

**Desarrollo de una metodología de
terrazo para superficies de doble
curvatura en pequeñas dimensiones**

JUAN CAMILO CARDONA ROJAS
JUANITA GUARÍN LONDOÑO
SUSANA GALLEGU GUEVARA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022

Desarrollo de una metodología de terrazo para superficies de doble curvatura en pequeñas dimensiones

JUAN CAMILO CARDONA ROJAS
SUSANA GALLEGO GUEVARA
JUANITA GUARIN LONDOÑO

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesores

EVER PATIÑO MAZO

Magíster en Ingeniería

ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL

Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022

Desarrollo de una metodología de terrazo para superficies de doble curvatura en pequeñas dimensiones

Juan Camilo Cardona Rojas, Juanita Guarín Londoño, Susana Gallego Guevara

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

Resumen

Los materiales DIY se postulan como uno de los procesos que más posibilidades de experimentación ofrecen actualmente. El terrazo es uno de ellos, ya que posibilita una enorme variedad de posibles combinaciones y métodos para que las personas lo puedan desarrollar de manera manual con mínima inversión y recursos. A pesar de lo anterior, localmente no existen aplicaciones diferentes o novedosas del material. Es por esto que el artículo presenta una metodología de desarrollo que potencia las propiedades mecánicas del Terrazo y lo convierte en un material con propiedades sostenibles y sensoriales relevantes. Para llegar a ello, se realizó un análisis de materiales reciclados de aporte, con el fin de mejorar el desempeño, y que posteriormente, junto con el concreto, permitieran ser vaciados en moldes para desarrollar formas de doble curvatura en pequeñas dimensiones. Se encontró que el material de aporte idóneo es el policarbonato, utilizado por medio de moldes de alginato.

Palabras clave: Materiales DIY; Terrazo; Reciclaje; Doble Curvatura; Moldes.

1. Introducción

El terrazo es un material de construcción que se ha utilizado durante años, se basa en una matriz de concreto con refuerzos de diferentes materiales, como mármol o piedra. Gracias a su bajo costo es uno de los materiales más empleados en proyectos, arquitectónicos y decorativos, es decir, en proyectos de construcción de vivienda y de decoración (Bautista, Martín & Mieres, 1998); Por otro lado, es posible notar que en Colombia existe un gran vacío de conocimiento y poca experimentación con este material en objetos de menor tamaño, diferentes a las construcciones arquitectónicas, lo que genera poco aprovechamiento de las propiedades mecánicas y sensoriales que el terrazo puede brindar. Adicionalmente, cada determinado tiempo se renuevan las alternativas que priman en el mundo de la moda y el diseño interior de los espacios, y se adaptan a las nuevas necesidades y gustos. Por lo general suelen rescatarse aquellos materiales que en el pasado fueron muy valorados en el mundo del diseño. Es así, como en la actualidad, no solo las nuevas tendencias nos invitan a utilizar este material, sino que nos dan los beneficios y las ventajas de hacerlo y cómo hacerlo, ya que, desde la década de los setenta, se viene fabricando en las viviendas y los espacios institucionales de nuestro país (Roca, 2022).

Ahora bien, uno de los principales inconvenientes es la falta de conocimiento que tienen los usuarios y constructores acerca de este material. Esto hace que se presenten complicaciones estructurales a corto plazo, además de generar pérdidas monetarias causadas por la necesidad de reemplazar constantemente las piezas debido a las complicaciones que se originan en el proceso de fabricación. En estos casos, surgen fallas en el material, efecto de combinaciones erradas de concreto y material de aporte, produciendo daños a corto plazo cuando se encuentra en uso constante. Adicionalmente,

en el contexto local hay desconocimiento de estudios acerca de la posibilidad de fabricar el terrazo con otros materiales reciclados diferentes a la piedra, como el vidrio, polímeros y pellets de madera para reforzar la mezcla. Llevando a un estancamiento en las posibilidades de producción (Puro Diseño, 2020).

Es por todo lo anterior que es necesario desarrollar investigaciones en las que se especifique el papel del material de aporte en las propiedades mecánicas y sensoriales de una estructura de terrazo. El material de aporte influye en puntos importantes del proceso de fabricación teniendo en cuenta que este puede: 1) provocar espacios de oxígeno dentro de la estructura, 2) tienen diferentes niveles de aguante a la humedad, 3) dependiendo de su tamaño aportan de diferentes modos a la estructura de terrazo, 4) tienen diferentes niveles de absorción de concreto, 5) ofrecen diferentes características visuales (después de los acabados post-fabricación). De este modo, es importante ampliar esta información en las investigaciones locales. En múltiples artículos del contexto nacional e internacional, se enfocan en cuantificar las propiedades mecánicas de las piezas de terrazo sin tener en cuenta el material de aporte. En estos casos solo se menciona el tipo de aporte, pero no se especifica los 5 puntos descritos anteriormente. La “National Terrazzo and Mosaic Association” argumenta, por ejemplo, que el terrazo es generalmente un material muy versátil, duradero y de bajo mantenimiento. Sin embargo, una mala comprensión del comportamiento y especificaciones del material, pueden provocar el agrietamiento y despicado del terrazo (National Terrazzo & Mosaic Association, 2011)

Con base en lo anterior, la pregunta de investigación es ¿Cómo procesar superficies de doble curvatura con terrazo en pequeñas dimensiones sin afectar negativamente sus propiedades mecánicas?

1.1. Objetivos.

General:

Desarrollar una metodología para la fabricación de superficies de doble curvatura de terrazo con formas orgánicas de pequeña escala.

Específicos:

1. Explorar con diferentes tipos de agregados de material reciclado y procesamiento de terrazo para el desarrollo de probetas.
2. Caracterizar las propiedades mecánicas (compresión e impacto) de las exploraciones desarrolladas, a partir de ensayos en laboratorio.
3. Identificar los procedimientos para hacer un vaciado manual de los objetos de formas orgánicas a pequeña escala.
4. Experimentar con diferentes procedimientos que permitan la fabricación de piezas orgánicas de terrazo de pequeña escala.

1.2. Marco Conceptual.

1.2.1. Materiales DIY

Los materiales DIY (*Do it yourself*) se crean a través de prácticas de producción individuales o colectivas, a menudo mediante técnicas y procesos de invención del propio diseñador. Pueden ser

materiales totalmente nuevos o versiones modificadas o más desarrolladas de materiales existentes (Rognoli, Bianchini, Maffei, Karana, 2015). Estos materiales ofrecen grandes oportunidades para contribuir positivamente al diseño de productos a través de su experimentación, así como procesos de producción distribuidos y compartidos. En los últimos años, los materiales DIY han cautivado desde el investigador experimentado hasta el entusiasta amateur del bricolage, pues generan una noción de “regreso a las raíces” al interesado en trabajar con estos materiales y técnicas. Los desarrollos de materiales DIY han permitido lograr avances en la reducción de la huella ambiental pues muchas de estas experimentaciones se trabajan a partir de materias recicladas o recuperadas de ecosistemas afectados por el desecho industrial. Así mismo, el trabajo con materiales DIY ha permitido la colaboración interdisciplinaria entre ciencias que con un trabajo conjunto logran beneficiar el ámbito social, generando diferentes experiencias significativas con materiales, para un propósito común de diseño (Karana, E. 2015).

Por esto, es importante realizar diferentes análisis sobre el material de aporte, el cual se puede definir como el agregado que se le mezcla de concreto para darle más estructura, resistencia, dureza y buena apariencia de la pieza fabricada. Por mencionar algunos de los posibles materiales de aporte utilizados actualmente, se encuentra el mármol, los pellets de madera, piedra natural, conchas trituradas, polímeros y hasta granos de café, etc. Pero el objetivo de esta investigación se enfoca en los materiales reciclables como el vidrio y los polímeros que además de ser de bajo costo, se le está dando una segunda vida útil a piezas que fácilmente estaban destinadas a ser desechadas.

1.2.2. Superficies curvas

Las superficies curvas son superficies no regladas compuestas por un número infinito de planos. Geométricamente pueden definirse por una superficie construida a partir de una generatriz o línea curva que se desplaza por una línea recta, curva o irregular. Dentro de estas superficies se encuentran las superficies de doble curvatura (Fig.1).

Superficies de doble curvatura

Las superficies de doble curvatura se clasifican en anticlásticas y sinclásticas. Las anticlásticas, son superficies de doble curvatura negativa, donde se destacan el paraboloides hiperbólico y el hiperboloides. El paraboloides hiperbólico es una superficie generada por una parábola que es opuesta y perpendicular a una hipérbola. El hiperboloides pertenece a las superficies curvas de traslación en donde se traslada una línea recta inclinada sobre un riel circular (Patiño & Arbeláez, 2009). Por otro lado, las superficies sinclásticas son superficies de doble curvatura positiva, donde se encuentran la esfera y el toroide. La esfera se define por la rotación de un plano o curva meridiana alrededor de un eje de simetría recto (Patiño, E., Arbeláez, E. 2009). Y el toroide es una circunferencia que gira sobre un eje.

Superficies de doble curvatura en pequeñas dimensiones

Para este proyecto se tomará las superficies de pequeñas dimensiones como aquellas que pueden ser manipuladas por el usuario y establecen la relación entre la longitud máxima del objeto, y la longitud de la mano. Según esto, las piezas en pequeña escala tienen unas dimensiones que están directamente relacionadas con la antropometría, teniendo como base las medidas mínimas de la mano para ofrecer lo relacionado a lo manipulable, es decir, el fácil manejo de las estructuras desarrolladas. Según González, E.L. Avila, R. Prado, L.R. (2007) para los hombres adultos latinoamericanos, el diámetro de empuñadura en el percentil 5 es de 39 mm y la anchura palma mano es de 71 mm. Para las mujeres adultas latinoamericanas, de igual modo teniendo como base el percentil 5 es de 40 mm y 71 mm respectivamente.

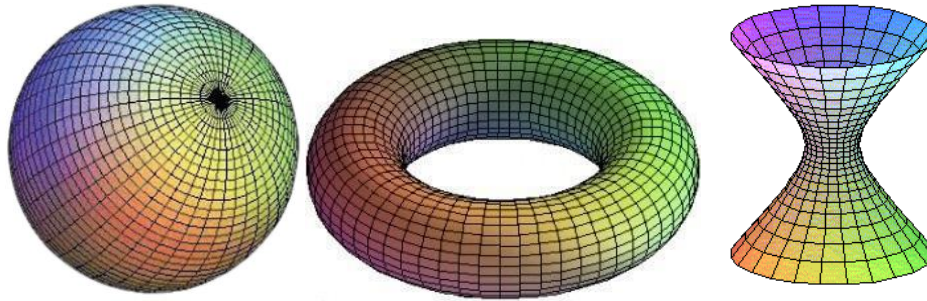


Figura 1. Superficies de doble curvatura - Esfera e Hiperboloide (Pérez y Martín, 2016).

2. Metodología

2.1 Objetivo 1: Explorar con diferentes tipos de agregados de material reciclado y procesamiento de terrazo para el desarrollo de probetas. (Fig. 1)

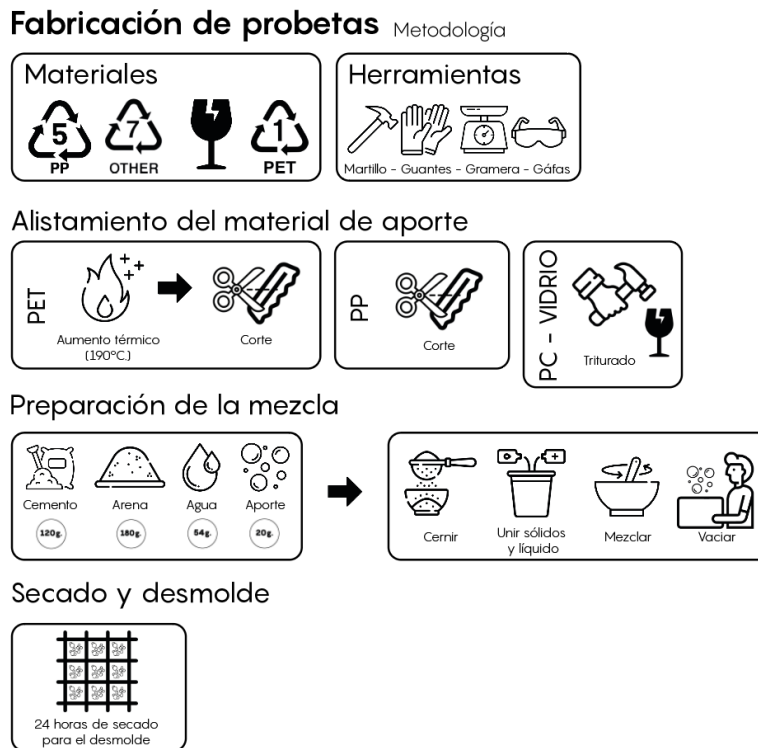


Figura 1. Esquema que representa la metodología para la fabricación de probetas principales para la exploración con los diferentes tipos de agregados. Dibujo de los autores.

Para el desarrollo del primer objetivo se recogieron envases (Fig.2) que pudieran servir como material de aporte: botellas de polietileno tereftalato (PET), botellas de vidrio, tapas de polipropileno (PP) y copas de policarbonato (PC).



Figura 2. Recolección del material de aporte. Fotografía de los autores.

Posteriormente, se preparó el material usando elementos de protección personal como guantes y gafas, y herramientas de carpintería como martillo, tijeras, una gramera y bowls. Para el pre alistamiento del PC y el vidrio, se trituraron las copas y las botellas con el martillo hasta llegar a tener unas pequeñas piezas de entre 0,5 y 1 cm de largo, esto con el fin de permitir una correcta integración con la mezcla (Fig.3).



Figura 3. Proceso de triturado del policarbonato y vidrio. Fotografía de los autores.

Las tapas de PP se calentaron con la llama de un fogón que trabaja con gas natural residencial. Esto se hizo para debilitar su estructura y facilitar el corte con tijeras, hasta llegar a un tamaño de 1 cm de largo (Fig.4).

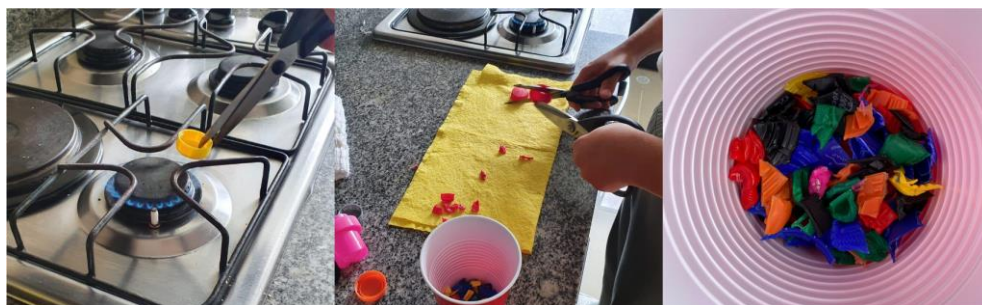


Figura 4. Proceso de calentado y triturado del PP. Fotografía de los autores.

De igual forma, para el prelistamiento de la mezcla, con el fin de llevar un control sobre las cantidades de cada componente, se realizó una tabla que especifica cada uno de estos frente a la cantidad requerida para fabricar las probetas (Fig.5).






Material	Cantidad x 2 probetas
 Cemento	 120g.
 Arena de pega	 180g.
 Agua	 54g.
 Material de aporte	 20g.

Figura 5. Esquema de los componentes de la mezcla principal del concreto. Esquema de los autores.

Con estos componentes disponibles, se procede a preparar el cemento y la arena. Estos componentes deben ser cernidos por medio de un colador para quitar los sólidos no deseados y trabajar solo con lo más refinado.

Teniendo los componentes de la mezcla listos, se procede a la fabricación del concreto, que funciona como base para la fabricación de las probetas. Es de vital importancia, mezclar primero los componentes secos (cemento y arena) para que en pasos posteriores se mantenga una homogeneidad en toda la mezcla. Se destaca que por cada parte de cemento inicial (120g), se deben añadir 1.5 partes de arena. Paso seguido, se alista el componente en estado líquido (agua), en donde se debe destacar que por cada parte de cemento inicial (120g), se deben agregar 0.45 partes de agua, posteriormente se mezcla todo a una velocidad constante durante 2 minutos (Fig. 6).



Figura 6. Proceso de combinación de componentes secos y posteriormente con agua. Fotografía de los autores

Teniendo listas ambas partes involucradas en la fabricación del terrazo, se debe vaciar la cantidad de material de aporte, que en este caso fueron 10g de material de aporte por probeta, es decir 20g teniendo en cuenta que se fabricaron en pares (Fig. 7).



Figura 7. Proceso de combinación de la mezcla con el material de aporte. Fotografía de los autores

Para la fabricación de las probetas se construyó una estructura que logró crear varios contenedores de 5cm x 5cm x 5cm a la vez. Seguido a esto se procedió a vaciar la mezcla ya preparada en los espacios de la estructura y posteriormente se golpeó levemente contra una superficie de modo que el concreto se estabilice y que salieran las burbujas generadas por el vertimiento. (Fig.8).



Figura 8. Proceso de vaciado y eliminación del aire acumulado. Fotografía de los autores

Como último paso del proceso, se requirió ubicar las probetas en un ambiente seco, sin luz directa del sol para evitar procesos de secado forzados y se esperó un tiempo aproximado de 24 horas para posteriormente retirar la estructura y obtener las probetas.

2.2 Objetivo 2: Caracterizar las propiedades mecánicas (compresión e impacto) de las exploraciones desarrolladas, a partir de ensayos en laboratorio.

2.2.1 Pruebas de compresión.

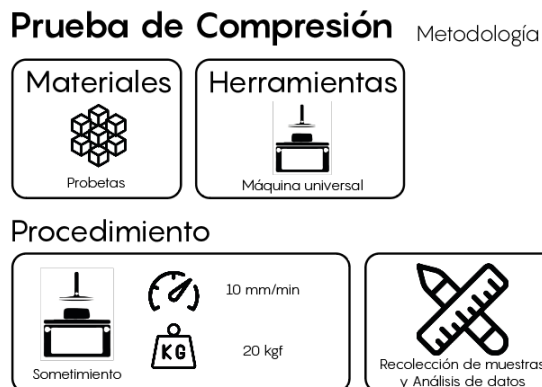


Figura 9. Esquema que representa la prueba de compresión que se les realizó a las probetas como proceso del objetivo 2. Esquema de los autores.

Una vez realizadas las probetas iniciales con cada uno de los materiales agregados dentro de la composición del terrazo, se procedió a desmoldar las probetas, separando las formaletas hasta que las piezas queden sueltas. Con ayuda de un lápiz se procedió a marcar cada probeta en uno de sus costados para poder saber cuál era el agregado que tenía cada una por dentro y de esta manera hacer la prueba más organizada y controlada.

Posteriormente, se hicieron pruebas de compresión con la máquina universal Werkstoffprüfmaschinen-Leipzig ZD 20 VB (máquinas de ensayo de materiales - Leipzig ZD 20 VB) siguiendo la norma NTC 673. La máquina se calibró en resistencia máxima de 4 toneladas con una fuerza de 20 kgf, seguido a esto se procede a posicionar cada probeta cúbica de 5x5x5 cm en el centro de la máquina (Fig. 10) y se comienza a bajar la prensa a una velocidad de 10 mm/min. Durante el proceso se anota en un instrumento de recolección de información el valor del peso cuando las probetas presentan su primera falla en su estructura y seguido a esto se anota de igual manera el valor del peso soportado cuando éstas obtienen su ruptura final. Seguido a esto se procede a retroceder la prensa para así liberar la probeta, esta se posiciona en una mesa auxiliar de forma organizada que coincida con la tabla de recolección de datos y de esta manera poder controlar los resultados con los datos e imágenes. Finalmente, se realiza el mismo proceso con las demás probetas hasta lograr las 15 establecidas para esta prueba, tres por cada material agregado.

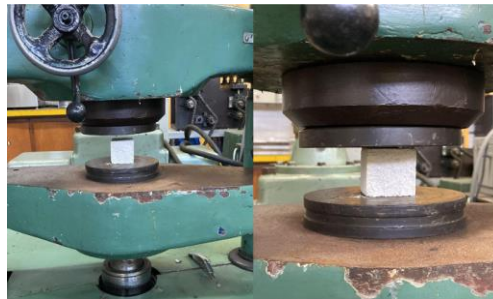


Figura 10. Posicionamiento de las probetas en el centro de la prensa de la máquina universal. Fotografías de los autores.

2.2.2 Pruebas de impacto.



Figura 11. Esquema que representa las pruebas de impacto que se le realizó a las probetas como proceso del objetivo 2. Esquema de los autores.

Para realizar la prueba de impacto fue necesario realizar nuevas probetas del mismo tamaño utilizado para las pruebas de compresión, sin embargo, para esta prueba solo se necesitó realizar 6 probetas principales debido a las decisiones tomadas luego de realizar las pruebas de compresión.

En este sentido, luego de tener las probetas se desarmaron las formaletas hasta que estas queden sueltas y con la ayuda de un lápiz se escribió que agregado tiene en su interior y así realizar la prueba de forma organizada y controlada.

Luego de tener las probetas organizadas y clasificadas, se procedió a dirigirse a un espacio abierto y con la ayuda de un metro y cinta de enmascarar fue necesario marcar la pared para indicar la distancia por la cual serán lanzadas las probetas. Esta distancia se separó cada metro, empezando por 1 metro de altura hasta terminar en 5 metros. (Fig.12)

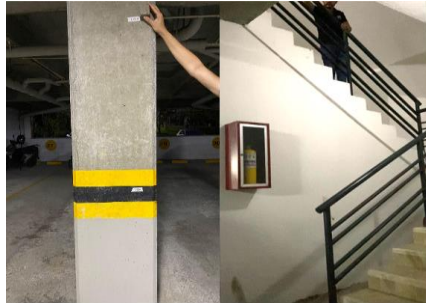


Figura 12. Imágenes donde se muestra cómo se marcaron las diferentes alturas en varios espacios para la realización de las pruebas de impacto. Fotografía de los autores.

Seguido a esto las piezas se comenzaron a soltar desde las diferentes alturas sin aplicar ninguna fuerza o aceleración diferente a la gravedad. Además, se realizó el registro con fotos de cada probeta luego de las caídas.

2.3 Objetivo 3: Identificar los procedimientos para hacer un vaciado manual de los objetos de formas orgánicas a pequeña escala.

Para la identificación de los procedimientos se realizó una búsqueda de variables características en los materiales a utilizar. Asimismo, se hizo la definición de estas y se clasificaron en una escala de alto, medio y bajo, en donde alto significa el cumplimiento neto de la variable y bajo como la clasificación que no cumplía con dicho requerimiento.

Al realizar dicha caracterización se definió el material con mayor potencial para hacer el vaciado, realizando a su vez la verificación de manera experimental con cada uno de los materiales buscados.

2.4 Objetivo 4: Experimentar con diferentes procedimientos que permitan la fabricación de piezas orgánicas de terrazo de pequeña escala.

2.4.1 Proceso de piezas base.

Para la realización de este objetivo en primera instancia fue necesario realizar en el software *Rhinoceros* las piezas bases (Fig.13) que permitirían realizar finalmente los diferentes moldes donde se haría vertimiento del terrazo. Se decidió modelar un hiperboloide, una esfera y un cubo, este último para comparar en relación a las formas con doble curvatura los diferentes procesos de creación de moldes y vaciado del terrazo.

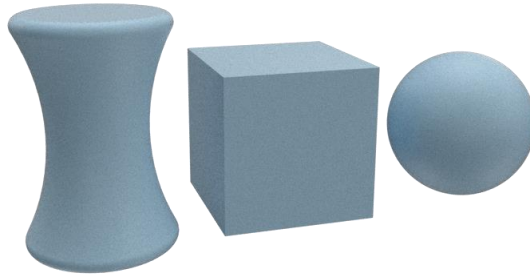


Figura 13. Imagen de los modelos realizados en el software de diseño 3d Rhino. Imagen de los autores.

Una vez modeladas las piezas bases se procedió a imprimirlas en una máquina de impresión 3D Ender 3 con un filamento de polímero PLA de 1.75mm, para así poder obtenerlas exactamente igual al modelo digital anteriormente realizado. Tener las medidas correctas de las piezas es una de las partes más importantes del desarrollo del objetivo debido a que el tamaño debe cumplir con un percentil y responder a la premisa de realizar estructuras de terrazo a pequeña escala. En este sentido, el hiperboloide tiene una altura de 7 cm, un diámetro mayor de 4,5 cm y un diámetro menor de 3 cm. La esfera tiene un diámetro de 5 cm y el cubo tiene una altura y un ancho de 5x5 cm y una profundidad de igual forma de 5 cm.

Para terminar, a partir de la revisión de la literatura, se definieron 5 técnicas para hacer moldes, se valoraron a partir de unos criterios establecidos y se procedió a explorar el vaciado del terrazo con las tres técnicas que quedaron mejor valoradas.

3. Resultados y discusión.

3.1. Resultados de la fabricación de las primeras probetas

Se encontraron diversas posibilidades de agregados que posteriormente podrían proporcionar en la mezcla de concreto una mejora en sus propiedades. Al agregar cada material a la mezcla y luego de esperar el tiempo estimado, se realizó el proceso de desmolde y se evidenciaron varios cambios: (i) de color en el terrazo gracias al proceso de secado; (ii) de peso, ya que los agregaron son más livianos y proporcionaban ligereza en la mezcla; (iii) de texturas, dependiendo del nivel que proporcionara cada agregado, ya fuera liso o corrugado; (iv) de porosidad, dependiendo de la acomodación y tiempo del mismo con que se haya formado en cada probeta.

Adicional a eso, se evidenció que el clima fue un factor diferencial a la hora de hacer el desmolde, puesto que se tuvo la oportunidad de realizar dos veces este procedimiento en distintas condiciones climáticas y a pesar de que, en el frío, su proceso de fraguado es mayor tiempo, su resistencia y dureza en el material es mayor, esto en comparación a un clima caluroso, ya que su proceso es distinto.

Por último, el uso de las formaletas modulares, hizo posible que el proceso de desmoldar, fuera más sencillo, lo que permitió que la forma no presentará cambios; se evidenció que la textura presenta gran porosidad, debido a que el MDF absorbió una parte de la humedad de la mezcla, lo que provocó dicha reacción (Fig.14).



Figura 14. Imagen de proceso de desmolde y evidencia de características del material. Fotografía de los autores.

3.2. Resultados de las pruebas de compresión.

Como se mencionó anteriormente, la prueba de compresión se realizó a 15 probetas clasificadas en grupos de tres en el que cada grupo contenía un material agregado, estos eran solo PC, solo PP, Vidrio, PC + Vidrio y PP + Vidrio. Según la prueba de compresión realizada hasta el punto de falla de la probeta, se pudieron observar dos tipos de fallas en las probetas de terrazo (Fig. 15). La primera, es un plano de ruptura horizontal y vertical debido al mismo aplastamiento de la probeta, en donde se evidencian mayores tensiones en las aristas de la probeta. La segunda, es el agrietamiento que también se refleja principalmente en las aristas.



Figura 15. Posicionamiento de las probetas en el centro de la prensa de la máquina universal. Fotografía de los autores.

La prueba de compresión permite observar los fallos esperados en las probetas con formas geométricas, que concentran las tensiones en los vértices y aristas, como es evidenciado en la Fig. 15, por lo que se evoca nuevamente al propósito del proyecto de producir matrices con superficies de doble curvatura que generen un mejor flujo de las tensiones mecánicas al no haber vértices y aristas que concentren la fuerza y provoquen la ruptura de la pieza.

Así mismo, la combinación de los materiales de aporte está provocando menor resistencia mecánica de la pieza. A modo de hipótesis, mezclar estas materias de aporte puede estar provocando una 'desunión' interna de la pieza debido al hinchamiento del polímero con la absorción del agua (Lerma, J. R. 2015).

El uso de un único material de aporte presenta una mayor resistencia a la compresión y de este modo, el vidrio y el policarbonato destacan en cuanto a su resistencia (> 1 tonelada) por lo que se muestran más viables para la continuación de la investigación. (tab.1 - Fig. 17)

Las probetas fabricadas con PP, se descartaron debido a su coeficiente de dilatación, puesto que se presenta un cambio de en el tamaño del material, lo que causa que el terrazo presente gran porosidad en su interior y además, propaga de manera rápida fisuras; al final se decidió continuar

las pruebas con el vidrio y el PC, debido a sus similares propiedades para la resistencia y durabilidad (Tab.1)

Tabla 1. Resultados de la prueba de compresión en cuanto a la resistencia del material.

RESISTENCIA (MPa)	MATERIALES				
	VIDRIO	PC	PP	PC + V	PP + V
3.334 MPa	4.786 MPa	3.373 MPa	2.903 MPa	2.746 MPa	
4.197 MPa	3.923 MPa	3.138 MPa	3.295 MPa	3.373 MPa	
5.335 MPa	6.0409 MPa	2.824 MPa	3.295 MPa	2.746 MPa	

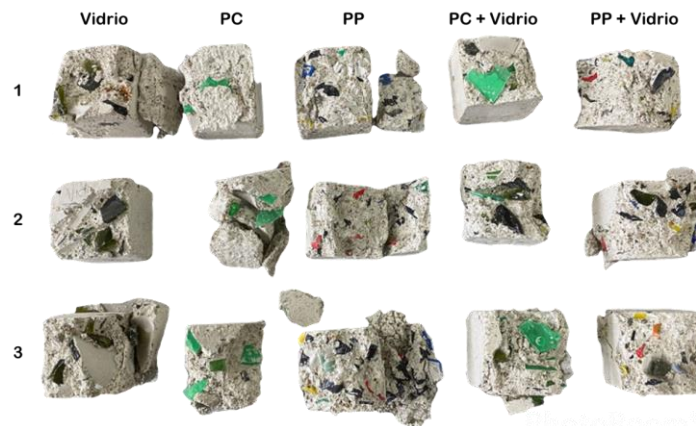


Figura 17. Resultado de las 15 probetas obtenidas luego de realizar las pruebas de compresión. Fotografías de los autores.

3.3. Resultado de las pruebas de impacto

En cuanto a la prueba de impacto, esta se le hizo los mismos tipos de mezcla anteriormente utilizados, pero con la diferencia de que en esta prueba el polipropileno como material agregado fue descartado, ya que con los resultados de las pruebas de compresión se decidió que este material, aunque resiste un alto grado de compresión, en promedio fue el que menos resistió de los materiales utilizados. Además de esto el PP fue permisivo de mayores espacios de vacío en la fabricación de las probetas.

Las probetas comenzaron a presentar fallas estructurales desde el primer lanzamiento a 1 metro de altura, pero principalmente en los vértices y aristas, reflejando las tensiones que generan las formas geométricas en estos puntos, posterior a esto, en los lanzamientos 2, 3 y 4 se observan fallas más concretas en los mismos puntos, pero aún sin una fractura completa, dejando ver aún más el material de aporte. Estas fallas se presentan principalmente en las probetas con vidrio como material de aporte. Por último, en los lanzamientos desde los 5 y 6 metros de altura, se observan fracturas completas, pero únicamente en las probetas con vidrio como material de aporte estructural. Las probetas sin material de aporte, presentan una falla completa desde la caída a los 3 metros de altura, evidenciando la necesidad de un material de aporte que responda a las propiedades mecánicas necesarias (Fig. 18).

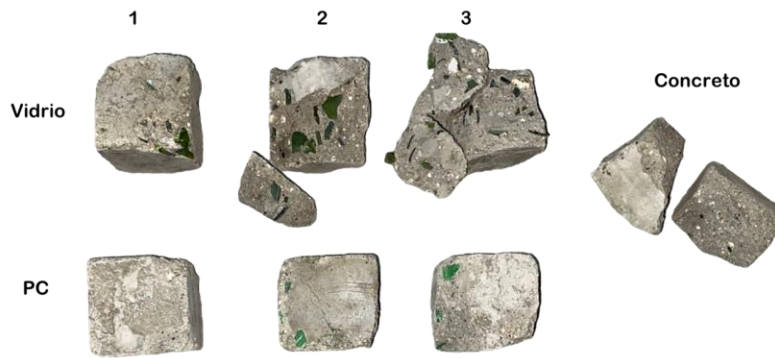


Figura 18. Resultados de las 6 probetas obtenidas después de realizar el ensayo de resistencia al impacto. Fotografías de los autores.

Con base en el área de las probetas y la altura desde la cual fueron lanzadas (en reposo) se realizaron los cálculos sobre la absorción de energía al momento del impacto (Fig. 19) en donde las probetas con policarbonato como material de aporte, reflejan una mayor resistencia a la energía del impacto sin presentar una falla completa, esto responde a la definición del policarbonato como uno de los polímeros más resistentes a la compresión y el impacto.

Tabla 2. Resultados de la prueba de impacto en cuanto a la energía del impacto.

	MATERIALES		
	Metros	VIDRIO	PC
Energía Cinética justo antes del impacto. (J)	1	2,352 J	1,96 J
	2	4,704 J	3,92 J
	3	7,055 J	5,88 J
	4	9,408 J	7,84 J
	5	11,76 J	9,8 J
	6	14,112 J	11,76 J
Resistencia de cada material a la energía del impacto			
(J/m ²) A=0.0025m ²	1	940,8 J/m ²	784 J/m ²
	2	1.881,6 J/m ²	1.568 J/m ²
	3	2.822 J/m ²	2.352 J/m ²
	4	3.763,2 J/m ²	3.136 J/m ²
	5	4.704 J/m ²	3.920 J/m ²
	6	5.644,8 J/m ²	4.704 J/m ²

3.4. Identificación de procedimientos de vaciado manual

Se identificaron posibles procedimientos basados en la revisión en la literatura. Posteriormente se definieron criterios de análisis que permitieran evaluar los procedimientos.

Estas variables fueron, la flexibilidad, el costo, la limpieza, el acabado liso, la permeabilidad, el tiempo de producción, el peso, la resistencia a condiciones climáticas, la durabilidad, las posibilidades formales, la recuperación elástica, la resistencia a la compresión, la antiadherencia y la flexibilidad.

Para esto, se realizó una caracterización específica con cada variable y proceso, destacando sus cualidades. (Fig.20-Tab.3)

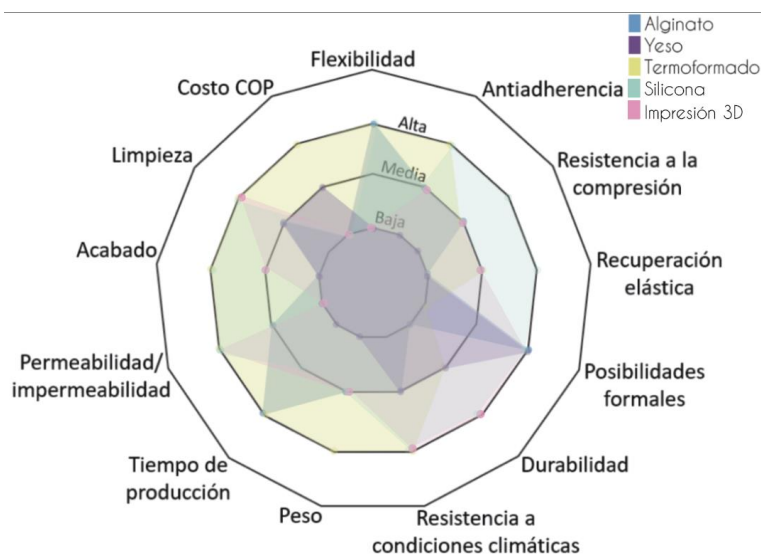


Figura 20. Esquema Radial. Comparación de variables entre los tres materiales propuestos para el proceso de vaciado. Esquema de los autores.

Tabla 3. Definición de variables con su respectiva calificación.

Crterios	Alto	Medio	Bajo
Flexibilidad	Definido con alto porcentaje de flexibilidad en el material, que tenga una curvatura que permite una amplia capacidad elástica del material, es decir, que presente un nivel de resiliencia alto, sin llegar al punto de fractura y deformación. adquiere plasticidad. 2.1-4.10 GPa.	Definido con medio porcentaje de flexibilidad en el material, que dificulta la flexión a la hora del desmolde. Es flexible pero no elástico, puede tolerar una resistencia de 2.9-5.8 GPa, por lo que requiere al menos de 5 mm de espesor para evitar su desgaste.	Definido con bajo porcentaje de flexibilidad en el material, que no permitiera flexión. No cuenta con margen de flexibilidad, pues puede tolerar una resistencia de 0,50 GPa. Es un material rígido.
Costo COP	\$5,000 pesos pliego de material. \$10,000 pesos kg de material.	Definido como un precio medio y no tan económico.	Definido como un precio poco asequible y no económico.
Limpieza	Definido como de fácil mantenimiento, debido a que solo se necesita agua y un paño para esto.	Definido como de no tan fácil mantenimiento.	Definido como de difícil mantenimiento.
Acabado	Definido como material que no presenta irregularidades u ondulaciones, por su parte son uniformes o permiten un rápido perfeccionamiento de	Definido como lo que proporciona pocas irregularidades u ondulaciones.	Definido como lo que proporciona irregularidades y ondulaciones un poco difíciles de corregir.

	mínimas irregularidades.		
Impermeabilidad	Definido como material que impide el paso de fluidos.	Definido como un material que permite el paso de fluidos a baja escala.	Definido como un material que permite totalmente el paso de fluidos hacia el material agregado.
Tiempo de Producción	Definido como un tiempo de espera rápido. 5 min	Definido como un tiempo de espera medio. 10 min	Definido como un tiempo de espera lento. 40 min
Peso	Definido como un peso liviano. 10 gr	Definido como un peso medio. 300 gr	Definido como un peso pesado. 500 gr
Resistencia a Condiciones Climáticas	Definido como la resistencia a la humedad o al calor alto. Cuenta con alta resistencia a la humedad debido a sus características permeables plastificantes. Causando así una "propiedad barrera" hacia el agua.	Definido como la resistencia a la humedad o al calor medio. Poco resistente a la humedad, de tal forma que, con la incorporación del agua, pierde resistencia.	Definido como la resistencia a la humedad o al calor bajo. Poca resistencia a la humedad, causando viscosidad en el mismo al contacto con el agua.
Durabilidad	Definido como un material que resiste a varios usos. De 2- 7 usos	Definido como un material que resiste poco a varios usos. De 2 - 5 usos	Definido como un material que no resiste a varios usos. De 1- 3 usos
Posibilidades Formales	Definido como un material que permite hacer un sinfín de formas.	Definido como un material que posibilita hacer varias formas, pero está limitado.	Definido como un material que posibilita hacer pocas formas.
Recuperación Elástica	Definido como un material que toma su misma forma a pesar de ciertas fuerzas agregadas.	Definido como un material que se deforma un poco al recibir fuerzas externas.	Definido como un material que se deforma al recibir fuerzas externas.
Resistencia a la Compresión	Definido como la resistencia o capacidad para resistir fuerzas sin evitar deformaciones o daños.	Definido como la resistencia a fuerzas causando algunas deformaciones.	Definido como la poca resistencia a fuerzas externas.
Antiadherencia	Definido como la posibilidad de que el material agregado, salga sin desprendimientos de su mismo material.	Definido como la poca antiadherencia que tiene el material de base hacia el otro, dejando restos en el mismo.	Definido como la alta adherencia que tiene el material base hacia el otro.

Asimismo, se destacaron tres procesos para hacer el vaciado en concreto, estos fueron, el alginato, el termoformado y el yeso. Luego se hizo una comparación de dichas variables entre los tres procesos mediante un esquema radial. Sin embargo, había otros procesos como la silicona y la impresión 3D, pero fueron descartadas desde un principio debido a un factor de gran importancia como lo es el costo.

3.5. Moldes de yeso



Figura 21. Este esquema representa la fabricación de moldes en yeso. Esquema de los autores.

Para la preparación del yeso para los moldes, se toma el área de rectángulo generado a partir de las formaletas, para tener el dato en kg de la cantidad a mezclar con agua. Para ello se divide el valor conseguido para el yeso por 1,5 y así obtener los litros necesarios en la mezcla. Primero se alistan los litros de agua necesarios y posteriormente se añade lentamente el yeso, se espera 30 segundos mientras los componentes se van asentando y en último lugar se mezcla constantemente con ayuda de las manos para evitar la formación de grumos. (Fig.22)



Figura 22. Preparación de la mezcla. Fotografía de los autores.

Al conseguir una mezcla homogénea, se vierte en las formaletas, buscando eliminar la mayor cantidad de aire atrapado posible y se contabilizan aproximadamente 10 minutos, hasta que comience a suceder el aumento térmico que indica que el yeso está por terminar su proceso de secado. Posteriormente, se retiran las formaletas, se voltea la pieza y se comienza a realizar todo el procedimiento nuevamente, teniendo en cuenta que es un molde a dos piezas y destacando que, para la segunda pieza, se realizan dos orificios en la parte superior para posibilitar el vertimiento del concreto cuando el molde esté listo para utilizarse. (Fig.23)



Figura 23. Proceso de vaciado y extracción del molde final. Fotografía de los autores.

Para la fabricación del concreto con el fin de lograr las estructuras planteadas, se utilizó el mismo procedimiento planteado anteriormente el cual consiste en el uso de diferentes materiales de aporte para la fabricación de las probetas de terrazo y los moldes se pre alistaron con 7 capas de vaselina, con un secado aproximado de 12 horas, de modo que al vaciar el concreto y esperar por su secado, no se adhiera al molde. (Fig.24).



Figura 24. Prealistamiento del molde con vaselina. Fotografía de los autores.

Los moldes de yeso requieren un mayor tiempo de fabricación y el desarrollo de un cálculo de área para conocer la cantidad exacta de materia prima para el llenado del molde en las probetas. Sin embargo, las matrices logran una mejor estructura por la compactación que genera el molde al unir ambas partes. Las probetas tienden a quedar con un acabado rugoso debido a la filtración del yeso en estado líquido por cada poro de las probetas lo que requiere un proceso adicional para darle un acabado liso a la pieza si es lo que se requiere (Fig. 25).

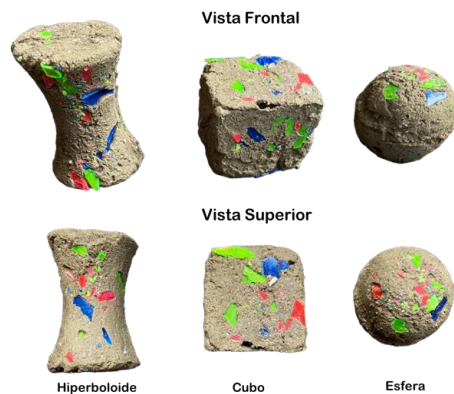


Figura 25. Resultado de las 3 probetas obtenidas con el molde realizado por el proceso de moldes de yeso. Fotografía de los autores.

3.6. Moldes de alginato.



Figura 26. Esquema que representa la fabricación de moldes de alginato. Esquema de los autores.

Es necesario prelistar el material para lograr la mezcla, en donde, por cada 100 g de alginato se deben agregar 210 g de agua y consta de un sencillo pero ágil proceso debido a los tiempos de secado del material. Se dispone un recipiente en el que se pueda mezclar homogéneamente el agua y el alginato, este último se agrega en el recipiente y se le agrega el agua.

La mezcla comienza a reaccionar químicamente, evidenciándose mediante una tonalidad morada y luego rosada (Fig.27), la cual indica que la mezcla se debe homogeneizar rápidamente y verterse en las formoletas utilizadas para contener el molde, se dispone aproximadamente de 10 a 15 segundos para realizar el vertimiento. Después de vaciado el alginato, se debe ubicar de manera rápida la matriz para generar el molde y esperar a obtener nuevamente una reacción química en la que se pasa a una tonalidad blanca, en donde debe haber una espera de 40 segundos para finalizar y desmoldar. (Fig.28).



Figura 27. Mezcla de los componentes de alginato. Fotografía de los autores.



Figura 28. Vertimiento / Matriz del molde. Fotografía de los autores.

Las probetas logradas a partir del molde de alginato conservan una superficie lisa que descarta la necesidad de generar un proceso de pulido adicional, además la extracción de las probetas tiende a ser un proceso más sencillo en relación a los otros dos procesos realizados debido a la flexibilidad del alginato. Este proceso requiere de menos tiempos de espera en comparación a los moldes de yeso, pero se observan mayores generaciones de espacios de vacío que pueden alterar la integridad de la pieza, esto se debe a la misma flexibilidad del alginato, que en el proceso de vaciado puede ceder cierto porcentaje a su posición original (Fig. 28).

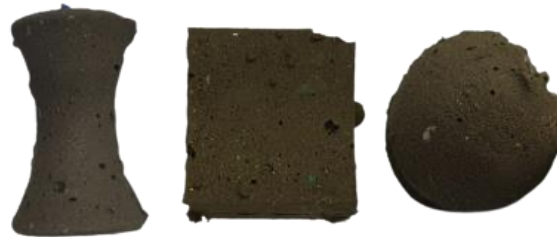


Figura 29. Resultado de las 3 probetas obtenidas con el molde realizado por el proceso de moldes de alginato. Fotografía de los autores.

3.7. Moldes termoformados

Fabricación de moldes Metodología

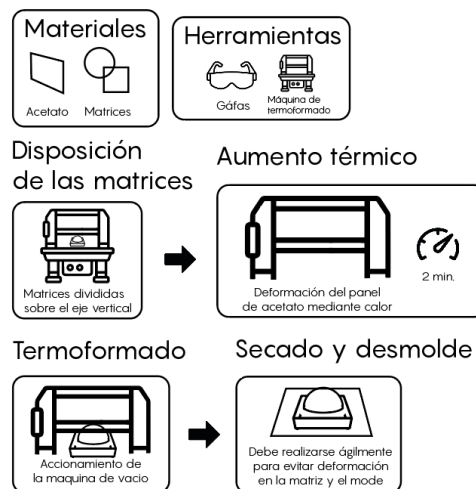


Figura 30. Esquema que representa la fabricación de los moldes con el proceso de termo formado que resuelven el objetivo 3. Esquema de los autores.

Para iniciar este proceso se requiere el uso de una máquina termoformadora de media capacidad para la fabricación de los moldes, en donde se utiliza una pieza de acetato de 500 mm X 350 mm. Las matrices deben ser cortadas atravésándolas por el eje vertical, de modo que se obtengan dos piezas que pueden ser termoformadas en un mismo panel de acetato (Figura 30); Además, se les realizó a los moldes un proceso de pre alistamiento en el que se le aplicó a cada uno una capa de vaselina para evitar que estos con el calor se adhirieran al acetato.

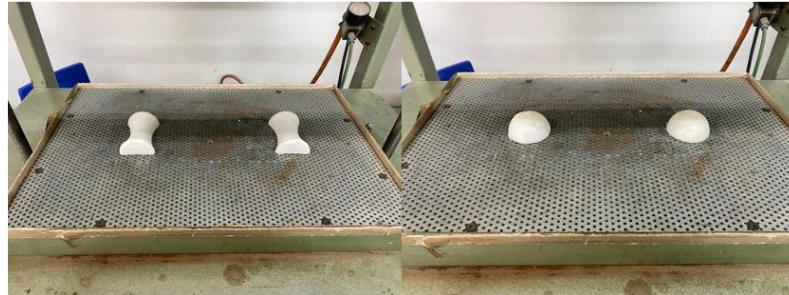


Figura 31. Disposición de las matrices en el termoformado. Fotografía de los autores.

La máquina termoformadora tarda aproximadamente 5 minutos en llevar el panel de acetato a la temperatura ideal para lograr una deformación plástica de su estructura y que así logre adaptar la forma del molde mediante el vacío generado por la máquina. Seguido a esto se procede a accionar en la máquina el vacío el cual se encarga de dar la forma al panel de acetato que posteriormente será utilizado como molde.

Por último, se retiró el acetato de la máquina, quitando los seguros del panel que lo sostenía y de esta manera se el último paso solo fue retirar las figuras bases para que estas dejaran el agujero por donde se verterá el terrazo.

El proceso de termoformado presenta una mayor facilidad en términos de tiempo de desarrollo, pero así mismo, presenta un inconveniente que lo descarta inicialmente como proceso ideal ya que, al trabajar con matrices fabricadas a partir de polímeros, el aumento térmico del proceso, deforma plásticamente las matrices por lo que se debe indagar en otros procesos para fabricar las matrices. De igual forma, el molde debe ser intervenido para generar el orificio por el cual será vaciada la mezcla de terrazo (Fig. 32).

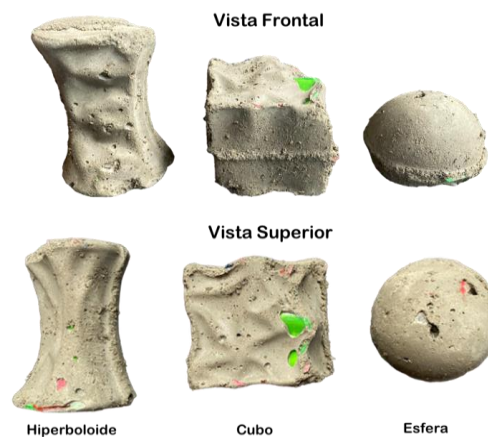


Figura 32. Resultado de las 3 probetas obtenidas con el molde realizado por el proceso de termoformado. Fotografía de los autores.

3.8. Análisis de los moldes y los resultados.

Los tres procesos llevados a cabo para la fabricación de los moldes, se encuentran en un rango de tiempo de producción relativamente rápido, entre 5-15 min, lo que agiliza el desarrollo de las muestras si se tienen todos los elementos listos para su uso. Sin embargo, uno de los procesos, el termoformado, requiere de especial cuidado y agilidad al momento de su fabricación ya que, al usar matrices construidas con filamento polimérico, estas tienden a deformarse plásticamente por la temperatura generada por la máquina de termoformado, lo que se traduce en probetas con superficies rugosas (Fig. 32) que deben pasar por un proceso adicional de acabado.

Los moldes de yeso y alginato tienen un proceso de fabricación relativamente similar, pero gracias a la composición estructural del alginato ofrece un acabado superior respecto al yeso, brindando unas probetas con superficies lisas y con menos vacíos generados a partir del molde. Sumado a esto el alginato permite desmoldar con mayor facilidad las probetas sin necesidad de aplicar desmoldante.

Las probetas presentan un mejor acabado en términos de continuidad de la superficie en los moldes fabricados con yeso y alginato, debido a lo mencionado anteriormente en la fabricación de los moldes de acetato termoformado. Sin embargo, en las probetas salientes de los moldes de yeso y alginato, se observa cierta porosidad producida a partir de la composición de estas dos materias primas del molde.

4. Conclusiones

Con respecto a la pregunta de investigación ¿Cómo procesar superficies de doble curvatura con terrazo en pequeñas dimensiones sin afectar negativamente sus propiedades mecánicas? se puede decir que teniendo en cuenta las experimentaciones realizadas con diferentes materiales de aporte, se logra definir el policarbonato como material ideal para la fabricación de superficies de doble curvatura, ya que mejora las propiedades mecánicas de la pieza en un 17% respecto a las probetas con vidrio como material de aporte y en un 37% en las probetas sin material de aporte. Esto se debe en gran parte a las propiedades mecánicas del policarbonato.

Por otro lado, el uso de diferentes aditamentos como el “Acronal” supone un proceso de mayor complejidad que en el resultado final no está presentando un favorecimiento de las propiedades mecánicas como se esperaba. La mezcla puede ser fabricada a partir de los componentes básicos para la preparación del cemento sin necesidad de incluir otros aditamentos.

Para el desarrollo de una metodología para la fabricación de piezas de terrazo con superficies de doble curvatura en moldes de yeso, alginato o termoformado, se debe incluir una cantidad considerable de desmoldante debido a que la mezcla de concreto y material de aporte tiende a adherirse al molde con mucha facilidad en el transcurso del secado, lo que conlleva a una afectación negativa directamente de la pieza o en su defecto del molde.

Igualmente, se evidencia una mejora en las propiedades mecánicas de las superficies de doble curvatura con el material de aporte y aún mayor si es policarbonato, relativo a la resistencia de la misma pieza construida a partir de concreto exclusivamente. Se evidencia visualmente en cuanto a la integridad de la pieza y en el análisis de datos, según los valores obtenidos sobre la absorción de energía en el impacto y las pruebas de compresión.

Por otro lado, el termoformado es un proceso de fabricación de moldes que presenta beneficios como la agilidad en el desarrollo de este, pero no debe trabajarse en conjunto con matrices de filamentos poliméricos ya que estas tienden a deformarse plásticamente por el calor generado por la máquina.

Se requiere de mayor experiencia en el manejo de la maquinaria para retirar el molde de la bomba de vacío en el momento exacto para evitar la deformación.

Finalmente, el uso del alginato para la fabricación de moldes presenta mayores beneficios en la metodología investigada ya que no requiere del uso de desmoldantes que involucran un paso más en el proceso de desarrollo, además, su estructura flexible soporta un uso prolongado del molde.

Referencias

Lerma, J. R. (2015). Manual Avanzado de Inyección de Termoplástico. Recuperado de https://documen.site/download/libro-manual-avanzado-de-inyeccion-de-termoplastico_pdf

Roca. (2022). El terrazo, siempre vigente en la arquitectura y el interiorismo. Recuperado 2022, de <https://roca.com.co/terrazo-vigente-en-la-arquitectura-y-el-interiorismo/>

Patino, Ever & Arbeláez, Elsie. (2009). Generación y transformación de la forma. Morfología, geometría, naturaleza (biomimética) y experimentación). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ever-Patino/publication/339509974_Generacion_y_transformacion_de_la_forma_Morfologia_geometria_naturaleza_biomimetica_y_experimentacion/links/5e569d1f299bf1bdb83e3932/Generacion-y-transformacion-de-la-forma-Morfologia-geometria-naturaleza-biomimetica-y-experimentacion.pdf

Karana, Elvin & Barati, Bahar & Rognoli, Valentina & Zeeuw van der Laan, Anouk. (2015). Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. *International Journal of Design*. https://www.researchgate.net/publication/277311821_Material_Driven_Design_MDD_A_Method_to_Design_for_Material_Experiences

Bautista Carrascosa, S., Martín de la Morena, C., & Mieres Royo, J. M. (1998). Recomendaciones técnicas para la reducción de patologías en el terrazo. *Informes De La Construcción*, 49(454), 57–63. <https://doi.org/10.3989/ic.1998.v49.i454.910>

National Terrazzo & Mosaic Association. (2011, Junio). *JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING* © ASCE. National Terrazzo and Mosaic Association | National Terrazzo and Mosaic Association. Retrieved March 4, 2022, from <https://www.ntma.com/>

Saeed, S. (2015). Comparative Study of Terrazzo Tiles Produced in Koya and Erbil and its Suitability for Construction Purposes. https://www.researchgate.net/publication/281460525_Comparative_Study_of_Terrazzo_Tiles_Produced_in_Koya_and_Erbil_and_its_Suitability_for_Construction_Purposes#pf2

Karana, Elvin & Hekkert, Paul & Kandachar, Prabhu. (2009). Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes. *Materials and Design*. 30. 2778-2784. [10.1016/j.matdes.2008.09.028](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.09.028)

Puro Diseño. (2020, 28 mayo). Un nuevo material sustentable, en base a plástico reciclado, para cubrir las paredes. Recuperado 17 de febrero de 2022, de <https://purodiseno.lat/tendencias/un-nuevo-material-sustentable-en-base-a-plastico-reciclado-para-cubrir-las-paredes/>