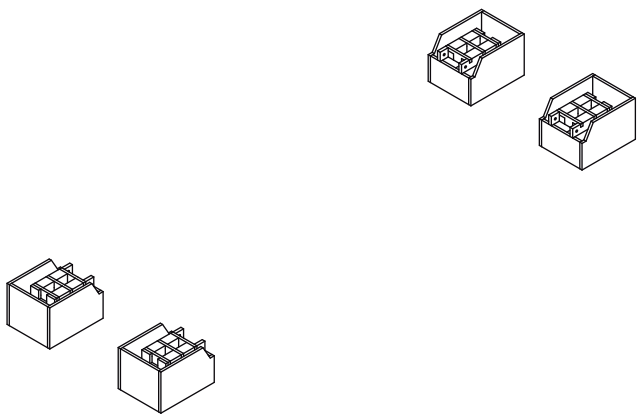


Pieza	Escudría (inch)	Archivo (.gh)	Cantidad (uni)
Vsp2	2x4"	Vsp2	3

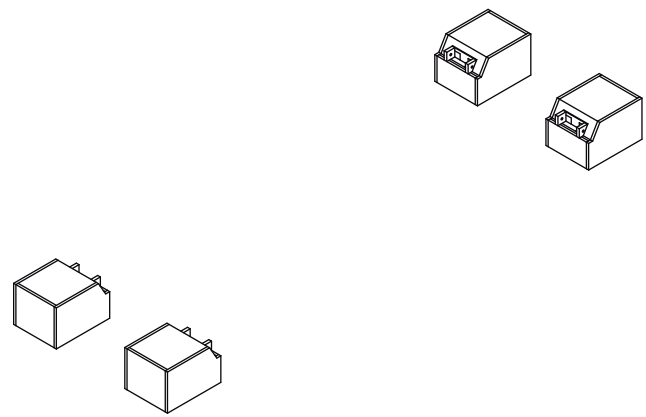


6.7.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

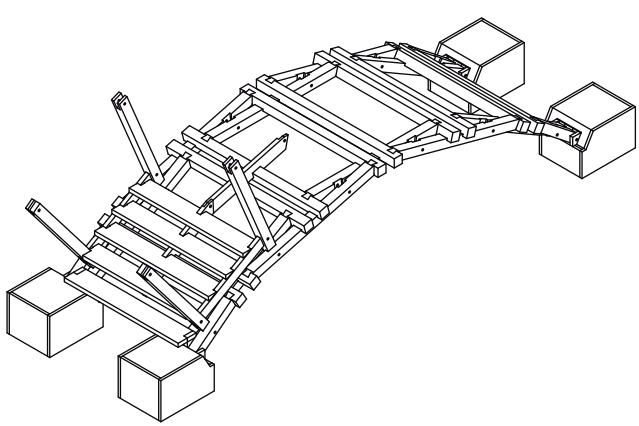
1



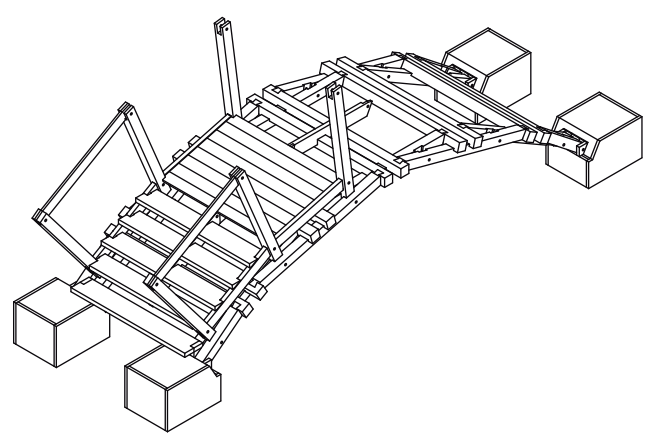
2



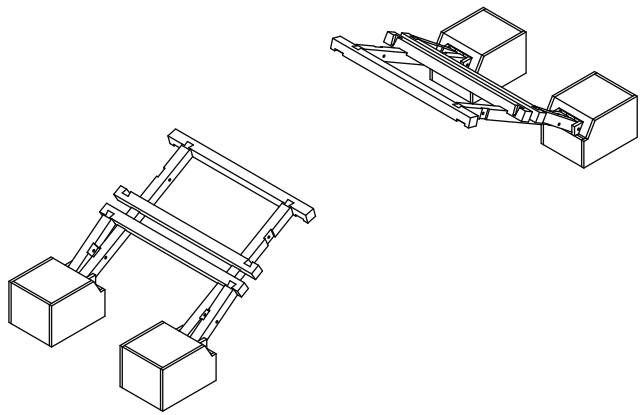
3



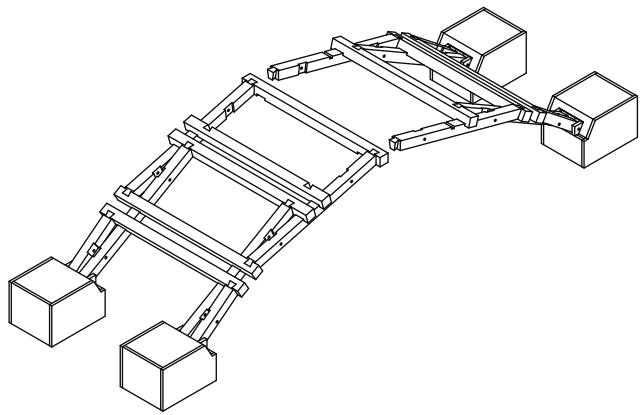
4



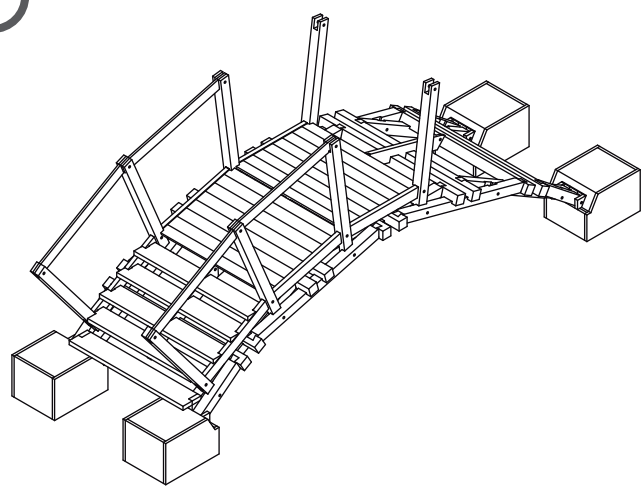
5



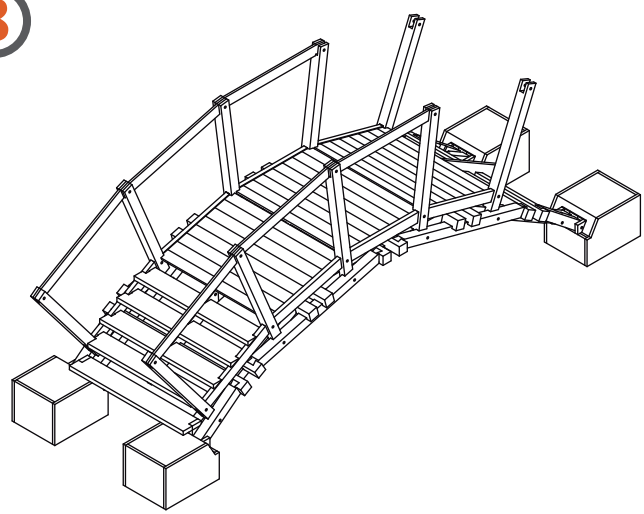
6



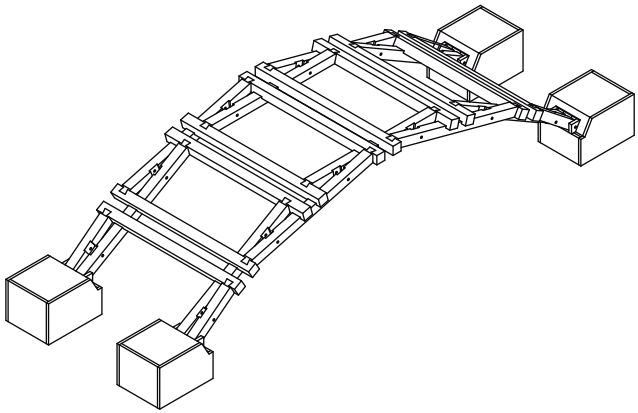
7



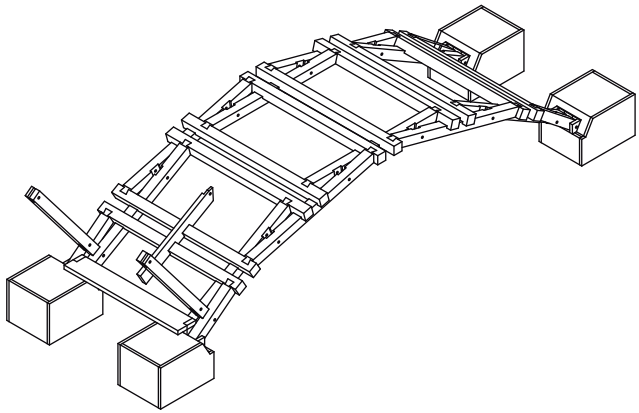
8



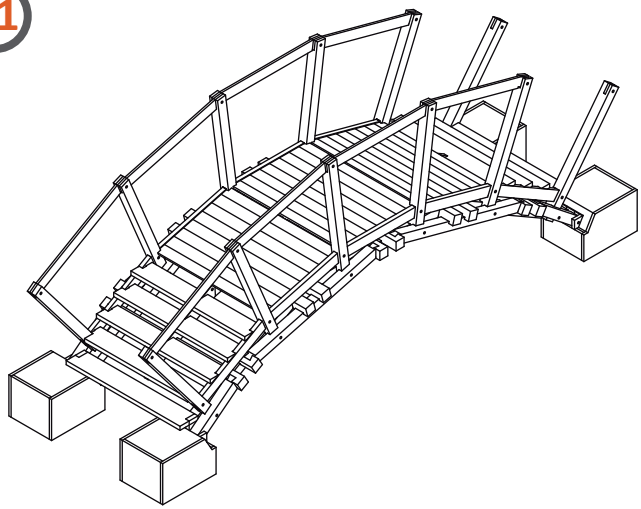
9



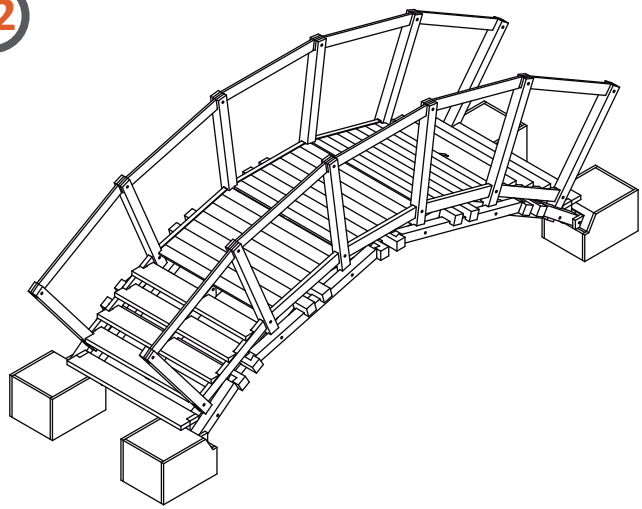
10



11

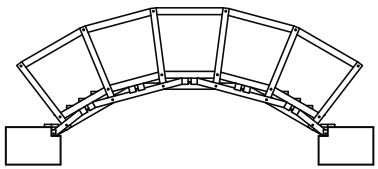


12



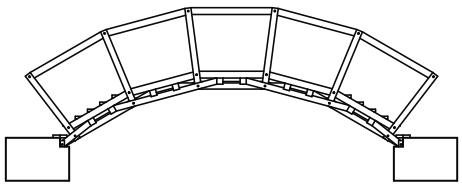
6.7.2 VARIACIÓN PROTOTIPO

1 Luz: 4 m
Rcrv: 1 m



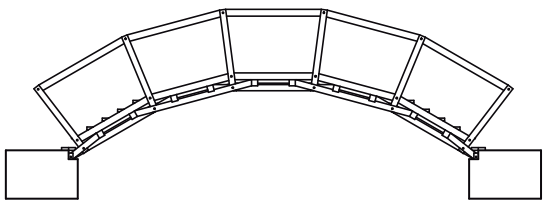
Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	1.51	10	66.4
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	0.9	5	10.26
V. piso	2x4 (inch)	0.87	10	19.8
Baranda	1x4 (inch)	1.1	10	12.65
Piso	1x4 (inch)	1	24	17.04
Peldaños	1x8 (inch)	1	10	30
		Total	95	285

2 Luz: 5 m
Rcrv: 1.15 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	1.72	10	75.68
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	1.1	5	12.54
V. piso	2x4 (inch)	1.06	10	24.17
Baranda	1x4 (inch)	1.3	10	14.95
Piso	1x4 (inch)	1	30	21.3
Peldaños	1x8 (inch)	1	12	36
		Total	103	313.56

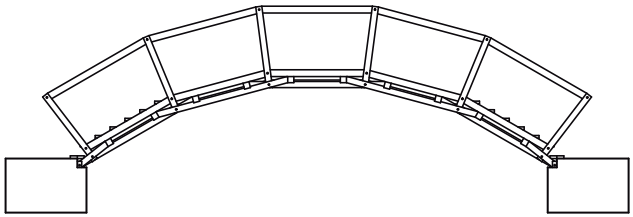
3 Luz: 6 m
Rcrv: 1.3 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	1.93	10	84.92
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	1.3	5	14.82
V. piso	2x4 (inch)	1.26	10	28.74
Baranda	1x4 (inch)	1.5	10	17.25
Piso	1x4 (inch)	1	36	25.56
Peldaños	1x8 (inch)	1	14	42
		Total	111	342.21

4

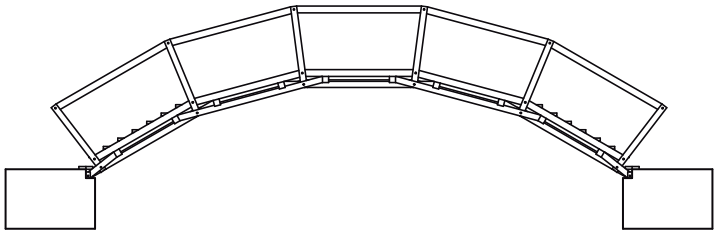
Luz: 7 m
Rcrv: 1.45 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	2.14	10	94.16
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	1.49	5	17
V. piso	2x4 (inch)	1.45	10	33
Baranda	1x4 (inch)	1.7	10	19.55
Piso	1x4 (inch)	1	42	29.8
Peldaños	1x8 (inch)	1	14	42
		Total	117	364.4

5

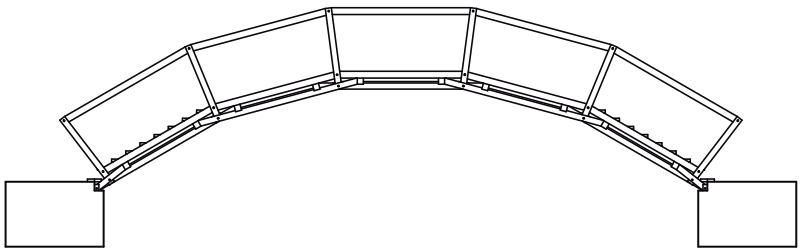
Luz: 8 m
Rcrv: 1.60 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	2.35	10	103.4
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	1.70	5	19.3
V. piso	2x4 (inch)	1.65	10	37.6
Baranda	1x4 (inch)	1.9	10	21.85
Piso	1x4 (inch)	1	48	34.08
Peldaños	1x8 (inch)	1	16	48
		Total	125	393.15

6

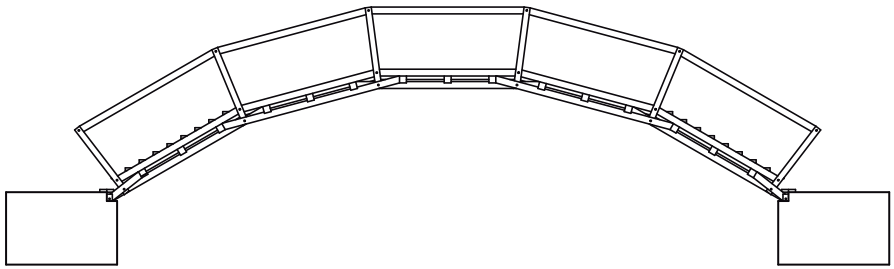
Luz: 9 m
Rcrv: 1.75 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	90x90 (mm)	2.5	10	110
P.Marco 2	90x90 (mm)	0.6	4	10.56
Vigas t.	90x90 (mm)	1.25	10	55
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	1.94	5	22.1
V. piso	2x4 (inch)	1.9	10	43.33
Baranda	1x4 (inch)	2.15	10	24.7
Piso	1x4 (inch)	1	54	38.34
Peldaños	1x8 (inch)	1	18	54
		Total	133	421.39

7

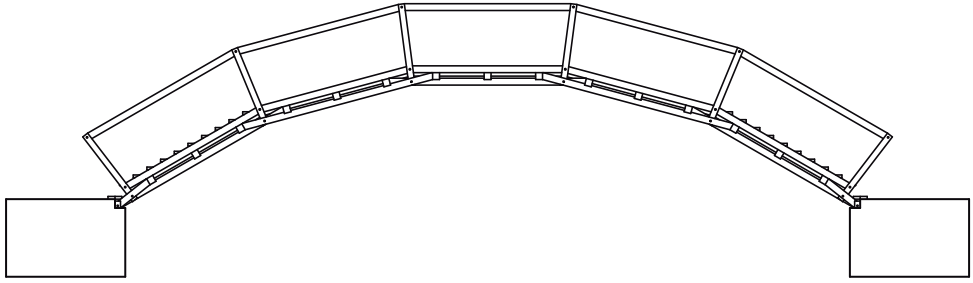
Luz: 10 m
Rcrv: 1.75 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	4x4 (inch)	2.77	10	196.4
P.Marco 2	4x4 (inch)	0.6	4	17
Vigas t.	90x90 (mm)	1.5	15	99
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	2.18	5	24.86
V. piso	2x4 (inch)	2.13	10	48.58
Baranda	1x4 (inch)	2.37	10	27.25
Piso	1x4 (inch)	1.25	60	53.25
Peldaños	1x8 (inch)	1.25	20	75
		Total	146	604.7

8

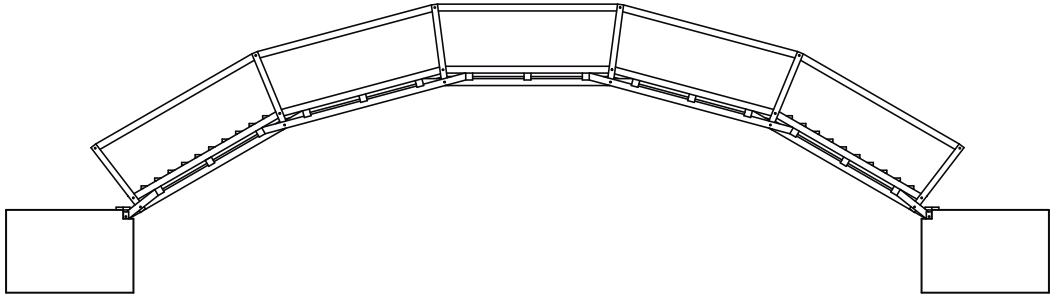
Luz:11 m
Rcrv: 1.75 m



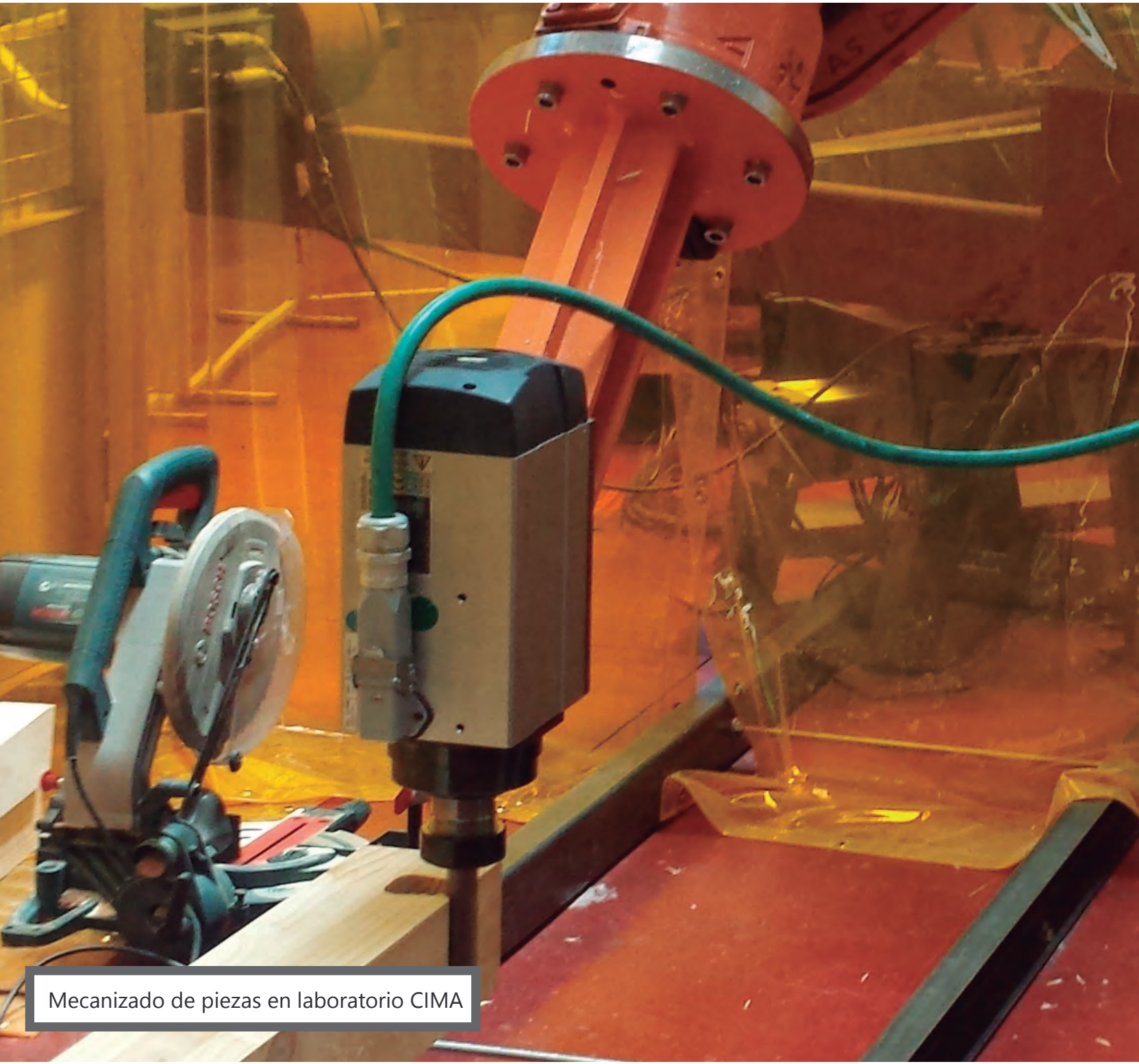
Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	4x4 (inch)	2.98	10	211.2
P.Marco 2	4x4 (inch)	0.6	4	17
Vigas t.	90x90 (mm)	1.5	15	99
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	2.37	5	27
V. piso	2x4 (inch)	2.33	10	53.14
Baranda	1x4 (inch)	2.57	10	29.5
Piso	1x4 (inch)	1.25	66	58.57
Peldaños	1x8 (inch)	1.25	22	82.5
		Total	154	641.27

9

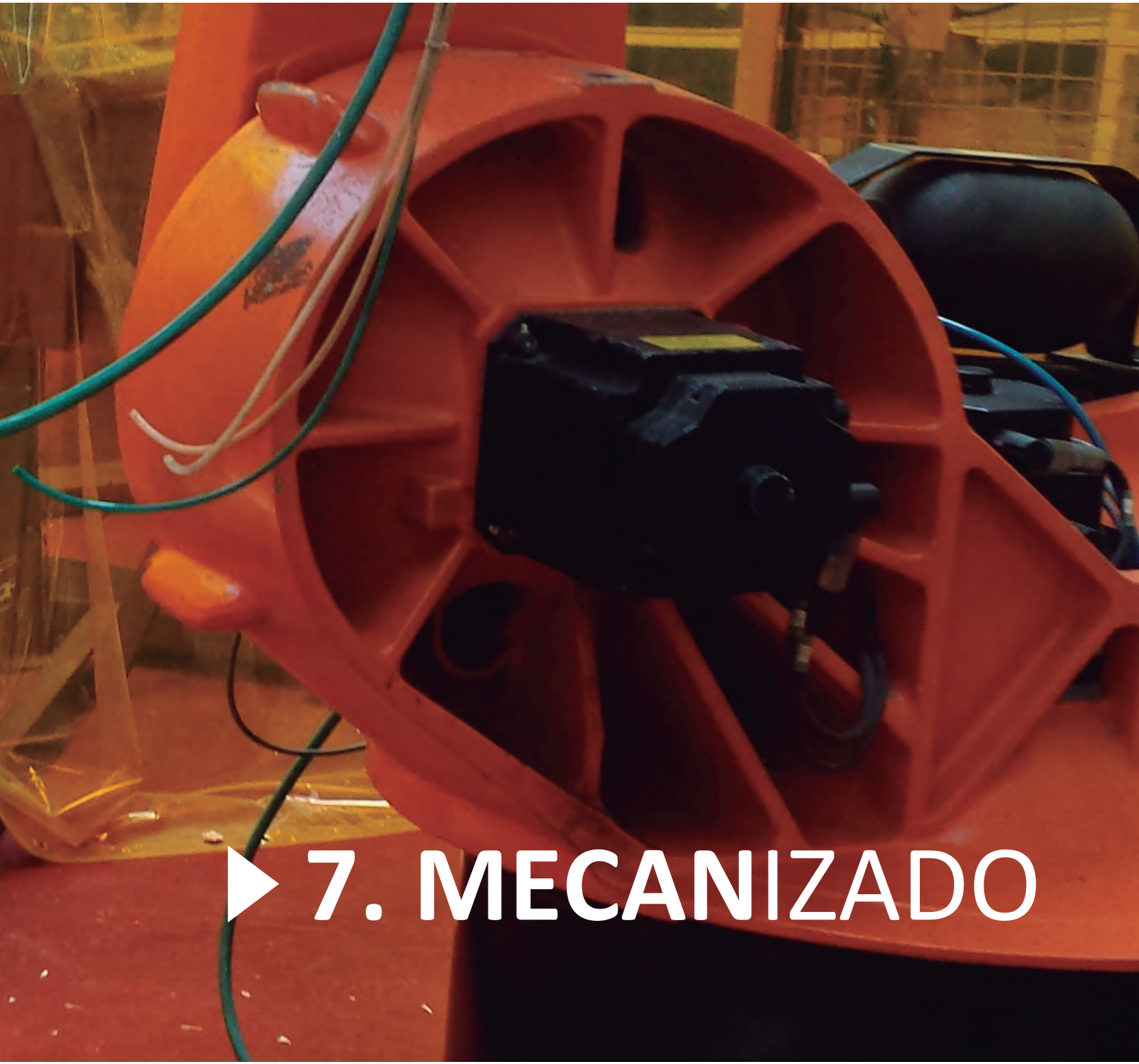
Luz: 12 m
Rcrv: 1.75 m



Modelo	Escuadría	Largo (m)	Cantidad (uni)	Masa (kg)
P.Marco 1	4x4 (inch)	3	10	212.7
P.Marco 2	4x4 (inch)	0.6	4	17
Vigas t.	90x90 (mm)	1.5	15	99
Postes B.	90x90 (mm)	1.2	12	63.36
V. S. piso	2x4 (inch)	2.55	5	29
V. piso	2x4 (inch)	2.5	10	57
Baranda	1x4 (inch)	2.8	10	32.2
Piso	1x4 (inch)	1.25	72	63.9
Peldaños	1x8 (inch)	1.25	24	90
		Total	162	664.16



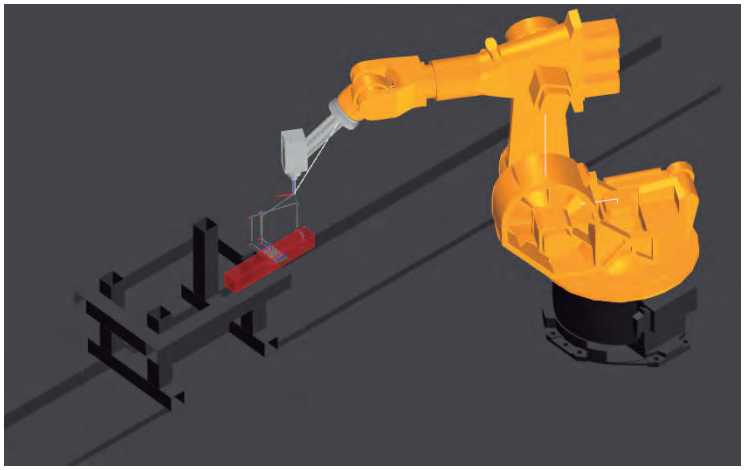
Mecanizado de piezas en laboratorio CIMA

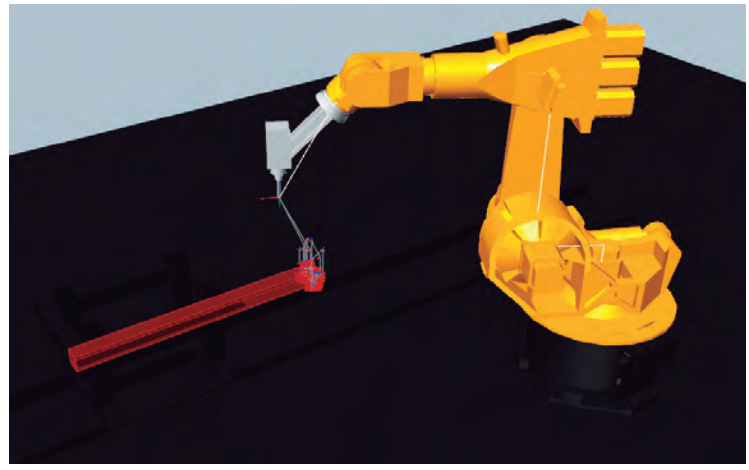


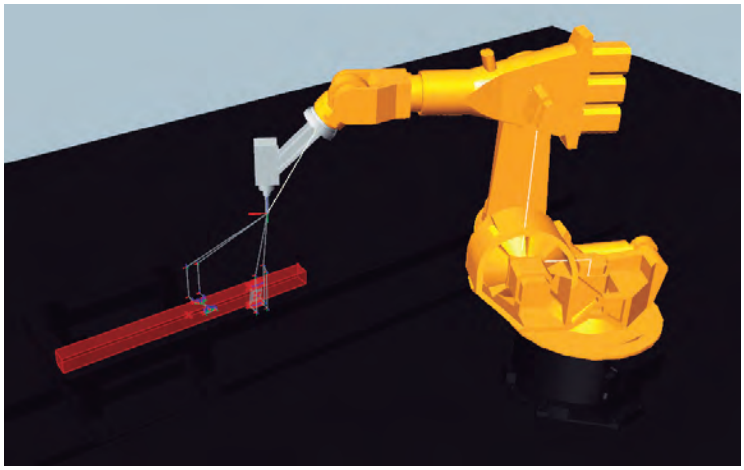
7. MECANIZADO

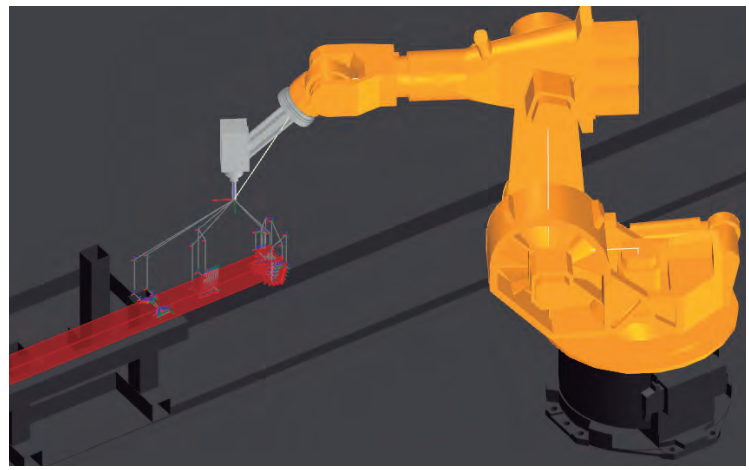
7.1 MECANIZADO PIEZAS MARCO, TRANSVERSALES Y POSTES

Simulación piezas **P01**, **P02** y **P03** con KUKA|PRC









Piezas **P01**, **P02** y **P03** después del mecanizado

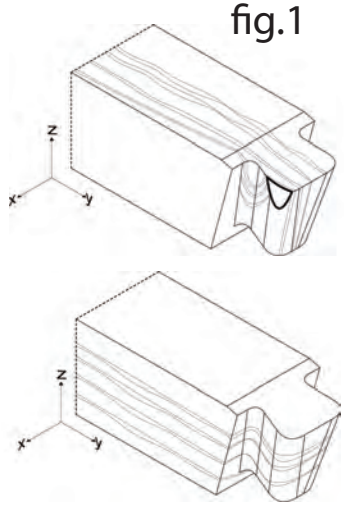




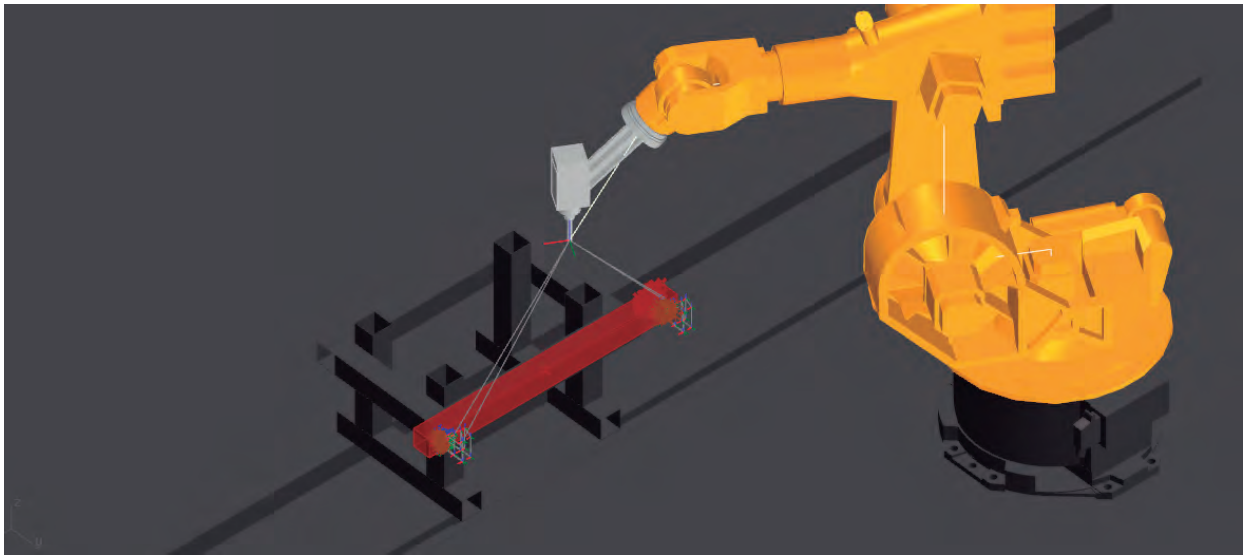
La programación se descompone por hembra caja y espiga con pasador, macho de cola de milano trapezoidal y hembra de unión con encaje en cruz, para las piezas **P01**, **P02** y **P03**.
Durante la instalación, la pieza P01 por sus pequeñas dimensiones se determinó ponerla en posición en donde la cara de la hembra de caja y espiga con pasador quedara en la parte superior, y sobre una pieza de "sacrificio", ayudando a una mejor fijación en el banquillo.
Para el mecanizado de la cola de milano se presentó el siguiente detalle como muestra la **fig.1** donde la potencia del fresado desprendía las esquinas, todo producto por la dirección de las vetas de la madera.

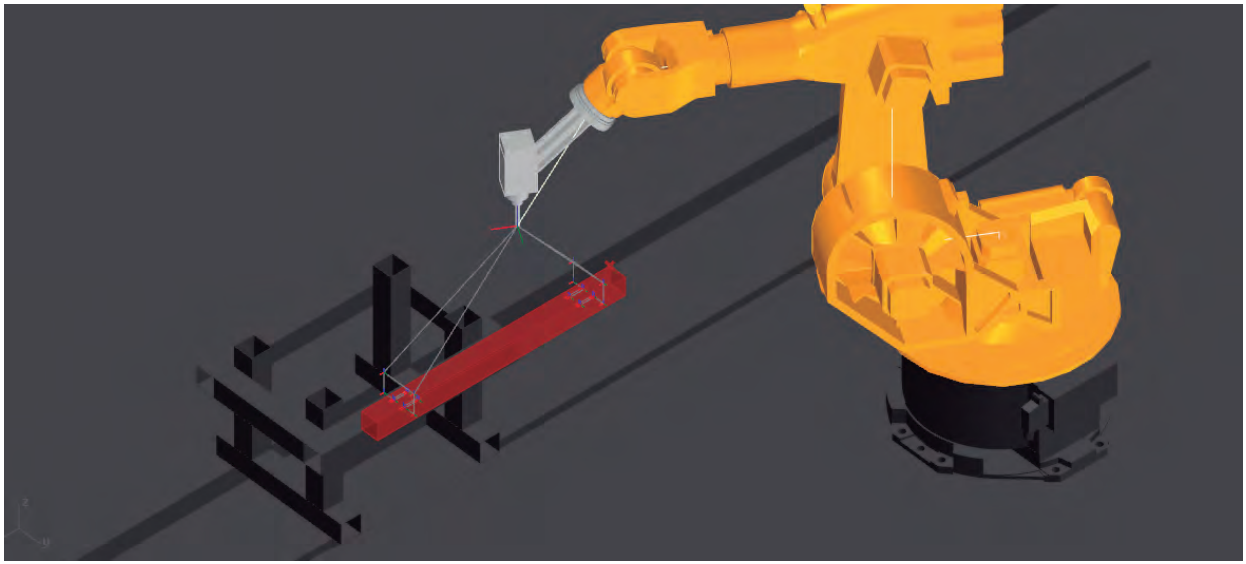


fig.1



Simulación piezas **Vt01** y **Vt02** con KUKA|PRC





Piezas **Vt01** y **Vt02** después del mecanizado





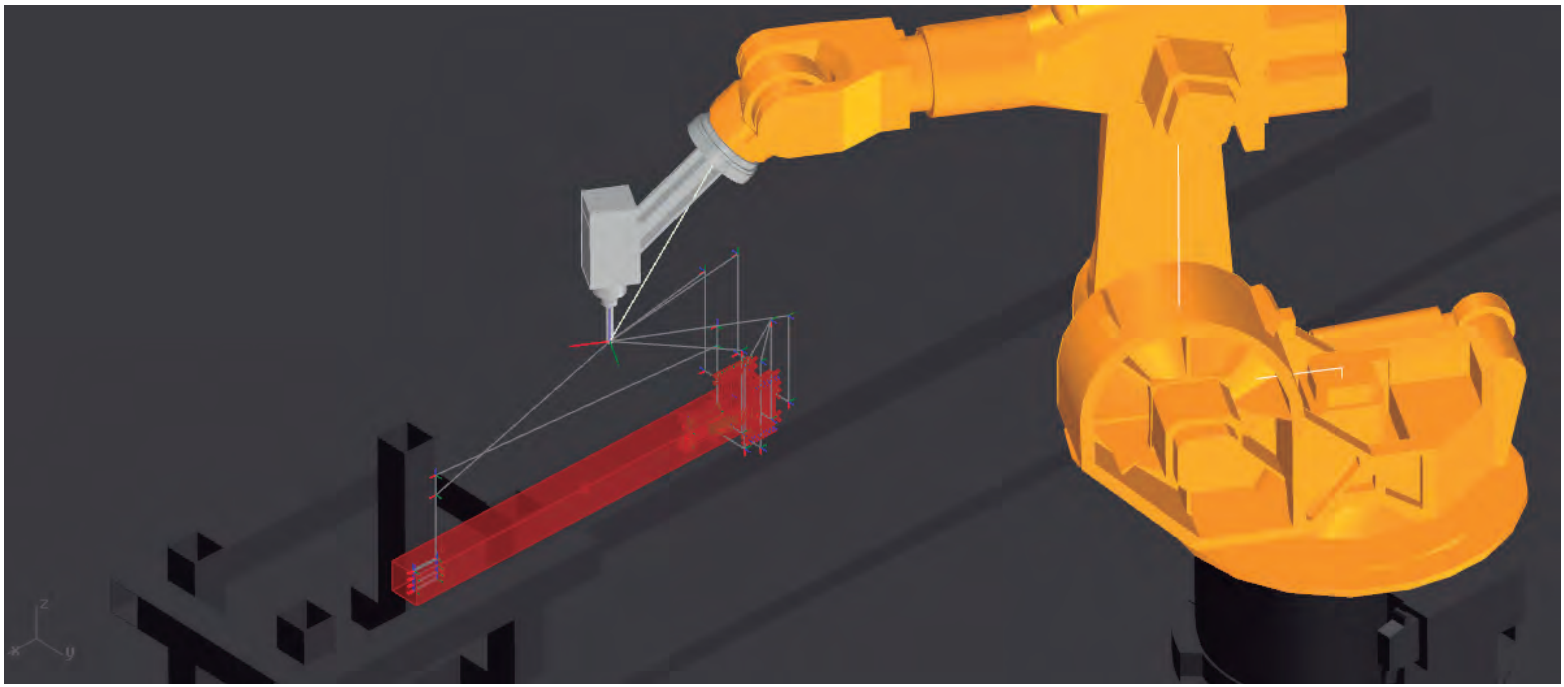
Para piezas **Vt01** y **Vt02** se utiliza programación de caja o hembra de cola de milano trapezoidal. Durante el mecanizado se decidió realizar las dos cajas en la misma programación para ahorro de tiempos.

Se presentaron distintas etapas como se muestra en la **fig.2** donde la caja número uno queda mucho más ancha, dejando un encaje flojo al momento de poner la cola de milano. En el número dos se resuelve ajustar un milímetro pero es la tres que por su ajuste en la parte superior deja la opción de que con un golpe de un elemento contundente quede completamente apretado.



fig.2

Simulación piezas **B1** y **B2** con KUKA|PRC



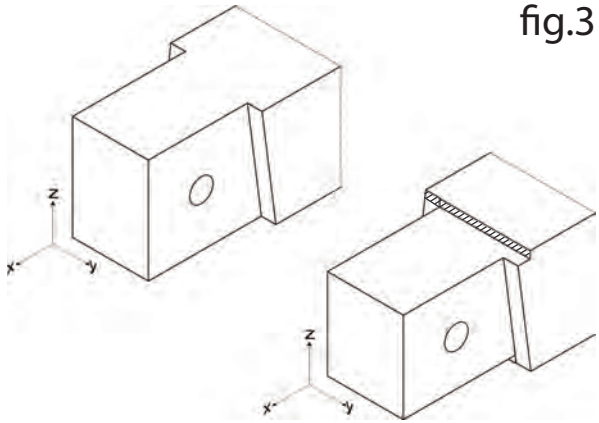
Piezas **B1** y **B2** después del mecanizado





Para los postes de baranda **B1** y **B2** se utiliza la programación del macho de caja y espiga con pasador. En ésta se utilizó dos tipos de programación para un total de cuatro piezas **B1** y ocho **B2**.
Se hicieron pruebas de montaje donde las piezas de poste con la estructura de marco no encajaban de forma simple, modificándose las espigas como se puede ver en la **fig.3** dos milímetros y en las hembras o cajas un milímetro, facilitando el encaje, pero dejando un leve "juego" entre las piezas.

fig.3



7.2 MONTAJE PROTOTIPO ESCALA 1:1

Teniendo todas las piezas de marco, vigas transversales y postes se inicia el proceso de montaje.
En la **fig.4** se puede apreciar el modo en que se debe realizar el encaje.
En un principio se pensó que las piezas debían encajarse perpendicularmente como muestra la figura número uno, siendo la número dos la correcta, ya que tomando un punto de giro se lograba el correcto encaje. Se decide entonces ajustar las hembras de la unión con encaje en cruz aumentando 2 milímetros por extremo como presenta la **fig.5**.
La instalación demoró cuatro minutos entre dos personas lográndose el punto de fácil montaje.

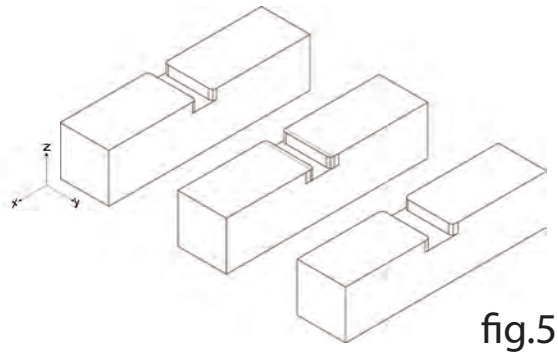
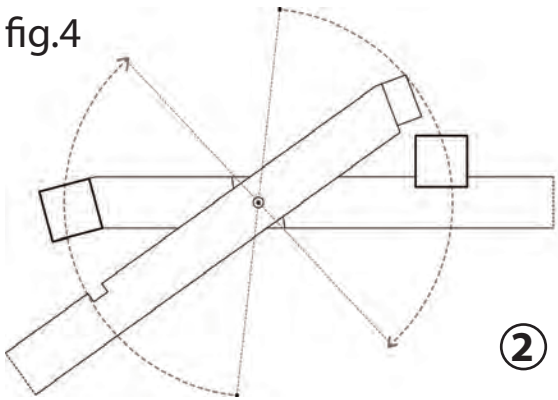
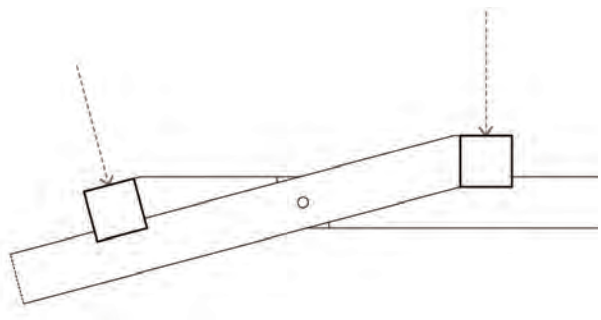


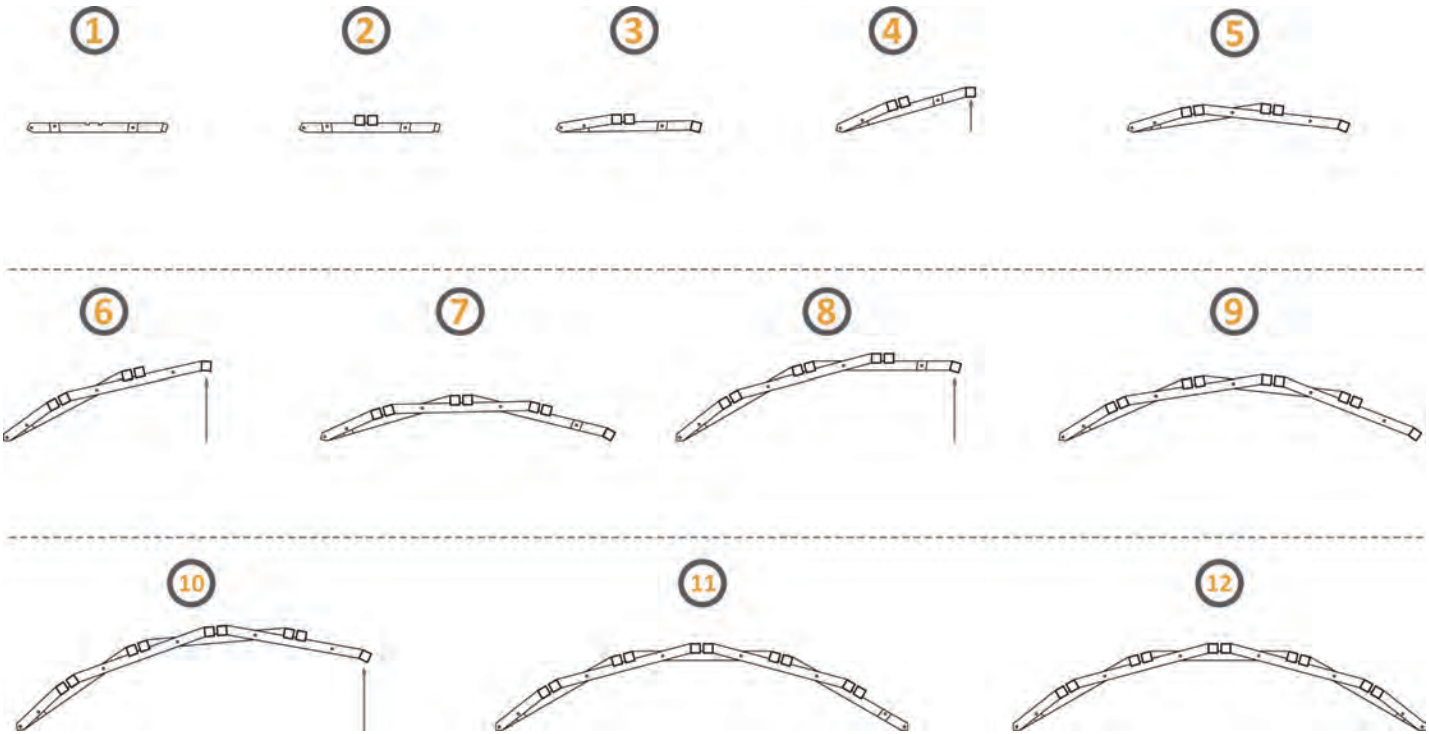
fig.5

fig.4

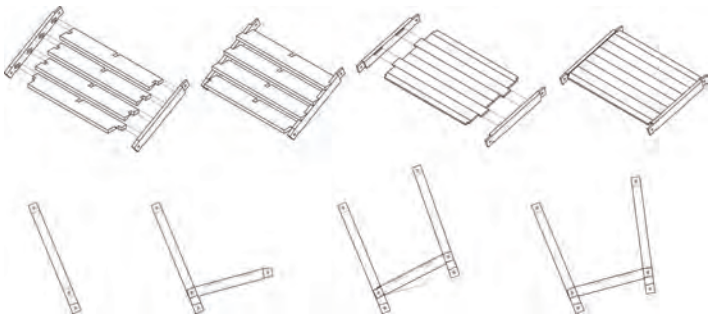




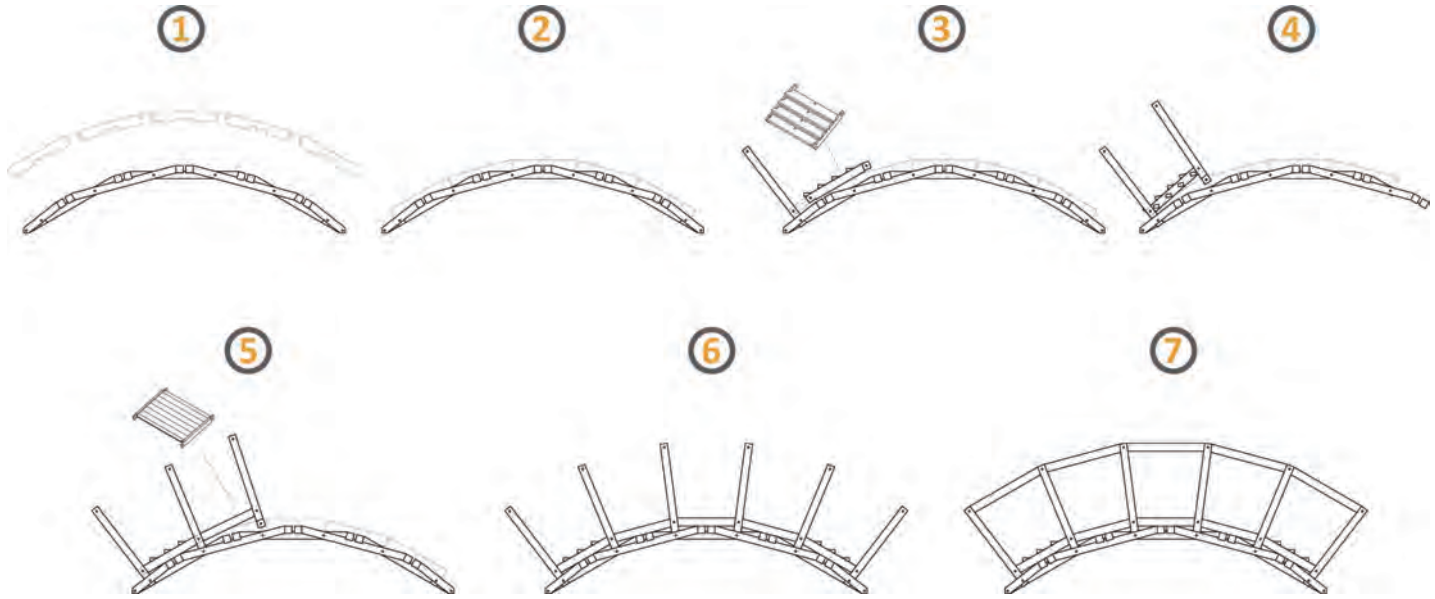
Montaje parte 1



Montaje peldaños y vigas piso

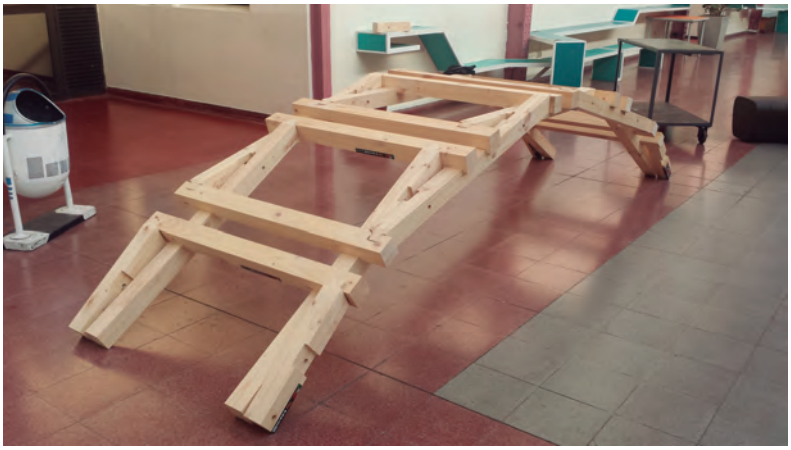


Montaje parte 2



Estructura base del prototipo de puente









Prototipo de puente peatonal de madera final.



8. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

La presente Investigación y Desarrollo, posibilitó la solución por medio de la confección de un prototipo de puente peatonal de madera para los problemas de conectividad en zonas aisladas geográficamente de nuestro país. Se utilizaron técnicas de diseño y parametrización de componentes bajo herramientas como Grasshopper (Programación Visual) y Kuka|prc, obteniendo una cantidad finitas de modelos y de piezas, concluyendo en el mecanizado con el Robot manipulador en el laboratorio (CIMA).

La posibilidad de realizar modelos paramétricos, nos permite la variación de valores asumidos en un grupo de coeficiente fijos (parámetros), por esto el proceso de diseño se vio beneficiado por la confección de cuatro prototipos. El primero fue una abstracción del referente arquitectónico, mostrando varias falencias estructurales por esfuerzos laterales. El segundo se mantuvo estable por el aumento de la escuadría y la incorporación de arriostramiento, pero hubo un aumento de uniones desiguales. El tercero se mantiene estable por la separación de las vigas transversales, pero es el cuarto que por su diseño (elementos marco a tope con vigas transversales) innova con respecto al referente arquitectónico, y se elige para continuar con el desarrollo del prototipo definitivo.

Las uniones pasaron por varias etapas. El sistema base estructural cae en la composición de los marcos y vigas transversales donde el fallo estructural se puede presentar principalmente en las uniones carpinteras y en la zona superior. En un principio se tomó la cola de milano tradicional para la unión de viga y marco (la más exigida por esfuerzos), pero por sus pequeñas dimensiones era propensa a fallar, decidiéndose cambiar su forma a una trapezoidal o cónica aumentando el alma.

La parametrización del prototipo da una cantidad de 9 puentes, cada uno con una cantidad finita de piezas y un total de masa en kg. Se decide utilizar madera laminada por su calidad dimensional, pero esta tiene una restricción de 2.5 m de largo por lo que los prototipos de 10, 11 y 12 metros de luz, se debió incorporar cuartones de 4x4" por tener largos hasta 3.2 m, aumentando considerablemente la masa total (Kg) de la estructura, dificultando en cierta manera su transportación.

El mecanizado más complejo es la cola de milano trapezoidal. Todo se debe por el ángulo de las caras, donde la fresa de 20 mm debe inclinarse por lo que el desgaste del material no es de manera uniforme. Como solución se propone una disminución de velocidad y utilizar el modo convencional de corte, lo mismo se utiliza en las hembras concluyendo una acabado de calidad.

El proceso de montaje es uno de los puntos fuertes de esta investigación. El diseño de las piezas aportó un rápido y fácil montaje, esto se puede apreciar en el momento de hacer el puente de cuatro metros de luz escala 1:1 que entre dos personas se puede armar en un tiempo de cuatro minutos.

La calidad de las uniones puede seguir mejorando pero aun así la implementación de Robots es una oportunidad para la innovación en el sector constructivo, ya sea por su precisión, flexibilidad, calidad y fiabilidad, y que por la incorporación de la programación visual facilita el diseño de elementos para la industria creativa.

La madera laminada por sus características dimensionales ofrece una terminación de mayor calidad, mientras que la madera aserrada ocasionalmente presenta problemas de acanaladura, arqueadura, encorvadura o torcedura, donde es aquí que hay que promover a la industria secundaria de la madera, las Pymes madereras realicen un producto de mayor calidad.

Aportes para esta investigación que se pueden realizar sería la búsqueda de maderas de bajo costo que pueden ser analizadas y sometidas a ensayos de esfuerzos, proponiendo nuevos diseños para la estructura o las uniones.



Un puente de madera en isla Dawson. Estrecho de Magallanes, Chile.
Construido por los Infantes de Marina de Chile.



9. BIBLIOGRAFÍA

9. BIBLIOGRAFÍA

Russell, S. Norvig, P. 2004, *Inteligencia Artificial*, un enfoque moderno, 2° edición, Pearson Prentice Hall, Madrid.

McGee, W. Ponce de Leon, M. 2014, *Robotic Fabrication in Architecture*, Art and Design 2014, 1° edición, Springer, Michigan.

Reinhardt, D. Saunders, R. 2016, *Robotic Fabrication in Architecture*, Art and Design 2016, 1° edición, Springer, Sydney.

Sato, H. Najahara, Y. 1995, *The Complete Japanese Joinery*, Hartley & marks Publishers Inc. Seattle.

Roldán, S. 2016, 'El niño que va al colegio en canopy', La Tercera, 15 de abril, Consultado: 20 de abril de 2016, http://www.latercera.com/noticia/nacional/2016/04/680-676759-9-el-nino-que-va-al-colegio-en-canopy.shtml

2014, 'Menores arriesgan su vida cruzando peligrosamente río para poder educarse', Chilevision, 18 de agosto, Consultado: 20 de abril de 2016, http://www.chilevision.cl/noticias/chvnoticias/reportaje-a-fondo/menores-arriesgan-su-vida-cruzando-peligrosamente-rio-para-poder-educarse/2014-08-18/224242.html

Traditional design and practices for building Chinese wooden arch bridges 2009 [Video], Video dirigido por Yuzhou Zhang, China, Unesco.

Secrets of Lost Empires II: China Bridge 1999 [Television broadcast], Executive producer Michael Ambrosino, PBS Nova, Jinze China.

Martin, M. 1975, *Teoría y práctica de la construcción de edificios*, Editorial ALHAMBRA, Madrid, Buenos aires, México.

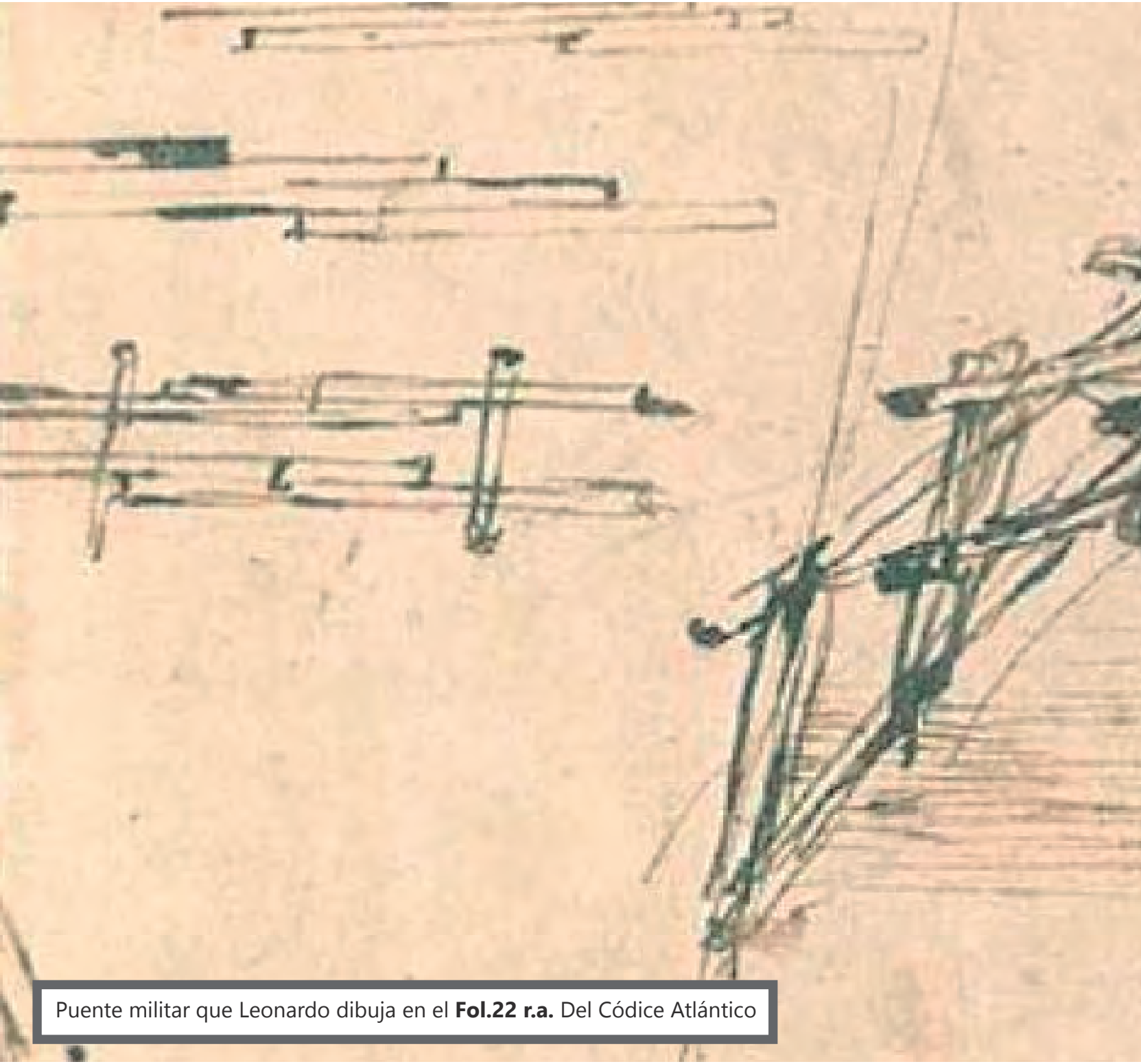
Barberot, E. 1926, *Tratado práctico de carpintería*, Gustavo Gili, Barcelona.

Martínez, C. 2016, 'Puente Confluencia, uno de los más largos de Chile hecho en madera, es declarado Monumento Nacional', plataformaurbana, 29 de marzo, Consultado: 25 de julio de 2016, http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/03/29/puente-confluencia-uno-de-los-mas-largos-de-chile-hecho-en-madera-es-declarado-monumento-nacional/

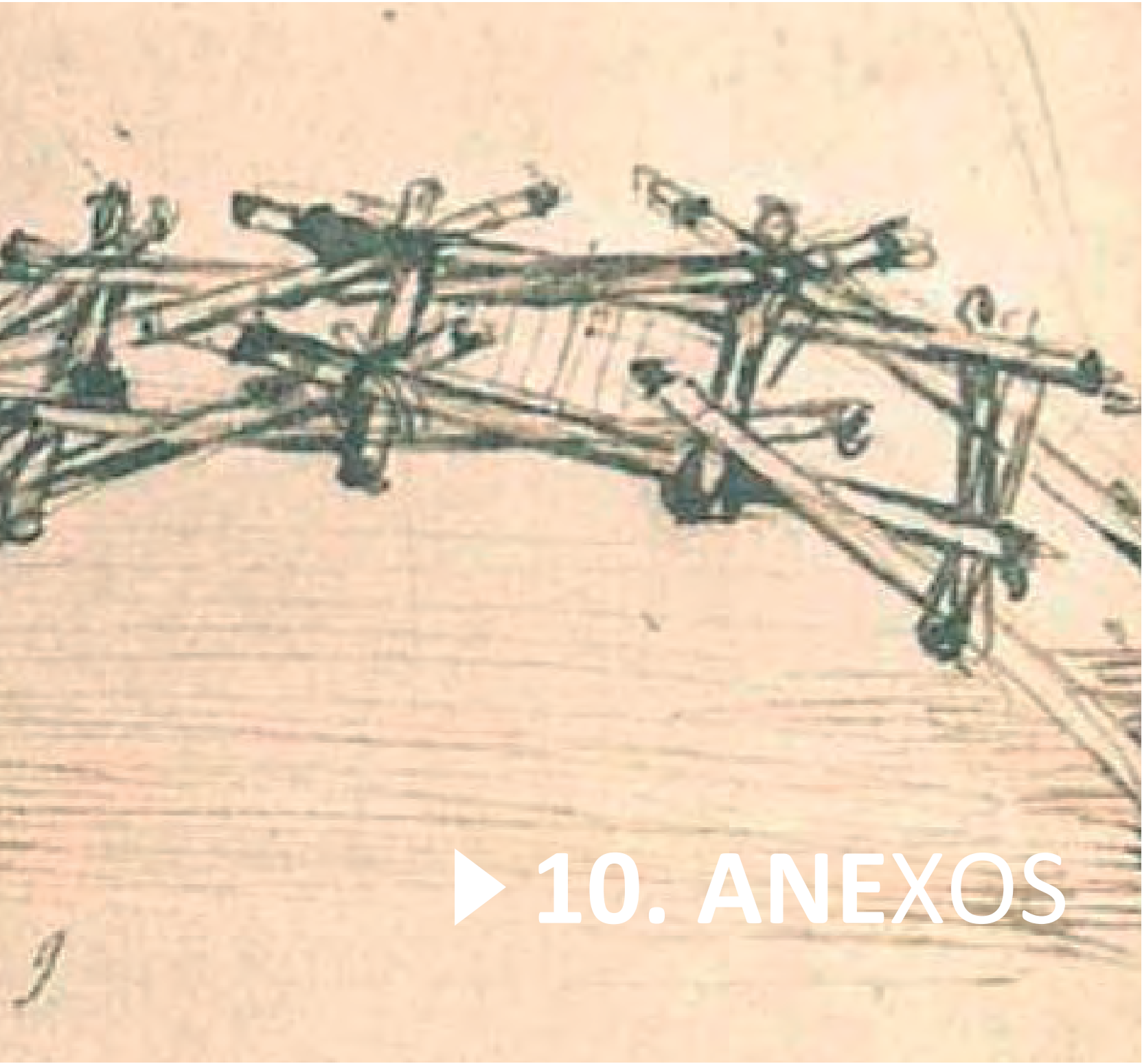
Corporación Chilena de la Madera 2014, 'Puentes de madera: una alternativa para la conectividad', corma, 07 de julio, Consultado: 25 de Julio de 2016, http://www.corma.cl/corma-al-dia/biobio/puentes-de-madera-una-alternativa-para-la-conectividad

2016, 'Huge timber steps form bridge built by students across a river in rural China', dezeen, 11 de julio, Consultado: 25 de Julio de 2016, http://www.dezeen.com/2016/07/11/wind-rain-timber-stepped-bridge-students-university-hong-kong-peitian-southern-china/

2013, 'Puente autoportante de Leonardo da Vinci. Curso 2012-2013', pelandintecno, 13 de enero, Consultado: 16 de diciembre de 2016, http://pelandintecno.blogspot.cl/2013/01/puente-autoportante-de-leonardo-da.html



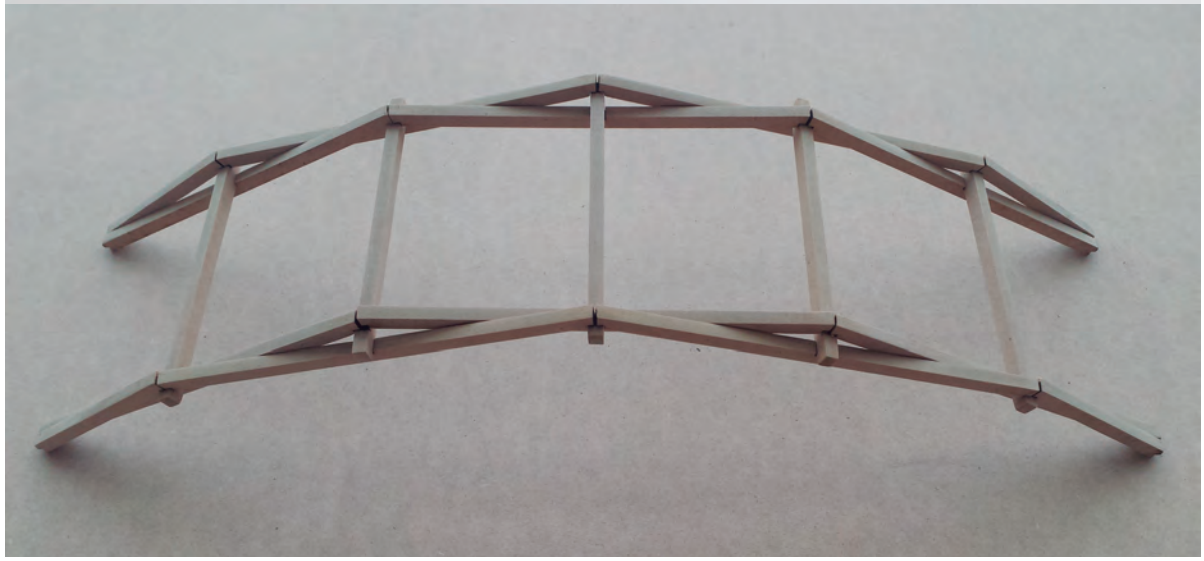
Puente militar que Leonardo dibuja en el **Fol.22 r.a.** Del Códice Atlántico



10. ANEXOS

Maquetas modelo 1

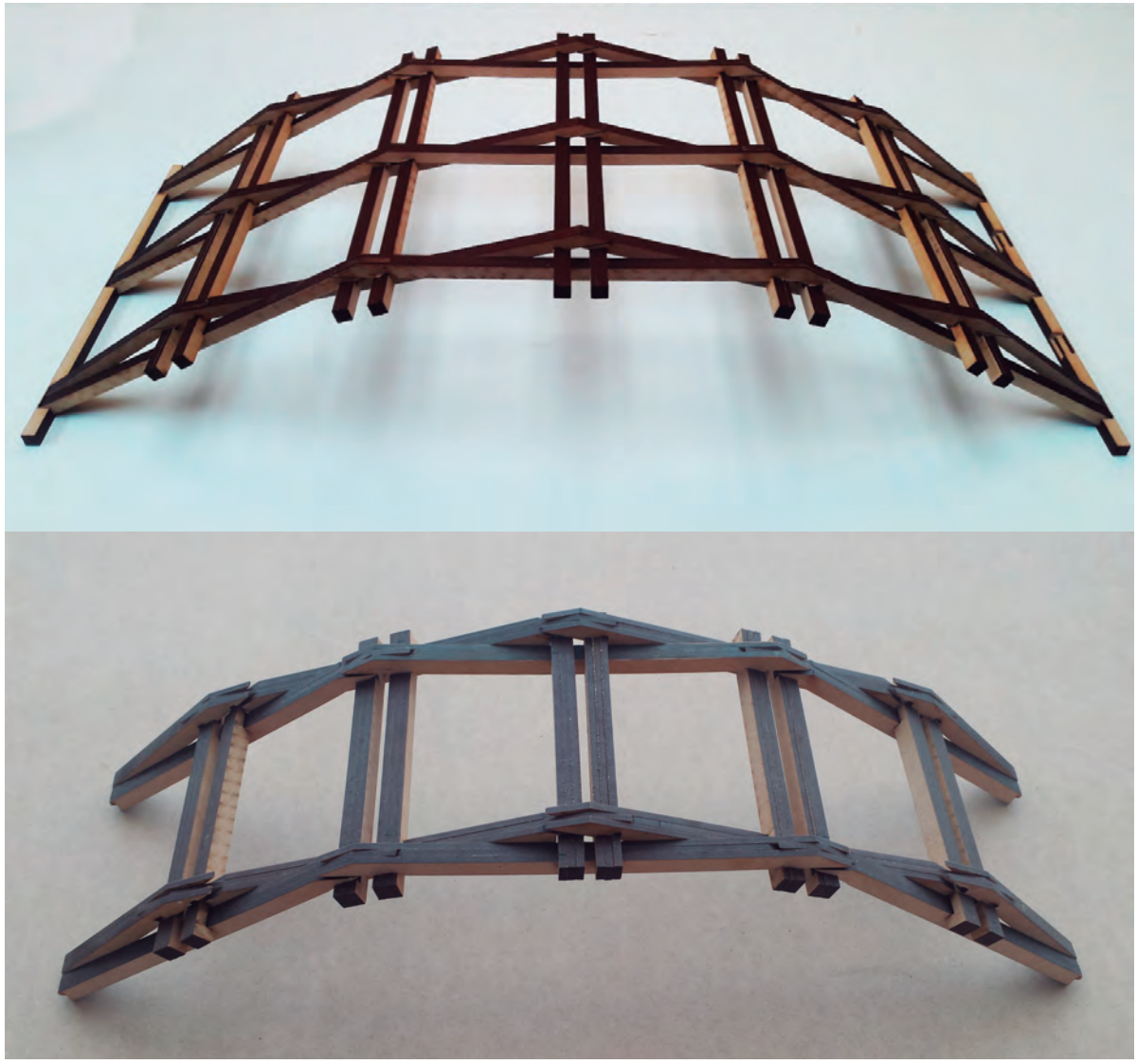




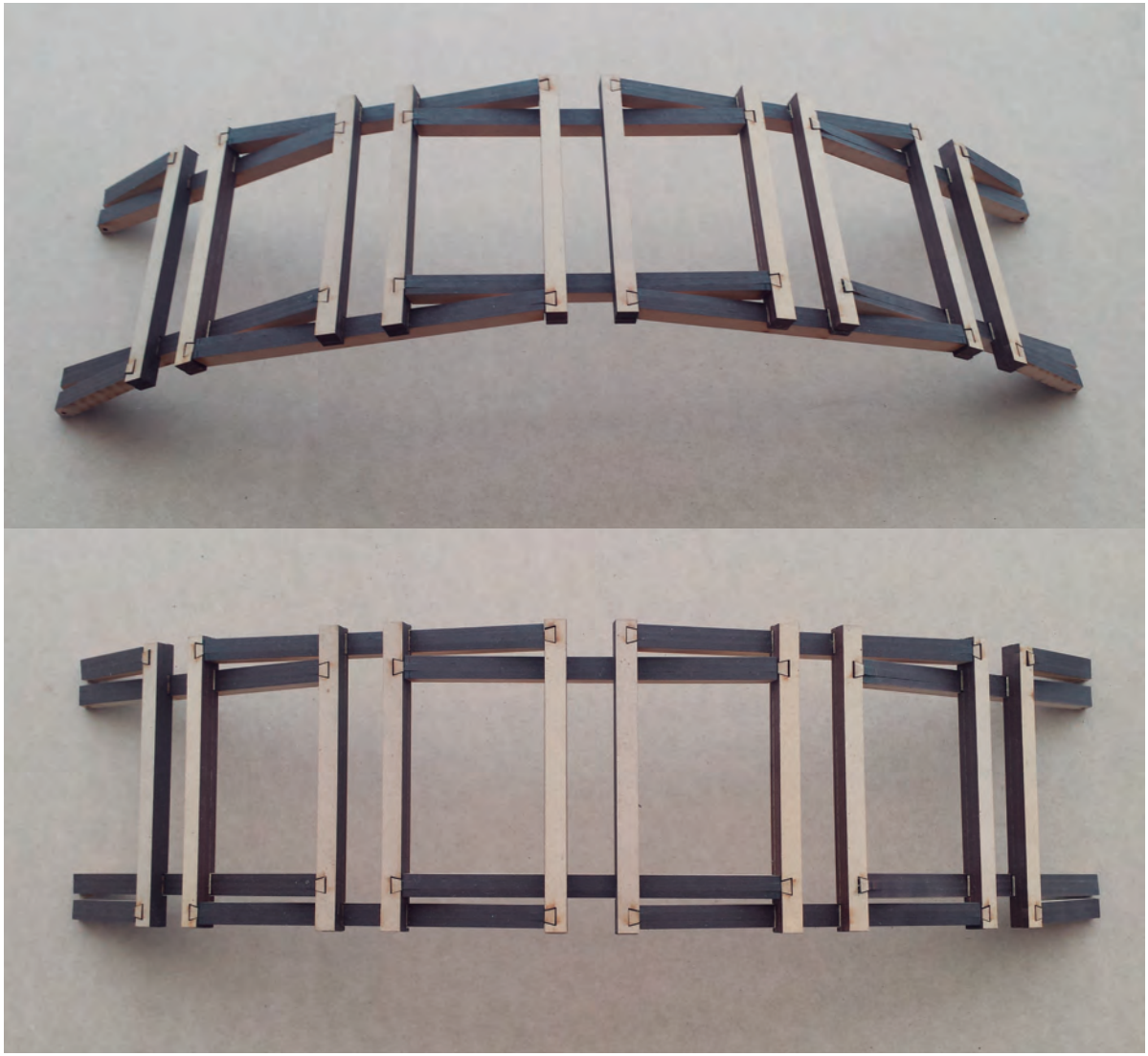
Maqueta modelo 2



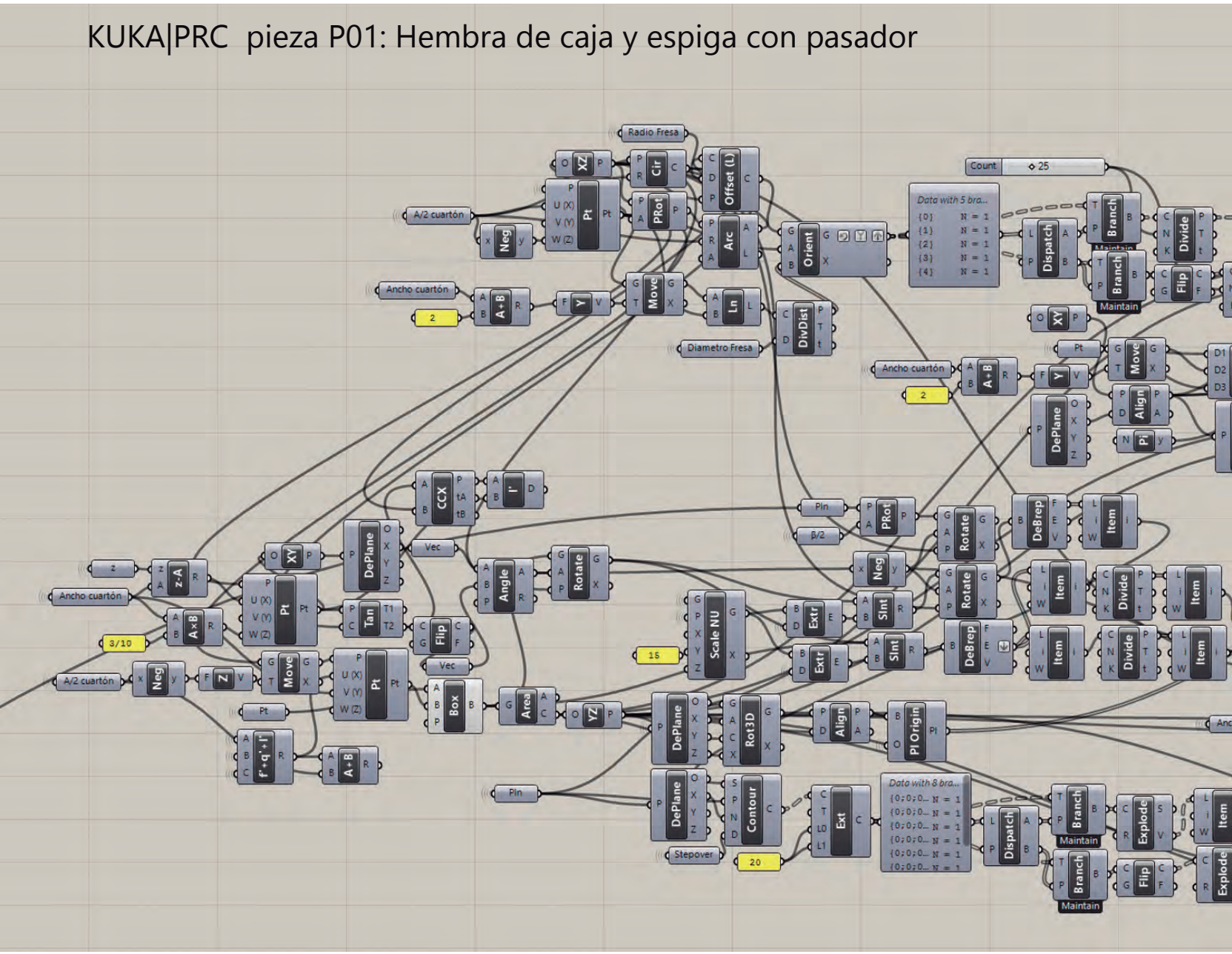
Maquetas modelo 3

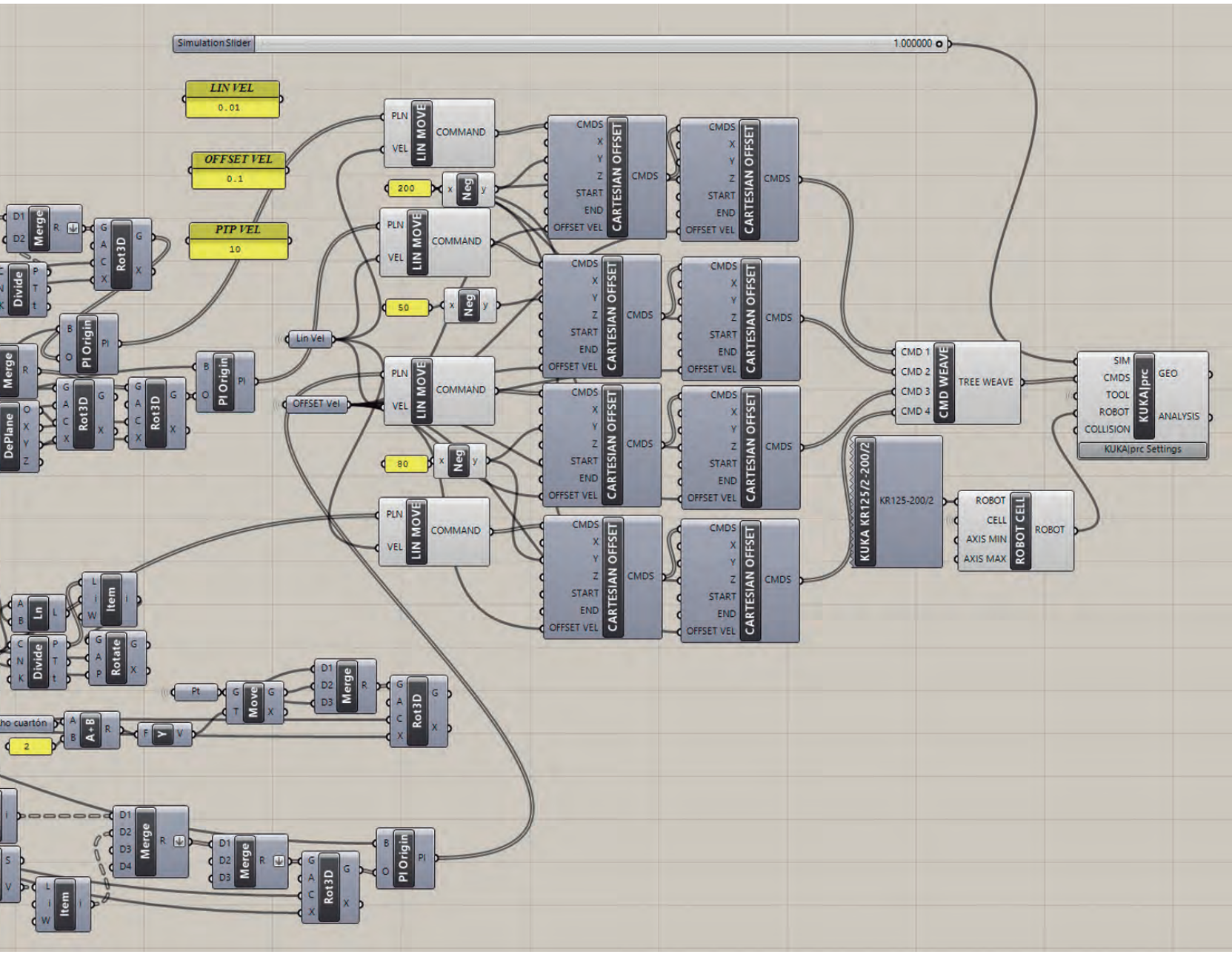


Maqueta modelo 4

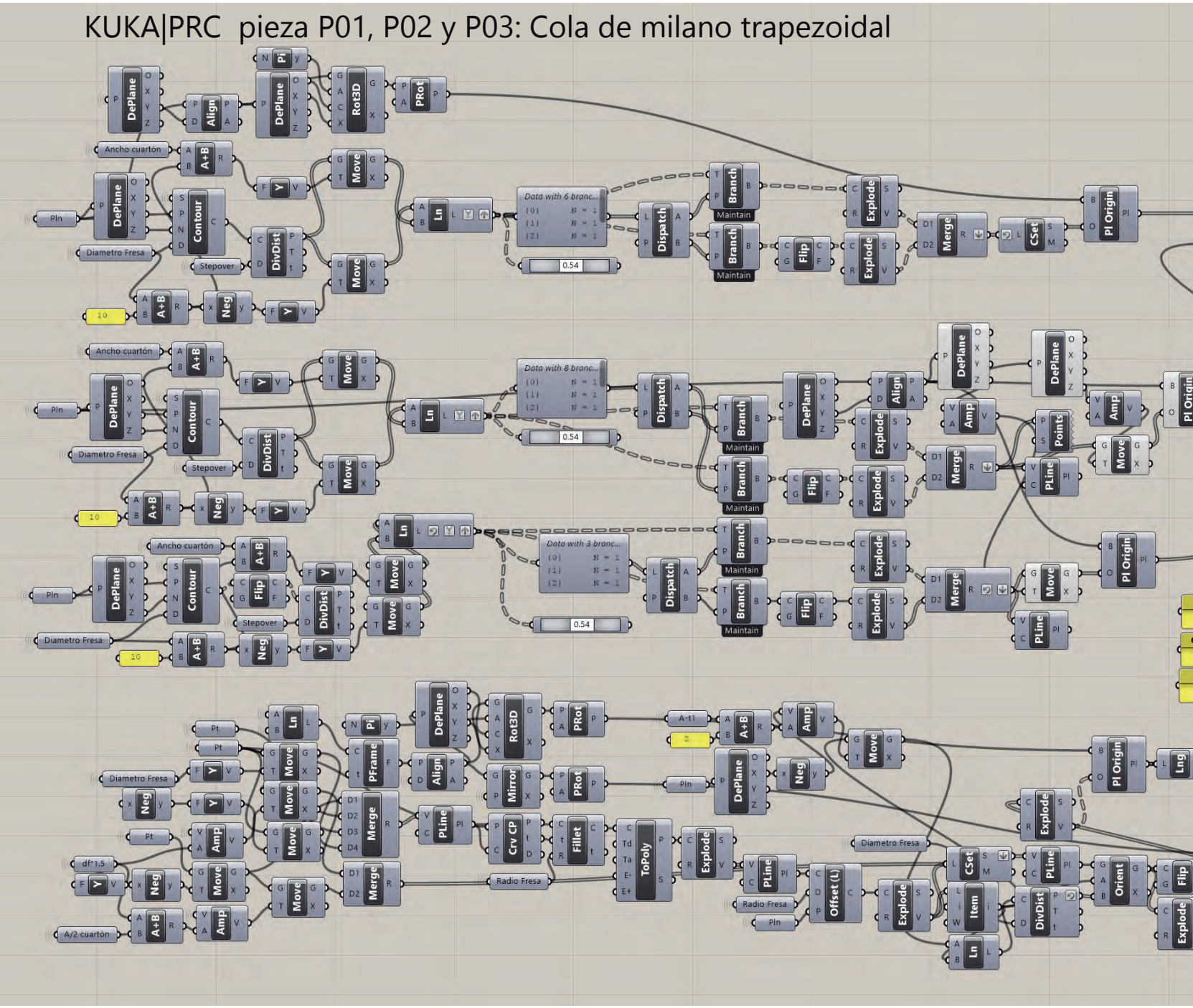


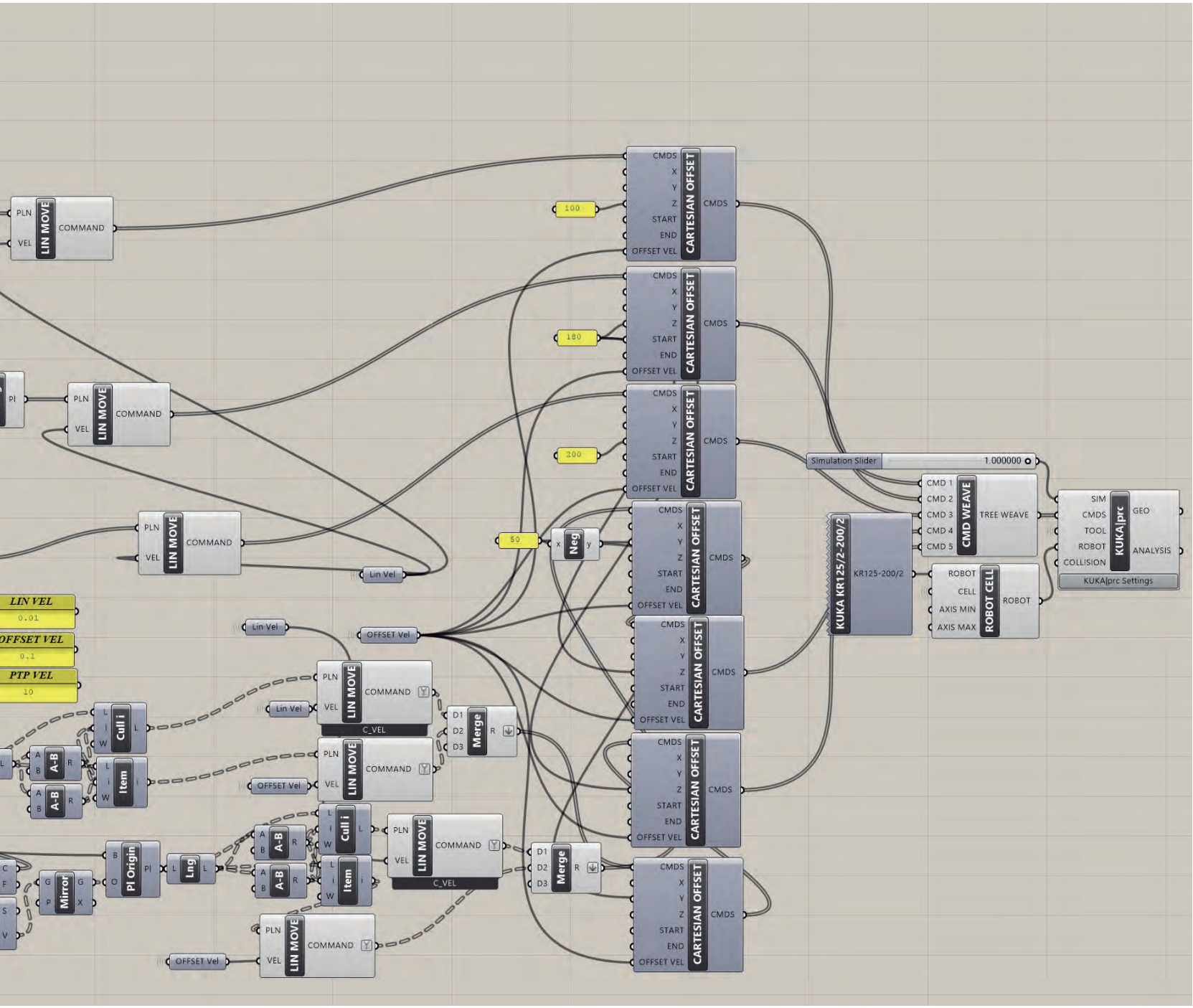
KUKA|PRC pieza P01: Hembra de caja y espiga con pasador



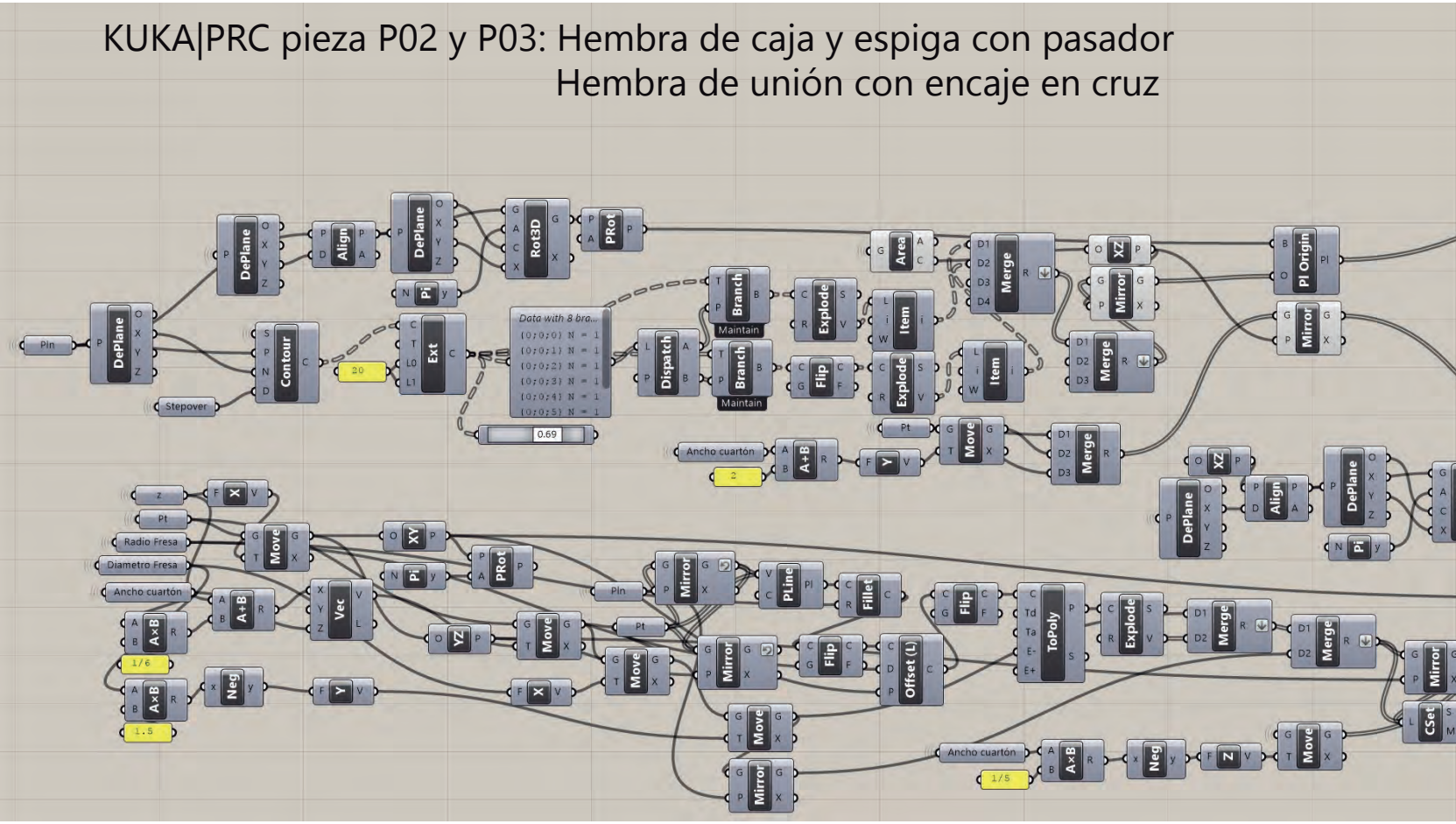

Simulation Slider
1.000000
LIN VEL
0.01
OFFSET VEL
0.1
PTP VEL
10
LIN MOVE
COMMAND
PLN
VEL
200
50
80
Neg
CARTESIAN OFFSET
CMDS
X
Y
Z
START
END
OFFSET VEL
Lin Vel
OFFSET Vel
CMD WEAVE
CMD 1
CMD 2
CMD 3
CMD 4
TREE WEAVE
KUKA|prc
SIM
CMDS
TOOL
ROBOT
COLLISION
GEO
ANALYSIS
KUKA|prc Settings
KUKA KR125/2-200/2
KR125-200/2
ROBOT CELL
CELL
AXIS MIN
AXIS MAX
Merge
Rot3D
Divide
Pl Origin
Item
Ln
Rotate
Move
A+B
Pt

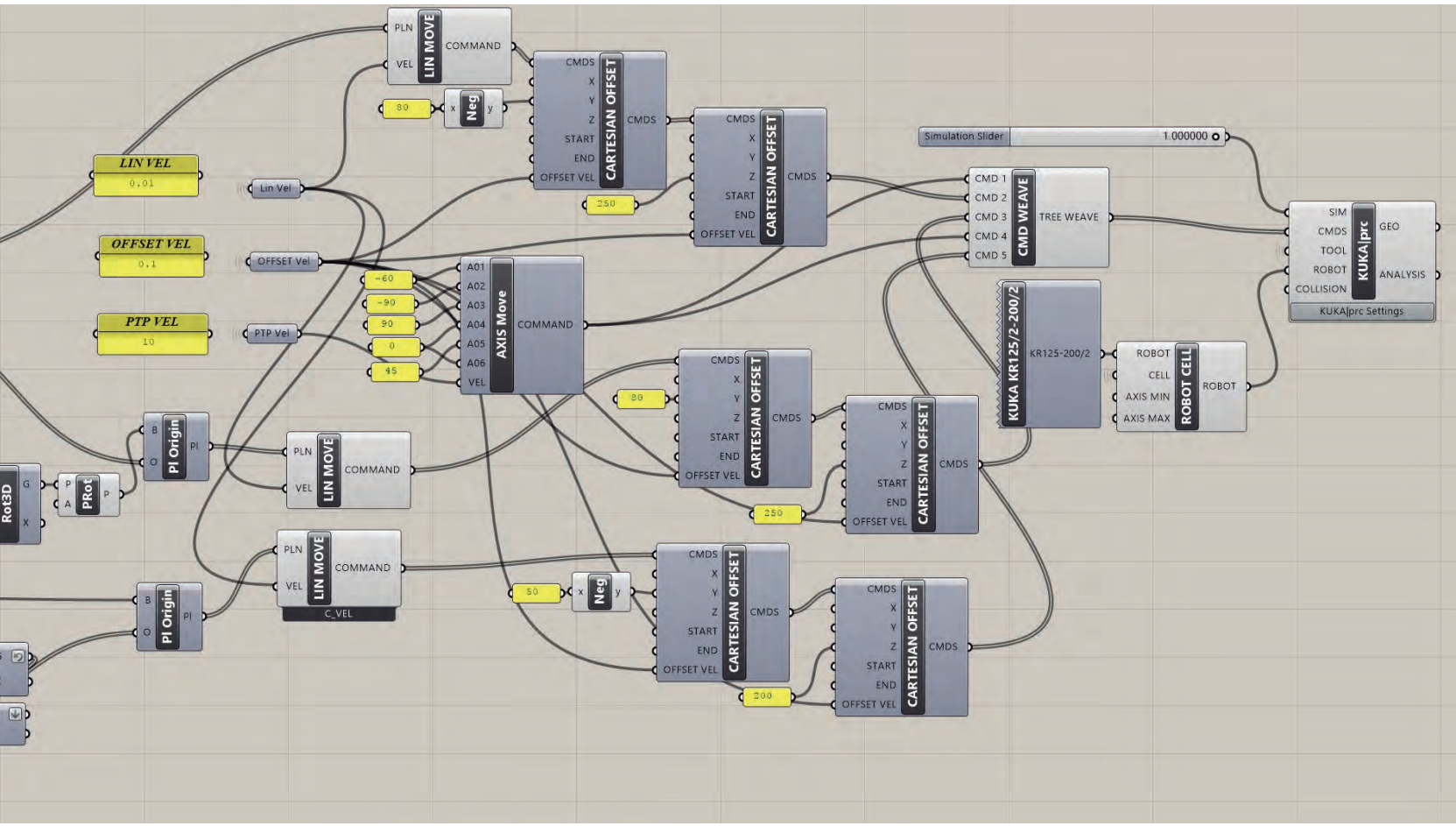
KUKA|PRC pieza P01, P02 y P03: Cola de milano trapezoidal



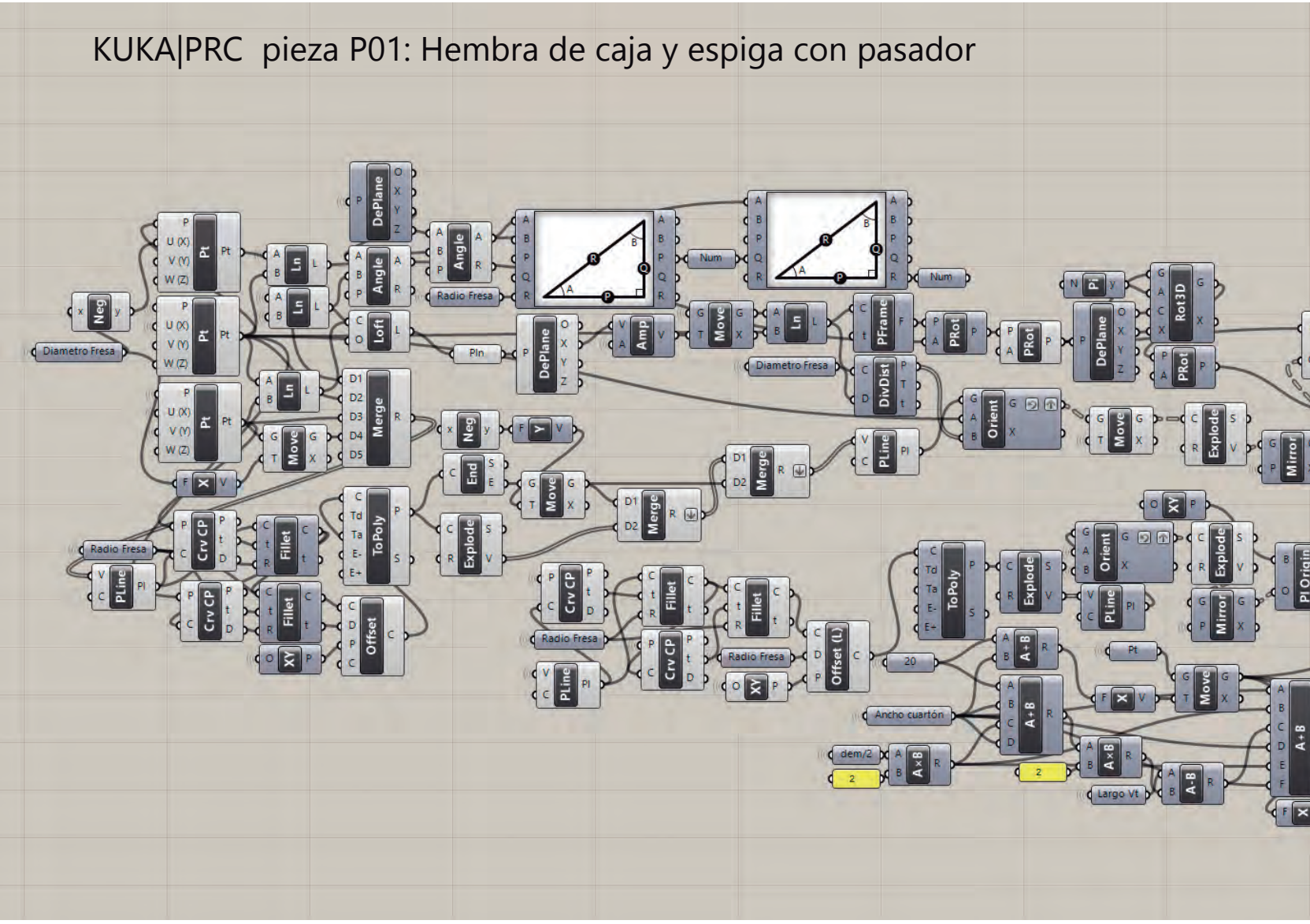

LIN MOVE
COMMAND
CARTESIAN OFFSET
CMDS
100
180
200
50
Neg
Lin Vel
OFFSET Vel
LIN VEL
0.01
OFFSET VEL
0.1
PTP VEL
10
Cull i
Item
A-B
Merge
C_VEL
PI Origin
Mirror
Lng
Simulation Slider
1.000000
CMD WEAVE
TREE WEAVE
KUKA KR125/2-200/2
KR125-200/2
ROBOT CELL
KUKA|prc
KUKA|prc Settings

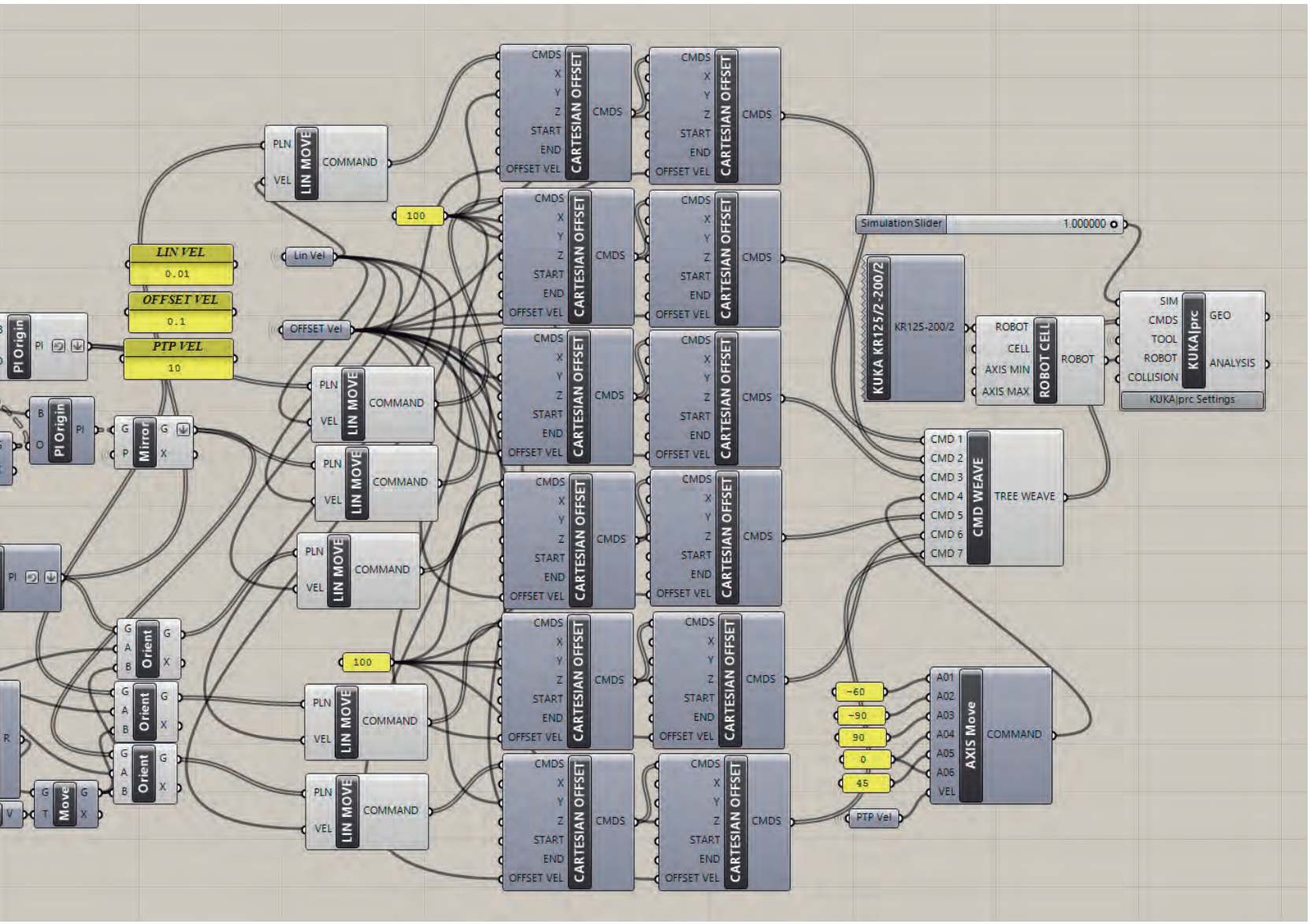
KUKA|PRC pieza P02 y P03: Hembra de caja y espiga con pasador
Hembra de unión con encaje en cruz




LIN VEL
0.01
OFFSET VEL
0.1
PTP VEL
10
Lin Vel
OFFSET Vel
PTP Vel
LIN MOVE
PLN
VEL
COMMAND
Neg
80
CARTESIAN OFFSET
CMDS
X
Y
Z
START
END
OFFSET VEL
250
AXIS Move
A01
A02
A03
A04
A05
A06
-60
-90
90
0
45
PI Origin
PRot
Rot3D
C_VEL
50
Simulation Slider
1.000000
CMD WEAVE
CMD 1
CMD 2
CMD 3
CMD 4
CMD 5
TREE WEAVE
KUKA KR125/2-200/2
KR125-200/2
ROBOT CELL
ROBOT
CELL
AXIS MIN
AXIS MAX
KUKA|prc
SIM
CMDS
TOOL
ROBOT
COLLISION
GEO
ANALYSIS
KUKA|prc Settings

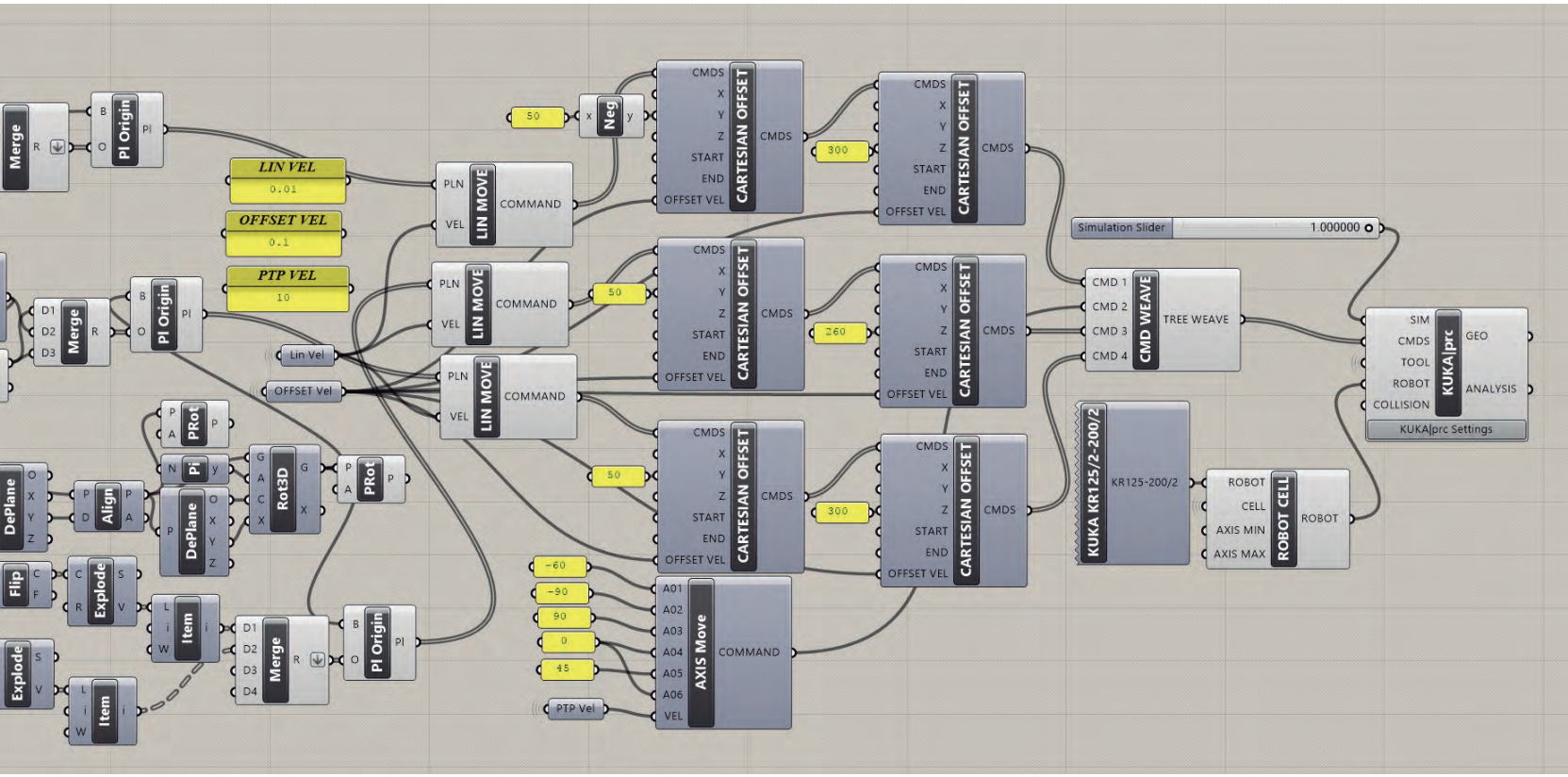
KUKA|PRC pieza P01: Hembra de caja y espiga con pasador




LIN VEL
0.01
OFFSET VEL
0.1
PTP VEL
10
Lin Vel
OFFSET Vel
100
100
PLN
VEL
LIN MOVE
COMMAND
CMDS
X
Y
Z
START
END
OFFSET VEL
CARTESIAN OFFSET
Pl Origin
Mirror
Orient
Move
Simulation Slider
1.000000
KUKA KR125/2-200/2
KR125-200/2
ROBOT
CELL
AXIS MIN
AXIS MAX
ROBOT CELL
SIM
CMDS
TOOL
ROBOT
COLLISION
KUKA|prc
GEO
ANALYSIS
KUKA|prc Settings
CMD 1
CMD 2
CMD 3
CMD 4
CMD 5
CMD 6
CMD 7
CMD WEAVE
TREE WEAVE
-60
-90
90
0
45
PTP Vel
A01
A02
A03
A04
A05
A06
AXIS Move

KUKA|PRC pieza B1 Y B2: Macho de caja y espiga con pasador




LIN VEL
0.01
OFFSET VEL
0.1
PTP VEL
10
LIN MOVE
COMMAND
CARTESIAN OFFSET
CMDS
AXIS Move
PTP Vel
Lin Vel
OFFSET Vel
Simulation Slider
1.000000
CMD WEAVE
TREE WEAVE
KUKA|prc
KUKA|prc Settings
KUKA KR125/2-200/2
KR125-200/2
ROBOT CELL
PI Origin
Merge
Explode
Item
Flip
Align
Rot3D
DePlane
PRot

El niño que va al colegio en canopy
16-04-2016, diario La Tercera

Nacional

Christopher Arriagada tiene cuatro años y todos los días debe cruzar el río Ignao en un carro hechizo, en Pitriuco. Son siete las familias que utilizan este sistema. Piden lo mínimo: una pasarela.

Por ***Sebastián Roldán, desde Río Bueno***

El niño que va al colegio en canopy



▸▸ Christopher y su madre, Claudia Moreira, en el carrito sobre el río Ignao. FOTO: RODRIGO SOTO

SON las seis de la mañana y miles de niños se levantan en todo Chile para ir al colegio. En medio del sector rural de Pitriuco, en la comuna de Río Bueno, Región de Los Ríos, Christopher Arriagada, de cuatro años, no es la excepción. Su madre lo despierta y lo lleva todos los días a la Escuela Colonia Diumen, de la misma localidad. Pero el viaje no es tan sencillo como tomar una micro o caminar algunas cuadras. Para lograr que su pequeño cumpla con la escolaridad deben cruzar un brazo del río Ignao en un carro hechizo que cuelga de un cable, al más puro estilo de un canopy turístico. Con la diferencia de que no es por diversión, sino para poder llegar al otro lado.

La madre del menor, Claudia Moreira (22), explica que "aquí vivimos siete familias y hemos pasado generaciones cruzando el río con el mismo carrito".

¿Accidentes? "Obvio. Ya han pasado varios. Una vez se cayó una niña que estaba embarazada, pero por suerte el río no estaba muy alto y no le pasó nada. No pedimos mucho. Simplemente, necesitamos una pasarela chica. En invierno el agua pasa muy cerca del carro, el río trae mucha mugre y es peligroso", cuenta.

La mujer explica que si no ocuparan este sistema, tendrían que dar una vuelta muy larga para llegar al colegio o a cualquier parte. Según los residentes, el carro ha evolucionado. Partió siendo casi una bolsa colgante. Ahora es para dos personas, hecho de fierro y con unos tablones como piso. El cable es de acero y se afirma en dos postes metálicos instalados a cada extremo, enterrados en una base de cemento. Nadie tiene muy claro el tema de las mantenciones.

Una vez que Claudia y su hijo están dentro del carro, se deslizan velozmente hacia el otro lado del río. Allí vive un particular que les permite caminar para acceder al camino que los lleva al colegio.

La rutina diaria es clara. Christopher lleva su mochila y cuadernos. Claudia va al lado, con un bolso con ropa y a veces una carreta que utiliza para llevar provisiones. Al descender del carro, ambos continúan a pie hacia un camino donde se suben a un bus. En un viaje de 40 minutos estarán en el colegio.

Cascos municipales

El alcalde de Río Bueno, Luis Reyes, conoce la situación. Ya ha tomado contacto con la familia del menor. Les entregó chalecos salvavida y cascos de protección (que se aprecian en la imagen) por el peligro que reviste la travesía diaria.

El alcalde de Río Bueno, Luis Reyes, conoce la situación y fue quien les entregó cascos y chalecos salvavida a la familia.

Según el edil, "nosotros hemos estado en terreno por este menor que asiste a la Escuela Colonia de Diumen, a pre kínder, y donde cuatro generaciones ya se han educado con ese tipo de movilización. La verdad es que el carrito no reúne ningún tipo de seguridad, cruzando desde Pitriuco hacia un terreno particular, para luego caminar media hora y conectar con el bus. Hay que considerar que no sólo es la ida, sino que también el regreso, a veces con menos luz, viento y mal tiempo", indica Reyes.

Añade que este medio para cruzar lo utilizan todas las personas, incluidas los adultos mayores y residentes que se encuentran enfermos: "Como municipio nos hicimos presentes para ver qué tipo de ayuda podemos entregar ante cualquier eventualidad (...) Pero también estamos sensibilizando a las autoridades. Ellos (los habitantes) solicitan un corredor para poder transitar".

Con agua hasta los pies

El director de la Escuela Colonia de Diumen, de Río Bueno, Fernando Neira, explica que "nosotros, como dirección, junto al equipo de párvulos, estamos preocupados por Christopher. Es un niño que siempre viene a clases y nos inquieta la situación de su traslado".

El profesor comenta que la mayoría de los niños de este sector rural deben movilizarse varios kilómetros para asistir a sus clases, pero el caso del pequeño no tiene comparación.

Helia Velásquez (66) también vive hace años en este sector. Ella es otra de las personas que se desplaza mediante el "carrito". Cuenta que "de aquí tengo que salir a la carretera para ir a Río Bueno o a Lago Ranco. Me demoro media hora en llegar al camino y de ahí tomo un bus. Este carro está hace años y en invierno uno pasa con los pies casi topando el agua, pero frente a cualquier emergencia uno tiene que pasar nomás. No nos queda otra".

Añade que "ya han ocurrido tres accidentes. Una vez iba pasando una amiga con su sobrino y se cortó el cable. Cayeron los dos al agua, casi al llegar al otro lado, con el barro hasta la cintura (...) También cayó un niño que trabajaba y en eso se quebró la pierna. Necesitamos una pasarela donde podamos pasar caminando, ojalá con una carretilla. Así nuestra vida cambiaría", concluye.●

Vecinos de Colbún Alto rechazan pasarela para reemplazar puente caído
14-10-2016, diario el Mercurio

Propuesta por el MOP para aminorar riesgos:

Vecinos de Colbún Alto rechazan pasarela para reemplazar puente caído

Cerca de 200 personas deben cruzar un viaducto en desuso mediante arriesgadas maniobras para no caer a un estero.

MILTON SAAVEDRA

Rechazo entre los vecinos de Colbún Alto generó la propuesta del Ministerio de Obras Públicas (MOP) de instalar una pasarela provisoria para resolver el cruce de un estero a través de un peligroso puente que hoy se cae a pedazos.

La instalación de 20 metros se remonta a los años 80, durante la construcción de la central hidroeléctrica Pehuenche. Una vez que la generadora entró en operaciones, el viaducto quedó en desuso y situado en un recinto privado del fundo La Arboleda, que incluye una franja de 5 kilómetros de propiedad de Endesa.

Los cerca de 200 lugareños deben hacer acrobacias para cruzar el puente y caminar por la estrecha viga metálica que quedó a la vista tras la caída de la madera que hacía de losa. Como no hay rampa, usan una escala hecha por la misma gente para bajarse. Luego deben caminar 11 kilómetros para llegar a un camino y alcanzar movilización. "Estamos expuestos a accidentes y arriesgamos la vida al cruzar", afirma el dirigente vecinal Ramón Carrasco.

Tras difundirse el hecho por redes sociales, el MOP ofreció instalar una pasarela provisoria con una estructura metálica que la Dirección de Vialidad tiene guardada en Santiago. Gracias a ello no se incurrirá en gastos, por cuanto se usarán recursos propios para el traslado e instalación, informó la Seremi de OO.PP. del Maule.

20 METROS
tiene el puente. Tras cruzarlo, hay que recorrer 11 kilómetros para conseguir movilización.

El dueño del fundo, Cristian Valdés, dice no oponerse, pero advierte que de nada servirá "poner un par de tablas". "No perseguimos beneficios económicos, pero tampoco ceder terreno; nos tendrían que expropiar no más si se piensa hacer un puente y camino nuevo", afirma. Agrega que hace unos años se hizo un estudio de rentabilidad social que resultó negativo. Además, según Valdés, existen alternativas para trasladarse sin cruzar por el puente.

Quienes rechazan terminantemente la idea son los propios usuarios. "No estamos de acuerdo, porque no soluciona el problema. Es una medida de parche. No estamos pidiendo una carretera pavimentada o un gran puente, sino reparar de buena forma el que está", dijo Carrasco.



JUAN CARLOS ROBLES

CEDER TERRENO.— El dueño del lugar en el que está el puente señaló que si quieren hacer una infraestructura nueva, "nos tendrían que expropiar".

Prototipo final escala 1:1

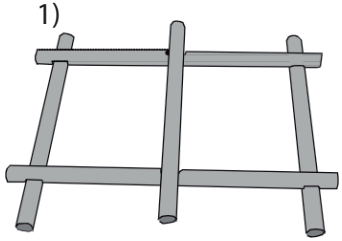




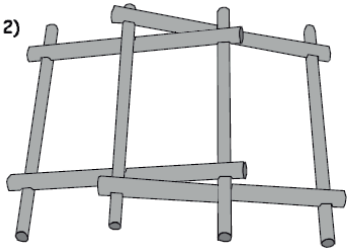
Proceso de construcción del puente Autoportante de Leonardo Da Vinci
Constrúe a ponte desmontable de Leonardo

Proceso de construcción

1)

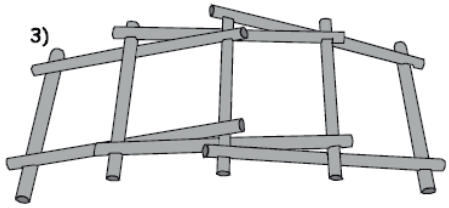


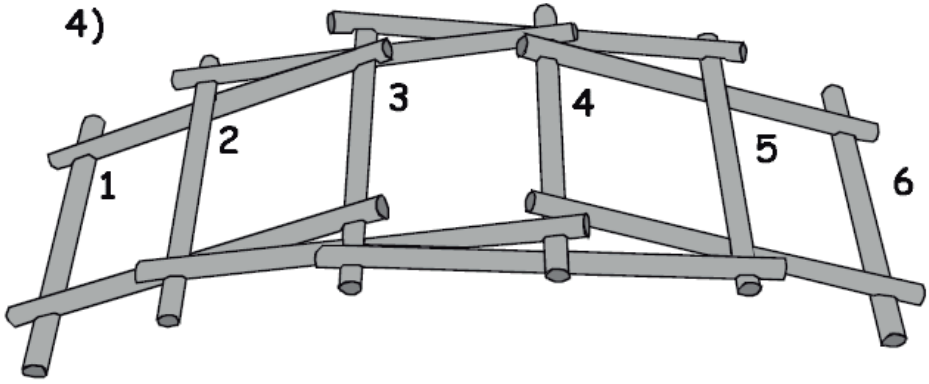
1) Se inicia con cinco piezas de madera como se muestra en la Figura 1



2) Poner en los lados, en la parte exterior, dos palos de 30 cm bajo el pasador a la derecha y en el eje central, y añade una otro pasador en la parte inferior, Figura 2.

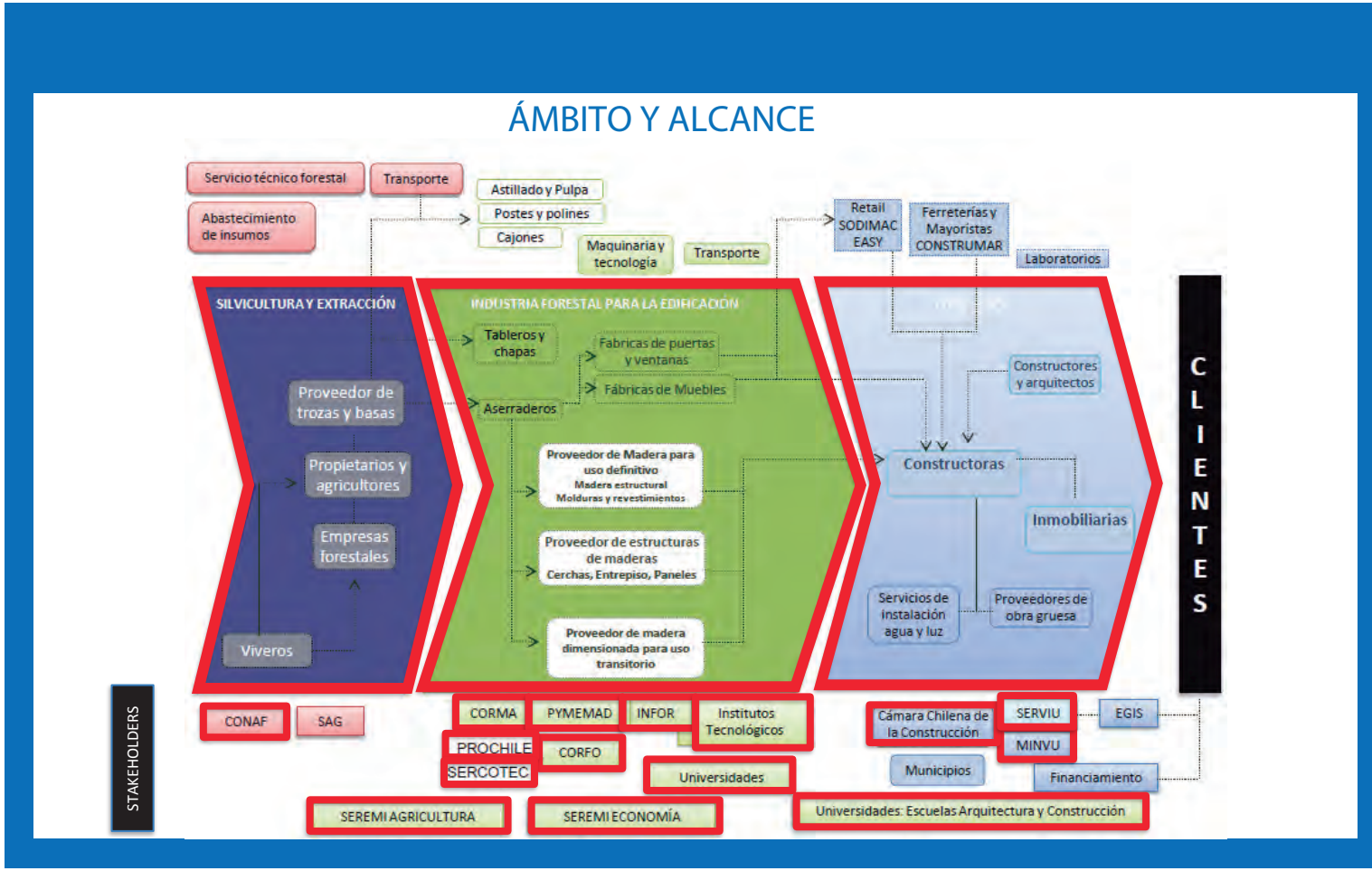
3) Repetir la operación, con dos palos largos, por debajo del pasador que ahora está a la derecha (cuarto desde la izquierda) y por encima de lo que sigue (tercero desde la izquierda). Agrega un nuevo pasador transversal en la parte inferior derecha del puente.





4) Tomar los dos últimos palos más largos y repetir la operación, pero ahora por la parte interior, pasando por debajo del quinto palo y por encima del cuarto. Añade el último pasador transversal en la parte inferior derecha.

Industria secundaria de la madera Maule - Biobío - Araucanía - Los Ríos, CORFO, 2015



ANTECEDENTES DE CONTEXTO QUE JUSTIFICAN LA OPORTUNIDAD

TENDENCIAS

Creciente uso de la madera como material de construcción debido a:

- Requiere poca energía en sus procesos de transformación.
- Gran eficiencia energética debido a su baja pérdida calorífica.
- Ecológico ya que reduce el efecto del cambio climático.
- Sostenible en el tiempo por ser un recurso renovable, proveniente de plantaciones forestales.
- Innovar en diseños sostenibles.

Comparación en ciudad de Concepción / Detalles

	Casa Ladrillo	Casa Madera
Demanda energía	**145 kWh/m2 año**	**104 kWh/m2 año**
Consumo de kerosene	**1.296 litros**	**930 litros**
Costo (considera 0,036 UF/litro)	**42,2 UF**	**30,3 UF**
Ahorro	**28%, que equivalen a 367 litros de kerosene o 11,9 UF al año**	
Cielo	Yeso cartón 10 mm 100 mm poliestireno expandido de 10kg/m3 Estructura MSD Cepillado 2x2	Yeso cartón 10 mm 100 mm poliestireno expandido de 10kg/m3 Estructura MSD Cepillado 2x2
Transmitancia térmica	0,45 W/m2 °C	0,45 W/m2 °C
Muros	Ladrillo de 290 x 140 x 113 mm Sin estuco	MSD Cepillado 2x3 y 2x4 AraucoPly Estructural de 9,5 mm Yeso cartón de 10 mm Lana de vidrio panel rígido de 60 mm
Transmitancia térmica	1,7 W/m2 °C	0,55 W/m2 °C
Ventanas	Vidrio simple claro de 4 mm	Vidrio simple claro de 4 mm
Transmitancia térmica	5,8 W/m2 K	5,8 W/m2 K
Temperatura de 24.00 a 7.00 h	17 °C	17 °C
Temperatura de 8.00 a 23.00 h	20 °C	20 °C



ANTECEDENTES DE CONTEXTO QUE JUSTIFICAN LA OPORTUNIDAD

BENCHMARKING

- En países con igual masa forestal, logran mayor productividad y mayores valores por m^3 de madera. Alemania vende en promedio a US $ 2.400 /m^3; Francia vende en promedio a US $ 1.090 , Italia vende en promedio a US $ 1.600 y Chile a US $ 334 /m^3.

- La construcción de viviendas en madera en Estados Unidos, Canadá, Suecia, Noruega y Austria llega cerca del 90 % y en Nueva Zelandia, al 60 % . En Chile este valor alcanza al 20 % (lignum Nº 143).

- En países como Nueva Zelandia existen más de 150 pequeñas empresas expertas en entregar soluciones en madera, en Chile, no sobrepasan las 7 u 8 (Francisco Lozano, CTT CORMA). En el país existen muy pocos calculistas especializados en madera , sistemas constructivos y pocas ofertas de productos industrializados.

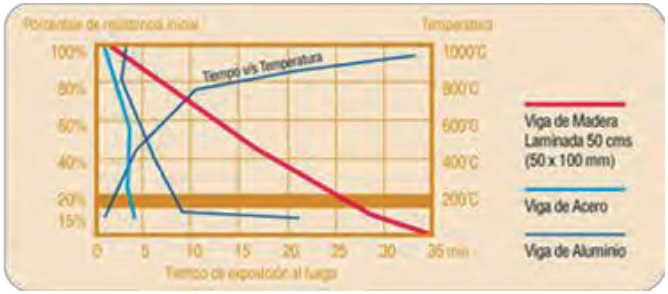
- En países como Nueva Zelanda y Japón , la madera es utilizada para construcciones de viviendas antisísmicas , la madera es un material ligero y elástico que permite desarrollar estructuras más livianas y comportarse de mejor forma en casos de movimientos sísmicos, presentando un menor grado de deformación frente a situaciones telúricas (Daniel Dolan, Profesor y PhD Universidad Washington State University).

ANTECEDENTES DE CONTEXTO QUE JUSTIFICAN LA OPORTUNIDAD

BENCHMARKING

- En países con tradición en construcción en madera, se reconoce que la madera tiene un excelente comportamiento al fuego . La madera arde muy lentamente a razón de 0,6 mm/min , y al arder la madera forma carbón, que es un excelente aislante térmico, por lo cual las estructuras de madera soportan eficazmente las altas temperaturas reinantes en un incendio .

Gráfico resistencia al fuego





POTENCIAL DE MERCADO

MERCADO MUNDIAL :

El mercado internacional de piezas, partes, placas de madera, muebles, tableros, etc. que denominamos como “Industria Secundaria”, representa actualmente:

- 301 millones de toneladas anuales en el mundo.
- 75 millones de toneladas se comercializa internacionalmente (25% se exporta en los mercados).
- Chile exporta 585 millones de dólares (0,52% del total del mercado).

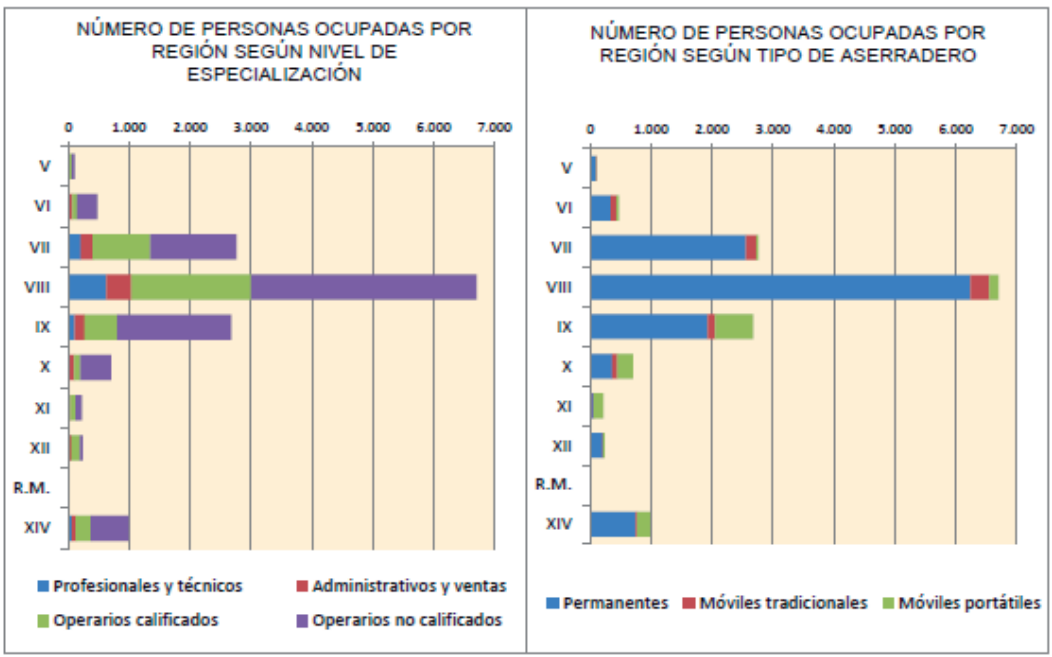
MERCADO EN CHILE :

- Se espera un crecimiento importante en el uso de la madera para la construcción sustentable.
- Se incorporarán nuevas normativas legales, nuevas tecnologías.
- Se desarrollarán especies forestales para ser aplicadas a la construcción (nitens).

TENDENCIAS DISRUPTIVAS :

- Sustentabilidad y eficiencia energética en construcciones.
- Normativa asociada a la sustentabilidad.
- Responsabilidad social empresarial.
- En el mundo hay un auge en relación con el uso de la Madera como material constructivo, porque es materia prima renovable.

OFERTA POTENCIAL – MASA CRÍTICA





11. DISCO COMPACTO CD

