

# **.campos əlíseos.**

*la comuna autosuficiente de Punta de Anaga*



Javier Fidalgo Saeta.

Memoria Técnica.

TFM. 23/01/2023.

MHab ETSAM. Aula Sancho.



# Índice

<i>Índice</i>	3
1. <i>Memoria descriptiva</i>	4
1.1. Introducción al proyecto	4
1.1.1. Emplazamiento	4
1.1.2. Problemática del lugar	4
1.1.3. Programa solución	5
1.1.4. Propuesta arquitectónica	6
1.2. Características del terreno	7
2. <i>Memoria constructiva</i>	8
2.1. Estructura nube	8
2.2. Contención de estanques	11
2.3. Subestructura de cerramientos	12
3. <i>Memoria de cálculo</i>	13
3.1. Normativa aplicable	13
3.2. Estructura nube	13
3.2.1. Materiales	13
3.2.2. Evaluación de cargas	14
3.2.3. Diseño y dimensionado de la estructura nube	15
3.2.4. Cálculo de las cimentaciones	28
3.3. Contención de estanques	31
3.3.1. Acciones	31
3.3.2. Estabilidad	33
4. <i>Memoria de instalaciones</i>	35
4.1. Balance hídrico y energético	35
4.2. Confort en refugios individuales	37
5. <i>ANEJO DE PLANIMETRÍA TÉCNICA</i>	38

# 1. Memoria descriptiva

## 1.1. Introducción al proyecto

### 1.1.1. *Emplazamiento*

El proyecto se ubica en un rincón remoto del macizo montañoso de Anaga, en el extremo nordeste de la isla de Tenerife, en el archipiélago canario.

Concretamente se desarrolla en el extremo más aislado de este macizo, una zona conocida como Punta de Anaga, y cuya población más relevante es Chamorga, la cual no supera los 50 habitantes.

El proyecto se implanta en el valle elevado conocido como Hoya de Tafada.

Coordenadas: 28°34'45.9"N 16°09'02.1"W



*Ilustración 1: Vista aérea del valle de Tafada, emplazamiento del proyecto.*

### 1.1.2. *Problemática del lugar*

El éxodo rural no es un fenómeno ajeno al archipiélago canario, siendo este especialmente pronunciado en zonas agrarias de orografía compleja, en las que la tecnificación de los procesos productivos primarios es difícilmente aplicable, resultando en un suelo poco rentable y unas formas de vida difíciles en comparación a las de la comunidad urbana.

Este es el caso del Parque Rural de Anaga, un espacio natural protegido que se corresponde con el macizo montañoso de Anaga, en el extremo nordeste de la isla de Tenerife, declarado Reserva de la Biosfera en el año 2015.

Anaga es un espacio de grandísima relevancia paisajística y natural, pero también cultural. Destaca la riqueza etnográfica de sus caseríos, donde se desarrollan formas de vida tradicionales enmarcadas en un paisaje agrario único.



No obstante, esta comarca sufre un pronunciado éxodo rural desde la segunda mitad del siglo XX debido a la falta de rentabilidad de sus procesos productivos, agrícolas y ganaderos, desarrollados con métodos tradicionales en una orografía compleja que impide su tecnificación.

Esta tendencia demográfica negativa es más acusada si cabe en la Punta de Anaga, la zona más remota e inaccesible del macizo montañoso, situada en el extremo nordeste del parque rural, donde encontramos asentamientos ya totalmente abandonados junto con sus explotaciones agrícolas. Esta problemática tiene una serie de consecuencias preocupantes:

1. Pérdida del valioso paisaje agrario tradicional de medianía y su producción.
2. Deterioro del terreno y puesta en peligro de los valores naturales del parque al carecer de la presencia de poblaciones humanas estables, herramienta imprescindible de control para la correcta conservación del entorno.

### *1.1.3. Programa solución*

Se propone la creación de una comunidad humana que recupere los bancales agrícolas tradicionales abandonados durante el último siglo, y que sirva como herramienta de control y conservación de los valores naturales del parque en su extremo más despoblado, y por tanto más vulnerable ante agentes externos al ecosistema único de Punta de Anaga.

El primer objetivo es evitar la desaparición de un paisaje productivo de valor incalculable. Actualmente la mayoría de las terrazas de Punta de Anaga se encuentran abandonadas, suponiendo un terreno deteriorado y erosionado, difícilmente reincorporable al manto de vegetación y biodiversidad original. Por tanto, la mejor opción es recuperar estas plataformas productivas para su explotación agrícola, en convivencia con el entorno natural salvaje.

En segundo lugar, la propuesta garantiza un grupo humano capaz de identificar y combatir los procesos o agentes que ponen en peligro la salud del ecosistema de la reserva y los procesos productivos y económicos de la misma. Un buen ejemplo de esta problemática es la abundante y descontrolada presencia de ganado caprino asilvestrado, el cual arrasa con especies vegetales de alto valor ecosistémico y con parcelas de cultivo en los pocos caseríos de este rincón del parque.

Por último, la comunidad supone un soporte colectivo para aquellos que buscan una alternativa vital frente al modo de vida familiar. El archipiélago canario, por su contexto histórico y geográfico, ha sido testigo de continuas fluctuaciones sociales y espirituales. Hoy observamos la tendencia al alza de distintos movimientos contraculturales alternativos que presentan un ideario distinto al del modelo social estándar y están en búsqueda de un espacio colectivo en el que desarrollarse.

Desde las nuevas formas religiosas neopaganas, inspiradas en el pasado aborígen de las islas, hasta los grupos herederos del nuevaerismo de finales del siglo pasado, se conforman colectividades en búsqueda de un nuevo modelo urbano y de sociedad, con unos valores e ideas que coinciden a

grandes rasgos con el ecologismo contemporáneo y el respeto, incluso adoración, de la naturaleza en su estado más original. La comunidad propuesta será lugar de acogida para estas vitalidades alternativas.

El valle de Tafada resulta ser el enclave idóneo para la creación del proyecto, ya que cumple las condiciones necesarias para con los objetivos anteriormente citados: es un lugar céntrico respecto a los caseríos existentes en "la punta", con acceso y cercanía a una gran superficie de bancales agrícolas recuperables, pero simultáneamente se trata de un rincón aislado y discreto en plena naturaleza, perfecto para el desarrollo comunal independiente y el control de la conservación ecosistémica.

#### *1.1.4. Propuesta arquitectónica*

El diseño arquitectónico del proyecto es resultado de dos variables principales:

##### **Integración atmosférica / autosuficiencia energética e hídrica**

La comunidad se organiza en una arquitectura de mimesis con la atmósfera del lugar, caracterizada por la presencia de neblinas traídas por los vientos alisios. La estructura simula una nube que asciende serpenteando por el fondo del valle elevado de Tafada, a más de 480 metros sobre el nivel del mar, confundándose con las masas de humedad provenientes del nordeste que acceden al barranco por este punto.

Por otro lado, la ubicación remota e inaccesible, alejada de las infraestructuras públicas de luz y agua, implican la autosuficiencia del proyecto. Se aspira a una autonomía total en materia de abastecimiento hídrico y energético, obteniendo estos recursos directamente del medio natural.

En el valle de Tafada, la obtención de agua de precipitaciones resulta insuficiente al tratarse de una cuenca hidrográfica relativamente pequeña para los usos derivados de la producción agrícola, especialmente en los meses más secos, en verano. Respecto a la obtención de energía, el recurso solar resulta escaso por la alta frecuencia de nubes densas atravesando el valle, elevado más de 450 m sobre el nivel del mar.

La respuesta por tanto a la autosuficiencia de la comunidad de Tafada debe ser el viento, siempre presente en las montañas de punta de Anaga:

Obtención de energía mediante aerogeneradores y obtención de agua mediante sistemas atrapanieblas condensadores de la humedad aportada por los vientos alisios.

La recolección hídrica a partir de los vientos alisios se remonta a tiempos prehistóricos en el archipiélago canario. Los aborígenes recogían las condensaciones de la laurisilva en pequeños estanques situados bajo el árbol. Esta misma idea se traslada al presente proyecto:

La arquitectura, porosa y discontinua, incorpora en su sistema dispositivos atrapanieblas. Por la naturaleza permeable de la estructura, estas mallas se hacen totalmente efectivas, enfrentando de forma constante flujos de viento húmedo. De esta forma, como si de una verdadera nube se tratara, el

proyecto absorbe agua y, eventualmente y por acción de la gravedad, esta acaba precipitando, en este caso sobre una serie de estanques adaptados en el fondo del barranco de Tafada.

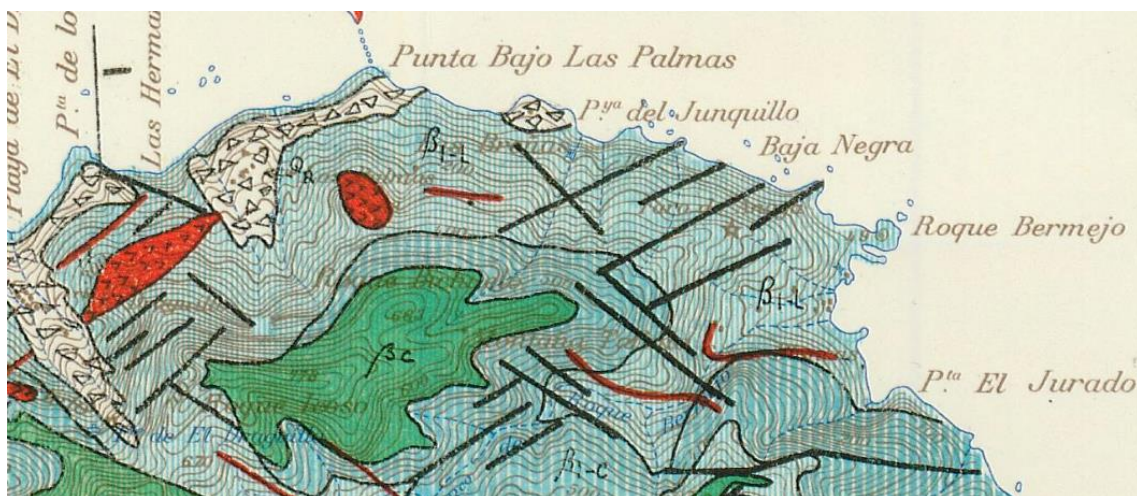


*Ilustración 2: Vista cenital del proyecto, se observa la estructura integrada en la atmósfera nebulosa del lugar, y bajo ella, una serie de 8 estanques escalonados de acumulación de agua, adaptados a la orografía del barranco.*

## 1.2. Características del terreno

Por el origen volcánico del archipiélago canario, predominan suelos de roca ígnea o magmática.

La Hoya de Tafada se caracteriza por la presencia de traquibasaltos y fonolitas máficas. No obstante, en el tramo bajo del valle, donde se desarrolla el proyecto, encontramos vertientes rocosas desnudas de coladas basálticas. En el fondo del barranco, por acción de erosión y sedimentación, encontramos un terreno más disgregado, aunque con presencia aun de afloramientos rocosos.



*Ilustración 3: Captura de la hoja 1097, correspondiente a Punta de Anaga, del mapa geológico de España a escala 1:50.000, IGME.*

## 2. Memoria constructiva

### 2.1. Estructura nube

#### *1. Cimentación de anclaje a roca*

El estrato basáltico desnudo en el barranco del valle de Tafada ofrece una solución de cimentación por anclaje directo a roca. Estos serán de tipo activo (sometidos a una carga de tesado, después de su ejecución, generalmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista en proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última) y permanente. Los tensores serán barras Dywidag de 63 mm de diámetro, que irán recubiertas por lechada de inyección única global para la generación del bulbo de agarre al terreno. La longitud de anclaje de estas barras debe ser considerable para garantizar una suficiente transmisión de esfuerzos a la roca, especialmente en los apoyos expuestos a tracciones por flexión de la estructura.

Se deberá atender correctamente al aislamiento de estas cimentaciones por su protección frente a la corrosión por agentes atmosféricos y del terreno, y corrosión galvánica frente al aluminio de la superestructura. La conexión de estos anclajes con la estructura nube requerirá de piezas intermedias especiales que solucionen el ya mencionado problema de compatibilidad de metales, y, especialmente, el desafío de transmisión de cargas.

#### *2. Fabricación aditiva metálica in situ*

Por la situación remota del proyecto, sólo accesible desde rutas de senderismo, los planteamientos constructivos convencionales supondrían un alto grado de prefabricación, con componentes transportados a través de los senderos o por medio aéreo, con las complicaciones que esto supone, más en un entorno abrupto y con presencia de vientos constante.

Frente a esto, se propone la fabricación in-situ mediante tecnología de impresión 3D que permita materializar el diseño arquitectónico adaptado al lugar, sin restricciones impuestas por la industria constructiva.

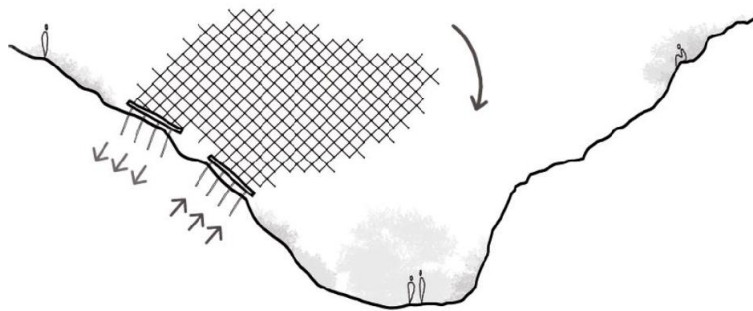
La tecnología en cuestión es el WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing), o fabricación aditiva mediante arco de soldadura e hilo metálico, que permite la impresión 3D de estructuras metálicas. Con este método el material constructivo, aluminio en este caso, se traslada en forma de rollos de hilo hasta el emplazamiento (frente al transporte de miembros estructurales prefabricados completos), junto con los brazos robóticos que ejecutan la fabricación.



*Ilustración 4: Brazo robótico UR10, de la firma Universal Robots, escogido para la fabricación aditiva de la estructura por su óptima relación alcance / peso: 1300 mm / 33,5 kg.*

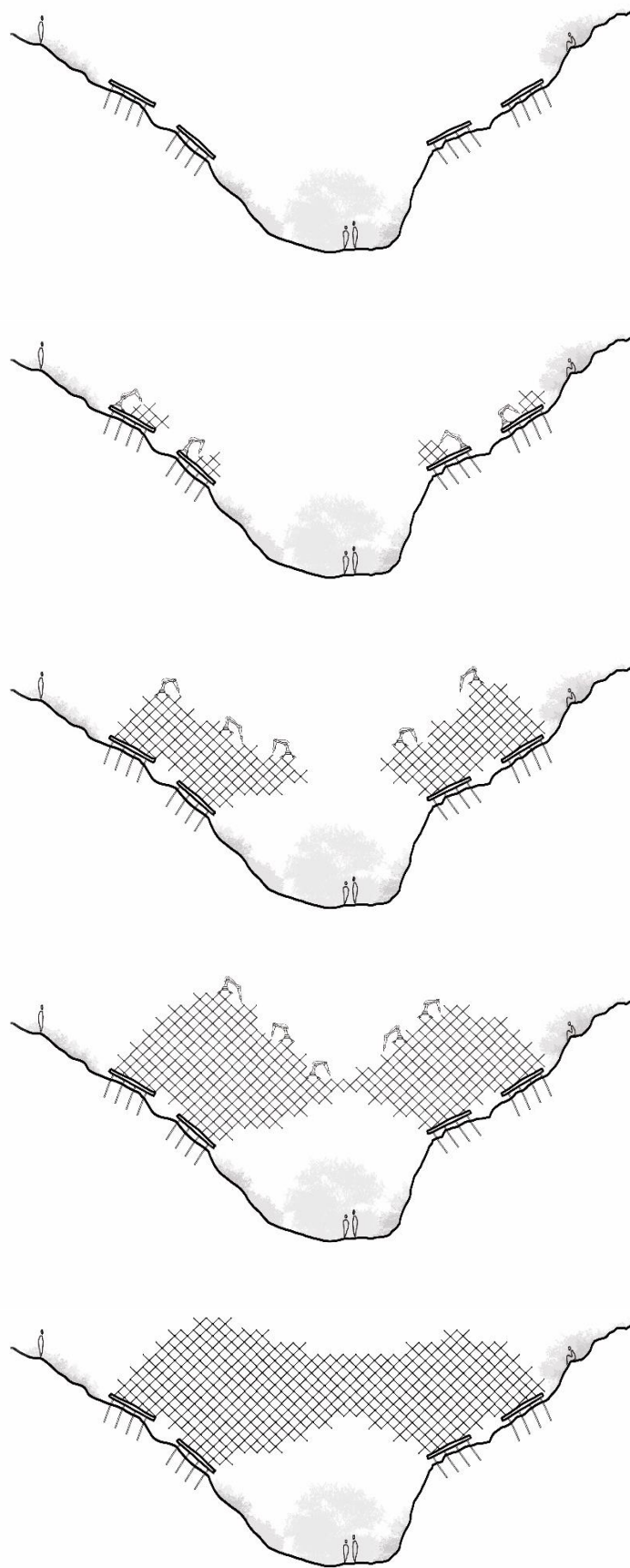
La estructura crece desde los anclajes a roca, con los brazos robóticos de impresión encaramados a la misma, por lo tanto, esta debe ser autoportante en el proceso constructivo.

Durante su ejecución, la estructura funciona en voladizo (empotrada en una sola de las vertientes del valle) sosteniendo su propio peso y el de los robots de fabricación aditiva, hasta que se une con el brazo opuesto. Encontramos partes de la nube que apoyan únicamente en un lado del barranco, funcionando en voladizo no solo en la fase de ejecución sino también una vez finalizada la obra. Los apoyos por lo tanto trabajan a compresión en la parte inferior y a tracción en la superior, componiendo el par de fuerzas necesario para resistir el momento.



*Ilustración 5: Diagrama de comportamiento de la estructura en tramo voladizo.*





*Ilustración 6: Diagramas del proceso constructivo por fabricación aditiva de la estructura.*

## 2.2. Contención de estanques

Los estanques del proyecto almacenan el agua para su posterior consumo y para su empleo en la generación energética (hidroeléctrica) gracias al salto de 3 metros entre cada uno de ellos.

Para las estructuras de contención de aguas se busca un sistema constructivo que emplee en su mayoría elementos presentes en el entorno natural de implantación del proyecto.

Los bancales agrícolas tinerfeños se configuran modificando el terreno y generando terrazas sostenidas por muros de piedra volcánica presente en el lugar. Tomando este mismo sistema, bajo la estructura nube se desarrollan una serie de 8 estanques a modo de bancales escalonados, que aprovechan la orografía del valle adaptándose a su cuenca y cerrando la infraestructura con muros de piedra en seco al modo tradicional.

En la parte central del muro, alejado de las paredes del barranco, se incorpora un sistema de contención ligero, un muro en "L" rígida, en madera, cuyo objetivo es aumentar la capacidad del estanque, reduciendo el volumen de piedras necesario, facilitar la impermeabilización, y servir como soporte para las instalaciones energéticas (bombas y turbinas) y de aliviadero del propio sistema de contención. La estabilidad de este muro ligero se consigue gracias al peso propio del volumen de piedras apoyado en su talón.



*Ilustración 7: Muro de contención tradicional de piedra en seco, sistema empleado para la contención de aguas en el proyecto.*

## 2.3. Subestructura de cerramientos

En los espacios colectivos del proyecto se busca la mayor transparencia posible para no interferir en el objetivo conceptual de habitar una nube. Se busca un espacio poroso, desconcertante, en el que sus usuarios parecen flotar en las distintas estancias. Para lograr este objetivo es importante el empleo de planos de vidrio para suelos y cerramientos. Este es un reto, especialmente para los suelos, ya que esta solución debe ser suficientemente resistente ante el peso de los usuarios, pero, más allá de esto, es imprescindible controlar el nivel de resbaladricidad de los mismos.

El proyecto se inserta en una atmósfera húmeda, y las galerías de distribución dentro de la estructura nube se desarrollan expuestas al ambiente exterior precisamente para no interferir en las corrientes de viento cargadas de diminutas gotas de agua. Por ello, los suelos de estas vías de distribución deben tener el máximo grado de resistencia al deslizamiento: 3.

La subestructura para suelos y cerramientos consiste en un sistema de sujeciones puntuales mediante piezas araña. La estructura primaria, de aluminio fundido mediante ejecución WAAM, consiste en barras y nudos. En estos nudos aparecen huecos dejados por el sistema de fabricación aditiva en los que es posible la instalación de esta subestructura.

Las arañas de sujeción puntual son de acero, pero su convivencia con el aluminio primario está garantizada mediante conexiones con poliamidas. Las piezas araña buscan el mismo lenguaje de aspa de la estructura primaria. Mantienen la esbeltez conceptual y la búsqueda de transparencia máxima.

Se diseñan diversos tipos de arañas adaptadas a los diferentes requerimientos estructurales del proyecto, con distinto número de patas o distinta inclinación de sus anclajes. Se diseñan piezas específicas para elementos como escaleras o asientos en los espacios públicos del proyecto.

Además, estas piezas araña incorporan una luz LED en su tornillo de instalación en eje, de forma que resuelven la iluminación del proyecto, ya que la comuna está repleta de este sistema subestructural, allí donde haya algún tipo de suelo o cerramiento.

No todas las arañas tendrán este terminal de iluminación, por ejemplo, en las celdas o refugios las sujeciones que sostienen paneles de fachada no funcionan con LED ya que su iluminación no sería eficiente contra un plano tan cercano. Sin embargo, en general, todas las arañas sosteniendo paños de vidrio, ya sea solado, fachada o cubrición, aportarán luz cuando sea necesario, iluminando a través del cristal.

Por la noche, la iluminación de la estructura nube, produce un efecto de tormenta, como rayos en su interior. Y a medida que pasan las horas, esta tormenta va desapareciendo hasta que no existe luz activa en el proyecto. En este momento, desde las camas del refugio se puede apreciar la bóveda celeste, confundiendo sus astros con reflejos puntuales en el entramado metálico de la estructura principal.



### 3. Memoria de cálculo

La memoria de cálculo, tras señalar las normas aplicables a los procesos de dimensionado y comprobación de las estructuras, se divide en los dos mundos que componen el proyecto, la superestructura nube, por un lado, y el sistema de contención de estanques, por otro, siendo elementos con un funcionamiento estructural totalmente diferente e independiente.

#### 3.1 Normativa aplicable

- CTE DB SE: Seguridad Estructural
  - o DB SE-AE: Acciones de la edificación
  - o DB SE-C: Cimientos
  - o DB SE-A: Acero
  - o DB SE-M: Madera
- Eurocódigo 9: Diseño de estructuras de aluminio
  - o Parte 1-1: Reglas generales
  - o Parte 1-2: Cálculo de estructuras expuestas al fuego
- Código estructural

También se han seguido, en materia de anclajes a roca, las indicaciones del *PG-3: Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras Y Puentes*, y la *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*, elaborada por la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras con la colaboración de la Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS).

#### 3.2 Estructura nube

##### 3.2.1 Materiales

Para la ejecución por fabricación aditiva de la estructura nube se emplea aluminio serie 5000, con las siguientes características:

Denominación: Aluminio EN AW-5083

Peso específico: 2.700 kg/m<sup>3</sup>

Módulo de elasticidad: 70.000 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Poisson: 0,3

Resistencia de cálculo: 215 N/mm<sup>2</sup>

### 3.2.2 Evaluación de cargas

En primer lugar, el peso propio de la estructura se incluye durante el proceso de diseño computacional de la misma, y se expondrá su estrategia de integración en el siguiente capítulo, en su apartado correspondiente (se trata del último paso en el proceso de diseño).

Respecto a las acciones permanentes y variables para el cálculo de la estructura, se diferencian 5 tipos de espacios en el proyecto que se corresponden con 5 valores de carga de cálculo, aplicables a la superficie sobre la que se posan en la estructura nube. Estos valores dependen de su categoría de uso como espacios arquitectónicos, y de sus soluciones constructivas en solado y cerramiento, y se asignan teniendo en cuenta la normativa del DB SE-AE.

Denominación de la superficie de carga	A	B	C	D	E
Descripción general	Espacios cerrados opacos de uso privado o poca afluencia	Espacios abiertos o transparentes de poca afluencia	Espacios comunes abiertos o transparentes	Espacios cerrados opacos técnicos o de almacenaje	Espacios técnicos abiertos o transparentes
Programa correspondiente	Celdas individuales, baños, vestuarios, cocina, etc.	Pasillos y escaleras de distribución y pequeñas zonas de convivencia abiertas	Comedor, salones comunes y espacios de reunión en cubierta	Cuartos técnicos y almacenes	Superficie técnica de gestión de aguas, con maquinaria y depósitos
Sistema constructivo de suelo y cerramiento	Suelo y fachada de panel sandwich (e 80 y 50 mm), cubierta de vidrio 8+8 mm	Suelo de vidrio antideslizante 8+8 mm, cubrición de vidrio simple 8 mm	Suelo, fachadas y cubierta con vidrio 8+8 mm	Suelo y fachada de panel sandwich (e 80 y 50 mm), cubierta de vidrio 8+8 mm	Suelo de vidrio antideslizante 8+8 mm, cubrición de vidrio simple 8 mm
Peso propio estimado por suelo y cerramiento, tabiquería despreciable (kN/m <sup>2</sup> )	2	1,5	3	2	1,5
Peso propio mayorado para cálculo x1,35 (kN/m <sup>2</sup> )	2,7	2,025	4,05	2,7	2,025
Subcategoría de uso correspondiente según DB SE-AE Tabla 3.1.	A1	A1 + 1 kN/m <sup>2</sup> (acceso y evacuación)	C3	A2	-
Sobrecarga de uso correspondiente (kN/m <sup>2</sup> )	2	3	5	3	7
Sobrecarga de uso mayorada para cálculo x1,5 (kN/m <sup>2</sup> )	3	4,5	7,5	4,5	10,5
Carga final de cálculo, sumatorio de peso propio y sobrecarga de uso (kN/m <sup>2</sup> )	5,7	6,525	11,55	7,2	12,525

Tabla 1: Clasificación de superficies de carga del proyecto aplicables a la estructura nube.

Para el diseño de la estructura nube no se tienen en cuenta cargas horizontales de viento. Estas se consideran despreciables, ya que se trata de una estructura tridimensional permeable, alargada en el eje dominante de los alisios, y adaptada al relieve del barranco con apoyos a ambos lados del valle, de forma que el momento desestabilizador es residual, igual que los sobreesfuerzos por flexión que produciría.

### 3.2.3 Diseño y dimensionado de la estructura nube

La estructura nube, de naturaleza orgánica, permeable y discontinua, se obtiene por optimización topológica empleando el software "t0pos", de archiseb, para Rhino Grasshopper.

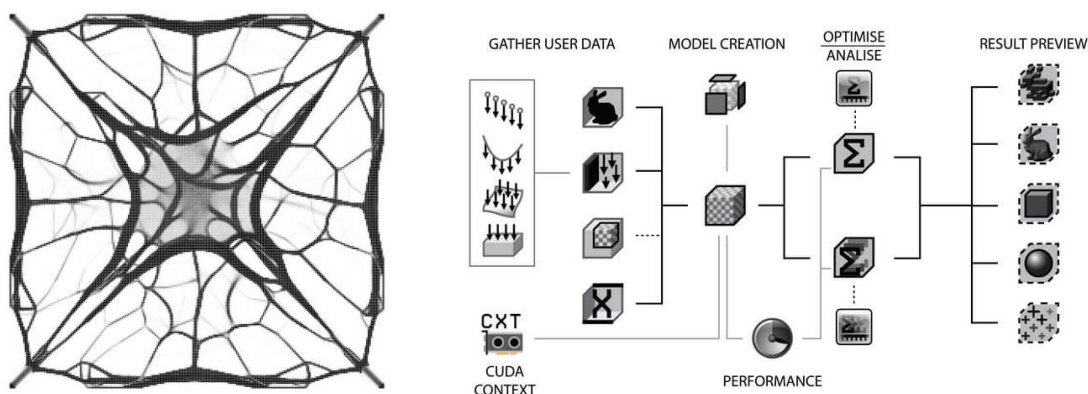


Ilustración 8: Software de optimización topológica 3D "t0pos", de archiseb, y sus componentes de cálculo para Rhino Grasshopper.

A continuación, se describe paso por paso el proceso de diseño de la estructura:

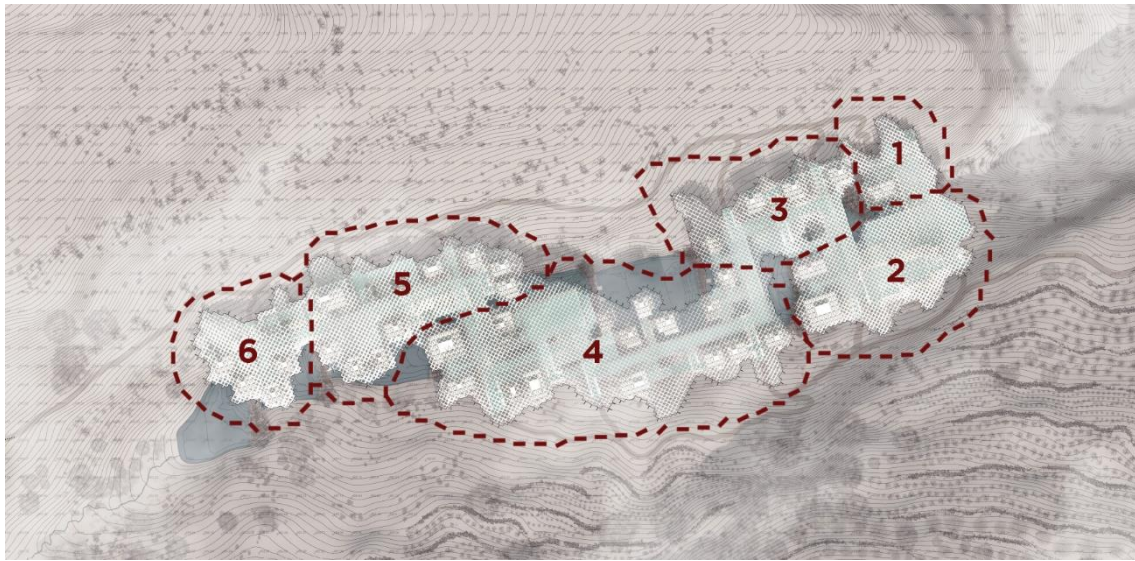
#### 1. División por tramos de cálculo

Previo a la utilización del software se plantea una estrategia de división del proyecto en 6 tramos por dos motivos.

Primero, al tratarse de una estructura de grandes dimensiones en relación con su resolución de cálculo (125,6 m de longitud total frente a una resolución de 0,80 m), es inteligente subdividir el dominio para reducir el coste computacional en la optimización. Esto también facilita la labor a la hora de localizar errores o realizar modificaciones en el diseño sin tener que recalcular el proyecto entero.

En segundo lugar, como se observa en la memoria descriptiva constructiva del proyecto, durante el proceso de ejecución de la estructura, esta trabaja siempre en voladizo, es decir, apoyada (empotrada) en una sola de las vertientes del valle, ya que crece desde los cimientos, no siendo una estructura prefabricada que aterriza en el lugar. En algunas partes la estructura queda en voladizo una vez finalizada su ejecución, pero en otras las mitades provenientes de ambas vertientes del valle acaban convergiendo sobre el barranco, generando una especie de estructura puente. Si se introdujese el proyecto completo para su optimización, estas secciones puente buscarían una morfología de comportamiento apoyado-apoyado, frente al comportamiento empotrado-empotrado que es el que correspondería a la realidad de su ejecución material. Por todo esto, los tramos en los que se subdivide el proyecto corresponden a apoyos en una

única vertiente del valle, forzando la optimización topológica desde crecimiento empotrado.



*Ilustración 9: Subdivisión del proyecto en 6 tramos de cálculo.*

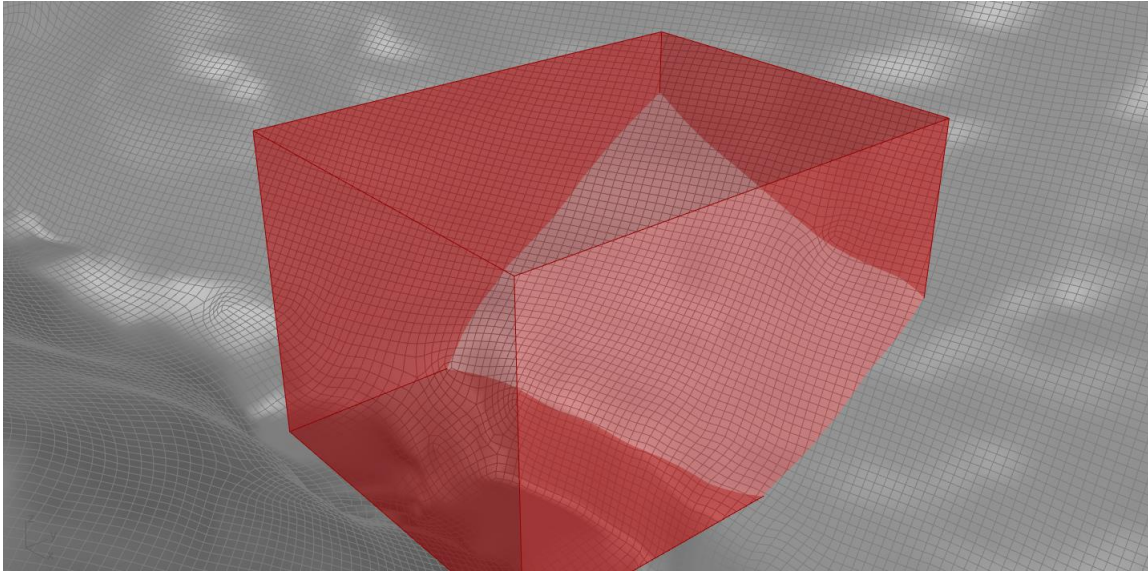
Esta subdivisión en tramos de cálculo tiene el inconveniente evidente de que la optimización no aprovecha al máximo la colaboración y continuidad global de la estructura. No obstante, el factor crítico de cálculo es la flexión que se genera al sobrevolar el barranco en su dirección transversal, y no su resistencia hacia fuerzas horizontales en dirección longitudinal, que es precisamente el eje que se ve interrumpido por esta subdivisión. En todo caso, tras finalizar el diseño computacional, se procede al modelado manual (por adición de ciertos módulos estructurales) para garantizar la continuidad orgánica de la estructura entre los distintos tramos de cálculo.

Para la representación de los siguientes pasos en el proceso de diseño se utilizará el tramo 6 de la estructura como ejemplo.

## *2. Definición del dominio de cálculo*

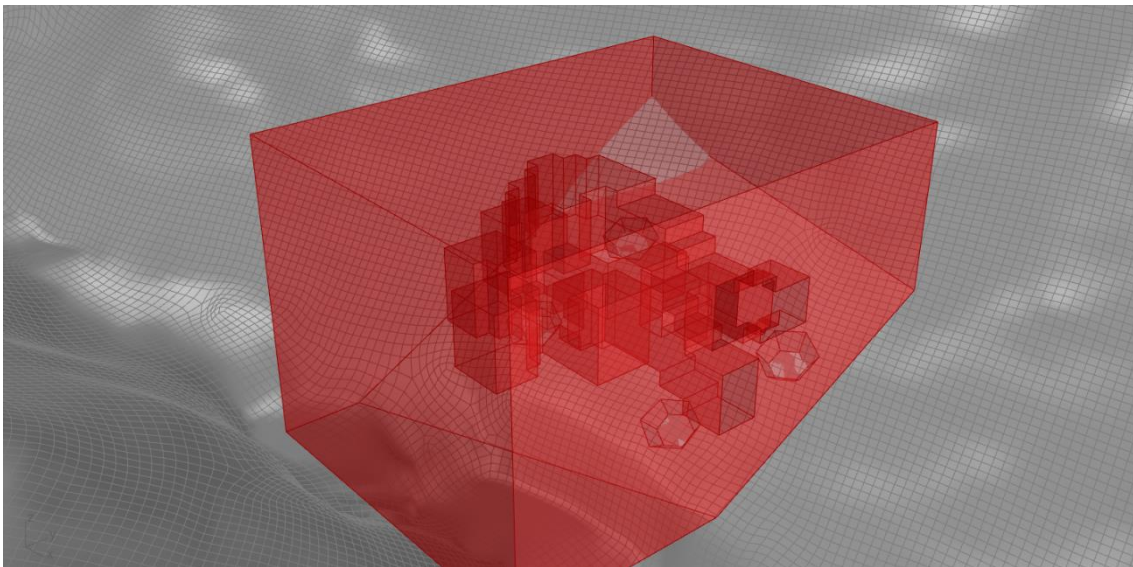
El primer paso dentro del software es la definición del dominio tridimensional en el que se producen los cálculos de optimización. Este paso también incluye la especificación de las propiedades del material de la estructura.





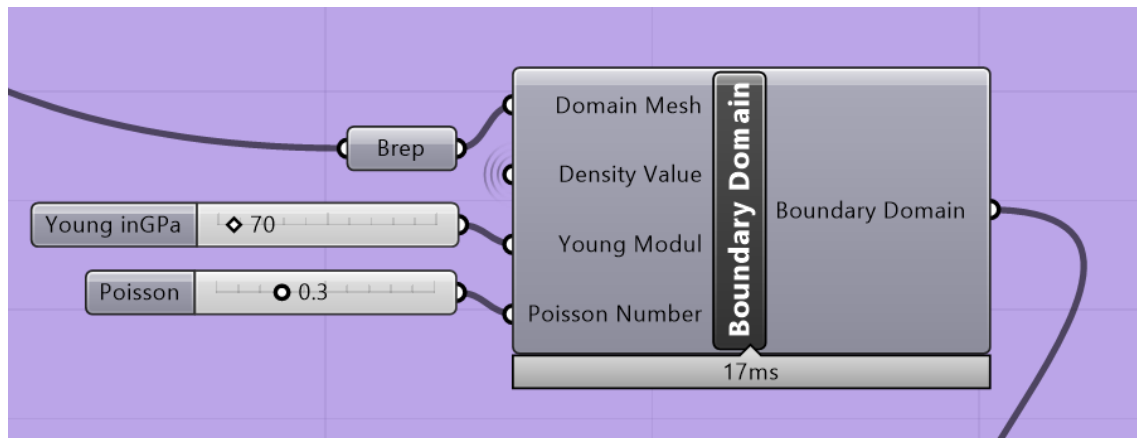
*Ilustración 10: Captura del volumen de dominio bruto del tramo 6, con el suficiente tamaño como para no entorpecer el crecimiento optimizado de la estructura, e incluyendo todos los espacios del proyecto correspondientes a su tramo.*

A este dominio de cálculo inicial, o bruto, se le deben realizar unas modificaciones de carácter restrictivo para que la estructura generada sea arquitectura practicable. Estas restricciones quedan impuestas por la funcionalidad del proyecto, ya que supondrán huecos o espacios dentro de la estructura para que esta pueda ser accesible, habitable y transitable. De esta forma, el software ignora estos espacios a la hora de crecer hacia una forma óptima, quedando siempre diáfanos. También se restringen otros elementos como es el propio terreno, para evitar que el programa genere una estructura que lo atraviese.



*Ilustración 11: Captura del dominio de cálculo final del tramo 6, con restricciones, espaciales, de terreno, y de confinamiento de apoyos, aplicadas.*

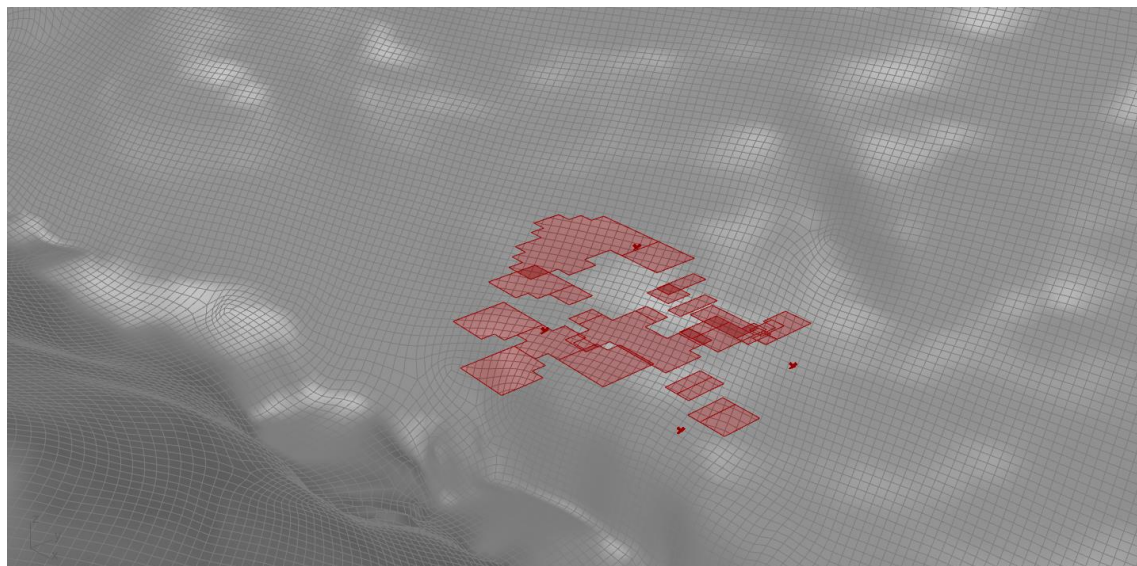
Por último, se introducen los datos requeridos del material de cálculo. El material escogido para la estructura es el aluminio, por su ligereza y durabilidad frente a agentes corrosivos presentes en el entorno del proyecto.



*Ilustración 12: Captura del componente de tOps de dominio de cálculo, con inputs de volumen de dominio y propiedades del material de cálculo.*

### 3. Definición de cargas y soportes

El siguiente paso es definir las superficies horizontales de uso del proyecto, con su correspondiente valor de carga vertical asignado, así como los puntos de apoyo de la estructura en este dominio. Estos últimos se introducen en forma de volúmenes, que corresponderían aproximadamente con la huella de la superficie de anclaje a roca empleado.



*Ilustración 13: Captura de las superficies de carga vertical y los puntos soporte de la estructura en el tramo 6.*

En esta fase del diseño no se tiene en cuenta el peso propio de la estructura, esta se incluirá después de un primer dimensionado.

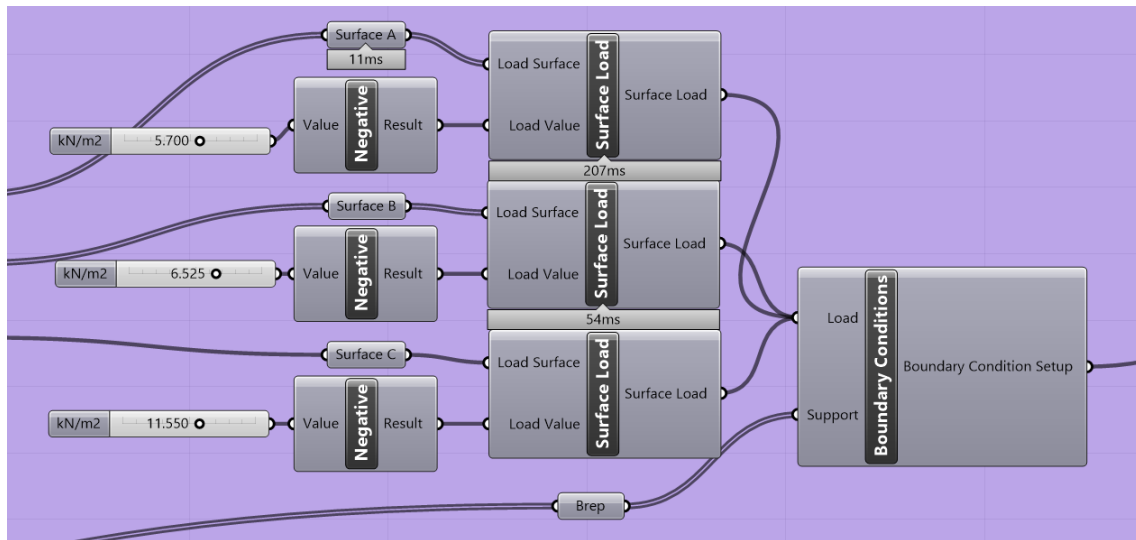


Ilustración 14: Captura del componente de tOpos de cargas y soportes, con inputs de cargas superficiales, con valor asignado según clasificación de espacio (en este caso A, B y C), y volúmenes correspondientes a los puntos de apoyo de la estructura.

#### 4. Generación del modelo de cálculo

Previo al proceso de optimización se determina la resolución de la forma que queremos obtener, es decir, el tamaño de los vóxeles en los que se divide el dominio de cálculo. Para este proyecto la modulación escogida es de 80x80x80 cm, por un motivo funcional, principalmente de mantenimiento de la estructura y de las instalaciones que la completan como proyecto arquitectónico y comunidad habitable. Esta modulación permite que una persona acceda al interior de la maraña estructural y pueda alcanzar todos los elementos que se desarrollan en sus tres dimensiones.

La dimensión máxima del dominio en el eje x es importante, ya que a la hora de escoger la resolución de los cálculos se tendrá en cuenta esta longitud. En nuestro caso (tramo 6) esta longitud es de 20 m, por lo que indicamos una resolución de 25 ( $20/25=0.80$ ).

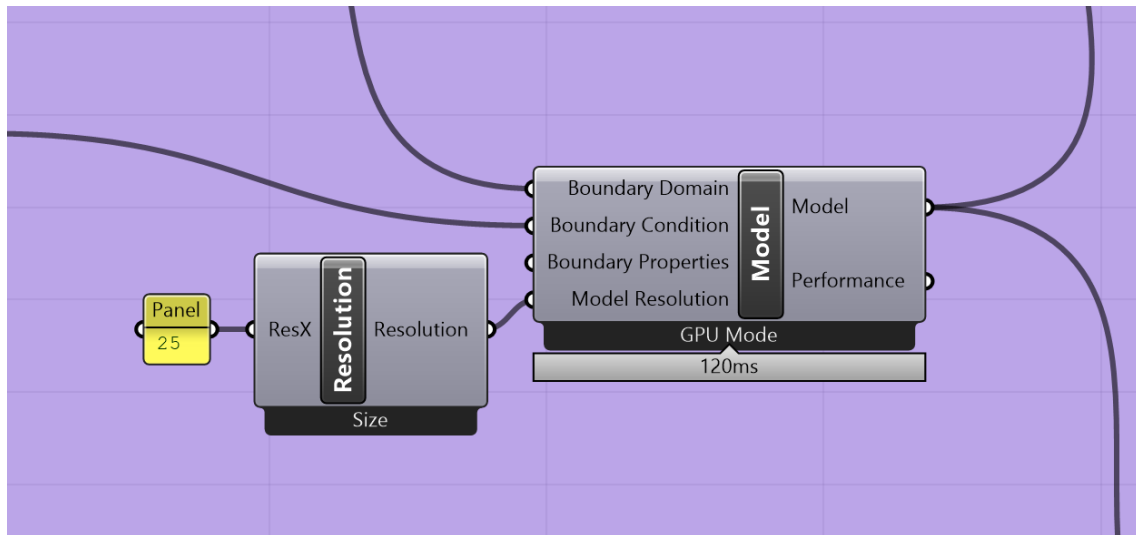


Ilustración 15: Captura del componente de tOpos de modelo de cálculo, con inputs de dominio, cargas y soportes, y resolución del modelo, generada en función de las subdivisiones requeridas en el eje x.

Tras definir esta resolución, el programa genera un modelo sintetizando todos los datos anteriormente definidos. Esta será la base de análisis de cara al siguiente paso: la optimización topológica.

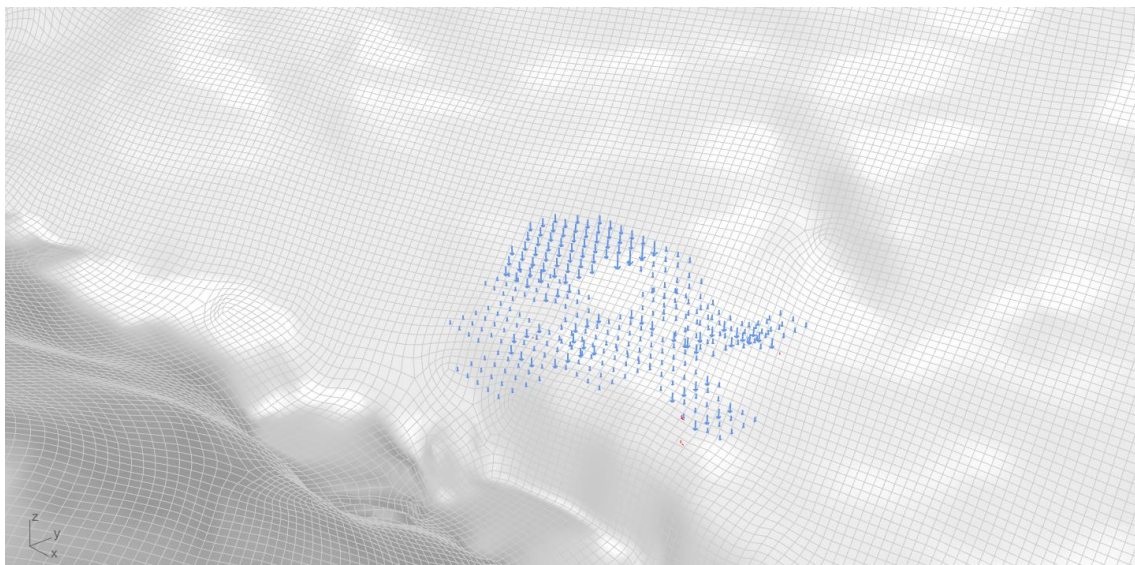


Ilustración 16: Captura de la visualización que ofrece tOpos para el modelo de cálculo, tramo 6.

## 5. Optimización topológica

Con el modelo de cálculo podemos proceder al empleo del motor de optimización topológica 3D facilitado por el software. Previo al análisis, es necesaria la definición de ciertos parámetros, como son el número de iteraciones máximas (número de veces que el motor refina el modelo hacia una forma óptima), o la fracción de volumen del material. Este último dato es



de gran importancia, indica la densidad que supone el programa para el material estructural. Determinamos que la fracción de volumen sea de 0,1, es decir, el software entiende que los vóxeles en los que está dividido el dominio no son macizos, sino que tienen una densidad del 10%.

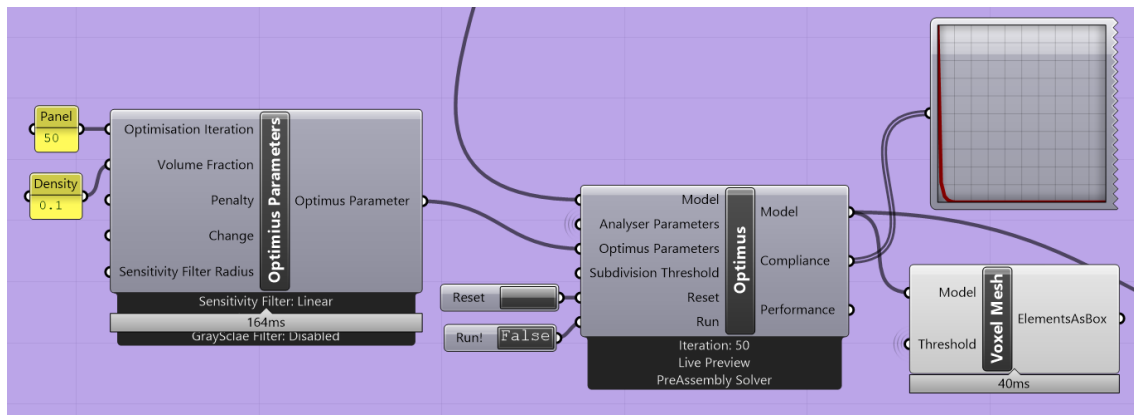


Ilustración 17: Captura del componente de optimización de tOpos, con inputs del modelo de cálculo y de ciertos parámetros necesarios para su ejecución.

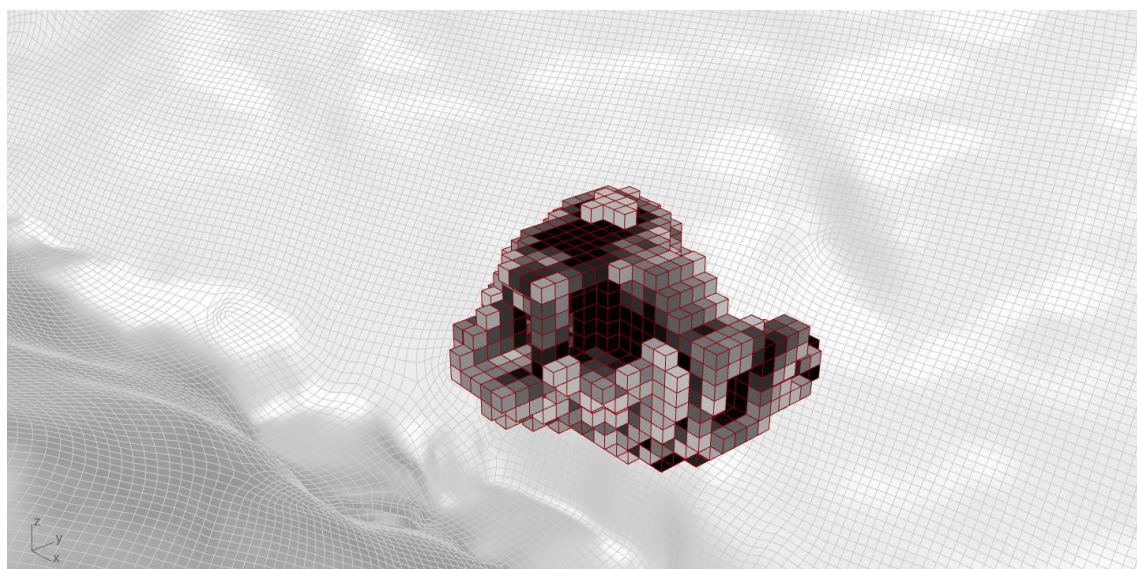


Ilustración 18: Captura de la visualización que ofrece tOpos para el modelo resultado de la optimización, tramo 6.

## 6. Obtención de esfuerzos estructurales por puntos

El resultado del análisis por optimización topológica se presenta en un componente del software que nos ofrece los principales esfuerzos aplicados en cada uno de los puntos en los que quedó subdividido el dominio (centro de los vóxeles) y en distintas direcciones (cruces de esfuerzo). Nosotros atendemos al valor de Von Mises como esfuerzo sumatorio determinante para el dimensionado de la estructura.

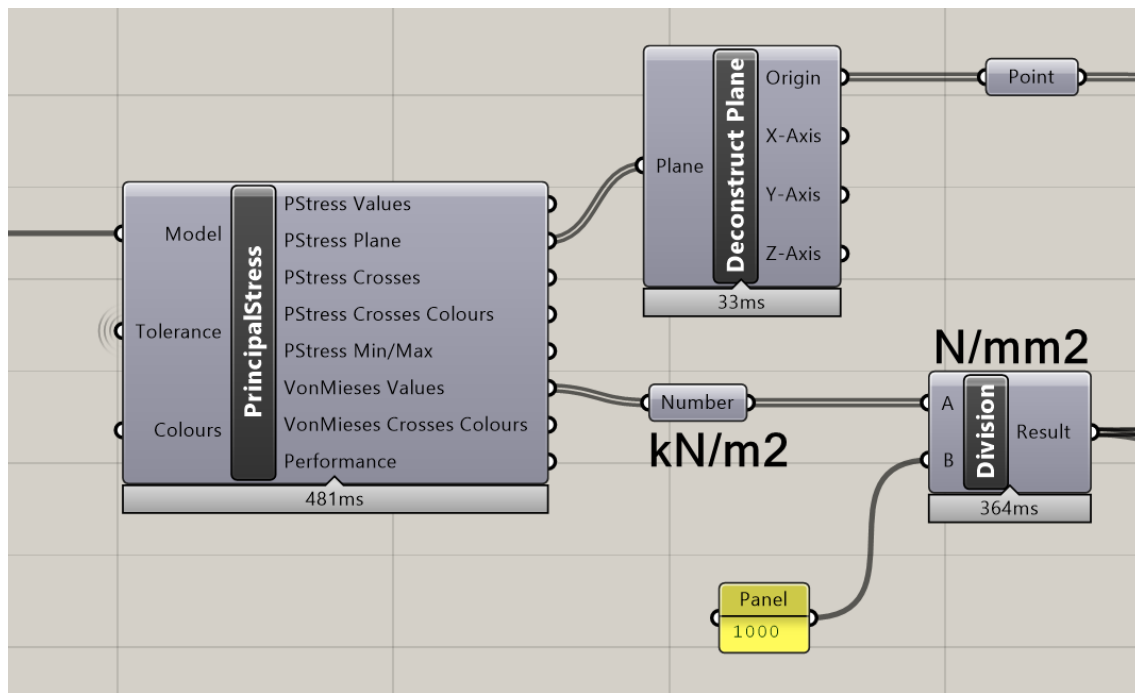


Ilustración 19: Captura del componente de tOpos que ofrece los resultados del análisis por optimización topológica, extrayendo en este caso los valores de Von Mises (presentados en  $\text{kN/m}^2$  y traducidos a  $\text{N/mm}^2$ ) en relación con su punto de aplicación en el dominio tridimensional.

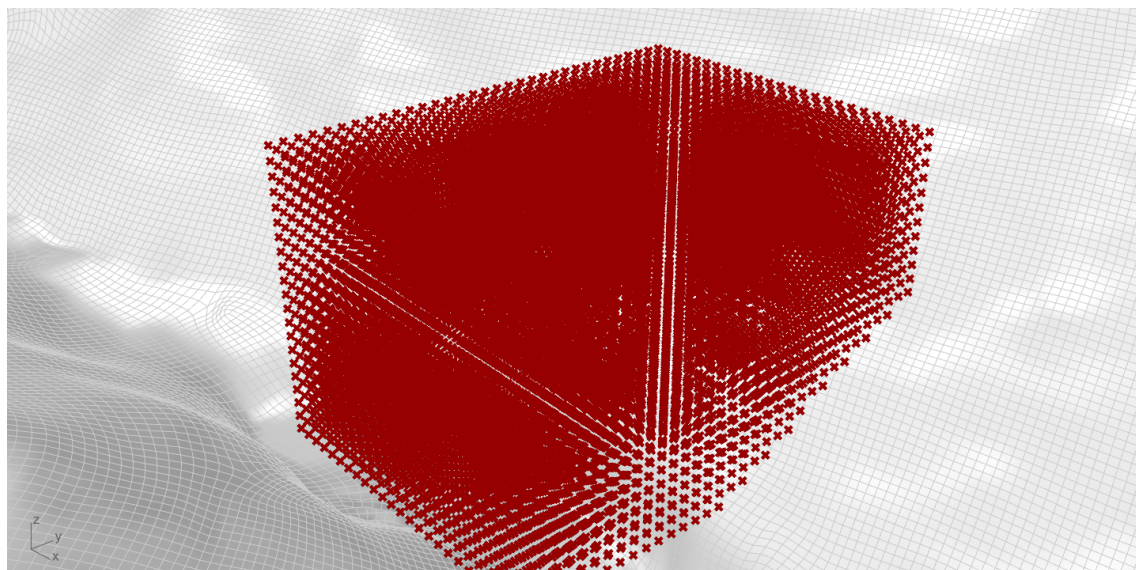


Ilustración 20: Captura de la nube de 13.040 puntos componentes del dominio de cálculo en el tramo 6 del proyecto.

Los 13.040 puntos componentes del dominio de cálculo en el tramo 6 del proyecto resultan con un valor de Von Mises asignado. No obstante, la mayoría de estos esfuerzos son mínimos y por tanto despreciables. Se realiza un descarte de todos aquellos puntos cuyo valor de Von Mises esté por debajo de  $1 \text{ N/mm}^2$ , quedando la nube reducida a 2.189 puntos.

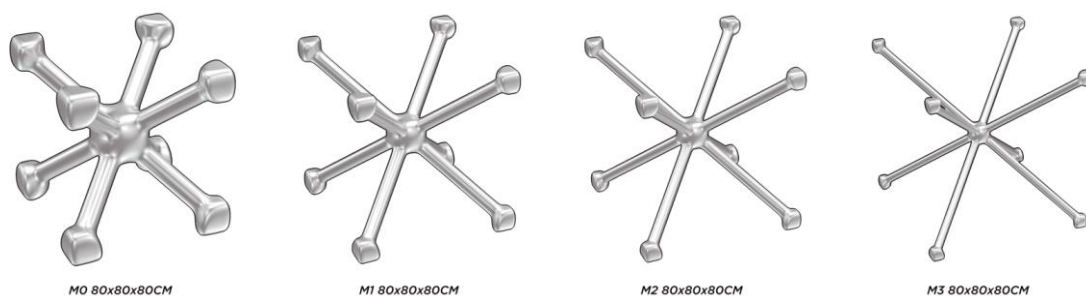


*Ilustración 21: Captura de la nube de 2.189 puntos, acotación del dominio de cálculo a los valores superiores a 1 N/mm<sup>2</sup>, tramo 6.*

## *7. Dimensionado: asignación de módulos estructurales*

Dentro de esta nube de puntos acotada existe una gran variedad en la magnitud de los requerimientos estructurales, asignados a cada uno de los vóxeles correspondientes, los cuales recordemos que se han supuesto en el análisis con una densidad del 10%. Por lo tanto, resultaría poco eficiente asignar a todos los puntos el mismo módulo estructural, el cual tendría que responder a la mayor exigencia estructural encontrada entre todos los datos del análisis.

En este sentido se decide diseñar un módulo con 4 variantes, de más resistente y menos ligera, a menos resistente y más ligera, buscando su reparto correspondiente en la estructura en busca de un mayor ahorro de tiempo de ejecución y material empleado.



*Ilustración 22: Representación de las 4 variantes, M0/M1/M2/M3, del módulo estructural del proyecto.*

El módulo tiene las mismas dimensiones del vóxel de resolución en el que se insertaría, 80x80x80 cm, y consiste en un aspa tridimensional en el que las esquinas opuestas del cubo se conectan por 4 barras en total, que cruzarían

precisamente en su punto central. Las variantes del módulo juegan con la modificación del diámetro de sus barras, implicando distintas densidades de la pieza respecto al vóxel macizo de referencia.

	Macizo	M0	M1	M2	M3
Dimensiones (cm)	80 x 80 x 80	80 x 80 x 80	80 x 80 x 80	80 x 80 x 80	80 x 80 x 80
Material	Aluminio EN AW-5083	Aluminio EN AW-5083	Aluminio EN AW-5083	Aluminio EN AW-5083	Aluminio EN AW-5083
Densidad respecto al cubo macizo	1	0,12	0,05	0,03	0,014
Peso (kg)	1382	176	70	43	20
Carga por unidad (kN)	13,54	1,72	0,69	0,42	0,20
Diámetro de barras (mm)	-	100	68	54	38
Relación con densidad de cálculo: 0,1	-	1,2	0,5	0,3	0,14
Relación con tensión máxima de cálculo: 215 N/mm <sup>2</sup>	-	258	107,5	64,5	30,1
Dominio resistente de distribución dentro de la estructura (N/mm <sup>2</sup> )	-	258 - 107,5	107,5 - 64,5	64,5 - 30,1	30,1 - 0

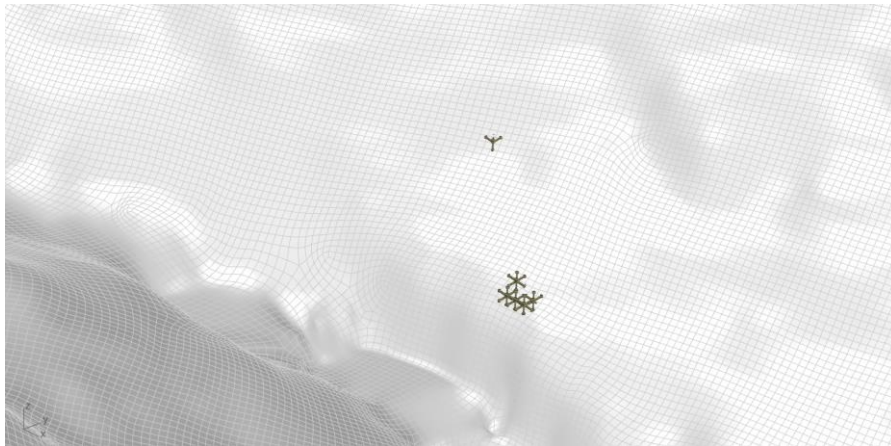
*Tabla 2: Características de las variantes del módulo estructural, así como sus dominios resistentes correspondientes para su distribución en la estructura diseñada.*

Haciendo una relación entre los requerimientos estructurales, resultado del análisis para una densidad del 10%, y la densidad que suponen los módulos estructurales, desde el 12% hasta el 1,4%, podemos elaborar unos dominios de distribución o asignación en la estructura para cada variante del módulo.

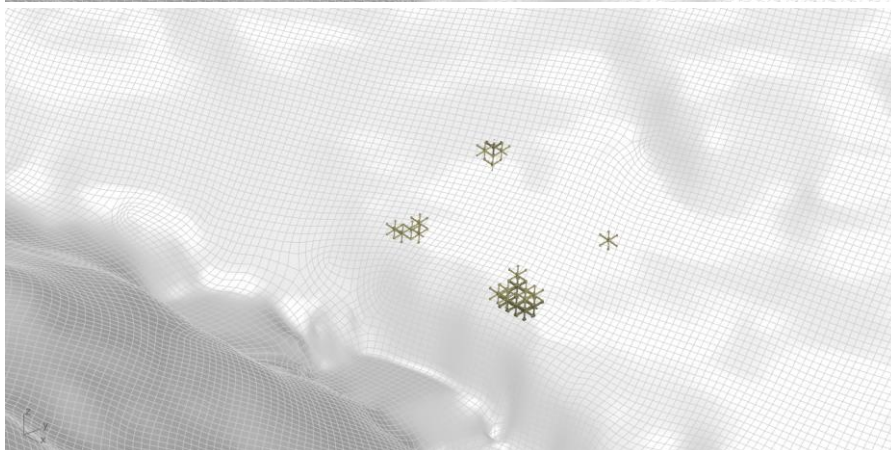
Por ejemplo, si en un punto resultado de la optimización se requiere una resistencia equivalente a la máxima de cálculo del material (215 N/mm<sup>2</sup>), el módulo M0, al tener una densidad superior a la de cálculo (12>10), podría asumir este valor holgadamente. Concretamente M0 podría asumir su asignación a puntos con un requerimiento inferior a 1,2 veces la resistencia máxima de cálculo del material ( $1,2 \cdot 215 = 258$  N/mm<sup>2</sup>). M0 se asigna a aquellos puntos con requerimientos estructurales entre 258 N/mm<sup>2</sup> y el límite asumible por la variante inmediatamente menos resistente, M1, que sería de 107,5 N/mm<sup>2</sup> ( $0,5 \cdot 215$ ).

De esta forma, también entendemos que 258 N/mm<sup>2</sup> es el mayor requerimiento estructural asumible por este sistema, de forma que si en el diseño aparecen valores que superen esta cifra, debe recalcularse modificando ciertos parámetros iniciales como pueden ser el número, tamaño o posición de los apoyos, o la configuración general de los espacios, hasta que el valor máximo de Von Mises no supere dicho número.

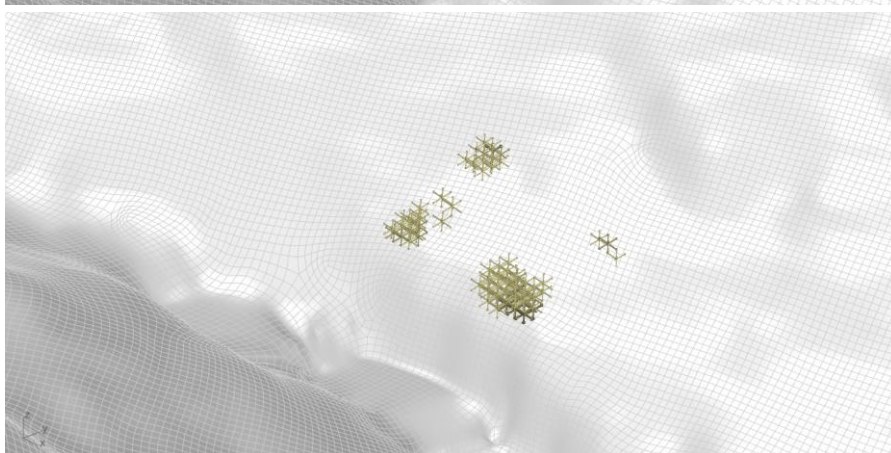




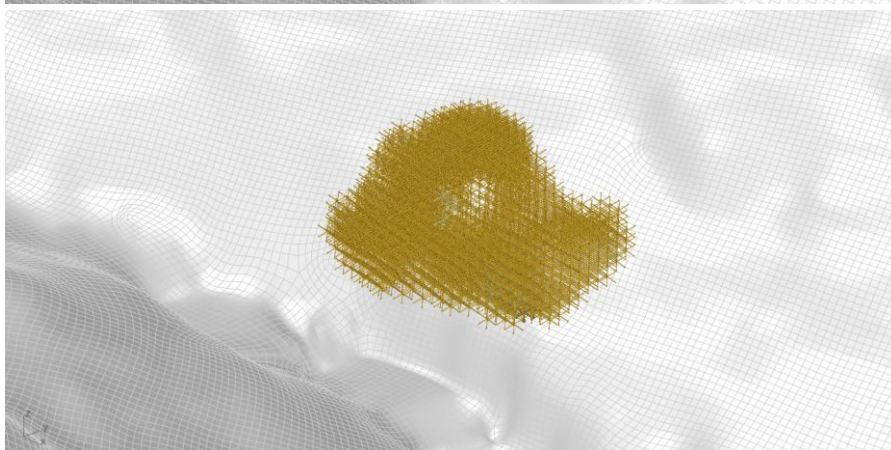
MO



MO + M1



MOM1 + M2



MOM1M2 + M3

Ilustración 23: Capturas de ubicación de las distintas variantes del módulo estructural, tramo 6.

Observamos como los módulos más resistentes se concentran en los apoyos, donde las tensiones son superiores, mientras que la nube se acaba conformando con los módulos más ligeros, M3, que son claramente mayoritarios frente a resto, del orden del 90% frente al total.

### 8. Inclusión del peso propio estructural en el proceso

Por último, debe repetirse el proceso incluyendo las cargas de peso propio de la estructura, es decir, añadir componentes, en este caso, de cargas puntuales, asignadas a cada uno de los puntos de ubicación de los módulos estructurales, con el valor de carga correspondiente a su variante.

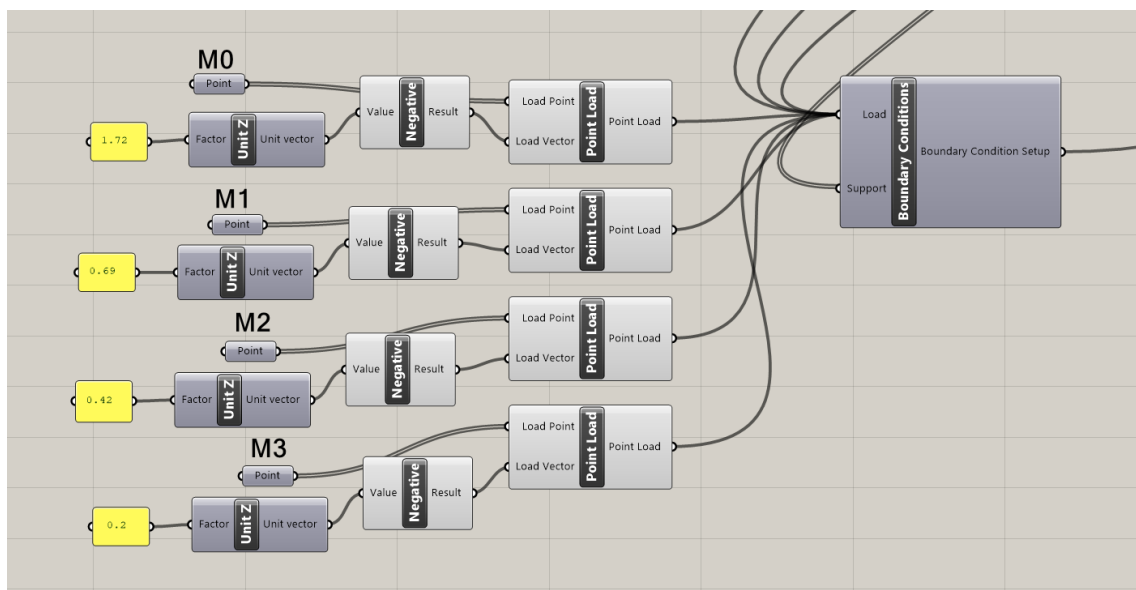


Ilustración 24: Captura de introducción, en el componente de tOpos de cargas y soportes, las cargas puntuales correspondientes a cada módulo estructural de la nube.

Para esta iteración se bloquea el número y ubicación de los módulos estructurales, de forma que se recalculan las resistencias de Von Mises generadas para la estructura obtenida en la primera iteración, pero en este caso teniendo en cuenta el peso propio de las correspondientes variantes del módulo. En el resultado se observa un aumento de las exigencias resistentes, lo que implica un diferente reparto de las variantes del módulo estructural, con más presencia de las más resistentes para soportar el peso propio de la estructura.

Se realiza una tercera y última iteración para comprobar el peso propio de la nueva distribución de módulos en la segunda iteración. Ya que los módulos más pesados se agrupan en los apoyos, no suponen un gran cambio en el comportamiento a flexión global de la estructura, teniendo la tercera iteración resultados similares (muy aproximados) a la segunda. Por lo tanto, se realizan 3 iteraciones de cálculo en total por cada tramo de la estructura nube:

Iteración 1, sin peso propio estructural.

Iteración 2, con el peso propio de la estructura resultante en la It. 1.

Iteración 3, con el peso propio de la estructura resultante en al It. 2.

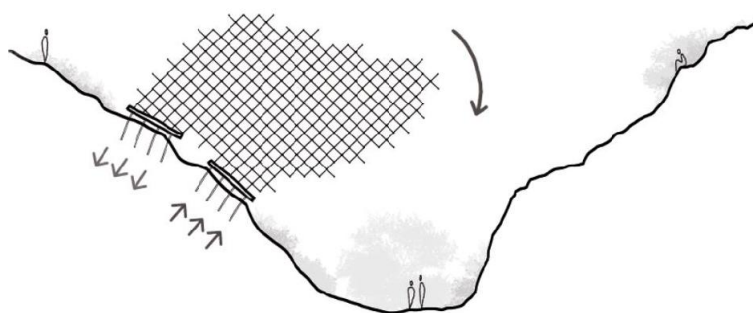
Resultados	M0	M1	M2	M3	Total
Tramo 1 - It. 1 - Sin peso propio	2	5	347	827	1181
Tramo 1 - It. 2 - Peso propio It. 1	6	8	501	666	1181
Tramo 1 - It. 3 - Peso propio It. 2	6	8	505	662	1181
Tramo 2 - It. 1 - Sin peso propio	22	35	822	2763	3642
Tramo 2 - It. 2 - Peso propio It. 1	37	40	1498	2067	3642
Tramo 2 - It. 3 - Peso propio It. 2	38	39	1503	2062	3642
Tramo 3 - It. 1 - Sin peso propio	4	10	38	2827	2879
Tramo 3 - It. 2 - Peso propio It. 1	10	13	91	2765	2879
Tramo 3 - It. 3 - Peso propio It. 2	10	14	93	2762	2879
Tramo 4 - It. 1 - Sin peso propio	24	47	245	8789	9105
Tramo 4 - It. 2 - Peso propio It. 1	32	58	280	8735	9105
Tramo 4 - It. 3 - Peso propio It. 2	32	60	279	8734	9105
Tramo 5 - It. 1 - Sin peso propio	11	20	64	3752	3847
Tramo 5 - It. 2 - Peso propio It. 1	21	18	118	3690	3847
Tramo 5 - It. 3 - Peso propio It. 2	22	17	116	3692	3847
Tramo 6 - It. 1 - Sin peso propio	6	14	58	2111	2189
Tramo 6 - It. 2 - Peso propio It. 1	12	14	105	2058	2189
Tramo 6 - It. 3 - Peso propio It. 2	12	15	104	2058	2189
Total	120	153	2600	19970	22843

Tabla 3: Resultados del proceso de diseño computacional por optimización topológica, por tramos e iteraciones, y en número de módulos estructurales M0, M1, M2, M3 y total.

### 3.2.4 Cálculo de las cimentaciones

La estructura nube se cimienta en sus apoyos mediante anclajes directos a la roca basáltica desnuda del barranco en el valle de Tafada.

Estos apoyos funcionan como empotramientos, con esfuerzos mayoritarios a tracción o compresión en función de su posición respecto al par de flexión que genera la estructura en voladizo sobre el barranco.



*Ilustración 25: Funcionamiento a flexión de la estructura con par de fuerzas en los apoyos, serie superior a tracción, serie inferior a compresión.*

Los apoyos traccionados requerirán un anclaje más exhaustivo que los sometidos exclusivamente a compresión, por ello como ejemplo de cálculo de estos elementos de cimentación, trabajaremos con un apoyo de la parte superior (sometido a tracciones) del tramo 6, denominado A-6.3.

Para el dimensionado del anclaje a roca se deben hacer las tres siguientes comprobaciones: comprobación de la tensión admisible del acero, comprobación del deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo, y comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo.

#### 1. Determinación de la carga nominal de cálculo por anclaje

El apoyo A-6.3. está en contacto con un total de 6 módulos estructurales que le transmiten una carga total de 18.364 kN, con dirección normal a la del plano del terreno y sentido negativo (tracción).

Aplicamos una mayoración de 1,5 (coeficiente aplicable en anclajes permanentes) a esta carga y obtenemos un valor de cálculo de 27.546 kN.

La huella estimada del apoyo es de 3,2 x 2,4 m. Con una separación de 0,8 m entre ellos, estimamos un total de 12 anclajes sirviendo en este apoyo A-6.3.

Por lo tanto, la carga nominal mayorada correspondiente a cada anclaje sería de 2.295,5 kN.



## *2. Comprobación de la tensión admisible del acero*

Los tirantes empleados en el anclaje serán barras Dywidag de 63 mm de diámetro.

Para la comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se minorará la tensión admisible en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} P_{Nd} / A_T &\leq f_{pk} / 1,30 \\ P_{Nd} / A_T &\leq f_{yk} / 1,15 \end{aligned}$$

P<sub>Nd</sub> es la carga nominal mayorada de cada anclaje: 2.295.500 N

A<sub>T</sub> es la sección del tirante: 3117 mm<sup>2</sup>

F<sub>pk</sub> es el límite de rotura del acero del tirante: 1050 MPa

F<sub>yk</sub> es el límite elástico del acero del tirante: 850 MPa

Comprobación:

$$736 < 808$$

$$736 < 739$$

## *3. Comprobación del deslizamiento del tirante en la lechada*

Para la comprobación de la seguridad frente al deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que lo rodea en el bulbo, por el coeficiente 1,2. Se debe cumplir la siguiente condición:

$$P_{Nd} / (L_b \cdot p_T) \leq \tau_{lim} / 1,2$$

P<sub>Nd</sub> es la carga nominal mayorada de cada anclaje: 2.295.500 N

L<sub>b</sub> es la longitud de cálculo del bulbo: - mm

P<sub>T</sub> es el perímetro nominal del tirante, equivalente a la siguiente expresión:

$$2\sqrt{\pi \cdot A_T}$$

A<sub>T</sub> es la sección del tirante: 3117 mm<sup>2</sup>

T<sub>lim</sub> es la adherencia límite entre el tirante y la lechada expresada en MPa, equivalente a la siguiente expresión:

$$\tau_{\text{lim}} = 6,9 (f_{\text{ck}}/22,5)^{2/3}$$

Fck es la resistencia característica (rotura a compresión a 28 días) de la lechada expresa: 25 MPa

Comprobación:

$$11.598,54 / L_b < 6,17$$

Con esta expresión se determina una longitud de cálculo de bulbo suficiente de 2 m (2000 mm).

#### *4. Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo*

Para la comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo del anclaje para obtener la adherencia admisible Aadm. Se comprobará:

$$P_{Nd} / (\pi \cdot D_N \cdot L_b) \leq a_{\text{adm}}$$

Pnd es la carga nominal mayorada de cada anclaje: 2.295.500 N

Dn es el diámetro nominal del bulbo: 100 mm

Lb es la longitud de cálculo del bulbo: 2.000 mm

Aadm es la adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea el bulbo (roca basáltica): 4 MPa

Comprobación:

$$3,65 < 4$$

### 3.3 Contención de estanques

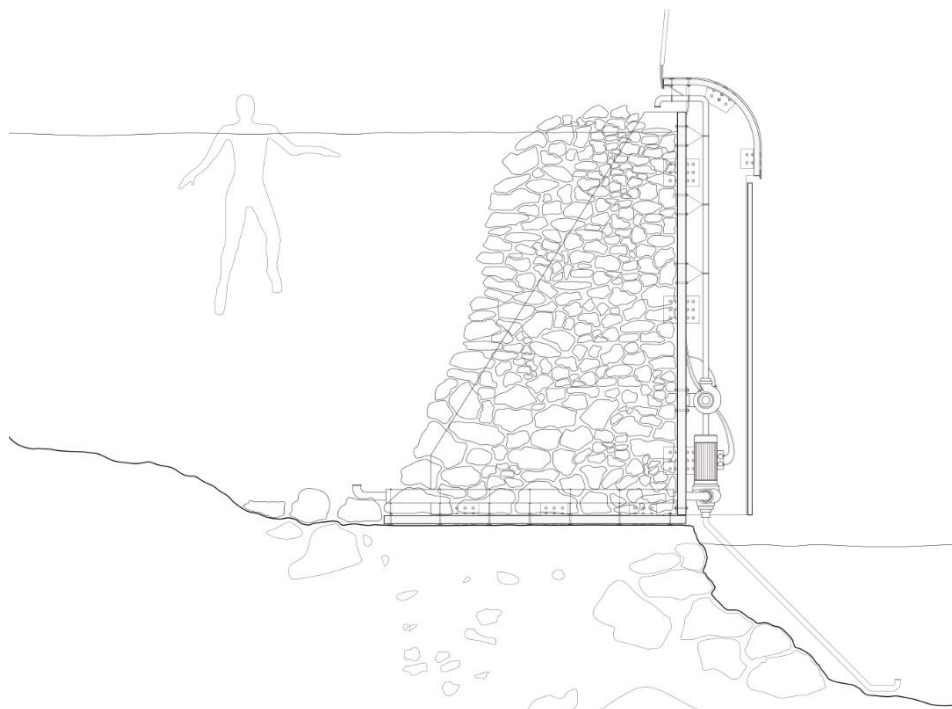


Ilustración 26: Dibujo en sección del muro de contención de aguas en estanques escalonados

#### 3.3.1 Acciones

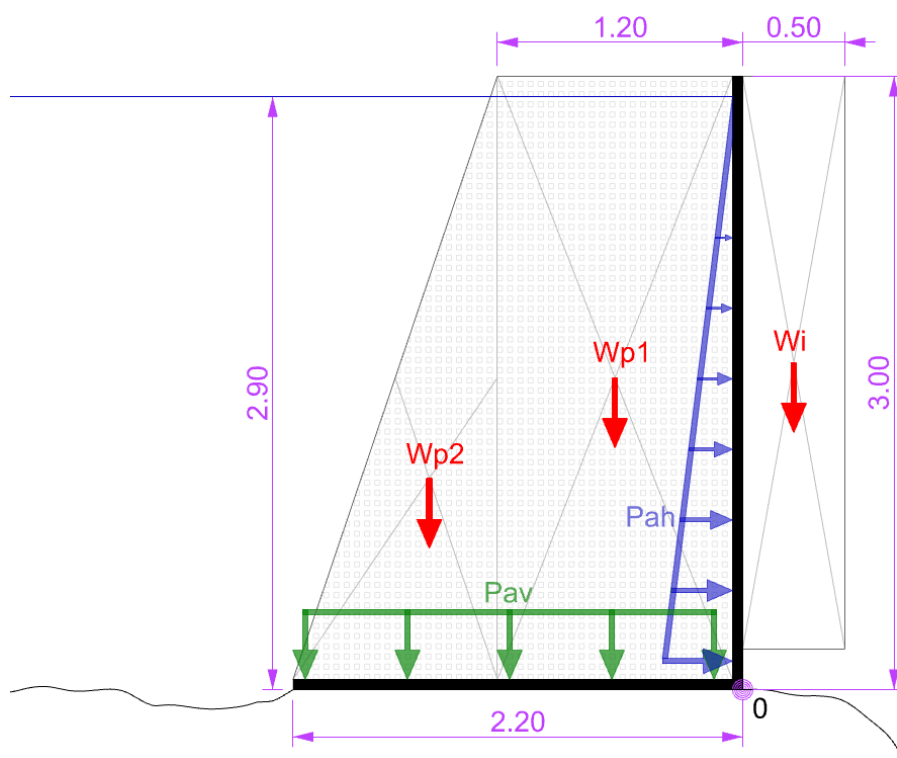


Ilustración 27: Diagrama de acciones para tener en cuenta en el cálculo estructural del muro de contención de estanques.

El muro de contención, que apoya directamente en el terreno, consiste en una L rígida (con contrafuertes o costillas cada 90 cm) de madera contrachapada sobre cuyo talón apoya un volumen considerable de rocas sueltas. La altura de la L es de 3 m y la longitud de su talón es de 2,2 m. El volumen de piedras se puede estimar en un rectángulo de 1,2 m x 3 m (/m lineal) y un triángulo de base 1 m y altura 3 m (/m lineal). Por otro lado, el agua del estanque no superará en ningún caso la altura de evacuación de los aliviaderos, a 2,9 m de la base del muro. Por último, en la parte delantera del muro aparecen armarios de instalaciones acoplados.

Wp1 y Wp2 corresponden al peso propio del volumen de rocas que reside sobre el talón del muro. Estimando el peso específico sumergido de estos volúmenes en 15 kN/m<sup>3</sup> obtenemos los siguientes valores:

$$Wp1 = 54 \text{ kN/m}$$

$$Wp2 = 22,5 \text{ kN/m}$$

Teniendo en cuenta sus distancias al eje de vuelco "0" obtenemos los momentos correspondientes, Mp1 y Mp2:

$$d1 = 0,6 \text{ m}; Mp1 = 32,4 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$d2 = 1,533 \text{ m}; Mp2 = 34,5 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

Wi es el peso estimado del armario de instalaciones acoplado al muro, cuyo momento respecto al eje de vuelco denominamos Mwi. Estos son sus valores:

$$Wi = 4 \text{ kN/m}; d_{wi} = 0,25 \text{ m}; M_{wi} = 1 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

Por otro lado, están los empujes que ejerce el agua del estanque sobre las superficies del muro de contención. Pah se refiere a la presión horizontal del agua ejercida sobre la cara interior del muro vertical de la L. Pav se refiere a la presión vertical del agua ejercida sobre el talón de la L. Estos son sus valores totales y sus momentos respecto del eje de vuelco, estimando el peso específico del agua en 10 kN/m<sup>3</sup>:

$$Pah = 42,05 \text{ kN/m}; d_{ah} = 0,966 \text{ m}; M_{ah} = 40,65 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$Pav = 66 \text{ kN/m}; d_{av} = 1,1 \text{ m}; M_{av} = 72,6 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

### 3.3.2 Estabilidad

#### 1. Comprobación a deslizamiento

Se comprueba que el sumatorio de las fuerzas verticales estabilizadoras (W), principalmente pesos que colaboran a la fricción con el terreno, multiplicado por el ángulo delta, aproximadamente 2/3 del ángulo de rozamiento interno del terreno, debe ser por lo menos 1,5 (coeficiente de seguridad a deslizamiento) veces mayor que los empujes contenidos por el muro. Esto queda representado por la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{\sum W \tan \delta}{E_h}$$

Fd es el coeficiente de seguridad a deslizamiento: 1,5

W son las fuerzas verticales estabilizadoras del muro:

$$W_{p1} = 54 \text{ kN/m}$$

$$W_{p2} = 22,5 \text{ kN/m}$$

$$P_{av} = 66 \text{ kN/m}$$

$$W \text{ total} = 142,5 \text{ kN/m}$$

D (delta) es el ángulo de rozamiento de cálculo del terreno, estimado en 2/3 del ángulo de rozamiento interno del terreno:  $36 \text{ grados} \cdot \frac{2}{3} = 24 \text{ grados}$

Eh son los empujes horizontales soportados por el muro:  $P_{ah} = 42,05 \text{ kN/m}$

Comprobación:

$$1,5 < 1,51$$

## 2. Comprobación a vuelco

Se comprueba que el sumatorio minorado (0,9) de los momentos estabilizantes es superior al sumatorio mayorado (1,8) de los momentos desestabilizantes. Esto queda representado por la siguiente fórmula:

$$F_v = \frac{(\sum M_{est}) \times 0,9}{(\sum M_{dest}) \times 1,8}$$

Fv es el coeficiente de seguridad a vuelco: 1

Mest son los momentos estabilizantes:

$$M_{p1} = 32,4 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$M_{p2} = 34,5 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$M_{av} = 72,6 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$\mathbf{M_{est \text{ total}} = 139,5 \text{ kN/m}}$$

Mdest son los momentos desestabilizantes:

$$M_{ah} = 40,65 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$M_{wi} = 1 \text{ kN/m} \cdot \text{m}$$

$$\mathbf{M_{dest \text{ total}} = 41,65 \text{ kN/m}}$$

Comprobación:

$$1 < 1,67$$

## 4. Memoria de instalaciones

### 4.1 Balance hídrico y energético

Por su ubicación remota e inaccesible (exclusivamente comunicada por senderos de montaña), alejada de las infraestructuras públicas de luz y agua, el principal precepto de este proyecto es su autosuficiencia. Siempre va a haber cierta dependencia del mundo exterior, pero se aspira a una autonomía total en materia de abastecimiento hídrico y energético, obteniendo estos recursos directamente del medio natural.

En el valle de Tafada, la obtención de agua de precipitaciones resulta insuficiente al tratarse de una cuenca hidrográfica relativamente pequeña para los usos derivados de la producción agrícola, especialmente en los meses más secos, en verano.

Respecto a la obtención de energía, el recurso solar resulta escaso por la alta frecuencia de nubes densas atravesando el valle, elevado más de 450 m sobre el nivel del mar.

La respuesta por tanto a la autosuficiencia de la comunidad de Tafada debe ser el viento, siempre presente en las montañas de punta de Anaga:

- Obtención de energía >>> aerogeneradores vortex. Estos dispositivos emplean la tecnología de resonancia aerolástica para obtener energía eléctrica mediante su propia vibración en consecuencia del flujo de viento, sin necesidad de usar aspas.

- Obtención de agua >>> mallas atrapanieblas. Este dispositivo low-tech es capaz de obtener agua mediante la condensación en su superficie de la humedad del ambiente. En la cara norte del macizo de Anaga, los vientos alisios aportan humedad constante.

La recolección hídrica a partir de los vientos alisios se remonta a tiempos prehispánicos en el archipiélago canario. Los aborígenes recogían las condensaciones de la laurisilva en pequeños estanques situados bajo el árbol. Esta misma idea se traslada al presente proyecto, siendo la arquitectura soporte poroso de los dispositivos atrapanieblas, y desarrollando una serie de estanques bajo la estructura para la acumulación del agua.

El papel de los estanques escalonados, ubicados en el barranco del valle, bajo la estructura habitable, es esencial para el sustento del proyecto. Tienen una doble función: almacenamiento del recurso hídrico y soporte para el almacenamiento energético mediante electrobombas.

Primeramente, sirven para acumular el agua que llega de la cuenca hidrográfica del propio valle y del goteo constante de los dispositivos atrapanieblas integrados en la estructura del proyecto. Esta agua sirve para el riego directo de las terrazas de cultivo explotadas por los habitantes de la comuna. Además, desde el octavo estanque, el más bajo, se extrae el agua para el consumo humano y otras finalidades en el propio proyecto.

El proyecto cuenta con las instalaciones necesarias para la potabilización, el tratamiento de aguas grises, y la depuración de aguas negras. De esta forma se aprovecha al máximo el recurso hídrico, y después de su ciclo de uso se devuelve vertiendo el agua tratada a su curso natural ladera abajo hasta llegar a los acantilados de Punta de Anaga.

Los saltos de agua de estanque a estanque cuentan con dos conductos aliviadero para no poner en peligro la estructura de contención, y con ello la infraestructura energética que alberga. Esta precaución se toma por la previsión de grandes temporales en el archipiélago, con los que el valle podría recoger un cauce extraordinario. Se ubican dos aliviaderos para evitar colapso en caso de obstrucción de uno de ellos.

Por otro lado, la electricidad reclutada por los aerogeneradores vortex debe ser almacenada de algún modo, ya que de otra forma esta energía se perdería. Existen diversos métodos para hacer esto, pero el más sostenible y adecuado para este caso es el almacenamiento por gravedad mediante bombeo de agua:

La energía eólica se invierte en el bombeo (electrobombas autocebantes alojadas en el armario acoplado al muro de contención) continuo de agua estanque arriba, creando un potencial por gravedad. Cuando exista una demanda energética en el proyecto, esta agua se libera generando energía hidroeléctrica a través de microturbinas alojadas en las contenciones.

Pico de consumo de cálculo para dimensionado de la generación energética del proyecto: estimado en 5.180 W en el mes de diciembre.

Para cubrir esta demanda con energía hidroeléctrica con un potencial de salto de 3 metros (diferencia de cota entre estanques), se dimensiona el número de microturbinas en 45, repartidas en los 7 saltos según demanda estimada en su rango del proyecto:

Características de MICROTURBINA HIDRÁULICA TF-300 - H - 3m . Q - 4l/s . P - 120W . Eficiencia 1l/s - 30W.

$5180W / 120W/turbina = 43,17$  turbinas -- 45 turbinas.

Para el bombeo de remonte del caudal empleado en la producción energética (160 millones de litros/mes más exigente - 61,67l/s) se emplean electrobombas autocebantes, ubicando dos por salto, y dimensionando ambas para cubrir toda la demanda en caso de fallo de par:

$61,67l/s * 36W / 1l/s$  (eficiencia de bombeo) = 2.220W -- 3.000W potencia total remonte. Potencia por bomba:  $3.000W / 7$  saltos = 428W.

Características de ELECTROBOMBA AUTOCEBANTE - H - 3m . Q - 12l/s . P - 428W . Eficiencia 36W - 1l/s.

Por último, la alimentación energética de las electrobombas está cubierta por la generación eólica de los dispositivos vortex. Para cubrir una demanda estimada de remonte por bombeo de 3.000W se dimensiona el número de aerogeneradores en un total de 140:

VORTEX-145 x70 dispositivos + VORTEX-90 x70 dispositivos = P35W x70 + P8W x70 = 3.000W.



## 4.2. Confort en refugios individuales

La ventilación de los refugios individuales se plantea mediante sistemas mecánicos que garantizan la mejor calidad del aire con una pérdida mínima del confort climático mediante tecnología de intercambiador con recuperación de calor. La impulsión y extracción de aire se practica en esquinas opuestas del espacio, garantizando un barrido efectivo. Los recuperadores de calor serían comunes a varias celdas, quedando organizados en racimos de distribución por conductos, y contarían con tecnología de deshumidificación, esencial para el confort higrotérmico en esta atmósfera de Punta de Anaga.

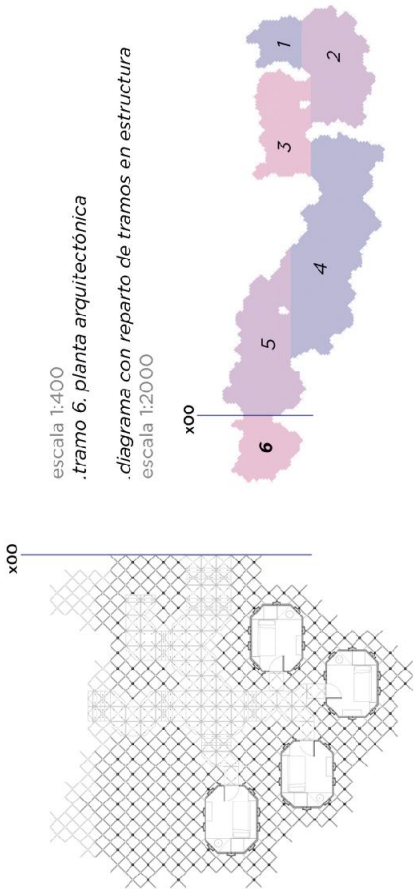
A este respecto, es importante destacar la significativa presencia de vegetación en el nivel superior de la cinta de servicios perimetral del espacio celda. Esta tiene una función también de regulación de la humedad del ambiente interior del cuarto. Se aprovecha la luz natural abundante a través de la cúpula transparente, funcionando como un invernadero, para el crecimiento de especies adecuadas para este cometido.

Respecto a la climatización, se integra en el mobiliario perimetral una unidad interior VRV. Las unidades interiores correspondientes a los refugios componentes de un racimo se vinculan a una única unidad exterior por aerotermia. Este sistema permite una flexibilidad total para la adaptación concreta e individualizada a las adecuaciones higrotérmicas óptimas para cada persona.

## 5. ANEJO DE PLANIMETRÍA TÉCNICA

176 kg	70 kg	43 kg	20 kg
D barras 100 mm	D barras 68 mm	D barras 54 mm	D barras 38 mm
80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm
Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083
<b>M0</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>

.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm



escala 1:400  
 .tramo 6. planta arquitectónica  
 .diagrama con reparto de tramos en estructura  
 escala 1:2000

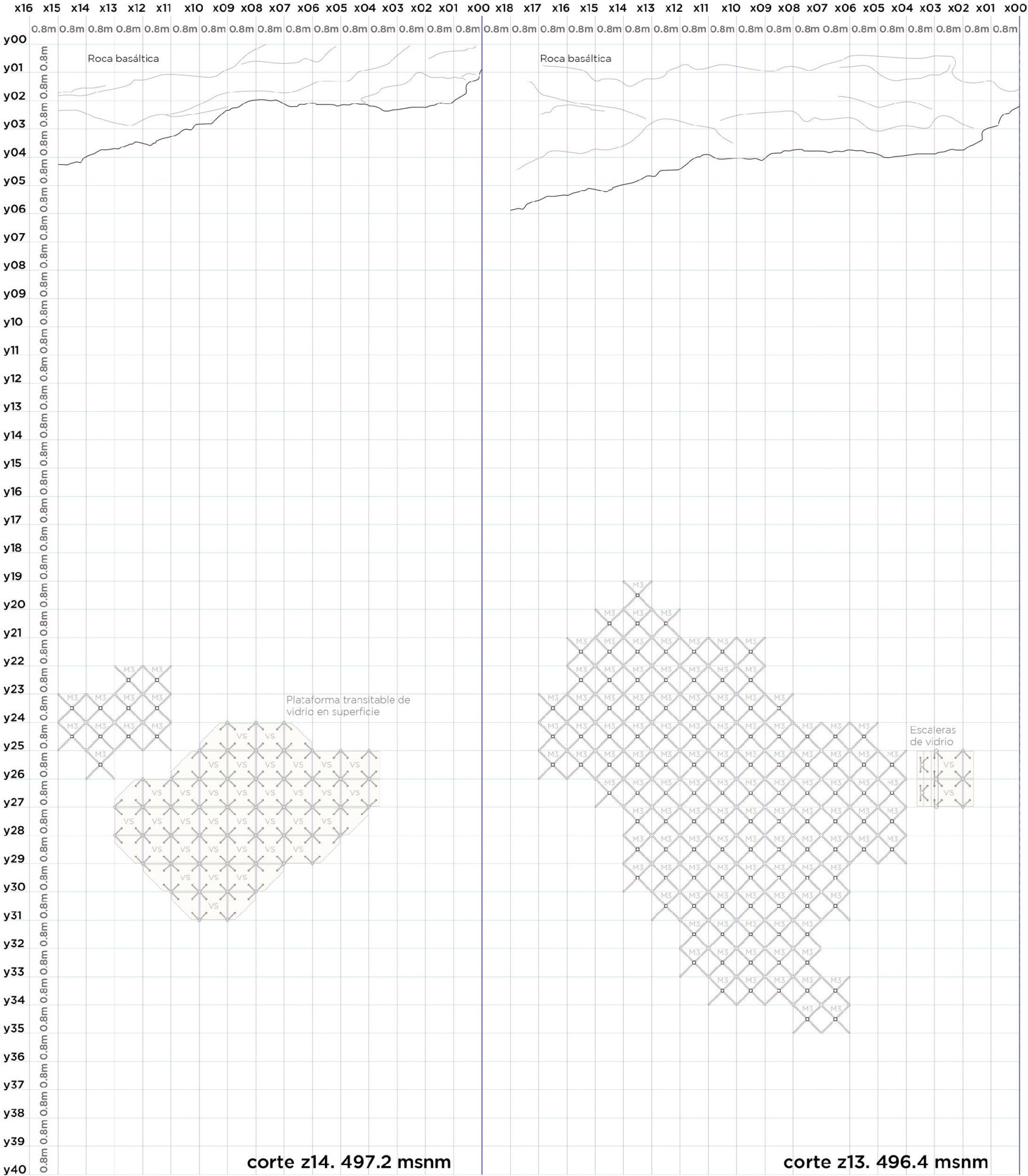


# A3.PT01.

Planimetría técnica 01:  
 Plantas tramo 6. cortes z 14/13.

**.campos alíseos.**  
 la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

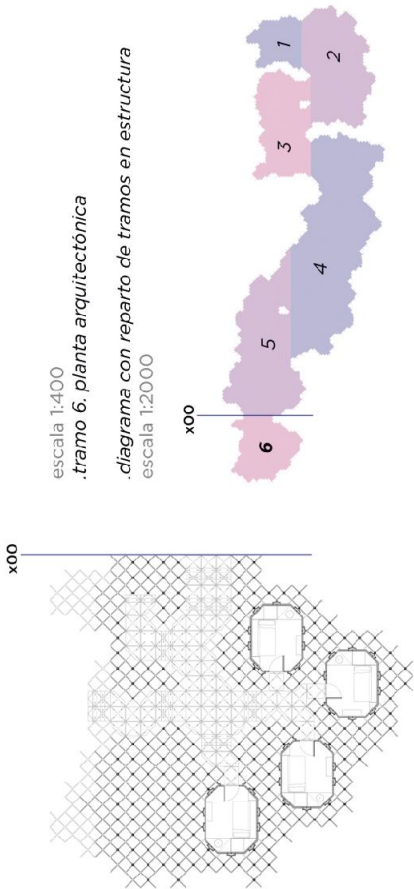
Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
 Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
 Soluciones singulares VIII.





176 kg	70 kg	43 kg	20 kg
D barras 100 mm	D barras 68 mm	D barras 54 mm	D barras 38 mm
80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm
Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083
<b>M0</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>

.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm

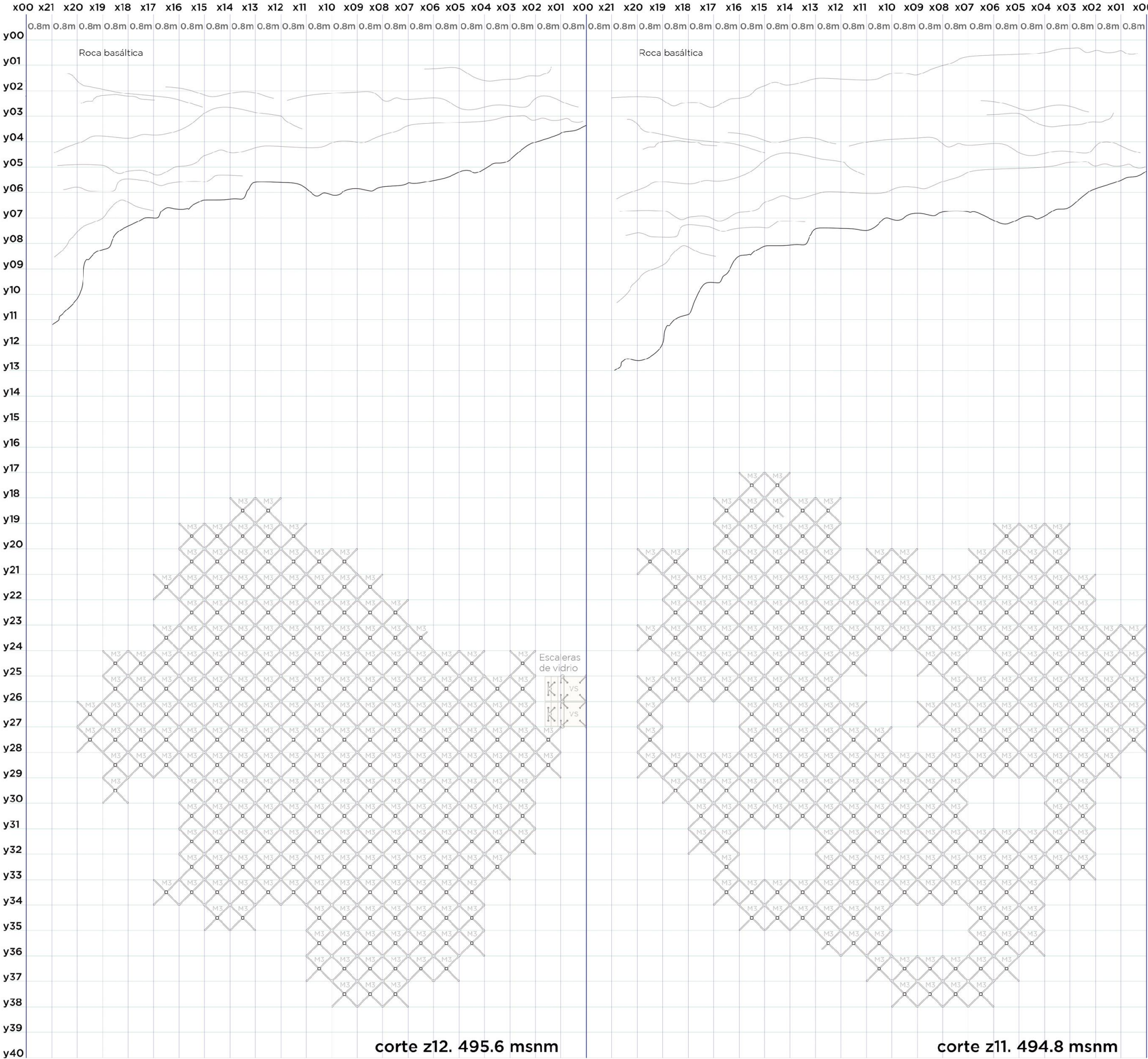


## A3.PT02.

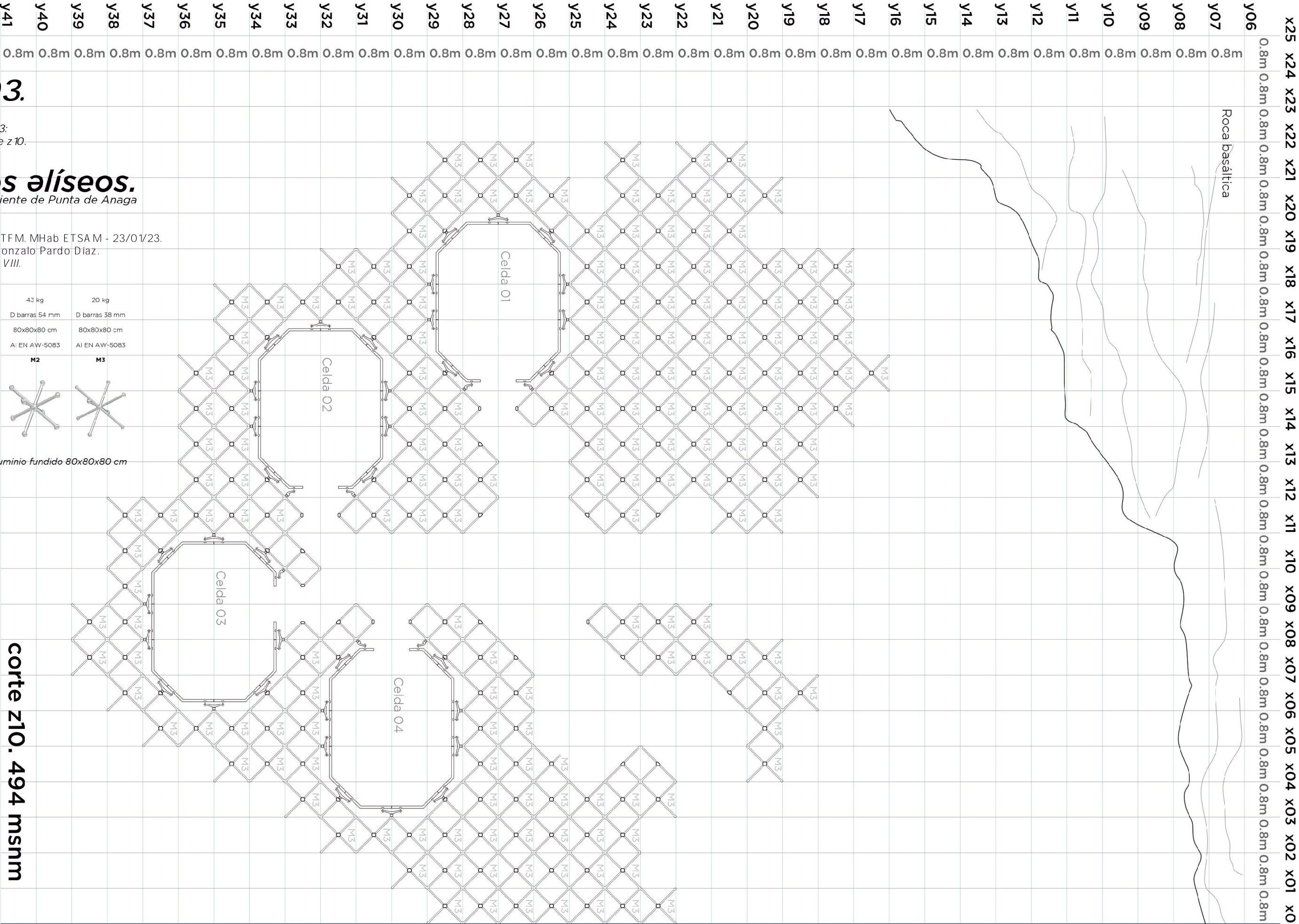
Planimetría técnica 02:  
Plantas tramo 6. cortes z 12/11.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.







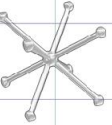
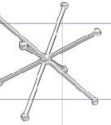


# A3.PT03.

Planimetría técnica 03:  
Plantas tramo 6. corte z10.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.

176 kg	70 kg	43 kg	20 kg
D barras 100 mm	D barras 68 mm	D barras 54 mm	D barras 38 mm
80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm
Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083
M0	M1	M2	M3
			

.módulos estructurales en aluminio-fundido 80x80x80 cm

2.4 m

0 m

escala 1:180



corte z10. 494 msnm



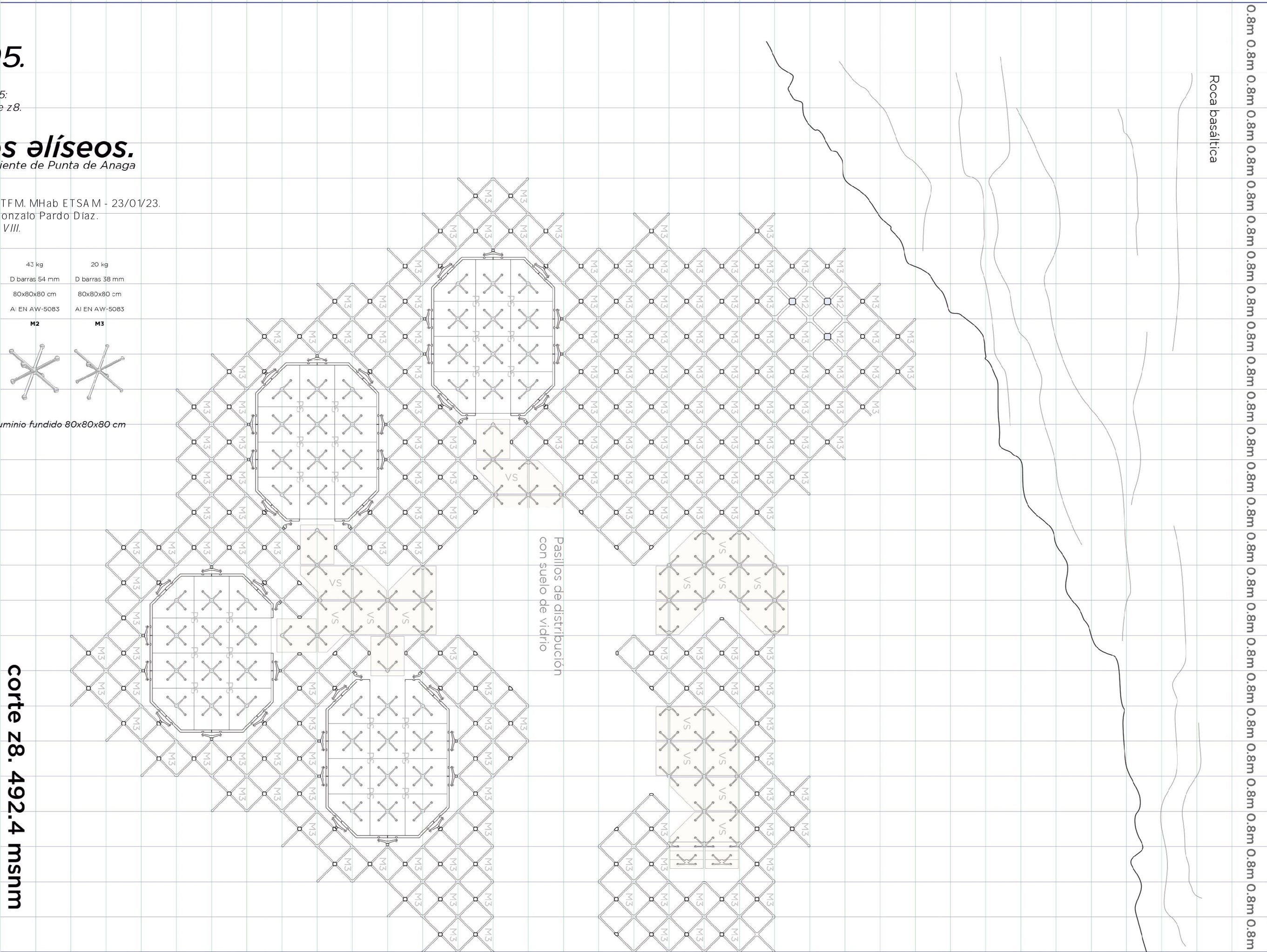




x26 x25 x24 x23 x22 x21 x20 x19 x18 x17 x16 x15 x14 x13 x12 x11 x10 x09 x08 x07 x06 x05 x04 x03 x02 x01 x00

Roca basáltica

y06  
y07  
y08  
y09  
y10  
y11  
y12  
y13  
y14  
y15  
y16  
y17  
y18  
y19  
y20  
y21  
y22  
y23  
y24  
y25  
y26  
y27  
y28  
y29  
y30  
y31  
y32  
y33  
y34  
y35  
y36  
y37  
y38  
y39  
y40  
y41

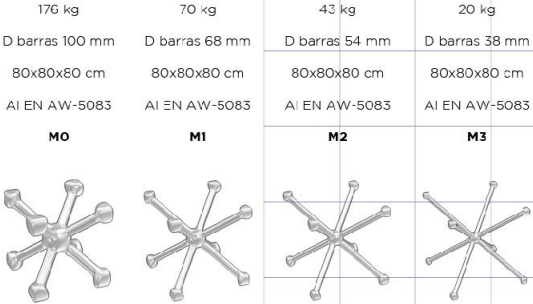


# A3.PT05.

Planimetría técnica 05:  
Plantas tramo 6. corte z8.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.

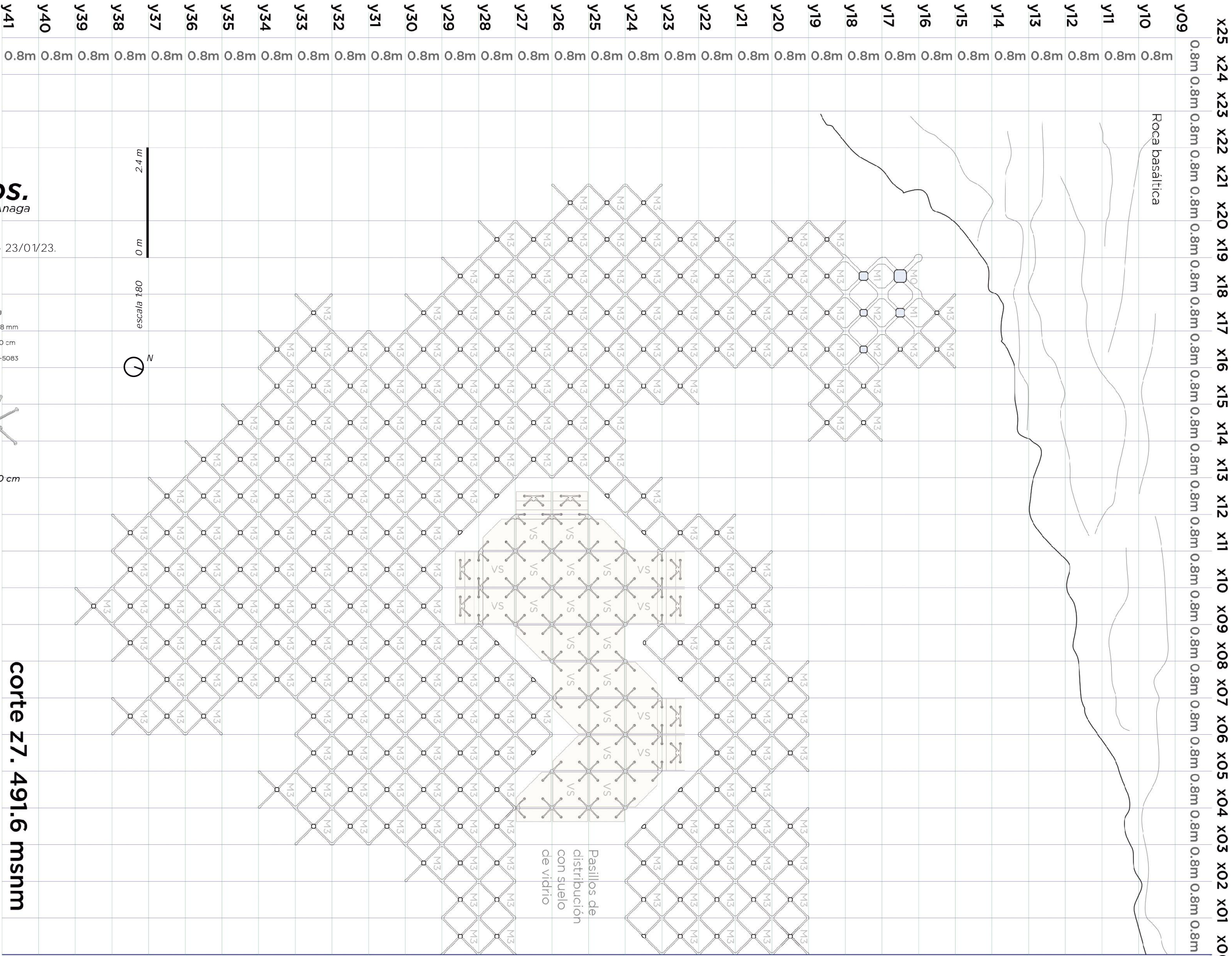


.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm

corte z8. 492.4 msnm





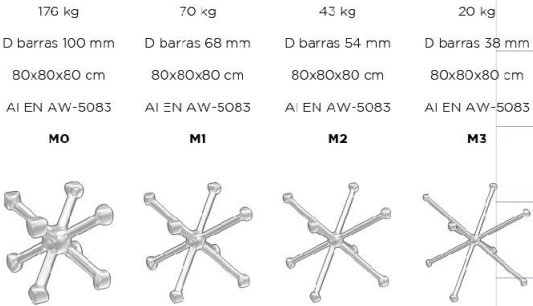


# A3.PT06.

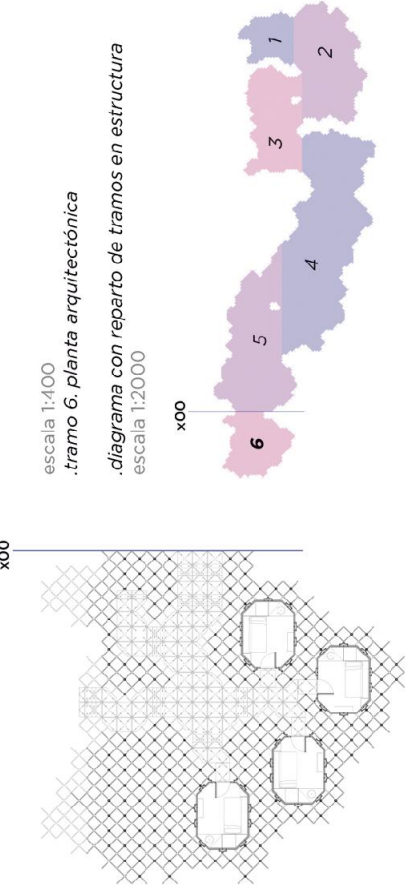
Planimetría técnica 06:  
Plantas tramo 6. corte z7.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.



.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm

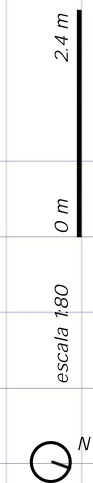




x26	x25	x24	x23	x22	x21	x20	x19	x18	x17	x16	x15	x14	x13	x12	x11	x10	x09	x08	x07	x06	x05	x04	x03	x02	x01	x00
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Roca basàltica

**Anclaje A6.4**  
8 tensores barra DYWIDAG D63mm  
Longitud de anclaje: 180 cm



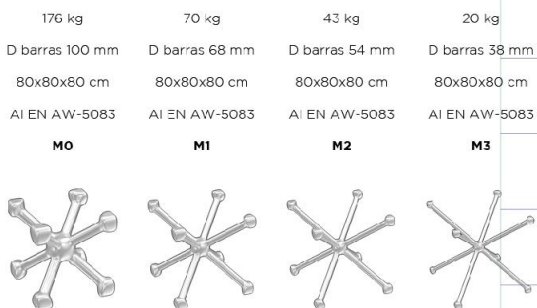
**corte z6. 490.8 msnm**

***A3.PT07.***

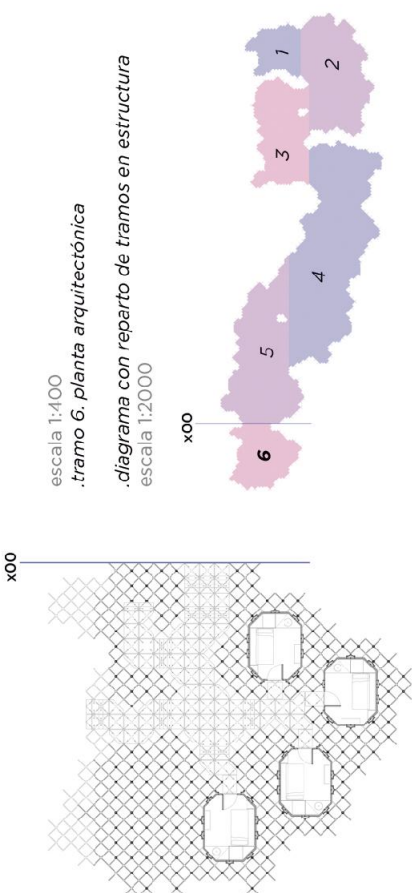
Planimetría técnica 07:  
Plantas tramo 6. corte z6.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSA M - Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz. <i>Soluciones singulares VIII.</i>	23/01/23.
---	-----------



*.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm*







x26 x25 x24 x23 x22 x21 x20 x19 x18 x17 x16 x15 x14 x13 x12 x11 x10 x09 x08 x07 x06 x05 x04 x03 x02 x01 x00

Roca basáltica

# A3.PT08.

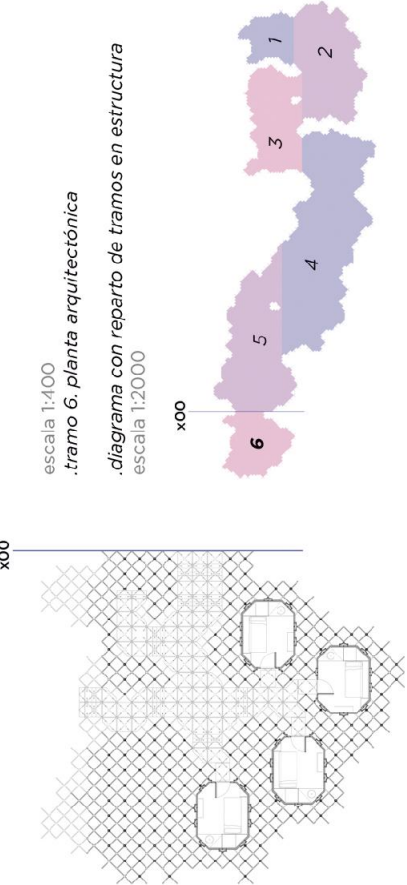
Planimetría técnica 08:  
Plantas tramo 6. corte z5.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

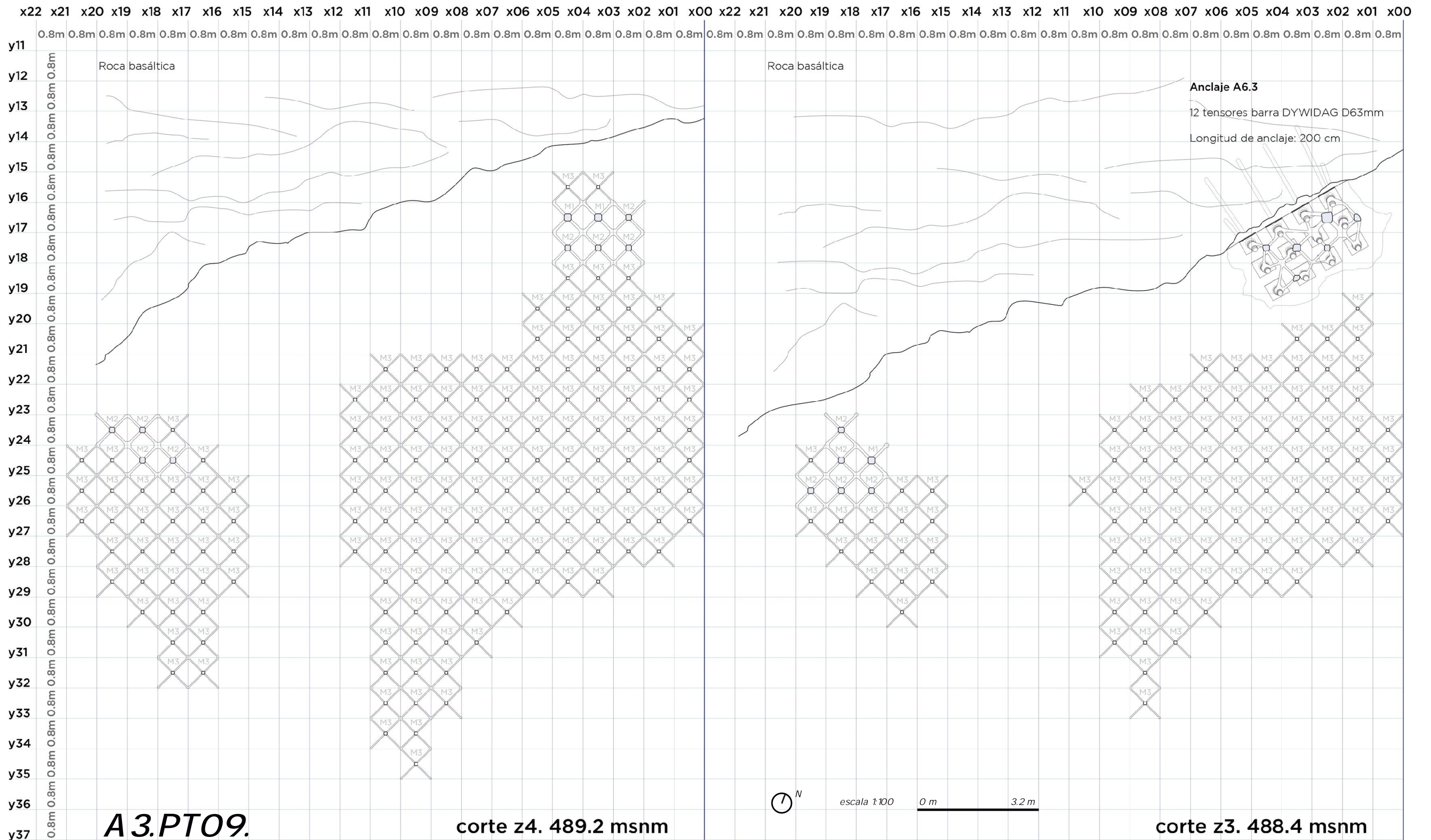
Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.

176 kg	70 kg	43 kg	20 kg
D barras 100 mm	D barras 68 mm	D barras 54 mm	D barras 38 mm
80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm
Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083
M0	M1	M2	M3

.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm



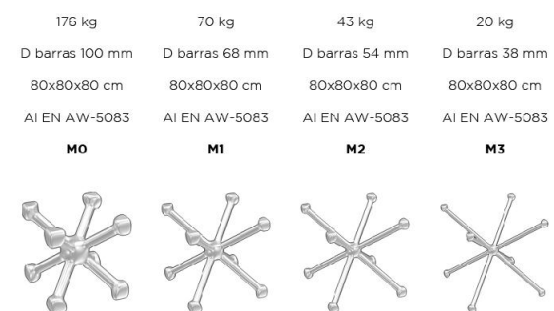




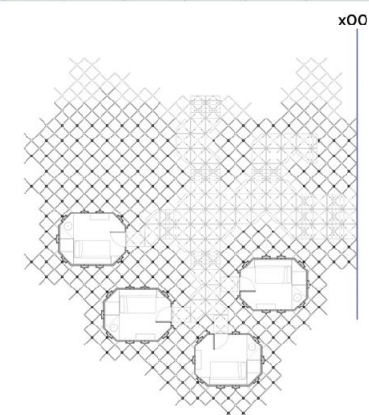
Planimetría técnica 09:  
Plantas tramo 6. cortes z4/3.

**.campos alíseos.**  
la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSA M - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.

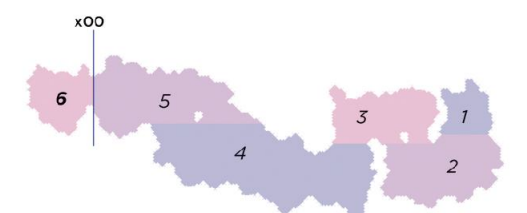


.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm



escala 1:400  
.tramo 6. planta arquitectónica

.diagrama con reparto de tramos en estructura  
escala 1:2000









# A 3.PT 10.

Planimetría técnica 10:  
Plantas tramo 6. cortes z2/1/0.

## .campos alíseos. la comuna autosuficiente de Punta de Anaga

Javier Fidalgo Saeta. TFM. MHab ETSAM - 23/01/23.  
Aula Sancho. Tutor: Gonzalo Pardo Díaz.  
Soluciones singulares VIII.

176 kg	70 kg	43 kg	20 kg
D barras 100 mm	D barras 68 mm	D barras 54 mm	D barras 38 mm
80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm	80x80x80 cm
Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083	Al EN AW-5083
M0	M1	M2	M3
			

.módulos estructurales en aluminio fundido 80x80x80 cm

