

APLICACIÓN EN EL DISEÑO INDUSTRIAL DE LA TÉCNICA DE *FORM-FINDING*
BASADA EN LA SUSPENSIÓN DE FORMAS DE YESO INVERTIDAS

JULIANA VÉLEZ PATROUILLEAU

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN

2021

APLICACIÓN EN EL DISEÑO INDUSTRIAL DE LA TÉCNICA DE *FORM-FINDING*
BASADA EN LA SUSPENSIÓN DE FORMAS DE YESO INVERTIDAS

JULIANA VÉLEZ PATROUILLEAU

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

EVER PATIÑO MAZO

Diseñador Industrial

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN

2019

(Fecha)

Juliana Vélez Patrouilleau

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma

AGRADECIMIENTOS

A Ever, por sus enseñanzas, motivación y mucha paciencia. A Vale, Cami y Jose por acogerme y permitirme trabajar a su lado. A mi papá, por tenerme en su carpeta profesional y corregirme con amor, pero mucha exigencia. Y a mi mamá y mi hermano, por su motivación, compañía, paciencia y amor.

Contenido

INTRODUCCIÓN	10
1. CAPITULO 1	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Justificación	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
1.3. Antecedentes	13
2. CAPÍTULO 2	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1. FORM-FINDING	15
2.2. TÉCNICA DE FORM-FINDING BASADA EN LA SUSPENSIÓN DE FORMAS DE YESO INVERTIDAS.....	16
3. CAPÍTULO 3	18
METODOLOGÍA.....	18
3.1. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LA TÉCNICA	20
3.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica	21
3.1.2. Construcción de modelos para la definición de las entradas	21
3.1.3. Tabulación de la información obtenida	22
3.2. EXPLORACIÓN DE VARIABLES	22
3.3. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL	23
4. CAPÍTULO 4	25
RESULTADOS	25

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA: ENTRADAS, PROCESO Y SALIDAS ..	25
4.1.1. Entradas para la caracterización de la técnica.....	25
4.1.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica	25
4.1.1.2. Mezcla de yeso	26
4.1.1.3. Selección del textil ideal para obtención de la forma.....	27
4.1.2. Definición las variables involucradas en el proceso para la implementación de la técnica.....	31
4.1.3. Morfologías resultantes de la aplicación de variables a la técnica.	32
4.2. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL	36
4.2.1. Selección de la morfología a aplicar en el diseño de un producto industrial.....	36
4.2.2. Proceso de diseño de un producto industrial empleando la técnica de form-finding por suspensión de formas de yeso invertidas.	38
5. CONCLUSIONES.....	51
6. RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Experimentación de Gaudí con el form-finding, para el diseño de La Sagrada Familia.

Fig. 2. Experimentación con burbujas de Frei Otto para el estudio de superficies.

Fig. 3. Clasificación de las técnicas de form-finding según el principio físico que la rige

Fig 4. Desarrollo computarizado (a) y analógico (b) de la técnica de form-finding: inversión de formas de yeso suspendidas.

Fig. 5a. Preparación de las entradas.

Fig. 5b. Se impregna el textil con la mezcla.

Fig. 5c. Textil tensionado.

Fig. 5d. Etapa de solidificación.

Fig. 5e. Resultado de la técnica: salida.

Fig. 6. Artefacto diseñado para el desarrollo de la técnica

Fig. 7. Primer artefacto, con diseño cuadrado pensando en los cuatro puntos de soporte necesarios para aplicar la técnica.

Fig. 8. Artefacto final, con forma circular para aumentar la posibilidad en cuanto a los puntos de agarre al aplicar la técnica.

Fig. 9. Repertorio inicial de las variaciones principales resultantes de la técnica.

Fig. 10. Algunas de las primeras ideas para la propuesta de diseño.

Fig. 11. Salidas con cortes (a) y perforaciones (b).

Fig. 12. Evolución de la propuesta de diseño. (a) Primeros bocetos para definición de la configuración inicial. En estos se proponía diseñar un sistema de iluminación tipo superficie, que podría ser utilizado como elemento de separación de espacios, o un sistema de iluminación para techo. Se seleccionó la configuración para techo con la asesoría de un experto. (b) propuestas formales para configuración de la morfología en un sistema de iluminación para techo.

Fig. 13. Proceso de digitalización de la forma obtenida por la técnica de form-finding por suspensión de formas de yeso invertidas. (a) curvas para la construcción (b) superficies resultantes (c) forma final.

Fig. 14. Propuesta final. Se diseñó un sistema modular de iluminación que permitiese diferentes configuraciones a partir del uso de dos módulos en cerámica y elementos extras de ensamble en madera. (a) módulo inicial, primera modulación: Sistema de iluminación de un módulo para techo. (b) Segunda modulación: sistema de iluminación para mesa empleando ambos módulos, con una operación de reflexión. (c) Tercera modulación: sistema de iluminación compuesto por dos lámparas hermanas para mesa. (d) Cuarta modulación: sistema de iluminación para mesa empleando ambos módulos, con operaciones de rotación y reflexión.

Fig. 15. Propuesta final de diseño.

Fig. 16. (a) Matriz para la elaboración de los moldes. Matriz elaborada en MDF a partir de los planos seriados resultantes de la digitalización de la forma. En este caso, las perforaciones fueron insinuadas con salientes que serían recortadas posteriormente en el modelo real. (b) Matriz modificada con plastilina.

Fig. 17. Molde de yeso para la producción seriada de la morfología, y, piezas cerámicas resultante en el proceso de su producción para un producto industrial.

Fig. 18. Proceso de producción de la pieza cerámica. (a) elaboración de detalles (b) pulido (c) quema (d) pieza esmaltada.

Fig. 19. Sistema eléctrico diseñado para la lámpara.

Fig. 20. Espacio para ensamble del sistema de iluminación, este se acomoda en los espacios destinados para la placa y el cable siguiendo las formas correspondientes.

Fig. 21. Producto final.

Fig. 22. Planimetría general del producto.

RESUMEN

Con el fin de evaluar la aplicabilidad en el diseño industrial de la técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas, se realizó, en primer lugar, una exploración empírica del desarrollo de la técnica, analizando cada una de las variables implicadas en esta. Los diferentes resultados fueron evaluados en matrices de decisión que sirvieron de apoyo, junto a la asesoría de diseñadores profesionales, para seleccionar una morfología del repertorio de resultados que pudiera aplicarse en el diseño de un producto industrial.

Una vez seleccionada la morfología, se llevó a cabo la digitalización de la misma para su posterior materialización. Al mismo tiempo, se diseñó la configuración y funcionalidad del producto, siguiendo con el diseño a detalle en la etapa de generación formal. Finalmente se elaboró un prototipo del producto diseñado, prototipo que cumplía con los requisitos de viabilidad, eficiencia y novedad que se buscan al implementar este tipo de técnicas en el proceso de diseño.

PALABRAS CLAVE:

Diseño Industrial, Etapa de generación formal, *Form-Finding*, Creatividad.

INTRODUCCIÓN

El diseño industrial como disciplina creativa busca crear soluciones a distintas problemáticas ya sea a partir de objetos, servicios o experiencias. El presente trabajo se centra en las diferentes soluciones tangibles u objetuales que conforman la cultura material de las sociedades, y cómo desde su proceso de creación se les pueden otorgar cualidades estéticas, funcionales y de viabilidad productiva, especialmente desde la etapa de generación formal, es decir, en la cual el diseñador define la forma física del objeto. En esta etapa, considerada la más importante del proceso de diseño, es común que los diseñadores acudan a la implementación de diferentes técnicas que les apoyen el proceso de ideación e inspiración.

El *form-finding* es un grupo de técnicas analógicas que, a partir de principios físicos y biológicos dan origen a formas con altos niveles de novedad y eficiencia mecánica, lo que ha hecho que sean comúnmente implementadas como técnica creativa en esta etapa de ideación, especialmente de proyectos arquitectónicos. Sin embargo, en el diseño industrial no existe registro de su implementación en esta etapa de diseño, y se ha encontrado que en el mundo de la cultura material los objetos carecen de cualidades estéticas y funcionalmente novedosas.

En el presente trabajo se realizó un primer recorrido histórico sobre la implementación de dichas técnicas, para posteriormente, profundizar en el análisis de una de estas y evaluar su aplicabilidad en el diseño de un producto.

Con esto se busca principalmente abrir la gama de técnicas creativas ya empleadas para la búsqueda de referentes formales y ampliar así las posibilidades a nivel morfológico para el diseñador industrial a la hora de trabajar la etapa de generación formal en el proceso de diseño de un producto.

1. CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Justificación

La Organización Mundial de Diseño, define el diseño industrial como un proceso estratégico para resolver problemas, el cual, de la mano de la innovación y la creatividad busca mejorar la calidad de vida de las personas a través de la creación de productos, sistemas, servicios y experiencias (WDO, 2019).

A lo largo de la historia, los teóricos han definido distintas etapas en el proceso de diseño, sin embargo, todos coinciden en que existe una etapa dedicada a la creación o generación de la forma, entendiendo la forma como aquello que logra identificar el usuario a través de los sentidos (Abidin, 2012). Esta etapa resulta ser una de las más importantes en el proceso de diseño, ya que de sus resultados depende el 70% de los costos de producción de un producto (Römer, Weißhahn, Hacker, Pache, & Lindemann, 2001). Sin embargo, esta resulta ser también la más difícil, tanto para estudiantes, como para profesionales (Purcell & Gero, 1998).

La dificultad de esta etapa está en la capacidad de razonamiento visual de los diseñadores, es decir, su habilidad para abstraer constantemente información visual del medio y lograr proponer formas diferentes, con un alto nivel de novedad, a pesar de la influencia del entorno (Oxman, 1997).

Para apoyar el proceso de generación formal, se han desarrollado diferentes estrategias y metodologías que sirven como inspiración, o referentes al diseñador, entre estas se encuentran los sistemas generativos. Estos, permiten crear un gran número de formas siguiendo distintas variables según parámetros matemáticos, permitiendo su aplicación tanto de manera digital como analógica (Patiño, 2018). Vale acotar que el implementar estos sistemas no elimina el rol del diseñador en esta etapa, ya que las formas obtenidas deben ser evaluadas, analizadas y adaptadas a los requerimientos de un proyecto de diseño (Burry & Maher, 2008).

Dentro de los sistemas generativos, existen un grupo de técnicas basadas en principios físicos y biológicos que permiten la transformación y sistematización de la forma a través de la interacción entre: forma, estructura y material (Patiño, 2018). Dichas técnicas son conocidas con el término de *form-finding* (Li, Borgart, & Wu, 2017).

Los precursores del *form-finding* fueron Antoni Gaudí (1852-1926) y Frei Otto (1925-2015), ambos arquitectos que emplearon diferentes técnicas del *form-finding* para el diseño de

sus proyectos, obteniendo como resultado no sólo formas novedosas, sino también formas que podían aumentar las características mecánicas de una estructura, como lo demostró Gaudí con el uso de catenarias en la gran mayoría de sus construcciones (Tavío, 2017).

Además de sus características en cuanto a la eficiencia mecánica, las formas resultantes de estas técnicas tienen también una alta carga estética al ser resultado de fuerzas físicas, lo que significa que el resultado final de su aplicación en un proyecto de diseño sería una forma que imita aquellas de la naturaleza, haciéndola mucho más atractiva y bella para el usuario, y también más eficientes en cuanto al consumo energético y de material al momento de su producción (Patiño, 2018).

Actualmente se tiene registro de distintos arquitectos e ingenieros que han empleado algunas técnicas del *form-finding* en sus proyectos, los más reconocidos hasta ahora son los arquitectos Frank Gehry y Toyo Ito, sin embargo, son pocas las aplicaciones de estas técnicas de generación formal en el diseño industrial, teniendo apenas algunos registros de experimentaciones conceptuales con las mismas (Patiño, 2018).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Comprobar la aplicabilidad en el diseño industrial de la técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar geométricamente la técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas.
- Explorar las diferentes variaciones formales que se pueden dar con la técnica seleccionada
- Evaluar la implementación de la técnica en el diseño de un objeto industrial.

1.3. Antecedentes

El término *form-finding* fue empleado por primera vez por el arquitecto Frei Otto, quien logró sistematizar y parametrizar las leyes físicas que rigen estas técnicas para lograr transformaciones formales significativas en sus proyectos (Schumacher, 2008). Sin embargo, antes de tomar el nombre de *form-finding*, ya algunos arquitectos buscaban inspiración en la naturaleza para sus construcciones, como es el caso de Antoni Gaudí, cuyo trabajo se centró en la implementación de la técnica de suspensión de cadenas, en la cual, la gravedad ejercida sobre una cuerda amarrada en sus dos extremos, genera catenarias (Fig. 1) forma que favorece de manera estructural las construcciones, pero, además, ornamenta los espacios. En esta técnica se basó el arquitecto para el diseño de muchas de sus obras, entre ellas, una de las más reconocidas: La Sagrada Familia (Tavío, 2017).



Fig. 1. Experimentación de Gaudí con el *form-finding*, para el diseño de La Sagrada Familia.
Tomado de: shorturl.at/tMU78, el: 22/06/2019

El gusto de Gaudí por el uso de formas de la naturaleza se evidencia no sólo en sus obras arquitectónicas, sino en sus palabras, especialmente cuando recalca que: “El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica” (Molina, 2019).

Frei Otto por su parte, se centró en realizar estudios más detallados sobre las propiedades mecánicas de cúpulas y cubiertas, para esto, desarrolló una serie de exploraciones con diferentes técnicas a partir de experimentaciones análogas con burbujas (Fig. 2), logrando sistematizar la generación de formas y dando el nombre de *form-finding* a dichas experimentaciones (Patiño, 2018).



Fig 2. Experimentación con burbujas de Frei Otto para el estudio de superficies. Tomado de: shorturl.at/gGMQ8, el 22/06/2019.

Actualmente, las técnicas de generación formal pueden ser computarizadas, sin embargo, siguen los mismos principios físicos y matemáticos que siguen las técnicas analógicas de *form-finding*, permitiendo a ingenieros y arquitectos generar diferentes formas siguiendo operaciones básicas de repetición, rotación y escala, como en el caso de arquitectos como Frank Ghery o Zaha Hadid (Kourkoutas, 2007).

Además de la arquitectura, diferentes áreas de diseño han empezado a aplicar estas técnicas, ya sea de manera analógicas o digital a las etapas de generación formal de un proyecto de diseño. Tal es el caso de Iglia Vasileva Matthews, una diseñadora de modas que presentó una colección entera de prendas de vestir cuyo diseño se centraba en formas originadas de lo que ella denominó "*finding form*", inspirada en la arquitectura de Zaha Hadid, una de las más grandes precursoras del *form-finding* en la actualidad (Battista, 2012).

En el Diseño Industrial, también ha empezado a identificar la posible implementación de estas técnicas en el proceso de generación formal de un producto, especialmente desde universidades como la UBA en Argentina y la UDELAR en Uruguay donde existen espacios adaptados para la experimentación formal tanto analógica como computacional;

y la UPB en Colombia desde la cual, el Grupo de Investigación de Estudios en Diseño han realizado diferentes investigaciones.

2. CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. FORM-FINDING

Form-finding es el término bajo el cual se agrupan las diferentes técnicas de generación formal basadas en principios biológicos y físicos, dando como resultado formas estéticamente bellas, aparentemente inspiradas en la naturaleza, pero además, funcional y estructuralmente optimizadas (Patiño & Maya, 2018).

El término *form-finding* fue empujado por primera vez por el arquitecto Frey Otto, quien experimentó de forma analógica con varias de estas técnicas con el fin de optimizar la construcción de cúpulas y cubiertas. Además, antes de él, algunos arquitectos habían trabajado técnicas de generación formal que estuvieran inspiradas en la naturaleza y aportaran cualidades estructurales a sus proyectos, sin embargo, estos lo hacían de manera muy empírica, como es el caso de Gaudí (Patiño, 2018).

Las técnicas del *form-finding* están basadas en los principios biológicos de autoorganización de los sistemas, y los principios físicos de la morfología estructural. Se entiende como autoorganización de un sistema al proceso mediante el cual un sistema evoluciona, modificando su morfología o forma para aumentar sus propiedades, ya sean estructurales, funcionales o que se trate de economizar recursos, en pocas palabras, aumentar su eficacia y eficiencia. Por otro lado, la morfología estructural es el desarrollo de formas que tengan características estructurales óptimas, que maximicen las cualidades de un componente con el mínimo gasto de recursos como material y energía (Stach, 2010).

El *form-finding* entonces se caracteriza por la optimización estructural que se genera de su implementación, creando formas estéticamente atractivas por su similitud con la naturaleza, que logran el equilibrio perfecto del sistema a partir de la distribución de las fuerzas o tensiones que se dan en ellas, esto se da porque con la implementación del *form-finding*, contrario a la elaboración común de estructuras, las tensiones no son el resultado de la deformación de la estructura, sino que son las causantes de tales deformaciones. El adaptar materiales a estructuras que responden a tensiones de la

naturaleza, es lo que resulta en morfologías con las características previamente descritas (Rostislav, Ivan & Ivan, 2014).

Es así como los conceptos de autoorganización y morfología estructural, lejos de ser opuestos, se complementan, y el *form-finding* los reúne en aplicaciones tanto analógicas como computacionales, siendo este una rama especial de la optimización estructural en general (Rostislav, Ivan & Ivan, 2014). Y, asimismo, las técnicas de *form-finding* han sido comúnmente empleada en la arquitectura y la ingeniería, con el fin de apoyar el proceso de diseño en su etapa de generación formal, y dar como resultado una morfología eficiente, que cumpla con todos los requerimientos de un proyecto (Patiño & Maya, 2018).

2.2. TÉCNICA DE FORM-FINDING BASADA EN LA SUSPENSIÓN DE FORMAS DE YESO INVERTIDAS

Hasta el momento sólo se tiene documentado un repertorio completo de técnicas de *form-finding*. Este repertorio está compuesto por 40 técnicas clasificadas según el principio o fenómeno físico que rige su salida o forma final. En la clasificación se evidencian cinco principios físicos que rigen la generación de las salidas en la implementación de las técnicas de *form-finding*: inflar, agrupar, deconstruir, tensionar, solidificar y doblar (Fig. 3). Sin embargo, que una técnica se caracterice por pertenecer a uno de estos grupos, no significa que no pueda pertenecer a otro, pues diferentes principios o fenómenos físicos pueden intervenir en la generación de una misma forma (Patiño & Maya, 2018).

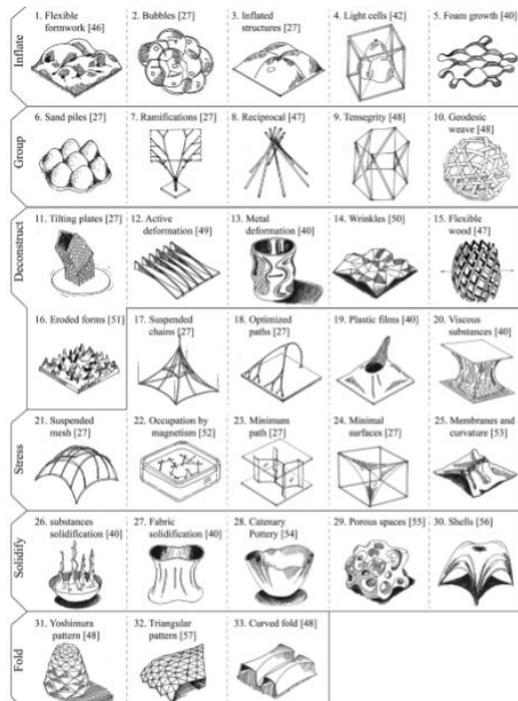


Fig. 3. Clasificación de las técnicas de *form-finding* según el principio físico que la rige. Tomado de: Computational Intelligence in Music, Sound, Art and Design. EVO 2018, pp 55.

La técnica del *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas, se encuentra dentro del grupo de técnicas que generan formas a partir de la solidificación de sustancias, sin embargo, este fenómeno usualmente viene acompañado de otro que genere la forma, para posteriormente ser endurecida a partir del uso de una sustancia solidificante que para la técnica trabajada sería el yeso (Patiño & Maya, 2018).

El fenómeno que acompaña la solidificación en este caso es la tensión. Así, esta técnica consiste en sujetar una membrana, previamente sumergida en yeso, de mínimo cuatro puntos de apoyo y dejando en suspensión la parte de la superficie que no está sujeta, tal como muestra la Fig. 4, al hacer esto, la gravedad ejercerá tensión hacia abajo sobre dicha superficie y los puntos de apoyo ejercerán una tensión igual en sentido opuesto, ya en esta posición el yeso se deja fraguar. Al invertir la forma resultante, se obtiene una superficie de doble curvatura invertida (Patiño, 2018).



Fig 4. Desarrollo computarizado (a) y analógico (b) de la técnica de *form-finding*: inversión de formas de yeso suspendidas. Tomado de: Structural optimization and form finding of light weight structures. Computers & Structures, 79(22), 2053-2062, 2001.

El objetivo de esta técnica es conseguir estructuras altamente livianas, pero, muy resistentes a la compresión, para esto se busca pasar de un textil flexible a una membrana rígida, generando un doble arco o doble curvatura, que maximice las cualidades estructurales de una morfología, dándole alta resistencia a cargas de compresión y tracción, especialmente en los puntos de mayor curvatura; sin embargo, en el desarrollo de la técnica es posible que se generen pliegues y deformaciones que reduzcan estas cualidades en la forma, así, mientras más limpia sea la superficie y más claros sean los arcos, mayores cualidades estructurales tendrá en el resultado de su aplicación, los cuales se dan especialmente en el ámbito arquitectónico para la construcción de techos y cubiertas (Bletzinger & Ramm, 2001).

3. CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La metodología empleada para conseguir los objetivos planteados, tuvo un enfoque empírico y se basó en la exploración con el *form-finding* analógico con el fin de poder intervenir las formas concebidas en el proceso de generación de las mismas (Patiño, 2018). De las variaciones resultantes, se obtuvieron una serie de resultados o modelos tangibles que fueron analizados y evaluados cualitativamente en diferentes matrices que facilitaron el proceso de selección final para llevar a cabo la aplicación de uno de estos en el diseño de un producto industrial.

En primer lugar, se definió el proceso de la técnica, a partir de un paso a paso básico de la misma, para posteriormente dar inicio a la exploración desde la metodología planteada y llegar a una caracterización detallada y más adelante proceder con su aplicación en el diseño industrial.

El desarrollo de la técnica de inversión de formas de yeso suspendidas, consta de seis etapas:

1. Preparación de las entradas: (i) un retazo cuadrado de un textil de al menos 15 cm de lado, (ii) mezcla de yeso con agua, (iii) estructura o soporte con al menos 4 puntos de agarre para sujetar la tela (Fig. 5a).

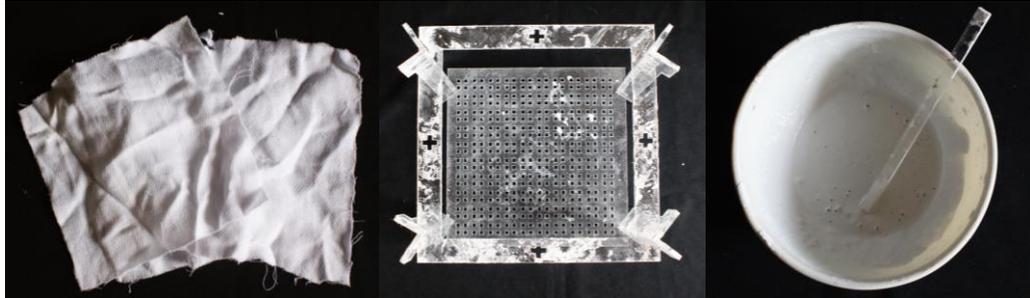


Fig. 5a. Preparación de las entradas. Fuente: autor.

2. Se sumerge el cuadrado de tela en la mezcla de yeso con agua, recién preparada, asegurando que toda la superficie del textil quede impregnada (Fig. 5b).



Fig. 5b. Se impregna el textil con la mezcla. Fuente: autor.

3. Cada una de las puntas del cuadrado se posiciona en los puntos de agarre del soporte (Fig. 5c). En este punto se da el fenómeno de tensión sobre la superficie, generando la doble curvatura, con arcos acentuados en la parte inferior del textil.



Fig. 5c. Textil tensionado. Fuente: autor.

4. De forma manual, se pule la superficie eliminando posibles grumos del proceso de fraguado del yeso.
5. Etapa de secado. Este es el proceso de solidificación que caracteriza la técnica (Fig. 5d).

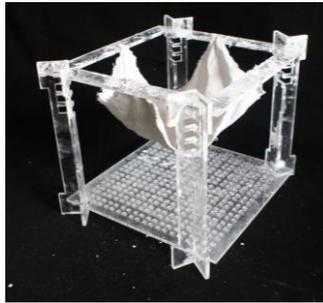


Fig. 5d. Etapa de solidificación. Fuente: autor.

6. Se retira la forma resultante y se invierte, colocando los puntos de agarre sobre una superficie, ahora como puntos de apoyo (Fig. 5e). Al invertir la forma, los arcos quedan en la parte superior, estructurando la forma de cubierta.



Fig. 5e. Resultado de la técnica: salida. Fuente: autor.

3.1. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LA TÉCNICA

La caracterización geométrica de la técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas, se desarrolló a través de tres actividades principales:

3.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica

En un primer momento, se diseñó un artefacto que permitiera la sistematización de la técnica y facilitara la producción de modelos de la misma; dicho artefacto fue inicialmente modelado en Solid Works 2017 (Fig. 6), para su posterior construcción física. Se seleccionó el acrílico como material para la construcción del artefacto por su impermeabilidad, lo cual permitió su fácil limpieza, y adicionalmente, facilitó su construcción a partir del ensamble de las piezas resultantes de un corte láser.

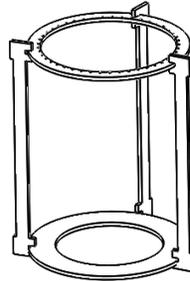


Fig. 6. Artefacto diseñado para el desarrollo de la técnica. Fuente: autor.

La forma definida para la base y el soporte fue circular, para permitir mayor exploración con diferentes puntos de agarre en la parte superior en el momento del desarrollo de la técnica.

3.1.2. Construcción de modelos para la definición de las entradas

Se desarrollaron diferentes modelos para tener un primer acercamiento al desarrollo de la técnica, y lograr definir las entradas de la misma, con el objetivo de limitar las características o factores que serían fijos en el proceso de generación formal.

En la técnica trabajada, fue primordial identificar, en primer lugar, la proporción ideal de yeso en relación con los tiempos del fraguado y los del proceso de manipulación de la técnica, y, en segundo lugar, el textil ideal para la generación de la forma esperada.

Para definir la proporción ideal de yeso, se recurrió a la consulta con talleristas cerámicos expertos, quienes tienen una fórmula definida para conocer las cantidades ideales de yeso y agua para la implementación de la mezcla en grandes cantidades. En cuanto a la selección del textil, se tomaron seis muestras de textiles con características diferentes y se aplicó la técnica a cada una, los resultados fueron analizados y evaluados tanto cualitativa, como cuantitativamente para llegar a una selección final.

3.1.3. Tabulación de la información obtenida

La información obtenida en la actividad anterior se tabuló (Tabla 1), con el fin de analizar y evaluar los detalles productivos, geométricos y estéticos de los modelos obtenidos, permitiendo definir una serie de atributos que dieron paso a la caracterización tanto formal, desde las características geométricas de los modelos, como la caracterización productiva de la técnica, desde la definición de entradas fijas, en este caso, el textil.

Proporción mezcla	Tela	Forma	Observaciones	Calificación (1- 5)	Superficie	Observaciones	Calificación (1- 5)

Tabla 1. Formato para análisis y evaluación de modelos para definición de entradas y caracterización geométrica. Elaboración propia.

3.2. EXPLORACIÓN DE VARIABLES

Una vez definidas las entradas fijas (proporción del yeso, tipo de textil y artefacto) y la geometría de la forma obtenida (salida), se realizó una hoja de ruta con las posibles variaciones que se podrían realizar en el proceso (Tabla 2), con el fin de diversificar las posibles salidas. Dentro de las posibles variables, se optó por aquellas que pudieran generar mayor cambio morfológico a la forma obtenida de la técnica base, especialmente aquellas que involucraran al textil, realizando cortes y perforaciones en este, o con la utilización de elementos externos que penetraran la forma. Dichas variaciones se aplicaron a modelos reales, realizados en el artefacto previamente construido.

ENTRADAS

VARIABLES



Tabla 2. Hoja de ruta de entradas fijas y variables.

Cada uno de los modelos obtenidos del cruce de variables planteados en la hoja de ruta, fue caracterizado en cuanto a su geometría y estética en una matriz de decisión (Tabla 3). Los factores fueron evaluados según los criterios planteados en la tabla, con un puntaje de 1 a 5, donde 1 indica que el modelo no cumple el criterio, y 5, que el criterio se cumple por completo.

Intervención	Resultado	Forma	Observaciones	Cambio morfológico (1 poco - 5 mucho)	Observaciones estéticas	Valoración estética (1 baja - 5 alta)

Tabla 3. Formato para evaluación de los modelos con las variaciones aplicadas. Elaboración propia.

Este sistema de recolección de información y evaluación permitió además caracterizar formalmente cada uno de los modelos, lo que facilitó la selección final para la aplicación de dicho modelo en el diseño de un producto industrial.

3.3. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL

La aplicación de la técnica en el diseño industrial se dio a partir del desarrollo de un proyecto de diseño. En este caso, la etapa de generación formal fue el centro del proceso de diseño, enfocándola en la consecución de una forma novedosa, eficiente y viable para un producto.

Así, después de caracterizar formal y estéticamente cada una de las salidas resultantes de la aplicación de las variables, fueron seleccionados los modelos más representativos de cada tipo de intervención, según los resultados obtenidos de las evaluaciones tanto cualitativas, como cuantitativas de las tablas descritas anteriormente. A estos modelos se les realizó un registro fotográfico especial, para implementar las fotografías como herramientas en una sesión de ideación que se llevó a cabo con los cuatro integrantes del semillero de investigación de morfología MORFOLAB.

Para la sesión creativa, fueron necesarios los siguientes insumos:

- Fotografías físicas y digitales de los modelos seleccionados.
- Block de dibujo
- Papel mantequilla
- Implementos de dibujo: lápices, colores, marcadores

En esta sesión se estudió la aplicabilidad de 4 técnicas diferentes de *form-finding* en el diseño industrial. Así, en una sesión de lluvia de ideas, cada estudiante debía generar un repertorio de ideas de productos que se pudieran diseñar empujando los resultados de cada técnica; para esto, fueron dispuestas una serie de fotografías, tanto físicas como digitales de los modelos a estudiar, que los estudiantes podían emplear como guías e inspiración formal para la bocetación. La producción de ideas tuvo un tiempo límite de 10 minutos por modelo.

A partir de las ideas generadas en la sesión creativa, se hizo una primera selección de las tres ideas más viables según los alcances del proyecto, y se generaron tres propuestas verbalizadas de diseño más detalladas. A cada una de estas propuestas, se le realizó un primer análisis según: su eficacia en cuanto lo técnico y funcional, su viabilidad en cuanto a costos, y su nivel de novedad. Cada uno de estos factores fue calificado de 1 a 5 y a partir de revisiones bibliográficas sobre el tema y, según estos resultados, se seleccionó la propuesta que se llevaría a cabo en el proceso de diseño.

Dentro del proceso de diseño, primero se realizó un estudio del estado del arte del producto a diseñar, rescatando las características más representativas de los productos existentes, y, se definió a detalle el concepto del proyecto, además, para empezar con el diseño a detalle del producto, se contó con la asesoría y el acompañamiento de expertos en diseño industrial.

A partir de allí, se hicieron diferentes propuestas formales del producto en forma de bocetos, de las cuales, algunas, fueron analizadas a través de diferentes maquetas de estudio para lograr evolucionar la idea, llegando a una que fuera completamente compatible con los criterios anteriormente mencionados de eficacia, viabilidad y novedad.

Definida la forma del producto, se dio paso al diseño a detalle de los componentes técnicos en cuanto a su funcionamiento y su forma de producción, esto se realizó con la construcción de un PDS (por sus siglas en inglés, que significa especificaciones de diseño del producto) como el que se puede ver en la tabla 4.

Necesidad	Requerimiento Técnico	Métrica	Unidad de Métrica	Valor	Demanda/Deseo (D/d)	Dimensión

Tabla 4. Formato PDS para diseño a detalle.

Una vez resueltos y definidos todos los detalles de diseño, se pasó a la producción del primer prototipo funcional del producto.

4. CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA: ENTRADAS, PROCESO Y SALIDAS

4.1.1. Entradas para la caracterización de la técnica

4.1.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica

En un primer momento, el artefacto diseñado como soporte para el desarrollo de la técnica fue diseñado con soportes cuadrados (Fig. 7), con este se realizaron diferentes modelos con resultados formales satisfactorios según las características cualitativas de sus arcos y acabados, sin embargo, estos modelos fueron descartados con el rediseño del artefacto, ya que, buscando no limitar el número de agarres, lo cual podría enriquecer morfológicamente la forma, se optó por un soporte circular, de esta manera se aseguraba que se pudieran dar más puntos de agarre, todos a igual distancia del centro para mantener la curvatura de los arcos (Fig. 8)

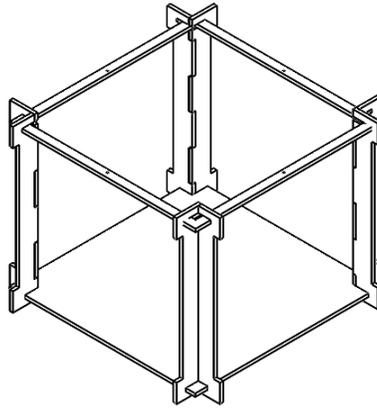


Fig. 7. Primer artefacto, con diseño cuadrado pensando en los cuatro puntos de soporte necesarios para aplicar la técnica. Fuente: autor.

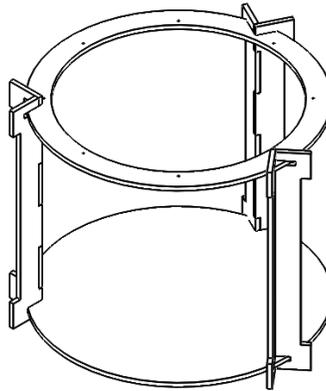


Fig. 8. Artefacto final, con forma circular para aumentar la posibilidad en cuanto a puntos de agarre al aplicar la técnica. Fuente: autor.

4.1.1.2. Mezcla de yeso

Empleando un textil de algodón definido en experimentaciones anteriores al presente trabajo, se realizó la inmersión de tres retazos de 5x3 cm, en tres mezclas de yeso diferentes y se evaluó el tiempo de fraguado del yeso en cada una, además de su acabado superficial, con el fin de seleccionar la proporción ideal.

Los resultados se muestran en la tabla 5.

Relación mezcla	Observaciones
-----------------	---------------

Yeso : Agua 1:2	La mezcla queda lo suficientemente líquida para permitir una buena inmersión de la tela, sin embargo, el tiempo de secado no es el más eficiente (hasta una hora), y la cubierta de yeso queda muy delgada como para rigidizar la membrana.
Yeso : Agua 2:2	La mezcla permite un buen tiempo de inmersión en la tela sin generar grumos, dejando un buen acabado sobre la superficie, además, el tiempo de fraguado es eficiente (20 a 25 minutos), sin embargo, la cantidad de yeso, no permite rigidizar completamente la membrana.
Yeso : Agua 3:2	La mezcla no permite una inmersión lenta en el yeso, esta se debe hacer rápido para evitar la aparición de grumos en la superficie, sin embargo, el tiempo de fraguado es menor a los 20 minutos y la membrana queda completamente rígida.

Tabla 5. Análisis de los tiempos de secado y acabado superficial de las diferentes proporciones de la mezcla de yeso. Elaboración propia.

Sin embargo, al momento de escalar su implementación en tela de mayor tamaño, los tiempos de fraguado fueron diferentes, en algunos casos nulo, y en otros no permitían la completa inmersión del textil por su velocidad de fraguado.

Para resolver esta situación, se procedió a hacer consulta con talleristas cerámicos expertos, que trabajan con grandes volúmenes de mezclas de yeso empleando una fórmula que relaciona la cantidad de yeso y de agua de la siguiente manera:

$$x \text{ yeso} + x/1.5 \text{ agua}$$

Donde x es la cantidad de yeso y al dividir esa cantidad en 1.5, resulta la cantidad necesaria de agua. En este caso, se trabajó con gramos y mililitros como unidades de medida.

Empleando esta relación, los modelos realizados con la técnica resultaron rígidos y se redujo la presencia de grumos, sin embargo, los factores ambientales siguieron siendo una variable que no se logró controlar y los tiempos de fraguado siguieron variando entre los 20 y 40 minutos.

4.1.1.3. Selección del textil ideal para obtención de la forma

Para la selección del textil, se desarrolló la técnica empleando seis tipos de textil diferentes, seleccionados de manera aleatoria entre un banco de opciones. Procediendo con la técnica, los textiles fueron sumergidos en la proporción de yeso indicada previamente y se realizó la sujeción de cada uno. El textil se seleccionó evaluando cualitativamente la morfología final, el acabado superficial y la estructura de cada salida resultante. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

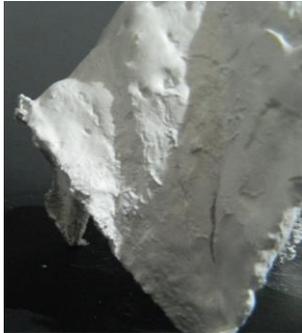
Tela	Forma	Observaciones	Calificación (1- 5)	Superficie	Observaciones	Calificación (1- 5)
1		Catenaria superior medianamente definida, la tela no permite la curvatura correcta, dejando la superficie plana. Pliegues pronunciados desde los puntos de agarre que evitan que las curvaturas entre los puntos de agarre se formen correctamente.	2		El material no absorbe el yeso, lo que hace que este se acumule en la curva superior, al momento de generar la forma.	2
2		Formación de diversos pliegues a lo largo de toda la superficie, evitando la correcta formación de la catenaria. Curvatura fluida entre los puntos de agarre.	3		El material absorbe lo suficiente el yeso, permitiendo que toda la pieza quede correctamente impregnada, sin embargo, la superficie tiene acabados poco uniformes entorpeciendo la estética de la forma.	2
3		Curvatura de la catenaria muy bien formada en la parte superior, buena fluidez de la forma. Se generan ligeros pliegues en cada punto de agarre, pero estos no afectan las formas que se dan en la superficie.	4		La tela absorbe correctamente el yeso, evitando formaciones irregulares en la superficie, dando un acabado liso y uniforme a la catenaria.	5

Tabla 6. Recolección y análisis de los resultados de la aplicación de la técnica con diferentes textiles. Elaboración propia.

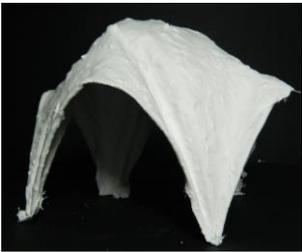
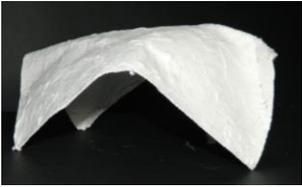
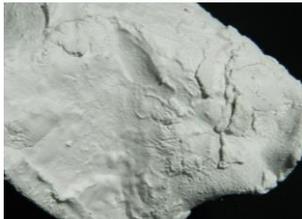
Tela	Forma	Observaciones	Calificación (1- 5)	Superficie	Observaciones	Calificación (1- 5)
4		Catenaria en la parte superior bien definida. Se dan formación de pliegues muy marcados, pero estos no afectan la fluidez de las curvaturas entre puntos de agarre.	4		El material permite buena uniformidad en la superficie, excepto en la zona de la curvatura superior, por las gotas que deslizan por este en la generación de la forma.	3
5		No se forma la catenaria por la rigidez del material empleado.	1		El material no absorbe correctamente el yeso, provocando que gran parte de este quede en la superficie generando diversas texturas.	2
6		Se genera una catenaria poco definida en la parte superior. Generación de ondas y pliegues que no permiten que la forma sea fluida o estética.	2		La tela no absorbe correctamente el material, dando como resultado una superficie poco uniforme, con texturas e incluso grietas.	2

Tabla 6 (Continuación). Recolección y análisis de los resultados de la aplicación de la técnica con diferentes textiles. Elaboración propia.

Cada una de las telas contaba con las características descritas en la Tabla 7

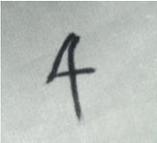
MUESTRA	CARACTERÍSTICAS
	Textil delgado de alta porosidad, pero baja absorción. Permite elongación en todas sus direcciones, pero es poco elástico.
	Textil de alta porosidad, y alta absorción. Permite elongación en todas sus direcciones, pero es poco elástico.
	Textil de alta porosidad, y alta absorción. Permite elongación en todas sus direcciones, y es elástico en al menos una.
	Textil delgado de baja porosidad, y baja absorción. No permite elongación en ninguna de sus direcciones, y es poco elástico.
	Textil de baja porosidad, y baja absorción. No permite elongación en ninguna de sus direcciones, y es poco elástico.
	Textil delgado de alta porosidad, pero baja absorción. Permite elongación en todas sus direcciones, y es elástico.

Tabla 7. Caracterización de los diferentes textiles. Elaboración propia.

A partir de la calificación se seleccionó el textil con el cual se realizaría la experimentación con variables. En este caso, se implementó el textil #3, ya que sus características elásticas y de absorción permitieron que este presentara los mejores resultados tanto en la morfología, como en estructura y acabado superficial, con una calificación de 4 y 5 respectivamente.

4.1.2. Definición las variables involucradas en el proceso para la implementación de la técnica.

El proceso es la acción de los principios físicos sobre los materiales involucrados en la técnica para la generación formal, es decir, las entradas (Patiño, 2018). Este accionar de diferentes tensiones sobre un material es lo que da origen a la forma de salida (Rostislav, Ivan, & Ivan, 2014).

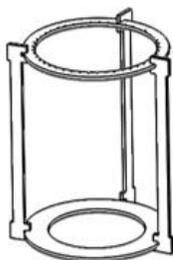
Desde el *form-finding* analógico, y desde los objetivos del presente trabajo, este proceso fue intervenido con el fin de encontrar un mayor repertorio formal que el diseñador pudiera emplear como inspiración en la etapa de formalización de un producto.

Tras realizar diferentes experimentaciones de manera empírica con la técnica, se llegó a la conclusión de que las variables que mayor cambio morfológico aportaban a la técnica serían: cortes y perforaciones sobre el textil, apoyos en la suspensión y número de puntos de agarre en el artefacto. Estas variables fueron consignadas en una hoja de ruta que serviría como guía y soporte para el control de las mismas.

Cada una de las variables fue diseñada de manera que brindaran riqueza morfológica a la exploración, para esto se emplearon formas geométricas básicas como líneas rectas, líneas curvas y círculos para su construcción; realizando, además, una intervención geométrica a cada una a partir de diferentes operaciones de transformación de la forma, ya fuese de volumen, repetición o rotación, para generar mayores variaciones (Tabla 7).

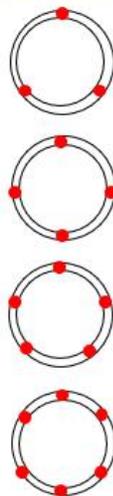
ENTRADAS

YESO ESCAYOLA:
PROPORCIÓN X/1.5

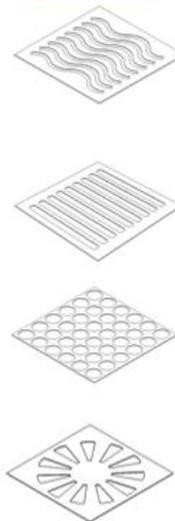


VARIABLES

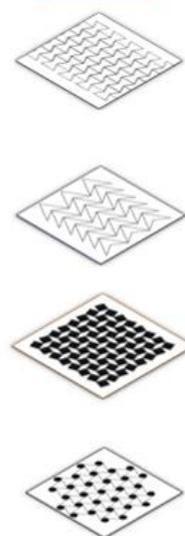
Puntos de agarre



Perforaciones



Cortes



Apoyos



Tabla 7. Hoja de ruta de variables para intervención morfológica. Elaboración propia.

Teniendo las entradas completamente definidas, se elaboró un modelo físico para cada una de las variables, los resultados de dichas experimentaciones se muestran en la tabla 8.

4.1.3. Morfologías resultantes de la aplicación de variables a la técnica.

Aplicando cada una de las variables definidas anteriormente, se realizaron diferentes modelos físicos empleando la técnica, obteniendo los resultados descritos en la tabla 8.

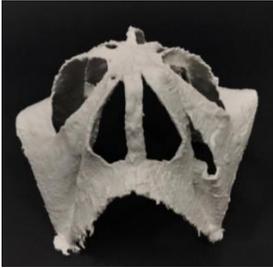
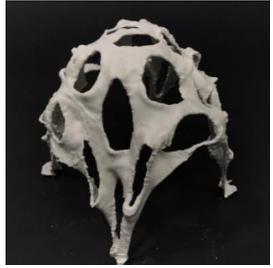
Intervención	Resultado	Forma	Observaciones	Cambio morfológico (1 poco - 5 mucho)	Observaciones estéticas	Valoración estética (1 baja - 5 alta)
Perforaciones		Las perforaciones radiales logran realzar la curvatura de la catenaria, generando una circunferencia casi perfecta en la caída.	El cambio morfológico que se logra se limita a las zonas perforadas, en este caso, los bordes tienden a la línea recta.	4	Las perforaciones generan formas uniformes, que permiten percibir la continuidad de la misma, además son simétricas y, por lo tanto, estéticamente armoniosas.	4
		Las perforaciones lineales se ven deformadas imitando la trayectoria de la caída del textil, en cuanto a la catenaria, su conformación no se ve afectada.	En este caso, dado el patrón de recorte, las perforaciones se lograron expandir por toda la superficie, lo que realizó la forma de la catenaria.	2		5

Tabla 8. Resultados de las variables aplicadas a la técnica. Elaboración propia

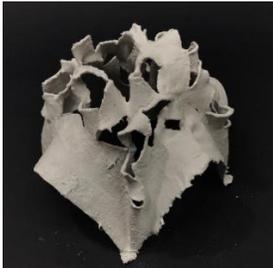
Intervención	Resultado	Forma	Observaciones	Cambio morfológico (1 poco - 5 mucho)	Observaciones estéticas	Valoración estética (1 baja - 5 alta)
Cortes		Los cortes fueron realizados con matrices de tramas expansibles, la gravedad durante la generación de la forma, llevó a la caída de los recortes, dando irregularidad a la forma.	Al igual que el caso de las perforaciones radiales, la alteración formal, se limita a la zona de los cortes, sin embargo, en este, los bordes no caen hasta la línea recta, se podría especular que los cortes generan algún tipo de restricción para esto.	4	Los cortes generan superficies irregulares y poco simétricas, además, al caer, los trozos de tela dan la impresión de punta, lo que se podría percibir como peligroso.	3
				4		3

Tabla 8 (Continuación). Resultados de las variables aplicadas a la técnica. Elaboración propia

Intervención	Resultado	Forma	Observaciones	Cambio morfológico (1 poco - 5 mucho)	Observaciones estéticas	Valoración estética (1 baja - 5 alta)
Apoyos		El uso de apoyos deforma la catenaria completamente generando formas entrantes o envolventes sobre la misma superficie	Al igual que el caso de las perforaciones radiales, la alteración formal, se limita a la zona de los cortes, sin embargo, en este, los bordes no caen hasta la línea recta, se podría especular que los cortes generan algún tipo de restricción para esto.	5	Los apoyos generan pliegues en la superficie creando una superficie orgánica y armónica.	3
				5		4
				5		4

Tabla 8 (Continuación). Resultados de las variables aplicadas a la técnica. Elaboración propia.

A partir de estos resultados, se contó con un repertorio inicial de diferentes variaciones morfológicas que puede brindar la técnica de suspensión de formas de yeso invertidas (Fig. 9), y se procedió a evaluar su aplicabilidad en la etapa de ideación y generación formal de un producto industrial.



Fig. 9. Repertorio inicial de las variaciones principales resultantes de la técnica. Fuente: autor.

4.2. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN PRODUCTO INDUSTRIAL

4.2.1. Selección de la morfología a aplicar en el diseño de un producto industrial

Para iniciar la aplicación de la técnica a un proyecto de diseño, en este caso se partió de la etapa de generación formal del proceso de diseño, para esto, y en primer lugar, se realizó una sesión de ideación, empelando fotografías de las morfologías resultantes de la implementación de las variables en la técnica como referentes formales, de esta se

obtuvieron ideas preliminares en forma de bocetos (ver Anexo 1) de posibles productos que podrían ser diseñados a partir de las morfologías que arroja la técnica (Fig. 10).

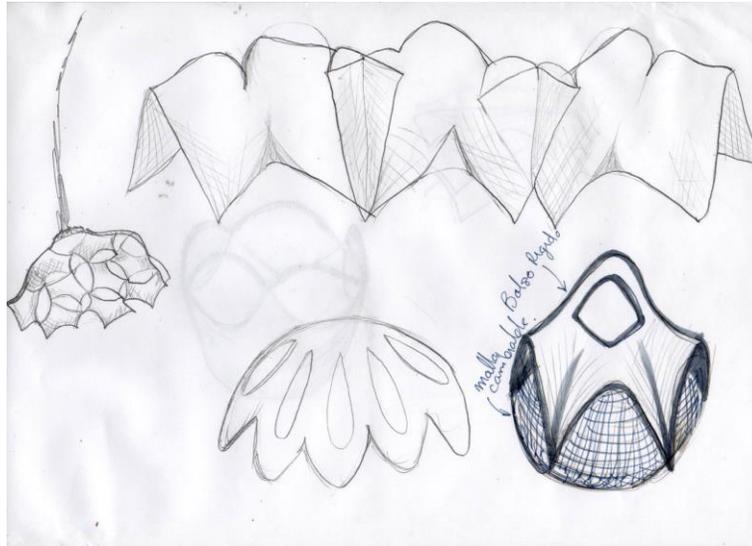


Fig. 10. Algunas de las primeras ideas para la propuesta de diseño. Elaborados por integrantes del semillero de investigación MORFOLAB.

A partir de estos bocetos se realizaron tres propuestas iniciales de aquellos productos con mayor potencial de producción. Cada una de estas propuestas se evaluó según su viabilidad en cuanto a costos, su novedad y eficiencia en cuanto a maximizar o minimizar cualidades en el producto, todas estas como objetivos principales de la implementación del *form-finding* en un proyecto de diseño. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Propuesta	Criterio	Calificación
Sistema de iluminación	Viabilidad	3
	Novedad	2
	Eficiencia	5
Base para mesa de centro	Viabilidad	2
	Novedad	3
	Eficiencia	5
Bolsos, combinando la técnica con tejidos	Viabilidad	3
	Novedad	4
	Eficiencia	5

Tabla 8. Criterios de evaluación para selección de la propuesta final. Elaboración propia.

La calificación de cada uno de estos criterios se dio según una revisión bibliográfica del producto y criterio tratado. Sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos, las propuestas fueron revisadas con un experto y, según las posibles funciones que podría desempeñar cada morfología, se llegó a la conclusión de que aquellas morfologías que presentaban perforaciones o cortes (Fig. 11), tendrían las cualidades morfológicas adecuadas para el diseño de un sistema de iluminación.

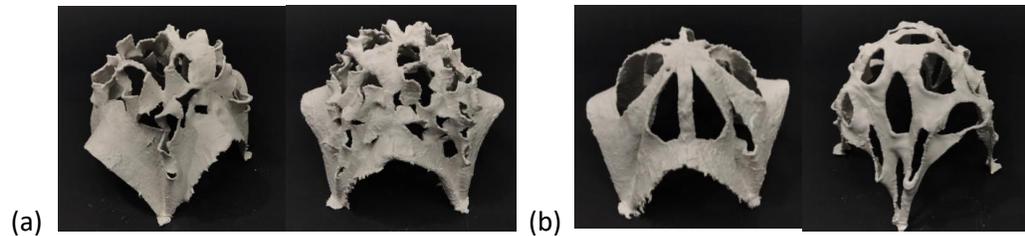


Fig 11. Salidas con cortes (a) y perforaciones (b). Fuente: autor

A pesar de la decisión final, es importante resaltar los resultados obtenidos desde el criterio de eficiencia en la tabla de decisión, ya que según la revisión bibliográfica y desde principios físicos y geométricos, las tres propuestas de diseño contaban con altas cualidades ya fuesen técnicas, productivas o estéticas, atribuidas desde la técnica.

4.2.2. Proceso de diseño de un producto industrial empleando la técnica de form-finding por suspensión de formas de yeso invertidas.

Una vez definida la morfología a emplear y que la función que esta podría desempeñar según sus características sería la iluminación de un espacio, se llevó a cabo una reunión para el asesoramiento por parte de un experto en el diseño de luminaria para proceder con el diseño del producto como tal, con su formalización. Para esto se inició con una exploración del estado del arte (ver Anexo 2) de diferentes sistemas de iluminación, desde los cuales se adquirieron características de tipo funcional que podrían ser empleadas en el diseño del producto.

Junto con este, también se desarrolló el concepto de diseño, desde el cual se definieron distintos detalles en cuanto a la ocasión de uso del producto, así se definió que: el sistema buscaría generar un ambiente sobrio y tranquilo en espacios íntimos, como salas o habitaciones. Este presentaría funciones modulares para así hacer del espacio un lugar versátil desde su configuración, pero además desde sus transformaciones de color, brindando una amplia gama de temperaturas de color en su iluminación.

A partir de este punto, el proceso de diseño se centró en detallar técnicamente el producto, esto se hizo empelando un formato de especificaciones de diseño (PDS por sus siglas en inglés) en el que definieron asuntos desde el material a emplear, hasta el sistema de iluminación necesario según el concepto a trabajar (Tabla 9).

Necesidad	Requerimiento	Métrica	Unidad de métrica	Valor	Demanda/Deseo	Dimensión
El usuario necesita que el sistema ilumine el espacio de manera uniforme	El sistema debe contar con un material difusor en las salidas de luz	Índice de refracción del material	IOR	1,4 - 1,6	D	T/P
El sistema no debe ser perjudicial para el medio ambiente	El sistema eléctrico debe ser de bajo consumo energético	Consumo eléctrico	kWh	1 - 1,5	d	T/P
Los usuarios necesitan hacer mantenimiento al sistema sin que la integridad de este o de ellos mismos, se vea afectada	El material debe resistir la humedad	Permeabilidad del material	me2	0,2 - 0,9	D	T/P
	El sistema eléctrico debe estar fuera del alcance del usuario	Sistema de aislamiento	Tipo de conexión	Conexión tipo rosca	D	T/P
Generar un ambiente de tranquilidad	El sistema debe emplear formas sinuosas	Generación de curvaturas	Técnica de generación de forma	Formas suspendidas	D	T/P - E/C
	El sistema debe emitir luces cálidas	Temperatura del color de luz	K	3000 a 4000	d	T/P - E/C
	El sistema debe permitir la generación de sombras	Intervención superficial	Tipo de variable	Perforaciones circulares	d	T/P

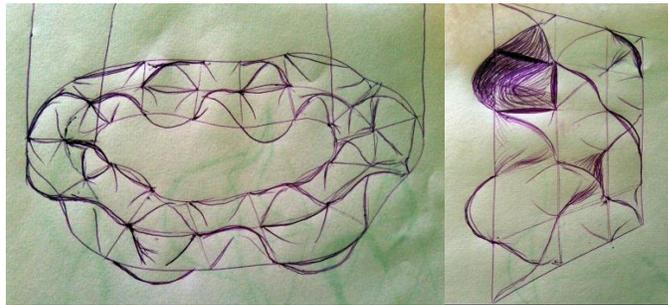
Tabla 9. PDS con detalles técnicos del producto. Elaboración propia.

Necesidad	Requerimiento	Métrica	Unidad de Métrica	Valor	Demanda/Deseo (D/d)	Dimensión
Dar apariencia de elegancia y sobriedad al espacio	El sistema debe emplear colores sobrios y simples, llevando a un estilo minimalista	Paleta de colores	Pigmentos para cerámica	Blanco esmaltado	D	E/C
	El sistema debe emitir la cantidad de luz suficiente para ambientar un espacio	Cantidad de luz emitida por segundo	Lumen	600 - 800	d	T/P
Prevenir sobrecalentamiento	El sistema LED debe contar con un subsistema que permita la difusión de calor	Conductividad térmica del subsistema	W/mK(°C)	200 - 400	D	T/P
Cambiar el ambiente del espacio	El sistema debe contar un interruptor que gradúe la intensidad de luz	Tipo de dimmer o atenuador	Referencia	Dimmer LED	d	T/P - F/O

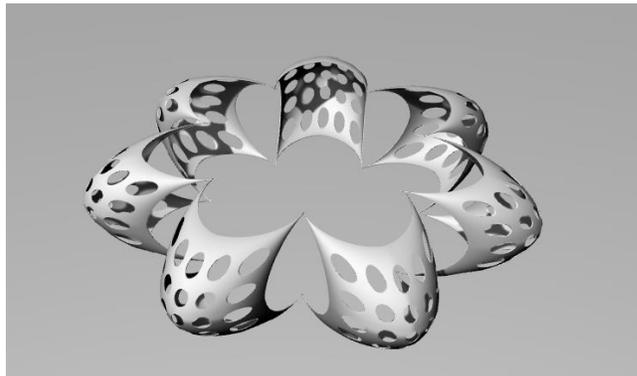
Tabla 9 (Continuación). PDS con detalles técnicos del producto. Elaboración propia.

!!!!

Tras definir los detalles de diseño, se trabajó en la configuración formal del producto, es decir, se realizaron exploraciones gráficas o bocetaciones de las diferentes configuraciones que se podrían dar empleando la morfología seleccionada para la producción del objeto, para esta exploración también se trabajó empleando diferentes operaciones de transformación formal (Fig. 12). Finalmente, se seleccionaron dos configuraciones que se podrían modular de una misma producción y este sería el producto final.



(a)



(b)

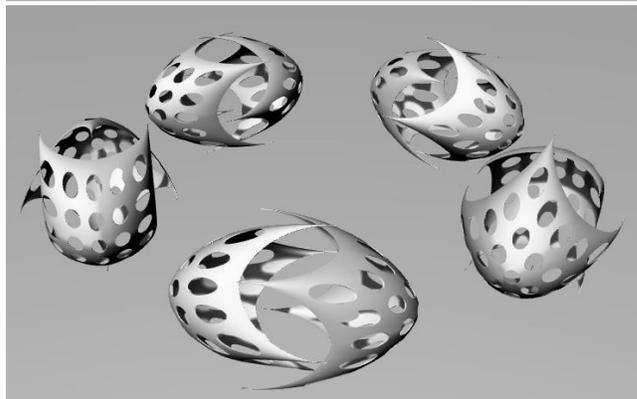


Fig. 12. Evolución de la propuesta de diseño. (a) Primeros bocetos para definición de la configuración inicial. En estos se proponía diseñar un sistema de iluminación tipo superficie, que podría ser utilizado como elemento de separación de espacios, o un sistema de iluminación para techo. Se seleccionó la configuración para techo con la asesoría de un experto. (b) propuestas formales para configuración de la morfología en un sistema de iluminación para techo. Fuente: Autor

A partir de estas primeras propuestas y modelaciones, se hizo un nuevo estudio empírico a la forma, basado en la observación, y se descartaron ambas propuestas por la alta simplificación que había sufrido la morfología inicial. Posteriormente, se realizó una digitalización más fiel de la resultante de la técnica empleando el software Rhinoceros, versión 5, esto con el fin de mantener la forma lo más orgánica posible, fiel a la forma real (Fig. 13).

Así, en primer lugar, se calcularon las curvas empleando una foto de la forma resultante real, reando así una red de curvas para recubrir (Fig. 13a), y obteniendo diferentes resultados según las modificaciones que sufrieran las curvas según los requerimientos de diseño (Fig. 13b), para finalmente realizar las perforaciones a partir de operaciones booleanas (Fig. 13c)

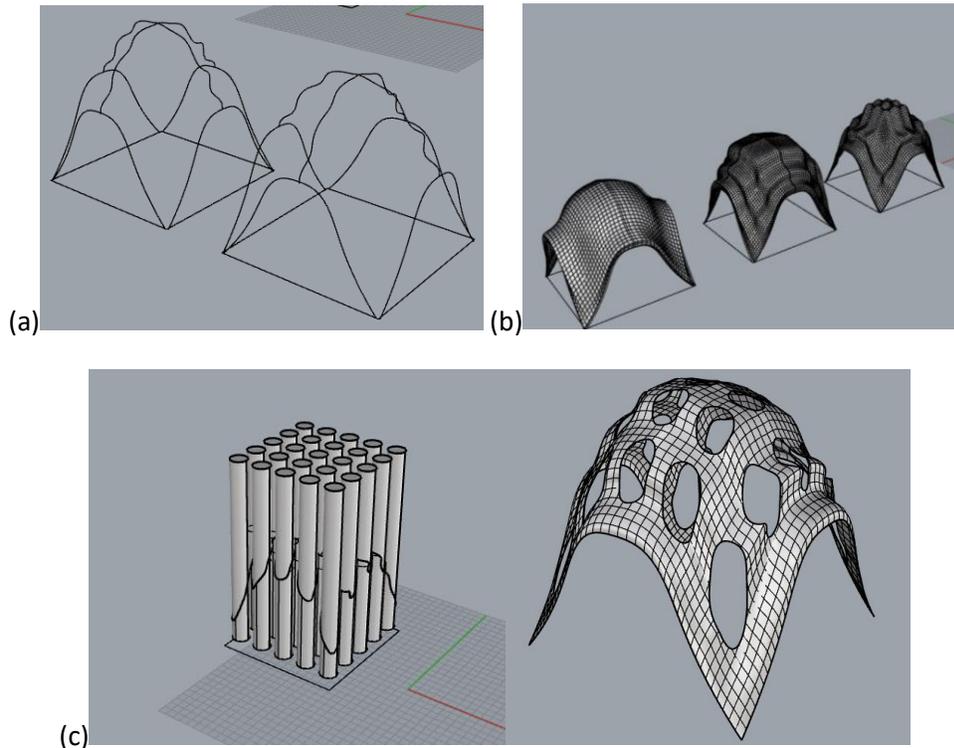


Fig. 13. Proceso de digitalización de la forma obtenida por la técnica de *form-finding* por suspensión de formas de yeso invertidas. (a) curvas para la construcción (b) superficies resultantes (c) forma final. Fuente: autor

Una vez seleccionada la forma, se reconfiguró el sistema de iluminación, simplificándolo y, llevándolo a un sistema de mesa modular con una propuesta de diseño más detallada, como se muestra en la figura 14.

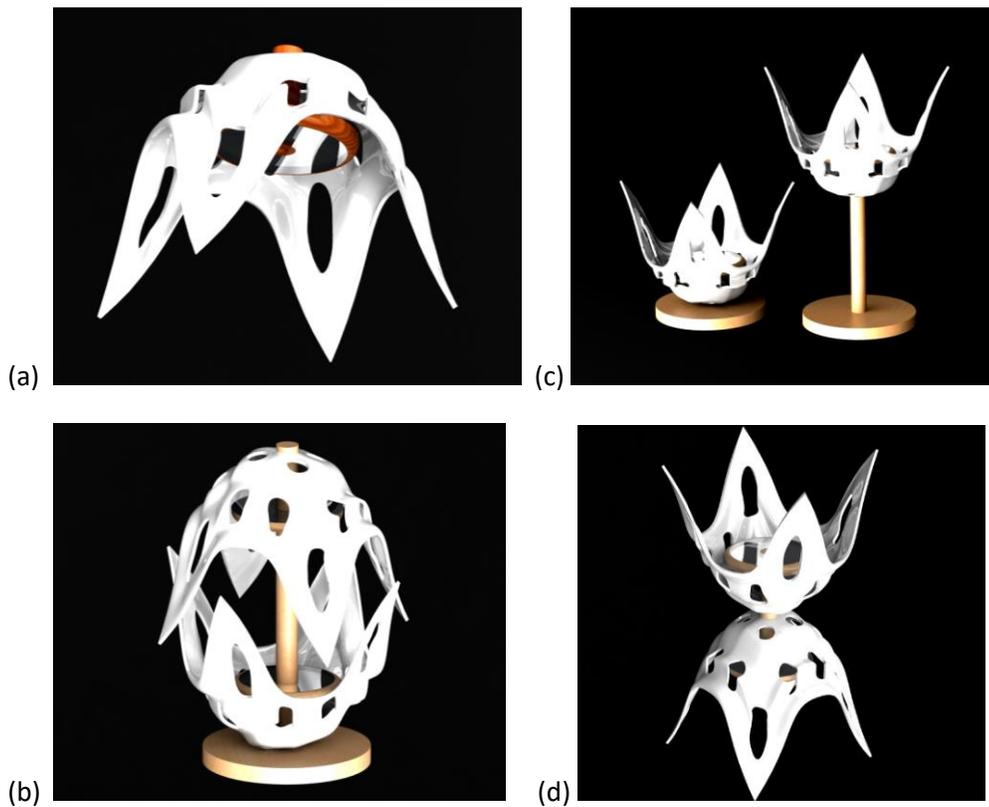


Fig. 14. Propuesta final. Se diseñó un sistema modular de iluminación que permitiese diferentes configuraciones a partir del uso de dos módulos en cerámica y elementos extras de ensamble en madera. (a) módulo inicial, primera modulación: Sistema de iluminación de un módulo para techo. (b) Segunda modulación: sistema de iluminación para mesa empleando ambos módulos, con una operación de reflexión. (c) Tercera modulación: sistema de iluminación compuesto por dos lámparas hermanas para mesa. (d) Cuarta modulación: sistema de iluminación para mesa empleando ambos módulos, con operaciones de rotación y reflexión. Fuente: autor

Finamente, se optó por simplificar más el sistema con el fin de darle protagonismo a la forma, dejando de lado elementos de ensamble y definiendo el sistema en un elemento

para mesa monolítico, que llevaría el sistema de iluminación integrado, sin emplear piezas adicionales, como se ve en la figura 15.

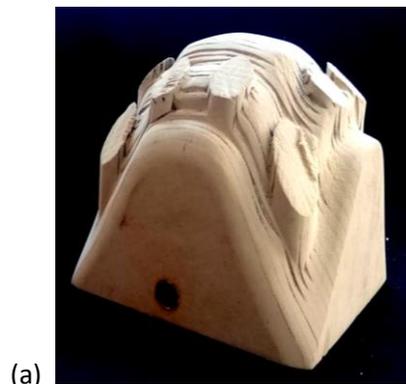


Fig. 15. Propuesta final de diseño. Fuente: autor.

A partir de aquí, se llevó a cabo la construcción de un prototipo del sistema diseñado.

Para eso, en primer lugar y tomando como guía el PDS, se hizo la selección del material con ayuda de un experto en diseño y según las facilidades de producción, ya que según los requerimientos de diseño y las especificaciones del mismo, el yeso y el textil no serían materiales lo suficientemente resistentes para la elaboración del producto, o por lo menos, no asegurarían una larga vida útil de este, con base en esto y teniendo en cuenta el tipo de producto que se iba a realizar, se optó por la cerámica como la opción más viable.

Así, se empezaron a realizar exploraciones con el material para definir el mejor método de producción, optando por el vaciado en moldes de yeso. Para esto fue necesaria la elaboración de una matriz (Fig. 16a) que sirviera para la producción de un molde para el vaciado, esta fue elaborada a partir de planos seriados de MDF, obtenidos de la modelación digital, la matriz fue modificada con plastilina para permitir el fácil desmoldeo de la pieza final (Fig. 16b)



(b) Matriz modificada

Fig. 16. (a) Matriz para la elaboración de los moldes. Matriz elaborada en MDF a partir de los planos seriados resultantes de la digitalización de la forma. En este caso, las perforaciones fueron insinuadas con salientes que serían recortadas posteriormente en el modelo real. (b) Matriz modificada con plastilina para asegurar el desmoldeo en el proceso de producción de la pieza. Fuente: autor

Una vez construida la matriz, se elaboró el molde y, a partir de este, la pieza cerámica con la morfología obtenida de la técnica de *form-finding* por suspensión de formas de yeso invertidas, la cuál sería el morfema principal del sistema de iluminación (Fig. 17).



Fig. 17. Molde de yeso para la producción seriada de la morfología, y, piezas cerámicas resultante en el proceso de su producción para un producto industrial. Fuente: autor

Posteriormente, se trabajó en los detalles y pulido de la pieza antes de su quema y esmaltado, como se muestra en el proceso descrito en la figura 18



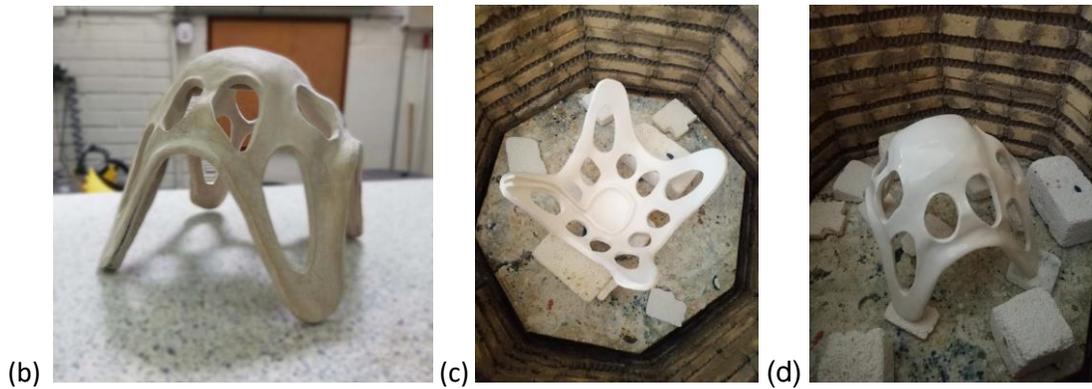


Fig. 18. Proceso de producción de la pieza cerámica. (a) elaboración de detalles (b) pulido (c) quema (d) pieza esmaltada. Fuente: autor.

Al ser la cerámica un material altamente impredecible en cuanto a conservación de tamaño, fue necesario esperar a tener listas estas piezas para así elaborar el sistema de iluminación con las dimensiones adecuadas, este fue diseñado por un experto en elaboración de circuitos (Fig. 19), constando de un sistema led con un potenciómetro que se ensambla en el espacio destinado para este desde el trabajo a detalle de la pieza final (Fig. 20).

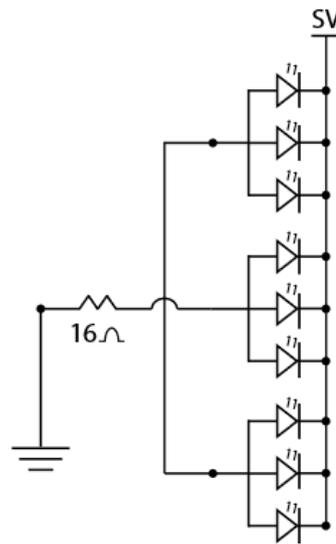


Fig. 19. Sistema eléctrico diseñado para la lámpara. Fuente: autor.

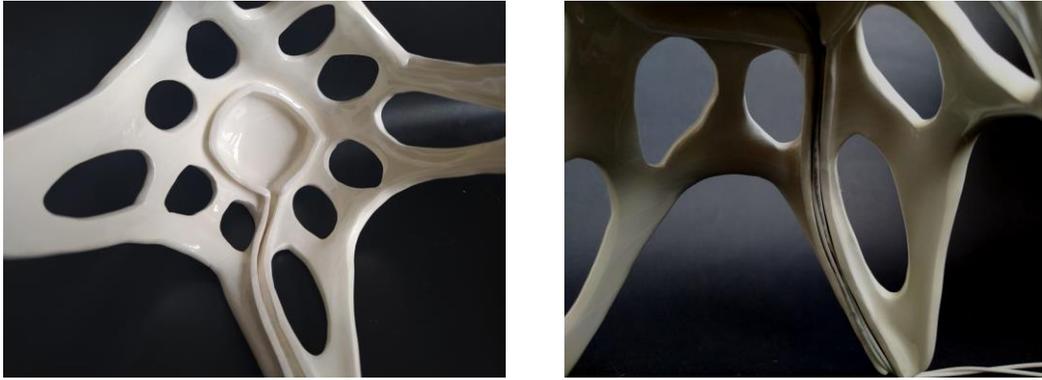


Fig. 20. Espacio para ensamble del sistema de iluminación, este se acomoda en los espacios destinados para la placa y el cable siguiendo las formas correspondientes. Fuente: autor.



Fig. 21. Producto final. Fuente: autor.

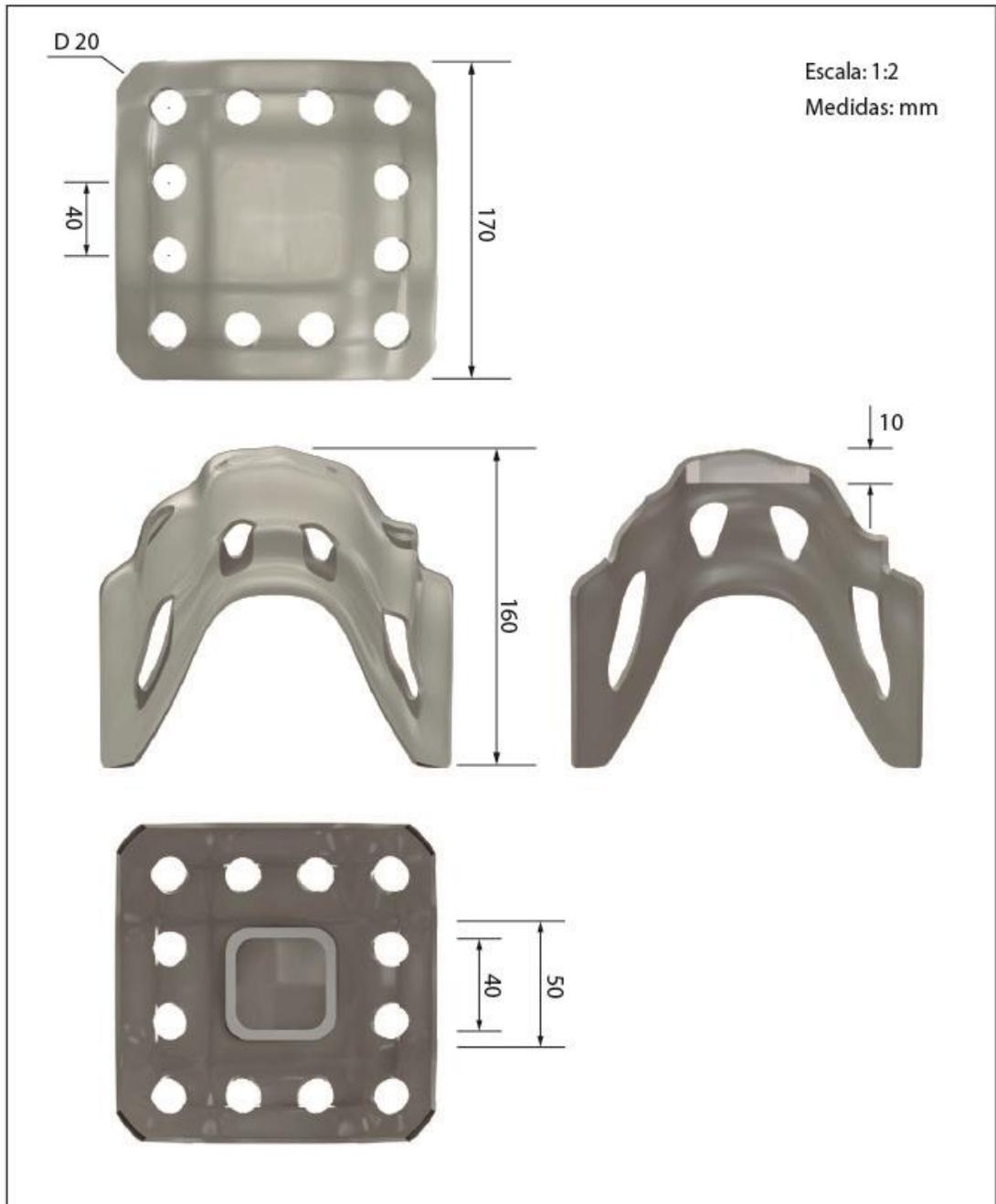


Fig. 22. Planimetría general del producto. Fuente: autor.

5. CONCLUSIONES

La técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas, puede ser empleada como herramienta creativa en la etapa de generación formal en el proceso de diseño de un objeto industrial, sirviendo como fuente de inspiración formal para la definición de la morfología de un producto. Sin embargo, la técnica no permite su implementación como proceso productivo, sólo como herramienta de inspiración formal, ya que los materiales empleados para llevarla a cabo, no son lo suficientemente duraderos y presentan limitantes para un escalado a nivel industrial.

Es una técnica de fácil implementación, sin embargo, se debe tener en cuenta diferentes factores, ya que estos pueden definir la calidad de los modelos resultantes: (i) el textil debe ser de algodón ya que este absorbe el yeso, lo que estructura mejor la forma de salida, además, si este cuenta con cualidades elásticas, los arcos catenarios que conforman la superficie, quedarán mejor definidos. (ii) en cuanto a la mezcla de yeso, aunque en el presente informe se presenta una proporción ideal, se debe tener en cuenta que los tiempos de secado y fraguado del yeso se ven altamente influenciados por los factores ambientales, así, en un día frío y húmedo, la estructura podría no rigidizarse, pero en días muy secos, esta resulta con muy mal acabado superficial, lo que se puede contrarrestar modificando arbitrariamente la fórmula, por ejemplo, agregando menos agua en los días húmedos, y menos yeso en los secos. (iii) la forma del artefacto no cambia, en general, los resultados de las morfologías obtenidas, por lo tanto, la variable del número de agarres sólo depende de los requerimientos específicos de un proyecto de diseño, ya que este sólo modifica la superficie de apoyo.

Finalmente, es importante aclarar que esta técnica no limita la morfología del producto; la técnica servirá para facilitar su proceso creativo; es parte del papel del diseñador el adaptar los resultados de la técnica a los requerimientos del proyecto de diseño. En el caso de la lámpara, la morfología fue simplificada para poder hacer más viable su proceso de producción. Además, la implementación de la técnica no define el tipo de producto, es decir, la técnica como herramienta creativa sólo hace parte de la etapa de generación formal del producto a diseñar, siendo el diseñador el que define dicho producto.

6. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que la técnica de *form-finding* basada en la suspensión de formas de yeso invertidas, en este caso, únicamente pudo ser empleada como técnica creativa para la inspiración formal, se recomienda para futuras investigaciones, ahondar en la materialización de la técnica y estudiar diferentes opciones dentro de las entradas, de manera que sea posible implementar la técnica como método de producción también. Además, el implementar los materiales reales del producto desde el desarrollo de la técnica, aportaría un mayor nivel de eficiencia a la forma obtenida.

Además, es recomendable en futuras implementaciones de la técnica, emplear herramientas estadísticas que apoyen el proceso de selección de variables, para así conseguir la forma ideal para el proyecto específico a desarrollar.

BIBLIOGRAFÍA

Abidin, S. B. (2012). *Practice-based design thinking for form development and detailing*. Norwegian: Trondheim.

Battista, A. (15 de octubre de 2012). *Irenebrination: Notes on Architecture, Art, Fashion, Fashion Law & Technology*. Obtenido de Form-Finding Vs Finding Form: From Zaha Hadid to Fashion: https://www.irenebrination.com/irenebrination_notes_on_a/2012/10/form-finding-processes.html

Bletzinger, K.-U., & Ramm, E. (2001). Structural optimization and form finding of light weight structures. *Computers & Structures* 79, 2053-2062.

Burry, J., & Maher, A. (2008). The Other Mathematical Bridge . *Nexus Network Journal* 10 , 179-194.

Kourkoutas, V. (2007). *Parametric Form Finding in Contemporary Architecture*. Vienna: Continuing Education Center.

Li, Q., Borgart, A., & Wu, Y. (2017). How to understand 'Structural Morphology? *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 145-158.

Molina, X. (2019). *Psicología y Mente*. Obtenido de Psicología y Mente: <https://psicologiymente.com/reflexiones/frases-antoni-gaudi>

Oxman, R. (1997). Design by re-representation: a model. *Design Studies* 18, 329-347.

Patiño, E. (2018). *CONSTRUCCIÓN Y EXPLORACIÓN DE UN REPERTORIO DE TÉCNICAS ANALÓGICAS DE FORM-FINDING PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS*. Medellín: EAFIT.

Patiño, E., & Maya, J. (2018). Construction of a Repertoire of Analog Form-Finding Techniques as a Basis for Computational Morphological Exploration in Design and Architecture. *EvoMUSART*, 50-63.

Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies* 19 , 389–430.

Römer, A., Weißhahn, G., Hacker, W., Pache, M., & Lindemann, U. (2001). Effort-saving product representations in design—results of a questionnaire survey. *Design Studies* 22, 473–491.

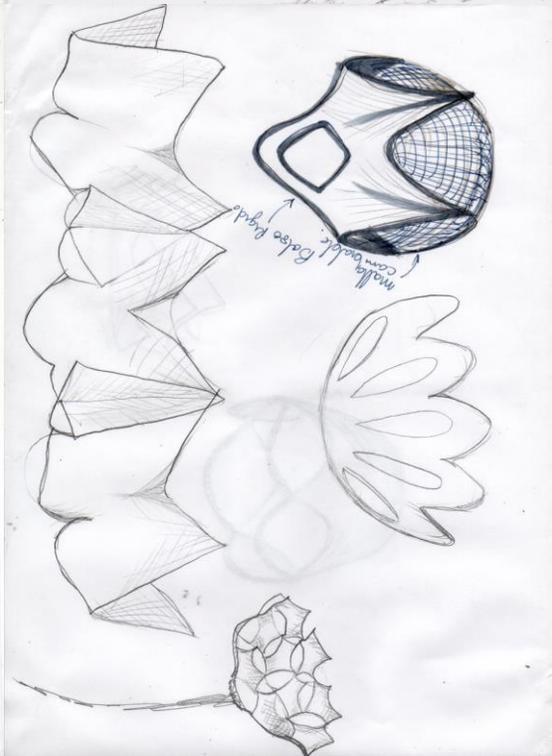
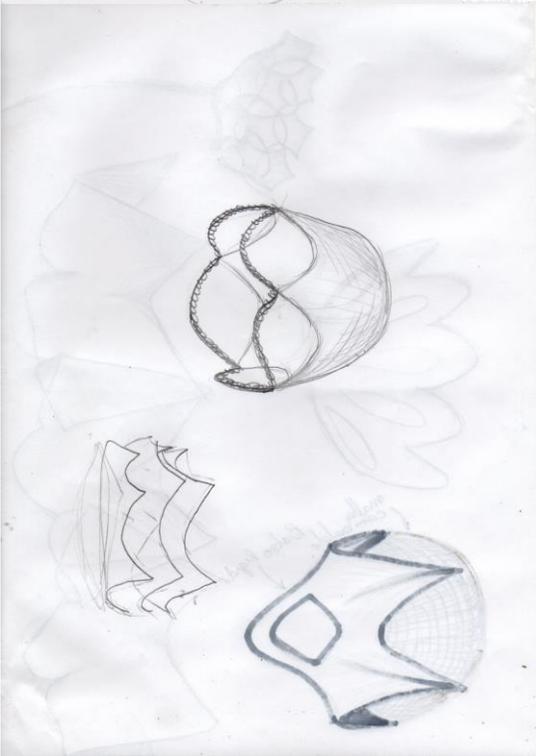
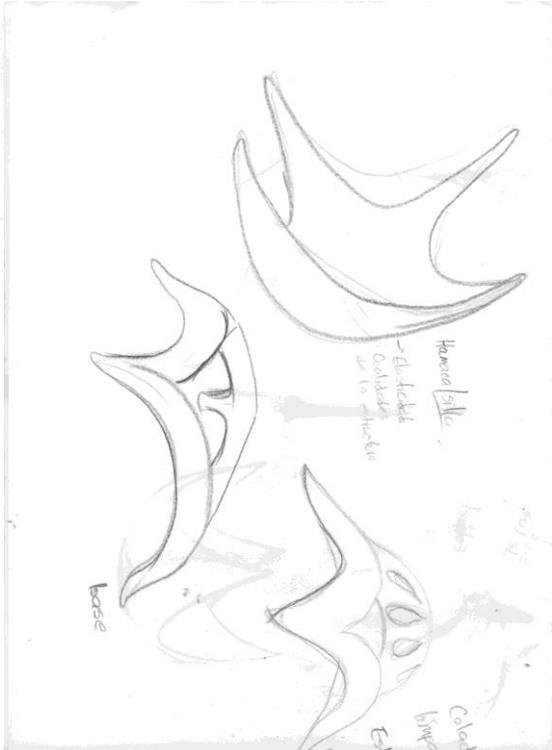
Rostislav, L., Ivan, N., & Ivan, Š. (2014). Form-Finding of Membrane Structures and Necessary Stabilization of. *Applied Mechanics and Materials Vol 617* , 130-135.

Schumacher, P. (2008). Autopoietic Elegance. En R. I. Architecture, *MRGD Morphe* (págs. 6 -8). New York: Springer Wien New York.

Stach, E. (2010). Structural morphology and self-organization. *Design and Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, 138, 29-40.

Tavío, M. M. (2017). *Repositorio Institucional Universidad de la Laguna*. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de la Laguna. Obtenido de La Naturaleza en la Arquitectura de Gaudí: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/6591/La+naturaleza+en+la+arquitectura+d+e+Gaudi.pdf;jsessionid=1F9CEDA26FEDE238B4BA3FBDE6CF7A15?sequence=1>

WDO. (2019). *World Design Organization*. Obtenido de Definition of Industrial Design: <https://wdo.org/about/definition/>



ANEXO 2

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE “LUMINARIA” /Referentes de diseño

Sistemas de iluminación suspendidos

- Sutilidad de la luz que se distribuye a lo largo de la forma
- Iluminación ambiental entre capas de material



Artichoke Lamp

Tomado de: <https://bit.ly/2tgENKV>



Lampshade, por Christo Logan

Tomado de: <https://bit.ly/2Tnj8eF>



Spoon Lmp, 2010

Tomado de: <https://bit.ly/30IXrNA>



Petals por Christo Logan

Tomado de: <https://bit.ly/2uQOL6I>

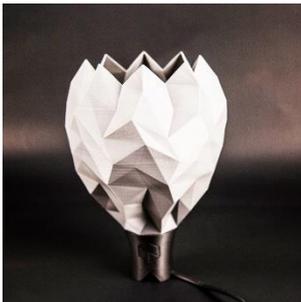
Sistemas de iluminación de mesa

- Proyección de sombras a través de la superficie
- Luz que se proyecta sobre la lámpara, dando protagonismo a la forma



Cellular Lamp, por Nervous System

Tomado de: <https://bit.ly/2FUOZLD>



Origami Lamp

Tomado de: <https://etsy.me/2TjFygZ>



Shaded Lamp collection

Tomado de: <https://bit.ly/2Tp2Di8>



Lampara flotante

Tomado de: <https://bit.ly/2uMd4SF>

- Sistema de suspensión imperceptible para dar la ilusión de flote.