

Los plásticos termocrómicos y su aporte en el confort lumínico de los espacios.

Estudiante: Felipe Esteban Sandoval Gonzalez
Profesor guía: Mirtha Pallarés Torres

Resumen

La presente investigación se centra en el comportamiento del plástico termocrómico en cuanto a iluminancia y tonalidad como materialidad alternativa al vidrio en el diseño arquitectónico de espacios. En este aspecto, se propone profundizar acerca de esta tecnología material escasamente utilizada, a través de experimentaciones y comparativas, con el objetivo de obtener información relevante sobre los principales aspectos del comportamiento de este material ante las condiciones climáticas. A partir de lo anterior, se definirán las condiciones de formato, dimensión y grosor mínimo que el material debe presentar para una correcta respuesta a los factores lumínicos y climáticos. Junto a ello, se presenta un registro fotográfico de cada versión y prueba realizada que grafican de manera ilustrada el material evaluado y sus resultados. Para finalmente definir un prototipo material que permita un eficiente control de iluminancia y tonalidad sobre un espacio y un adecuado comportamiento a las altas temperaturas.

Palabras clave: Plásticos termocrómicos, Materiales inteligentes cromoactivos, Impresión 3D, Confort lumínico, Sistema lumínico pasivo.

1. Introducción

El desarrollo tecnológico experimentado en el último tiempo trajo consigo la incorporación de nuevos materiales denominados inteligentes entre los que se encuentran los cromoactivos, que en el contexto de la arquitectura y la construcción se han presentado como un método opcional para el aprovechamiento de fuentes de energías naturales, ofreciendo de esta manera, una potente alternativa al momento de hablar de diseño arquitectónico o diseño de espacios, a través del uso de diversos materiales termocrómicos tales como cemento, vidrio o plástico.

En relación con el plástico termocrómico, podemos destacar dos aspectos relevantes para elaborar esta investigación, el primero hace alusión a la escasa indagación en este tipo de materialidad reactiva aplicada a arquitectura y construcción, incorporada como una herramienta de confort en los espacios. Si bien, este tipo de materialidades existen desde el año 1870, no fue hasta los años 2010-2015 que comenzaron a utilizarse, en ese sentido, el plástico termocrómico a pesar de ser resistente al quiebre y a las altas temperaturas ha tenido un desarrollo arquitectónico menor de lo que ha ocurrido con

materialidades hermanas como el cemento termocrómico o el vidrio termocrómico.

El segundo aspecto, profundiza en las propiedades visuales del material, que cambia de manera reversible en función de la temperatura, ofreciendo un método de tamizado y control de la iluminancia y de la tonalidad de la luz solar entrante, brindando una opción de control a las extremas condiciones climáticas presentes en los últimos años debido a las constantes sequías y las altas temperaturas.

De acuerdo a los dos importantes aspectos señalados se establece esta investigación, que se focaliza en indagar sobre esta tecnología material como elemento envolvente de una construcción dentro del diseño arquitectónico, profundizando en el control de la iluminancia y la tonalidad en el confort lumínico de los espacios interiores, involucrando elementos tangibles medibles e intangibles como lo son la influencia de la tonalidad o el color en la percepción y el habitar del usuario en estos espacios.

En base a lo indicado se evidencia un vacío disciplinar entorno al desconocimiento en el comportamiento de esta tecnología material, en cuanto a iluminancia y tonalidad en espacios

interiores, enfrentados a las condiciones climáticas actuales, lo que se manifiesta en las interrogantes que guían esta investigación.

¿Qué diferencias en términos de iluminancia y tonalidad, se observan entre el plástico termocrómico y el vidrio común? ¿Cuáles deben ser las condiciones de formato del material para lograr un adecuado comportamiento frente a las condiciones climáticas?

Frente a estas preguntas, se plantea la siguiente hipótesis: Es posible que el plástico termocrómico tenga notorias diferencias en cuanto a tamizado y control de la iluminancia y tonalidad interna, entregando resultados que disminuyen la incidencia de la luz al interior de los espacios. Para que esto se cumpla, el material deberá tener una serie de condiciones mínimas de dimensión y grosor, las cuales se verán definidas por las diferentes etapas experimentales, con el fin de resistir adecuadamente las condiciones climáticas.

Para probar la respuesta dada a las interrogantes planteadas, durante un semestre universitario se realizaron las experimentaciones físicas necesarias con el material, con el objetivo de evaluar como la utilización del plástico termocrómico incide en el control de las condiciones de iluminancia y tonalidad del confort lumínico en los espacios, en comparación con el vidrio común, esperando obtener una visión relevante que sirva como materia de conocimiento para su aplicación y/o utilización en proyectos e investigaciones futuras. Finalmente indicar que, entender el comportamiento, ventajas y desventajas del material permitirá reconocer si es factible como alternativa permanente en el diseño arquitectónico.

2. Antecedentes

Para llevar a cabo el marco teórico se recopilaron antecedentes, investigaciones, artículos y teorías de las líneas que sustentan esta investigación. Estableciendo dos aristas necesarias para abordar la investigación y que permitieron comprender inicialmente los conceptos que abordan los plásticos termocrómicos.

1. Materiales inteligentes cromoactivos: Los materiales cromoactivos responden con un cambio de color ante un estímulo externo. El color tiene la propiedad de poderse observar directamente a través de nuestros ojos. Por tanto, cualquier cambio en el color de un objeto, del blanco al negro, de incoloro a color

o de un color a otro, puede ser fácilmente detectado de manera directa por un observador o . . . Además, mediante la absorción o transmisión selectiva de luz en un material, es posible restringir la energía de la luz que incide sobre el observador. (Bamfield & Hutchings, 2010, p. 9).

Primero, tenemos el concepto de materiales inteligentes cromoactivos, que es bastante particular pues hace alusión a una gama de materiales color-reactivos. Es un concepto que no es común a pesar de su larga existencia y su renombre en los últimos años, pero que ejerce un papel protagónico dentro de esta investigación. Un factor importante de estos materiales como bien mencionan (Bamfield & Hutchings, 2010) es su capacidad de absorber o transmitir la luz de manera tal que es posible restringir la energía lumínica que incide sobre un observador.

2. Confort lumínico: El confort lumínico se percibe por medio del sentido visual del individuo, para lo cual se entiende que confort lumínico difiere de confort visual, pues el primero se concentra principalmente a aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos de la luz, mientras que el segundo se enfoca a los aspectos psicológicos relacionados con la percepción espacial y de los objetos que rodean al individuo. (Borja, 2017, p. 51).

Posteriormente tenemos el segundo concepto de confort lumínico, el cual está ligado directamente al concepto previo de materiales inteligentes cromoactivos. Como se mencionó anteriormente la capacidad de los materiales cromoactivos de tamizar la luz solar permite el control del confort lumínico de los espacios a través del material. De esta manera, se busca abordar dos aspectos específicos del confort lumínico, los cuales son claves para el desarrollo de esta investigación, como lo son la iluminancia en lux (E) y la tonalidad proyectada por la luz en el espacio.

La aclaración de estos conceptos define el sentido que se abordará en esta investigación, dirigiéndolo desde un punto de vista enfocado en el aporte lumínico que implican las materialidades, a la hora de pensar en el diseño y los componentes que conforman los espacios.

2.1. Plásticos

Arquitectura y actualidad

Según (González, 2019):

Aunque el plástico se desarrolló en el siglo XIX, no fue hasta la década de los años cincuenta que su uso comenzó a masificarse. Su bajo coste, versatilidad, ligereza y resistencia hicieron que ganara terreno con rapidez y que se convirtiera en el sustituto perfecto de materiales como la madera, el acero o el hierro, entre otros. En poco más de medio siglo, se ha vuelto imprescindible por el papel tan importante que desempeña en numerosas aplicaciones. No se puede negar que gracias al plástico hemos podido avanzar en muchos campos . . . (p. 12).

Como bien indica (González, 2019) las aplicaciones del plástico son bastante amplias, específicamente en el ámbito de la arquitectura y la construcción, sus aplicaciones varían dependiendo de la técnica utilizada, donde reconocemos tres métodos: alta presión o compresión e impresión 3D.

En primera instancia, la técnica de mayor utilización es la más tradicional en la cual se fabrican la gran variedad de productos plásticos mediante alta presión o compresión. Usualmente se utilizan plásticos comunes presentes en nuestro diario vivir para el desarrollo de estos elementos como los son PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, entre otros.

Por otro lado, encontramos la impresión 3D con filamentos plásticos de fibras vegetales, plásticos vírgenes o reciclados, en la fabricación de objetos tridimensionales desde piezas, mobiliarios, envolventes, pabellones e inclusive edificaciones. Aquí en cambio nos encontramos con otros tipos de plásticos que son comunes en impresoras, como PLA y ABS. (fig. 1 y 2).

Si bien esta es una técnica reciente, se ha probado que tiene grandes potenciales de utilización en todos los ámbitos, pero por sobre todo en arquitectura. Su capacidad de fabricar objetos



Fig.1: Cubierta de la Estación de Euston, Londres impresa en 3D. Fuente: Recuperado de Plataforma Arquitectura. (2021).



Fig. 2: Sistema de planos PLA termocrómicos plegados. Fuente: Recuperado de Plataforma Arquitectura. (2021).

simples o complejos con gran velocidad y detalle, la ha puesto como un método preferido por sobre los demás, reconociéndose como una gran herramienta de trabajo.

Tipos de plásticos

Por otro lado, además de clasificarse por la técnica utilizada, los plásticos también se clasifican según las características que estos presenten, existen tres tipos de clasificaciones: según estructura química, polaridad y aplicación. La principal es según su estructura química y su comportamiento frente a la temperatura, clasificándose según esto en termoplásticos, termoestables y elastómeros. (Beltrán & Marcilla, 2011).

Los termoplásticos (TPC) en comparación con las otras dos clasificaciones son los plásticos de mayor presencia en el diario vivir, debido a su bajo costo de producción y resistencia.

Estos plásticos son utilizados usualmente con el sistema tradicional de producción, mediante los cuales se producen botellas, juguetes para niños, piezas de automóviles, teléfonos, computadores, herramientas, entre otros. (Barroeta, 2022).

Dentro de los TPC encontramos la subcategoría de los plásticos cromocrómicos perteneciente a la familia de los materiales inteligentes cromocrómicos.

2.2. Materiales inteligentes

Cromocrómicos

Los materiales cromocrómicos son aquellos que reaccionan a través del color ante estímulos externos. Estos materiales se clasifican en electroactivos, fotocromicos y termocrómicos. Entre estas clasificaciones, las dos últimas son reactivas de

color a través de pigmentos en el material. Sin embargo, la clasificación termocrómica es aquella que encontramos con mayor frecuencia en diversas materialidades. (Arias & Libardo, 2004).

Los materiales termocrómicos son aquellos que cambian de color a través de su exposición a la temperatura, pudiendo ser reversibles o no dependiendo del pigmento utilizado en el material. Estas características pueden encontrarse en variados materiales como cemento, plástico o vidrio. (Fundación OPTI, 2010).

Las utilizaciones del cemento y el vidrio termocrómicos son bastante comunes en arquitectura (fig. 3 y 4). Sin embargo, el plástico es el material menos utilizado de la familia de los termocrómicos, a pesar de sus grandes capacidades físicas, ofreciendo de esta manera grandes oportunidades para su posible aplicación.

Plásticos termocrómicos

Este tipo de plástico específicamente es un material que trabaja con pigmentaciones termocrómicas las cuales le otorgan esta capacidad de trabajar la iluminación en base a los cambios de temperatura entre -10°C y $+69^{\circ}\text{C}$ a los cuales el material se vea enfrentado. (fig. 5) (ERUM Group, 2015).

Existen dos categorías de tintes termocrómicos los cuales se diferencian en su comportamiento frente a las temperaturas, los que se clasifican en cristales



Fig. 3: Ejemplo cemento termocrómico. Fuente: Recuperado de Bestowcharms. (2017).

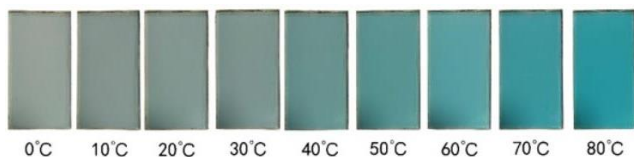


Fig. 4: Reacción al cambio de temperatura en vidrio inteligente termocrómico. Fuente: Recuperado de Mornglass. (2021).



Fig. 5: Ejemplo de plástico termocrómico reaccionando a temperatura corporal. Fuente: Recuperado de Erum Group. (2015).

líquidos termocromáticos o TLC y colorantes leucocitos. (Erazo, 2020).

Los cristales líquidos termocromáticos o TLC son cristales que a bajas temperaturas se hallan en forma cristalina y sólida sin reflejo de luz. A medida que aumenta la temperatura los cristales se vuelven líquidos y refleja casi toda la gama espectral de colores. (Hallcrest, 2015).

Por otro lado, los colorantes leucocitos son más comunes, se encuentran micro encapsulados en pequeñas cantidades, lo que aumenta su duración y reduce los daños colaterales. Estos tintes reaccionan desde las temperaturas bajas y a medida que aumenta el calor cambia a una o varias tonalidades según los pigmentos utilizados. (Hallcrest, 2015).

En específico este tipo de colorante leucocito no funciona con plásticos comunes, sin embargo, si lo hace con filamentos plásticos de impresión 3D como por ejemplo PLA o el ABS, además puede trabajar tanto plásticos vírgenes como reciclados.

Esto implica, que el plástico al volverse termocrómico con la incorporación de este pigmento, transforma al material en un ente activo, ya que obtiene una funcionalidad y un rol en la iluminación de los espacios que antes no poseía, pudiendo comenzar a trabajar como un sistema lumínico a través del material con el cual tamizar la luz.

Para Valenzuela (2021) este tipo de plástico destaca por una pigmentación que permite que el material



Fig. 6: Pabellón impreso en 3D con plásticos termocrómicos. Fuente: Recuperado de Plataforma Arquitectura. (2021).

cambie de color con la temperatura a la cual se enfrenta. Su aplicación logra un control pasivo sobre la temperatura de iluminación de los espacios interiores y sentido de direccionalidad en el espacio. (fig. 6).

2.3. Sistemas pasivos en arquitectura

Los sistemas pasivos según (Castells, 2012):

Se fundamentan en el control de las variables climáticas en el interior de las edificaciones mediante el uso racional de las formas y de los materiales utilizados en arquitectura, incidiendo fundamentalmente en la radiación solar, facilitando o limitando su incidencia y utilizando los aislamientos y la inercia térmica de los materiales como sistemas de control y amortiguamiento térmico. (p. 515).

Estos se pueden clasificar de diversas maneras, pero la más común generalmente se refiere a las energías utilizadas o los requerimientos de climatización. Algunos de estos sistemas se presentan de varias maneras en la arquitectura con el fin de generar construcciones más sostenibles y apuntar a la mejora del confort ambiente de los espacios. De esta manera, podemos encontrar sistemas principalmente solares, de ventilación e iluminación.

Sistemas lumínicos

Los sistemas de iluminación pasivos a diferencia de los otros sistemas mencionados buscan trabajar el confort lumínico de los espacios, aprovechando las condiciones de luz natural (en lugar de su componente térmica) para potenciarla en ambientes interiores.

Los ejemplos más comunes en la utilización de iluminación natural en sistemas pasivos se refieren a



Fig. 7: Tipos de claraboyas. Fuente: Recuperado de Blog laminas y aceros. (2018).

la ubicación estratégica de soluciones que recogen la luz solar como puertas, ventanales y claraboyas (fig. 7), influyendo directamente en el confort lumínico de los espacios intervenidos. (Castells, 2012).

Sin embargo, también existen sistemas lumínicos, los cuales a través de la materialidad controlan la componente lumínica de los espacios. Esta sección no es comúnmente practicada a la hora de desarrollar sistemas lumínicos pasivos en arquitectura, ofreciéndose como una oportunidad para profundizar en materiales no convencionales en el control del confort lumínico.

2.4. Confort

El confort se divide en 5 grandes ramas según las condiciones lumínicas, acústicas, térmicas, olfativas o psicológicas. En base a estas ramas es que existen y se trabajan los sistemas de energía pasivos. (Arias & Ávila, 2004).

Dependiendo del confort específico las soluciones varían, como por ejemplo, generando aberturas para la entrada de luz o ganancia térmica y fachadas para controlar la luz o la temperatura de los espacios, según la necesidad de confort del individuo y el ambiente. (Arias & Ávila, 2004).

Confort lumínico

En específico, el confort lumínico como bien mencionamos anteriormente se define como la percepción a través del sentido de la vista, referido a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz.

El confort lumínico se logra cuando el ojo humano está en condiciones de leer un libro u observar un objeto fácil y rápidamente sin

distracciones y sin ningún tipo de estrés. Los parámetros a considerar para obtener confort son principalmente el de una adecuada iluminación, así como la limitación del deslumbramiento y las consideraciones subjetivas de un adecuado esquema de color y, en el caso del diseño de la luz natural, evitar interiores oscuros y procurar proveer de las formas y tamaños adecuados de ventanas . . . (Arias & Ávila, 2004, p. 27).

Como indican (Arias & Ávila, 2004) la capacidad de controlar el confort lumínico puede ir más allá de permitir o bloquear el paso de la luz, sino que también tiene relación con la tonalidad y la temperatura de la luz, y de la cantidad de iluminancia en los espacios.

De esta manera el ambiente puede tomar una tonalidad azulada en los días soleados, gris en los días lluviosos, naranja al final de la tarde, en una constante mutación que revela las sutilezas del espectro de luz y sus intensidades en la ausencia de color. (fig. 8 y 9) (Moreira & Baraya, 2021).



Fig. 8: Ejemplos de iluminación mediante plásticos termocrómicos en pabellón público. Fuente: Recuperado de Plataforma Arquitectura. (2021).



Fig. 9: Ejemplos de iluminación mediante plásticos termocrómicos en pabellón público. Fuente: Recuperado de Plataforma Arquitectura. (2021).

En este escenario, los aspectos de tonalidad e iluminancia son dos factores esenciales, capaces de manejarse a través de la materialidad, con el objetivo de generar un control eficiente del confort lumínico. Sin embargo, estos aspectos suelen no considerarse al momento de diseñar espacios arquitectónicos, a pesar de afectar de manera directa el habitar de los espacios, manifestándose como una cualidad potente en la percepción y el habitar de los usuarios con su entorno.

Tonalidad y temperatura (teoría del color)

En ese sentido, el control de la iluminación en cuanto a tonalidad y temperatura tiene una directa relación en como los usuarios habitan y se relacionan con los espacios. Para ello, primero debemos comprender el espectro de luz en el cual se clasifican estas tonalidades.

Existen diversas clasificaciones del color dentro del espectro de la luz, desde las más generales hasta las más particulares, permitiendo agrupar uno o más colores dentro de una clasificación posible según, temperatura del color, cálidos y fríos; colores primarios, secundarios y terciarios; colores complementarios, colores monocromáticos; entre otros.

Estas clasificaciones están basadas en las características visibles que poseen los colores, sin embargo, también existen propiedades intangibles las cuales se definen en como percibimos y nos relacionamos con cada uno de estos colores, estableciendo una experiencia única para cada uno. (Heller, 2004).

Esto es conocido como la psicología del color.

Psicología del color

Esta teoría clasifica las sensaciones que cada color implica para el usuario que lo percibe, ya sea de manera espontánea en objetos o aplicado a la arquitectura.

Desde pequeños hemos aprendido de la clasificación de los colores, haciendo énfasis en los colores primarios como lo son el azul, el rojo y el amarillo desde los cuales se desprenden las otras gamas de color.

Sin embargo, según las estadísticas de las encuestas realizadas por *Color Marketing Group*, el color preferido por la población es el color azul con una aprobación entre el 44-46%, en segundo lugar, encontramos el verde con un 15-16% de aprobación

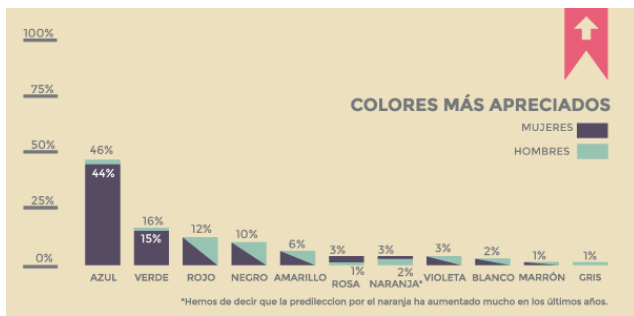


Fig. 10: Estadísticas de colores más apreciados. Fuente: Recuperado de Ovacen. (2016).

y posteriormente seguido del rojo con un 12% de aprobación. (fig. 10).

Esto se debe a que nuestro código de color durante nuestra vida se rige bajo el sistema de color aditivo de rojo, verde y azul o RGB, denotando una clara preferencia por esta clasificación, ya que actualmente todos los elementos tecnológicos en nuestro diario vivir funcionan en base a esta clasificación (Coll, 2020).

Así mismo, como muestra la imagen (fig. 10) el color preferido, es decir, el azul, es el color de mayor influencia psicológica, siendo estas características las que inconscientemente explican su preferencia.

• Color	Significado	Su uso aporta	El exceso produce
BLANCO	Pureza, inocencia, optimismo	Purifica la mente a los más altos niveles	---
LAVANDA	Equilibrio	Ayuda a la curación espiritual	Cansado y desorientado
PLATA	Paz, tenacidad	Quita dolencias y enfermedades	---
GRIS	Estabilidad	Inspira la creatividad Simboliza el éxito	---
AMARILLO	Inteligencia, alentador, tibieza, precaución, innovación	Ayuda a la estimulación mental Aclara una mente confusa	Produce agotamiento Genera demasiada actividad mental
ORO	Fortaleza, poder	Fortalece el cuerpo y el espíritu	Demasiado fuerte para muchas personas
NARANJA	Energía	Tiene un agradable efecto de tibieza Aumenta la inmunidad y la potencia	Aumenta la ansiedad
ROJO	Energía, vitalidad, poder, fuerza, apasionamiento, valor, agresividad, impulsivo	Usado para intensificar el metabolismo del cuerpo con efervescencia y apasionamiento Ayuda a superar la depresión	Ansiedad de aumentos, agitación, tensión
PÚRPURA	Serenidad	Útil para problemas mentales y nerviosos	Pensamientos negativos
AZUL	Verdad, serenidad, armonía, fidelidad, sinceridad, responsabilidad	Tranquiliza la mente Disipa temores	Depresión, aflicción, pesadumbre
AÑIL	Verdad	Ayuda a despejar el camino a la conciencia del yo espiritual	Dolor de cabeza
VERDE	Ecuanimidad inexperta, acaudalado, celos, moderado, equilibrado, tradicional	Útil para el agotamiento nervioso Equilibra emociones Revitaliza el espíritu Estimula a sentir compasión	Crea energía negativa
NEGRO	Silencio, elegancia, poder	Paz. Silencio	Distante, intimidatorio

Fig. 11: Listado de significados, aportes y excesos de los colores. Fuente: Recuperado de Psicología del color. (2020).

Como podemos ver el color azul es el color del cielo y el mar, se asocia a la sensación de serenidad y la productividad. (fig. 11).

De esta manera, las temperaturas del color afectan de manera contrastante el espacio y son capaces de generar dos escenarios, por un lado, el azul se presenta como una tonalidad fría, no invasiva y capaz de relajar, y por otro lado, el color rosa como tonalidad cálida contrastante, generando una situación completamente opuesta ya que es activa, invasiva y pasional.

Illuminancia en espacios interiores

Por otro lado, el control de la iluminancia también es un factor que influye directamente en el confort lumínico de los espacios. La iluminancia (E) se mide en lux presentes, los cuales van variando según la fuente, como por ejemplo, iluminación natural del sol en un día soleado o en un día nublado. (tabla 1) (Ganslandt & Hofmann, 1992-2005).

Tabla 1: Iluminancias típicas E. Fuente: Elaboración propia en base a texto "Cómo planificar la luz".

	E (lux)
Luz solar	100000
Cielo cubierto	10000
Iluminación en puesto de trabajo	1000
Iluminación zona de circulación	100
Alumbrado calles	10
Luz lunar	1

En tareas visuales fáciles se consigue una suficiente actuación visual con iluminancias bajas, mientras que la más complicadas requieren iluminancias altas. Así, 20 lux representan un límite inferior, en el que, por ejemplo, aún es posible distinguir la fisonomía de personas. Para trabajos sencillos se necesitan por lo menos 200 lux, mientras que las tareas visuales complicadas requieren hasta 2000 lux y casos especiales como la iluminación para cirugía incluso 10000 lux. La iluminancia subjetiva más usual en los puestos de trabajo se encuentra entre 1000 y 2000 lux. (Ganslandt R; Hofmann H, 1992-2005, pp. 71-72).

Tabla 2: Iluminancias características E en espacios interiores. Fuente: Elaboración propia en base a texto "Cómo planificar la luz".

E (lux)	
20	Valor mínimo en interiores fuera de las zonas de trabajo. Iluminancia necesaria para reconocer rasgos de fisonomía.
200	Iluminancia mínima en puestos de trabajo con ocupación permanente.
2000	Iluminancia máxima en puestos de trabajo normales.
20000	Iluminancia para tareas visuales especiales, por ejemplo, iluminación en campo de operaciones.

Tabla 3: Iluminancias recomendadas E según CIE para diferentes tipos de actividad. Fuente: Elaboración propia en base a texto "Cómo planificar la luz".

E (lux)	
20-50	Caminos y áreas de trabajo en el exterior.
50-100	Orientación en espacios de permanencias breves.
100-200	Espacios de trabajo no siempre ocupados.
200-500	Tareas visuales con escaso grado de dificultad.
300-750	Tareas visuales con mediando grado de dificultad.
500-1000	Tareas visuales con elevadas exigencias (trabajos de oficina, etc).
750-1000	Tareas visuales con elevada dificultad (montajes de precisión, etc).
1000-2000	Tareas visuales con dificultad muy elevada (tareas de control, etc).
> 2000	Iluminación adicional para tareas difíciles y especiales.

De esta manera cada tipo de espacio necesita una cantidad de iluminancia óptima para realizar ciertas actividades según indican las tablas. (tabla 2 y 3) "Los valores de orientación para iluminancias...se mueven en los valores de 20 a 2000 lux dentro del marco antes representado". (Ganslandt R; Hofmann H, 1992-2005, p. 72).

Sin embargo, hoy en día la cantidad de lux presentes percibidos a través de la temperatura es mayor que hace 20 años, lo cual implica aumentos significativos de iluminancia, por excesos de lux en lugares que no necesitan dicha cantidad, provocando deslumbramiento físico o psicológico, es decir, fatiga que incrementa el cansancio y la sensibilidad visual.

En base a esto, según la información analizada sobre materialidad, iluminancia y tonalidad, se identificó

una oportunidad de profundizar acerca del plástico termocrómico en el ámbito de la arquitectura, indagando en sus aspectos de formato, resistencia material y sus condiciones mínimas de diseño. Por otro lado, al ser un material influyente en la iluminancia y la tonalidad en el espacio, ofrece una herramienta fundamental para el control del confort lumínico en el diseño de espacios interiores, a través de una materialidad alternativa.

3. Métodos

Para llevar a cabo esta investigación exploratoria se utilizó una metodología de carácter mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos.

En lo cualitativo se investigaron los casos existentes de aplicación del plástico termocrómico como material, con el objetivo de obtener referencias de formato y dimensiones para el diseño.

Cuantitativo, ya que se realizaron pruebas experimentales de aplicaciones del material, para observar los efectos sobre un espacio teórico, con el objetivo de evaluar el formato propuesto y establecer condiciones mínimas para su correcto funcionamiento.

Para lograrlo se utilizaron diversos materiales y herramientas, tales como:

3.1. Materiales

- Filamento plástico PLA termocrómico Creality, cambiante de blanco a rosa con la temperatura y de 1,75mm de diámetro.
- Filamento plástico PLA termocrómico Creality, cambiante de blanco a azul con la temperatura y de 1,75mm de diámetro.
- Filamento plástico PLA blanco Creality, de 1,75mm de diámetro.
- Vidrio cristal incoloro de 3mm pulido y cortado a medida.
- Cartón pluma blanco de 3mm cortado a medida.

3.2. Herramientas

- Rhinoceros 6, como software de modelado y diseñado 3D de las placas.

- Impresora 3D, para el extrusionado de las placas y el modelo a escala.
- Lux Light Meter Pro, aplicación utilizada para la medición cuantificable de la iluminancia (lux) presente en el interior de los modelos.
- DesignBuilder, como programa de simulación y evaluación de las condiciones de iluminancia (lux) en el interior de los modelos.

3.3. Etapas

Posteriormente para responder a las interrogantes surgidas, la investigación fue desarrollada en base a cinco etapas, las cuales consisten respectivamente en:

Etapa 0, investigación, modelado y diseño de placa.

Etapa 1, extrusionado y testeo de resistencia de las placas.

Etapa 2, extrusionado y testeo de proyección de sombras de las placas.

Etapa 3, diseñado y extrusionado del modelo a escala y la versión final de las placas.

Etapa 4, testeo y comparativa de iluminancia y tonalidad en los modelos a escala.

Todas las pruebas realizadas se establecieron bajo condiciones climáticas establecidas previamente, para ello se escogieron días similares para la experimentación de las diversas fases de prueba. Los días escogidos entre el 11 de abril y el 25 de mayo, presentaron varianzas de temperaturas entre 20°C - 30°C, con el objetivo de que el material se ponga a prueba bajo condiciones climáticas cotidianas similares.

- Etapa 0

Previo al desarrollo de las etapas experimentales se realizó una investigación acerca de la utilización del material y los formatos utilizados, que ayudaron a definir el diseño base para el modelo de las placas de prueba, para luego ser diseñadas en el software de modelado 3D Rhinoceros.

- Etapa 1

Una vez definido el modelo-placa se imprimieron en un filamento plástico PLA termocrómico rosa,

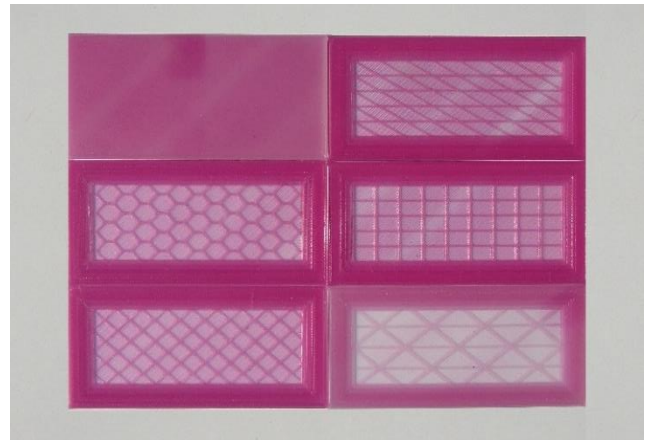


Fig. 12: Placas de 1mm en diversos tipos de grillado. Fuente: Elaboración propia.

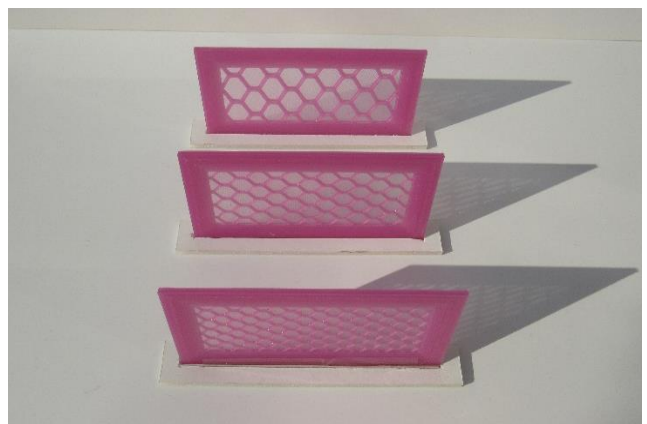


Fig. 13: Placas de 3mm de grillado hexagonal en tres escalas diferentes. Fuente: Elaboración propia.

posteriormente se realizaron pruebas en paralelo a diversos tipos de placas, con diferencias de grosor, tipo y escala de grillado. Estas pruebas se centraron en la resistencia de grosores en las placas de estudio, con el fin de saber cuál es el grosor mínimo para que el material resista como envolvente constantemente expuesta a las condiciones climáticas (fig. 12).

- Etapa 2

En base a las pruebas realizadas en la etapa previa, se tomaron las placas de PLA termocrómico rosa con mejor respuesta a la resistencia, a las cuales se les realizaron pruebas de proyección de sombra en dos tipos y tres escalas de grillado, con el fin de obtener el grillado y la escala que tamice más efectivamente la luz solar. (fig. 13).

- Etapa 3



Fig. 14: Modelo a escala 1:50 ensamblado. Fuente: Elaboración propia.

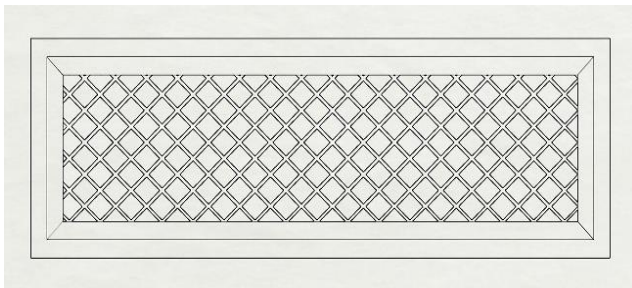


Fig. 15: Versión final de placa de grillado diamante en escala intermedia. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas el total de pruebas para definir la placa a utilizar, se diseñó e imprimió en un filamento plástico PLA blanco, un modelo habitación de 20x20x6cm a escala 1:50, con el fin de evaluar la materialidad en un espacio teórico. Se imprimieron las piezas según su orden de construcción, basado en 3 tipos:

La primera pieza impresa fue la base del modelo de 20x20x1cm, que presenta aberturas de 18x0,3x1cm que permiten el encaje de las placas.

La segunda pieza impresa fueron los tarugos de 0,2x0,2x2cm, que cumplen el rol de unir la base con las columnas verticales esquineras.

La tercera pieza impresa fueron las columnas esquineras de 1x1x6cm que en conjunto con las aberturas de la base permiten el ensamble de las placas en el modelo.

En paralelo, se cortaron los formatos a medida de vidrio cristal incoloro de 3mm en una sección lateral de 18x6x0,3cm y una sección de 22x22x0,3cm para el tejado. También se cortaron los formatos a medida de cartón pluma blanco de 3mm, en dos

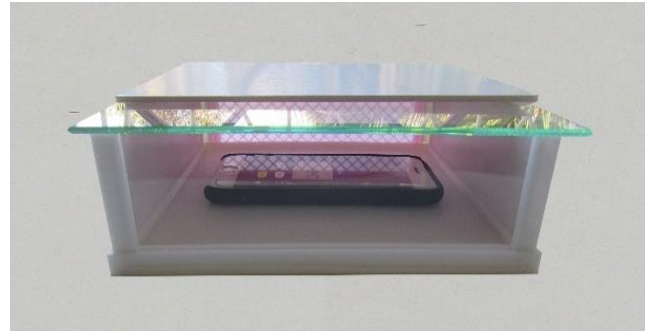


Fig. 16: Experimentación del material en el modelo a escala frente a las condiciones climáticas. Fuente: Elaboración propia.

secciones laterales de 18x6x0,3cm y una sección de 22x17x0,3cm para el tejado. (fig. 14).

Posteriormente y según la información obtenida en las etapas uno y dos se desarrolló e imprimió una versión final de placa en cuanto a grosor, tipo y escala de grillado. Resultando una placa de 18x6x0,3cm en tipo de grillado diamante a una escala intermedia (x2), en el software de modelado 3D para ser evaluada en este modelo. (fig. 15).

- Etapa 4

Se realizaron pruebas de exposición del plástico termocrómico y el vidrio en el modelo a escala, en las mismas zonas horarias y en las cuatro orientaciones cardinales, evaluando su comportamiento en cuanto a iluminancia y tonalidad de la luz en los espacios. Para realizar estas mediciones se utilizó la aplicación denominada Lux Light Meter Pro, capaz de medir la cantidad de lux presente en una superficie a través del sensor de un teléfono-celular. (fig. 16). Proceso que se llevó a cabo en las cuatro orientaciones lo que permitió evaluar cada modelo, obteniendo mediciones de iluminancia desde las 12:00 a las 18:00PM cada lapsos de dos horas, es decir a las 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00PM.

Posteriormente se realizó un análisis y comparativa entre los resultados obtenidos en cuanto a iluminancia y color de las tres pruebas realizadas, a través del programa DesignBuilder.

4. Resultados

4.1. Etapa 0 (20 al 30 de marzo)

Los resultados de la investigación para esta etapa, fue el diseño de 3 versiones para el diseño de placas, en dos versiones cuadradas de 5x5 y 10x10cm y una

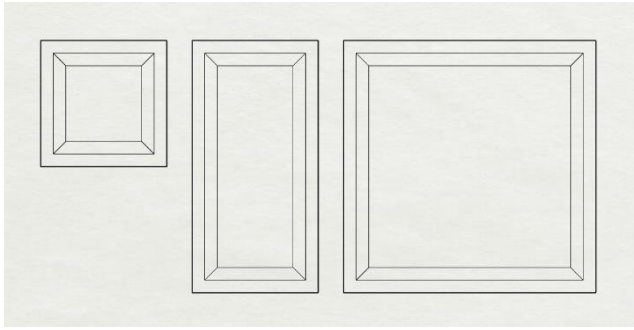


Fig. 17: Diseños de modelos base para placa en diversos formatos. Fuente: Elaboración propia.

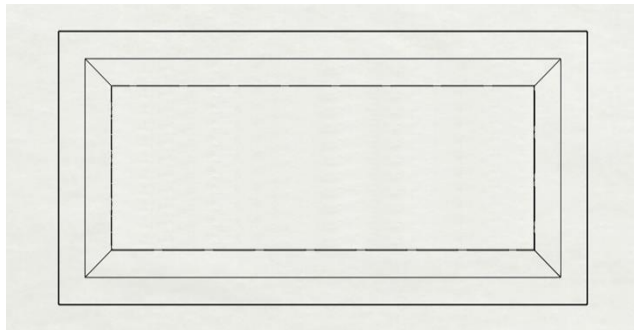


Fig. 18: Modelo base inicial de placa en formato 10x5cm. Fuente: Elaboración propia.

versión rectangular de 10x5cm, cada una de ellas presentó una proporción de aspecto de 1,5:1, con el objetivo de que el borde trabaje como un marco rígido que soporte el interior. (fig. 17).

La versión de 5x5cm, propone una versión demasiado pequeña para el desarrollo de un módulo, lo que dificulta que trabaje la entrante de luz solar de manera efectiva. Así mismo, la versión cuadrada de 10x10cm a través de la reiteración del módulo de 5x5cm, propone una versión demasiado grande, lógicamente esta placa al ser de mayor área va a tender a ser más flexible y menos resistente al quiebre, por lo que se presenta como un formato débil ya que el marco rígido no es capaz de resistir esa dimensión material.

Por otro lado, la versión rectangular de 10x5cm es un resultado promedio entre las dos versiones anteriores, equilibrando el tamaño para que la entrante de luz se mantenga abundante y sea una placa resistente, capaz de soportarse en el marco rígido que presenta el modelo. Esta opción resultó ser la más eficiente en términos de comportamiento por dimensión y rigidez. (fig. 18).

Las versiones propuestas se trabajaron con la proporción 1,5:1, entre el marco y el centro grillado, sin embargo, no tuvieron la suficiente rigidez para

soportar la placa, por lo cual se estableció una nueva proporción de 2:1 aumentando el grosor del marco, para mejorar aspectos como la resistencia de la placa.

En base a esto, podemos entender que las dimensiones del formato tienen una directa relación con la rigidez y la resistencia del material, a mayor área, mayor flexibilidad y menor resistencia al quiebre, mientras que a menor área, menor flexibilidad y mayor resistencia al quiebre. A pesar de que el PLA es un material flexible, respeta esta lógica material.

4.2. Etapa 1 (11 al 14 de abril)

Los resultados obtenidos de esta prueba se centraron en la resistencia de los grosores de las placas de estudio respecto a la exposición continua a la luz solar.

Estas pruebas fueron planeadas y programadas para ser realizadas en días de condiciones climáticas similares. Se realizaron entre el 11 - 14 de abril del 2022, entre las 12:00PM - 18:00PM, bajo temperaturas entre 29°C - 30°C.

Los resultados obtenidos, en las placas de 1,2 y 3 mm fueron diferentes para cada grosor.

En las placas de 1mm se observaron deformaciones, en sus bordes como resultado de la continua exposición al sol, que consistió en la pérdida de la capacidad termocrómica del material. (fig. 19).

En las placas de 2mm no se produjo ningún tipo de deformación, sin embargo, si se observaron fatigas del material reflejadas a través de "pecas" de pigmentación, debido al exceso de temperatura a la que fue expuesta el pigmento. (fig. 20).

Finalmente, en las placas de 3mm no se observó ningún tipo de deformación o fatiga material, a pesar



Fig. 19: Deformación en placa diamante de 1mm sometida a pruebas de resistencia. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 20: "Pecas" de pigmentación en placa diamante de 2mm sometida a pruebas de resistencia. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 21: Placa diamante de 3mm sometida a pruebas de resistencia que no sufrió ninguna deformación o fatiga. Fuente: Elaboración propia.

de su constante exposiciones al clima y la temperatura. (fig. 21).

Según lo observado los mejores resultados fueron visibles en las placas de 3mm, ya que en comparación a las otras versiones de 1 y 2mm, no sufrió ninguna deformación en términos físicos ni tampoco a nivel de pigmentación.

En base a estas pruebas es posible establecer una condición mínima de grosor mayor o igual a 3mm, que permitió definir valores para el diseño de este material.

De esta manera, podemos concluir que el PLA tiene limitaciones en cuanto a cantidad material y resistencia como cualquier otro material plástico. Sin embargo, estas condiciones y valores mínimos de diseño son aplicables bajo ciertas condiciones de formato y medidas específicas, lo cual no implica necesariamente que sea una afirmación global para otros formatos propuestos.

4.3. Etapa 2 (25 de abril)

Según los resultados y la discusión realizada en la etapa previa se definieron placas únicamente de 3mm de grosor. Además, los grillados de tipo hexagonal y diamante fueron los que presentaron

potenciales proyecciones de sombra, por ello se seleccionaron para realizar estas pruebas, en base a tres escalas establecidas: alta (x3), intermedia (x2) y baja (x1).

Estas pruebas fueron planeadas y programadas para ser realizadas en días de condiciones climáticas similares. El lunes 25 de abril del 2022, entre las 12:00PM - 18:00PM, bajo temperaturas de 23°C.

Los resultados de las placas de versión hexagonal obtuvieron proyecciones de sombra visibles en sus tres escalas, sin embargo, el tamaño de la celda hexagonal redujo el efecto tamizado de la placa, permitiendo el ingreso de abundante luz, aumentando así el efecto de deslumbramiento en el espacio debido al tamaño de la celda. (fig. 22).

Por otro lado, los resultados de las placas de versión diamante también obtuvieron proyecciones visibles en sus tres escalas, en este caso el tamaño de la celda diamante aumentó el efecto tamizado de la placa, permitiendo controlar el ingreso de luz,

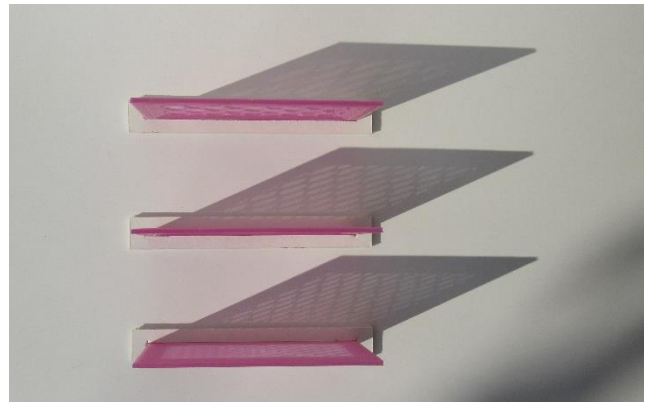


Fig. 22: Placas de 3mm de grillado hexagonal en tres escalas, sometidas a prueba de proyección de sombras. Fuente: Elaboración propia.

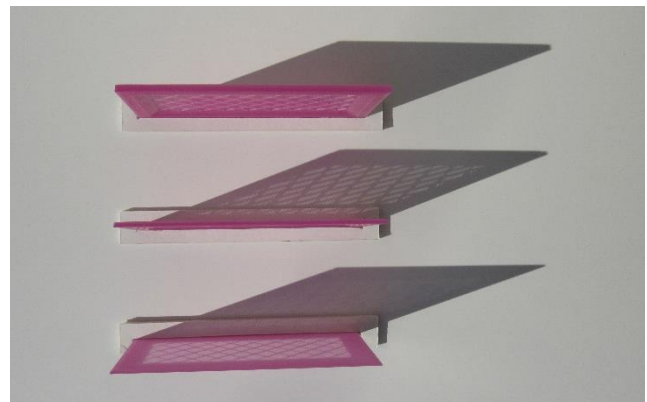


Fig. 23: Placas de 3mm de grillado diamante en tres escalas, sometidas a prueba de proyección de sombras. Fuente: Elaboración propia.

disminuyendo así el efecto de deslumbramiento en el espacio debido al tamaño de la celda. (fig. 23).

Mediante estas pruebas se observó que ambos tipos de grillado obtuvieron proyecciones más nítidas entre los bordes y las celdas del grillado. Por un lado, el grillado hexagonal en comparación con el grillado diamante, permite un paso ligeramente mayor de luz a través de las celdas, lo que generó situaciones similares en cuanto a iluminancia y tamizado. Sin embargo, las escalas tuvieron una influencia significativa en el paso de la luz e iluminancia, ya que a mayor escala el paso de luz e iluminancia era mayor, mientras que a menor escala disminuían estos valores.

Luego de acuerdo a lo observado podemos concluir que la proyección de los diferentes grillados tiene una directa relación en cuanto al grosor y la proporción 2:1 establecida previamente, ya que las placas de 3mm proponen un marco y borde de 3mm y un centro de 1,5mm, generando una diferencia de grosor que permita la proyección de la luz en el material.

4.4. Etapa 3 (01 al 15 de mayo)

Los resultados de esta etapa fueron la realización de las cuatro versiones del modelo teórico a escala, posteriormente se fabricaron las cuatro versiones finales de las placas termocrómicas rosa y azul.

Estos elementos se realizaron de manera paralela entre el 01 - 15 de mayo del 2022.

Una vez dimensionados los materiales, se completó el armado y ensamblado final del modelo a escala para la realización de las pruebas materiales. Posteriormente, se reiteró el proceso obteniendo como resultado un total de cuatro versiones del

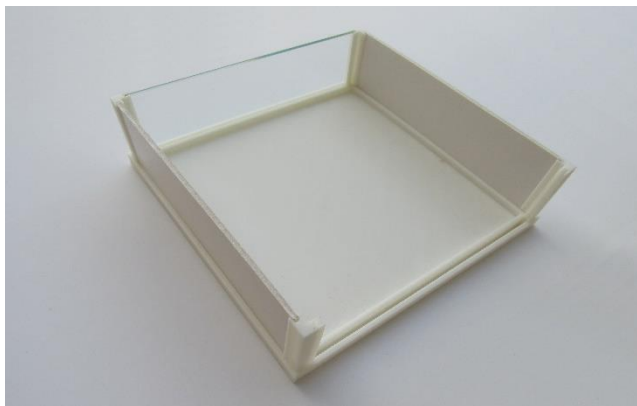


Fig. 24: Vidrio y cartón pluma cortados a medida ensamblados en el modelo a escala. Fuente: Elaboración propia.

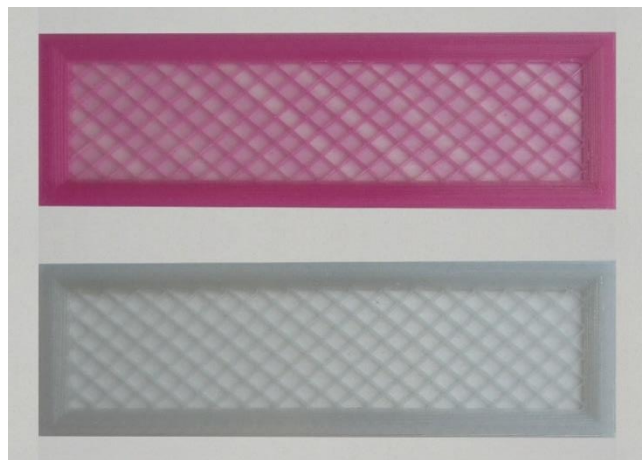


Fig. 25: Versión final de placa impresa en PLA termocrómico rosa y azul. Fuente: Elaboración propia.

modelo a escala para las cuatro orientaciones cardinales. (fig. 24).

En paralelo, se imprimieron dos placas de 18x6x0,3cm en tipo de grillado diamante a una escala intermedia (x2) en PLA termocrómico rosa y azul. Posteriormente, se reiteró este proceso obteniendo como resultado un total de ocho placas en versión final, cuatro de ellas en PLA termocrómico rosa y otras cuatro en PLA termocrómico azul. (fig. 25).

Como resultado de esta etapa podemos decir que el modelo escala 1:50 de 20x20x6cm propuesto se entiende en un escenario teórico e hipotético, el cual presenta dimensiones específicas de un escenario real de 10x10x3m. Esto implica que el dimensionado condiciona los resultados obtenidos, sin embargo, esto no implica que sean absolutos para otros casos propuestos, pudiendo variar según el tamaño del espacio propuesto, su materialidad interior y también el tamaño de la placa-ventana evaluada.

4.5. Etapa 4 (24 y 25 de mayo)

Los resultados del modelo vidriado y los modelos de plástico termocrómico fueron bastante distantes entre sí, respecto a los resultados de iluminancia obtenidos.

Estas pruebas se realizaron el 24 y 25 de mayo del 2022, entre las 12:00PM - 18:00PM, bajo temperaturas de 21°C y en las cuatro orientaciones cardinales. Se realizaron mediciones de iluminancias cada lapsos de dos horas, es decir, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00PM, sin embargo, los resultados de las mediciones entre 16:00-18:00PM, fueron extremadamente bajos, por lo que no se consideraron para la evaluación de los modelos.

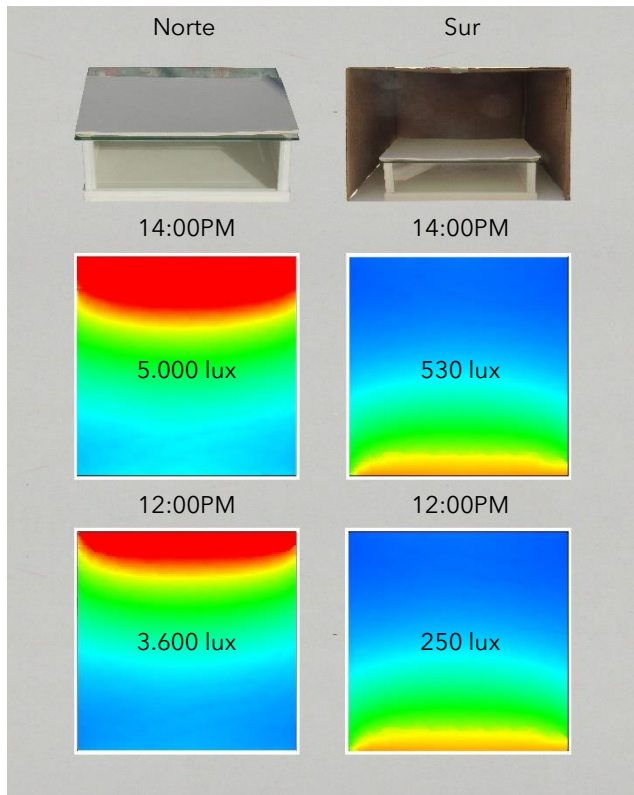


Fig. 26: Modelos con vidrio incoloro de 3mm en orientación norte y sur entre 12:00-14:00PM. Fuente: Elaboración propia.

Las iluminancias máximas medidas en los tres casos fueron bastante altas debido al contacto directo de la luz con la superficie, ya que el modelo no consideró en su diseño la presencia de aleros.

El modelo vidriado presentó mayor cantidad de lux, debido a la baja o casi nula capacidad de tamizado del vidrio, generando deslumbramientos por los excesos. El vidrio común en un formato de 18x6x0,3cm, obtuvo resultados entre 20.000-14.000 lux como máximo en orientación norte entre 14:00-12:00PM y entre 2.500-1.900 lux como mínimo en orientación sur entre 14:00-12:00PM. (fig. 26).

Por otro lado, el plástico termocrómico tanto en su versión rosa como en azul, tamizaron de manera eficiente la entrante de luz, debido a su opacidad material, obteniendo cantidades de lux más adecuadas para el tamaño del espacio teórico.

El plástico termocrómico rosa en una placa de 18x6x0,3cm, obtuvo resultados entre 3.600-2.900 lux como máximo en orientación norte entre 14:00-12:00PM y entre 120-50 lux como mínimo en orientación sur entre 14:00-12:00PM. (fig. 27).

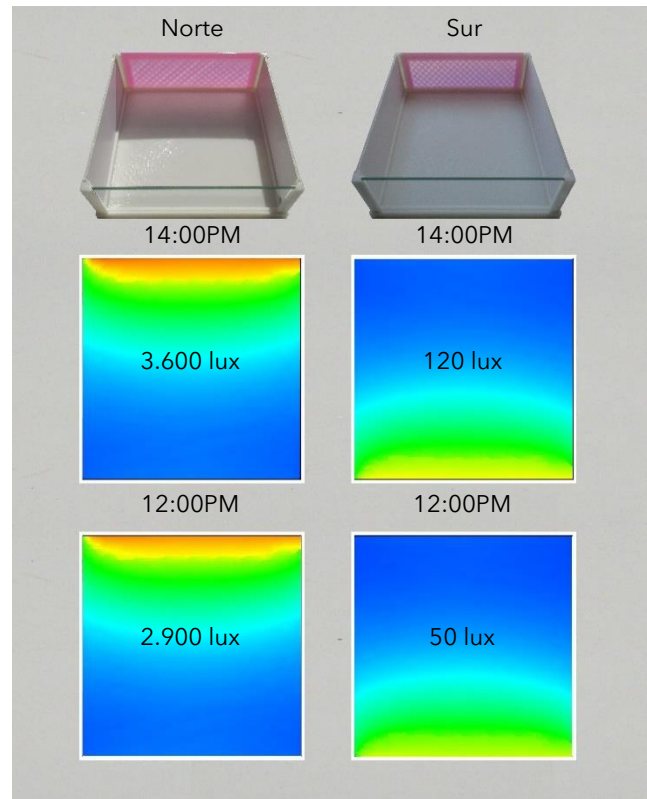


Fig. 27: Modelos con PLA termocrómico rosa en orientación norte y sur entre 12:00-14:00PM. Fuente: Elaboración propia.

El plástico termocrómico azul en una placa de 18x6x0,3cm, obtuvo resultados entre 5.000-3.600 lux como máximo en orientación norte entre 14:00-12:00PM y entre 530-250 lux como mínimo en orientación sur entre 14:00-12:00PM. (fig. 28).

Las diferencias entre las iluminancias del material plástico y el vidrio son significativamente distantes. (fig. 29). Esto demuestra la real capacidad del material de tamizar de manera efectiva la luz solar, gracias a la característica translúcida y el formato en el cual fue diseñado. Por otro lado, las diferencias existentes entre el plástico rosa y azul, se deba probablemente a la temperatura de cada color, por un lado, el material rosa al ser un color cálido más intenso e invasivo, influye en la iluminancia interna dispersada por el haz de color. En cambio, el azul al ser una tonalidad fría tiende a ser un color más cercano al blanco casi de imperceptible impregnación en el espacio.

4.6. Conclusiones

Al concluir esta investigación, se obtuvieron ciertas aseveraciones que permiten comprender las especificaciones técnicas mínimas bajo las cuales el material debe diseñarse, para poder trabajar las

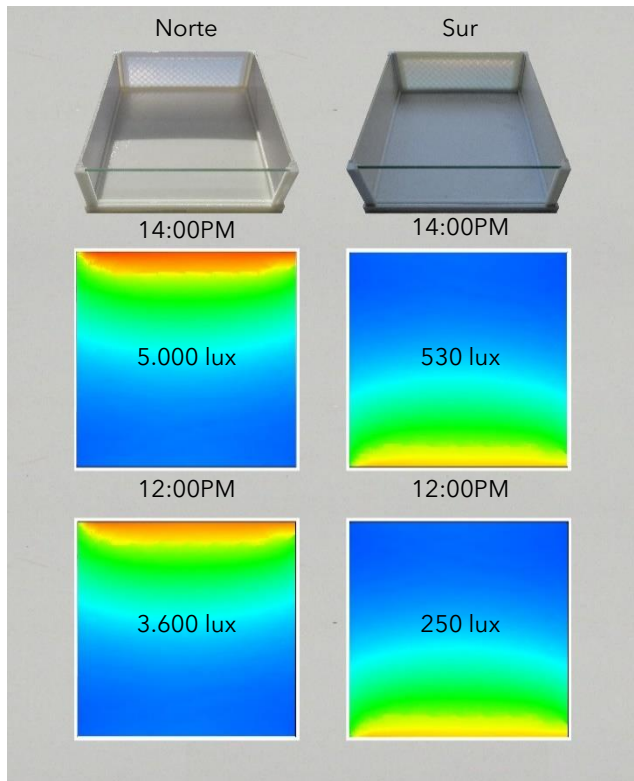


Fig. 28: Modelos con plásticos termocrómico rosa en orientación norte y sur entre 12:00-14:00PM. Fuente: Elaboración propia.

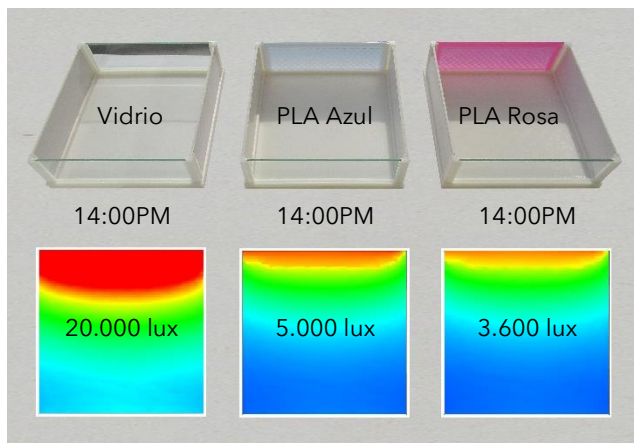


Fig. 29: Comparativa de los resultados de iluminancia (E) en orientación norte a las 14:00PM en los tres modelos experimento realizados. Fuente: Elaboración propia.

condiciones lumínicas de un espacio sin sufrir deformación o fatiga alguna, resaltando a su vez el valor que implica la materialidad, debido a la capacidad renovable que posee el plástico.

Se puede afirmar en base a la experimentación realizada que el plástico termocrómico si es capaz de trabajar como un elemento de permanente presencia en el diseño arquitectónico, sin embargo, para ello se definieron ciertas condiciones mínimas

en base a la experimentación realizada. En primer lugar, se definió un grosor igual o mayor a 3mm para una correcta resistencia del material, así mismo, la capacidad de sombreado de los diferentes grillados está directamente relacionada al grosor, pues existe una proporción de material en la placa entre el marco y el centro de 2:1 respectivamente, lo que implica que a mayor grosor mayor proyección. Sin embargo, estas condiciones fueron establecidas para esta investigación, según época y estación del año, tamaño del espacio propuesto y tamaño de la abertura-ventana evaluada.

Si bien, estas condiciones fueron definidas pueden variar, lo que implica que los resultados quedan sujetos a estas condiciones, pudiendo cambiar para espacios de menor área, aberturas de menor tamaño y también para condiciones climáticas en otras estaciones del año.

Por otro lado, las significativas diferencias en la iluminancia interna de los espacios evaluados, se observó una clara mejora de comportamiento del material frente a las condiciones lumínicas, comparado con el vidrio común de 3mm, ya que el plástico fue 2 veces más eficiente en términos de bloqueo de iluminancia entrante, llevando los valores de iluminancia del vidrio de 20.000 lux a 5.000 o 3.600 lux como máximo en el caso del plástico termocrómico. Sin embargo, cabe señalar que el modelo teórico se consideró sin la presencia de aleros que reduzcan la entrante de la luz solar, lo que implica que los resultados están sujetos a estas condiciones, pudiendo existir otros escenarios más o menos efectivos. Aun así, denota resultados prometedores como posible materialidad para su incorporación en el desarrollo de sistemas lumínicos pasivos.

Por otra parte, debido a los tiempos de impresión de los diversos elementos de la investigación, se hizo imposible indagar con mayor profundidad la relación usuario-color-espacio en escala 1:1. A pesar de ello, en el transcurso de la investigación surgieron nuevos cuestionamientos, referidos al comportamiento de este material enfrentado a las diversas épocas del año, las condiciones de tamaño y formato respecto a las aberturas-ventana propuestas, el comportamiento híbrido que puede presentar el plástico termocrómico y el vidrio juntos. Abriendo paso a la generación de nuevas interrogantes y aristas para continuar la investigación como las que se indican.

¿Cuáles son las diferencias de comportamiento del plástico termocrómico respecto a las diferentes estaciones del año?

¿Existirá alguna relación entre las condiciones de diseño definidas en este formato de abertura-ventana comparado con otras dimensiones de formato?

¿Qué beneficios reportaría un sistema híbrido entre plástico termocrómico y vidrio? ¿Qué implicaría esta unión en la tonalidad proyectada?

Si bien existen otras aristas para continuar indagando, cerraremos esta investigación con una afirmación acerca de la funcionalidad material obtenida del plástico termocrómico, que está directamente relacionado con la oportunidad que ofrece para profundizar en estas tecnologías materiales, como también en el desarrollo cultural y arquitectónico.

Agradecimientos

A todas las personas que fueron parte esencial del proceso de trabajo detrás, dedicando su tiempo y generosidad tanto en el proceso creativo y experimental, que hicieron posible esta investigación.

Daniela Martuffi.

Yomara Zúñiga.

Daniela Osses.

Referencias

- Arias, A y Ávila, C. (2012). *La iluminación natural en la arquitectura*. Universidad de Guadalajara; Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. <https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/73673/1/BCUAAD00057.pdf>
- Arias, L y Libardo, V. (2004). *Scientia Et Technica. Materiales compuestos inteligentes, Volumen 10 (25)*, pp. 143-148. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911685026.pdf>
- Bamfield, P y Hutchings, M. (2010). *Chromic Phenomena: Technological Applications of Colour Chemistry*. The Royal Society of Chemistry. https://www.academia.edu/30093320/Chromic_Phenomena_The_Technological_Applications_of_Colour_Chemistry
- Barroeta, J. (2022). Repair of thermoplastic composites: an overview. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science, Volumen 8 (2)*, pp. 68-96. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20550340.2022.2057137>
- Beltrán, M y Marcilla, A. (2011). *Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado*. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. https://core.ac.uk/display/16369158?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- Borja, A. (2017). *Confort lumínico en los espacios interiores de la biblioteca de la ciudad y provincia, en la ciudad de Ambato*. Universidad técnica de Ambato; Facultad de diseño, arquitectura y artes. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26336>
- Castells, X. (2012). *La vivienda y el confort: Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. Ediciones Díaz de Santos. https://books.google.cl/books?id=W7gEvF5vAoC&pg=PA515&dq=sistemas+pasivos+y+confort&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi_YDIrcz4AhWdALkGHa1EDWgQ6AF6BAgHEAL#v=onepage&q&f=false
- Coll, N. (2020). *Cuaderno del taller de color*. Universidad Oberta de Catalunya. http://disseny.recursos.uoc.edu/materials/taller-color/wp-content/uploads/sites/18/2020/02/PID_00267654_Cuaderno_del_Taller_color.pdf
- Erazo, M. (2020). *Aplicación de tintas termocromáticas en tejido 100% algodón para confección de prendas infantiles como indicador en el aumento de la temperatura corporal*. Universidad técnica del norte; Facultad de ingeniería en ciencias aplicadas. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10215/2/04%20IT%20261%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- ERUM Group. (18 de marzo de 2015). *Plásticos termocrómicos*. ERUM Group. <https://erumgroup.com/pl%3a1sticos-termocr%3b3micos/>
- Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial. (2010). *Materiales*

cromoactivos. VirtualPro.
<https://www.virtualpro.co/biblioteca/materiale-s-cromoactivos#comocitar>

- Ganslandt, R y Hofmann, H. (1992-2005). *Cómo planificar la luz*. Editorial Vieweg, Bertelsmann International.
https://lightingworks.com.mx/uploads/1/2/4/2/124257112/como_planificar_con_luz_fundamentos_lighting_design.pdf
- González, Y. (2019). *Mejor sin plástico: Guía para llevar una vida sostenible*. Plataforma Editorial.
<https://books.google.cl/books?id=fvakDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Hallcrest, L. (2015). *Handbook of Thermochromic Liquid Crystal Technology*.
<https://spotsee.io/wp-content/uploads/2021/04/RT006-Rev01-USA-Thermochromic-Handbook.pdf>
- Heller, E. (2004). *Psicología del color*. Editorial Gustavo Gili, SL.
<https://ia802904.us.archive.org/4/items/894dc64bFa88473590e3Add8b1b5b274/894dc64b-fa88-4735-90e3-add8b1b5b274.pdf>
- Moreira, S y Baraya, S. (8 de abril de 2021). *Estrategias de confort lumínico aplicadas en proyectos de vivienda*. Plataforma Arquitectura.
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/959801/estrategias-de-confort-luminico-aplicadas-en-proyectos-de-vivienda>
- Valenzuela, C. (20 de abril de 2021). *Impresión 3D con termoplásticos crea sistema plegable que controla la temperatura de la luz*. Plataforma Arquitectura.
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/959947/impresion-3d-con-termoplasticos-reciclables-crea-sistema-plegable-que-controla-la-temperatura-de-la-luz>

Imágenes

- Bestowcharms (2017). Thermo Shift Pigments [Fotografía]. Bestowcharms.
<https://www.bestowcharms.in/collections/thermochromic>
- ERUM Group (2015). Plásticos termocrómicos [Fotografía]. ERUM Group.

<https://erumgroup.com/pl%3%a1sticos-termocr%3%b3micos/>

- Escuela de arte superior de diseño de Vic. (2020). *Psicología del color [Fotografía]*. Escuela de Arte superior de diseño de Vic.
<https://perio.unlp.edu.ar/catedras/iddi/wp-content/uploads/sites/125/2020/04/Psicologia-del-color.pdf>
- Mornglass (2021). *Vidrio inteligente termocrómico prueba de rendimiento [Fotografía]*. Mornglass.
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/959947/impresion-3d-con-termoplasticos-reciclables-crea-sistema-plegable-que-controla-la-temperatura-de-la-luz>
- Ovacen. (2016). *Cómo afecta el color en la arquitectura [Fotografía]*. Ovacen.
<https://ovacen.com/como-afecta-color-en-la-arquitectura/>
- Tzab, K. (2018). *Tipos de claraboyas [Fotografía]*. Blog laminas y aceros.
<https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-claraboyas>
- Valenzuela, C. (2021). *Impresión 3D con termoplásticos crea sistema plegable que controla la temperatura de la luz [Fotografías varias]*. Plataforma arquitectura
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/959947/impresion-3d-con-termoplasticos-reciclables-crea-sistema-plegable-que-controla-la-temperatura-de-la-luz>

Anexos

Anexo 1: Modelos de placa etapa 1 y 2; pruebas de resistencia y proyección de sombra.

Anexo 2: Modelos etapa 3; modelo a escala y versión final de placa.

Anexo 3: Fichas; etapas de la investigación.

Todos los anexos están disponibles en la carpeta web:

https://drive.google.com/drive/folders/1tgECiz2SgzcAvBlen9ON_UauJJD5FjPC?usp=sharing

Tabla 4: Ficha de placas de 1mm para prueba de resistencia. Fuente: Elaboración propia.

Fases / Etapa	Estilos de relleno	Escala de grillado	Resultados
<p data-bbox="175 373 342 401">Etapa 1: Fase 1</p> <p data-bbox="175 432 467 548">Prueba de dos placas, una sin grillado y con grillado de relleno en 1 mm de grosor.</p> 	<p data-bbox="505 281 634 308">Sin grillado</p> 	<p data-bbox="1024 432 1154 459">Sin grillado</p>	
	<p data-bbox="505 617 618 644">Diamante</p> 	<p data-bbox="1024 768 1154 795">Escala x1.0</p>	

Tabla 5: Ficha de placas de 1mm para prueba de resistencia. Fuente: Elaboración propia.

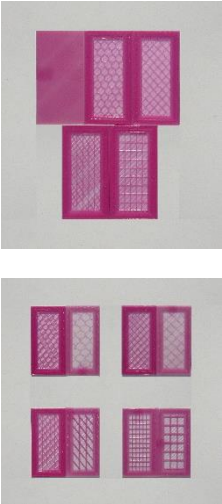
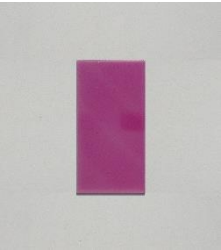

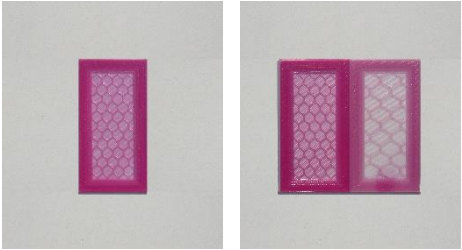

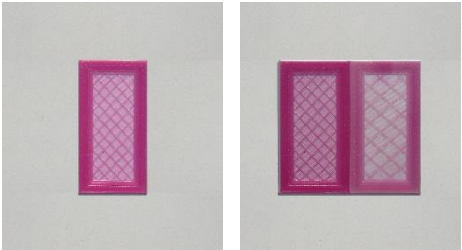

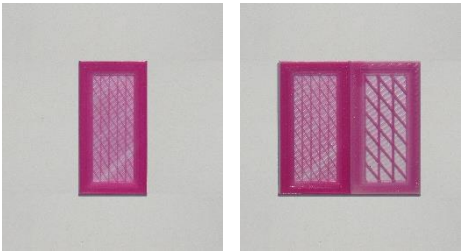

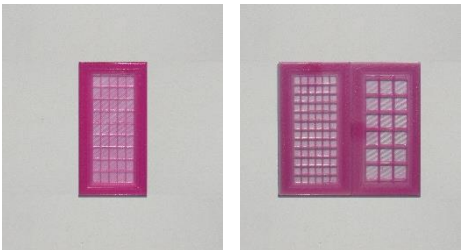
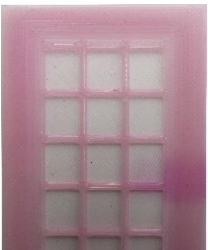
Fases / Etapa	Estilos de relleno	Escala de grillado	Resultados
<p data-bbox="175 737 347 764">Etapa 1: Fase 2</p> <p data-bbox="175 795 467 884">Prueba de diversos tipos y de grillado de 1 mm de grosor</p> 	<p data-bbox="505 260 634 287">Sin grillado</p> 	<p data-bbox="1024 407 1154 434">Sin grillado</p>	
	<p data-bbox="505 592 630 619">Hexagonal</p> 	<p data-bbox="1024 716 1149 743">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 774 1149 802">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 926 613 953">Diamante</p> 	<p data-bbox="1024 1050 1149 1077">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1108 1149 1136">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 1260 625 1287">Romboide</p> 	<p data-bbox="1024 1383 1149 1411">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1442 1149 1470">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 1593 618 1621">Cuadrado</p> 	<p data-bbox="1024 1717 1149 1745">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1776 1149 1803">Escala x3.0</p>	

Tabla 6: Ficha de placas de 2mm para prueba de resistencia. Fuente: Elaboración propia.

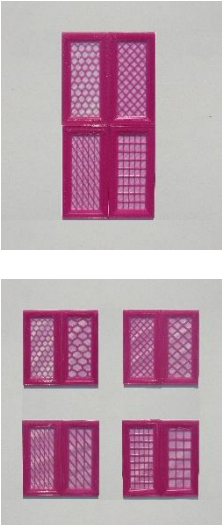
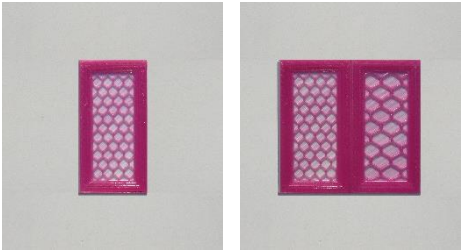

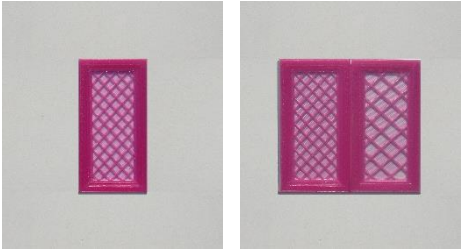

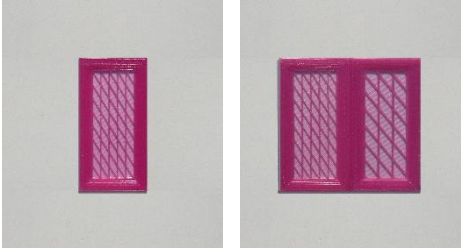

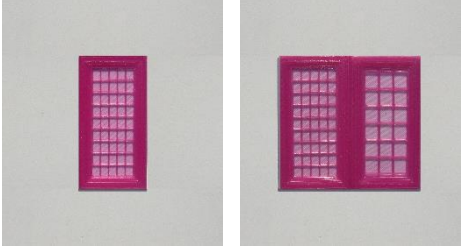
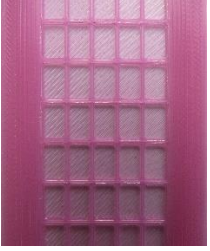
Fases / Etapa	Estilos de relleno	Escala de grillado	Resultados
<p data-bbox="175 575 347 604">Etapa 1: Fase 3</p> <p data-bbox="175 634 451 718">Prueba de diversos tipos de grillado a 2 mm de grosor</p> 	<p data-bbox="505 260 630 289">Hexagonal</p> 	<p data-bbox="1024 382 1149 411">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 436 1149 466">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 590 618 619">Diamante</p> 	<p data-bbox="1024 718 1149 747">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 772 1149 802">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 926 626 955">Romboide</p> 	<p data-bbox="1024 1054 1149 1083">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1108 1149 1138">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 1262 621 1291">Cuadrado</p> 	<p data-bbox="1024 1390 1149 1419">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1444 1149 1474">Escala x3.0</p>	

Tabla 7: Ficha de placas de 3mm para prueba de resistencia. Fuente: Elaboración propia.

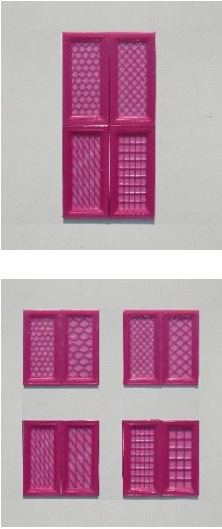
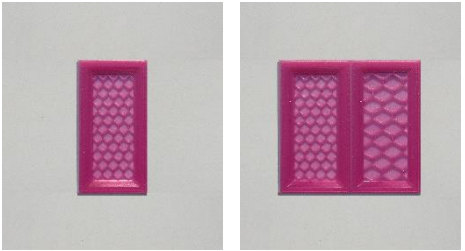
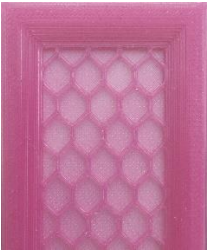
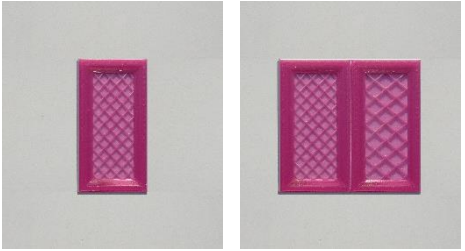

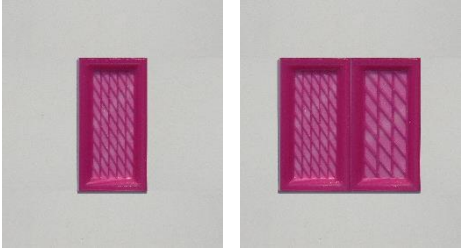

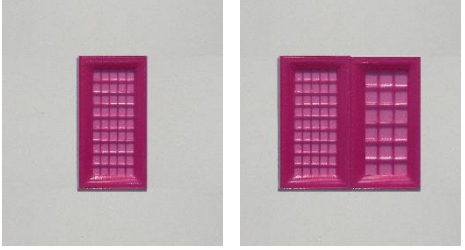

Fases / Etapa	Estilos de relleno	Escala de grillado	Resultados
<p data-bbox="175 575 347 604">Etapa 1: Fase 4</p> <p data-bbox="175 632 451 720">Prueba de diversos tipos de grillado a 3 mm de grosor</p> 	<p data-bbox="505 260 630 289">Hexagonal</p> 	<p data-bbox="1024 380 1149 409">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 436 1149 466">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 590 618 619">Diamante</p> 	<p data-bbox="1024 716 1149 745">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 772 1149 802">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 926 626 955">Romboide</p> 	<p data-bbox="1024 1052 1149 1081">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1108 1149 1138">Escala x3.0</p>	
	<p data-bbox="505 1262 621 1291">Cuadrado</p> 	<p data-bbox="1024 1388 1149 1417">Escala x2.0</p> <p data-bbox="1024 1444 1149 1474">Escala x3.0</p>	

Tabla 8: Ficha de placas de 3mm para prueba de proyección de sombras. Fuente: Elaboración propia.

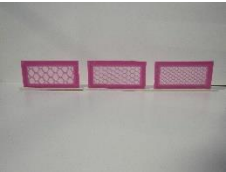

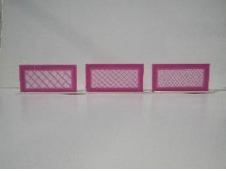

Fases / Etapa	Estilos de relleno	Escala de grillado	Resultados
Etapa 2 Prueba de escalas en dos tipos de grillado en 3mm de grosor	Hexagonal 	Escala x3.0 Escala x2.0 Escala x1.0	
	Diamante 	Escala x3.0 Escala x2.0 Escala x1.0	

Tabla 9: Ficha de creación y ensamble de modelo, en paralelo con el diseño e impresión de versión final de placa. Fuente: Elaboración propia.

Fases / Etapa	Estilos de relleno	Resultados
<p data-bbox="175 449 342 478">Etapa 3: Fase 1</p> <p data-bbox="175 508 448 592">Desarrollo, impresión y ensamblado del modelo espacial teórico a escala</p> 	<p data-bbox="505 289 889 319">Componentes del modelo a escala</p> 	
<p data-bbox="175 1297 347 1327">Etapa 3: Fase 2</p> <p data-bbox="175 1356 444 1440">Impresión de la versión final de placa en ambas tonalidades del material</p>		

Tabla 10: Ficha de modelos con vidrio cristal incoloro en las cuatro orientaciones cardinales. Fuente: Elaboración propia.

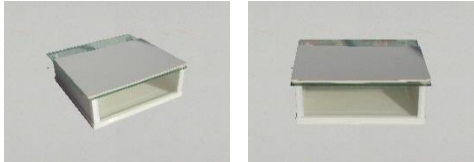
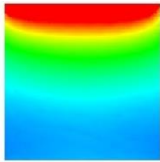
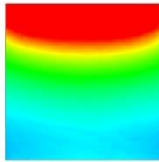
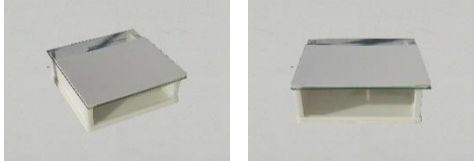
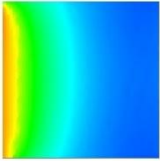
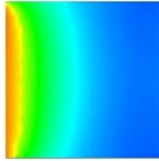
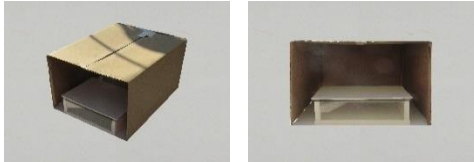
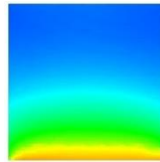
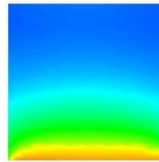

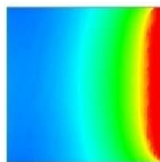
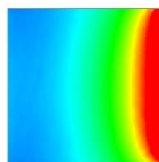
Fases / Etapa	Orientación	Resultados	
<p>Etapa 4: Fase 1</p> <p>Prueba de la versión final vidriada en el modelo de espacio interior a escala</p>	<p>Orientación Norte</p> 	<p>Norte 12pm</p> <p>14.000 lux</p> 	<p>Norte 14pm</p> <p>20.000 lux</p> 
	<p>Orientación Poniente</p> 	<p>Poniente 12pm</p> <p>2.600 lux</p> 	<p>Poniente 14pm</p> <p>3.500 lux</p> 
<p>Etapa 4: Fase 2</p> <p>Evaluación de los efectos del vidrio en la iluminancia del espacio teórico en programa DesignBuilder</p>	<p>Orientación Sur</p> 	<p>Sur 12pm</p> <p>1.900 lux</p> 	<p>Sur 14pm</p> <p>2.500 lux</p> 
	<p>Orientación Oriente</p> 	<p>Oriente 12pm</p> <p>10.000 lux</p> 	<p>Oriente 14pm</p> <p>14.000 lux</p> 

Tabla 11: Ficha de modelos con PLA termocrómico rosa en las cuatro orientaciones cardinales. Fuente: Elaboración propia.

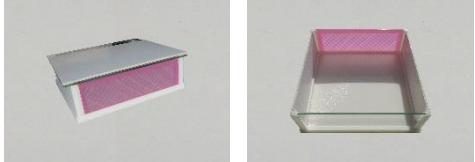
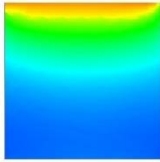
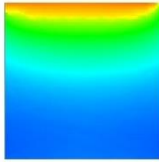
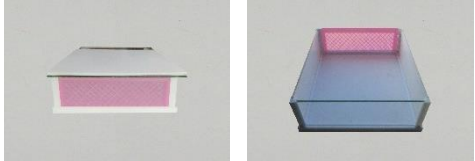

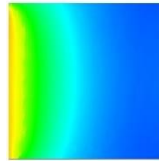
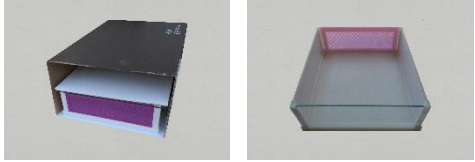
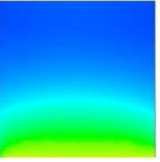
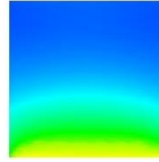
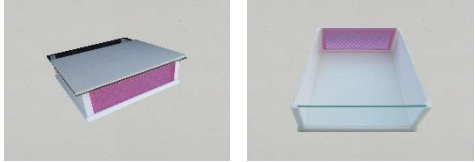

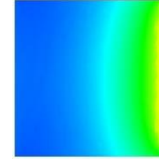
Fases / Etapa	Orientación	Resultados	
<p data-bbox="175 625 342 657">Etapa 4: Fase 1</p> <p data-bbox="175 688 477 772">Prueba de la versión final de placa rosa en el modelo de espacio interior a escala</p> <p data-bbox="175 835 342 867">Etapa 4: Fase 2</p> <p data-bbox="175 898 477 1035">Evaluación de los efectos del material en la tonalidad e iluminancia del espacio teórico en programa DesignBuilder</p>	<p data-bbox="505 310 708 342">Orientación Norte</p> <div data-bbox="509 373 980 533">  </div>	<p data-bbox="1006 289 1143 321">Norte 12pm</p> <p data-bbox="1029 342 1143 373">2.900 lux</p> 	<p data-bbox="1273 289 1409 321">Norte 14pm</p> <p data-bbox="1295 342 1409 373">3.600 lux</p> 
	<p data-bbox="505 592 740 623">Orientación Poniente</p> <div data-bbox="509 655 980 814">  </div>	<p data-bbox="1006 571 1175 602">Poniente 12pm</p> <p data-bbox="1029 623 1110 655">200 lux</p> 	<p data-bbox="1273 571 1442 602">Poniente 14pm</p> <p data-bbox="1295 623 1377 655">450 lux</p> 
	<p data-bbox="505 873 683 905">Orientación Sur</p> <div data-bbox="509 936 980 1096">  </div>	<p data-bbox="1006 852 1117 884">Sur 12pm</p> <p data-bbox="1029 905 1094 936">50 lux</p> 	<p data-bbox="1273 852 1383 884">Sur 14pm</p> <p data-bbox="1295 905 1360 936">120 lux</p> 
	<p data-bbox="505 1155 727 1186">Orientación Oriente</p> <div data-bbox="509 1215 980 1375">  </div>	<p data-bbox="1006 1134 1162 1165">Oriente 12pm</p> <p data-bbox="1029 1186 1110 1218">900 lux</p> 	<p data-bbox="1273 1134 1429 1165">Oriente 14pm</p> <p data-bbox="1295 1186 1377 1218">1200 lux</p> 

Tabla 12: Ficha de modelos con PLA termocrómico azul en las cuatro orientaciones cardinales. Fuente: Elaboración propia.

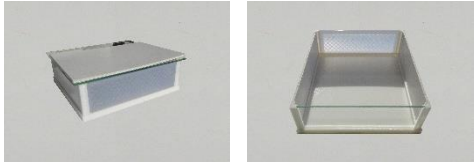

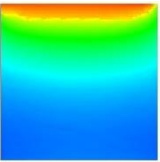

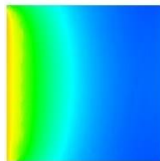
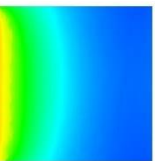
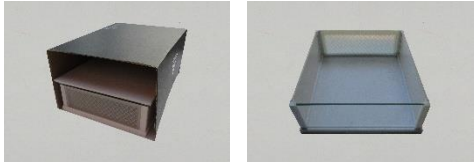
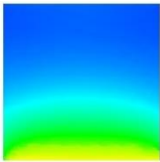
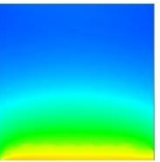
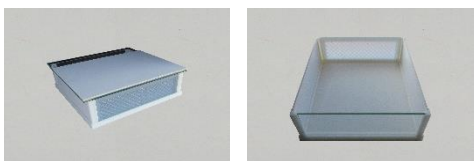


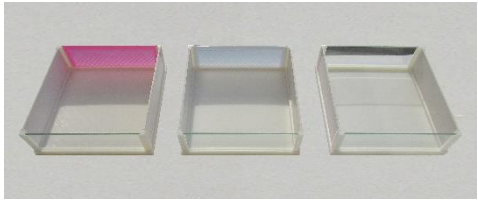
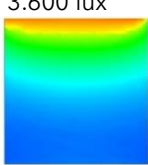
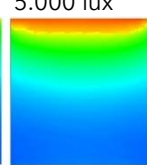
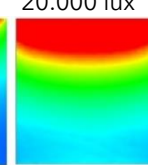
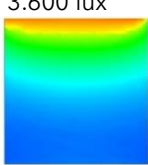
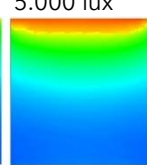
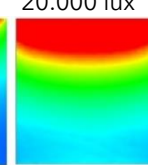
Fases / Etapa	Orientación	Resultados	
<p data-bbox="175 625 342 657">Etapa 4: Fase 1</p> <p data-bbox="175 688 477 772">Prueba de la versión final de placa azul en el modelo de espacio interior a escala</p> <p data-bbox="175 831 347 863">Etapa 4: Fase 2</p> <p data-bbox="175 894 477 1031">Evaluación de los efectos del material en la tonalidad e iluminancia del espacio teórico en programa DesignBuilder</p>	<p data-bbox="505 312 708 344">Orientación Norte</p> <div data-bbox="509 373 980 533">  </div>	<p data-bbox="1003 291 1143 323">Norte 12pm</p> <p data-bbox="1024 344 1127 375">3.600 lux</p> 	<p data-bbox="1268 291 1408 323">Norte 14pm</p> <p data-bbox="1279 344 1382 375">5.000 lux</p> 
	<p data-bbox="505 590 740 621">Orientación Poniente</p> <div data-bbox="509 651 980 810">  </div>	<p data-bbox="1003 569 1175 600">Poniente 12pm</p> <p data-bbox="1024 621 1110 653">750 lux</p> 	<p data-bbox="1268 569 1440 600">Poniente 14pm</p> <p data-bbox="1279 621 1365 653">900 lux</p> 
	<p data-bbox="505 873 683 905">Orientación Sur</p> <div data-bbox="509 934 980 1094">  </div>	<p data-bbox="1003 852 1118 884">Sur 12pm</p> <p data-bbox="1024 905 1110 936">250 lux</p> 	<p data-bbox="1268 852 1383 884">Sur 14pm</p> <p data-bbox="1279 905 1365 936">530 lux</p> 
	<p data-bbox="505 1157 729 1188">Orientación Oriente</p> <div data-bbox="509 1207 980 1367">  </div>	<p data-bbox="1003 1136 1167 1167">Oriente 12pm</p> <p data-bbox="1024 1188 1127 1220">1.600 lux</p> 	<p data-bbox="1268 1136 1432 1167">Oriente 14pm</p> <p data-bbox="1279 1188 1382 1220">2.000 lux</p> 

Tabla 13: Ficha comparativa de la iluminancia resultantes entre los modelos de vidrio y PLA termocrómico rosa y azul. Fuente: Elaboración propia.

Fases / Etapa	Orientación	Resultados									
<p>Etapa 4: Fase 3</p> <p>Comparativa de iluminancia y tonalidad entre las 3 pruebas modelo a escala realizadas</p>		<table border="0"> <tr> <td data-bbox="1010 285 1156 321">Rosa 14µm</td> <td data-bbox="1156 285 1302 321">Azul 14µm</td> <td data-bbox="1302 285 1448 321">Vidrio 14µm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1010 321 1156 357">3.600 lux</td> <td data-bbox="1156 321 1302 357">5.000 lux</td> <td data-bbox="1302 321 1448 357">20.000 lux</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1010 357 1156 520"></td> <td data-bbox="1156 357 1302 520"></td> <td data-bbox="1302 357 1448 520"></td> </tr> </table>	Rosa 14µm	Azul 14µm	Vidrio 14µm	3.600 lux	5.000 lux	20.000 lux			
Rosa 14µm	Azul 14µm	Vidrio 14µm									
3.600 lux	5.000 lux	20.000 lux									
