

**Titulante Mia-Sue Carrère**

Ciudad Abierta, Chile.



Modelos de cúpulas con moldajes flexibles en hormigón armado con textiles.

Mia-Sue Carrère  
Supervisor: Prof. David Jolly

Valparaíso 2021

Escuela de Arquitectura y Diseño  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

# Índice

**> Introducción**

**> Investigación**

**> Modelos**

*/ Bocetos formales*

*/ Materiales*

*/ Caso 01*

*/ Caso 02*

*/ Caso 03*

*/ Caso 04*

*/ Caso 05*

*/ Caso 06*

*/ Caso 07*

# Introducción

El Taller de Obra realizado en la Ciudad Abierta, es el escenario donde se imaginan nuevas formas posibles para la construcción de volúmenes arquitectónicos que respondan a principios plásticos y constructivos. La metodología empleada es la experimentación con modelos a escala 1:10 que responden análogamente a los prototipos a escala 1:1, y que permiten verificar la factibilidad del diseño propuesto para asegurar una forma arquitectónica que de cabida a espacios habitables.

La colaboración en la investigación del proyecto “Cúpulas construidas con moldajes flexibles en hormigón armado con textiles”, del investigador Dr. Arq. David Jolly, pretende contribuir a la exploración de nuevas posibilidades constructivas que den forma a una argamasa a voluntad, de doble curvatura y de dos centímetros de espesor.

Los modelos escala 1:10 presentados a continuación son una primera aproximación de la etapa experimental de esta investigación, que inicia con el dibujo de bocetos y esquemas que permiten plasmar posibilidades formales, para posteriormente construir modelos con madera, tela, cinta de fibra de vidrio y yeso. Los resultados son analizados una vez efectuado el desmolde, donde se evalúa la calidad formal y la posibilidad de replica. Finalmente se registran con anotaciones y dibujos o fotografías los errores y aciertos para perfeccionar el modelo.

# Investigación\*

## **Título del Proyecto:**

“Cúpulas construídas con moldajes flexibles en hormigón armado con textiles”

## **Problema a solucionar**

Dotar al hormigón armado de nuevas capacidades formales, con el empleo de moldajes flexibles para la construcción de volúmenes de doble curvatura.

## **Metodología**

Experimentación con modelos escala 1:10 con probable resultado análogo en escala 1:1.

## **Resultados esperados**

Obtener nuevas bóvedas cáscaras en hormigón armado con textiles, fibra de carbono y de vidrio que permiten reducir su espesor sin disminuir su resistencia mecánica.

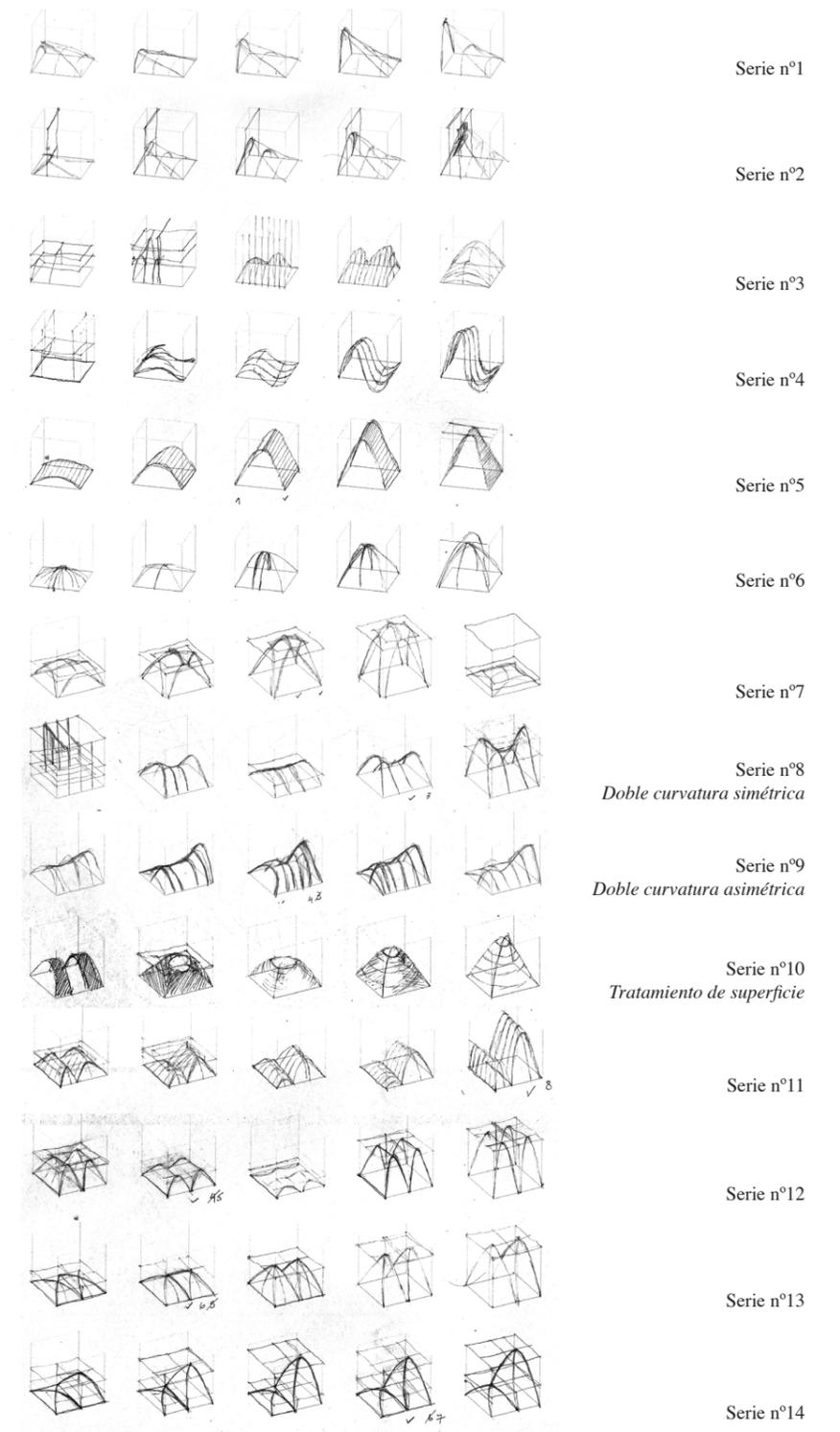
# Modelos

## / Bocetos Formales

La metodología de la investigación propone en su etapa inicial la imaginación de posibles formas para las bóvedas cáscaras a partir del dibujo y en la propuesta de series que presentan variaciones entre ellas.

En papel formato A4, se imprimen las aristas de veinte cubos que funcionan como plantillas para obtener un dibujo controlado en sus dimensiones y que permite una fácil comprensión de las diferencias dentro de las series que se imaginan. Algunas series fueron nombradas al tener un distinguo evidente que las define.

Posteriormente se identifican al rededor de cinco alternativas que aparentan posibilidades constructivas. Estas alternativas son dibujadas en mayor detalle, para posteriormente planificar la factura de los modelos a escala 1:10.



14 series con 70 bocetos en total, realizados a lápiz sobre papel. Fig. 1.

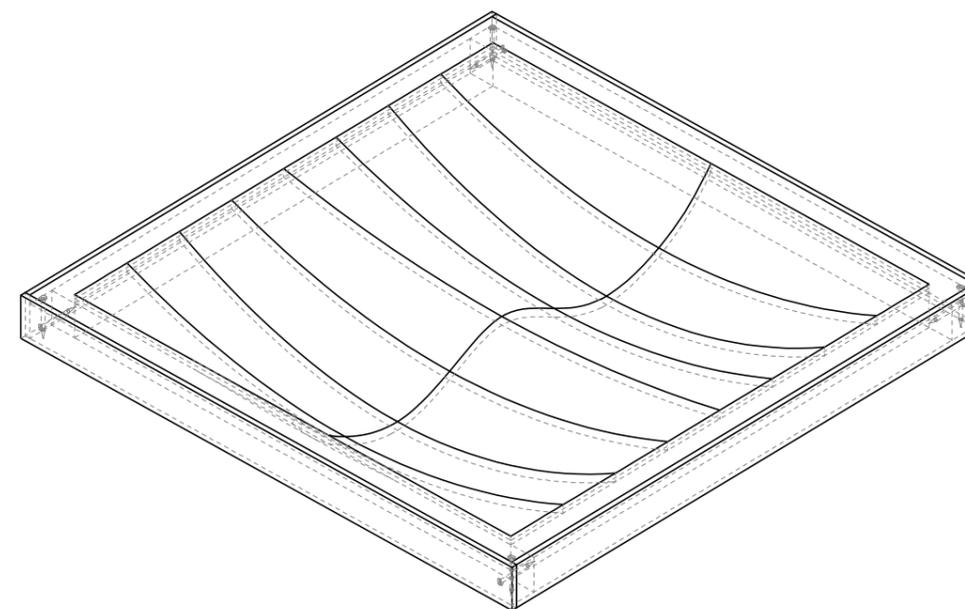
# Modelos

## / Materiales

Para la construcción de los modelos a escala 1:10, se utiliza un bastidor genérico de 30x30 centímetros a eje, construido con listones de 1,5x2 centímetros, que se repite en cada uno de los modelos realizados. El resto de los materiales empleados en cada modelo varía según las necesidades constructivas de cada modelo. Sin embargo, podemos clasificar en materiales esenciales a los siguientes:

- > Listones de 1,5x2 centímetros de madera. [bastidor]
- > Trupán de 3 mm. [base, matrices, moldaje lateral]
- > Tela de algodón. [moldaje flexible]
- > Malla de fibra de vidrio de 5 centímetros. [armado textil]
- > Yeso y agua [molde]
- > Papel film [moldaje para superficie interna de la bóveda]
- > Puntas corrientes 1/2".
- > Silicona [pegamento]

## CASO 01



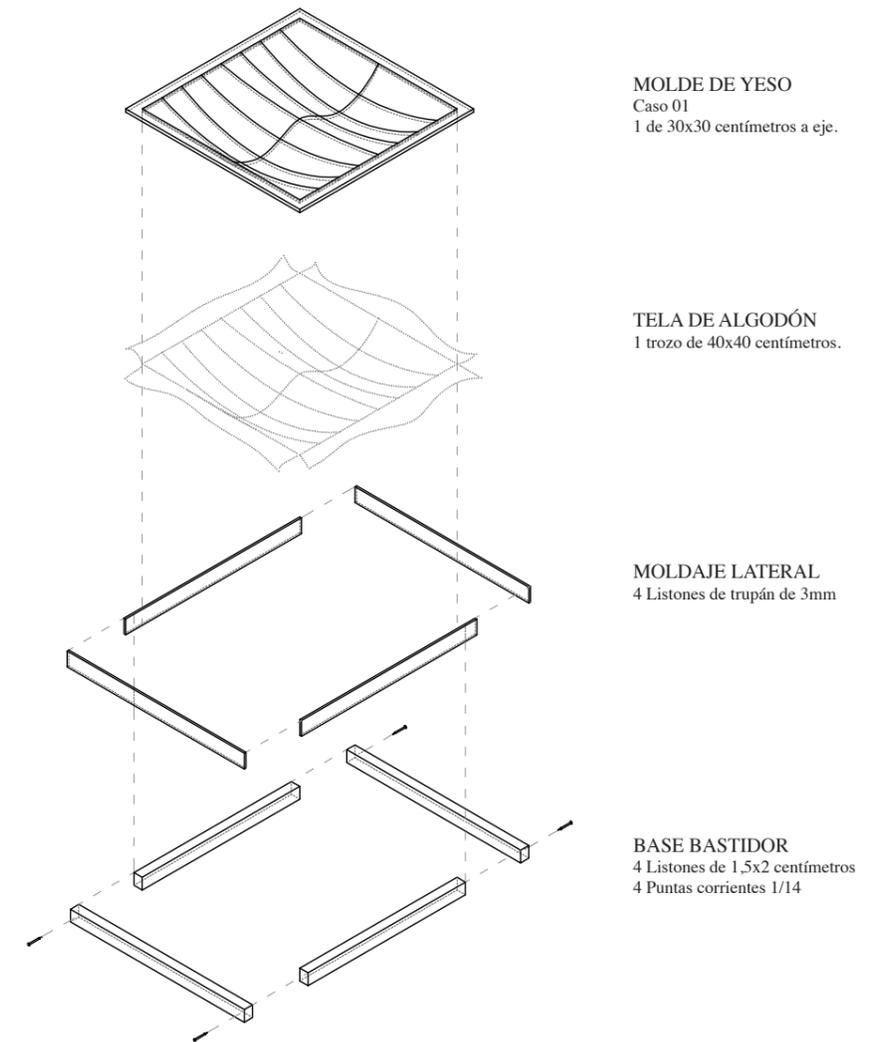
# / Caso 01

## Ficha técnica

- > Altura: 4,5 centímetros.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 4 laterales.
- > Matrices: Sin matrices.
- > Tela: 1 tela deformada.
- > Serie: Doble curvatura simétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 2/5.

## Descripción

Busca perseguir la forma de doble curvatura sin la ayuda de matrices y utilizando solo la deformación de la tela. Se recorta la tela de algodón con un margen de 2 centímetros a cada extremo para obtener mayor perímetro en las zonas donde se espera se curve. Para tensar en el centro se dibuja sobre la tela un arco de guía en cada extremo, cuya distancia entre ambos arcos corresponde al ancho del bastidor. Se pega la tela, sobre el bastidor con la ayuda de guías y ciñendo la tela para cubrir el margen agregado en un principio. Se llena el negativo del molde y a partir de el extraer el positivo.



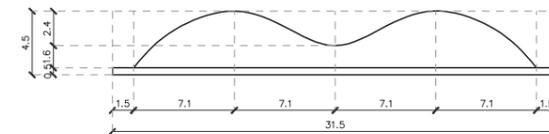
Moldaje Caso 01, modelo escala 1:10. [Isométrica explotada]. Fig. 3.

## / Caso 01

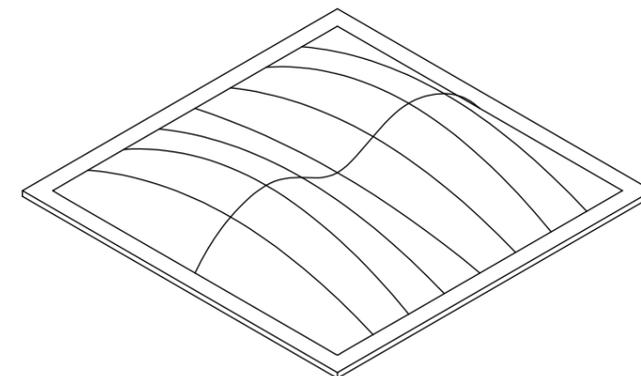
### Resultados

**Aciertos:** Se logra la doble curvatura esperada. Los apoyos de la boveda es en todos sus laterales lo que asegura un buen traspaso de cargas mecánicas. La corrección de sus arrugas permite generar un positivo óptimo.

**Desaciertos:** Agregar los márgenes en los extremos de la tela y posteriormente ceñirla para respetar el pegado de las guías trazadas sobre el bastidor, dieron como resultado la aparición de demasiadas arrugas perpendicular a las catenarias, que se tuvieron que resolver agregando pasta para cubrirlas.



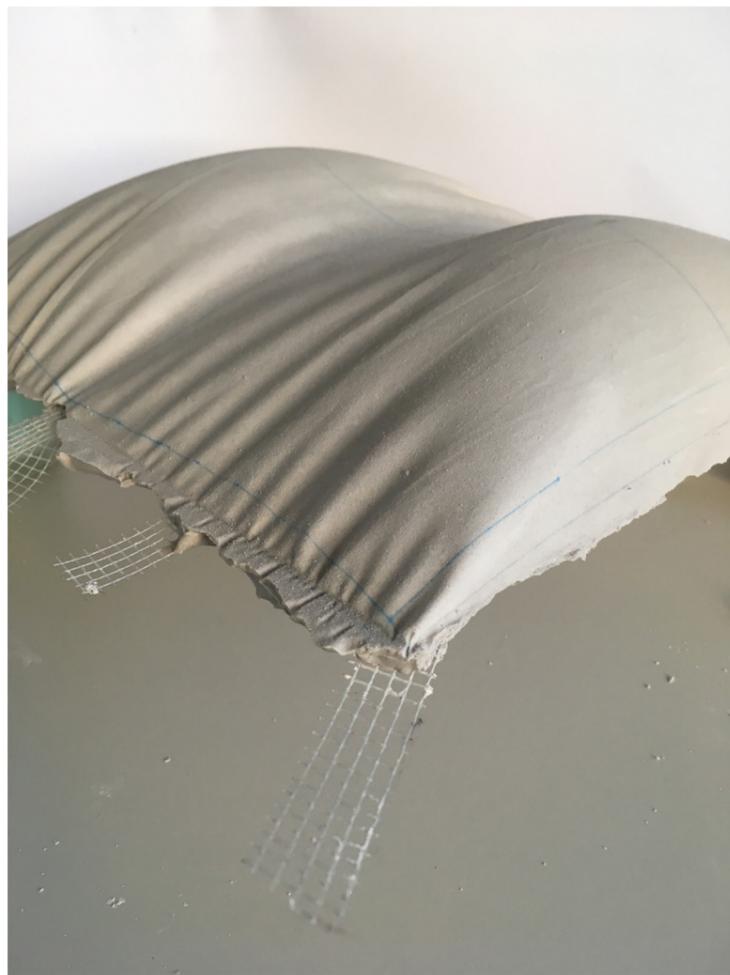
Elevación Moldaje Caso 01, modelo escala 1:10. [Planimetría]. Fig. 4.



Molde Caso 01, modelo escala 1:10. [Isométrica]. Fig. 5.

## / Caso 01

### Resultados

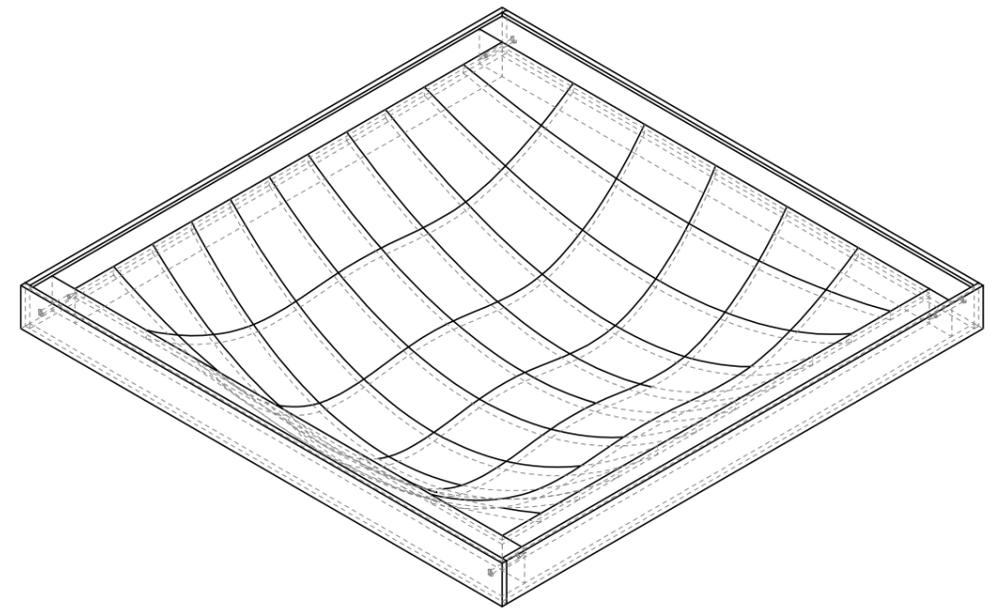


Molde Caso 01, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 5.**



Molde Caso 01, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 6.**

## CASO 02



## / Caso 02

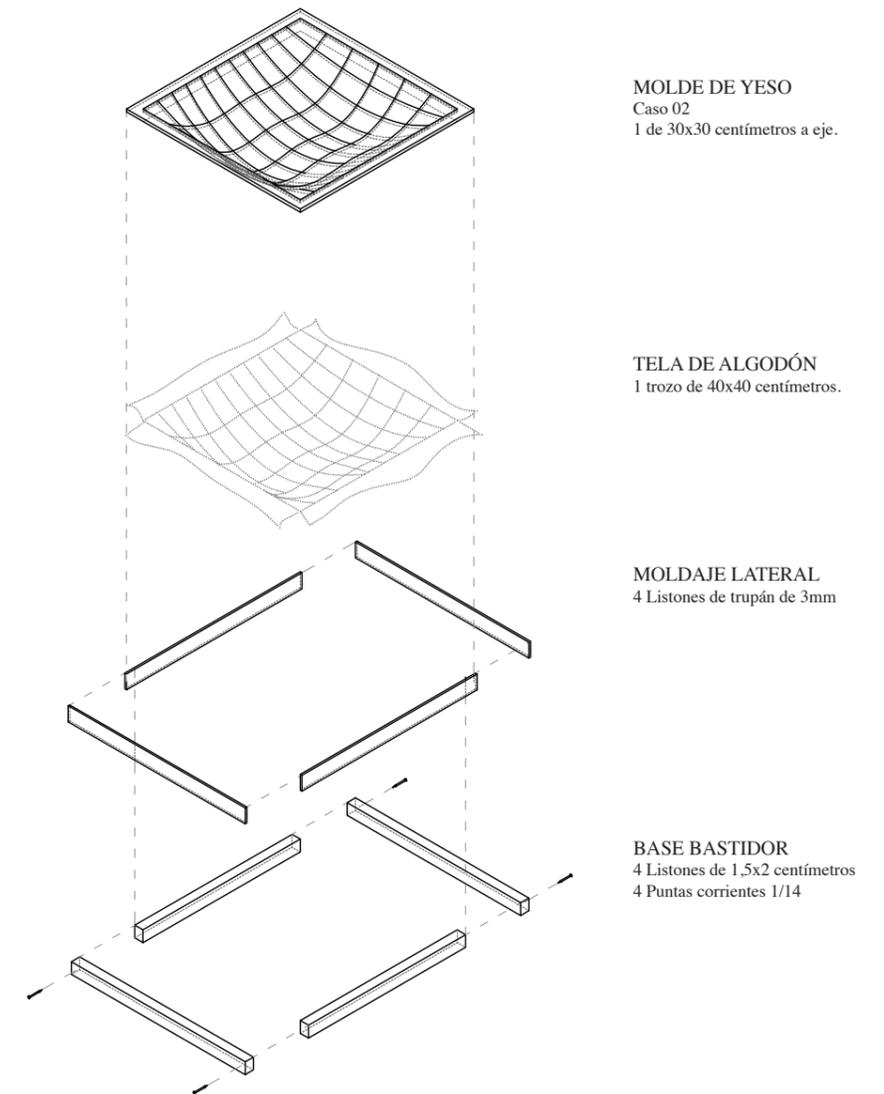
### Ficha técnica

- > Altura: 6,6 centímetros.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 4 laterales.
- > Matrices: Sin matrices.
- > Tela: 1 tela de lycra deformada.
- > Serie: Doble curvatura simétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 1/5.

### Descripción

Busca perseguir la forma de doble curvatura sin la ayuda de matrices y utilizando solo la deformación de la tela. Se recorta la tela de lycra. Para tensar en el centro se dibuja sobre la tela un arco de guía en cada extremo, cuya distancia entre ambos arcos corresponde al ancho del bastidor. Se pega la tela, sobre el bastidor con la ayuda de guías y ciñendo la tela para cubrir el margen agregado en un principio.

Se llena el negativo del molde y a partir de el extraer el positivo.



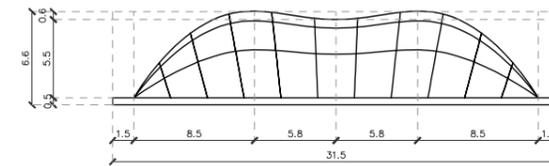
Moldaje Caso 02, modelo escala 1:10. [Isométrica explotada]. Fig. 8.

## / Caso 02

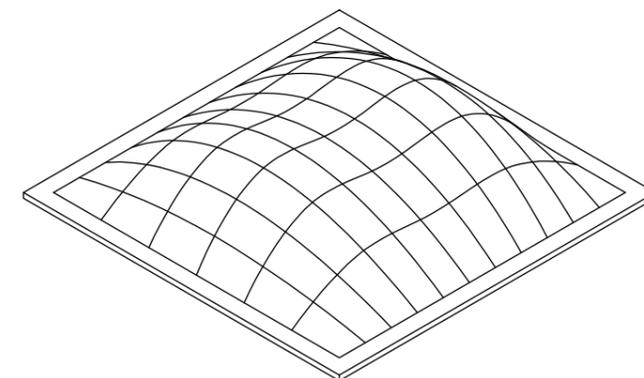
### Resultados

**Aciertos:** Se logra mejorar la apariencia de la tela lycra sobre el moldaje debido a su mayor capacidad de deformación. Eliminando casi por completo la aparición de arrugas.

**Desaciertos:** La altura central es casi imperceptible debido al peso del yeso sobre la tela con alta capacidad de deformación. Además la catenaria parece estar deformada en algunas zonas del molde, lo que indica que el comportamiento estructural no sería del todo correcto.



Elevación Moldaje Caso 02, modelo escala 1:10. [Planimetría]. **Fig. 9.**



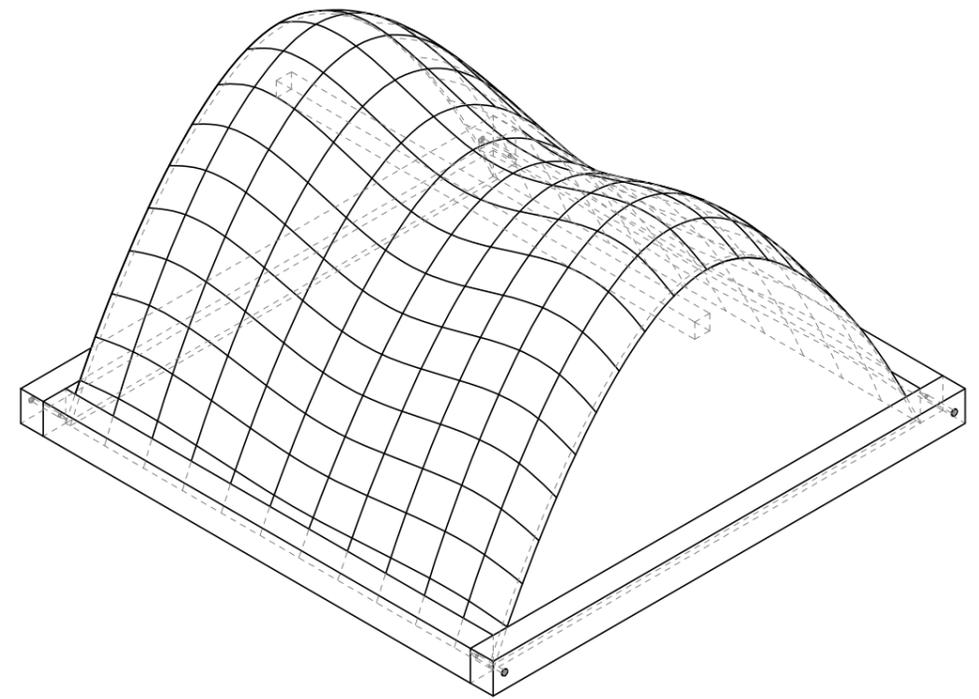
Molde caso 02, modelo escala 1:10. [Isométrica]. **Fig. 10.**

**/ Caso 02**



Molde Caso 02, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 11.**

**CASO 03**



## / Caso 03

### Ficha técnica

- > Altura: 16 centímetros.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 2 laterales.
- > Matrices: 2 matrices idénticas paralelas.
- > Tela: 1 tela de lycra deformada.
- > Serie: Doble curvatura simétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 1/5.

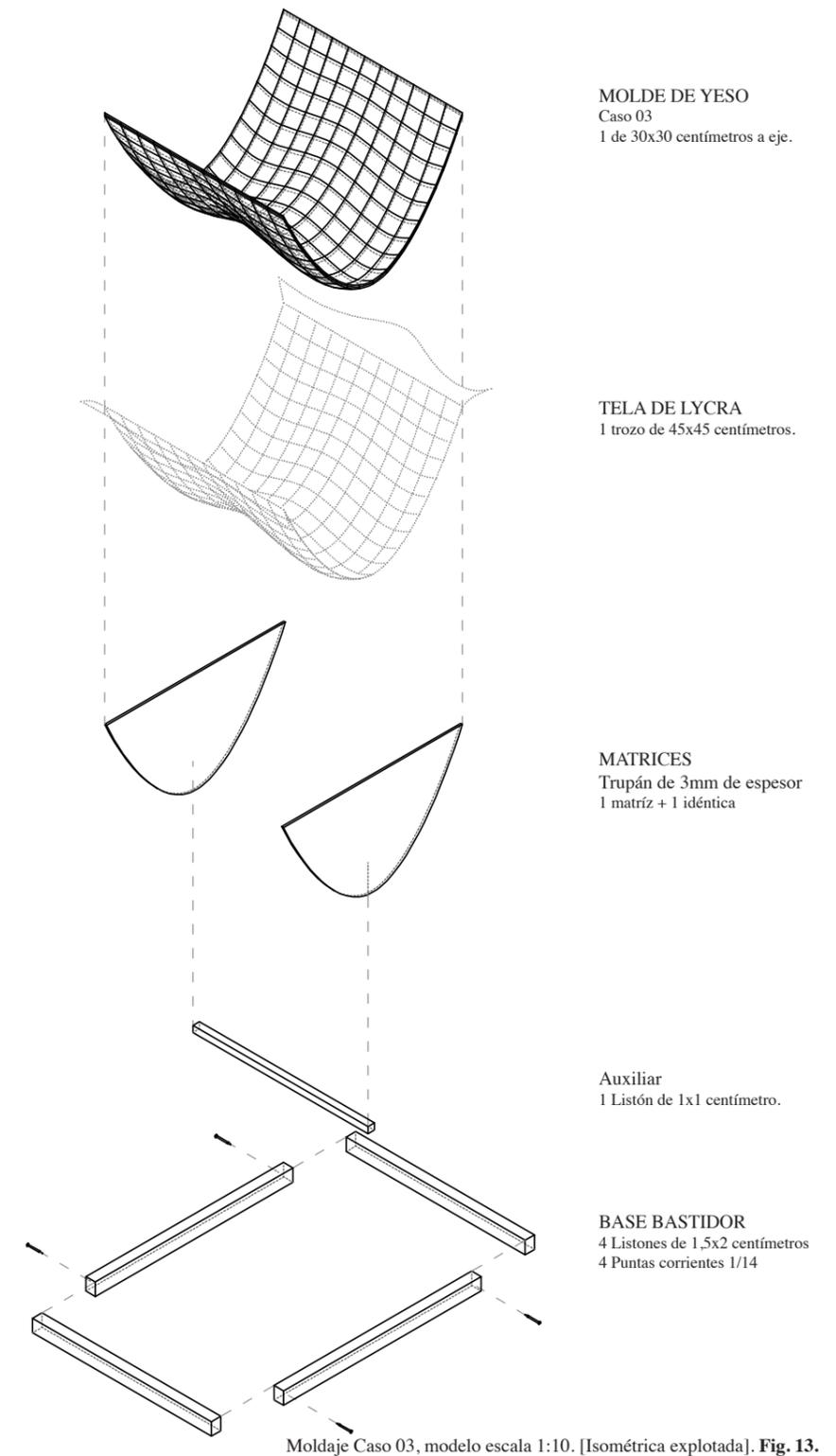
### Descripción y Pasos

Busca perseguir la forma de doble curvatura acentuada.

Se recorta la tela de lycra. Para tensar en el centro se dibuja sobre la tela un arco de guía más acentuado que los modelos anteriores.

Una vez pegado los laterales con ayuda de la guía se pega la tela a las matrices, tensándola y evitando las arrugas.

Se llena el negativo del molde y a partir de él se extrae el positivo.

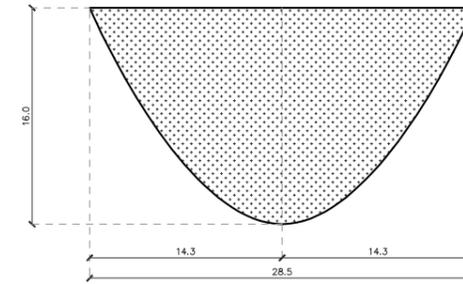


## / Caso 03

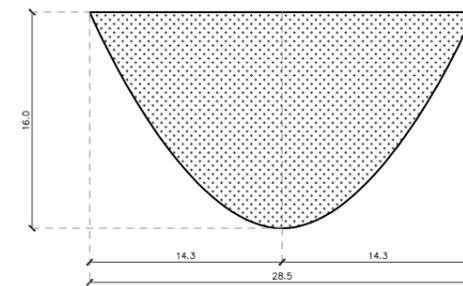
### Resultados

**Aciertos:** Se logra mejorar la apariencia de la tela sobre el moldaje debido a su mayor capacidad de deformación. La altura permite que desde el interior, las curvaturas sean mucho mas evidentes.

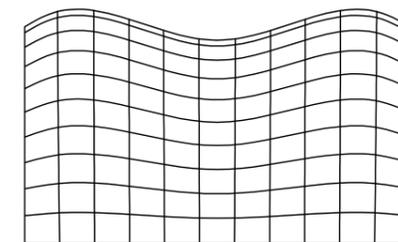
**Desaciertos:** La alta capacidad de la tela lycra, otorga un margen de error no controlado previamente al diseño de la curva esperada. Por lo tanto, la curvatura obtenida no es a voluntad. Además la altura de la bóveda, sobrepasa los límites hasta ahora posibles para su futura construcción



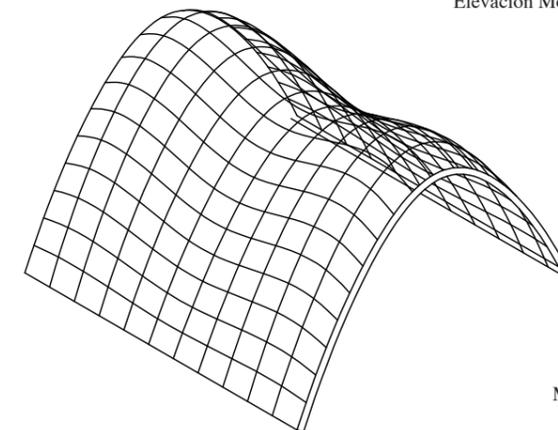
Matriz 1. [Planimetría]. Fig. 14.



Matriz 2. [Planimetría]. Fig. 15.

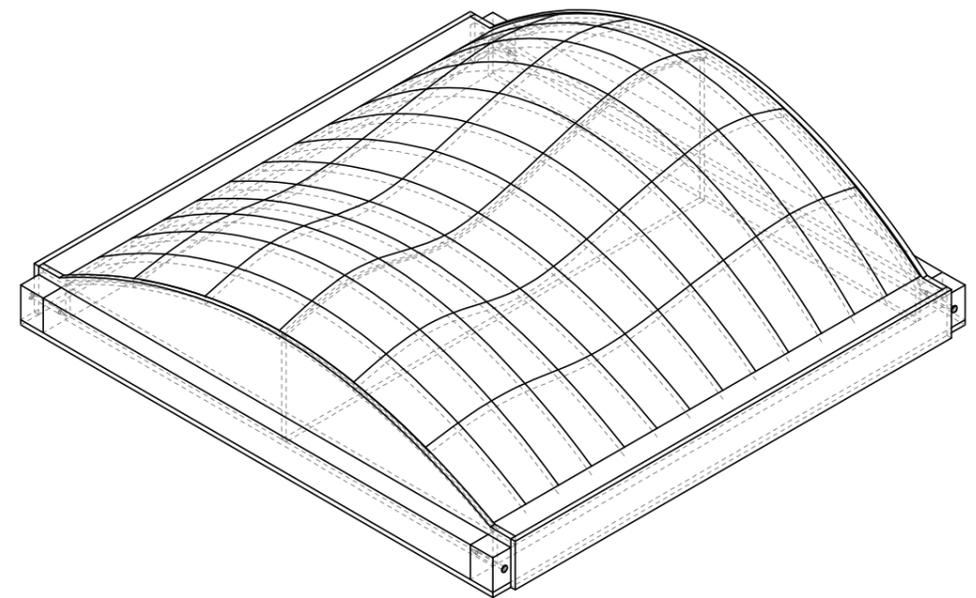


Elevación Moldaje Caso 03, [Planimetría]. Fig. 16.



Molde Caso 03. [Planimetría]. Fig. 17.

## CASO 04



## / Caso 04

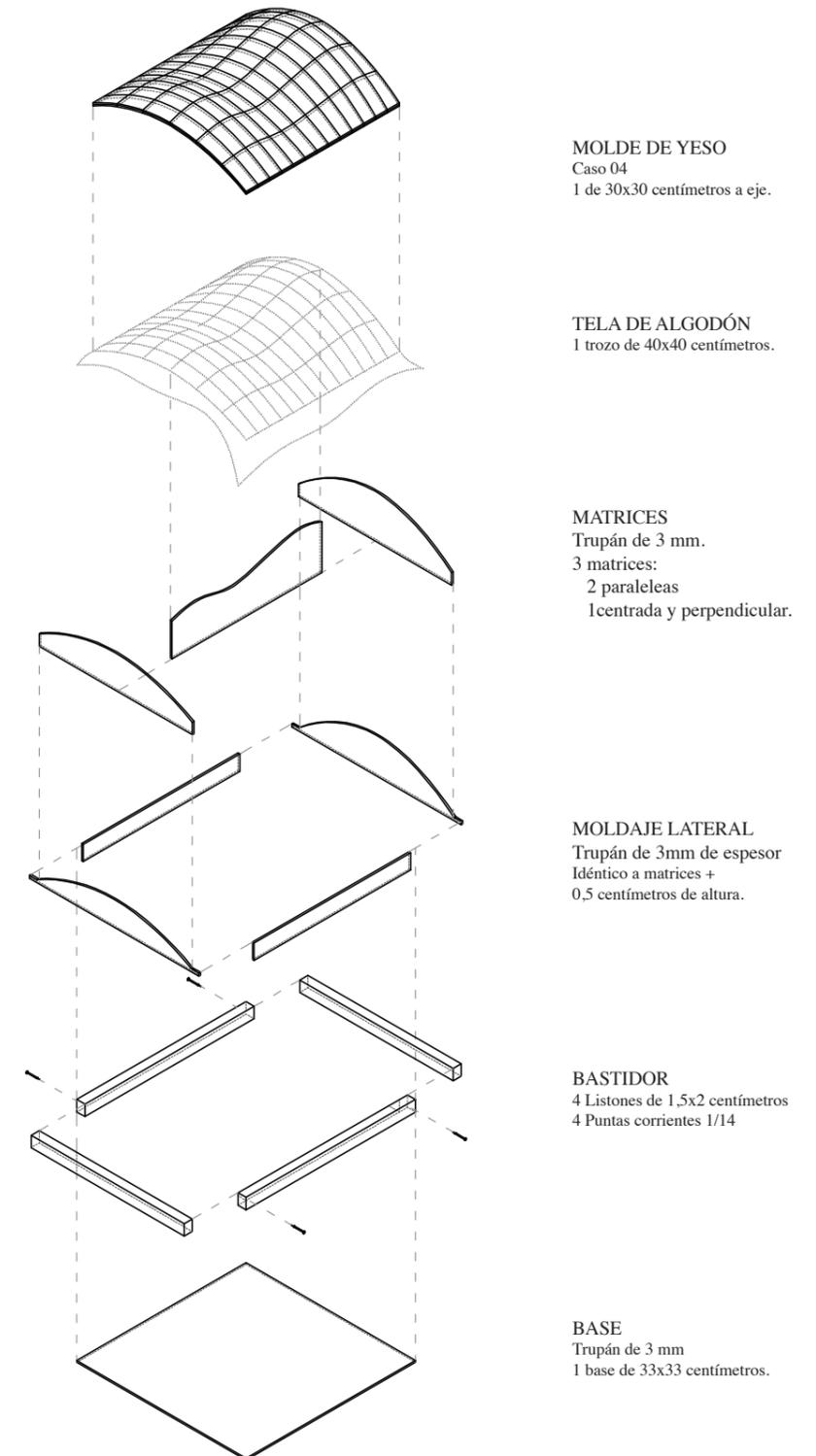
### Ficha técnica

- > Altura: 7 centímetros max. y 4 centímetros mín.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 2 laterales.
- > Matrices: 2 matrices paralelas de diferente altura +  
1 matriz centrada de doble curvatura
- > Tela: 1 tela de algodón deformada.
- > Serie: Doble curvatura asimétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 3/5.

### Descripción

Al reconocer la dificultad de la tela para adquirir la deformación requerida, se utilizan matrices en sus extremos que dejan aperturas lumínicas como también la curvatura a partir de una matriz central que ofrece la doble curvatura asimétrica. La altura de las matrices paralelas responden a la altura de los extremos de la matriz central, resolviendo en un efecto redondeado en los extremos centrales del molde.

Se llena el positivo del molde.



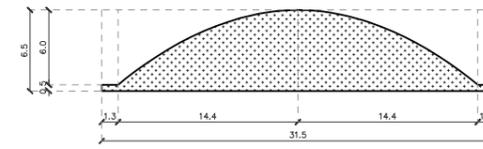
Moldaje Caso 04, modelo escala 1:10. [Isométrica explotada]. Fig. 19.

## / Caso 04

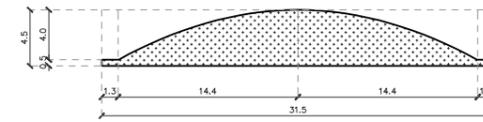
### Resultados

**Aciertos:** Se logra mejorar la apariencia de la tela. Las arrugas son casi imperceptibles y la curvatura resultante fue la esperada.

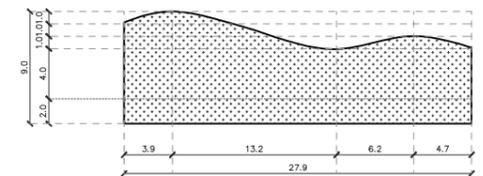
**Desaciertos:** La curvatura generada es de baja altura y la doble apertura de sus laterales, permitiría la entrada de un exceso de luz, lo que no es requerido para el espacio habitable proyectado.



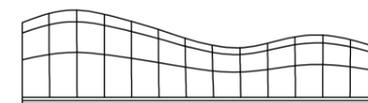
Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 20.



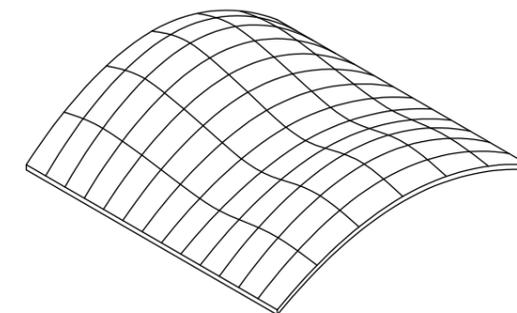
Matriz 2, [Planimetría]. Fig. 21.



Matriz 3, [Planimetría]. Fig. 22.



Elevación Moldaje [Planimetría]. Fig. 23.



Molde Caso 04 [Isométrica]. Fig. 24.

**/ Caso 04**

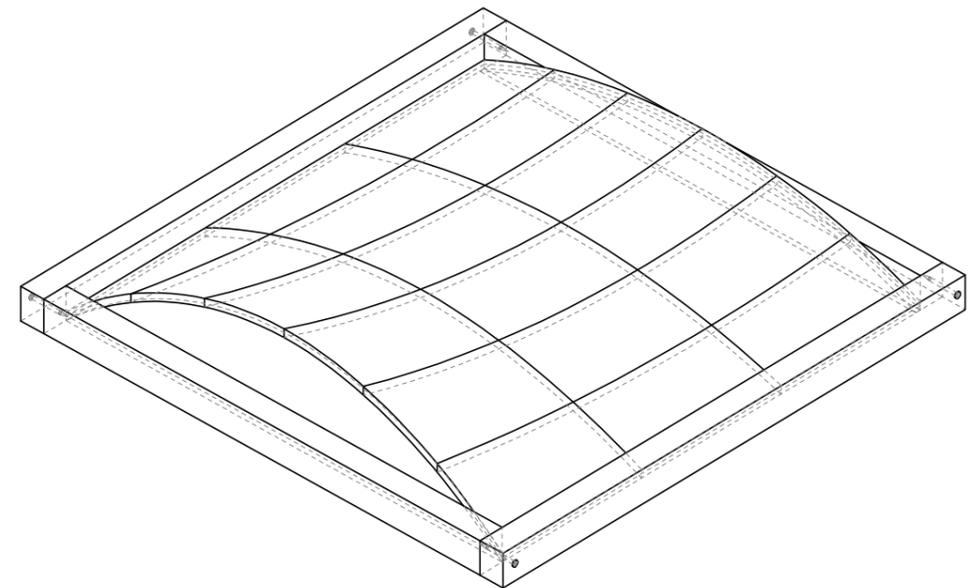


Moldaje Caso 04, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 25.**



Molde Caso 04, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 26.**

**CASO 05**



## / Caso 05

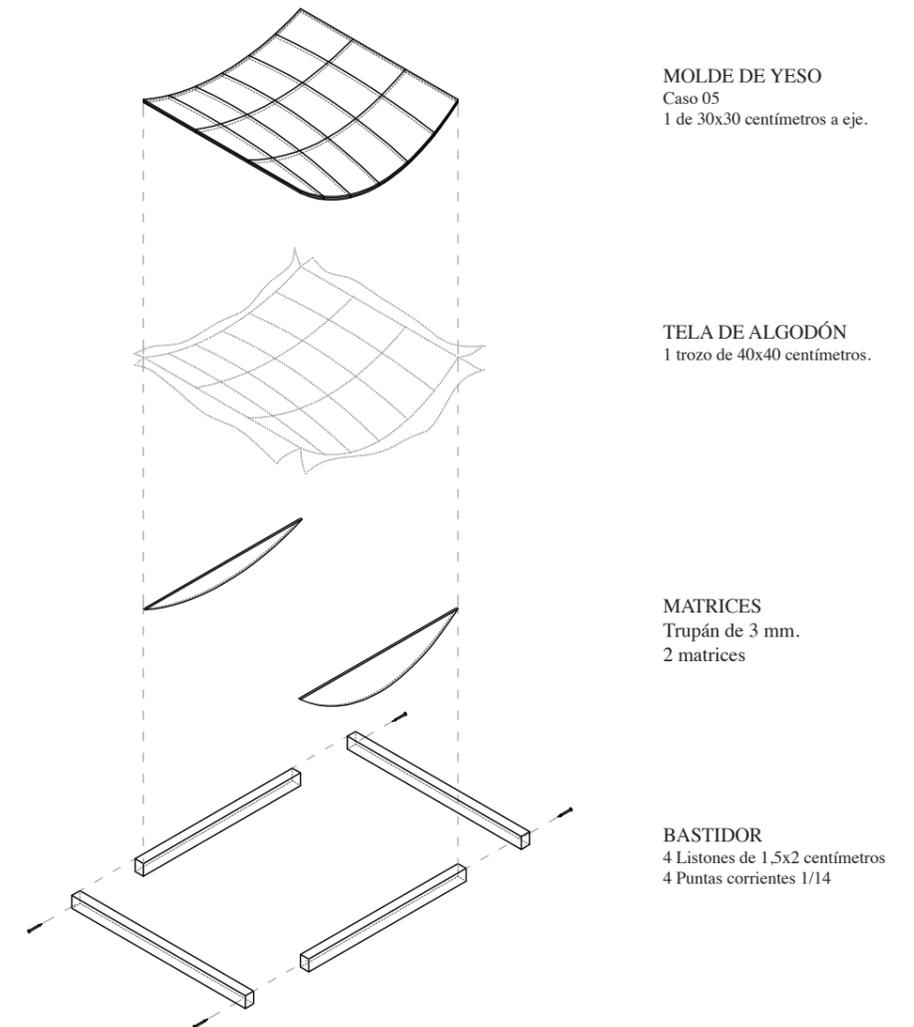
### Ficha técnica

- > Altura: 4 centímetros máx y 3 centímetros mín.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 2 laterales.
- > Matrices: Sin matrices.
- > Tela: 1 tela deformada.
- > Serie: Curvatura simple asimétrica
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 3/5.

### Descripción

Se reintentó facturar la curvatura utilizando solo tela y manteniendo las dos aperturas de sus extremos. Se dibujó sobre la tela dos arcos entre los extremos de distancias según perímetros de las catenarias de las matrices.

Se llena el negativo del molde y a partir de él se extrae el positivo.

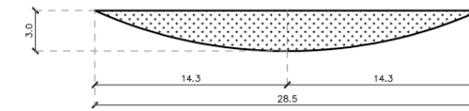


## / Caso 05

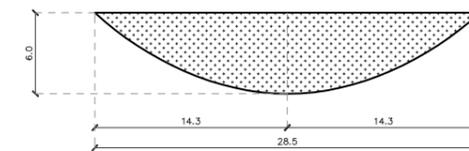
### Ficha técnica

**Aciertos:** Se logra mejorar la apariencia de la tela. Las arrugas son casi imperceptibles y la curvatura resultante fue la esperada.

**Desaciertos:** La curvatura generada es de baja altura y la doble apertura de sus laterales, permitiría la entrada de un exceso de luz, lo que no es requerido para el espacio habitable proyectado. Se genera una catenaria en vez de cúpula.



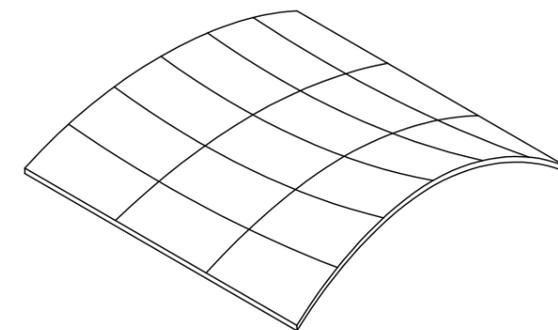
Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 29.



Matriz 2, [Planimetría]. Fig. 30.



Elevación Moldaje [Planimetría]. Fig. 31.



Molde Caso 05 [Isométrica]. Fig. 32.

**/ Caso 05**

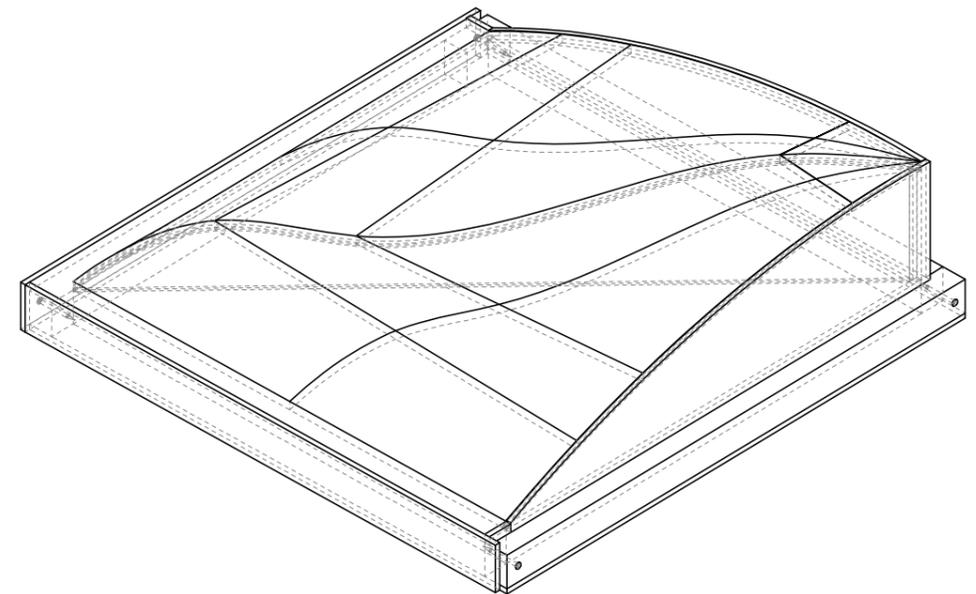


Molde Caso 05, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 33.**



Molde Caso 05, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 34.**

**CASO 06**



## / Caso 06

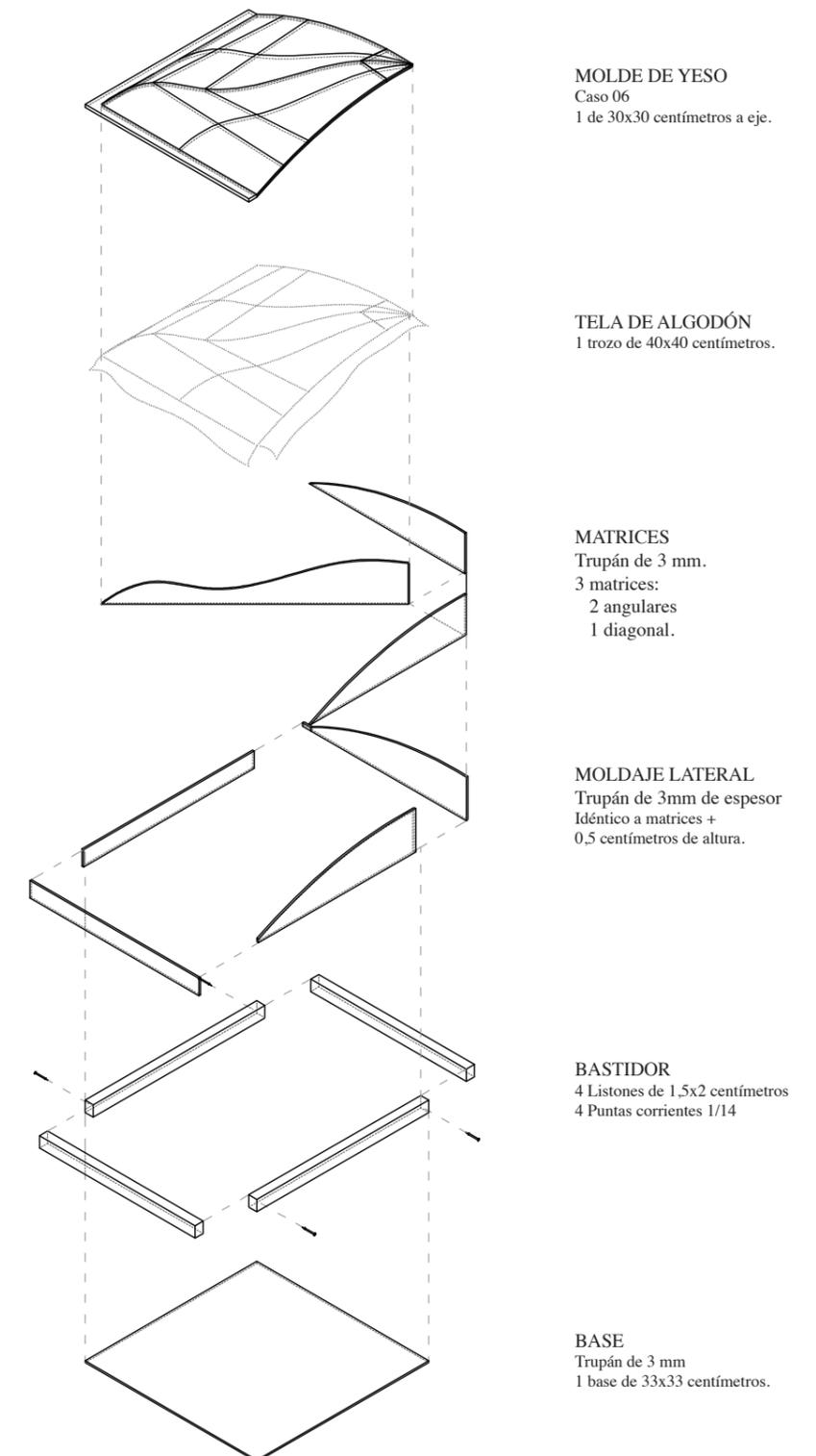
### Ficha técnica

- > Altura: 4,5 centímetros máx y 1 centímetro mínima.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 2 laterales.
- > Matrices: 2 matrices angulares simétricas + 1 matriz doble curvatura asimétrica diagonal.
- > Tela: 1 tela deformada.
- > Serie: Doble curvatura asimétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 4/5.

### Descripción

Se busca mantener la curvatura en el eje central de la bóveda para esta vez la matriz central es posicionada en la diagonal del bastidor. La doble curvatura es visible desde todos los lados del moldaje.

La intersección de las matrices en angulo terminan en altura lo que le otorga a la tela una pestaña elevada.



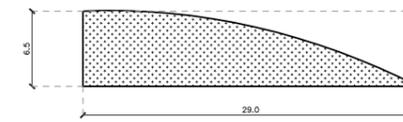
Moldaje Caso 06, modelo escala 1:10. [Isométrica explotada]. Fig. 36.

## / Caso 06

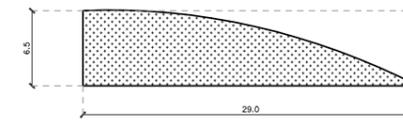
### Resultados

**Aciertos:** La apariencia de la tela sobre el moldaje de doble curvatura alcanza casi un grado de perfección en su factura, salvo por pequeñas arrugas en las esquinas. La curvatura en diagonal permite visualizar la curvatura interior desde más ángulos de visión. La altura de las curvaturas hacen evidente su forma.

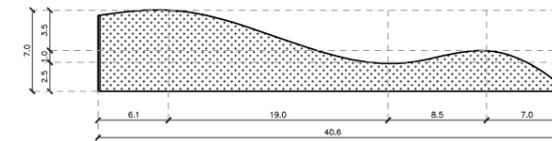
**Desaciertos:** La pestaña generada en el vertice debido a las matrices que se intersectan en el centro de la catenaria de las mismas, dificulta su construcción y desmolde, debido al cuidado que se requiere al ser el punto más debil de la bóveda. Para su construcción se necesitaría diseñar un perfil que transmita la carga hacia la columna en este vértice.



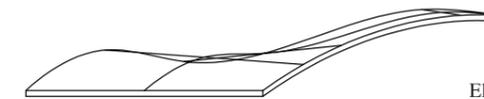
Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 37.



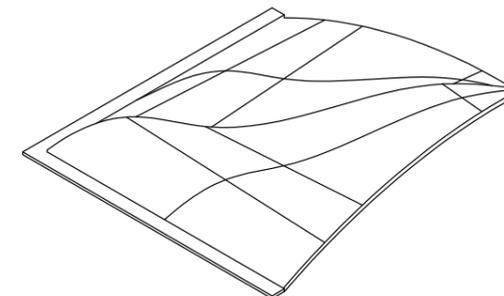
Matriz 2, [Planimetría]. Fig. 38.



Matriz 3, [Planimetría]. Fig. 39.



Elevación Moldaje [Planimetría]. Fig. 40.



Molde Caso 06 [Isométrica]. Fig. 41.

**/ Caso 06**

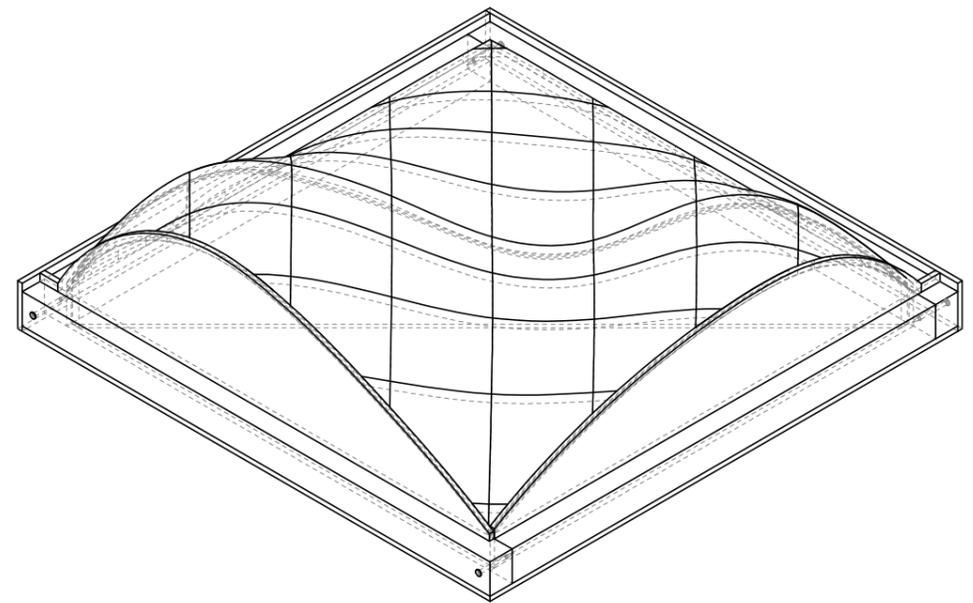


Molde Caso 06, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 42.**



Molde Caso 06, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 43.**

**CASO 07**



## / Caso 07

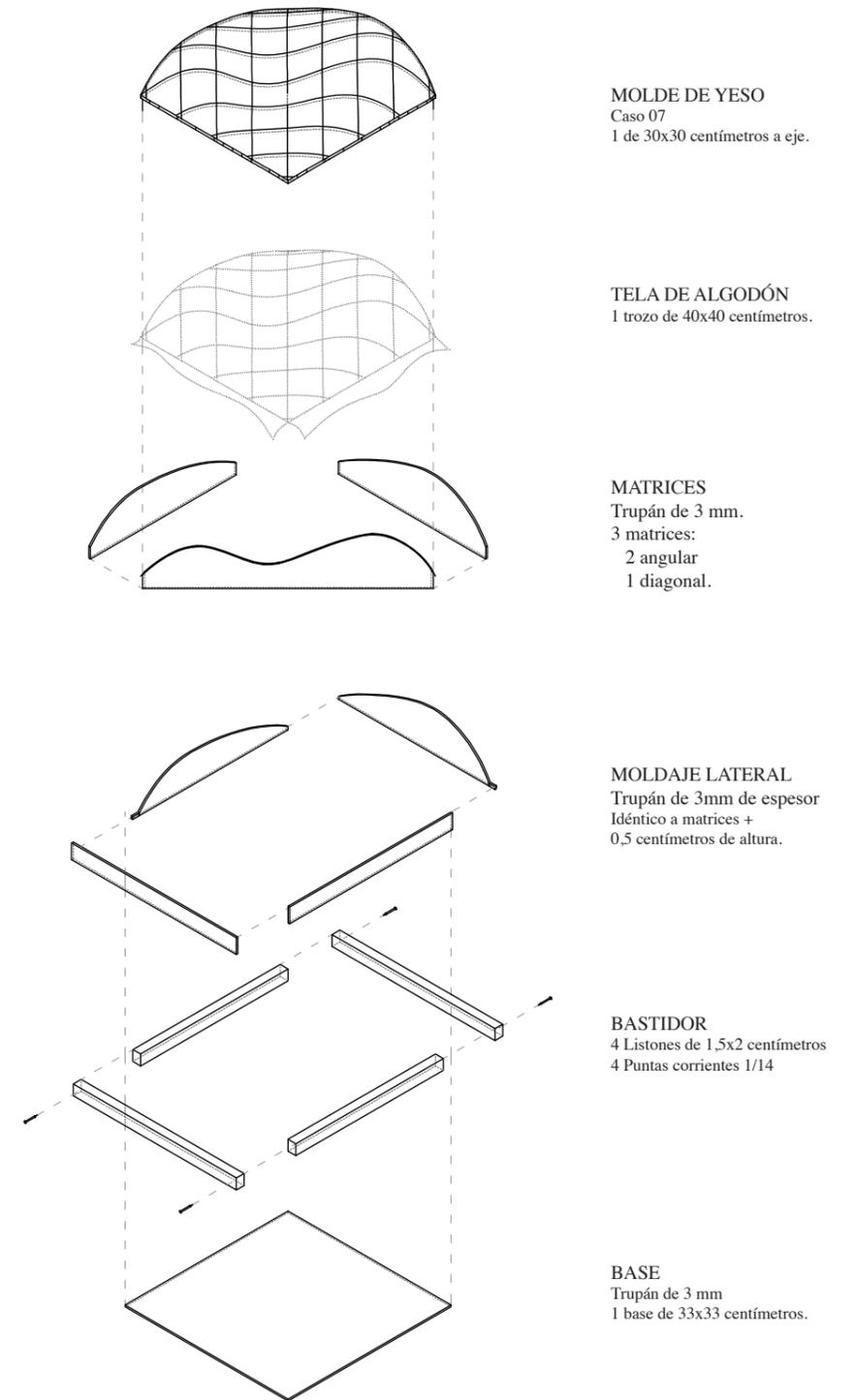
### Ficha técnica

- > Altura: 7 centímetros máx y 5 centímetros mín.
- > Sección continua: 0,5 centímetros.
- > Apoyos: 2 laterales y vértice.
- > Matrices: 2 matrices asimétricas en ángulo + 1 matriz de doble curvatura diagonal.
- > Tela: 1 tela deformada.
- > Serie: Doble curvatura asimétrica.
- > Escala: 1:10.
- > Dificultad de facturación: 5/5.

### Descripción

Similar al caso 06. Se acentúan las alturas y para hacer más aparente la doble curvatura de la bóveda. Esta vez la intersección de las matrices en ángulo termina en el vértice del bastidor, lo que mejora la apariencia de la tela tensada sobre las matrices.

Luego de pegar la tela, se requirieron de tensores entre las matrices angulares y el bastidor, debido a la tensión de la tela y la aparición de pequeñas arrugas.



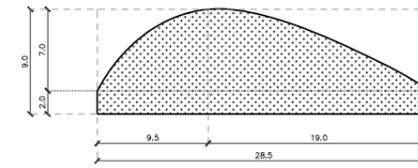
Moldaje Caso 07, modelo escala 1:10. [Isométrica explotada]. Fig. 45.

## / Caso 07

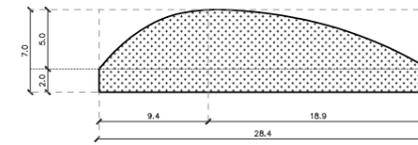
### Resultados

**Aciertos:** La apariencia de la tela sobre el moldaje de doble curvatura alcanza un grado de perfección en su factura. La curvatura en diagonal permite visualizar la curvatura interior desde más ángulos de visión. La altura de las curvaturas hacen evidente su forma. El empleo de tensores entre sus matrices y bastidor permiten una correcta posición tanto de la tela como una corrección en el aplomo de las matrices. La forma obtenida responde a lo dibujado y propuesto.

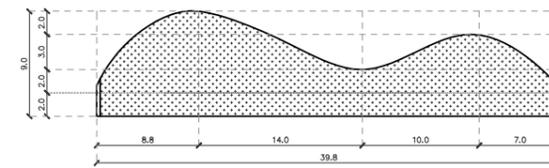
**Desaciertos:** Se requiere conocer el comportamiento estructural de su curvatura para saber si es posible su construcción en prototipos 1:1.



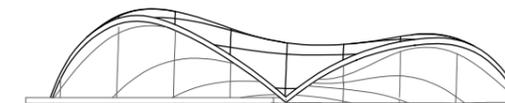
Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 46.



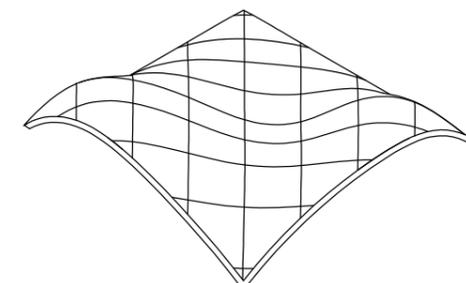
Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 47.



Matriz 1, [Planimetría]. Fig. 48.



Elevación Moldaje [Planimetría]. Fig. 49.



Molde Caso 07 [Isométrica]. Fig. 50.

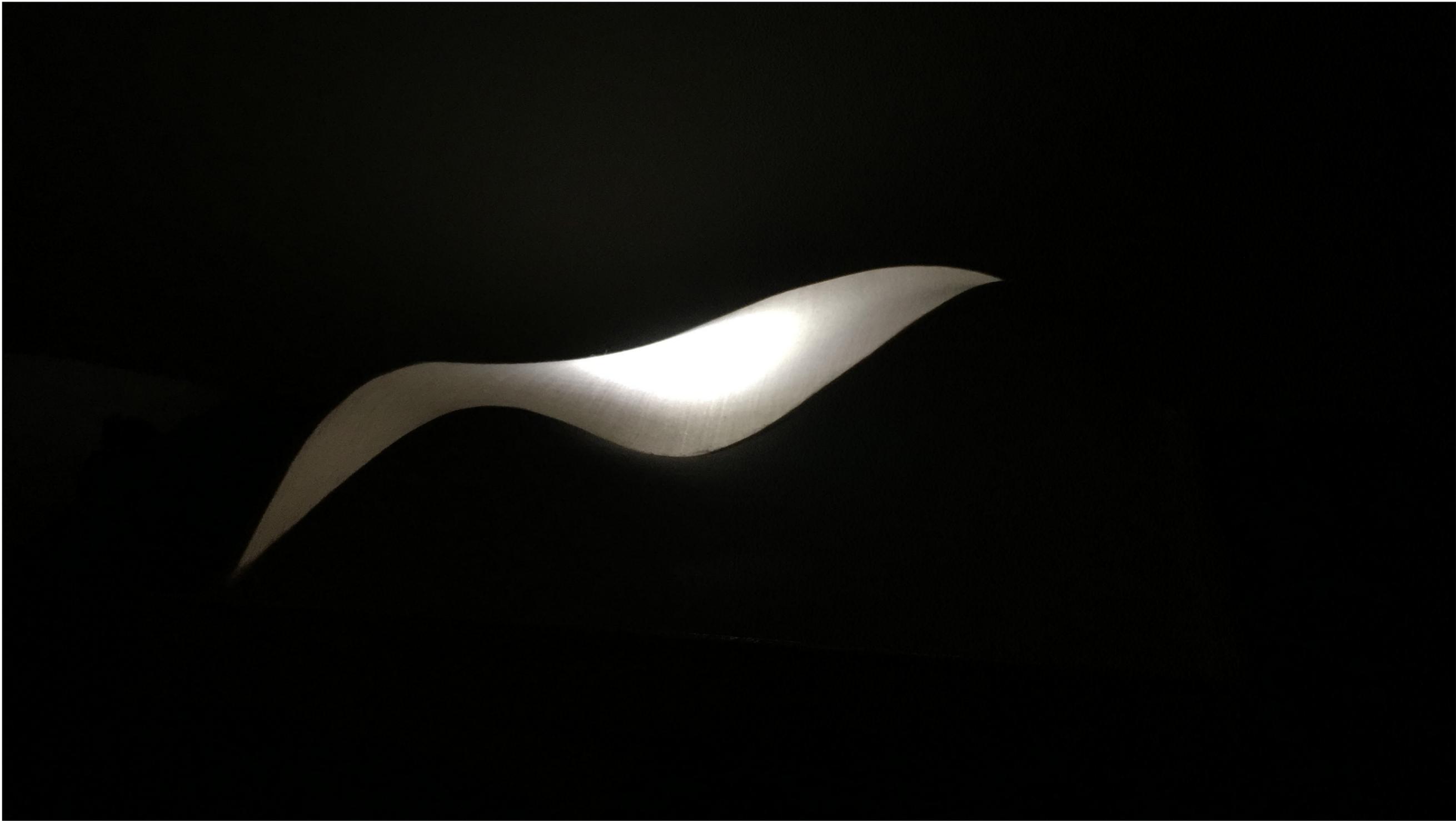
**/ Caso 07**



Moldaje Caso 07, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 51.**



Moldaje Caso 07, modelo escala 1:10. [Fotografía]. **Fig. 52.**



Moldaje Caso 07, modelo escala 1:10. [Fotografía]. Fig. 53.



Moldaje Caso 07, modelo escala 1:10. [Fotografía]. Fig. 54.



