

UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE *FORM-FINDING*: ENCOFRADOS ELÁSTICOS Y
CONCRETO, EN EL DISEÑO INDUSTRIAL

CAMILA AGUIRRE VÁSQUEZ

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

MEDELLÍN

2019

UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE FORM-FINDING: ENCOFRADOS ELÁSTICOS Y
CONCRETO, EN EL DISEÑO INDUSTRIAL

CAMILA AGUIRRE VÁSQUEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Diseñador Industrial

Asesor

EVER PATIÑO MAZO

Diseñador Industrial

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL

DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN

2019

22/06/2019

Camila Aguirre Vásquez

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado 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

Camila Aguirre Vásquez

C.C 1037652186

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a Ever Patiño profesor y asesor de este trabajo, por compartir su conocimiento que inspiran nuevas formas de diseño; al semillero MorfoLab y sus integrantes por hacer de la búsqueda una práctica enriquecedora, divertida e inspiradora para el que hacer de un diseñador y a los precursores del *form-finding*, por emplear tan amplia técnica en la arquitectura y el arte, embelleciendo así espacios dignos de ser habitados.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.3. ANTECEDENTES.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	4
3. METODOLOGÍA.....	5
4. RESULTADOS.....	5
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA.....	6
4.2. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA.....	7
4.2.1. Proceso de diseño.....	8
4.2.2. Propuesta de diseño.....	9
5. CONCLUSIONES.....	10
BIBLIOGRAFIA.....	11
ANEXOS.....	11

LISTA DE FIGURAS

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

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

Fig. 3. Experimentación con concreto y molde textil Andrew Kudless Tommy Kuhl Jon Meyer P-Wall.

Fig. 4. Zaha Hadid Galaxy Soho sketch. Arquitecta conceptual.

Fig. 5. Clasificación de las técnicas de *form-finding*.

Fig. 6 y 7. Experimentación inicial de la técnica.

Fig. 8. Artefacto diseñado para el desarrollo de la técnica. Elaboración propia.

Fig. 9. Planos primer artefacto, con cuatro puntos de soporte necesarios para aplicar la técnica y el uso de columnas básicas. Dimensiones en cm.

Fig 10. Ejemplo ensayo de compresión.

Fig. 11. Desarrollo segundo artefacto. Dimensiones en cm.

Fig 12,13,14. Primeros modelos de la tecnica Encofrados Elásticos.

Fig 15-21. Probetas de concreto con la mezcla y proporciones 1:2:2 para el analisis de las propiedades mecánicas.(cuadradas).

Fig 22-23. Probetas de concreto con la mezcla y proporciones 1:2:2 para el analisis de las propiedades mecánicas.(rectangulares).

Fig 24. Gráfica de resultados Ensayo de Flexión.

Figura 25. Variables empleadas (Tensión-90%) (Molde- Circular) (Columna-Punta redondeada) (Disposición – Asimétrica).

Figura 26. Variables empleadas (Tensión-50%) (Molde- Rectangular) (Columna-Cuerda) (Disposición – Simétrica).

Figura 27. Variables empleadas (Tensión-70%) (Molde- Cuadrado) (Columna-Punta redondeada y cuerda) (Disposición – Asimétrica).

Figura 28. Variables empleadas (Tensión-70%) (Molde- Cuadrado) (Columna-Punta penetrante) (Disposición – Asimétrica).

Fig. 29,30, 31. Algunas de las primeras ideas para la propuesta de diseño. Elaborados por integrantes del semillero de investigación MORFOLAB.

Fig. 32. Diseño del patrón de teselado.

Fig. 33. Modelación de la propuesta final. Programa Rhino5.

Fig. 34. Elaboración de los prototipos finales, técnica Encofrados Elásticos.

Fig. 35. Modelación estructura final material MDF 5mm.

Fig. 36. Encofrado elástico, tela licra ensamblada con tornillos al MDF.

Fig. 37. Sistema eléctrico diseñado para la lámpara.

Fig. 38. Sistema de ensamble. Elaboración propia

Fig. 39. Prototipo terminado.

Fig. 40. Render Final. V-Ray de Rhino6.

Fig. 41. Render aplicación industrial. VRay Rhino 6

Fig. 42. Proyección del alcance del proyecto. Montaje en Adobe Illustrator.

Fig. 43-49. Fotos de detalle del producto final. Texturas, acabados y ensambles. Tomadas por Camila Aguirre Vásquez

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. MATRIZ DE DECISIÓN. Formato para análisis y evaluación de modelos, la comparación de entradas y caracterización geométrica.

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

Tabla 3. Formato PDS para diseño a detalle.

Tabla 4. Análisis de los tiempos de secado y acabado superficial de las diferentes proporciones de la mezcla de concreto.

Tabla 5. Resultados del ensayo de flexión. Elaboración software digital.

Tabla 6. Hoja de ruta de variables para intervención morfológica.

Tabla 7. MATRIZ DE DECISIÓN. Formato para análisis y comparación de los modelos según sus resultados formales, ligados a las variables empleadas. Para detalles ver Anexo1.

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

Tabla 9. PDS con detalles técnicos del producto.

RESUMEN

La siguiente monografía es el resultado de la exploración de técnicas de *form-finding* de forma analógica como herramienta creativa, de prototipado y proyectual para la generación de la forma en el diseño industrial, estas fueron utilizadas anteriormente en la arquitectura y diseño estructural con diferentes enfoques y profundidades sin mayor repercusión en el diseño de producto. Partiendo del estudio que caracterizaba conceptual y empíricamente de diferentes técnicas se seleccionó la técnica de “encofrados elásticos y concreto” gracias a la valoración cualitativa que contempló la exploración y experimentación material y la evaluación en matrices de decisión con respecto las formas posibles que podrían resultar de la técnica y del estudio de las propiedades del material. Al reconocer las cualidades de la técnica y sus componentes se plantea un conjunto de posibles aplicaciones en el diseño de producto y un posterior diseño de detalle que implica digitalización, prototipado y materialización del elemento propuesto, buscando cumplir los requisitos de viabilidad, eficiencia y novedad, criterios de calificación empleados durante la experimentación y el desarrollo de la tesis de maestría CONSTRUCCIÓN Y EXPLORACIÓN DE UN REPERTORIO DE TÉCNICAS ANALÓGICAS DE FORM-FINDING PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS de Ever Patiño Mazo. Finalmente, se presentan las conclusiones de la caracterización del material y la aplicación de la técnica en el diseño de producto.

Palabras clave: *form-finding*, generación de la forma, creatividad, diseño industrial, diseño de productos, exploración formal, formalización.

ABSTRACT

The following monograph is the result of the exploration of *form-finding* techniques in an analogical way as a creative, productive and projective tool for the generation of the form in industrial design, these were previously used in architecture and structural design with different approaches and depths, without major repercussion in the design of product. Based on the conceptual and empirical study of different techniques, the technique of "elastic and concrete formwork" was selected thanks to the qualitative assessment

regarding the possible ways that could result from the technique and the study of the properties of the material. Finally, the conclusions of the characterization of the material and the application of the technique in the product design are presented.

Keywords: form-finding, shape generation, creativity, industrial design, product design, formal exploration, formalization.

INTRODUCCIÓN

En la siguiente monografía se analiza la técnica de *búsqueda formal* “encofrados elásticos y concreto” que se basa en dejar colgar una membrana elástica, tipo lycra, se vierte concreto en estado líquido y la primera adopta curvaturas orgánicas influenciadas por la gravedad, la tensión de membrana y las restricciones físicas. Este análisis se realizó con el fin de alimentar la construcción y exploración de un repertorio de técnicas analógicas de *form-finding* para su aplicación en el diseño de productos, y alimentar el trabajo de maestría que buscó hacer de 40 técnicas de búsqueda de la forma, una herramienta tangible y aplicable para el diseño industrial, disciplina que apoya la integración de las actividades y el equipo de trabajo, para cumplir con las necesidades y deseos de los clientes, y los intereses de las partes involucradas en el proceso (Cagan & Vogel, 2005) buscando crear experiencias que las personas consideren gratificantes y valiosas (Cagan & Vogel, 2002).

En el mundo de la cultura material el proceso de desarrollo morfológico es determinado por la función última del objeto, la comunicación entre este, el usuario y el contexto y las técnicas de manufactura empleadas para su producción; estas características hacen de la búsqueda formal una etapa en el proyecto con un alto grado de subjetividad, generando tensión entre los involucrados en el proceso de diseño; en consecuencia esta fase es usualmente una de las más complejas y confusas, ya que el diseñador debe integrar de manera simultánea soluciones a requerimientos técnicos, estéticos, funcionales y productivos (Patiño, 2018). Como menciona Patiño (2018); la forma se entiende en el diseño industrial como la característica que permite identificar un volumen (Wallschlaeger, Busic-Snyder, & Morgan, 1992), que le permite al usuario percibirlo, a través de los sentidos, como un conjunto de elementos que se organizan como un todo (Quarante, 1992; Abidin, 2012), y que tiene como objetivo responder a unas necesidades y requerimientos definidos en el planteamiento de diseño y la investigación del proyecto; es posible entender la relevancia de la investigación teórica y práctica alrededor de este fenómeno, que repercute aproximadamente en el 70% de los costos finales del producto (Römer, et al., 2001) y es también donde recae, según Bouroullec y Bouroullec, la tarea de encontrar nuevas formas, nuevas estructuras y nuevas formas de construcción (Terstiege, 2009).

El término *form-finding* representa un grupo de técnicas analógicas que buscan la transformación material y formal aplicando únicamente principios físicos como catalizadores del cambio y la auto-organización, entendida como la capacidad que tienen algunos sistemas físicos y/o biológicos de organizarse y cambiar autónomamente su morfología (Otto, 2001) respondiendo a un principio de conservación y eficacia energética.

La exploración de las técnicas de manera analógica representa un cambio de perspectiva en el pensamiento creativo del diseñador ya que promueve la interacción con los materiales (Wendrich, 2010) y el aprendizaje a través de la experiencia y la utilización íntegra de todos los sentidos (Kolb & Kolb, 2012) con lo cual es posible repensar el paradigma actual de la forma que sigue la función. Estas técnicas además de eficientes desde el desarrollo de la creatividad, son efectivas, rentables y no requieren un mayor consumo energético (Römer, et. al., 2001; Goldschmidt, 2014). Lo que hace del *form-finding* una herramienta completa que abarca las etapas de conceptualización, prototipado y producción del diseño y una posible respuesta a las actuales necesidades de la materia en cuanto a la sostenibilidad y prototipado rápido.

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Justificación

La disciplina del diseño ha generado diversas metodologías creativas que abarcan lo práctico y lo teórico durante el proceso proyectual, estas han sido adoptadas por distintas disciplinas al momento de abordar de forma ágil, novedosa e inventiva las problemáticas referentes a sus campos específicos, así mismo el diseño ha implementado múltiples herramientas con el fin de aumentar las referencias teóricas en la materia; que se enfrenta actualmente a una pérdida de la comprensión de las propiedades materiales, físicas y por ende espaciales de la tridimensionalidad; fenómeno que se da debido al distanciamiento o brecha entre las herramientas analógicas y las computacionales (Römer, et al., 2001) y repercute directamente en la fase de generación formal que es el momento en el cual la subjetividad del proyecto es puesta a prueba, junto con la capacidad del diseñador de extraer información del medio y traducirlo en requerimientos específicos; evidenciándose en una falencia para explorar formas (Dino, 2012; Chen, Lim & Shao, 2015), un déficit de estímulos externos necesarios para dar respuestas creativas (Shea, Aish & Gourtovaia, 2005) y se reduce la generación de conceptos emergentes a partir del razonamiento visual (Goldschmidt, 1991; Yilmaz, Park, Kim, 2008).

Con el objetivo de apoyar la fase de creación, se han desarrollado estrategias y metodologías que pretenden servir de inspiración y referente formal al diseñador, una de éstas es el uso de sistemas generativos, los cuales partiendo de parámetros matemáticos generan gran variedad de formas, tanto analógicas como digitales (Patiño, 2018). Una de estas herramientas metodológicas es el *form-finding* que, a través de la interacción entre material, estructura y forma, permite una obtención sistemática de morfologías que varían según la técnica empleada y las entradas determinadas al comienzo de la experimentación.

Los precursores del *form-finding* fueron Antoni Gaudí (1852-1926) y Frei Otto (1925-2015), arquitectos que emplearon diferentes técnicas, obteniendo como resultado, no sólo formas novedosas, sino también un aumento de las propiedades mecánicas de una estructura, como lo demostró Gaudí con el uso de catenarias en la gran mayoría de sus construcciones (Tavío, 2017). Más allá de las referencias arquitectónicas se ha puesto en evidencia la falta de material teórico alrededor del *form-finding* específicamente en el diseño de producto, la superficialidad en la utilización de las técnicas y el descuido de la aplicación metodológica desde la definición de variables y constantes que afectan los resultados finales. En otras palabras, no se conoce cuáles son los elementos que definen la relación amplia entre el diseño de producto y el *form-finding*, y tampoco cómo se establece dicha relación (Patiño, 2018).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Comprobar la utilidad de la técnica de *form-finding*: encofrados elásticos y concreto, en el diseño industrial

1.2.2. Objetivos específicos

- 1.2.2.1.** Caracterizar geoméricamente la técnica de *form-finding* basada en la solidificación de formas en concreto partiendo de un molde flexible.
- 1.2.2.2.** Explorar las diferentes variaciones formales que se pueden dar con la técnica seleccionada
- 1.2.2.3.** Evaluar la implementación de la técnica en el diseño de un objeto industrial.

1.3. Antecedentes

El termino *form-finding* fue empleado por primera vez por el arquitecto Frei Otto, quién 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, tal es el caso de Antoni Gaudí quien afirmaba que “El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica” (Molina, 2019).

Gaudí, centró su trabajo 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 favorecieran 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)

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



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



Fig 3. Experimentación con concreto y molde textil Andrew Kudless Tommy Kuhl Jon Meyer P-Wall. Tomado de: andrew-kudless-p-wall.pdf, el 30/08/2019.

Uno de los referentes más importantes durante el estudio de la técnica encofrados elásticos y concreto, fue el arquitecto Andrew Kudless, creador de “P-Wall”, pared interactiva y modular expuesta en el Museo de Arte Moderno de Nueva York (MOMA). La Figura 3 es una muestra de los alcances que tienen sus talleres, en los cuales la experimentación es clave para obtener diferentes resultados; desde su conocimiento sugirió al proyecto, el uso de distintas telas y elementos soportantes con materiales alternativos de fácil obtención y de allí comenzar a trazar los resultados. En el futuro busca encontrar un material sostenible y desarrollar un P-Wall para exteriores verdes.

La arquitecta Anne-Mette Manelius diseñó como parte de su tesis doctoral la Ambiguous Chair, utilizando concreto y encofrados flexibles de tela (Manelius, 2012). El estudio chileno GT2P diseñó Catenary Pottery Printer, que posibilita el vertimiento de cerámica líquida sobre una tela elástica que cuelga por la acción de la gravedad (GT2P, 2015). Por último, el laboratorio de diseño REFORMA, estudió el crecimiento celular y su analogía con membranas elásticas para diseñar diferentes contenedores decorativos (Patiño, Arango & Jaramillo, 2015).

Actualmente, las técnicas de generación formal pueden ser computarizadas, siguiendo los mismos principios físicos y matemáticos que siguen las técnicas analógicas de *form-finding*, permitiendo a ingenieros y arquitectos generar diferentes formas al emplear operaciones básicas de repetición, rotación y escala, como en el caso de arquitectos como Frank Ghery o Zaha Hadid (Fig.4) (Kourkoutas, 2007).

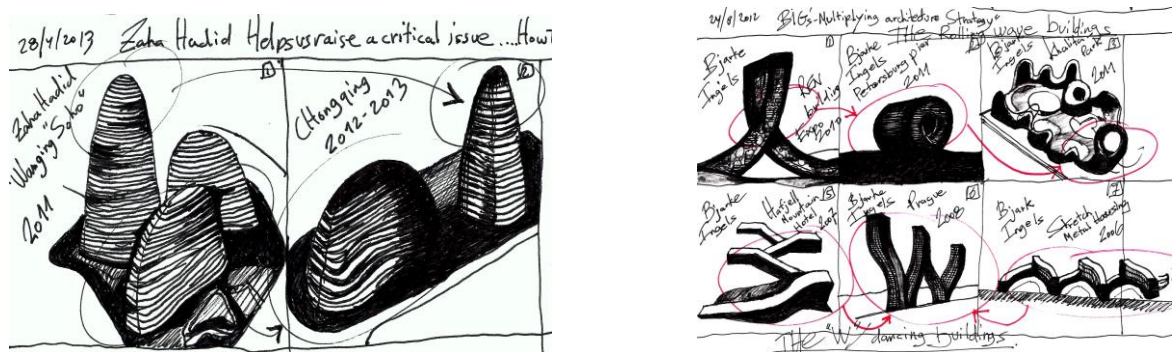


Fig. 4. Zaha Hadid Galaxy Soho sketch Tomado de: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/galaxy-soho/>, el 11/10/2019.

En el Diseño Industrial, también se ha identificado la oportunidad en la aplicación 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 proyectos empleando las diversas técnicas.

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 óptimas (Patiño & Maya, 2018).

El término *form-finding* fue empleado por primera vez por el arquitecto Frey Otto, quién experimentó de forma analógica con varias de estas técnicas con el fin de optimizar la construcción de cúpulas y cubiertas. Sin embargo, 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 sobre todo de Gaudí (Patiño, 2018).

Las técnicas del *form-finding* están basadas en los principios biológicos de auto-organización de los sistemas, y los principios físicos de la morfología estructural. Se entiende como autoorganización, al proceso mediante el cual un sistema evoluciona modificando su morfología o forma para aumentar sus propiedades, ya sean estructurales, funcionales o 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 entre 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 desde sus técnicas, siendo este una rama especial de la optimización estructural en general (Rostislav, Ivan & Ivan, 2014). Las técnicas de *form-finding* han sido comúnmente empleadas 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: ENCOFRADOS ELÁSTICOS Y CONCRETO, EN EL DISEÑO INDUSTRIAL

Hasta el momento sólo se tiene documentado un repertorio completo de técnicas de *form-finding*, compuesto por 40 técnicas clasificadas según el principio o fenómeno físico que rige la salida o forma final de la técnica y desarrollado en la tesis CONSTRUCCIÓN Y EXPLORACIÓN DE UN REPERTORIO DE TÉCNICAS ANALÓGICAS DE FORM-FINDING PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS de Ever Patiño Mazo (2018). En la clasificación se evidencian cinco principios físicos que rigen la generación de las formas o salidas en la implementación de las técnicas: inflar, agrupar, deconstruir, tensionar, solidificar y doblar (Fig. 5). 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 formal (Patiño & Maya, 2018).

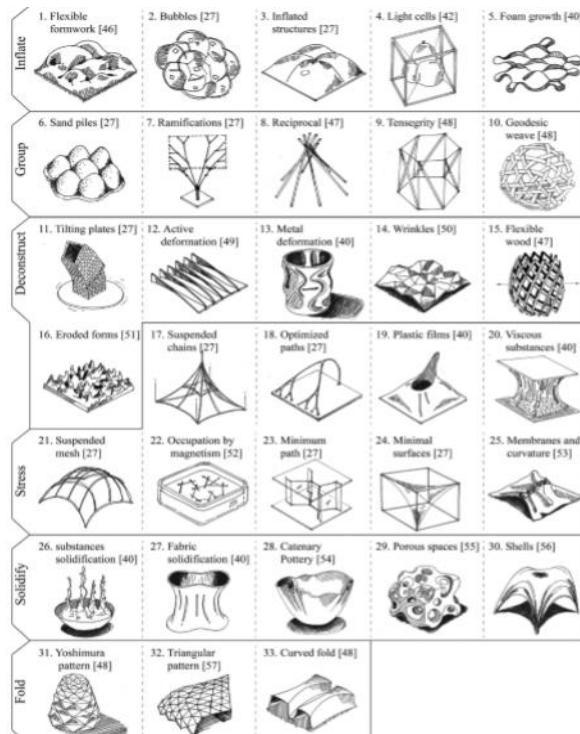


Fig. 5. Clasificación de las técnicas de *form-finding* según el principio físico que la rige. Tomado de: Computational Intelligence in Music, Sound, Art and Design. EVO 2018, pp 55.

La técnica del *form-finding* “encontrados elásticos y concreto” basada en la solidificación para generar formas con base en membranas; tiene un principio de gravedad que actúa al dejar colgar una membrana elástica, tipo lycra, en un marco con diferentes tipos de restricciones y verter sobre la membrana concreto en estado líquido; gracias a las influencias externas la membrana adopta curvaturas orgánicas que dan forma final al concreto sirviendo como un molde flexible.

El fenómeno que acompaña la solidificación en este caso es la tensión. Así, la técnica consiste en sujetar una membrana, de cuatro puntos de apoyo y dejando en tensión la parte de la superficie que no está sujeta, al hacer esto, el concreto y la gravedad ejercerán tensión hacia abajo sobre dicha superficie y los puntos de apoyo ejercerán una tensión igual en sentido opuesto. Al invertir la forma resultante, se obtiene una superficie de doble curvatura invertida (Patiño, 2018).



Fig. 6 y 7. Experimentación inicial de la técnica. Fotografía: Camila Aguirre

El objetivo de la técnica “encontrados elasticos” es lograr la variación del molde durante la fabricación y producción de las piezas de concreto, de esta manera las formas obtenidas pueden responder específicamente a la función o forma requerida por el proyecto de diseño; además las formas obtenidas a partir de la técnica son sólidos de doble curvatura que debido a su volumen y organización soportan altas fuerzas de compresión y tracción. En el desarrollo de la técnica es posible que se generen pliegues y deformaciones que se ven reflejadas en la pieza final de concreto; aunque esta característica de copiar las propiedades del molde puede ser empleada de manera positiva al emplear texturas, gráficos, textiles con estampados, etc.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La metodología empleada para conseguir los objetivos planteados, tiene un enfoque experimental y empírico que emplea el *form-finding* con el fin de poder intervenir y variar las formas concebidas en el proceso de generación de las mismas (Patiño, 2018). Lo interesante de esta metodología es el uso de materiales existentes en la cotidianidad de un forma novedosa y los resultados formales que suelen desligarse de las morfologías impuestas y conocidas para dichos materiales.

Con el objetivo de implementar la técnica de “encontrados elásticos y concreto” en el diseño de producto, se realizaron varias etapas que comprenden, experimentación

empírica, caracterización formal y detallada, análisis de las propiedades mecánicas, bocetación y prototipado.

El desarrollo de la técnica “encofrados elásticos y concreto”, consta de seis etapas:

1. Preparación de las entradas: (i) Textil tipo lycra, (ii) mezcla de cemento, arena de revoque y agua (proporción 1:2:3), (iii) definir la dimensión y geometría del molde con puntos de agarre para sujetar el textil.
2. Se define el tipo de columna que se empleará y su disposición para la creación de formas orgánicas. Las columnas son puntos de apoyo que pueden ser flexibles, mallas, puntas, y volúmenes. (Fig. 6)
3. Se posiciona el textil de manera homogénea sobre el molde, con puntos de anclaje. En este punto se da el fenómeno de tensión sobre la superficie textil que determina la pronunciación de las columnas en la pieza final (entre más tensión hay menos copia de las formas de las columnas) otro factor determinante es la masa del concreto vertido.
4. Manualmente se vierte el concreto en estado líquido sobre la superficie, este comenzará a auto-organizarse ocupando los espacios creados por el textil y las columnas inferiores.
5. Etapa de secado. Este es el proceso de solidificación que caracteriza la técnica (ver cuadro de repertorio de técnicas (Fig.7).
6. Se retira el sólido de concreto, se aísla del textil y se examina el resultado obtenido.

3.1. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LA TÉCNICA

La caracterización geométrica de la técnica de *form-finding* basada en el uso de encofrados elásticos y concreto, se desarrolló a través de tres actividades principales:

3.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica

Se diseñó una estructura que permitiera la exploración sistematizada y empírica de la técnica y facilitara la producción de los modelos de la misma; el artefacto diseñado fue modelado y despiezado con Rhinoceros 5, de esta manera se obtuvieron los planos de corte necesarios para la construcción del elemento (Fig.8) para su posterior construcción física. Se seleccionó lamina de mdf calibre 3mm como material por su fácil acceso, precio y durabilidad, como molde brinda las características necesarias y es sencillo de emplear y modificar.

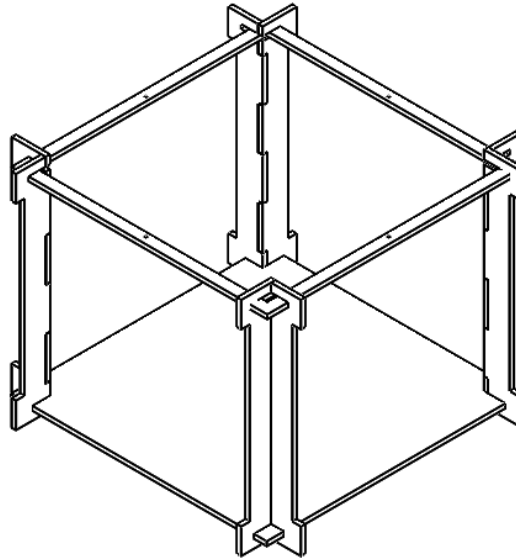


Fig. 8. Artefacto diseñado para el desarrollo de la técnica. Elaboración propia.

Para los primeros acercamientos se definió una estructura con forma cuadrada, que permitiera la alteración de las variables, que se definirían durante el proceso de experimentación y relación causa-efecto.

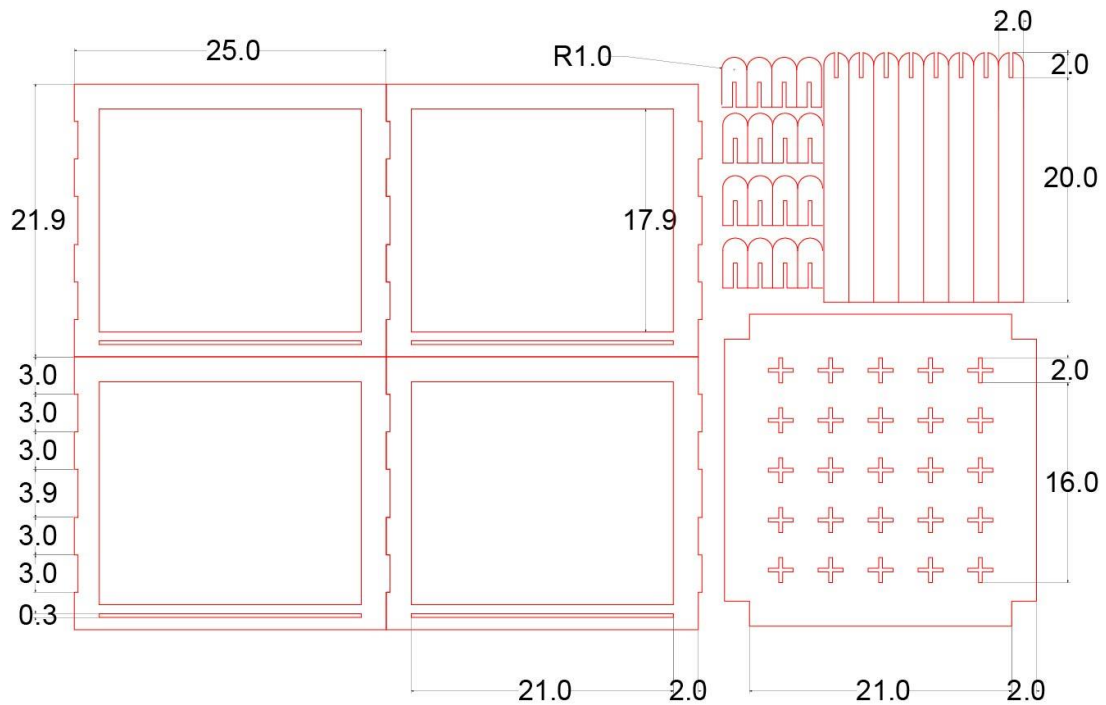


Fig. 9. Planos primer artefacto, con cuatro puntos de soporte necesarios para aplicar la técnica y el uso de columnas básicas. Dimensiones en cm.

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.

Durante el acercamiento a la técnica se evidenció el requerimiento de una mezcla de concreto que respondiera a las necesidades de la técnica, esta mezcla a diferencia de la tradicional empleada en arquitectura y espacio público debía ser más líquida que la anterior, con el fin de que pueda distribuirse correctamente por la tela empleada como molde. Inicialmente se empleó la mezcla común de concreto que brinda propiedades mecánicas altas al frágil material cerámico; esta contaba con las siguientes proporciones:

Arena de revoque 300 gr

Cemento 200 gr

Agua 100 gr

3.1.3. Ensayos propiedades mecánicas

Esta mezcla fue sometida a ensayos físicos para verificar su utilidad según los resultados de las propiedades mecánicas. Los ensayos se realizaron bajo supervisión en el bloque 8 de la Universidad Pontificia Bolivariana; para estos se realizaron probetas 3 correspondientes a cada ensayo con medidas de 5*5*5 y 3*3*10. Las probetas tuvieron un tiempo de curación aproximada de 10 días, de haber realizado la prueba con un tiempo mayor de curación el resultado variaría mínimamente, ya que para este material se incrementan las propiedades mecánicas de manera proporcional al tiempo de curado.

Proporción mezcla:

1 Litro de agua

3 kg de Cemento

3 kg de Arena de revoque

Ensayo de Compresión: Se realizó con el objetivo de determinar las propiedades de un material y/o su comportamiento, frente a una fuerza de presión externa, de esta manera al analizar los resultados arrojados por el ensayo, se establecerían los límites de trabajo del material, según sus resultados en fuerza máxima, deformación, rotura e inicio de grietas.

Ensayo de Flexión: Se realizó con el objetivo de determinar la resistencia a la falla de una probeta de concreto, los resultados son expresados en Módulo de Rotura (MR) el cual equivale aproximadamente a un 10-20 % del total de la resistencia a la compresión. Este ensayo, aunque se realiza poco en sistemas de construcción tradicionales, puede ser empleado para fijar posibles diseños que se desempeñen en un eje horizontal.



Fig 10. Ejemplo ensayo de compresión. Imagen obtenida de <https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-fractura/> el 25/10/19

3.1.4. 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 y la definición de entradas fijas, cemento, arena, agua y licra.

Proporción mezcla	Tela licra flexible	% de Elongación	Columna	Forma Obtenida	Descripción Resultado	Observaciones	Calificación Orgánica (1-5)	Detalles	Acabado de la Superficie	Calificación Arrugas (1-5)	Ponderación

Tabla 1. MATRIZ DE DECISIÓN. Formato para análisis y evaluación de modelos, la comparación de entradas y caracterización geométrica. Elaboración propia.

3.2. EXPLORACIÓN DE VARIABLES

Una vez definidas las entradas fijas y reconocida la geometría obtenida como salida, se comenzó el proceso de exploración formal a partir de las diferentes configuraciones de los elementos variables, para esto se creó una tabla (Tabla 2) que comunica las posibilidades del diseñador y guía en el proceso experimental que se va a llevar a cabo 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, específicamente los filtros y las columnas; elementos externos que limitan y penetrarán la forma. Dichas variaciones se aplicaron a modelos reales, realizados con el artefacto previamente construido.

ENCOFRADOS ELÁSTICOS

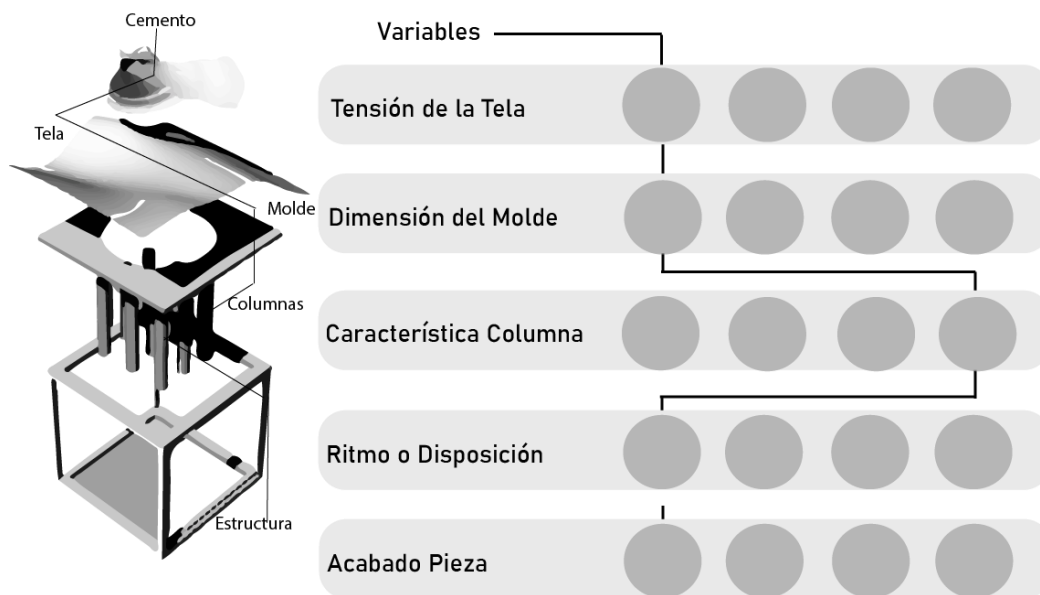


Tabla 2. Hoja de ruta de entradas fijas y variables.

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, y analizado en la matriz de decisión (Tabla 1). 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. Este sistema de recolección de información y evaluación facilitó la selección final para la aplicación la técnica 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 creativo, 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 empleando 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 aplicar 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; segundo, definió a detalle el concepto del proyecto; por último, 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.

Tipo de Requerimiento	Necesidad	Requerimiento Especifico	Medida	Valor	Clasificación (Deseado-Obligatorio)	Importancia

Tabla 3. 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, con un mayor control de las morfologías obtenibles.

RESULTADOS

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

La caracterización geométrica se realizó con la finalidad de encontrar patrones en los resultados, que dieran cuenta de cómo las variables y sus distintas aproximaciones se veían representadas en las morfologías finales; repercutiendo en la forma y posible función de cada modelo.

4.1.1. Entradas para la caracterización de la técnica

Las entradas en la técnica además de ser un componente que en el inicio puede determinar costos del proceso, tiempo, reprocesamiento y rediseño de las estructuras, también es un factor que determina las geometrías que se obtendrán y cuáles serán sus características estéticas y funcionales. Un ejemplo de esto son los acercamientos que se han realizado a los moldes flexibles, utilizando como materia prima el yeso; este material conocido por rapidez al secarse, haría de la técnica reproducible en más unidades en la misma sección de tiempo comparándolo con el concreto, pero, las propiedades como la durabilidad e impermeabilidad se verían afectadas.

4.1.1.1. Diseño del artefacto para la sistematización de la técnica

Una de las necesidades previstas durante la etapa de exploración inicial fue la versatilidad y funcionalidad que debía tener la estructura nueva para facilitar el estudio y optimización de cada variable. Por esta razón se diseñó un segundo elemento que contaba con características para cambiar las dimensiones a emplear, con un área para marcar el porcentaje de elongación de la tela y con un sistema de prensas que permitía que todas las variables del experimento se mantuvieran durante el proceso de vertimiento del concreto.

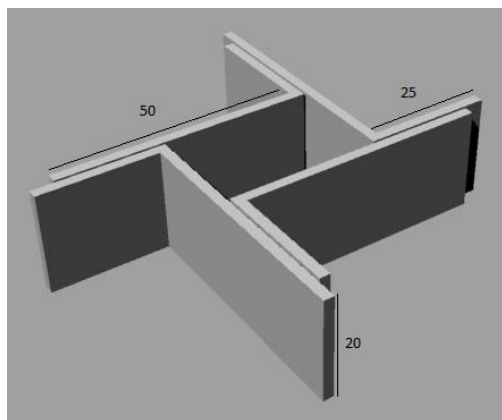


Fig. 11. Desarrollo segundo artefacto. Dimensiones en cm.

4.1.1.2. Mezcla de concreto

Empleando un textil tipo licra en la experimentación con las mezclas de concreto, inicialmente se trabajó con la típica mezcla de construcción la cual emplea una parte de agua, por 2 de cemento y 3 de arena, los resultados de esta mezcla fueron buenos, pero no se adecuaba a las necesidades de la técnica, concluimos que debíamos obtener una mezcla con diferentes características que potenciaran más los atributos de las piezas terminadas y del material empleado, concreto. Se evaluó el acabado superficial de las piezas, su durabilidad y tiempo de secado (Tabla 4).

Relación mezcla	Observaciones
Agua:Cemento:Arena 1:2:3	La mezcla tiene altos componentes de arena lo que la hacen más densa y pesada al utilizarse sobre los textiles, se observó que esta mezcla se aglutina muy bien, pero esto hace que el momento de verter el concreto sea pausado y de poca continuidad ya que la mezcla se comporta como un sólido y no como un fluido. En cuanto al acabado superficial la alta proporción de arena hace que algunas partes de las piezas se desmoronen o presenten un acabado superficial rugoso. La mezcla se seca aproximadamente en 12 horas.
Agua:Cemento:Arena 1:2:2	La mezcla creada para la técnica, a pesar de contener la misma cantidad de agua presentaba un nivel de fluidez mayor puesto que la arena de revoque fue empleada en menores proporciones, esto tuvo como consecuencia un mayor tiempo de duración en el secado, pero de manera positiva la mezcla era más fácil de trabajar en el textil debido a que fluía y se autoorganizaba alrededor de las columnas sin necesidad de intervención. Además, esta mezcla presento un mejor acabado superficial y menor riesgo de fractura ya que se comportaba como un fluido más compacto.

Tabla 4. Análisis de los tiempos de secado y acabado superficial de las diferentes proporciones de la mezcla de concreto. Elaboración propia.



Fig 12,13,14. Primeros modelos de la tecnica Encofrados Elásticos. Fotografía propia

Esta mezcla en un inicio daba muy buenos resultados, pero en el momento en que el volumen de concreto se hacía mayor, resultaban partes de la pieza con un alto índice de arena lo cual la hacía deshacerse al tacto.

Durante la construcción de los modelos, se comienza a reconocer la técnica empleada, después de la práctica las formas obtenidas pueden llegar a ser controladas, ya que se conoce las variables y como estas afectan el resultado final. Gracias a la interacción cercana con el material y sus componentes, se llegó a la conclusión de que la mezcla debía contar con propiedades que permitieran evidenciar de forma más concreta las variables.

La mezcla fue definida entonces con una proporción de 1:2:2 siendo 1 la cantidad de agua empleada y 2 la cantidad de arena y cemento, ahora puestas en la mezcla por partes iguales para mayor versatilidad en el molde flexible y mejor acabado en la superficie.

4.1.1.3 Ensayos propiedades mecánicas

Esta mezcla fue sometida a ensayos físicos para verificar su utilidad según los resultados de las propiedades mecánicas.

Proporción mezcla:

1 Litro de agua

3 kg de Cemento

3 kg de Arena de revoque

Ensayo de Compresión: Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante una fuerza de compresión.

- Se suele usar en materiales frágiles.
- La resistencia en compresión de la mayoría de los materiales siempre es menor que en tracción, pero se presentan excepciones, por ejemplo, el hormigón.



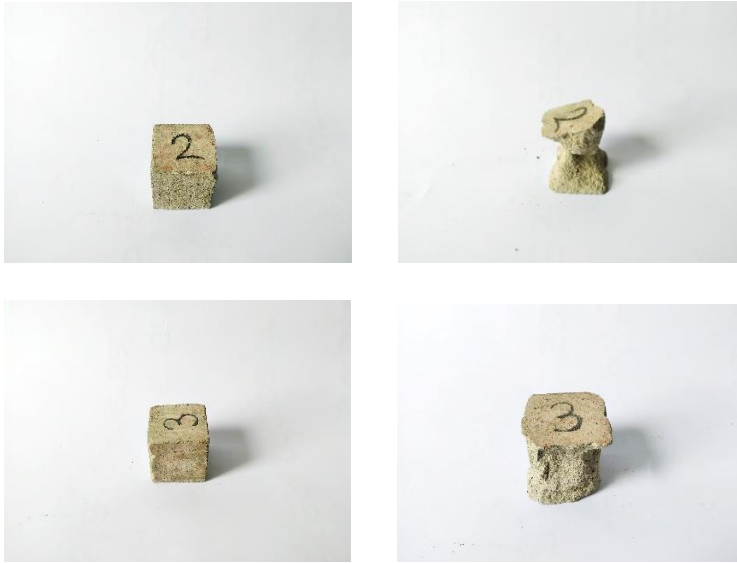


Fig 15-21. Probetas de concreto con la mezcla y proporciones 1:2:2 para el analisis de las propiedades mecánicas.(cuadradas). Elaboración propia.

Resultados: Gracias a la máquina universal de ensayos fue posible determinar en que punto el material cedió ante la presión y presentó fallas o cambios en su estructura y organización química.

Pieza1: Carga soportada 2.3 Toneladas = 22555.29 Newton

Pieza2: Carga soportada 2 Toneladas = 19613.3 Newton

Pieza3: Carga soportada: 1.9 Toneladas = 18632.63 Newton

Conclusiones: La mezcla de cemento presentó fallas con cargas de 2 toneladas aproximadamente; fue posible observar durante el ensayo que los cubos de cemento fallaban inicialmente en las paredes laterales, comenzando con grietas superficiales que mostraban el desgaste del material y finalizando con pérdidas de la sección transversal gracias al adelgazamiento por capas de los laterales. Independiente del fallo, se determinó durante la consulta con un ingeniero, que gracias a ser un módulo sólido la pieza de concreto podría aguantar cargas que no serían excedidas en las funciones propuestas.

Ensayo de Flexión: Un ensayo de flexión nos sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Estos ensayos se llevan a cabo cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación.



Fig 22-23. Probetas de concreto con la mezcla y proporciones 1:2:2 para el analisis de las propiedades mecánicas.(rectangulares). Elaboración propia.

ASTM D790 Flexure Test de Concreto tradicional

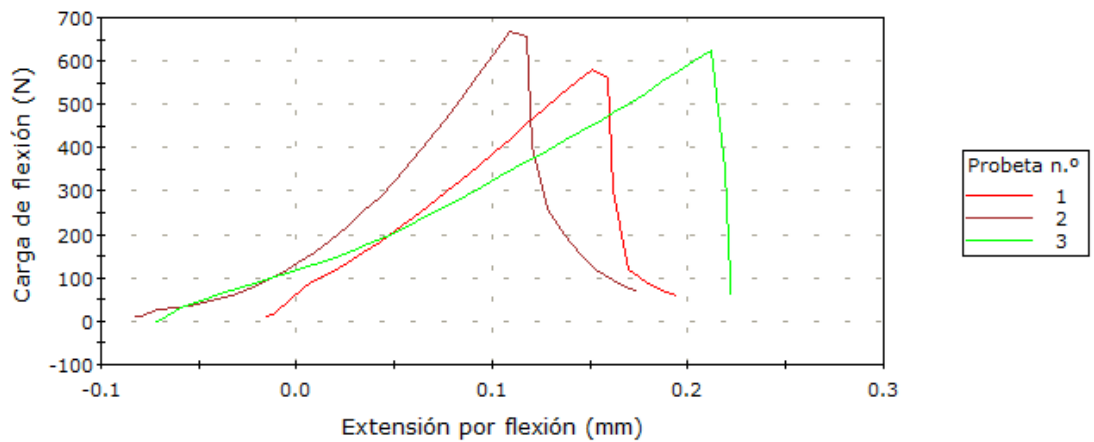


Fig 24. Gráfica de resultados Ensayo de Flexión.

	Etiqueta de la probeta	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Separación de soporte (mm)
1	1	30.00	30.00	80.00
2	2	30.00	30.00	80.00
3	3	30.00	30.00	80.00
Media		30.00	30.00	80.00
Desviación estándar		0.00	0.00	0.00

	CargaalMaximum Flexure load (N)	Esfuerzo de flexiónMaximum Flexure load	Extensión por flexiónBreak (Standard)	Deformación por flexiónBreak (Standard)

		(MPa)	(mm)	(mm/mm)
1	-579.91	2.58	0.19	0.00525
2	-667.15	2.97	0.17	0.00478
3	-624.74	2.78	0.22	0.00617
Media	-623.93	2.77	0.19	0.00540
Desviación estándar	43.63	0.19	0.03	0.00

	MóduloalModulus (Automatic) (MPa)
1	611.98
2	965.26
3	466.13
Media	681.12
Desviación estándar	256.65

Tabla 5. Resultados del ensayo de flexión. Elaboración software digital.

Resultados: Los resultados del ensayo de flexión estuvieron en el rango esperado; determinado por los resultados anteriores del ensayo de compresión, ya que el módulo de ruptura suele dar un 20% o menos que el resultado de compresión.

Conclusiones: La mezcla de cemento presentó fallas en una media de 681 Newton, resultado superior al esperado, que reafirmaba la utilidad de la mezcla en diversas funciones, sea como placa delgada o como sólido.

4.1.1.4. Selección del textil ideal para obtención de la forma

La experimentación con textiles se redujo debido a que el estudio de los referentes que utilizaban telas como moldes señalaban que el mejor resultado era obtenido con tela tipo lycra, la cual ofrece un índice de elasticidad constante entre las fibras verticales y horizontales y es reutilizable debido a que no presenta mayor deformación ni amarre en el momento de retirar la pieza; otra característica observada durante la exploración textil, fue la impresión de estampados en el concreto, visualizada en el acabado superficial como resultado de la copia de la textura de la tela y sus características; Estas características pueden ser un factor de gran importancia a nivel sensorial y estético. Teniendo ya la tela establecida se comenzó la exploración con diferentes tensiones, obteniendo como resultado una proporción inversa entre tensión y cantidad de arrugas; es decir, mientras menos tensión más arrugas se presenta en la pieza final. Estas variaciones fueron estudiadas y representadas en la tabla matriz de decisión (Tabla5).

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

Las técnicas de *form-finding* emplean una metodología basada en las fuerzas naturales y leyes físicas las cuales dan el contexto de transformación de los materiales que responden a dichas fuerzas autoorganizando sus componentes. 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).

Tras realizar un acercamiento de carácter empírico a la técnica, con diferentes experimentaciones y resultados vamos reconociendo los patrones de la técnica y su respuesta a distintas afectaciones externas, las cuales serían nuestras variables escogidas gracias al cambio morfológico que generaban al resultado final. Se llegó a la conclusión de que las variables serían: tensión de la tela, geometría del molde, tipo de columna y su disposición 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 pensada de manera que brindaran riqueza morfológica a la exploración, para esto se siguió la guía de entradas variables la cual proporcionaba una amplia cantidad de variaciones que nos darían como resultado piezas con diferencias notorias, a pesar que continuaban con morfologías orgánicas, propias de la técnica. (Tabla 5).

FLEXIBLE FORMWORK

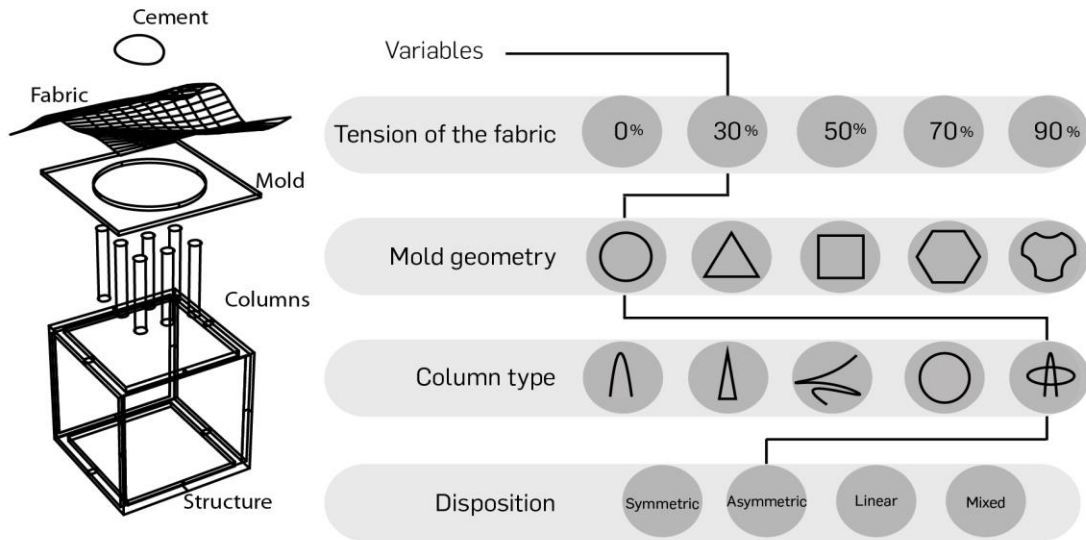


Tabla 6. Hoja de ruta de variables para intervención morfológica. Elaboración propia.

4.1.2.1 Medición de las variables involucradas en el proceso para la implementación de la técnica.

Cada una de las variables definidas para la exploración de la técnica contaba con diferentes variaciones; para la implementación y medición de cada una se utilizó la estructura diseñada para facilitar este proceso (Vea Fig. 11). Las variables fueron medidas utilizando un método controlado pero no 100% preciso pues no se contaba con los equipos necesarios o el tiempo para realizarlo de manera más rigurosa.

Tensión de la tela: Una de las variables más complejas de medir y subjetivas era esta. Para realizar la medida de manera correcta se cortaron cinco cuadrados de 40*40 cm de tela tipo lycra; el cuadrado de tela era expuesto a su máxima tensión por ambos lados (marcando un 100% de elongación). El 100% de tensión para la experimentación era de poca utilidad pues impedía que el concreto adoptara las formas de las columnas dispuestas en la parte inferior; por esta razón se optó por trabajar con una tensión máxima de 90%. Las demás medidas eran obtenidas según la primera marca del 100%, la mitad de esta se tomaba como 50% de tensión, porcentaje que tuvo un muy buen acabado formal y estético en los modelos. Los modelos creados con el 70% de elongación eran modelos con buenos acabados que mostraban los efectos de las columnas, con poca

cantidad de concreto. Los modelos realizados con 30% de elongación de la tela, eran modelos que presentaban muchas voluptuosidades, gracias a la gran cantidad de concreto vertido y estéticamente se veían algunas arrugas características de una tela que no se encuentra en mayor tensión.

Geometría del molde: Esta fue una de las variables más sencillas y significativas para el cambio formal, ya que al poner distintas restricciones en el molde superior, el concreto obtenía las formas sinuosas y un control en una geometría completa; haciéndolo útil como baldosa, pieza modular y brindando características estéticas interesantes. Como resultado de esta variable se observó que la técnica y material utilizados no presentaban vértices marcados en la geometría final sino unos empalmes curvos.

Tipo de columna: Esta variable era de gran relevancia en el resultado, ya que marcaba y daba acabado a la pieza de concreto entre ellas se utilizaron: puntas perforantes, volúmenes, cuerdas y divisiones.

Disposición columna: Esta variable aunque solo determinaba el orden en la disposición de la columna afectaba en gran medida el acabado final de la pieza de concreto; ya que le otorgaba orden o características orgánicas en las cuales no era visible un patrón.




















Proporcion mezcla	Tela Licra flexible	Porcentaje de elongacion	Columna	Forma Obtenida	Descripción del resultado	Observaciones	Calificación Organica (1-5)	Detalles	Acabado de la superficie	Calificación Arrugas (1- 5)
<p>1 Litro de agua 3 kg de Cemento 2.5 kg de Arena de Revoque</p> 		50%			La forma obtenida gracias a la disposición simétrica de la columna tipo cuerda fueron bultos concavos con empalmes variables debido a la distribución irregular del cemento. No se observan geometrías con ángulos	La tensión de la tela ayudo a que el material coplara las líneas de la columna, a pesar de que estas estaban dispuestas simétricamente al momento de verter el cemento hubo un desplazamiento, evidente en la forma final	4		La superficie tiene una terminación lisa, los pliegues son casi imperceptibles esto debido a que las geometrías obtenidas no fueron muy complejas	4
		70%			La forma obtenida gracia al uso de la columna tipo varilla sobresaliente al molde fue una pieza más irregular que conservaba los empalmes pero no eran regulares debido al vertimiento del cemento, gracias a las varillas sobresalientes se obtienen nuevos resultado, con perforaciones	La tensión de la tela permitió formas más libres y una mayor adaptación del cemento a las columnas, ambos componentes fueron causantes de arrugas y pliegues tanto en los extremos del molde como en los vertices de las columnas. El material también copio la textura y estampado de la tela	4		El acabado en esta superficie es irregular, los pliegues formaron arrugas que generarían amarres en el material textil, además la superficie en general cuenta con varias burbujas, posiblemente desde la mezcla o el textil empleado	2
		70%			El uso mixto de las columnas hizo del resultado final una pieza más amorfa, con pocos patrones de simetría donde es posible notar la adaptación y caído que realiza el cemento alrededor de las varillas, dando como conclusión que el uso de estas de forma vertical limita la forma y textil al momento de la expansión y vertimiento del material	El textil y las columnas en este caso crean una pieza muy orgánica pero sin mayores cambios o patrones distintos, nuevamente es posible ver formas abultadas esta vez limitada por columnas verticales que transgreden la forma orgánica con unos cortes lineales	3		El acabado de la superficie es en cuanto a textura muy positivo, la pieza se mantiene lisa, peor en el conjunto total, el uso de las columnas mixtas hace de la pieza tosca, quebraadiza y con diversos talladuras que van en contra de la fluidez y las formas de la técnica.	2
		30%			Gracias a que se dio más libertad al textil y las columnas empleadas también sedían un poco con el peso, esta pieza obtuvo un mayor volumen que las anteriores, esta vez se marcan las columnas completamente a lo largo de la pieza, permitiendo reconocer claramente los diferentes bultos formados	Es posible hacer una relación entre los tamaños de los bultos con el lado por donde se comenzó a verter la mezcla + la entrada de cemento delimitada por la columna. Nuevamente se observan formas organizadas más controladas.	4		El acaba es algo que resaltar en esta pieza pues no se generaron arrugas ed ningún tipo, el textil brindo una textura homogénea y las columnas tipo elastomero a pesar de estar marcadas en la pieza son regulares	5
		30%			La utilización de volúmenes cilíndricos puestos en la base de manera vertical, dio como resultado una pieza con una altura superior a las demás debido a que el ocupamiento del volumen sustituyó la mezcla de cemento, en muchas cosas sustrayendo por completo espacios en el molde	Se presentaron varios amarres en el empleamiento de volúmenes pues el cemento abrazaba por completo la pieza y la elasticidad del textil lo permitía	3		El acabado de esta pieza fue muy irregular y agrietado, se formaron varios cierras y amarres, además de muchos pliegues de tela que intentaban adoptar las formas de los volúmenes	2
		50%			El resultado de disminuir los cortes en el molde debería ser regular y simétrico, pero como es posible observar en esta pieza con 2 caras asimétricas, las formas van a ser dadas por la caída del cemento y su posterior distribución sobre el molde completo	Se presentan irregularidades en las caras de la pieza a pesar de ubicar la columna horizontal en la mitad, se presentan grandes alturas en los bultos y no hubo quiebre en la mitad a pesar de que la columna lo facilitaba	3		Se presentan algunos pliegues en la textura final aunque no hubo amarres con la columna o el textil, como se observa en la foto el material textil empleado marco el cemento como en las anteriores piezas	3

Tabla 7. MATRIZ DE DECISIÓN. Formato para análisis y comparación de los modelos según sus resultados formales, ligados a las variables empleadas. Para detalles ver Anexo1. Elaboración propia.

4.1.1. 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 anterior (Tabla5).



Figura 25. Variables empleadas (Tensión-90%) (Molde- Circular) (Columna-Punta redondeada) (Disposición – Asimétrica)



Figura 26. Variables empleadas (Tensión-50%) (Molde- Rectangular) (Columna-Cuerda (Disposición – Simétrica)



Figura 27. Variables empleadas (Tensión-70%) (Molde- Cuadrado) (Columna-Punta redondeada y cuerda) (Disposición – Asimétrica)



Figura 28. Variables empleadas (Tensión-70%) (Molde- Cuadrado) (Columna-Punta penetrante) (Disposición – Asimétrica)

Gracias a este repertorio es posible observar los resultados proporcionados por el uso de las variables y como estas pueden ayudar a controlar el resultado final de las piezas según la finalidad y función que se le desea otorgar.

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, empleando 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 2) de posibles productos que podrían ser diseñados a partir de las morfologías que arroja la técnica (Fig. 28, 29,30.)



Fig. 29,30, 31. 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.

- 1) Propuesta Mobiliario Urbano: Gracias a las formas generadas al usar esta técnica se pensó en un conjunto de muebles urbanos, para lugares de la ciudad inhabilitados por la calidad del suelo, recuperar estos espacios con pequeños asientos de concreto que simplemente brindan un apoyo a la cintura baja del usuario, reduciendo la carga sobre ésta. La técnica que tiene como resultado una pieza maciza es ideal para este tipo de mobiliario que debe ser pesado o anclado al suelo.

- 2) Propuesta Sistema Modular: Haciendo uso de 2 o más moldes crear un sistema de modulación por teselaciones que cubran un espacio determinado, volviéndolo interactivo y atractivo al tacto o generando una funcionalidad para cada módulo como podrían iluminación ambiental, jardineras o superficies. Cada módulo permite el enlace con los demás hasta que finalmente se pavimenta la superficie deseada, cada módulo puede ser variable en sus características orgánicas internas, pero no en la forma del molde.
- 3) Propuesta Perchero: Gracias a las formas volumétricas que se obtienen con la técnica de encofrados elásticos se propuso crear un perchero bajo y de piso o buscar la manera de anclarlo a la pared. De esta forma se obtendrá un sólido orgánico e irregular que posiblemente puede ser usado como superficie.

Cada una de las propuestas se evaluó según su viabilidad, entendida como la factibilidad del proyecto desde lo económico, social, productivo, etc. Según su grado de novedad, el cual busca la innovación desde uso, forma y función; y por último, según su eficiencia, entendida como la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Propuesta	Criterio	Calificación
Mobiliario Urbano	Viabilidad	3
	Novedad	3
	Eficiencia	4
Sistema Modular	Viabilidad	5
	Novedad	4
	Eficiencia	3
Perchero	Viabilidad	2
	Novedad	4
	Eficiencia	3

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

La calificación de los criterios se dio según el conocimiento generado gracias a la exploración de la técnica y la exploración del estado del arte actual de la misma. Los resultados validaron la propuesta de un sistema modular gracias a que este era el mejor calificado desde las dimensiones de viabilidad, novedad y eficiencia, ya que esta propuesta emplea la técnica directamente como referente y producción de la forma y no requiere otros elementos externos para su funcionamiento básico (calidades técnicas, productivas y estéticas dadas por la técnica).

4.2.2. Proceso de diseño de un producto industrial empleando la técnica de *form-finding* Encofrados Elásticos y Concreto.

Una vez definida la propuesta de piezas modulares que pavimentarían una superficie, se eligió como función principal la iluminación ambiental de espacios exteriores con el fin de dar a los espacios intervenidos una carga sensible y orgánica. Se definió la ocasión de uso del producto como: iluminación ambiental para espacios exteriores o públicos en los cuales se quiera generar una interacción activa o contemplativa de los elementos que lo componen, donde las modulaciones responden a la topografía de la superficie pavimentada por las piezas. Cada uno de los módulos presentaría diferencias morfológicas las cuales enriquecen la superficie y hacen del monumento una pared interactiva con múltiples funciones complementarias.

A partir de este punto, el proceso de diseño se centró en detallar técnicamente el producto, esto se hizo empleando 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 8).

#	Tipo de requerimiento	Necesidad	Requerimiento general	Medida	Valor	Clasificación	Importancia
1	ESTETICO – COMUNICATIVO	Coherencia he integración con el ambiente natural	Formas orgánicas que se adapten a los ecosistemas y los permitan subsistir	Encuesta cualitativa de la forma	70% o más Positivo	Deseado	4
2		La forma debe responder a la función de pavimentar el espacio designado	Coherencia entre los elementos de la experiencia y el contexto (Parque o zona publica)	Entrevista Validar la coherencia con el contexto (percepción del público)	70% o más Positivo	Deseado	4
3		La estructura debe ser percibida en el entorno	Comunicación Tamaño Texturas	-Tamaño del objeto -Contrastes (puntos focales)	-30-50cms - Iluminación o plantas	Deseado	3
4		Combinarse con el entorno	Lenguaje Natural	Elementos naturales	2-4	Deseado	4
5		La experiencia debe verse segura, confiable y estable	Buenos acabados en los tejidos	Encuesta	70% o más Positivo	Deseado	5
6		Buenos empates entre módulos	Acabados lisos Lijar – Pulir	Sin texturas corrosivas	Obligatorio	4	

				Tacto			
7			Gráficos explicativos de los procesos de construcción	Entrevista Entendimiento de la experiencia	70% del público debe comprender	Obligatorio	4
8		La experiencia debe causar curiosidad	Posibilidad de interacción	Cantidad de acciones o interacciones en el mobiliario	1-2	Deseado	4
9			Formas orgánicas	Esquinas empalmadas	Todas	Deseado	3
10	FUNCIONALIDAD	Materiales sin necesidad de mantenimiento	Materiales con resistencia a la humedad	Acabados inmunizados y anticorrosivos	Todos	Obligatorio	3
11		Resistir los posibles usos que surjan en el lugar	El sistema debe resistir peso	Rango de peso	80-120 kilos	Obligatorio	5
12			El sistema debe resistir golpes	Material Solido	Todos	Obligatorio	4
13			El sistema debe resistir la manipulación	Años de uso	1-2 años	Deseado	3
14		Posibilitar la creación de nuevos patrones	Permitir la manipulación del usuario	Acciones- Interacciones	2-10	Obligatorio	5
15		El sistema debe poder anclarse al piso	Sistemas de anclaje	Puntos de anclaje	2-6	Obligatorio	3

16		Transportable	El sistema debe tener un peso adecuado para su movilidad	Peso del modulo	2-4 kilos	Deseado	4
18			El sistema debe tener un tamaño apto para su movilidad	Tamaño del modulo Área Max	50*50mts	Deseado	4
19			Materiales no frágiles que resistan el movimiento y cargas	Grosor del modulo	4-12 cms	Obligatorio	4
20		Adaptabilidad	El sistema debe ajustarse a varias morfologías de superficies	Ángulos de ensamble	Ángulos variables	Deseado	4
21		Multifuncionalidad	El sistema debe tener 2 o más funciones	Cantidad de funciones	2-4	Deseado	4
22	TECNO-PRODUCTIVO	El proyecto debe ser sostenible	Disminuir al máximo los materiales por modulo	Material empleado por modulo	1-3 kgr	Deseado	3
23		Modular desde la forma	Moldes que permitan la variación de la forma	Cantidad de moldes	2-3	Obligatorio	3
24		Iluminar el ambiente	El sistema debe emitir la cantidad de luz suficiente para	Cantidad de luz emitida por segundo	800-1000	Obligatorio	4

			ambientar un espacio	(Lumen)			
25		Permitir la variación de la luz emitida	El sistema debe contar un interruptor que gradúe la intensidad de luz	Dimmer o Atenuador	Dimmer Led	Deseado	3

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

Una vez definidos los requerimientos, se comenzó el proceso de formalización del producto teniendo en cuenta los alcances de la técnica y las propiedades formales que podían sugerir funciones claves, como el principio de modulación por medio de teselaciones, entendidas como fragmentos repetidos que forman un mosaico en el cual no hay espacios, pavimentado completamente la superficie con cada patrón.

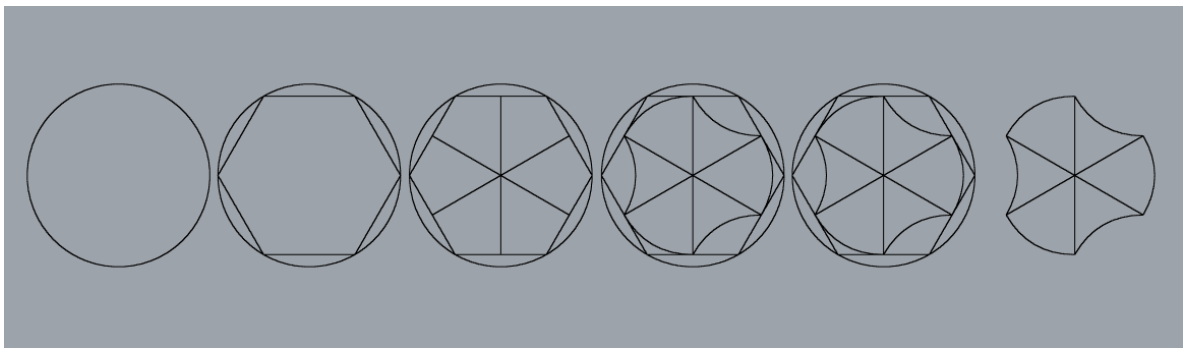


Fig. 32. Diseño del patrón de teselado. Elaboración propia

El patrón seleccionado después del diseño de varias propuestas fue el anterior (Fig.31) este patrón surge de un hexágono que es la figura que mejor pavimenta las superficies, al trazar una línea desde los laterales a opuestos es posible obtener una segmentación de cada cara en divisiones más pequeñas, las cuales al crear una curva generan la forma de nuestro patrón que parece tener un origen triangular. Lo importante de esta teselación es que las fuerzas de carga y los empates estos distribuidos homogéneamente de manera vertical y horizontal, lo cual aumentan su función de pavimentar, de modulación y de ensamble.

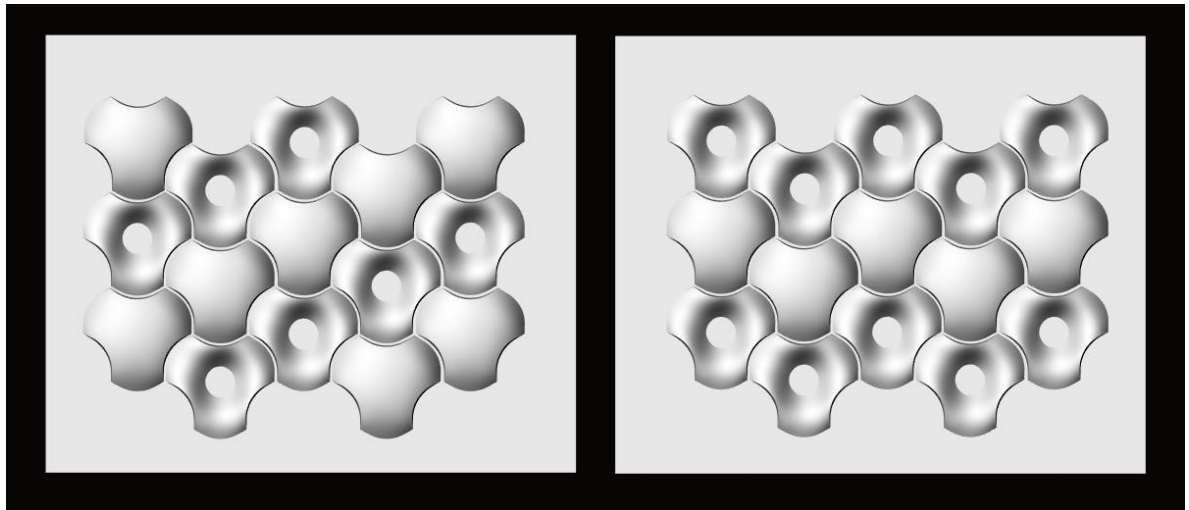


Fig. 33. Modelación de la propuesta final. Elaboración propia. Programa Rhino5



Fig. 34. Elaboración de los prototipos finales, técnica Encofrados Elásticos. Elaboración propia.

Como se evidencia en la figura 33, el patrón diseñado está compuesto por dos módulos con distintas funcionalidades, uno de los módulos es la muestra de la técnica con la única restricción del molde, este modelo requiere de mucho más concreto y como consecuencia su peso es mayor. El segundo módulo surgió de la exploración de la técnica y sus resultados; los cuales dieron la inspiración necesaria para pensar en un módulo funcional desde su forma, que soportara una luz LED tipo ojo de buey. Se diseñó entonces una estructura que permitiera la correcta ubicación y tamaño del orificio.

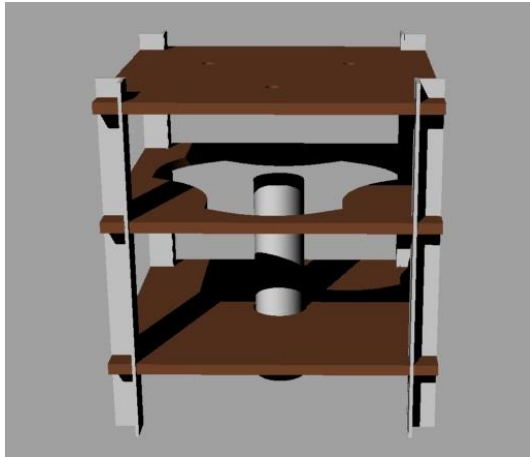


Fig. 35. Modelación estructura final material MDF 5mm. Elaboración propia.

La estructura final fue elaborada en MDF de 5mm, ya que el calibre 3mm se pandeaba con el peso del modelo y era muy sensible a la humedad de la mezcla. En esta estructura se utilizaron como variables, la tensión de la tela entre 50 y 70% para ahorrar material, como geometría del molde el diseño de teselado (Fig.31) y como tipo de columna un cilindro con el diámetro de la luz LED con el fin de crear el orificio con la misma técnica. La pieza superior tiene 3 pequeños orificios para marcar los puntos de apoyo en los cuales después de que la pieza este lista y seca, se harán las perforaciones necesarias para incrustar un chazo plástico; usando una broca de muro.



Fig. 36. Encofrado elástico, tela licra ensamblada con tornillos al MDF.

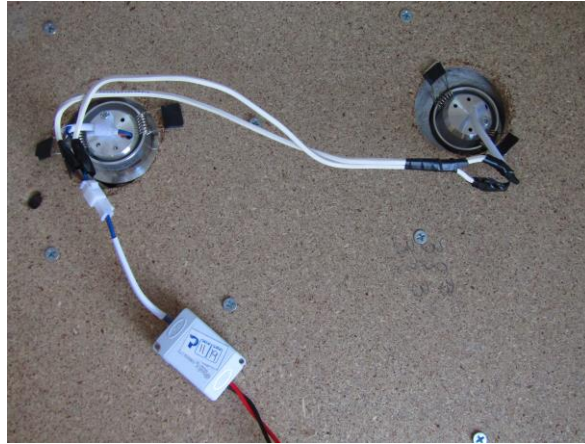


Fig. 37. Sistema eléctrico diseñado para la lámpara. Elaboración propia

El sistema eléctrico consta de luces LED cálidas tipo ojos de Buey, las cuales funcionan con 3 W y tienen una potencia de 170 Lúmenes. Estas se encuentran conectadas en serie ya que el uso de 2 cajas de conversión creaba un corto en el sistema eléctrico, pues se daban dos comandos diferentes que alternaban las luces y las hacían fluctuar. Las luces comparten entonces la celda de conversión en la cual la energía se transforma de alterna a directa. El proyecto plantea para la producción final, un método de encendido automatizado con una celda solar o fotocelda para evitar interruptores en el sistema.



Fig. 38. Sistema de ensamble. Elaboración propia

En la anterior imagen se muestra el sistema de ensamble escogido para cada módulo debido a la utilidad y funcionalidad de los tornillos y chazos de muro, se crearon los agujeros con una broca de pared de $\frac{1}{4}$ de pulgada, 3 en cada esquina como se mostraba en la plantilla, la otra opción era poner el chazo en el momento de verter el concreto, esta es la recomendada; pues durante el proyecto se desarrollaron diferentes piezas que sufrieron de fractura en el momento de abrir los huecos en el módulo.

El ensamble de las piezas se hizo a una circunferencia de Triplex de 9mm, con el fin de que le diera estructura y portabilidad a los elementos, aquí surgió el tema del peso máximo que debe pesar cada conjunto de módulos si estos quieren ser portables, cuatro módulos tienen un peso de 12 kilogramos aproximadamente, siendo 20 el máximo que puede cargar un obrero.



Fig. 39a. Prototipo terminado.

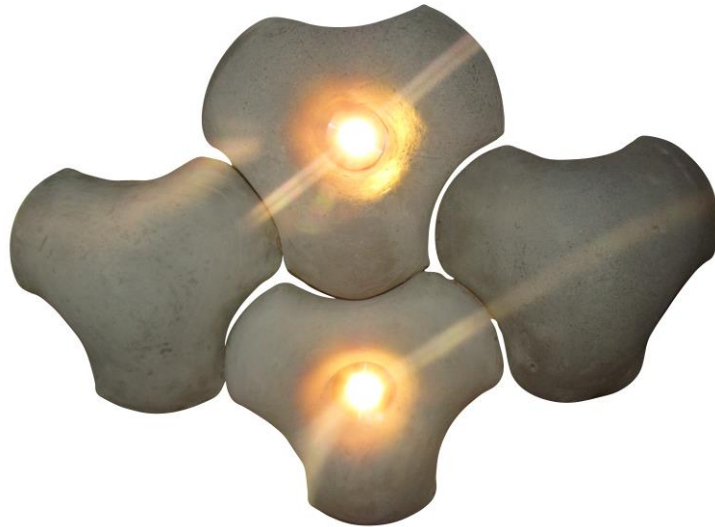


Fig. 39b. Prototipo terminado.

Debido a diferentes condiciones de secado y decisiones en la mezcla con arena de revoque para mejor acabado, diversos módulos sufrieron fracturas en el momento de ensamble, a pesar de esto, la anterior imagen ilustra el resultado obtenido durante la etapa de prototipado y desarrollo. Esta es muestra del resultado de pavimentación que se da con el modulo y conclusiones alrededor del peso y función de una pared interactiva para la ambientación de espacios.

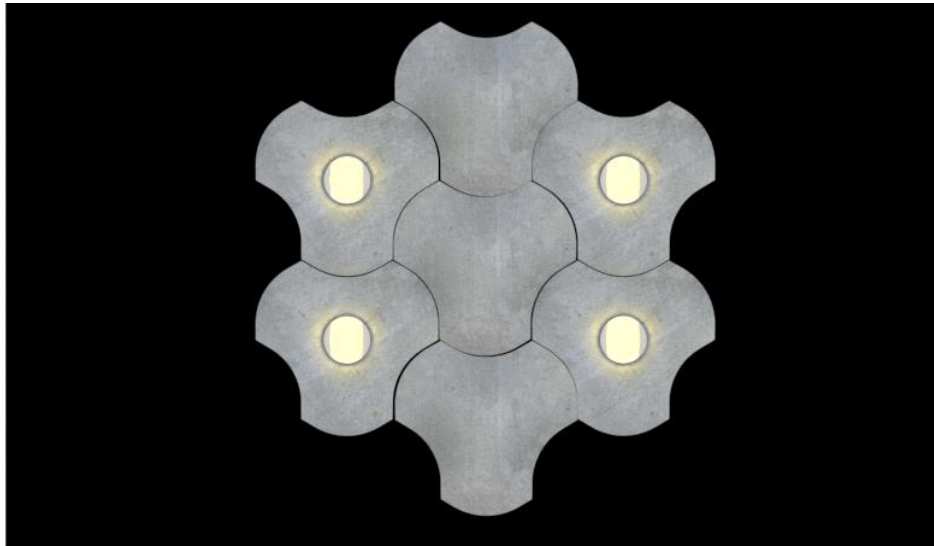


Fig. 40. Render Final. Vray de Rhino6.

Esta era la proyección del proyecto, 7 módulos de concreto que generaban una figura hexagonal similar a un panel, con completa cobertura de la superficie pavimentada.



Fig. 41. Render aplicación industrial. VRay Rhino 6.

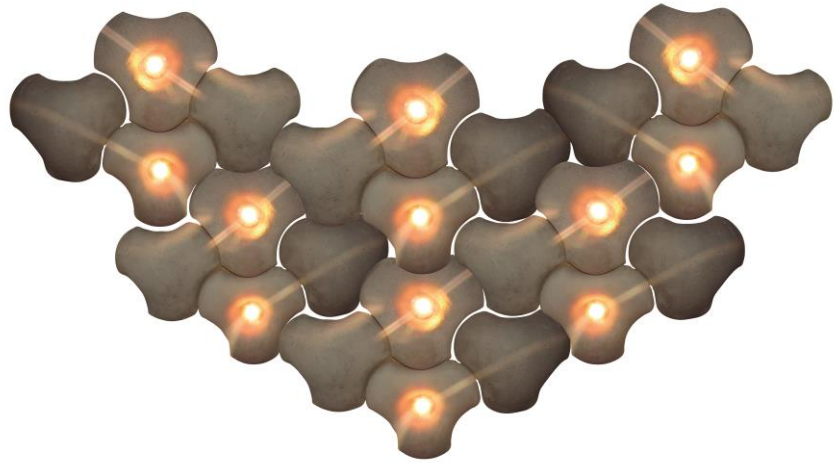


Fig. 42. Proyección del alcance del proyecto. Montaje en Adobe Illustrator.





Fig. 43-49. Fotos de detalle del producto final. Texturas, acabados y ensambles. Tomadas por Camila Aguirre Vásquez

CONCLUSIONES

La técnica de *form-finding* encofrados elásticos y concreto puede ser una herramienta implementada a las metodologías de búsqueda de la forma, que tienen como fin, desarrollar la creatividad y novedad en los proyectos académicos; esta tiene como base un material compuesto que es el concreto y como principio físico la gravedad, permitiendo la auto-organización de los componentes de forma natural y brindando resultados que se salen de las morfologías convencionales que sueñen verse en el diseño de objetos, más precisamente en el diseño de objetos de concreto.

Gracias a su estructura, el concreto es un material compuesto auto-soportante, es decir que puede cargar su peso y posiblemente doblarlo, razón por la cual es empleado comúnmente en construcción en forma de vigas y columnas. Esta característica aumenta las posibilidades de usar la técnica tanto como herramienta de inspiración como método de prototipado y producción, haciéndola una técnica completa y efectiva a la hora de desarrollar un diseño de producto con características orgánicas y formas novedosas.

La técnica a pesar de tener constantes que condicionan en gran medida el resultado del modelo, también ofrece diferentes variables que le dan al diseñador la posibilidad de controlar y diversificar los resultados y posibles funciones de las piezas. Además es una técnica que tiene un grado de incertidumbre y experimentación muy alta, lo que desarrolla la creatividad y fomenta la exploración analógica del material y sus características estructurantes.

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) La textura del textil y su porcentaje de elasticidad, influyen en el acabado superficial y la cantidad de mezcla necesaria para la realización de un modelo. (ii) en cuanto a la mezcla de concreto las proporciones y materiales deben ser calculados de manera cuidadosa ya que un cambio en las proporciones puede aumentar el tiempo de secado o la fragilidad de cada pieza modular. (iii) la forma deseada está sujeta a la geometría del molde empleado y este diseño influye en la funcionalidad y usabilidad de la pieza final, como también en sus puntos frágiles.

Finalmente, la aplicabilidad de la técnica depende de cómo esta sea abordada; ya que los alcances como herramienta de inspiración y metodología para la búsqueda de la forma y los alcances como herramienta de producción y prototipado rápido son completamente distintos, porque la última está sujeta a las morfologías que pueden ser desarrolladas con la técnica con la combinación de material, estructura y forma.

Por último, para controlar el peso del sistema se recomienda la utilización de módulos compuestos por 4 piezas máximo para no superar los esfuerzos de carga y que el montaje del sistema modular no sufra inconvenientes.

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

Arbeláez, E., & Patiño, E. (2010). Generación y transformación de la forma. Medellín: UPB.

Baker, S. (2004). Concrete Design Book on ROBUSTNESS. Concrete design competition.

Dino, I. (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. METU Journal of Faculty of Architecture, 29(1), 207-224.

Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. Creativity research journal, 4(2), 123-143.

Goldschmidt, G., & Smolkov, M. (2006). Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. Design Studies, 27(5), 549-569.

Lawson, B. (2006). How designers think: the design process demystified. Routledge.

Manelius, A. M. (2012). Fabric Formwork. Investigations into Formwork Tectonics and Stereogeneity in Architectural Constructions. PhD Dissertation. The Royal Danish Academy of Fine Arts.

Maya, J., Patiño, E. (2018). Propiedades de las representaciones en diseño: una

exploración interdisciplinaria de su rol funcional. Sometido a la revista KEPES en la fecha: 30 de abril de 2018.

Patiño, E. (2018). CONSTRUCCIÓN Y EXPLORACIÓN DE UN REPERTORIO DE TÉCNICAS ANALÓGICAS DE FORM-FINDING PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS. Trabajo de maestría en ingeniería. Universidad EAFIT Medellín.

Park, J. A., & Kim, Y. S. (2007). Visual reasoning and design processes. In Int'l. Conf. on Engineering Design (ICED), Paris.

Patiño, E. Arango, M. Jaramillo, J. (2015). Biomimética o la traducción de los fenómenos biológicos al diseño. Iconofacto. Vol. 11. Número 16. Enero – Junio. 201 -212.

Patiño, E., & Maya, J. (2018, March). Construction of a Repertoire of Analog Form-Finding Techniques as a Basis for Computational Morphological Exploration in Design and Architecture. In Computational Intelligence in Music, Sound, Art and Design: 7th International Conference, EvoMUSART 2018, Parma, Italy, April 4-6, 2018, Proceedings (Vol. 10783, p. 50). Springer

Rojo Tejerina, J. J. (2013). Miguel Fisac Serna. Arquitecto. Vida y obra. Universidad de Valladolid. Descarga en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4860>

Römer, A., Pache, M., Weißhahn, G., Lindemann, U., & Hacker, W. (2001). Effort-saving product representations in design—results of a questionnaire survey. Design Studies, 22(6), 473-491

Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. Automation in Construction, 14(2), 253-264.

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

Swackhamer, M., Satterfield, B. (2013). Breaking the mold: Variable vacuum forming. ACADIA 2013: Adaptive architecture, Cambridge.

Yilmaz, S., Park, J., Kim, Y. (2008) Effects of Cognitive Activities on Designer Creativity and Performance: A Detailed Look into the Visual Reasoning Model. In: Korea-Japan Design Engineering Workshop, At Seoul, South Korea

ANEXO 1
TÍTULO DEL ANEXO

**NOTA: SI EL TRABAJO SE VA
IMPRIMIR POR AMBAS CARAS
SUS MÁRGENES DEBEN SER
SIMÉTRICAS A 3 CM.**