



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial



DISEÑO DE MÓDULO CERÁMICO CON ACTIVIDAD PURIFICANTE POR
MEDIO DE FOTOCATÁLISIS

Opción de titulación

Tesis Individual

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Licenciado en Diseño Industrial

Presenta:

Erick Rodrigo Ávila Montaña

Dirigido por:

Dra. Karen Esquivel Escalante

Dra. Karen Esquivel Escalante

Presidente

Firma

LDI. Violeta Álvarez Granados

Secretario

Firma

MDI. Bibiana Citlalli Márquez Lago

Vocal

Firma

MDI. Rebeca Gwendoline Rocha Rubio

Sinodal

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Febrero 2020

RESUMEN

El mundo en el que vivimos, es altamente complejo y es evidente que en la actualidad se enfrenta una problemática que deteriora tanto el ecosistema como el bienestar de la población. La contaminación, en distintas formas, afecta considerablemente a la humanidad, principalmente si nos referimos a contaminación de agua y aire. En este trabajo se presenta el diseño de un módulo cerámico con actividad fotocatalítica, que permite la limpieza de agua y aire aprovechando el sol como energía activante. Para llegar a esto, se desarrolló una metodología particular que partió de la observación para lograr un alto desempeño del TiO_2 con el objeto de aprovechar óptimamente su actividad purificante. Al tener claros los alcances de la tecnología entonces se establecieron pruebas de desempeño en cuanto a porosidad del material cerámico, superficie y forma. Para la prueba de porosidad, se crearon muestras de cerámica con aserrín como quemante en distintas proporciones, para obtener diferentes porosidades, sobre las que se evaluó tanto la adherencia como el desempeño del TiO_2 en forma anatasa. Para la superficie se analizó un ligero caudal sobre distintas morfologías modeladas en plastilina para obtener la mejor retención del flujo del agua y aumentar su tiempo de contacto. Para definir la forma, se propuso una estructura que armoniza con el flujo del aire, ya que el TiO_2 es capaz de eliminar impurezas del viento que entra en contacto directo con la superficie. Teniendo los resultados de estos parámetros se desarrolló la propuesta de diseño, se fabricó la pieza a escala 1:4 y se diseñó un sistema para observar el desempeño del TiO_2 como parámetro de validación de este trabajo. De acuerdo a esta validación se detectó que diseño final logra su objetivo sin embargo en cuanto a la fijación sobre la superficie cerámica surgieron propuestas de desarrollo a futuro para lograr ser más aprovechable.

Palabras clave: fotocatalisis, dióxido de titanio, cerámica, diseño, módulo, nuevos materiales.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | ii |
| INDICE GENERAL..... | iii |
| INDICE DE FIGURAS | v |
| INDICE DE TABLAS | vi |
| INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 1.1. Diseño e innovación | 4 |
| 1.1.1. Pirámide de la innovación | 4 |
| 1.2. Fotosíntesis | 7 |
| 1.3. Fotocatálisis | 8 |
| 1.3.1. Eficiencia..... | 10 |
| 1.3.2. Aplicación del TiO ₂ en diseño..... | 11 |
| 1.4. Nanotecnología..... | 12 |
| 1.5. Contaminación de agua y aire | 14 |
| 1.6. Biomimética | 18 |
| 1.6.1. Metodología de la Biomimética | 19 |
| 1.6.2. Desafíos clave | 20 |
| 1.7. Materiales cerámicos | 21 |
| 1.7.1. Materias primas | 22 |
| 1.7.1.1. Materias Plásticas | 22 |
| 1.7.1.2. Materias no plásticas..... | 23 |
| 1.7.2. Moldeado..... | 25 |
| 1.7.3. Sinterización | 26 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 28 |
| 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS..... | 30 |
| 3.1. Hipótesis..... | 30 |
| 3.2. Objetivo general..... | 30 |
| 3.3. Objetivos particulares..... | 30 |
| 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL | 31 |
| 4.1. Evaluación de material cerámico..... | 33 |
| 4.1.1. Preparación de muestras..... | 34 |
| 4.1.2. Prueba de desempeño sobre cerámica..... | 36 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 4.1.3. | Prueba de adherencia | 37 |
| 4.2. | Evaluación de superficie | 39 |
| 4.2.1. | Modelado de relieves..... | 39 |
| 4.2.2. | Evaluación de las superficies..... | 40 |
| 4.3. | Evaluación de forma | 41 |
| 4.3.1. | Túnel de viento | 41 |
| 4.3.2. | Evaluación de figuras | 42 |
| 4.4. | Diseño del módulo | 43 |
| 4.4.1. | Propuesta | 43 |
| 4.4.2. | Prototipo | 44 |
| 4.4.3. | Validación..... | 44 |
| 5. | EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS | 45 |
| 5.1. | Evaluación de material cerámico | 45 |
| 5.1.1. | Preparación de muestras..... | 45 |
| 5.1.1.1. | Mezclas de pasta y aserrín | 46 |
| 5.1.1.2. | Vaciado de piezas | 47 |
| 5.1.1.3. | Aplicación del TiO ₂ | 48 |
| 5.1.2. | Evaluación de porosidad y desempeño de TiO ₂ | 48 |
| 5.1.3. | Evaluación de adherencia..... | 53 |
| 5.2. | Evaluación de superficie | 54 |
| 5.3. | Evaluación de forma | 57 |
| 5.4. | Diseño del módulo | 59 |
| 5.4.1. | Propuesta | 60 |
| 5.4.1.1. | Aplicación de la propuesta..... | 65 |
| 5.4.2. | Prototipo | 67 |
| 5.4.3. | Validación..... | 70 |
| 5.4.3.1. | Espectroscopia de UV visible. | 72 |
| 5.4.3.2. | Desempeño de la pared con residuos de Rodamina B. | 73 |
| 6. | CONCLUSIONES | 74 |
| | REFERENCIAS | 76 |
| | APENDICE | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: PIRÁMIDE DE LA INNOVACIÓN. LUCIA RAMPINO (2011)..... | 5 |
| FIGURA 2: PROCESO DE FOTOSÍNTESIS. ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: (TAGGART, EVERS, STARR, & STARR, 2009)..... | 7 |
| FIGURA 3: FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA. ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: (ASOCIACIÓN IBÉRICA DE LA FOTOCATÁLISIS, 2018)..... | 9 |
| FIGURA 4: PABELLÓN DE ITALIA – EXPO MILÁN 2015. FUENTE: HEIDELBERG CEMENT (PÁGINA WEB)..... | 11 |
| FIGURA 5: HOSPITAL GRAL. DR. MANUEL GEA GONZÁLEZ. FUENTE: PROSOLVE370E.COM..... | 12 |
| FIGURA 6: METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN..... | 31 |
| FIGURA 7: CARACTERÍSTICAS DEL DIÓXIDO DE TITANIO. FUENTES: GPSMINERAL.COM Y FORMULACIONQUIMICA.COM..... | 32 |
| FIGURA 8: PREPARACIÓN DE MUESTRAS..... | 34 |
| FIGURA 9: FOTOGRAFÍAS DE MUESTRAS N Y P3. SE OBSERVA QUE AMBAS TIENEN EL MISMO VOLUMEN Y DISTINTO PESO. | 35 |
| FIGURA 10: VACIADO DE PIEZAS MUESTRA..... | 35 |
| FIGURA 11: PASOS DE DESARROLLO EN LAS “PRUEBAS SOBRE MUESTRAS CERÁMICAS”..... | 36 |
| FIGURA 12: APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO SOBRE LAS PIEZAS MUESTRA..... | 36 |
| FIGURA 13: SEPARACIÓN DE MUESTRAS CERÁMICAS..... | 37 |
| FIGURA 14: SUPERFICIES EVALUADAS..... | 40 |
| FIGURA 15: ESQUEMA DE LA MAQUETA DEL TÚNEL DE VIENTO..... | 41 |
| FIGURA 16: PASOS DE DESARROLLO EN EL DISEÑO Y LA VALIDACIÓN..... | 43 |
| FIGURA 17: MOLDE DE YESO PARA LAS DIFERENTES PIEZAS MUESTRA..... | 46 |
| FIGURA 18: PIEZAS VACIADAS ANTES DE LA SINTERIZACIÓN..... | 47 |
| FIGURA 19: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DE LAS MUESTRAS M1..... | 49 |
| FIGURA 20: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DE LAS MUESTRAS M2..... | 50 |
| FIGURA 21: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DE LAS MUESTRAS M3..... | 51 |
| FIGURA 22: ANÁLISIS FOTOGRÁFICO DE LAS MUESTRAS M1, M2, M3. SE PRESENTAN EN CONTRASTE SU REGISTRO DE MAYOR COLORACIÓN CONTRA SU RESULTADO PURIFICANTE MÁS OPTIMO..... | 52 |
| FIGURA 23: EVALUACIÓN DE ADHERENCIA..... | 53 |
| FIGURA 24: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA..... | 54 |
| FIGURA 25: MODELADO DE SUPERFICIES..... | 55 |
| FIGURA 26: RESULTADO DE LAS SUPERFICIES MODELADAS..... | 55 |
| FIGURA 27: COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL DE AGUA SOBRE LAS DIFERENTES SUPERFICIES..... | 56 |
| FIGURA 28: COMPONENTES DEL TÚNEL DE VIENTO..... | 57 |
| FIGURA 29: REGISTROS DE FLUJO DE HUMO SOBRE LAS FIGURAS..... | 58 |
| FIGURA 30: BOCETOS DE PROPUESTAS, ANÁLISIS DE ESTRUCTURA Y CAPTACIÓN DE LUZ SOLAR..... | 60 |
| FIGURA 31: BOCETOS DE FORMAS Y ANÁLISIS DE SUPERFICIES DE PARED..... | 61 |
| FIGURA 32: BOCETOS DE MÓDULOS GEOMÉTRICOS..... | 62 |
| FIGURA 33: MODELADO DE PROPUESTAS. EL RECUADRO SEÑALA LA PROPUESTA PARA DESARROLLO FINAL..... | 62 |
| FIGURA 34: COMBINACIÓN DE TESELADOS REGULARES Y SEMIRREGULARES..... | 63 |
| FIGURA 35: COMPOSICIÓN GEOMÉTRICA DE LA PROPUESTA DE DISEÑO FINAL..... | 64 |
| FIGURA 36: PROPUESTAS DE DISEÑO CON DIFERENTES CANALES PARA EL FLUJO DE AGUA..... | 64 |
| FIGURA 37: CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO..... | 65 |
| FIGURA 38: PARED DE MÓDULOS ENSAMBLADOS..... | 65 |
| FIGURA 39: PROPUESTA DE FUENTE DE AGUA PARA ÁREAS RESIDENCIALES..... | 67 |
| FIGURA 40: PROTOTIPO A ESCALA DEL MÓDULO..... | 68 |
| FIGURA 41: CONSTRUCCIÓN DE PIEZA DE YESO VACIADO EN MOLDE DE CAUCHO..... | 68 |
| FIGURA 42: PULIDO SUPERFICIAL DEL PROTOTIPO MATRIZ..... | 69 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 43: CONSTRUCCIÓN DE MOLDE DE YESO PARA MÓDULOS CERÁMICOS..... | 70 |
| FIGURA 44: MÓDULOS CERÁMICOS SINTERIZADOS..... | 70 |
| FIGURA 45: CONSTRUCCIÓN DE PARED DE MÓDULOS Y APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO..... | 71 |
| FIGURA 46: SISTEMA DE REFLUJO FOTOCATALÍTICO CON RODAMINA B COMO INDICADOR. | 71 |
| FIGURA 47: ESPECTROSCOPIA UV-VIS DE RODAMINA B INICIAL CON CONCENTRACIÓN INICIAL. | 72 |
| FIGURA 48: ESPECTROSCOPIA UV-VIS DE RODAMINA B AL FINAL DE LA EXPOSICIÓN A LA LUZ SOLAR..... | 73 |
| FIGURA 49: REGISTRO DE ACTIVIDAD PURIFICANTE SOBRE LA PARED DE MÓDULOS..... | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1: BENEFICIOS Y LÍMITES/ RIESGOS DE LA BIOMIMESIS (JULIA KRAMER, 2016)..... | 20 |
| TABLA 2: PREPARACIÓN DE MUESTRAS | 34 |
| TABLA 3: EVALUACIÓN DE DESPRENDIMIENTO (NORMA INTERNACIONAL ASTM D3359)..... | 38 |
| TABLA 4: RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE CAUDAL SOBRE LAS SUPERFICIES. | 56 |

Dirección General de Bibliotecas UAQ

INTRODUCCIÓN

El quehacer del diseñador consiste en generar propuestas a soluciones concretas. Vivimos en un mundo imperfecto y complejo, que involucra en su desarrollo cada vez más problemas de contaminación que afectan cualquier entorno del medio ambiente, y a sus habitantes. Esto obliga al diseñador a tomar parte de ello y buscar soluciones a partir de las herramientas y los conocimientos con los que cuenta. El resultado de nuevos problemas comúnmente detona el desarrollo de la innovación, la cual plantea nuevas perspectivas para enfrentar el problema.

De acuerdo a los problemas ambientales que la sociedad enfrenta en nuestros días, resulta pertinente desarrollar soluciones que no solo permitan reducir este impacto, sino que se adapten progresivamente con el desarrollo urbano, sin sacrificar la naturaleza del medio ambiente. Por ende, es imprescindible tomar en cuenta nuevos paradigmas de sustentabilidad que están mejorando el desempeño de diversas áreas de la industria.

La contaminación ambiental, crece por diferentes vías alrededor de nuestra vida cotidiana que apuntan a ser la clave de problemas de salud graves en un gran número de población a nivel global. Estos son tanto problemas de salud como de índices de mortalidad (Retama Hernández, 2016).

El desarrollo científico y tecnológico es uno de los factores más influyentes sobre la sociedad contemporánea. La globalización mundial, polarizadora de la riqueza y el poder, sería impensable sin el avance de las fuerzas productivas que la ciencia y la tecnología han hecho posibles (Nuñez Jover, 2006). De acuerdo a esto, la nanotecnología es uno de los pilares que prometen impulsar este desarrollo, siendo un nuevo enfoque que promete explorar la materia en una nueva perspectiva, a escala molecular para desarrollar cada vez mejor tecnología. Gracias a la nanotecnología y a este enfoque ahora se identifican distintos materiales que pueden actuar como fotocatalizadores, sin embargo, en este campo quien está tomando mayor importancia es el dióxido de titanio, en procesos de tratamiento de aguas y purificación ambiental (Adawiya, 2017).

En este proyecto, se diseñó una estructura modular de material cerámico que aprovecha las propiedades descontaminantes que tiene el dióxido de titanio (TiO₂) en forma anatasa, el cual es un semiconductor nanométrico capaz de ser activado por la luz solar. Se eligió la cerámica, por su porosidad y gracias a que es un material ligero, duro y moldeable. Pero principalmente poroso, lo que motiva a observar el comportamiento fotocatalítico sobre su superficie. Si bien, la cerámica es un material económico, el TiO₂ no lo es. Sin embargo, actualmente y gracias a la industria es posible encontrar proveedores de este nano material, como es el Degusa 925, ampliamente conocido en la labor científica y con el que se trabajó la parte experimental, además, a pesar de su costo, este tiene un alto rendimiento al ser aplicado específicamente sobre la superficie a actuar. Conforme el desarrollo de investigación se espera que la producción industrial de este material se economice y se incremente la aplicación en diferentes tipos de superficies.

Este tema se desarrolló con el interés de presentar una propuesta de producto, como resultado del diseño dirigido por la tecnología. Esperando conseguir un producto innovador o que por lo menos se detecten nuevas perspectivas de desarrollo para ello.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Diseño e innovación

“El diseño consiste en dar solución a un problema concreto” (Vitra Chairman Emeritus Rolf Fehlbaum, 2009). Cuando hablamos de diseño, hablamos de funcionalidad, utilidad, necesidad, uso, diferenciación y, por supuesto, también belleza (Sobejano, 2011). El quehacer del diseñador industrial, se basa en explorar y desarrollar nuevas ideas de productos y servicios, que puedan explotarse en producción industrial o como modelo de negocios, respectivamente. La actividad del diseño es esencial para detonar la propuesta de valor de muchas empresas y esto es la clave de acción para el diseñador industrial, que aprovecha de su creatividad, su destreza y su conocimiento en materiales y procesos de producción, para la generación de nuevas ideas.

Por ello, el pensamiento de diseño supone una herramienta poderosísima para desarrollar proyectos, no sólo objetos, y conseguir resultados desde una visión orientada en la usabilidad del cliente, que dote a las empresas de una respuesta poderosa en estos momentos de cambio y necesidad de innovación. Una de las ventajas que tiene el diseño, y el pensamiento de diseño, es que pivota sobre tres elementos fundamentales para que su desarrollo sea un éxito: la viabilidad económica, la factibilidad tecnológica y el deseo de las personas por el producto. Estos tres elementos son fundamentales para que, además, de que un proyecto sea innovador, tenga éxito (Sobejano, 2011).

1.1.1. Pirámide de la innovación

Lucia Rampino (2011), arquitecta, investigadora y académica del Politécnico de Milán, realizó una extensa investigación, para categorizar los diferentes tipos de innovación dirigida por el diseño. Estos tipos de innovación son cuatro: estética, de uso, de significado y tipológica. Se identificaron también, tres diferentes enfoques

del diseño o “palancas”, que impulsan a obtener estos tipos de innovación. Estas palancas son tres: forma, modo de uso y tecnología. En la **Figura 1** se establece la relación entre las palancas y los tipos de innovación.

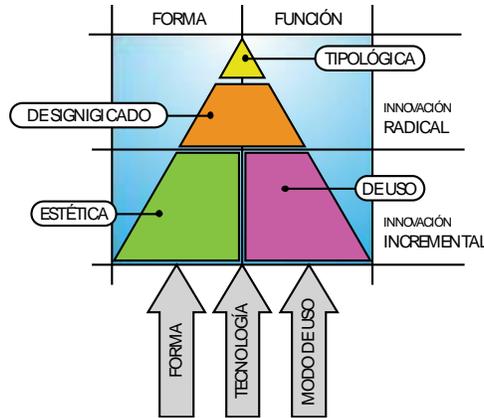


Figura 1: Pirámide de la innovación. Lucia Rampino (2011).

En la pirámide se observan dos niveles de innovación: incremental y radical. De acuerdo a la categorización:

- La innovación incremental tiene como resultado la innovación estética y la innovación de uso. Estas innovaciones indican que sus palancas fueron las mismas y por ello se observa un ligero impacto, puesto que siguen proponiendo una nueva forma o características estéticas o se propone una nueva forma de uso del producto, pero el grado de novedad no es tan alto. En cambio, el nivel de innovación radical puede resultar en innovación de significado o aún más escaso, una innovación tipológica.
- La innovación de significado está en el nuevo significado que se le atribuye al producto, una combinación entre estética y forma de uso que definen una nueva concepción en contraste al producto anterior. Esta innovación de significado normalmente tiene simbolismos semánticos complejos que le dan a la relación usuario-producto un carácter fuertemente emotivo.

- Y, por último, la innovación tipológica, se refiere a la desviación de su arquetipo formal (Rampino, 2011). Por lo tanto, esta clasificación propone romper con la idea tradicional que el usuario ha creado para cada objeto tal como lo conoce y propone nuevos arquetipos basándose en el aprovechamiento de nuevas oportunidades tecnológicas o en los cambios culturales que se dan constantemente y cada vez más rápido.

Un dato muy importante es que las innovaciones incrementales normalmente son bien aceptadas en el mercado puesto que representan arquetipos bien conocidos por el usuario y resultan ser un producto novedoso. En cambio, las innovaciones radicales proponen grandes cambios, que el cliente puede rechazar al no poder interpretar el valor del nuevo producto o totalmente contrario, ser un gran éxito si el usuario detecta un enorme potencial y por ende desea poseerlo. Es por ende “un arma de doble filo”.

Un ejemplo que deja claro este fenómeno de riesgo en la innovación radical puede observarse en el campo de la moda. Actualmente, los diseñadores de moda ven su creatividad bastante limitada: la ropa tiene que adaptarse al cuerpo humano y la necesidad general de la sociedad de conformarse a ciertos códigos de vestimenta lleva a la uniformidad (innovación incremental). Por esta razón, hay pocos diseños nuevos en el mercado que tengan una forma realmente excepcional (Fischer, 2008).

En cambio, cuando se alcanza el éxito en innovación radical se puede encontrar como ejemplo cuando se introdujo al mercado del iPod. En el momento que la empresa Apple, lanzó un dispositivo de almacenamiento digital que permitía guardar miles de canciones, el mercado lo encontró altamente aceptable, dejando fuera el clásico walkman con el que Sony lideraba el mercado de reproducción musical.

Hoy por hoy en cualquier área de negocios, es importante que las empresas ofrezcan un producto o servicio innovador. Las categorías que analiza Rampino nos permiten entender de manera sencilla a qué tipo de innovación pertenecen muchos

productos y que estrategias utilizan las compañías para mantenerse de pie y seguir avanzando. En medio de un ritmo de vida cada vez más acelerado, encontrar la mejor estrategia de diseño se convierte en un proceso más complejo, pues es necesario poner sobre la mesa las variables apropiadas para tomar la mejor decisión sin poner en riesgo el negocio.

1.2. Fotosíntesis

La fotosíntesis, es ampliamente conocida como el proceso de conversión de materia inorgánica a materia orgánica mediante el aprovechamiento de la luz solar. En términos generales, en esta reacción química, el dióxido de carbono (CO_2) y el agua forman azúcares y producen oxígeno en presencia de energía lumínica, purificando así, el medio ambiente. Las plantas utilizan los azúcares producidos en la fotosíntesis como fuente de alimento que es energía para la planta. (Chen López, 2017). En condiciones naturales, el sol proporciona la energía suficiente para iniciar este proceso. Sin el sol no habría fotosíntesis y la vida no sería sustentable (Chen López, 2017).

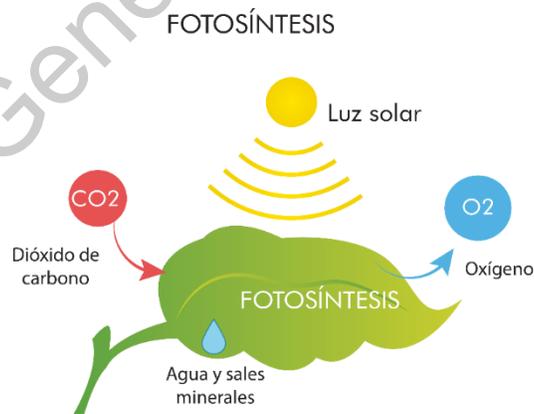


Figura 2: Proceso de fotosíntesis. Elaboración propia. Fuente: (Taggart, Evers, Starr, & Starr, 2009).

En este proceso, la planta recibe del medio ambiente los elementos químicos que integran los compuestos orgánicos, en forma de óxidos, tales como CO_2 , H_2O , NO_3 , SO_4 . Esto implica que antes que la planta pueda aprovechar estos elementos es necesario separarlos del oxígeno; separación que implica consumo de energía (**Figura 2**). Así la fuente de energía requerida para separar el oxígeno de la molécula del agua y poner a disposición de las plantas los átomos de H, es la luz solar (Mora Osejo, 1969).

La luz visible forma parte del espectro de radiación electromagnética del sol. Esta energía radiante viaja en ondas por el espacio como si fueran las olas de un océano. La distancia entre las crestas de dos ondas luminosas sucesivas se llama longitud de onda y se mide en nanómetros (nm). La energía del fotón y su longitud de onda están relacionadas, de modo que todos los fotones que viajan a la misma longitud de onda tienen la misma cantidad de energía. Los fotones con menor energía viajan a longitudes de onda más largas y los de mayor energía viajan a longitudes de onda más cortas. Solo la luz de 380 a 750 nanómetros sirve para la fotosíntesis (Taggart, Evers, Starr, & Starr, 2009).

1.3. Fotocatálisis

La fotocatálisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza (Byrne, 2017). De acuerdo a la Asociación Ibérica de la fotocatálisis, al igual que la fotosíntesis, gracias a la luz solar, es capaz de eliminar CO_2 para generar materia orgánica, la fotocatálisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), monóxido de carbono (CO), metil mercaptano, formaldehído, compuestos orgánicos clorados o compuestos poliaromáticos. Esto mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar como se observa en la **Figura 3** (Asociación Ibérica de la Fotocatálisis, 2018).

Las tecnologías de oxidación avanzada (AOT por su abreviatura en inglés) están ganando atención como una metodología efectiva de tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad de degradar un amplio espectro de contaminantes orgánicos y microorganismos (Byrne, 2017).

La fotocatalisis se puede considerar como uno de los AOT más prometedores debido a sus ventajas específicas, como las condiciones de *reacción blanda*¹, la posibilidad de utilizar oxígeno molecular como especie oxidante, y la mineralización total de contaminantes en sustancias inocuas para el medio ambiente. (Adawiya, 2017).

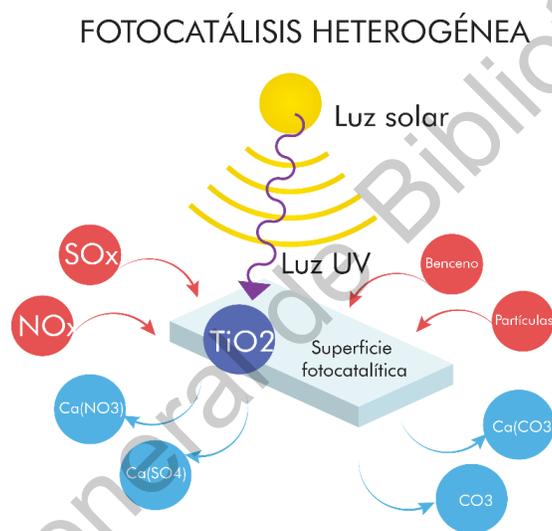


Figura 3: Fotocatalisis heterogénea. Elaboración propia. Fuente: (Asociación Ibérica de la Fotocatalisis, 2018)

A pesar de investigaciones recientes sobre otros fotocatalizadores (por ejemplo, ZnO , ZnS , compositos Semiconductor-Grafeno, perovskitas, MoS_2 , WO_3 y Fe_2O_3), el dióxido de titanio (TiO_2) sigue siendo el fotocatalizador más popular debido a su bajo costo, no toxicidad y alta capacidad oxidante. (Byrne, 2017)

¹ Se aplica el término 'blando' (de la teoría ácido-base duro-blando), a aquellas especies que son grandes, tienen estado de oxidación o carga pequeña, y son fuertemente polarizables (Wikipedia, 2017).

A diferencia de la mayoría de los procesos fotoquímicos, la fotocatalisis heterogénea no es selectiva y gracias a esto, puede emplearse para tratar mezclas complejas de contaminantes. Además, al aprovechar la utilización de la radiación solar como fuente primaria de energía, le da un carácter de valor medioambiental al proceso y representa un claro ejemplo de tecnología sostenible (Blanco Gálvez, y otros, 2018).

1.3.1. Eficiencia

Por su parte, la oxidación fotocatalítica consiste en la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el objeto de formar radicales hidroxilos, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso la oxidación tiene lugar directamente en la superficie de la partícula que se utiliza como catalizador o semiconductor (TiO_2 , entre otros), siendo la radiación solar la única fuente de energía. La fotocatalisis heterogénea mediada por TiO_2 y la fotooxidación mediada por compuestos férricos son dos alternativas atractivas para el tratamiento de aguas (Garcés Giraldo, Mejía Franco, & Santamaría Arango, 2004).

La eficiencia de los materiales fotocatalíticos, como el dióxido de titanio (TiO_2), para degradar contaminantes orgánicos en el aire y el agua se ha estudiado durante más de 30 años. (Adawiya, 2017) Gracias a esto se tiene un amplio conocimiento de sus propiedades y sigue siendo un material en constante análisis.

Uno de los tópicos más investigados es la cinética de la desinfección, focalizada en la utilización de TiO_2 dopado con iones metálicos y aplicación de un campo eléctrico que acelera la desinfección del agua (Christensen, Curtis, Egerton, Kosa, & Tinlin, 2003). Es muy común encontrar resultados de experimentación sobre desactivación de bacterias que reportan el deterioro de paredes celulares e incluso la bacteria entera (Rincón, Giraldo, & Pulgarín).

1.3.2. Aplicación del TiO₂ en diseño

Para la exposición mundial Expo 2015 en Milán, la oficina de arquitectos Nemesi & Partners de Roma diseñaron el Pabellón Italia (**Figura 4**), con una fachada que es a la vez atractiva e innovadora. El exterior del edificio se asemeja a un bosque petrificado; su impresionante cemento especial al mismo tiempo purifica el aire contaminado por el smog de la ciudad. El 80% de la fachada de casi 100.000 metros cuadrados está hecha de material reciclado y alrededor de 2.200 toneladas de cemento. En el techo del pabellón, se encuentran celdas solares, las cuales generan energía durante el día (Noack, 2015).



Figura 4: Pabellón de Italia – Expo Milán 2015. Fuente: Heidelberg Cement (página web).

Un ejemplo de fachada purificante en nuestro país es el Hospital Gral. Dr. Manuel Gea González, que se ubica en la avenida de Tlalpan al sur de la Ciudad de México, en contacto con una de las avenidas más transitadas de la zona.

Este hospital cuenta con el diseño de una fachada fotocatalítica que aprovecha de forma estratégica su posición para captar una enorme cantidad de contaminantes nocivos para la salud, eliminándolos y neutralizando el aire circundante. El diseñador alemán Daniel Swaag, fundador de su estudio de diseño “Elegant Embellishments”, fue el encargado de diseñar esta estructura. Swaag explica, que la forma en general de sus módulos está basada en una estructura

cuasi cristalina no repetitiva, que intenta optimizar la mayor cantidad de flujo de aire a través de ellos, además del tiempo de exposición de la luz solar en todo el día, para elevar su eficiencia (**Figura 5**).



Figura 5: Hospital Gral. Dr. Manuel Gea González. Fuente: prosolve370e.com

1.4. Nanotecnología

La Nanotecnología es una ciencia relativamente nueva, aplicada a muchos campos de investigación. Consiste en el estudio, análisis, estructuración, formación, diseño y operación de materiales a escalas moleculares. La nanotecnología ha sido en los últimos 20 años un importante complemento de la evolución de la ciencia, ya que gracias a los avances del estudio microscópico se han descubierto enigmas médicos y resuelto problemas “Micro” con consecuencias “Macro” (CIENCIA N , 2015).

Comprender cómo se comportan los materiales en escalas de pequeña escala es crucial para el desarrollo de las nanotecnologías futuras y sigue siendo un gran desafío para los físicos teóricos y experimentales por igual. Ahora, un físico en el Instituto de Electrónica, Microelectrónica y Nanotecnología (IEMN) en Villeneuve-d'Ascq, Francia, ha usado la física del siglo XIX para proponer una nueva ecuación "universal", que predice cómo el tamaño afecta las propiedades físicas

clave de estructuras de tamaño nanométrico, que se comportan de forma muy diferente a sus contrapartes macroscópicas (Nanotechnology Now, 2009).

Esta ciencia está cambiando nuestro estilo de vida en los campos de la energía y el medio ambiente, la medicina, la construcción, la ingeniería, el transporte y las telecomunicaciones (Di Sia, 2016). El desarrollo de dispositivos electrónicos cada vez más eficientes, al mismo tiempo van reduciendo en tamaño y esto ha sido posible gracias a la aplicación de esta ciencia. En la fabricación de chips se utiliza esta medida (nanométrica) para medir la separación entre los transistores, que son las puertas lógicas básicas en el tratamiento de la información. La industria de los procesadores ha evolucionado tan rápido que está cada vez más cerca de los límites físicos que permiten estos dispositivos. GlobalFoundries y Samsung han logrado meter ya 30.000 millones de transistores en un chip del tamaño de una uña gracias a una nueva tecnología de 5 *nanómetros*² (Bracero, 2017).

El *grafeno*³ desde hace algún tiempo viene postulándose como el candidato a sustituir el silicio como material en la fabricación de circuitos integrados. Con el grafeno podrían fabricarse dispositivos más pequeños y más poderosos (González, 2014). Otro ejemplo excelente, es el descubrimiento de los *quantum dots*⁴, que son partículas nanométricas luminosas con un espectro de luz visible muy controlable, que ofrecen interesantes posibilidades en el campo del diseño, al permitir a los fabricantes crear pantallas extremadamente delgadas y flexibles con grandes formatos. (Alonso Peinado, 2010).

Esto sólo es un principio de la aplicación actual. Es de esperarse, en un futuro la posibilidad de satisfacer necesidades actuales tan complejas, con dispositivos cada vez más eficientes en múltiples áreas (Barcons Ruiz, 2017).

² 14 nanómetros (14nm) es la tecnología de fabricación de semiconductores, en la que los componentes están fabricados en una 14 milmillonésima parte de un metro (Espeso, 2012). Cada vez se ha hecho posible minimizar el tamaño pasando por 10nm, 7nm y lo más actual 5nm (Bracero, 2017).

³ El grafeno, así como el grafito o el diamante, es una forma alotrópica del carbono, es decir, una forma en la que se presenta este elemento, uno de los elementos más importantes y abundantes en la naturaleza (SEAS, 2012).

⁴ Los puntos cuánticos (quantum dots) son nanopartículas semiconductoras que cuando se exponen a la luz, emiten claramente colores diferentes dependiendo de su tamaño. Son materiales semiconductores que se vuelven fluorescentes cuando resultan excitados por los fotones o electrones. Así, al elegir un material determinado y un cierto tamaño, los investigadores pueden sintonizar con precisión la longitud de onda de la luz emitida y, en consecuencia, el color de la misma (Alonso Peinado, 2010).

En materia de sustentabilidad, la nanotecnología también es un agente de innovación clave para el futuro, pues con el desarrollo de tecnologías que requieran menor energía se ahorrarían muchos recursos, sobre todo energía. Por ejemplo, actualmente se trabaja en investigación para mejorar la conversión y el almacenamiento de esta.

En la última década, los avances de la nanotecnología han permitido desarrollar nuevos productos con base de TiO_2 que ha aumentado significativamente la efectividad del mismo. Esto ha permitido reducir los costes, posicionándolo de forma muy competitiva en el mercado. El desarrollo de nuevas suspensiones y revestimientos aportan un nuevo escenario de desarrollo industrial para sus distintos usos (Escuadra, Gómez, Lasheras, Bezdicek, & Ormad, 2015).

1.5. Contaminación de agua y aire

De acuerdo a las posibilidades que ofrece la fotocatalisis, se detectan problemas clave de carácter ambiental, como áreas de oportunidad que pueden ser atacados. Un problema importante que enfrentan las sociedades modernas y que amenaza la salud de la humanidad es la contaminación de agua y aire. Diariamente, las actividades civiles, industriales y militares crean una enorme cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos que inevitablemente terminan en nuestra atmósfera, ríos, mares y suelos. Además, el crecimiento y depósito de microbios en superficies tales como paredes, ventanas y mesas representan una amenaza sustancial para la salud humana. La exposición continua a estos contaminantes puede ocasionar problemas de salud variados, como irritaciones y efectos tóxicos, y otras enfermedades respiratorias o de la piel (Adawiya, 2017).

La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de los compuestos químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos. La contaminación del agua es un hecho de gran importancia ya que los contaminantes pueden acumularse y transportarse

tanto por las aguas superficiales como subterráneas para las cuales la fuente principal de daño son las aguas residuales municipales e industriales (Garcés Giraldo, Mejía Franco, & Santamaría Arango , 2004).

La protección y conservación de los recursos naturales constituyen hoy en día una de las principales preocupaciones sociales. Entre estos recursos se destaca en primer lugar el agua como un bienpreciado y escaso, lo que conduce a su adecuado uso y reciclaje, debido a que las normas legales imponen criterios cada vez más estrictos para obtener una mayor y mejor depuración de las aguas que están contaminadas con altas concentraciones de pesticidas, metales pesados y colorantes, entre otros contaminantes (Garcés Giraldo, Mejía Franco, & Santamaría Arango , 2004).

La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2.100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes (PNUD, 2015).

De acuerdo al Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017, las aguas residuales se componen aproximadamente de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, coloidales y en suspensión. Aunque, como es obvio, la composición exacta de las aguas residuales oscila en base a las diferentes fuentes y al tiempo, pero el agua sigue siendo, con diferencia, el principal componente.

Ahora bien, el Informe de Calidad del aire en la Ciudad de México (2016), señala que, el deterioro de la calidad del aire es un tema de relevancia en términos de salud pública. Los efectos adversos en la salud relacionados con la contaminación del aire incluyen afecciones respiratorias, cardiovasculares, reproductivas, neurológicas, cáncer y mortalidad prematura, entre otros (Retama Hernández, 2016). Estos son los principales contaminantes encontrados en el aire:

- Dióxido de azufre. Es un contaminante gaseoso generado durante la quema de sustancias que contienen azufre, en ambientes urbanos la quema de combustibles fósiles es la principal fuente. Sus efectos se relacionan con problemas funcionales respiratorios.
- Dióxido de nitrógeno. Es un contaminante gaseoso que, junto con el óxido nítrico, forma parte de la familia de los óxidos de nitrógeno. Se emite en menor cantidad durante los procesos de combustión en diversas fuentes (autos industria y domésticas), la mayor contribución proviene de la formación secundaria en la atmósfera. Se vincula este contaminante con problemas respiratorios como la disminución pulmonar, asma, el aumento en la respuesta de las vías respiratorias y la inflamación pulmonar.
- Monóxido de carbono. Es un contaminante del aire que tiene una fuerte afinidad para unirse con las proteínas responsables del transporte del oxígeno (hemoglobina y mioglobina) el monóxido de carbono es responsable de los efectos tóxicos asociados a la reducción en el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Las personas con insuficiencia en el suministro de sangre al corazón son particularmente susceptibles a los efectos del monóxido de carbono.
- Ozono. Es un compuesto altamente activo y un agente oxidante fuerte, se forma mediante reacciones fotoquímicas entre los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno, en presencia de luz solar. El ozono, o sus productos de reacción, pueden penetrar en la región de intercambio gaseoso del pulmón, cuando entra en contacto con el tracto respiratorio reacciona con los tejidos causando daños en las vías respiratorias.
- Partículas suspendidas. Son un complejo grupo de contaminantes con una gran variedad de características físicas, químicas y biológicas. Pueden organizarse de fuentes asociadas a la actividad humana (quema de combustibles fósiles, actividades de construcción, minería agricultura, etc.) o naturales (como los incendios forestales, el polen y las erupciones volcánicas). Hay una relación causal entre la exposición a partículas finas (PM2.5) con los efectos cardiovasculares y el incremento de la mortalidad.

Existen muchos métodos de monitoreo de contaminantes, sin embargo, a medida que se avanza en su investigación, se presentan cada vez nuevos retos, que plantean nuevos cuestionamientos científicos que a su vez demandan soluciones novedosas (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2017).

La Organización de las Naciones Unidas, presentaron el 25 de septiembre de 2015 un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.

El acceso a instalaciones de agua y saneamiento es importante en todas las facetas de la dignidad humana: desde la seguridad alimentaria y energética hasta la salud humana y medioambiental, el agua contribuye a mejoras en el bienestar social y el crecimiento inclusivo, y repercute en los medios de subsistencia de miles de millones de personas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016).

“Con el fin de garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene en todos los niveles” es lo que propone la ONU y que define el Objetivo 6 acerca del Agua limpia y Saneamiento. Si queremos mitigar la escasez de agua, es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como los bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo.

1.6. Biomimética

De acuerdo al Instituto de Biomimética (Biomimicry Institute), el biomimetismo es un enfoque de la innovación que busca soluciones sostenibles a los desafíos humanos al emular patrones y estrategias probados por la naturaleza. Los innovadores de todo tipo de ámbito, ingenieros, administradores, diseñadores, arquitectos, líderes de negocios y muchos más pueden utilizar a la biomimética como una herramienta para crear diseños más sustentables (Rocha Rangel, Rodríguez García, Martínez Peña, & López Hernández , 2012). Al imitar estos diseños o inspirarse en ellos, su objetivo es proporcionar soluciones a los problemas de las personas (Tavsan & Sonmez , 2015).

La naturaleza, es una gran fábrica, donde las fallas se mantienen al mínimo, eligiendo el material más adecuado para el propósito, recicándolo e incluso cambiando cada ingrediente según las condiciones lo imponen. La denominación de este concepto se hizo por primera vez en la década de 1950 por el biofísico estadounidense Otto Schmitt cuando se utilizó el término "Biomiméticos". Janine Benyus popularizó la Biomimética en su libro de 1997 *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (Kramer, 2016).

A pesar de que el hombre siempre ha observado la naturaleza, formalmente es una nueva rama de la ciencia, que ha comenzado a tomar mayor atención y es seguro que en un futuro estará tomando cada vez mayor impacto en materia de innovación de desarrollo. Plantas y animales, su estructura orgánica o sus comportamientos, todo puede ser objeto de estudio para plantear un modelo sintético con un alto nivel de aprovechamiento.

Podemos encontrar una amplia gama de objetos de diseño inspirados en estructuras orgánicas, tanto en forma como función, incluso en la arquitectura y el diseño de interiores. La ingeniería mecánica, mantiene constante por ejemplo el objetivo de otorgarle a un dron o un robot, el movimiento más natural posible imitando ya sean la resistencia al viento de un ave en pleno vuelo o las articulaciones del cuerpo humano, respectivamente. Este método les permite a los

diseñadores adquirir un vasto conocimiento, pues durante mucho tiempo, los organismos han resistido la prueba del tiempo y han perfeccionado sus procesos a través de la selección natural (Kramer, 2016).

Este método, es totalmente aplicable a la resolución de uno o varios problemas detectados en este estudio, como la mecánica de fluidos con relación a la interacción dispositivo-viento, por ejemplo, o a definir cuál es la mejor forma de retener y extender el agua sobre la superficie purificante. La biomimética es útil si se ha identificado el problema en el proyecto y se cree que es probable que haya una solución orgánica (Kramer, 2016). Otra analogía reconocible, puede ser la comparación del proceso de fotosíntesis, que se da de manera natural y la fotocátalisis como mecanismo sintético, que a la par purifica el medio ambiente.

1.6.1. Metodología de la Biomimética

A continuación, se describe de acuerdo con Julia Kramer, la metodología aplicada a la resolución de problemas por medio de la biomimética, sus beneficios y sus límites o riesgos.

Podemos partir de la inspiración de la naturaleza para imitar un proceso o producto. Sin embargo, puede ser, al contrario, cuando se busca resolver un problema que la naturaleza ya tiene resuelto (Kramer, 2016):

- El primer paso siempre es definir qué se quiere solucionar, y para ello se debe ser muy cuidadoso en la forma de cuestionar los aspectos más relevantes a solucionar o los límites que deseamos ampliar.
- El segundo paso es preguntarse cómo sucede en la naturaleza. Para ello debemos poner en contexto el problema, por ejemplo, si se trata de optimizar el aterrizaje aéreo podemos plantear la forma en que descienden diferentes aves, como la caída de un águila al definir la posición de su presa y preguntarnos, porqué desciende en forma de espiral en lugar de línea recta.

- El tercer paso es, explorar cómo tu desafío se ha resuelto en la naturaleza. En este paso, se necesita mucha investigación para identificar procesos naturales que se mantengan fieles a su desafío. Esto requiere comparar y contrastar cada proceso para identificar cuáles están más cerca del desafío en cuestión.
- El cuarto paso es identificar y adaptar soluciones naturales exitosas. En este paso es momento de explotar la creatividad, buscando ajustar la solución detectada en la naturaleza, al tamaño y las cualidades de tu reto. Es aconsejable realizar una extensa lluvia de ideas graficas analizando múltiples posibles conexiones para emular la solución.

1.6.2. Desafíos clave

Se pueden definir al menos dos desafíos clave, el primero es lograr definir la relación entre el proceso natural con el problema a solucionar; y el segundo, cuando se logre una analogía exitosa, desarrollar la validación por medio de la experimentación. Se deberá ser crítico a la hora de definir si se logró una solución biomimética o no y de no ser una aplicación aprobatoria, entonces se deberá redefinir el contexto para generar una nueva propuesta y posteriormente evaluar. Como en muchas de las metodologías en diseño, este se vuelve un proceso iterativo que cuando se llega a una verdadera solución, parecen ser ideas sumamente ingeniosas.

En la siguiente tabla se enlistan los beneficios y los límites que comúnmente se identifican al implementar esta metodología. Cada proyecto puede presentar diferentes características dependiendo de su naturaleza.

Tabla 1: Beneficios y Límites/ Riesgos de la Biomimesis (Julia Kramer, 2016)

| BENEFICIOS | LÍMITES / RIESGOS |
|-----------------------------|--|
| Lleva a soluciones exactas. | Las soluciones pueden ser complicadas, porque los sistemas biológicos son complicados. |

| | |
|---|--|
| Es aplicable en circunstancias inusuales. | El prototipado real puede ser difícil, ya que los materiales biológicos son difíciles de recrear con precisión. |
| Es particularmente útil en entornos de diseño sostenible, donde el equipo intenta crear soluciones más respetuosas con el medio ambiente. | Localizar una solución de la naturaleza puede requerir mucho análisis y puede no ser una tarea intuitiva o sencilla. |
| Se ha demostrado que las soluciones funcionan, ya que la naturaleza tiene éxito. | Al usar este método se debe buscar eficazmente el punto de vista más adecuado. Por ejemplo, en el desarrollo de aviones, la clave del vuelo no radica en la función de aleteo real de las alas, sino en la elevación aerodinámica que utilizan las alas. |
| Puede proporcionar más información (sobre otros aspectos del proyecto). | Es posible que no siempre haya soluciones usando este método. |
| Puede motivar más pasos del diseño y descubrir alguna otra dirección. | |

Es recomendable mantener cierto nivel de empatía, y entusiasmo además de habilidades sumamente activas que serán herramientas útiles de apoyo para este tipo de investigación.

1.7. Materiales cerámicos

Donald Askeland (1998), en su libro Ciencia e Ingeniería de los materiales establece que, los materiales cerámicos son compuestos químicos o soluciones complejas, que contienen elementos metálicos y no metálicos. Por ejemplo, la alúmina (Al_2O_3) es un cerámico que tiene átomos metálicos (aluminio) y no metálicos (oxígeno). La composición química de los materiales cerámicos varía considerablemente, desde los compuestos simples hasta mezclas de muchas fases complejas enlazadas (Smith & Hashemi, 2006). Debido a sus enlaces iónicos y covalentes, los materiales cerámicos por lo general son duros, frágiles, con un alto punto de fusión, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, buena estabilidad química y térmica, y elevada resistencia a la compresión (Askeland, 1998), que explican por qué son ampliamente utilizadas en productos de construcción (artículos sanitarios, baldosas y pavimentos, ladrillos, azulejos) y artículos domésticos (vajilla,

objetos decorativos, cerámica) (Boch & Niepce , 2007). En la mayoría de estas aplicaciones el producto tiene una propiedad esencial o una combinación particular de propiedades que no puede ser obtenida con ningún otro material; siendo esto la base de su elección.

A pesar de esto, es importante observar que los defectos inevitablemente presentes en la estructura, pueden hacer que el material falle por su fragilidad, que el tamaño y el número de las imperfecciones difieren en cada pieza individual y que las propiedades mecánicas solo pueden describirse de manera estadística. Por estas razones, el comportamiento mecánico de los materiales cerámicos es menos predecible que los de los metales, por esta característica, su uso en aplicaciones críticas de alta resistencia es muy limitado. (Askeland, 1998).

1.7.1. Materias primas

En los tiempos primitivos y tempranos de esta industria, las únicas materias primas para la alfarería fueron las arcillas plásticas naturales. En la cerámica moderna muchas otras materias primas juegan un importante papel, pero el de la arcilla es todavía un papel principal. El término “arcilla” se aplica a aquellos depósitos térreos naturales que poseen la singular propiedad de la plasticidad (Singer & Singer, 1984).

De acuerdo a William F. Smith (2006), los componentes principales de la pasta cerámica se dividen en materias plásticas y no plásticas, con características específicas que, en diferentes proporciones determinan el tipo de material cerámico. De esta forma establece lo siguiente:

Materias Plásticas

Arcillas naturales de una o más variedades para poder conseguir mejores propiedades. Desde el punto de vista mineralógico su composición es mayoritariamente caolinita con montmorillonita como componente subordinado. Suelen acompañar halloysita, illita y pirofilita, además de los minerales no arcillosos como cuarzo, feldespato, micas y vidrio volcánico. Las arcillas plásticas a menudo se clasifican de acuerdo con el tamaño de partícula (Askeland, 1998).

La conformación de la pasta cerámica más conveniente, mediante la mezcla de arcillas y otros minerales, es una práctica de uso propia de cada industria para cada producto. Las especificaciones de la materia prima son establecidas en función de la tecnología empleada y el destino del producto a elaborar.

Las pastas cerámicas deben tener características tales que permitan su conformación en crudo, un secado satisfactorio y de buena calidad, adecuada resistencia, temperatura de fusión ajustada, y otras características específicas de acuerdo con el producto final. En la fabricación de lozas, las especificaciones referidas al color son menos exigentes debido a la cobertura con esmalte que se realiza a la pieza (Smith & Hashemi, 2006).

1.7.1.2. Materias no plásticas.

Materias que se agregan a las arcillas para disminuir su excesiva plasticidad, rebajar su temperatura de cocción, aumentar su porosidad, colorear o recubrir de esmalte las piezas. Se utilizan los siguientes tipos:

- Desgrasantes:

Materiales arenosos que reducen la excesiva plasticidad de algunas arcillas, ya que no retienen agua y disminuyen su adherencia al estar húmedas, lo que dificulta su manejo y moldeo. La retracción es menor al secarse la pasta. Se deben añadir finamente molidos para no quitar homogeneidad. Los más utilizados son:

- La arena de cuarzo (SiO_2) o anhídrido silícico, que puede estar presente en la propia arcilla o añadirse. Aumenta de volumen al elevar la temperatura reduciendo la contracción de la pasta, aunque un calentamiento brusco produce una expansión violenta que podría romper la pieza.
- El feldespato potásico que da transparencia a las porcelanas y lozas y sirve también para fabricar esmaltes cerámicos.
- La chamota o barro cocido es el más utilizado y económico por proceder de piezas rotas o defectuosas que se pulverizan añadiéndose a la arcilla y no se contrae al volverse a cocer.
- Escoria granulada.

- Fundentes:

Se añaden a la pasta para reducir la temperatura de cocción ya que bajan el punto de fusión del material, abaratando costos y permitiendo la parcial vitrificación de las piezas. Los más utilizados son:

- Carbonato cálcico, que muy frecuentemente es impureza de la arcilla, no siendo necesario añadirlo. El aporte calizo es, sin embargo, perjudicial para la pieza y conviene reducirlo o molerlo finamente.
- El feldespato potásico que da transparencia a las porcelanas y lozas y sirve también para fabricar esmaltes cerámicos.
- Óxidos de hierro. También se usan sosa y potasa.

- Materiales quemantes:

Se añaden a la pasta con el fin de aumentar la porosidad y favorecer la sinterización uniforme de la pasta cerámica. Se utilizan materiales orgánicos como el serrín o carbón (lignito) que al quemarse en el horno dan piezas de alta porosidad y poco peso.

- Materiales plastificantes.

Se añaden para aumentar la plasticidad de la pasta cerámica. Se usan arcillas de alta plasticidad y sustancias tensoactivas (Hidróxido, carbonato o silicato sódico, cal, oxalato, humus, etc.). La dosificación de estas materias primas depende del tipo de producto a conseguir, clasificados de acuerdo a su permeabilidad y grado de vitrificación, o vidriado parcial en sus caras en productos cerámicos porosos, semipermeables e impermeables. Los materiales cerámicos se obtienen a partir de distintos tipos de arcillas, que son rocas sedimentarias de origen mecánico formadas en la fase detrítica de partículas muy finas (Smith & Hashemi, 2006).

1.7.2. Moldeado

Las cerámicas de silicato se pueden formar de varias maneras: moldeando en un molde una suspensión de agua llamada deslizamiento, por extrusión o formación de una pasta plástica, o por prensado unidireccional o isostático de agregados ligeramente húmedos.

La cantidad de agua contenida en la muestra depende del método de formación. En general, el agua se elimina durante un tratamiento de secado específico. La parte bruta se transforma en cerámica por sinterización, también llamada cocción, llevada a cabo en condiciones adecuadas de temperatura, velocidad de calentamiento y atmósfera. Dependiendo de la aplicación, esta cerámica, también llamada fragmento, puede ser densa o porosa, blanca o de color (Boch & Niepce , 2007).

La arcilla es la materia prima básica para estos productos (Singer & Singer, 1984). Mezclado con agua, puede formar una pasta plástica similar a la utilizada por el alfarero en su rueda. Aunque es fácil de formar, esta pasta a menudo muestra una resistencia mecánica insuficiente para permitir su manipulación sin dañar la preforma. Debido a la naturaleza coloidal de la arcilla, una pasta relativamente pura es baja en materia sólida. Por lo tanto, se contrae significativamente durante el

secado y la sinterización, lo que dificulta el control de la forma y las dimensiones de la pieza final. Para limitar todos estos efectos, se pueden agregar productos no plásticos, así como los temperamentos a la pasta. Luego forman un esqueleto inerte y rígido que mejora la resistencia mecánica de la preforma, favorece la eliminación del agua durante la etapa de secado y limita la contracción por sinterización. Entre los temperamentos comúnmente utilizados, podemos mencionar arena, feldespatos, ciertos compuestos ricos en cal o grog (una pasta sinterizada y molida de antemano).

1.7.3. Sinterización

La sinterización es el corazón de los procesos cerámicos. Sin embargo, dado que la sinterización tiene lugar solo en la última de las tres etapas principales del proceso (polvos → formación → tratamientos térmicos), es el proceso con más dedicación en obras escritas, mucho mayor que el dedicado a etapas de preparación de polvos y formación. Esto es quizás porque la sinterización implica consideraciones científicas más directamente, mientras que las otras dos etapas a menudo enfatizan observaciones más técnicas, en el mejor sentido posible del término, pero con secretos de fabricación y aspectos de propiedad industrial que no son compatibles con la diseminación del conocimiento (Boch & Niepce , 2007).

La sinterización a menudo revela defectos causados durante las etapas anteriores, que son generalmente optimizados con respecto a la sinterización, que los perfecciona; por ejemplo, la granularidad de los polvos influye directamente en la densificación y el crecimiento del grano, por lo que el éxito del tratamiento con polvo se valida mediante las prestaciones de la pieza sinterizada. La sinterización se acompaña de considerables efectos dilatométricos, con fuertes variaciones en la porosidad: los poros y defectos debidos a expansiones diferenciales son inherentes a las microestructuras cerámicas; son más raros en metales preparados por deformación plástica o mecanizado.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2. JUSTIFICACIÓN

La fotocatalisis es una tecnología que podría aportar soluciones innovadoras para la desinfección del agua. Así, por ejemplo, la aplicación de un sistema fotocatalítico después de un tratamiento físico como la filtración, representa un acople con gran potencial para eliminar tanto los microorganismos elementos tóxicos presentes en el agua (Rincón , Giraldo, & Pulgarín).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en junio del 2012, se reconoció la necesidad de reutilizar de agua residual tratada y de la captación y almacenamiento de agua, para el desarrollo de las actividades de comunidades que se encuentran en situaciones vulnerables. Ya que las actividades rurales desempeñan un papel importante en los países en desarrollo. Se prevé que la demanda de agua aumente de forma significativa en las próximas décadas en el mundo entero. Además de la demanda de agua en el sector agrícola, que es actualmente responsable del 70% de la captación de agua a nivel mundial, se prevén grandes aumentos en la demanda de agua, en particular para la industria y la producción de energía (WWAP, 2015).

En promedio, los países ricos tratan aproximadamente el 70% de las aguas residuales que generan, mientras que dicha proporción se reduce al 38% en los países con rentas medio-altas y al 28% en los países con rentas medio-bajas. En los países pobres solo recibe algún tipo de tratamiento el 8% de las aguas residuales industriales y municipales (Sato et al., 2013). Esto exaspera la situación de los pobres, especialmente en los barrios marginales, donde se hallan directamente expuestos a las aguas residuales no tratadas como resultado de la falta de servicios hídricos y de saneamiento (WWAP UNESCO, 2017).

Es importante destacar la necesidad de enfrentar el problema de la contaminación ambiental, como prevención y control de enfermedades no transmisibles como es el cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias crónicas.

Para dar a respuesta a estos problemas será fundamental el trabajo de la tecnología y su trabajo de la mano con el diseño. Ya que la tecnología parte de la condición humana, al satisfacer sus necesidades y ampliar sus capacidades, ésta no puede separarse de la actividad del diseño, el cual siempre será fundamental para el ser humano. Juntos trabajan por definir el problema y desarrollar una solución. La parte que se ajusta al problema, es usualmente el dominio de la Ingeniería. Mientras que la parte que se ajusta a la persona, es usualmente dominio del diseño (Bustelo, 2016).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

De acuerdo a las propiedades del material cerámico, además de las propiedades del TiO_2 como agente fotocatalizante, será posible diseñar un módulo que por su forma y superficie sea capaz de aprovechar el efecto purificante para limpieza de agua y aire.

3.2. Objetivo general

Desarrollar un prototipo a escala del dispositivo que demuestre la purificación de agua y aire mediante fotocatalisis heterogénea con exposición a la luz solar.

3.3. Objetivos particulares

- Elaborar metodología de diseño específica para la construcción del prototipo.
- Construcción de módulos a escala como evaluación de contacto agua-superficie.
- Aplicación de la biomimética en el diseño del módulo para encontrar la mayor eficiencia de la actividad fotocatalítica al diseño del dispositivo. (superficial y topográfica).

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El propósito de este trabajo fue determinar si era posible aprovechar las propiedades del TiO_2 sobre la superficie porosa de un material cerámico. Para probar esto, se diseñó una pared modular con propiedad purificante activada por medio de fotocatalisis heterogénea. Su desarrollo se basó en la identificación de las condiciones necesarias de desempeño y para validar esto se creó un dispositivo piloto a escala.

Para la construcción de este prototipo, se utilizó pasta cerámica de loza comercial para dar forma a los módulos. Este material cuenta con las características ideales para el proyecto; por su versatilidad para tomar infinidad de formas, su bajo coeficiente de dilatación térmica al exponerse a exteriores y por su bajo costo.

En la **Figura 6** se determina el orden de los pasos seguidos en esta experimentación, si bien, este proceso no es iterativo en la parte de diseño, es porque el desarrollo sigue datos específicos de las características de la tecnología y el material, así como sus respectivas pruebas de desempeño.

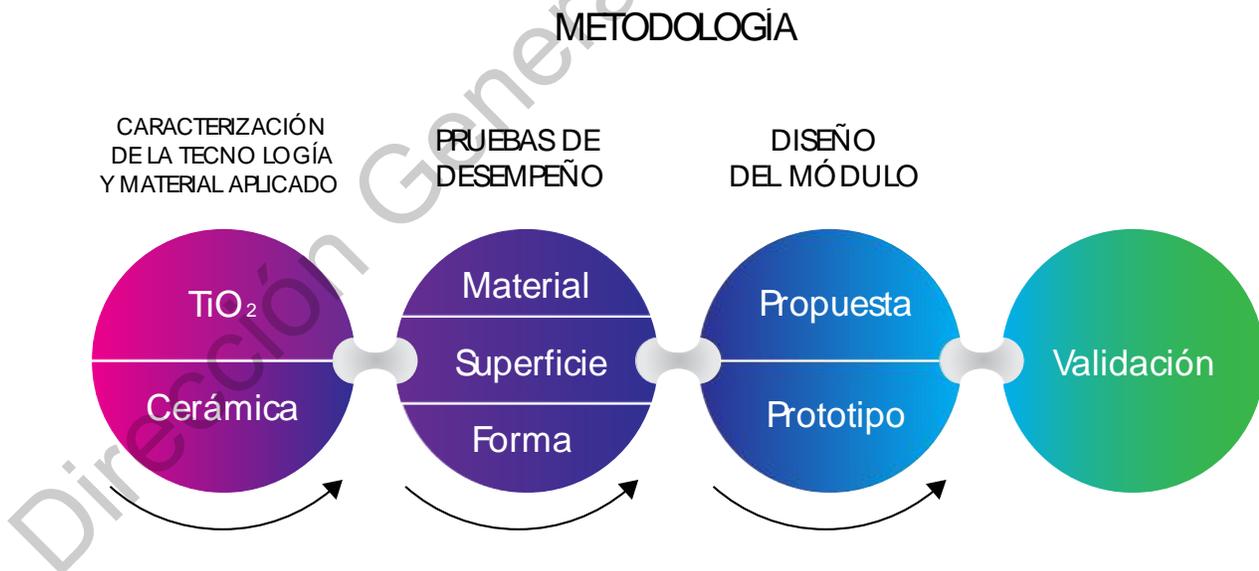


Figura 6: Metodología de la experimentación

A continuación, se presentan las características más relevantes a considerar para el desarrollo de este proyecto:

DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)

El óxido titánico es un óxido metálico formado por:
1 átomo de titanio + 2 átomos de oxígeno.



Características:

El óxido de titanio (IV) es un polvo cristalino de color blanco que es muy frecuente y abundante en el planeta Tierra cuya fórmula química es (TiO₂).

El titanio es un metal que se halla muy difundido en la corteza terrestre, de hecho es uno de los más abundantes y que presenta numerosas aplicaciones técnicas debido a su resistencia a la corrosión y a su ligereza.

Propiedades

Las principales propiedades del dióxido de titanio (TiO₂) son:

Densidad: 4,2 g/cm³.

Masa molar: 79,86 g/mol.

Punto de fusión: 1830 °C.

Punto de ebullición: 2500 °C.

Usos del dióxido de titanio

Nomenclatura sistemática: dióxido de titanio

Nomenclatura stock: óxido de titanio (IV)

Nomenclatura tradicional: óxido titánico

Tipo de compuesto: óxido metálico (metal + oxígeno)

Serie trimórfica del dióxido de titanio.

Las tres especies de minerales que forma el dióxido de titanio TiO₂ son: rutilo, anatasa y brookita.

Por su naturaleza, el rutilo se utiliza principalmente en desarrollo de soldaduras, pigmentos, catalizadores y joyería. Mientras que la anatasa se sintetiza para su uso en tecnología de células fotovoltaicas. La brookita tiene importancia en tecnología fotovoltaica y como catalizador, por lo que se la sintetiza para su aplicación industrial.

Entre las principales aplicaciones del óxido de titanio (IV) se encuentran:

Industria cosmética.

Agente blanqueador.

Industria farmacéutica.

Industria de la cerámica.

Producción de pinturas y plásticos.

Figura 7: Características del Dióxido de Titanio. Fuentes: gpsmineral.com y formulacionquimica.com

Teniendo definida la tecnología (**Figura 7**), para su mejor aprovechamiento el diseño debió seguir ciertos requerimientos definidos tanto por el TiO₂ como por los fines de uso.

De acuerdo a los requerimientos del aprovechamiento tecnológico, el módulo debe:

- Soportar en su superficie el TiO₂ aplicado.
- Lograr captar la mayor cantidad de luz solar.
- Aprovechar al máximo el flujo de agua sobre la extensión de TiO₂.
- Aprovechar el flujo de aire sobre su superficie.

De acuerdo a los requerimientos de uso, el módulo debe:

- Ser una pieza de auto ensamble
- Ser fácilmente manipulable por el usuario
- Ser una pieza adaptable a proyectos arquitectónicos.
- Considerar su instalación de flujo de agua
- Ser adaptable a espacios en la intemperie.

Hasta este punto, lo anterior llevo a definir las pruebas de desempeño, de las cuales sus resultados serían importantes para el desarrollo del módulo cerámico. Como ya hemos visto, el TiO_2 es un fotocatalizador que actúa en presencia de luz ultravioleta, ya sea inducida o proveniente de la luz solar. Además, necesita estar soportado a una superficie que evite su disolución y pérdida en la fase acuosa.

El siguiente paso después de estas evaluaciones fue el diseño de la pieza, la elaboración de su prototipo a escala y su respectiva validación. A continuación, se describen los pasos experimentales que se siguieron en cada evaluación, comenzando por las pruebas de desempeño, ya que las características de la tecnología ya están definidas.

4.1. Evaluación de material cerámico

La utilización de partículas de TiO_2 , implica la aparición de sólidos suspendidos, por lo que se deberían tomar distintas medidas para que no se pierdan en el flujo de agua. Sabiendo que, el TiO_2 en forma anatasa tiene dimensiones nanométricas, éste debería ser filtrado del agua que sea tratada, algo que sería sumamente costoso, o hacer que estas partículas crezcan en tamaño, sin embargo, de esta forma se perdería su capacidad purificante. Por ello la mejor opción es adherirlo a soportes que puedan mantenerlo fijo (Garcés Giraldo, Mejía Franco, & Santamaría Arango, 2004). Es por esta razón que se propone una superficie cerámica al ser un material inorgánico (no es degradado por el TiO_2), ligero, reciclable y sobre todo poroso. Ahora bien, se eligió la pasta cerámica comercial K-44 para el diseño de nuestras piezas.

Los objetivos de análisis principales con este material fueron identificar la porosidad ideal tanto para mantener adheridas las partículas de dióxido de titanio como determinar la de mayor desempeño de purificación.

Los objetivos de la evaluación de material cerámico, considerados factores importantes en contrato del TiO₂ fueron identificar: el mejor soporte de adherencia y el mayor desempeño purificante.

El primer paso antes de comenzar esta evaluación fue preparar las muestras de distintas porosidades. Para ello, se mezclaron en diferentes cantidades pasta y aserrín (como quemante). La **Figura 8** indica que en este paso se necesitó: un molde, los respectivos vaciados con diferentes recetas de pasta y posteriormente su sinterizado.



Figura 8: Preparación de muestras

4.1.1. Preparación de muestras

En la **Tabla 2** se especifican las cantidades de cada mezcla y la concentración en porcentaje del aserrín añadido:

Tabla 2: Preparación de muestras

| Muestra | Pasta cerámica (cm ³) | Aserrín (cm ³) | Concentración de aserrín (%) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| N | 200 | 0 | 0 |
| P1 | 180 | 20 | 10 |
| P2 | 160 | 40 | 20 |
| P3 | 150 | 50 | 25 |

La muestra N, no contiene aserrín. Esta representa el parámetro del que se deriva la variación de porosidad. Con respecto a esta pieza, se analizaron las demás muestras. En la Figura

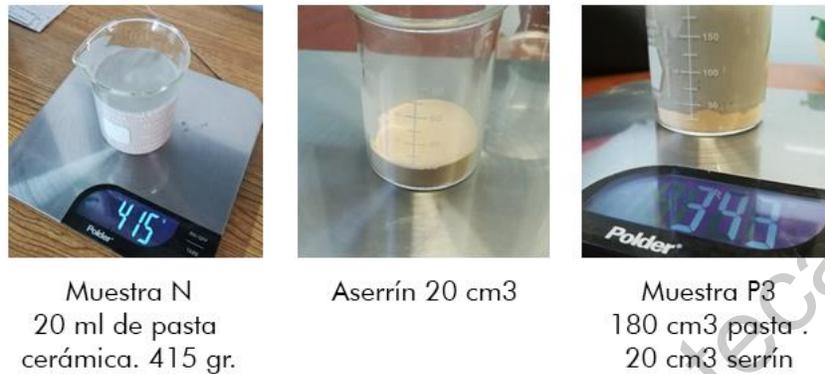


Figura 9: Fotografías de muestras N y P3. Se observa que ambas tienen el mismo volumen y distinto peso.

De cada muestra se obtuvieron por vaciado (**Figura 10**) 3 piezas, a excepción de la muestra M3, que por el espesor de la mezcla solo se consiguió una pieza. El tiempo de reposo que se le dio a la pasta en los vaciados fue de 5 minutos, obteniendo un espesor de pared promedio de 5 mm.



Figura 10: Vaciado de piezas muestra

La sinterización se realizó en un taller cerámico, donde quemaron piezas de la misma temperatura, 1050°C. se observó notablemente que las piezas con mayor cantidad de aserrín tenían un menor peso comparado con la muestra de pasta normal (N).

4.1.2. Prueba de desempeño sobre cerámica.

Esta prueba de desempeño tuvo como objetivo analizar el comportamiento del dióxido de titanio sobre las diferentes superficies porosas y detectar la que presento mayor degradado de indicador contaminante que en este caso fue rojo de metilo.

Los pasos que se siguieron en esta etapa de experimentación fueron:



Figura 11: Pasos de desarrollo en las “Pruebas sobre muestras cerámicas”

Ya sinterizadas las muestras, se procedió a ser recubiertas con una solución de dióxido de titanio como se ve en la Figura

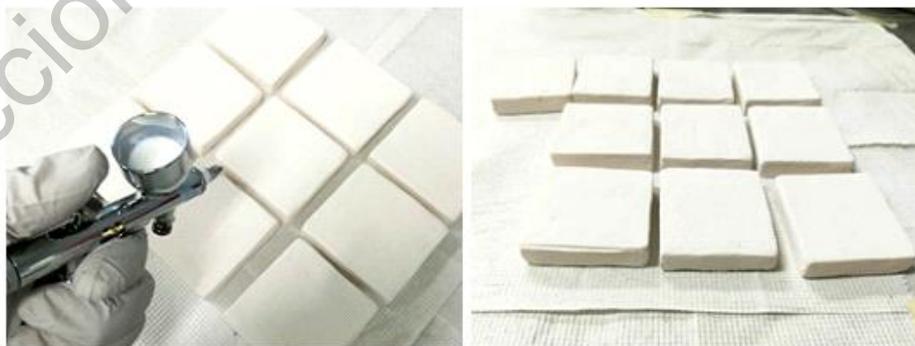


Figura 12: Aplicación de dióxido de titanio sobre las piezas muestra

Las piezas sinterizadas se separaron como se muestra en la **Figura 13**. En las primeras muestras, M1 y M2, se analizó el desempeño fotocatalizante del dióxido de titanio. Las muestras M3 se separaron para practicarles la prueba de adherencia. Ya que de la muestra P3 solo se contaba con una pieza, ambos procesos se realizaron dividiendo el área disponible en dos partes.

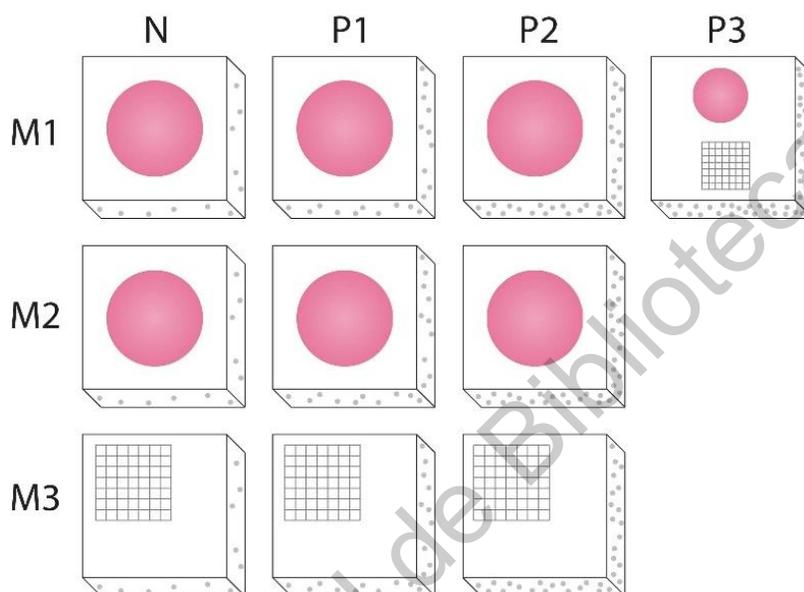


Figura 13: Separación de muestras cerámicas

Para la tercera semana se tenían resultados visibles para concluir esta parte de la experimentación. Después de esto se dejaron reposar todas las pruebas dentro del laboratorio para observar el comportamiento de las muestras sin ser expuestas a los rayos solares.

4.1.3. Prueba de adherencia

Por otro lado, la prueba de adherencia se realizó sobre las terceras muestras (M3), siguiendo el procedimiento de la Norma internacional ASTM D3359 (Método

de prueba estándar para la adhesión de clasificación mediante cinta de prueba). A continuación, se describen los pasos establecidos por este procedimiento:

1. Seleccionar un área libre de manchas, y con la menor cantidad de imperfecciones.
2. Para este caso, que el espesor del aditivo sobre la superficie es menor a 2 mm, se debe realizar sobre la superficie once cortes paralelos de longitud de 20 mm con separación de 2 mm en forma perpendicular de manera que se genere una cuadrícula.
3. Después de realizados los cortes, se debe limpiar la superficie con un pincel suave para retirar las impurezas que los cortes puedan generar.
4. Ahora se debe inspeccionar que los cortes atraviesen completamente la película sobre la superficie. Si no se observa satisfactoriamente la penetración de las incisiones, entonces se debe realizar una cuadrícula más en otra área libre de la superficie.
5. Después de ello se procede a cortar tres pulgadas de cinta adhesiva (con ancho de 1 pulgada y adherencia de 40 +/- 2.5 Oz/in) y se coloca sobre la cuadrícula, presionándola suavemente con la goma elástica; el color bajo la cinta es un buen indicador de presión uniforme.
6. Se remueve la cinta del extremo libre de la aplicación, en contrasentido, formando en lo posible un ángulo de 180°. Se inspecciona el área de la cuadrícula y se analiza el grado de adherencia de acuerdo a la siguiente escala:

Tabla 3: Evaluación de desprendimiento (Norma internacional ASTM D3359)

| Escala | Desprendimiento |
|---------------|---|
| 5B | Ninguno de los cuadros ha sido removido |
| 4B | Menos del 5% de los cuadros han sido removidos |
| 3B | Entre el 5% y el 15% de los cuadros han sido removidos |
| 2B | Entre el 15% y el 35% de los cuadros han sido removidos |
| 1B | Entre el 35% y el 65% de los cuadros han sido removidos |
| 0B | Desprendimiento mayor al 65% de los cuadros |

4.2. Evaluación de superficie

En esta parte de la experimentación, el objetivo fue encontrar una superficie que ralentizara la caída del agua en contacto, comparando la velocidad de caída sobre una superficie lisa. Esto para aumentar la extensión superficial del agua y aprovechar al máximo la cantidad de TiO_2 empleada. Al encontrar la superficie con mejor desempeño, esta se colocó sobre las paredes del módulo cerámico.

4.2.1. Modelado de relieves

Para probar esto, se creó una placa de plastilina con espesor de 5mm sobre una base de melamina y se dividió en tiras de 60 cm x 6 cm con separación de un centímetro. Sobre cada tira se modelaron diferentes relieves, tres de éstos inspirados en pieles de animales acuáticos (biomimética) y otros tres fueron líneas sencillas con excavaciones cóncavas y convexas, para aumentar el área que recorre el agua, en contraste con la primera muestra que es una superficie lisa y que indica el comportamiento del agua sin alguna intervención topográfica. En la **Figura 14** se muestra gráficamente las superficies modeladas. La superficie (a) es totalmente lisa como punto de comparación de las demás.

En el caso de la relación biomimética de la piel de especies marinas, se sabe que, animales como tiburones, anguilas y peces, presentan distintos tipos de escamas, además se les encuentra altamente variables en tamaño, estructura, forma y extensión (Fernández E., 2017). Por ejemplo el tiburón tiene escamas muy pequeñas con estrias que sobresalen horizontalmente (dentículos), lo que les permite partir el agua y deslizarse rápidamente (EMOL, 2014). Estas escamas fueron inspiración para el diseño de la superficie (e), con excavaciones concavas. Sin embargo, la superficie propuesta se dispuso perpendicular a la corriente del agua, para que en lugar de partir el agua, el flujo se ralentice.

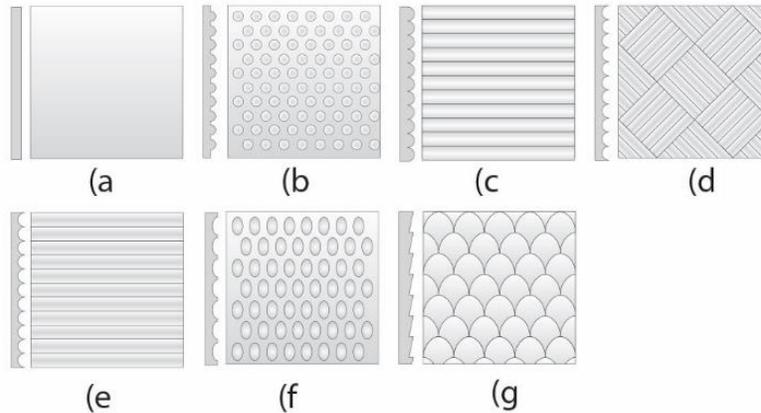


Figura 14: Superficies evaluadas.

Se propuso una textura con el mismo razonamiento pero convexo (c). Otras especies pasivas como los corales y estrellas de mar se tomaron como referencia para las superficies (f) y (b) respectivamente, ya que estas especies no se mueven rápidamente en el agua. Para la superficie (g), se tomaron como referencia las escamas comunes de peces, sin embargo se dispusieron en contra de la corriente del agua. La superficie (d) es similar a la superficie (e), pero dividido en cuadros con distintas inclinaciones.

4.2.2. Evaluación de las superficies.

El procedimiento de la evaluación consistió en inducir un ligero caudal de agua sobre cada carril de la placa. de cada procedimiento se grabó un video, que permitió más tarde observar detenidamente los tiempos que el agua tardó en atravesar cada superficie. Se analizaron pruebas en distintos ángulos de inclinación para observar diferentes resultados, estos fueron ángulos de 5°, 10° y 20°.

4.3. Evaluación de forma

Un túnel de viento es una herramienta experimental para estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos. El principio de funcionamiento se basa en que el fluido (aire) es soplado o aspirado a través de un ducto equipado con una sección de ensayos, donde se colocan modelos de distintas geometrías para su estudio (ING AERONAUTICA, 2015).

Esta evaluación tuvo como objetivo observar las propiedades físicas del flujo de aire sobre distintas figuras. Es considerado un aspecto importante ya que la fotocatalisis tiene actividad purificante tanto en agua como aire. Por ende, debe buscarse una forma que capte óptimamente ambos flujos, considerando la mayor exposición a los rayos del sol.

4.3.1. Túnel de viento

Para analizar diferentes formas, se construyó un túnel de viento que permitió observar ligeramente el comportamiento del aire sobre figuras con distintas formas. Algunas de estas fueron un toroide y una hélice oval. En la **Figura 15** se especifican las partes de la maqueta a escala.

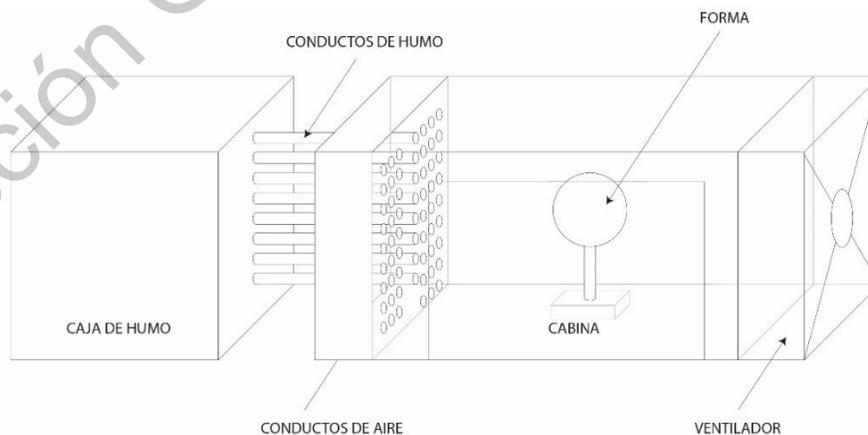


Figura 15: Esquema de la maqueta del Túnel de viento

La mecánica del nuestro dispositivo se enfoca en hacer pasar hilos de humo en línea recta a través de la cabina y que estos sean interrumpidos por la forma que se ubica en el centro de ésta. Al estar la cabina cerrada, el ventilador del fondo, extrae aire por toda la cabina, el cual entra por medio de los conductos del otro extremo al tiempo que extrae el humo proveniente de la caja. Al ser todo esto extraído lentamente, los conductos de humo crean una cortina de este, que atraviesa la forma, describiendo el camino que toma. Así se pudo observar cuanto permanece el aire sobre la superficie y si la forma bloqueaba el flujo o lo favorecía.

Este dispositivo se creó por medio de materiales sencillos, como cartón, papel, acetato y popotes. La cabina se diseñó con cartón ilustración, la cara superior como la frontal tenían una ventana grande que permitiera la entrada de luz para iluminar el humo y observar claramente su movimiento. La ventana frontal que además era la puerta para colocar las piezas analizadas, permitió la observación de frente de la interacción entre la cortina de humo y las formas. El interior de la cabina se recubrió de papel terciopelo negro para evitar que este adsorbiera luz y solo se iluminara la cortina de humo.

Los conductos se hicieron con una pared de popotes cortados todos a 3 cm de longitud, como se observa en la imagen. Estos dirigían linealmente todo el aire y humo que entraban adsorbidos por el ventilador.

La caja de humo, contenía adentro pólvora que al quemarse se concentraba dentro la humareda, la cual encontraba salida por los popotes que se conectaban a los conductos y generaban la cortina dentro de la cabina.

4.3.2. Evaluación de figuras

La evaluación consistió en colocar las figuras en el centro de la cabina, estas se modelaron en plastilina y se fijaron a un pedestal pequeño construido con un palillo de madera unido a un trozo de unicel. Se tomaron videos y fotografías del comportamiento de la cortina de humo.

Con esta prueba solo se consiguieron datos visuales, para considerar dentro de las propuestas del diseño final.

4.4. Diseño del módulo

De acuerdo a los resultados de la previa experimentación, se definieron parámetros para el desarrollo del producto final como: grado de porosidad de la pasta cerámica, superficie apropiada para dirigir y aprovechar el caudal de agua y formas adecuadas a la estructura del módulo.

En la **Figura 16** se muestra el procedimiento que se siguió para el diseño y la validación de la propuesta.



Figura 16: Pasos de desarrollo en el Diseño y la Validación

4.4.1. Propuesta

La exploración y desarrollo de la propuesta se basó en el bocetaje de piezas de acuerdo a los requerimientos establecidos y los resultados de las evaluaciones anteriores. Se exploraron tanto formas como configuraciones geométricas para solucionar el ensamble y el diseño final de la pieza.

Posteriormente se hicieron pruebas de diseño con modelados 3D y se fue trabajando hasta determinar la propuesta final.

4.4.2. Prototipo

Con el modelo de la pieza definida entonces se continuo ahora con el desarrollo de la pieza a escala. Esta pieza se creó por medio de impresión 3D y corte láser. Sin embargo, se necesitó obtener de este modelo una réplica en yeso para que a partir de esta se pudiera crear un molde cerámico.

Después de esto se fabricó el molde y posteriormente se hicieron 20 vaciados que finalmente se sinterizaron en un taller cerámico.

4.4.3. Validación

En este apartado se presenta la evaluación del desempeño purificante directamente en los módulos a escala. Esta actividad permitió detectar su comportamiento, así como los puntos críticos a modificar para perfeccionar el diseño.

Para esta parte se diseñó una fuente de agua con rodamina B como indicador contaminante. Para esto se construyó una pequeña pared con 9 de los módulos a escala. Este sistema se colocó a la luz del sol y se tomaron muestras del líquido para posteriormente practicarle un análisis de espectrometría de UV-Vis para determinar si se presentó actividad degradante.

Por último, se expuso la pared de módulos al sol después de un día de secado, para observar cuanto tiempo tomo la purificación de la superficie con los residuos contaminantes.

5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se presenta la aplicación de la metodología que se definió para determinar características clave en el diseño. Los resultados obtenidos fueron la base para dirigir las propuestas y la optimización de la pieza.

5.1. Evaluación de material cerámico

Antes que nada, se utilizó material cerámico comercial (para loza blanca). Este material se eligió tomando en cuenta características como: su versatilidad de moldeo (para explorar diferentes formas y topografías que no ofrecen otros materiales porosos), su dureza y su superficie porosa, quien recibió el TiO_2 . Se esperaba que la superficie tuviera alta capacidad de retención del TiO_2 , por ello se realizaron pruebas de porosidad, experimentado diferentes cantidades de serrín (como aditivo quemante) en la pasta cerámica.

Teniendo las muestras sinterizadas, se agregó a las superficies el dióxido de titanio para ser expuesto a la intemperie y después de determinado tiempo se analizó su capacidad purificante aplicando una solución de *Rojo de metilo* como indicador contaminante con una concentración de 50 ppm.

5.1.1. Preparación de muestras

El primer paso fue elaborar el molde de yeso cerámico (**Imagen 17**) para el vaciado de las piezas muestra con dimensiones de 5 cm x 5 cm de base y 1.5 cm de altura.

Para ello se vaciaron 250 mL de mezcla de agua con yeso cerámico, sobre una pieza cuadrada de plastilina con las dimensiones anteriores. Antes de ello se

diseñó un bastidor de bloques de plástico armables, paralelo a 2 cm del perímetro de la plastilina. En la imagen se muestra el resultado.



Figura 17: Molde de yeso para las diferentes piezas muestra

5.1.1.1. Mezclas de pasta y aserrín

Como se especificó, se tomó como referencia de material cerámico la cerámica de loza blanca (muestra N). A partir de esta, se modificó en relación a su volumen adicionando serrín como quemante para obtener muestras de diferentes porosidades (muestras P1, P2 y P3).

Ahora bien, la primera muestra (N), fue nuestra pasta ya preparada de la que se registraron 200 mL y con un peso de 415 gr. Y para las siguientes muestras se utilizó la misma preparación de pasta solo que se colocó en el vaso de precipitados su respectiva cantidad de aserrín y se aforaba con nuestra pasta hasta los 200 mL. De esta forma las variantes con respecto a la primera muestra se definieron con porcentaje de concentración del quemante. Por lo que por obvias razones la muestra con mayor concentración de aserrín registro un peso más ligero.

5.1.1.2. Vaciado de piezas

Con la mezcla de diferentes pastas se procedió a hacer el vaciado de las muestras. Se marcaron las piezas de acuerdo a su tipo (N, P1, P2, P3) para identificarlas fácilmente (**Figura 18**).

De los primeros tres tipos de muestras (N, P1 y P2) se hicieron tres piezas a excepción de la muestra P3. Se observó que la pasta P3 al tener una alta concentración de aserrín en la mezcla, específicamente $\frac{1}{4}$ del total, la pasta se hizo imposible de manejar por medio de vaciado. Por ello se recurrió a darle un secado por absorción de agua sobre la superficie del respaldo del molde para obtener una masa moldeable. De esta forma se hizo una pieza a modo de *apretón* presionando la pasta contra la cavidad cuadrada del molde. Al analizar este procedimiento se decidió solo conseguir una pieza puesto que el método de *apretón*, no es considerado adecuado para la producción industrial de piezas y podía estar descartado como opción viable en la propuesta de diseño. Sin embargo, se consideró realizar la pieza para observar el comportamiento de su porosidad en contraste con las demás muestras.



Figura 18: Piezas vaciadas antes de la sinterización

Las piezas se sinterizaron a 1050°C en un taller cerámico y después de esto se llevaron al laboratorio de nanotecnología en el Campus Aeropuerto para las evaluaciones.

Se observaron distintos pesos y variedades de rugosidad, lo que indicaba la presencia de diferentes porosidades en las muestras al ser eliminado el aserrín en el proceso de sinterización.

5.1.1.3. Aplicación del TiO₂.

Cada una de las muestras se cubrieron de TiO₂ en la superficie plana con una solución de 0.5gr de TiO₂ + 8mL de agua + 2 mL de etanol. Se aplicaron los 10 mL sobre las 10 muestras, colocando en total 96 capas de solución por medio de aerógrafo (**Figura 12**). Estas capas presentaban una cantidad de la mezcla casi imperceptible. Se tomaron medidas de seguridad para no tener contacto con el TiO₂, o dañar la superficie de las muestras al manipularlas.

Tal como se mencionó en la metodología, las muestras se separaron y se tomaron las M1 y M2 para la evaluación de desempeño fotocatalítico. Las M3 se separaron para la evaluación de adherencia y más adelante, también se les aplicó colorante y se expusieron al sol para observar este mismo parámetro.

5.1.2. Evaluación de porosidad y desempeño de TiO₂

Las primeras dos muestras (M1 y M2), se mancharon de rojo de metilo a 50 ppm. Se colocaron 10 mL en cada muestra y se expusieron las M1 al sol para captar los rayos de luz ultravioleta.

A continuación, en la **Figura 19** se presentan las fotografías de las M1, a partir de la primera hasta las 12 horas de exposición al sol. Cada cuatro horas de

exposición fueron separadas por una semana de reposo y cada periodo de exposición fue de 12:00 a 4:00 pm.

Muestra M1

Exposición (hrs) N P1 P2 P3

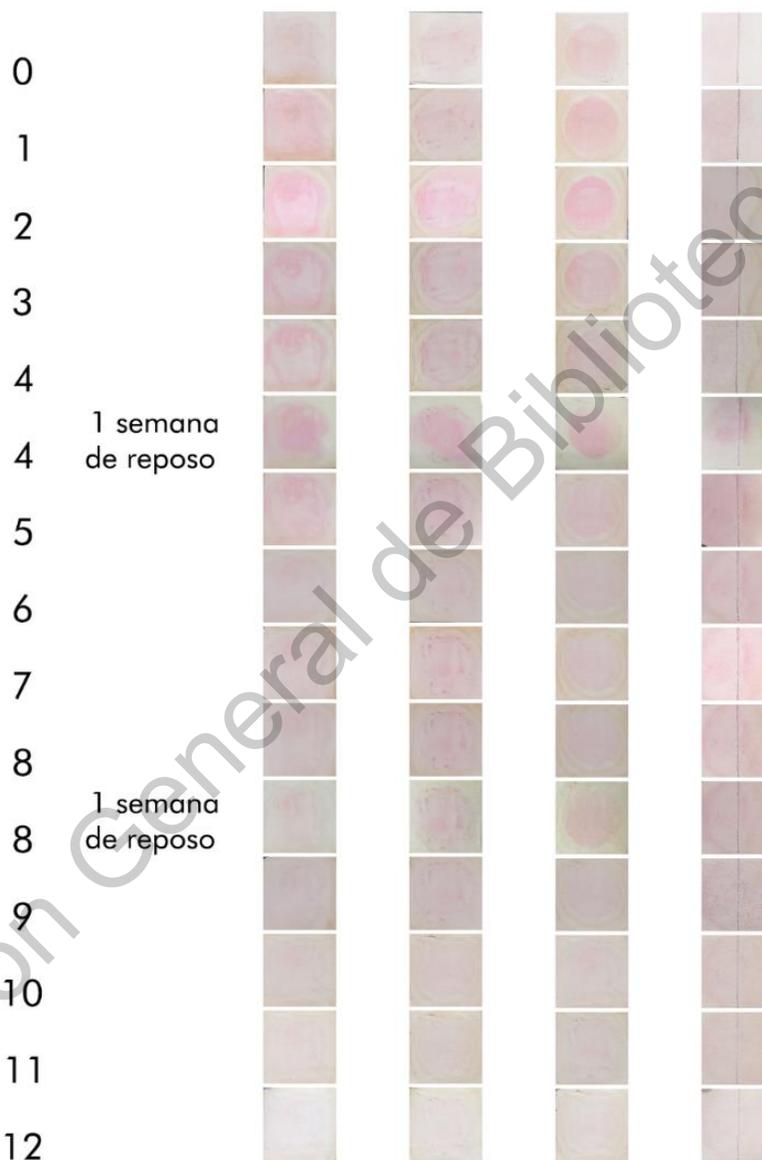


Figura 19: Registro fotográfico de la actividad fotocatalítica de las muestras M1

En las ultimas muestras se puede percibir la superficie casi blanquecina con muy poco rastro de las manchas de rojo de metilo en todas las muestras. Lo que indica los niveles de eficacia purificante del TiO_2 sobre las diferentes porosidades cerámicas. La muestra M1 y M2 son las que indican mayor resultado de purificación.

En la **Figura 20** se muestra el comportamiento de las segundas muestras (M2), sobre las cuales se dejó secar el colorante una semana y posteriormente se expusieron al sol por 8 horas en los mismos intervalos que las primeras muestras.

Muestra M2

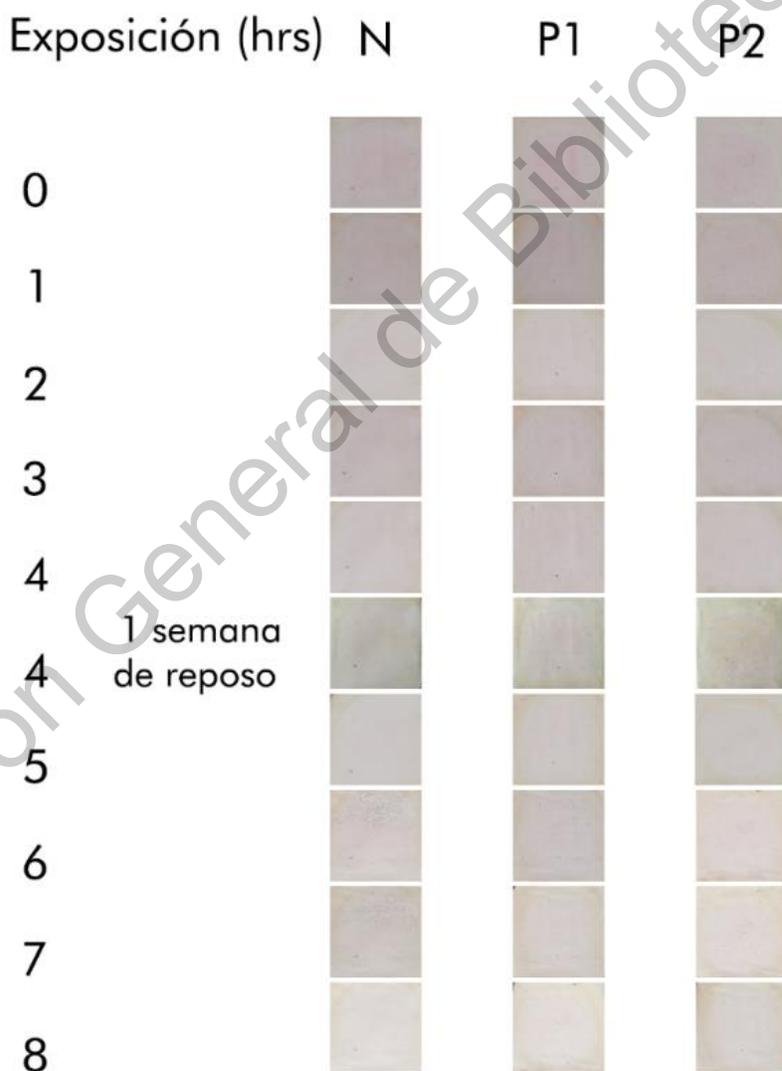


Figura 20: Registro fotográfico de la actividad fotocatalítica de las muestras M2.

Estas muestras mostraron una actividad purificante mayor a las primeras, además se necesitó menos tiempo para conseguir eliminar el rojo de metilo de todas las superficies. El resultado más limpio fue la pieza M2 N.

Por último, en la **Figura 21** se muestra la actividad de purificación en las terceras muestras (M3), después de que se les practicó el test de adherencia. Se puede observar notablemente que en los surcos de la cuadrícula se percibe más oscuro el colorante.

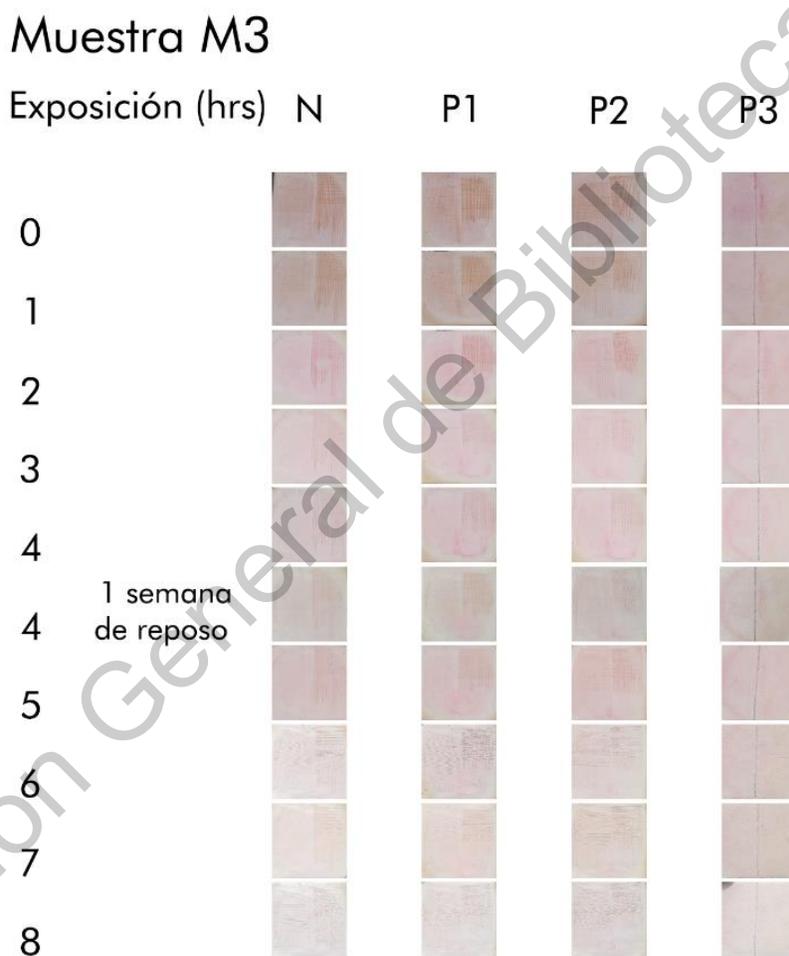


Figura 21: Registro fotográfico de la actividad fotocatalítica de las muestras M3

Como se puede observar, las muestras aún quedaron ligeramente manchadas del colorante, y esto principalmente en los surcos de las líneas que dejó

el cutter sobre las superficies, al practicar el test de adherencia, que descubrió el material cerámico revelando mayor concentración de color. Se esperaba que estas líneas no registraran cambio de coloración debido a que al crear el surco se desprendió cantidad de TiO_2 , sin embargo, las superficies presentaron un blanqueamiento casi uniforme. De estas últimas, el resultado con mayor resultado de purificación fue la muestra M3 N.

A continuación, se contrastan las muestras en su color más concentrado contra su resultado al final de la exposición al sol (**Figura 22**). De acuerdo a los resultados anteriores, la superficie con mejores resultados son las muestras N, las cuales no contienen aserrín y su porosidad es normal. Se puede interpretar que mientras más abierto estaba el poro de la superficie, el dióxido de titanio se introducía más hacia el cuerpo de la pieza y por ello la pieza (P3) al final mostro mayor coloración que las demás muestras.

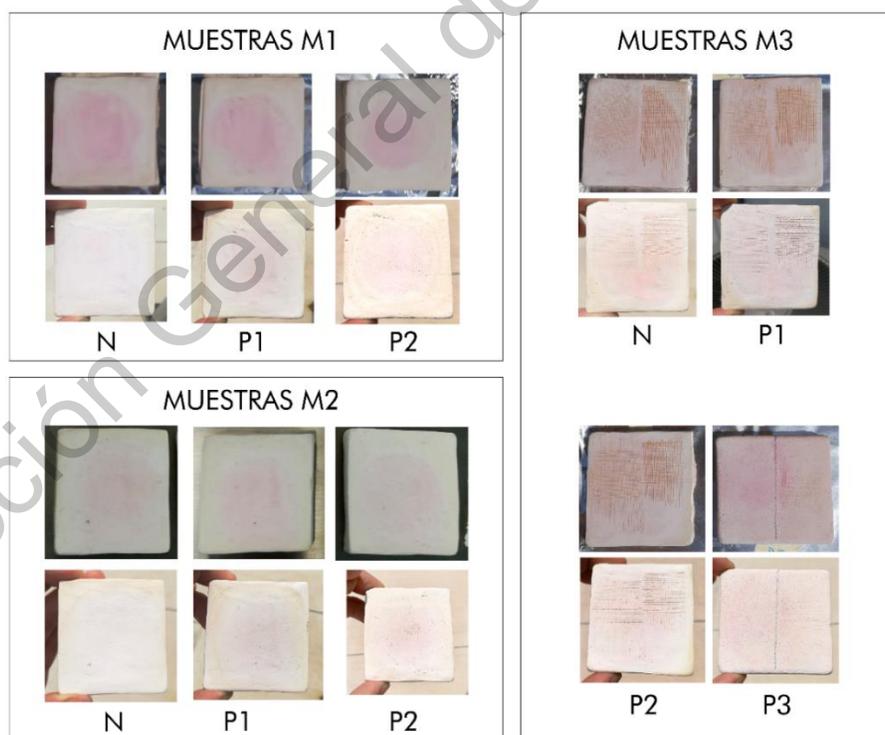


Figura 22: Análisis fotográfico de las muestras M1, M2, M3. Se presentan en contraste su registro de mayor coloración contra su resultado purificante más óptimo

5.1.3. Evaluación de adherencia.

Se siguió el procedimiento ASTM D3359, para la identificación de adherencia del dióxido de titanio sobre la superficie cerámica. El TiO_2 ya estaba completamente seco después de 24 horas de la aplicación.

Se realizaron finamente con una navaja 11 incisiones en forma tanto vertical como horizontal con una separación de 2 mm para conseguir una retícula cuadrada de 20 mm.

Finalmente se aplicó la cinta transparente (3M) para observar el desprendimiento del compuesto nanométrico sobre diferentes superficies porosas como se muestra en la **Figura 23**.



Figura 23: Evaluación de adherencia

En la **Figura 24** se muestran los resultados de adherencia, se colocaron las cintas sobre una superficie oscura para observar el grado de desprendimiento y evaluar de acuerdo a la escala adecuada.

Los resultados arrojan similitudes en la cantidad desprendida de TiO_2 . Solo la tercera muestra presentó un bajo desprendimiento que quizá se deba a su alta porosidad o a que se le practicó el test después de que se expusiera al sol la otra mitad de la superficie junto con las primeras muestras en la prueba de desempeño purificante.

| Muestra | | Adherencia |
|---------|---|------------|
| N |  | 0 B |
| P1 |  | 1 B |
| P2 |  | 0 B |
| P3 |  | 3 B |

Figura 24: Resultados de la prueba de adherencia

5.2. Evaluación de superficie

El primer paso fue modelar los distintos relieves sobre la cama de plastilina. Se utilizaron estiques y algunas formas planas que al presionar la plastilina develaba el relieve diseñado. En la **Figura 25** se observan algunos de estos procedimientos.



Figura 25: Modelado de superficies

En la **Figura 26** se puede apreciar claramente el resultado de la placa con las superficies modeladas.

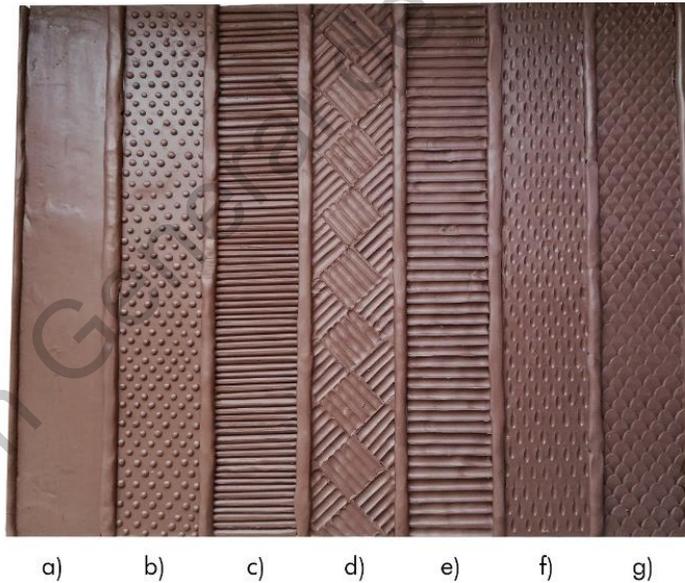


Figura 26: Resultado de las superficies modeladas

Ya con las superficies modeladas, se indujo un ligero caudal de agua sobre las placas de experimentación topográfica y debido a que el movimiento es rápido, se grabaron videos para analizar los tiempos con mayor precisión (**Figura 27**).



Figura 27: Comportamiento del caudal de agua sobre las diferentes superficies

Se realizó la misma actividad 3 veces y en cada una se modificó el ángulo de inclinación de la placa con los relieves. Esto permitió observar diferentes velocidades alcanzadas y algunos detalles de comportamiento en el movimiento del flujo sobre cada superficie. Se evaluaron entonces, ángulos de inclinación en la placa de 5°, 10° y 20°. La siguiente tabla muestra los resultados de tiempos (s) de caída observados:

Tabla 4: Resultados de los tiempos de caudal sobre las superficies.

| ANGULO (°) | A) | B) | C) | D) | E) | F) | G) |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5 | 0.40 | 2.49 | 2.15 | 2.87 | 4.21 | 2.56 | 2.21 |
| 10 | 0.28 | 2.06 | 1.10 | 2.07 | 3.09 | 1.23 | 1.08 |
| 20 | 0.18 | 1.18 | .98 | 1.13 | 2.04 | 0.24 | 0.22 |

Los resultados indican que sí existe una diferencia al momento de traspasar un caudal de agua entre una superficie lisa y un relieve. Después de esta etapa se puede concluir que la mejor superficie que ralentizó el flujo fue la superficie (e), seguida por la (d). Una explicación a este fenómeno podría ser que al tener ambas una sucesión de curvas cóncavas, esto extiende la superficie por la que viaja el fluido.

Se observó que el flujo de la superficie (*d*) fue más rápido que el de la superficie (*e*), esto se debe a que la primera dirige el flujo del agua por ángulos inclinados, lo que provoca un choque de corrientes entre el cambio de estas direcciones. En cambio, la superficie (*e*) se mantiene perpendicular siempre a la caída del agua.

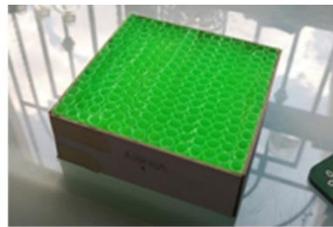
De acuerdo a los números, la superficie que mejor cumple con nuestro propósito fue la *e*, sin embargo, la característica de la superficie (*d*) para dirigir el flujo del agua fue una variable a considerar dentro del módulo final para orientar la caída del agua por toda la pieza.

5.3. Evaluación de forma

Para esta evaluación se diseñó una maqueta similar de un túnel de viento similar a los que se usan para observar el comportamiento aerodinámico de un auto para mejorar su diseño.



Cabina



Conductos de viento



Conductos y caja de humo



Cabina y ventilador

Figura 28: Componentes del Túnel de viento.

En las imágenes de la **Figura 28** se muestra la construcción del dispositivo descrita en la metodología. La cabina se construyó con cartón ilustración, un cartoncillo de 2mm de espesor y las ventanas se cubrieron con acetato para poder observar el interior y poder iluminar el flujo de humo.

A continuación, se presentan algunas imágenes de las corrientes de humo atravesando las formas diseñadas (**Figura 29**). Como se observa las formas tienen mayormente curvas y superficies orgánicas, esperando encontrar un flujo suave para que este se pueda reflejar en el objeto real del módulo diseñado.

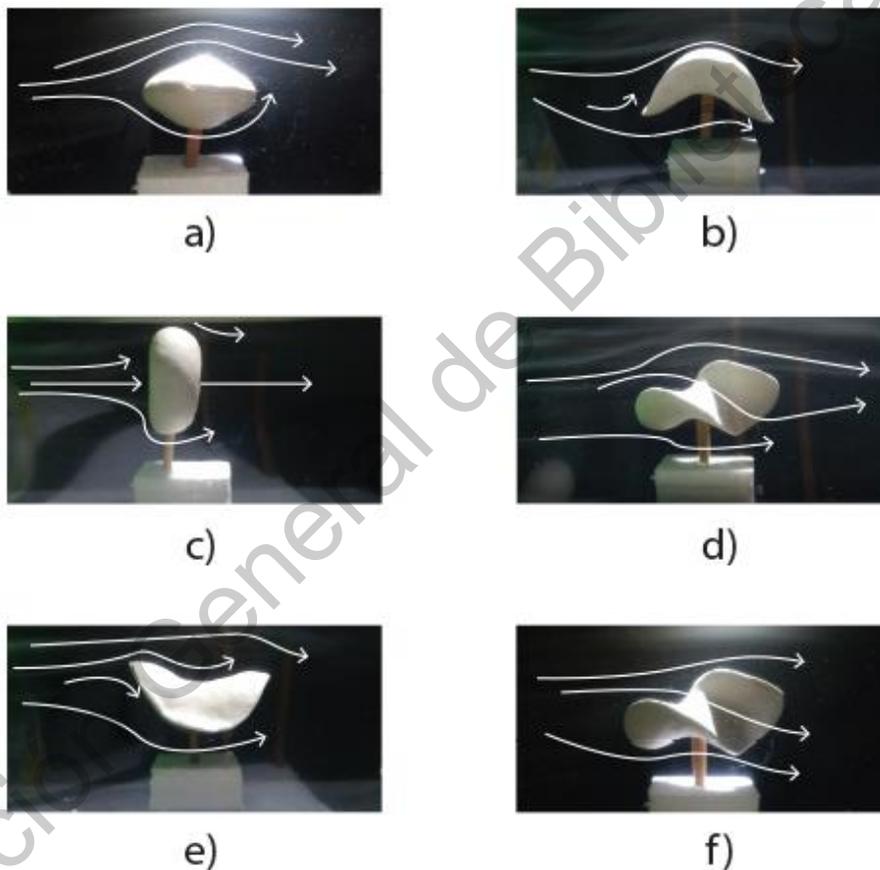


Figura 29: Registros de flujo de humo sobre las figuras

Las capturas de la imagen muestran que el viento se bloqueaba en los incisos (b), (d) y (e) debido a que el humo se encontraba con paredes que lo dirigían

perpendicularmente a su dirección original, lo que generaba turbulencia y distorsionaba las líneas de aire paralelas en la cortina de humo.

Los incisos (a) y (f) mostraron un flujo mayormente moderado, en este caso el humo viajaba suavemente sin cambios de dirección bruscos. En el inciso a, se observó que las líneas inferiores de la cortina de humo viajaban por debajo de la figura en media circunferencia, pero al atravesar la pieza se volvía a unir el flujo con las líneas superiores.

Como resultado de esta evaluación para aplicar sobre el diseño del módulo, se rescata la necesidad de trabajar con superficies que tiendan a ser planas o con curvas ligeras que dirijan el viento en contacto sobre la superficie sin reflejarlos drásticamente.

5.4. Diseño del módulo

De acuerdo a los resultados de la previa experimentación, se definieron estos parámetros para el desarrollo del producto final:

- **Material:** la pasta cerámica comercial no necesita modificaciones de porosidad para soportar el dióxido de titanio. Su porosidad natural es suficiente tanto para la adhesión del compuesto como para su desempeño purificante.
- **Superficie:** la corriente de agua se mantuvo por más tiempo sobre el relieve con canales cóncavos. Estos además pueden ser oportunos para dirigir el caudal de agua para extender el contacto del líquido con la superficie.
- **Forma:** se determinó tomar siluetas sencillas sin caras altamente sobresalientes. Se debe buscar el mejor aprovechamiento de la luz solar, lo que supone utilizar bordes redondeados y eliminar detalles en las paredes.

5.4.1. Propuesta

De acuerdo a los resultados de las tres evaluaciones y los requerimientos antes establecidos, se comenzó el proceso creativo. Se propusieron estructuras de auto ensamble y otras metálicas que pudieran sostener el módulo como se observa en la **Figura 30**.

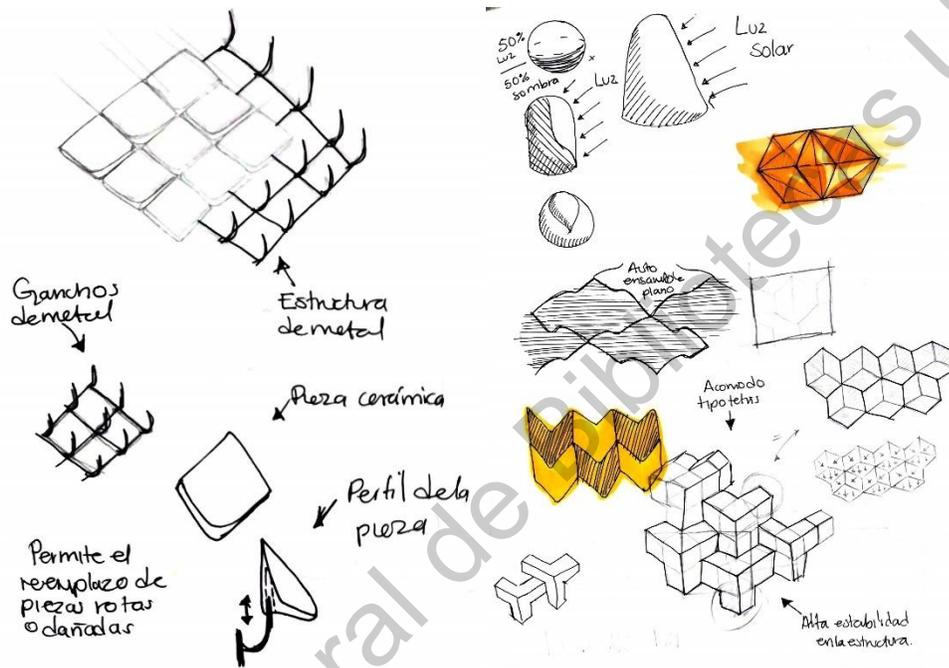


Figura 30: Bocetos de propuestas, análisis de estructura y captación de luz solar

La forma debía tener ligeras curvas que permitieran al aire mantener un flujo suave sobre la estructura completa. Además, este flujo debía ser uniforme.

Al tener en cuenta que el sol debe ser altamente aprovechado se planteó usar superficies en ángulo para aumentar la incidencia de la luz ultravioleta, como los prismas hexagonales de la imagen.

Cabe mencionar que se planteó el uso de una forma esférica sin embargo es claro que la mitad de la superficie daría cara a la luz y la otra mitad tendría sombra, así que tendría menos del 50% de aprovechamiento dependiendo de la posición del sol.

Otro aspecto que se observó es que, si planteamos una cara inclinada, ésta siempre tiene otra con un ángulo complementario que la lleva a mantenerse ensombrecida como se observa en la **Figura 31**. Por ende, si se elegía utilizar planos inclinados, se debía buscar una forma de ensombrecer al mínimo la cara contraria, o eliminar esta cara y dejar aquel plano volando.

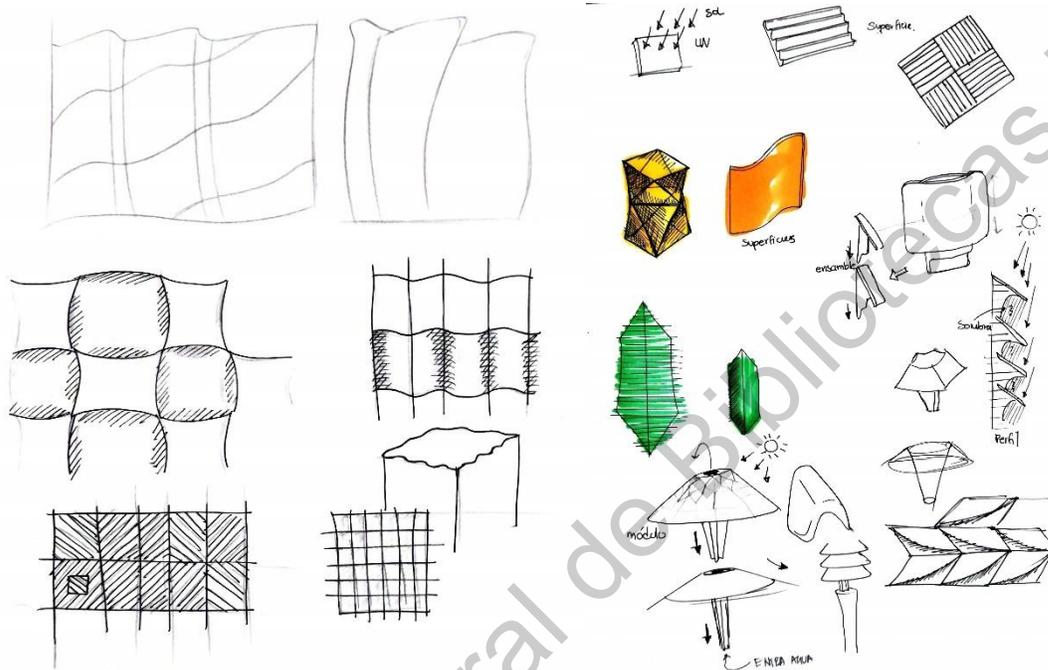


Figura 31: Bocetos de formas y análisis de superficies de pared

En la **Figura 32** se observa la exploración con módulos cuadrados tratando de encajar las caras para formar una celosía de pared sin espacios entre las piezas para cubrir completamente el área.

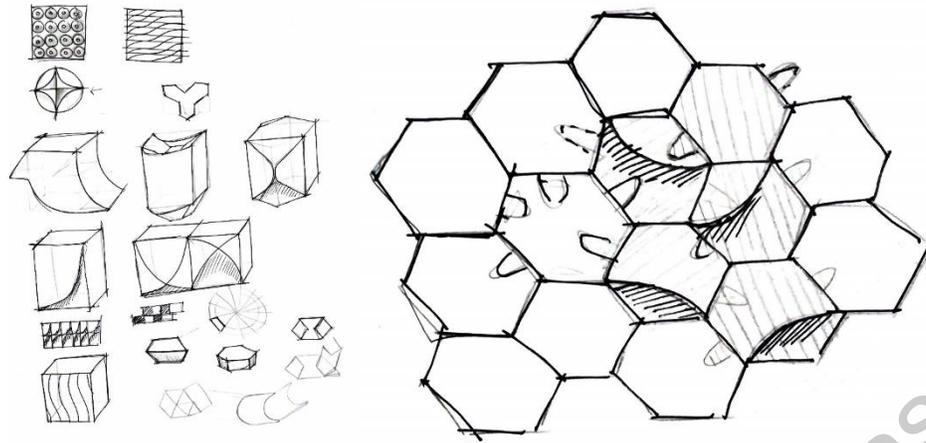


Figura 32: Bocetos de módulos geométricos

Se modelaron en 3D algunas piezas de las propuestas bocetadas, para observar en un render sencillo el acomodo y la apariencia de la pared construida con tales piezas. Después de definir la forma del módulo se añadió la textura de la superficie.

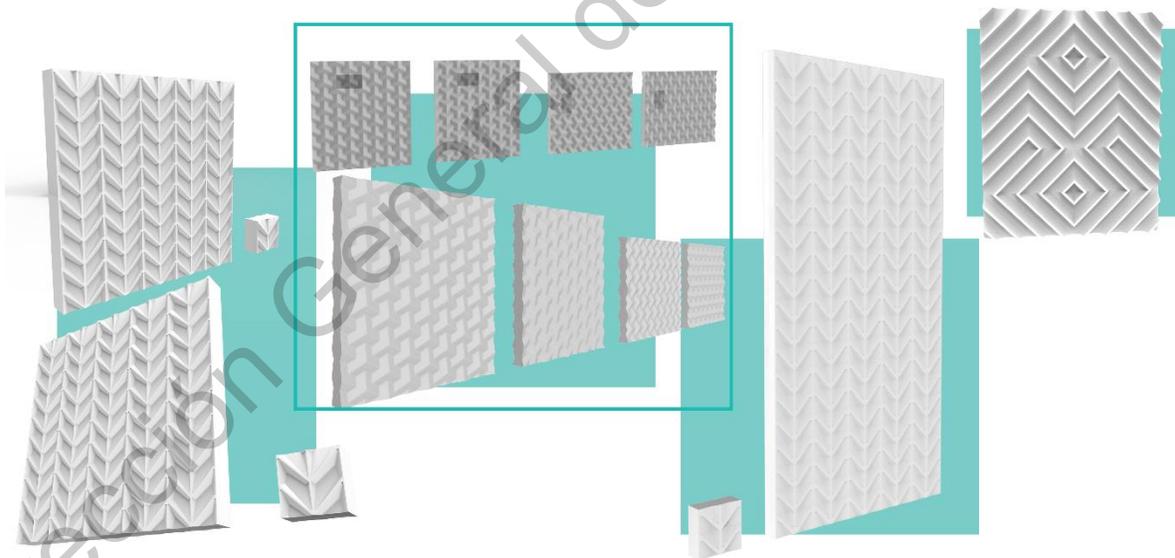


Figura 33: Modelado de propuestas. El recuadro señala la propuesta para desarrollo final.

Como se observa, estos modelos se caracterizaban por tener una base y paredes laterales planas para un apilamiento uniforme. El diseño morfológico solo

se encontraba sobre las paredes frontales. De estas ideas se tomó el diseño con menor cantidad de caras para seguir desarrollando (selección de la **Figura 33**), Esto teniendo en cuenta facilitar la producción de piezas con un molde lo menos complejo posible.

La estructura final del módulo se definió asociando las caras planas a teselaciones regulares “Un teselado o teselación consiste en una regularidad o patrón de figuras que cubren completamente una superficie plana, de manera que no quedan espacios ni tampoco se superponen las figuras” (Artacho, 2017) .

En la **Figura 34** se pueden observar referencias de teselados tanto regulares (que se componen de un solo tipo de polígono), como semirregulares (que pueden tener dos o más de estos).

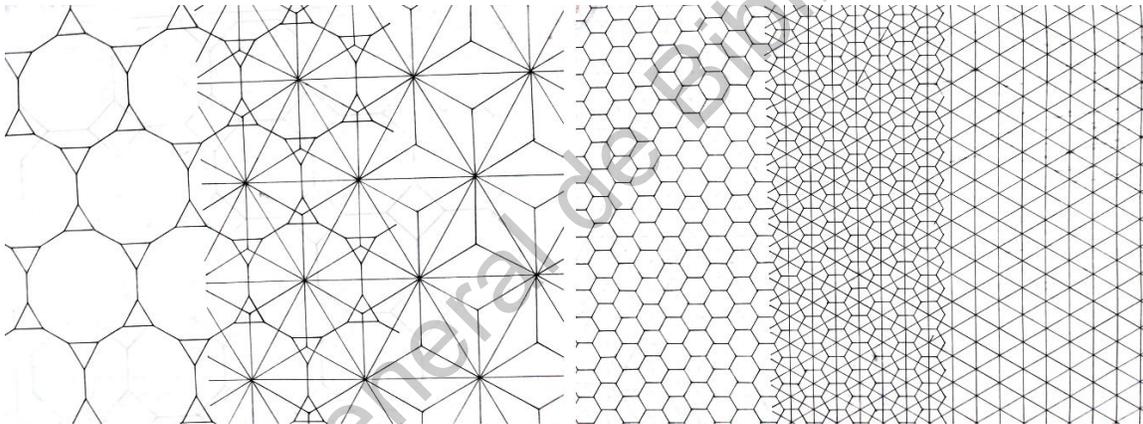


Figura 34: *Combinación de teselados regulares y semirregulares.*

A continuación, se muestra la construcción del módulo a partir del teselado regular hexagonal. La disposición final se propuso para otorgar estabilidad de soporte equilibrando simétricamente la silueta. Además, de esta forma se adaptó el auto ensamble tipo *macho hembra*, abriendo cavidades a cada estructura en donde se unen las extremidades del siguiente módulo.



Figura 35: Composición geométrica de la propuesta de diseño final

Se modelaron entonces las piezas en 3D y se agregaron detalles de la superficie. Se hicieron dos del acanalado (**Figura 36**) sin embargo se tomó la propuesta 2, con las líneas de inclinación hacia el centro, donde convergen las tres caras. Lo anterior se decidió estimando que esta dirección podría llevar la corriente de agua sobre toda la pieza hasta la esquina del centro de las caras.

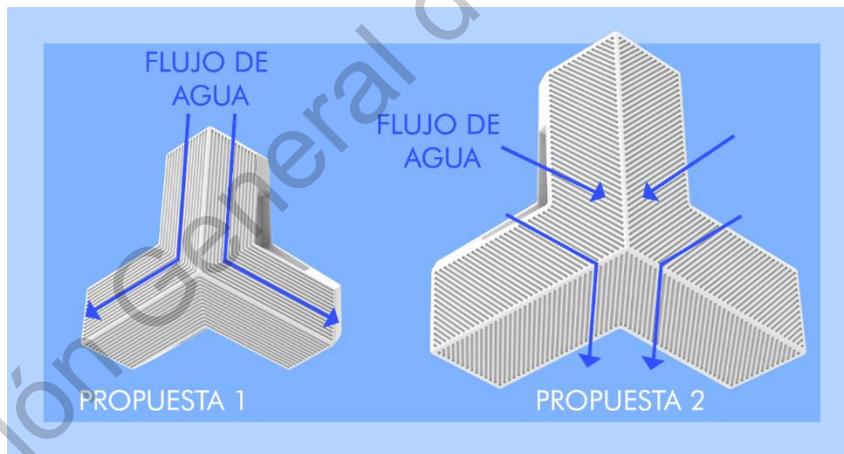


Figura 36: Propuestas de diseño con diferentes canales para el flujo de agua

En la **Figura 34** se describen los atributos que definieron la pieza final, su forma, superficie, simetría y tipo de ensamble. El tamaño de los módulos se determinó con una altura de 30 cm x 31 cm de ancho.

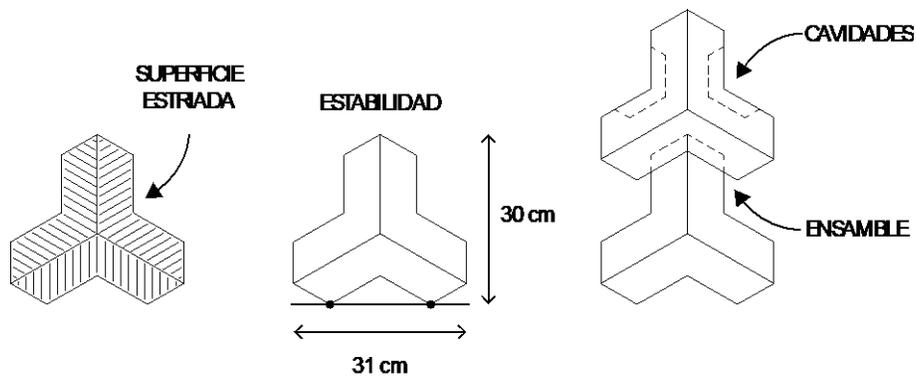


Figura 37: Características del módulo.

Por último, la **Figura 38** muestra el resultado de la configuración de pared que forman los módulos superpuestos.

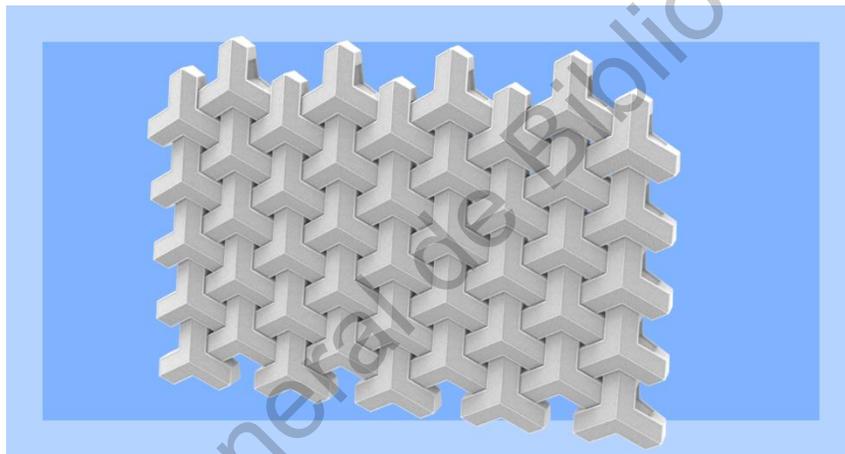


Figura 38: Pared de módulos ensamblados

La lámina del producto final se puede observar en el apéndice.

5.4.1.1. Aplicación de la propuesta

El producto final son módulos auto ensamblables. Su forma es estándar y se puede ajustar a diferentes tipos de espacios.

Son claras las propiedades de purificación tanto de agua como del viento que se logra con el contacto directo del TiO_2 con la superficie. Sin embargo, se observa que esta actividad purificante actúa de forma pasiva, por ello es claro que se

necesita ampliar el área de contacto con los fluidos contaminados. Este producto se orienta principalmente a zonas industriales y empresas responsables en el cuidado del medio ambiente. Lo mejor de esta tecnología es la ausencia en gastos de combustible o alguna fuente de energía para ser activada.

Por otro lado, no solo se orienta a zonas de producción, este producto también puede colocarse en zonas de alto nivel de contaminación urbana, como avenidas principales de grandes ciudades o lugares públicos dentro de grandes complejos, que represente la búsqueda por respetar el bienestar del espacio que habitamos.

Si bien se desarrolló un módulo volumétrico, se observa que es posible el desarrollo de mosaicos con el mismo diseño en las caras que puedan cubrir una amplia extensión de superficie incrementando así su aprovechamiento. Un ejemplo de esto podría ser recubrimiento de azoteas, cuerpos de agua extensos y recubrimientos externos de grandes plazas comerciales. Esto además de proteger el ecosistema, su propiedad autolimpiable brindará un aspecto limpio al lugar donde se coloque.

Otra opción de uso podría ser doméstico. Imaginemos un fraccionamiento en el que todas las casas tengan salida de aguas grises (residuales de lavamanos, regaderas y llaves de patios) y estas se concentraran en un estaque que previamente filtra desperdicios sólidos, para después alimentar una gran fuente construida por los módulos cerámicos (**Figura 39**). Esta agua podría ser reusada y darle un aprovechamiento comunitario ya sea para el riego de plantas, jardines y zonas comunitarias o limpieza de calles. Esto después de haber sido tratada químicamente por medio de fotocátalisis. Se podría ahorrar un verdadero gasto de agua y su tratamiento sería totalmente limpio y sustentable además de económico. Adicionalmente, el diseño de la fuente podría otorgar valor estético a alguna zona abierta. Este ejemplo se puede observar en la siguiente imagen. En el apéndice se anexan, una propuesta de uso residencial y en una plaza comercial, considerando una superficie de recubrimiento alta.

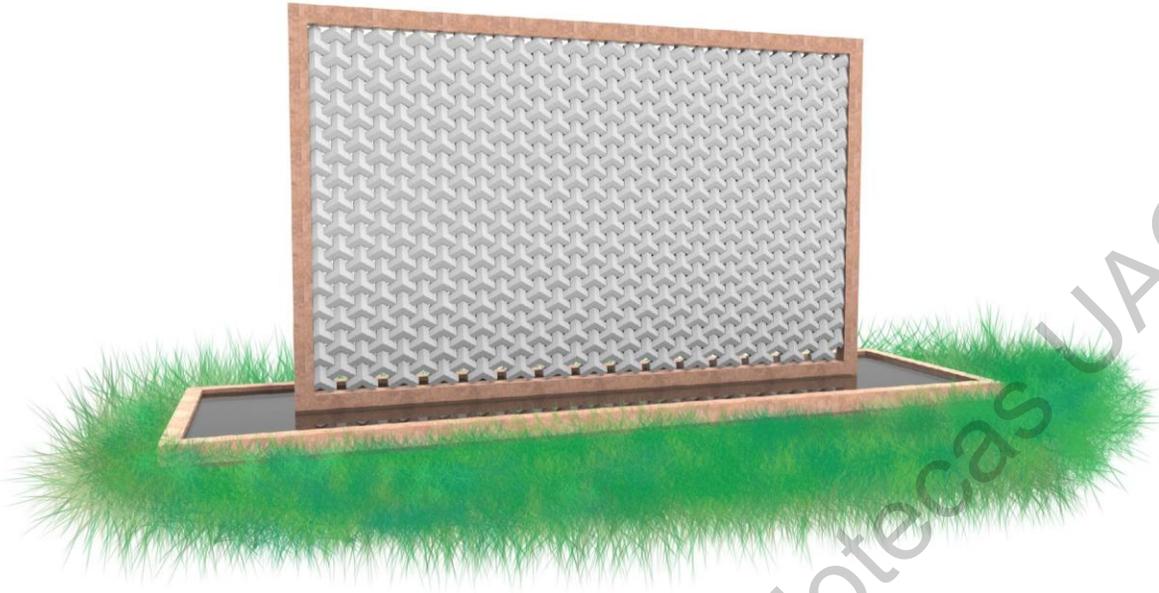


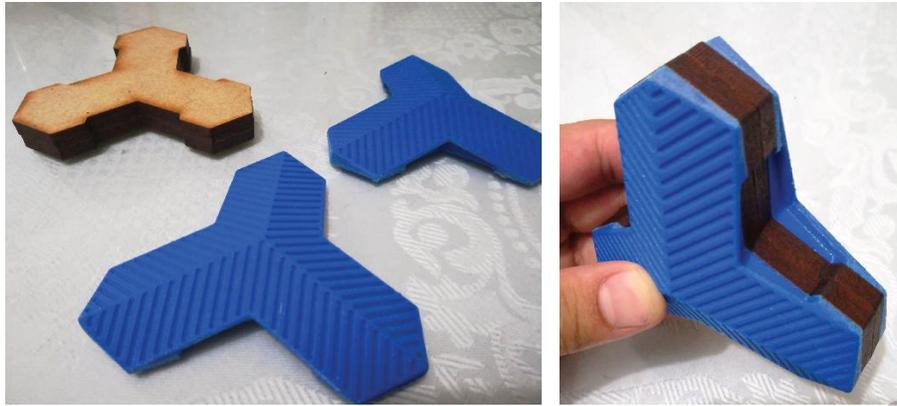
Figura 39: Propuesta de fuente de agua para áreas residenciales.

5.4.2. Prototipo

Se determinó una escala 1:4 para el prototipo, teniendo la pieza un alto de 7.5 cm. Considerando la contracción de la pieza cerámica sinterizada se incrementó el tamaño del modelo matriz un 15% teniendo entonces de una altura de 8.5cm.

Este modelo a escala se fabricó por medio de impresión 3D y corte láser. Gracias a estas tecnologías fue posible un resultado con excelente detalle y precisión para una pieza tan pequeña. Se dividieron las caras laterales dejando aparte el volumen del centro, que se solucionó con MDF cortado a láser. Las caras se dispusieron para la impresión con la cara plana hacia abajo y la punta del extremo hacia arriba para que la adición del plástico fuera homogénea en toda la superficie y el detalle de los pequeños canales no perdiera calidad.

Posteriormente se unieron las piezas de corte láser y las caras con pegamento blanco y se detallaron las uniones de los materiales (**Figura 40**).



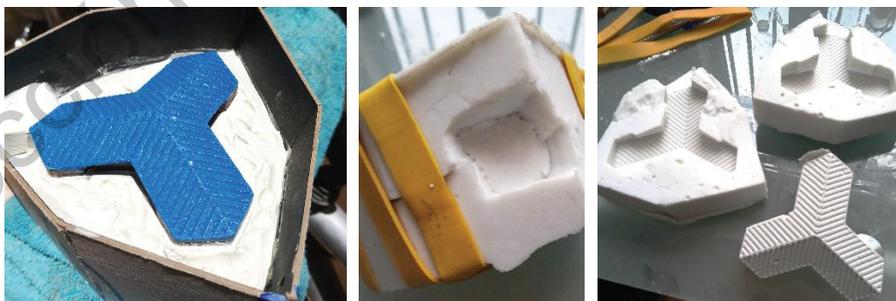
PIEZAS DE CORTE LÁSER E
IMPRESIÓN 3D

MODELO A ESCALA

Figura 40: Prototipo a escala del módulo

El siguiente paso fue, crear la misma pieza, pero en yeso para eliminar todos los detalles de la impresión y corte láser que dejan diminutos relieves. Estos relieves pueden estropear las piezas de vaciado cerámico si se dejan dentro del molde. Se eligió yeso para esta pieza por su suavidad, que facilita el perfeccionamiento superficial.

Para crear esta pieza se creó un molde de caucho de silicón. Se hizo un bastidor de cartón que cubriera el modelo 2 cm lejos de su perímetro. Se cubrió la mitad del modelo con arcilla y se colocó desmoldante para después vaciar el caucho mezclado con su respectivo catalizador.



VACIADO DE CAUCHO

VACIADO DE
MOLDE

PIEZA DE YESO

Figura 41: Construcción de pieza de yeso vaciado en molde de caucho.

Después de obtener este molde, se hizo el vaciado de yeso. La pieza salió perfectamente de este molde y como se esperaba, mostraba todos los defectos del prototipo antecesor (**Figura 41**). Se procedió a eliminar estos detalles con ayuda de una navaja y un estique redondo de acero. Se perfiló el relieve plano con la navaja y se pasó el estique por todos los diminutos canales presionando para alisar las paredes cóncavas (**Figura 42**). Por último, se agregaron pequeñas cantidades de yeso para cubrir las imperfecciones de las superficies (hoyos y bordes astillados). De no eliminar la textura de la impresión 3D, las piezas del vaciado cerámico se quedarían atoradas al molde de yeso.



Figura 42: Pulido superficial del prototipo matriz.

De acuerdo al diseño del módulo, el molde necesitó ser dividido en 5 partes. Tres de estas se colocaron en posición perpendicular a las cavidades de ensambles. Las otras dos piezas se colocaron frente a las caras frontales.

Para el desarrollo del molde se hizo un bastidor de triplay de 14 cm x 11 cm con altura de 12 cm, dejando la pieza en el centro separada por 2 cm desde sus bordes a las paredes del bastidor. Para el vaciado de la primera parte se cubrió la matriz completamente de plastilina y se bañó con desmoldante. A partir de esta parte se fueron cubriendo las demás áreas con plastilina y descubriendo el área de vaciado de las siguientes piezas. Así hasta que el molde estaba completo, se separaron los componentes hasta que éste se secó, para no dañar ningún borde interno de las divisiones (**Figura 43**).



Figura 43: Construcción de molde de yeso para módulos cerámicos.

Posterior a esto se dejó secar el interior del molde y se hicieron los vaciados de piezas con la pasta cerámica. Se sacaron 20 piezas en total, las cuales se llevaron de nuevo a un taller cerámico para ser sinterizadas.



Figura 44: Módulos cerámicos sinterizados.

5.4.3. Validación

Ya a sintetizadas las piezas, se unieron 9 de éstas con cemento blanco para mantener completamente fijas las piezas en la manipulación dentro del sistema experimental. Después de esto, se preparó la misma solución de dióxido de titanio

que se utilizó en la evaluación de desempeño. Se cubrieron ambas paredes frontales del conjunto de módulos como se muestra en la **Imagen 45**.



UNIÓN DE MÓDULOS CON
CEMENTO BLANCO



PARED DE MÓDULOS CON
DÍOXIDO DE TITANIO

Figura 45: Construcción de pared de módulos y aplicación de dióxido de titanio.

Nuestro indicador contaminante fue la Rodamina B, este pigmento al ser orgánico, se degrada con la actividad fotocatalítica, lo que permitió determinar si el diseño era funcional o no. Se prepararon 4 litros de solución con una concentración de 50 ppm.



Figura 46: Sistema de reflujo fotocatalítico con rodamina B como indicador.

El sistema de reflujo consistió en diseñar una fuente de agua que dejaba caer la solución pigmentada sobre la pequeña pared de módulos (**Imagen 44**). Se tomaron muestras de la solución antes de ser expuesta y después de cada hora. La fuente se colocó al sol por 5 horas.

5.4.3.1. Espectroscopia de UV visible.

En las siguientes espectroscopias se muestra el nivel de absorbancia de luz UV por parte de nuestro pigmento dependiendo de su concentración en la solución. De esta forma, a mayor nivel de degradación fotocatalítica de la Rodamina B, más decrece la curva de la gráfica.

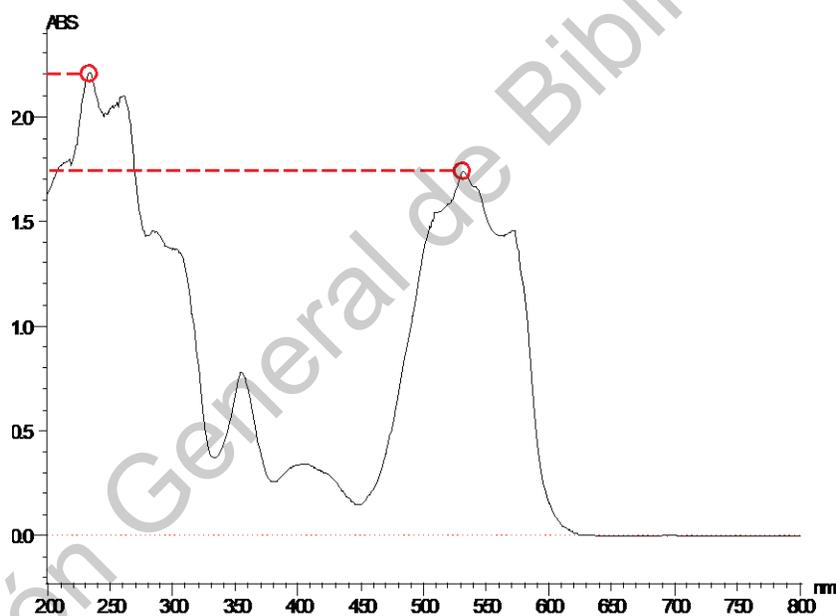


Figura 47: Espectroscopia UV-Vis de rodamina B inicial con concentración inicial.

La **Figura 47** corresponde al resultado de la espectroscopia UV-Vis de la primer muestra tomada antes de ser expuesta la fuente al sol, mientras que la **Figura 48** corresponde a la última muestra registrada después de cinco horas de exposición. Como se observa, los resultados indican que sí se logró el degradó la rodamina B.

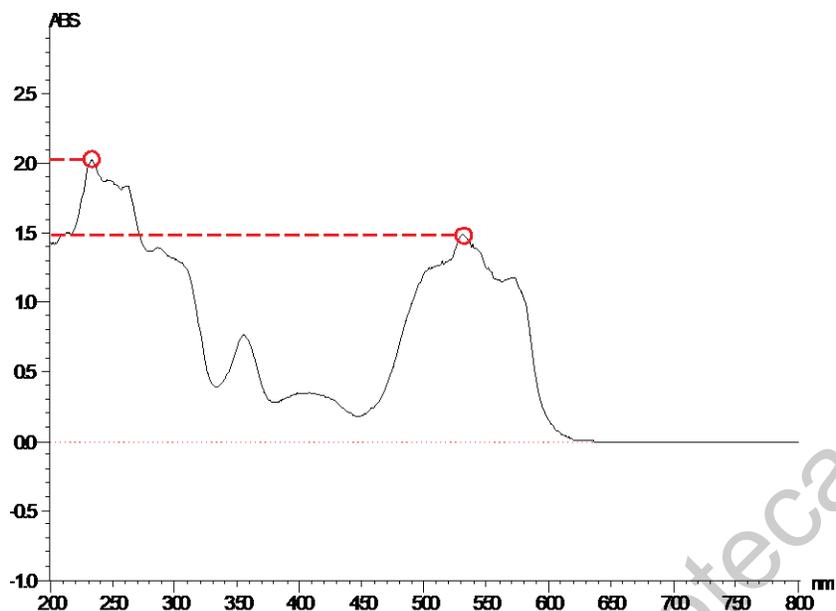


Figura 48: Espectroscopia UV-Vis de rodamina B al final de la exposición a la luz solar.

5.4.3.2. Desempeño de la pared con residuos de Rodamina B.



Figura 49: Registro de actividad purificante sobre la pared de módulos.

En la **Figura 49** se muestra el registro de la actividad purificante sobre la pared de módulos una vez que se secó por 24 horas después de la actividad de reflujó en la fuente. Como se muestra, después de ocho horas de exposición, la

pieza presento un notorio cambio de coloración, e incluso cambios significativos en las caras inferiores de los módulos, que recibían menor cantidad directa de luz.

6. CONCLUSIONES

El valor estético en diseño es bien conocido y bastamente explorado, hay un sin fin de objetos que han sido diseñados por cómo se ven y no por cómo funcionan. Los materiales en el diseño son de los elementos más importantes en el proceso de creación, tal como lo demuestra Rampino en su investigación, por medio de los materiales el objeto puede trascender a la innovación pensando no solo en la forma, sino también en la función.

Mediante el ejercicio de la experimentación en este trabajo y por medio de la construcción de un prototipo a escala se pudieron realizar pruebas de desempeño con lo que se llegó a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a la hipótesis, la superficie porosa de las distintas muestras cerámicas sí fue capaz de soportar en su superficie el material fotocatalítico, además de ser capaz de producir cambios significativos en el degradado de la Rodamina, como indicador de contaminación orgánica. No se observó dilución del TiO_2 con la solución de indicador, sin embargo, con respecto a la fijación del compuesto, éste presento un alto desprendimiento al roce de la superficie, lo que indicaría un alto riesgo de pérdida mediante el contacto con diferentes agentes, si se pretende usar la pieza en la intemperie.

La estructura de pared registró una mayor actividad purificante, en comparación con las piezas de muestra planas. Lo que indica que las caras y la topografía, logran captar en mayor cantidad el flujo de aire y estimulan el arrastre del contaminante. Con respecto al flujo de agua, la topografía sí extendió la corriente por toda la superficie y, de hecho, presento mayor concentración en los puntos más extremos de los módulos.

1.1. Perspectivas a futuro

De acuerdo a la extensa experimentación realizada, se fueron tomando notas en cada paso que dieron lugar a cuestionamientos y propuestas de experimentación posteriores, que son pertinentes mencionar ya que significativamente pueden ampliar el impacto de nuestra idea:

- Realizar pruebas de material cerámico de alta temperatura con menor poro.
- Utilizar una pasta interna con un poro más cerrado, como la porcelana.
- Pruebas de aplicación del TiO_2 antes de sinterizar las piezas. ¿Será posible soportar este nanomaterial después de la cocción si su punto de fusión (1843°C) es superior a la temperatura del sancocho (1050°C)? ¿Se podría perder o no por la evaporación del agua? ¿Qué porcentaje permanece adherido a la superficie? ¿Qué resultado tiene una prueba de adherencia con la cinta adhesiva después de la sinterización?
- Pruebas de esmalte interno de la pieza para evitar la permeabilidad, limitando a el agua a fluir solo por la superficie porosa. Quizás esto también podría dar una mayor estabilidad o soporte al peso acumulado de las piezas apiladas.
- Pruebas de doble vaciado de pasta, la primera capa sumamente delgada siendo una mezcla de pasta, quemantes y TiO_2 y la segunda un vaciado común de pasta con el espesor promedio.
- Pruebas hidrofílicas sobre distintas porosidades que puedan romper o no la tensión superficial del agua. Auto limpieza de la superficie que arrastra los restos de contaminantes foto degradados.
- Piezas de cerámica autolimpiables con actividad fotocatalítica y sin desprendimiento de dióxido de titanio.

El diseño y la nanotecnología, trabajando en conjunto, indican ser un enlace sin duda puede detonar un sin fin de productos para solucionar problemas sociales actuales y del futuro.

REFERENCIAS

- Adawiya, J. H. (2017). Exploring potential Environmental applications of TiO₂ Nanoparticles. *ScienceDirect*, 1-2.
- Alonso Peinado, M. (2010, Marzo 11). *NANOTECNOLOGÍA Fundación Telefónica*. Retrieved from NANOTECNOLOGÍA Fundación Telefónica:
<https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2010/03/11/algunas-aplicaciones-de-puntos-cuanticos/>
- Artacho, A. (2017, agosto 13). *Teselaciones regulares con un solo tipo de polígono regular*. Retrieved from Matematicas Cercanas sitio web:
<https://matematicascercanas.com/2017/08/13/teselaciones-regulares-solo-tipo-poligono-regular/>
- Askeland, D. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales . In D. R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (pp. 561-567). Ciudad de México: International Thomson Editores .
- Asociación Ibérica de la Fotocatálisis. (2018, Enero 28). *Asociación Ibérica de la Fotocatálisis* . Retrieved from Asociación Ibérica de la Fotocatálisis : <http://www.fotocatalisis.org/que-es-la-fotocatalisis.html>
- Barcons Ruiz, D. (2017, MARzo 22). *FUNDACIÓN Telefonica*. Retrieved from FUNDACIÓN Telefonica: nanotecnologia.fundaciontelefonica.com
- Blanco Gálvez, J., Malato Rodríguez, S., Estrada Gasca, C., Bandala, E., Gelover, S., & Leal , T. (2018, Enero 29). *Plataforma Solar de Almería*. Retrieved from Plataforma Solar de Almería:
www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf
- Boch, P., & Niepce , J.-C. (2007). *Ceramic Materials*. Londres: ISTE Ltd.
- Bracero, F. (2017, Junio 30). *LA VANGUARDIA*. Retrieved from LA VANGUARDIA:
<http://www.lavanguardia.com/tecnologia/20170630/423774241459/tamano-chips-procesadores.html>
- Byrne, C. (2017). Recent advances in photocatalysis for environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1.
- Chen López, J. (2017, Septiembre 12). *PRO-MIX*. Retrieved from PRO-MIX:
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/conceptos-basicos-de-la-fotosintesis/>
- Christensen , P., Curtis , T., Egerton, T., Kosa, S., & Tinlin, J. (2003). Photoelectrocatalytic and photocatalytic disinfection of E. coli suspensions by titanium dioxide. *ELSEVIER* , 371-386.
- Di Sia, P. (2016). Nanotechnology among innovation, health and risks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1076-1080.
- EMOL. (2014, Mayo 17). *EMOL.COM*. Retrieved from EMOL.COM:
<http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2014/05/15/660318/presentan-una-piel-artificial-de-tiburón-capaz-de-mejorar-los-movimientos-de-la-natación.html>

- EURORESIDENTES. (2018, Febrero 10). *EURORESIDENTES*. Retrieved from EURORESIDENTES: https://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos_cuanticos.htm
- Escuadra, S., Gómez, J., Lasheras, A., Bezdicek, J., & Ormad, M. (2015, Julio 29). *AGUASRESIDUALES.INFO*. Retrieved from AGUASRESIDUALES.INFO: www.aguasresiduales.info
- Espeso, P. (2012, Marzo 19). *Xataka*. Retrieved from Xataka: <https://www.xataka.com/otros/los-14-nanometros-empiezan-a-verse-en-el-horizonte>
- Fernández E., M. (2017, Octubre 11). *Escamas de los peces características y tipos*. Retrieved from Paradis Sphynx: <https://peces.paradai-sphynx.com/anatomia-fisiologia/escamas-peces.htm>
- Fischer, F. (2008, Febrero 1). *OMPI Organización Mundial de la Propiedad Intelectual*. Retrieved from OMPI Organización Mundial de la Propiedad Intelectual: http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2008/01/article_0006.html
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. (2012, 01 01). *AGUA.ORG.MX : Contaminación en México*. Retrieved from AGUA.ORG.MX: https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/#_ftn1
- Garcés Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación (en línea)*, 83-84.
- Garcés Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 83-92.
- González, G. (2014, Enero 17). *Blog Think Big*. Retrieved from Blog Think Big: <https://blogthinkbig.com/nanomateriales>
- Herwig, O. (2015, Agosto 12). *Smart Magazine*. Retrieved from Smart Magazine: <https://www.smart-magazine.com/en/smog-eating-facades/>
- ING AERONAUTICA. (2015, 01 01). *ING AERONAUTICA*. Retrieved from Tunel de Viento: <https://ingaeronautica.wordpress.com>
- Kramer, J. (2016, 07 11). *theDesignExchange*. Retrieved from theDesignExchange: https://www.thedesignexchange.org/design_methods/311
- Mora Osejo, L. (1969). Fotosíntesis (Divulgación científica). *Universidad Nacional de Colombia digital PORTAL DE REVISTAS UN*, 209-217.
- Mussi, S. (2018, Febrero 4). *Diccionario de cerámica*. Retrieved from Diccionario de cerámica.
- Noack, K. (2015, Junio 11). *RATEC GmbH*. Retrieved from RATEC GmbH: <https://www.ratec.org/en-us/home/news/news/news-details/upcrete-technology-for-production-of-facade-elements-of-expo-pavillion/>

- Nuñez Jover, J. (2006, Junio 1). *Sala de Lectura CTS+I*. Retrieved from Organización de Estados Iberoamericanos: <http://www.oei.es/historico/salactsi/nunez00.htm#a>
- PNUD. (2015, septiembre 25). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. Retrieved from Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: <http://www.undp.org>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2016, Enero 1). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Retrieved from Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/poverty-reduction/undp-support-to-the-implementation-of-the-2030-agenda.html>
- Rampino, L. (2011). The Innovation Pyramid: A Categorization of the Innovation Phenomenon in the Product-design Field. *International Journal of Design (online)*, 3-16. Retrieved from International Journal of Design.
- Rincón, G., Giraldo, S., & Pulgarín, C. (n.d.). *Desinfección de agua por fotocatalisis*. Retrieved from https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/13_Capitulo_13.pdf
- Rocha Rangel, E., Rodríguez García, J., Martínez Peña, E., & López Hernández, J. (2012). Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza. *Investigación y ciencia (en línea)*, 56-61.
- Rodríguez García, Y. (2012, Marzo 2). *NANOTECNOLOGÍA Fundación Telefónica*. Retrieved from NANOTECNOLOGÍA Fundación Telefónica: <https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2012/03/02/nanoparticulas-en-cremas-solares/>
- SEAS. (2012, Octubre 22). *Blog SEAS*. Retrieved from Blog SEAS: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-grafeno-propiedades-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- Singer, F., & Singer, S. S. (1984). *Enciclopedia de la Química Industrial*. Bilbao: Ediciones URMO S.A.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. México D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Sobejano, J. (2011, Diciembre 2). *3 VECTORES DISEÑO SUSTENTABLE*. Retrieved from 3 VECTORES DISEÑO SUSTENTABLE: <http://3vectores.com/la-verdadera-innovacion-comienza-con-el-pensamiento-de-diseno/>
- SOSTENIBILIDAD. (2018, Febrero 15). *SOSTENIBILIDAD PARA TODOS*. Retrieved from SOSTENIBILIDAD PARA TODOS: <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/que-es-una-smart-city-top-5-ciudades-inteligentes/>
- Taggart, R., Evers, C., Starr, L., & Starr, C. (2009). *Biología. La unidad y la diversidad de la vida*. Ciudad de México: Cengage Learning.
- Tavsan, F., & Sonmez, E. (2015). Biomimicry in Furniture Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2285-2292.

Vitra Chairman Emeritus Rolf Fehlbaum. (2009, enero 2). *VITRA MAGAZINE*. Retrieved from VITRA :
www.vitra.com

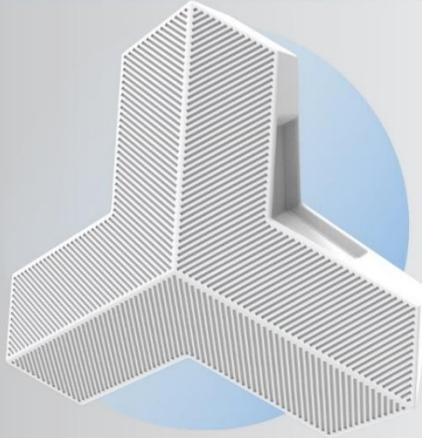
Wikipedia. (2017, November 2). *Wikipedia The free encyclopedia*. Retrieved from Wikipedia The
free encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/HSAB_theory

WWAP UNESCO. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las
Naciones Unidas 2017, Cifras y Datos*. Perugia: Programa Mundial de Evaluación de los
Recursos Hídricos.

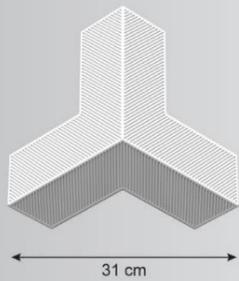
Dirección General de Bibliotecas UAQ

APÉNDICE

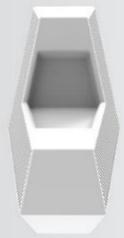
MÓDULO CERÁMICO



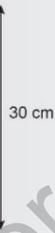
DIMENSIONES



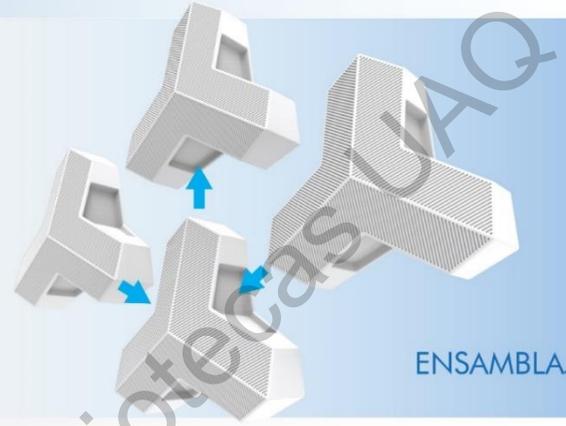
31 cm



16 cm



30 cm

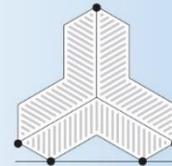


ENSAMBLAJE

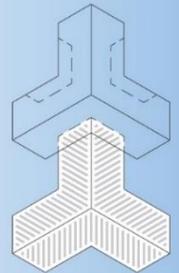
CARACTERÍSTICAS



SUPERFICIE
ESTRIADA

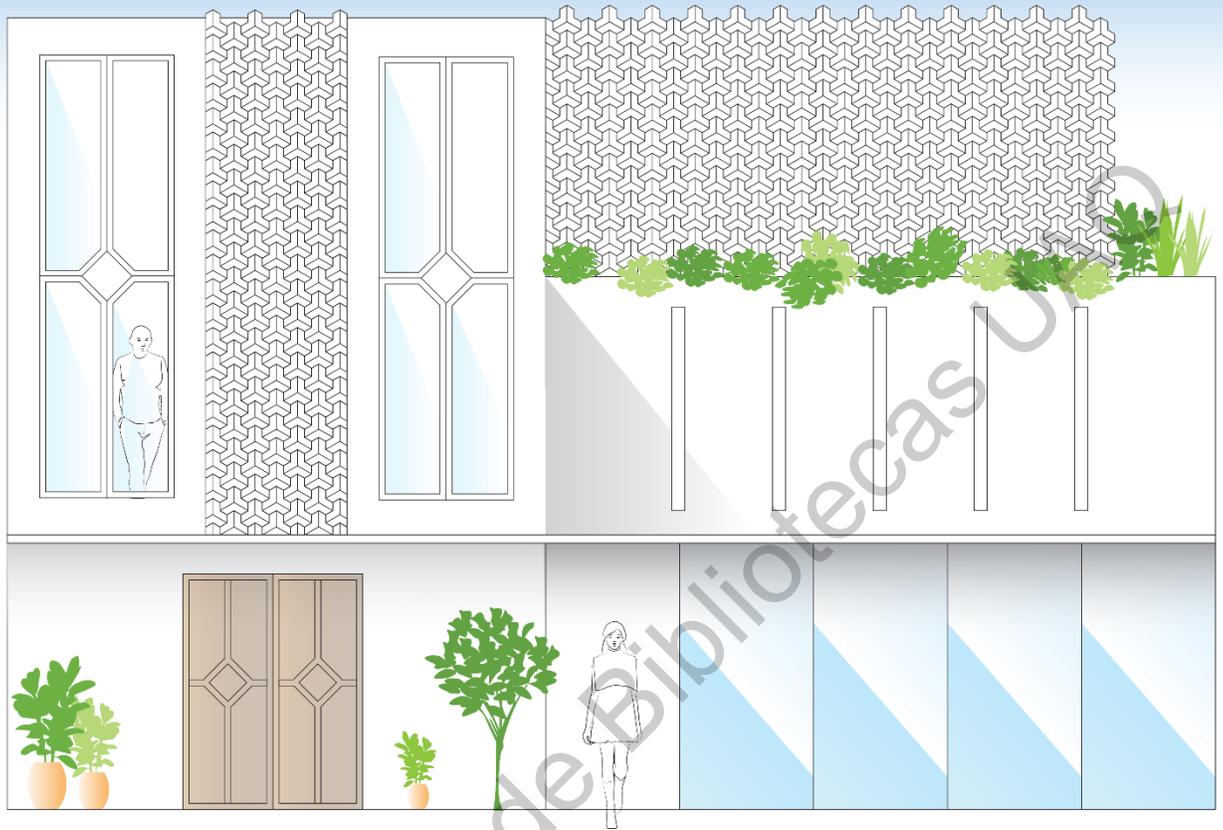


EQUILIBRIO
ESTABLE



CAVIDADES DE
ENSAMBLAJE

APLICACIÓN RESIDENCIAL



USO EN EXTENSIÓN DE SUPERFICIE ALTA

