



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL
AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Javier Antonio García Alarcón

Asesorado por M.Sc. Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL
AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAVIER ANTONIO GARCÍA ALARCÓN

ASESORADO POR M.SC. INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Inga. Lesbia Magali Herrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de octubre de 2022.

Javier Antonio García Alarcón



EEPFI-PP-2113-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y manejo ambiental - Estimación de huellas ecológicas y medidas de mitigación**, presentado por el estudiante **Javier Antonio García Alarcón** carné número **201701097**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

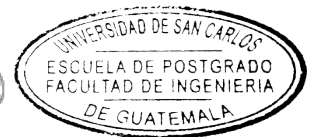
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtra. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIC.1723.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Javier Antonio Garcia Alarcón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, noviembre de 2022





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.131.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REVESTIMIENTO FOTOCATALÍTICO PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Javier Antonio García Alarcón**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la salud, fortaleza y sabiduría para llegar a este punto de mi carrera, culminar una meta tan importante en la vida.
Mi madre	Miriam Alarcón, por el amor incondicional, compañía, el consejo, el cariño, la moral, los valores inculcados y por sobre todo enseñarme la bondad.
Mi padre	Calvin García, por el apoyo en momento difíciles, los valores inculcados y el cariño.
Mis hermanos	Luis, Wilber y Mario Alarcón por su consejo, guía y apoyo en todo momento, por darme un norte cuando lo necesito.
Mi tía	Corina García, por el cariño, el amor y el consejo como una segunda madre en mi vida.
Mi novia	Andrea Blanco, por el amor sincero e incondicional, el cariño, el consejo, guía y el apoyo en el tiempo compartido.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera, por ser pública y de acceso a toda la población.

Facultad de Ingeniería

Por ser facultad que apoya al estudiante, y darme los conocimientos necesarios para salir adelante.

Dios

Primero, porque sin él nada de esto podría estar sucediendo.

Mi familia

Por siempre estar cuando más lo necesito, por el apoyo porque sin ellos, esta meta no sería posible.

Mis amigos de universidad

David Rabinal, Héctor Villagran, Diego Gaitán, Pablo Rubio, Camilo Roncal y Carmen Garrido, por la guía, la diversión y los momentos de alegría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3.1. Descripción del problema	5
3.2. Formulación del problema	7
3.2.1. Pregunta central	7
3.2.2. Preguntas auxiliares	7
3.3. Delimitación del problema	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Calidad del aire.....	15
7.1.1. Componentes del aire.....	16

7.1.1.1.	Dióxido de carbono	16
7.1.1.2.	Compuestos orgánicos volátiles.....	17
7.1.1.3.	Material particulado (PM10, PM2.5, PM1)	17
7.1.1.4.	PM1 (Material particulado)	18
7.1.1.5.	PM2.5 (Material particulado)	18
7.1.1.6.	PM10 (Material particulado)	19
7.2.	Morteros.....	19
7.2.1.	Tipos y Usos.....	19
7.2.2.	Las propiedades de los morteros	21
7.2.2.1.	Estado plástico	21
7.2.2.2.	Estado endurecido	23
7.3.	Fotocatálisis	27
7.3.1.	Fotocatálisis heterogénea	27
7.3.2.	Obtención de dióxido de titanio	28
8.	DISEÑO Y DESARROLLO	31
8.1.	Diseño y desarrollo.....	31
8.2.	Planificación del diseño y desarrollo	32
8.3.	Verificación del diseño y desarrollo	32
8.4.	Validación del diseño y desarrollo	33
8.5.	Control de cambios del diseño y desarrollo.....	33
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
10.	METODOLOGÍA	39
10.1.	Enfoque.....	39
10.2.	Diseño y alcance de la investigación.....	39
10.3.	Operacionalización de variables	40

10.4.	Recursos y materiales	41
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	43
11.1.	Método y técnicas de recolección de datos	43
12.	CRONOGRAMA.....	45
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	47
14.	REFERENCIAS.....	49
15.	APÉNDICE	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del Problema.....	6
2.	Tamaño de partículas PM1, PM2.5, PM10.....	18
3.	Especímenes para realización de pruebas a revestimiento	40
4.	Monitor de calidad de aire <i>Airthinx</i> IAQ	41
5.	Calidad del aire en tiempo real.....	44
6.	Cronograma.....	45

TABLAS

I.	Necesidades por cubrir.....	14
II.	Componentes de calidad del aire	16
III.	Usos y proporciones de morteros de cementantes	20
IV.	Los requerimientos para especificar proporciones	20
V.	Operacionalización de variables.....	40
VI.	Recursos necesarios y su disponibilidad.....	47
VII.	Materiales e insumos.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CH₂O	Formaldehídos
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
EPA	Agencia de Protección Ambiental
h	Horas
ICA/IAQ	Índice de Calidad de Aire (Air Quality Index)
PM	Material particulado
ppm	Partes por millón
VOCs	Compuestos Orgánicos Volátiles
°C	Grados centígrados
µg	Microgramos

GLOSARIO

Absorción	Es la cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad o espécimen, expresada en unidades de masa/volumen (Aa) o como un % de la masa (peso) seca de la unidad o espécimen (Aa%).
Adición	Material mineral que es incorporado al cemento o al concreto en diferentes proporciones a fin de mejorar o transformar algunas de las propiedades.
ASHRAE	Siglas en inglés de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado es una asociación profesional estadounidense que busca avanzar en el diseño y la construcción de sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials).
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.

Control de calidad

Acciones que toma un productor o constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.

Densidad

Relación entre el volumen bruto y la masa de una unidad o espécimen.

Fraguado

Es la reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.

Calidad del aire

Está definida como la medida de la condición del aire con respecto a los requerimientos de una o más especies bióticas o cualquier necesidad o propósito humano.

Concentración promedio

Promedio del valor de la concentración que se determinó durante un período de tiempo.

Contaminante

El compuesto molecular del que se está tratando y es considerado como contaminante del aire, este puede ser: CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, COV, etc.

Índice de calidad del aire

El índice de calidad del aire (ICA) es un índice para reportar la calidad de aire diaria, indica que tan limpio o insalubre se encuentra el aire y que efectos a la salud están asociados al asunto. Se enfoca en los efectos a la salud que podrían tener las personas dentro de unas pocas horas o días después de respirar aire insalubre. El ICA es calculado por cuatro mayores contaminantes los cuales son: ozono superficial, contaminación de partículas, monóxido de carbono y dióxido de azufre.

INSIVUMEH

Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología. Organismo adscrito al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de la República de Guatemala.

Material particulado

Pequeñas piezas de material sólido o líquido, tal es el caso de partículas de hollín, polvo, gases, neblina y aerosoles. Las características físicas de las partículas, y como se combinan con otras partículas son parte del mecanismo de realimentación de la atmósfera.

Partes por billón

Número de partes de químico encontrado en un billón de partes de un gas, líquido o mezcla de sólidos en particular.

Partes por millón

Número de partes de un químico encontrado en un millón de partes de un gas, líquido o sólido en particular.

RESUMEN

La industria de la construcción se mantiene en constante transformación debido a las nuevas tendencias, buscando siempre la resistencia, durabilidad y estética de cualquier producto a utilizar. Entre la amplia gama de productos, se encuentra la línea de repellos, revestimientos, los cuales son pastas de grano fino compuestas por cemento, cal, carbonato de calcio y compuestos químicos, los cuales se utilizan para enlucir paredes y techos. (Guerrero, 2012)

Los revestimientos son el material más importante dentro de un espacio interior porque crean condiciones de confort dentro de la vivienda y son la última capa hacia dentro, después de las pinturas.

Las pinturas convencionales que se aplican en la mayoría de las viviendas con ciertas condiciones de humedad y temperatura empiezan a liberar compuestos orgánicos volátiles (VOCs) al ambiente y que son dañinos para la salud arriba de ciertos rangos normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Si se sustituye el revestimiento convencional y se utiliza uno con las mismas propiedades mecánicas y características físicas, pero con un agregado que es capaz de mejorar las condiciones ambientales y que actúe contra las pinturas que se aplican en los interiores, se mejoran las condiciones de salud dentro de los espacios interiores a causa de la reducción de contaminación interior, una solución de la ingeniería civil a las personas.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, como en muchos países latinoamericanos, el deterioro de la calidad del aire es de las consecuencias indeseables provenientes de diversos factores, entre los que es necesario mencionar: el aumento de la actividad industrial, el crecimiento de la industria de automóviles, sistema de transporte público ineficiente (unidades muy antiguas que emiten contaminantes cantidades a la atmósfera). (Oliva, 2008)

La industria de la construcción se mantiene en constante transformación debido a las nuevas tendencias, buscando siempre la resistencia, durabilidad y estética de cualquier producto a utilizar. Entre la amplia gama de productos, se encuentra la línea de repellos, revestimientos, los cuales son pastas de grano fino compuestas por cemento, cal, carbonato de calcio y compuestos químicos, los cuales se utilizan para enlucir paredes y techos. (Guerrero, 2012)

Los revestimientos son el material más importante dentro de un espacio interior porque crean condiciones de confort dentro de la vivienda y son la última capa hacia dentro, después de las pinturas.

Las pinturas convencionales que se aplican en la mayoría de las viviendas con ciertas condiciones de humedad y temperatura empiezan a liberar compuestos orgánicos volátiles (TVOCs) al ambiente y que son dañinos para la salud arriba de ciertos rangos normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Si se sustituye el revestimiento convencional y se utiliza uno con las mismas propiedades mecánicas y físicas, pero con un agregado que es capaz de mejorar las condiciones ambientales y que actúe contra las pinturas que se aplican en los interiores, se mejoran las condiciones de salud dentro de los espacios interiores a causa de la reducción de contaminación interior, una solución de la ingeniería civil a las personas.

2. ANTECEDENTES

En el trabajo realizado por Segura y Camelo (2019), se evalúa de manera cualitativa y cuantitativa el uso de los materiales de construcción que tienen propiedades foto catalíticas, como lo es el caso del concreto hecho con cemento, agregados de desechos cantera y adicionado con diferentes proporciones de dióxido de titanio TiO_2 , se elaboraron muestras que permiten medir la capacidad de resistencia a la compresión del concreto y la capacidad de degradación de contaminantes encontrados en la atmosfera, de esta forma se logró determinar qué proporción de dióxido de titanio actúa mejor para obtener resultados ideales del diseño de mezcla y lograr ser útil para las obras de infraestructura.

Un grupo de ingenieros mexicanos de la Universidad Nacional Autónoma de México crearon un concreto que purifica el aire, fotocatalítico. “Desarrollamos un sistema constructivo con materiales sustentables que hoy permite brindar vivienda sustentable, asequible y de gran calidad a un bajo costo” (Forbes México, 2021, pag.1).

De acuerdo con la licenciada Ana Mercedes Heredia, un estudio conjunto entre el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso y la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), dirigido en ese momento por la Dra. Pamela Pennington, de la Universidad del Valle de Guatemala, aisló e identificó bacterias del suelo de la planta San Miguel en Sanarate el Progreso, que tienen la capacidad de producir carbonato de calcio (mineral de la piedra caliza). Con esta investigación se determinó que pueden utilizarse formulaciones nutricionales para estos microorganismos a base de desechos industriales.

Según Peralta en la realización de su tesis del Mortero fotocatalítico con TiO₂ para la reducción de la contaminación del aire por emisiones procedentes de vehículos, pretende de alguna manera mejorar la calidad del aire con la aplicación de TiO₂ para la reducción de los contaminantes en el mismo, de tal manera que pueda haber una mejor calidad de vida en el país de aplicación de investigación.

Ander Elkoru (2013) con su investigación sobre, La optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en morteros, la investigación sobre la fotocatalisis ha aumentado de forma considerable en la última década, como una respuesta a la necesaria solución de los contaminantes atmosféricos, así como los residuos industriales de complejo tratamiento. Del mismo modo, la investigación de su aplicación sobre el hormigón sufre el mismo aumento debido a que las mayores problemáticas con los contaminantes atmosféricos se concentran en las grandes urbes, en muchos casos, causantes de problemas respiratorios y alergias.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta parte se desarrolla el planteamiento del problema debido a la importancia que tiene el mismo y la correlación entre la parte ambiental y de obra civil.

3.1. Descripción del problema

Según los datos de la oficina Nacional de Estadísticas INE en (2012), las enfermedades respiratorias neumonía y bronconeumonía ocuparon el primer lugar entre las diez principales causas de muerte, incluso más que la cantidad de muertes causadas por ataques con armas de fuego.

Los datos de un informe realizado por medios de comunicación en conjunto con una empresa especializada en monitoreo de Calidad del aire, en los meses de febrero y marzo del 2021 (Prensa Libre y Guatevisión), determinó que, la contaminación del aire en espacios interiores se ve muy afectada por la concentración de CO₂, y que es un parámetro indirecto de la buena ventilación que hay dentro de los espacios interiores. Y por compuestos orgánicos volátiles (TVOCs) en el ambiente derivados del uso excesivo de productos para desinfección de áreas como (Gel antibacterial, desinfectantes, aerosoles desinfectantes, etc.)

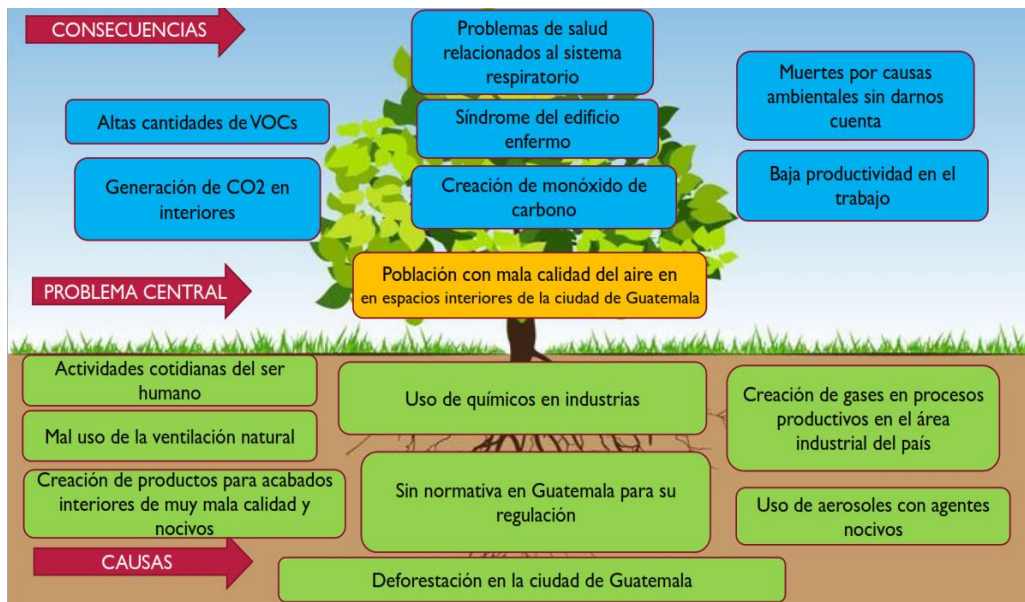
La calidad del aire en Guatemala es un tema que ha tenido mucha incidencia en la muerte de muchas personas, y la ingeniería civil no ha proporcionado soluciones para esta problemática, por lo que se aborda como un tema innovador en la ingeniería civil.

Para mejorar la salud de los guatemaltecos y su calidad de vida, con lo que se reducirán los índices de morbilidad de enfermedades respiratorias, y se mejorará la preparación si surgiera una pandemia con efectos en la salud derivada de problemas respiratorios como el Covid19.

En Guatemala no existen revestimiento para mejorar la calidad del aire, por lo tanto, es necesaria la investigación con estudios que apoyen esta causa.

Debido a que los efectos a la salud y el medio ambiente de los TVOC se resume en: efectos a la salud; que se producen principalmente por inhalación, alergias, náuseas e irritación de ojos y vías respiratorias, falta de memoria, dificultad de concentración, irritabilidad, dolor de cabeza, fatiga. lesiones al hígado, pulmones, riñones y sistema nervioso central. Algunos COV han sido calificados cancerígenos como el benceno o el formaldehído.

Figura 1. **Árbol del Problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Power Point.

3.2. Formulación del problema

En Guatemala no existen revestimiento para mejorar la calidad del aire, por lo tanto, es necesaria la investigación con estudios que apoyen esta causa.

3.2.1. Pregunta central

¿Cómo debe de desarrollarse un revestimiento para mejorar las condiciones de calidad de aire en espacios interiores en Guatemala?

3.2.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la remoción de un CO₂ con un revestimiento aplicado en interiores en la ciudad de Guatemala?
- ¿Cuál es la remoción de un material particulado (PM) con un revestimiento aplicado en interiores en la ciudad de Guatemala?
- ¿Cuál es la remoción de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la calidad del aire con el revestimiento tipo mortero?
- ¿Cuál es la proporción exacta del elemento absorbente para la buena disminución de contaminantes en el aire?

3.3. Delimitación del problema

El problema se encuentra delimitado para la ciudad de Guatemala en espacios interiores, con condiciones de temperatura promedio, entre 15 °C y 30 °C, y condiciones de humedad entre 40-60 %.

4. JUSTIFICACIÓN

La Universidad de San Carlos de Guatemala como ente desarrollador de futuros profesionales, tiene la responsabilidad de enfocar sus esfuerzos a las necesidades y proyectos fundamentales del país. Ya que el plan nacional de desarrollo: *K'atun*, Nuestra Guatemala 2032, considera la sostenibilidad ambiental como uno de los pilares principales del desarrollo nacional, la Universidad ha iniciado programas de beneficio ambiental, como por ejemplo la creación de la Comisión de Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sin embargo, no se encuentran aún estudios rigurosos relacionados con la calidad del aire, ni con beneficios de la ingeniería civil hacia la misma.

Partiendo de que la calidad de aire en los espacios interiores es de 2 a 5 veces peor que en los espacios exteriores y, que las personas pasan más del 90% de su tiempo dentro de un espacio interior, se plantea una solución para reducir la contaminación ambiental en espacios interiores.

Y tomando en cuenta que la ingeniería civil no está tan arraigada a proveer soluciones ambientales, se decide realizar este revestimiento con el fin de aportar al campo ambiental desde la ingeniería civil, y dada la experiencia en los últimos años en el tema de calidad del aire, se puede proveer una solución al problema planteado.

5. OBJETIVOS

General

Desarrollar un revestimiento tipo mortero que mejore las condiciones de calidad de aire interior al ser aplicado en paredes de espacios interiores en la ciudad de Guatemala.

Específicos

1. Calcular la remoción de Dióxido de carbono (CO₂) en la calidad del aire en el revestimiento tipo mortero.
2. Estimar la remoción de material particulado (PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁) en la calidad del aire en el revestimiento tipo mortero.
3. Calcular la remoción de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la calidad del aire con el revestimiento tipo mortero.
4. Determinar la proporción del aditivo absorbente con la mezcla del mortero.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El aire es un producto que todos los seres humanos consumimos a diario. Es un tema conocido a nivel mundial, la humanidad debe poder respirar un aire puro, con mejores condiciones y que pueda mejorar la salud. Las personas pasan más del 90% en espacios interiores y es donde peor calidad de aire hay, por lo que proveer una solución de esto sería de gran ayuda a la población.

Para identificar las características de calidad del aire según los procedimientos que se usan actualmente, se debe realizar mediciones de calidad de aire con aparatos sofisticados que puedan por cualesquiera métodos de identificación de partículas detectar la cantidad de masa por unidad de volumen que hay de los distintos contaminantes en el aire, por lo que se usará un dispositivo *Airthinx* IAQ para su determinación.

También será necesario el análisis de la utilización de estrategias arquitectónicas para mejorar el ambiente como pueden ser (colocación de ventanas, aire fresco, extracción por ventilación mecánica del aire) todos estos parámetros ayudarán a entender cada espacio y poder actuar desde cada uno. Debido a que esto dará una idea de la fuente de contaminación y así saber cuál es el mejor lugar para la aplicación del revestimiento tipo mortero que mejorará las condiciones de calidad de aire interior.

Luego de esto se realizará otra medición correspondiente para determinar si en efecto el revestimiento actúa con el aire reduciendo los contaminantes interiores como lo es (compuestos orgánicos volátiles, material particulado PM10, dióxido de carbono CO2).

Tabla I. Necesidades por cubrir

No.	Aspecto	Descripción
1	Descripción de las necesidades laborales que el trabajo pretende cubrir en el contexto específico del problema	En este trabajo se pretende identificar si un revestimiento tipo mortero al ser aplicado en las paredes interiores de una vivienda, oficina o alguna otra aplicación, es capaz de reducir la contaminación que existe en el mismo. Esto debido a que en interiores es de 2 a 5 veces peor la calidad de aire que en el exterior.
2	En el ámbito nacional o regional	Las características del aire en el país son un problema importante, hoy Guatemala es el tercer país de Latinoamérica con peor calidad de aire, por lo que aportar a esta causa mejorara los índices ambientales.
3	Descripción detallada del esquema o arquitectura de la solución que se propone ensayar para resolver el problema planteado	Para determinar si el revestimiento tipo mortero puede o no reducir contaminantes es necesario realizar mediciones antes de ser aplicado y después, siempre en condiciones y ubicaciones similares, para que pueda haber una comparativa razonable.
4	Argumentar la originalidad en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	El aire es un producto que todos los seres humanos consumimos a diario. Es un tema conocido a nivel mundial, la humanidad debe poder respirar un aire puro, con mejores condiciones y que pueda mejorar la salud. Hoy pasamos más del 90% en espacios interiores y es donde peor calidad de aire hay, por lo que proveer una solución de esto sería de gran ayuda a la población y de aporte a la Maestría en Energía y Ambiente.
5	Argumentar la pertenencia en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	Derivado que la Maestría de Energía y Ambiente, existe el área ambiental este proyecto de calidad de aire contribuye específicamente en realizar una reducción a la contaminación del medio ambiente, reduciendo así enfermedades por respiratorias por causa de una mala calidad de aire.
6	Argumentar la validez técnica en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	Al ser un profesional con conocimientos en la ingeniería civil y también en el área ambiental, este proyecto complementa la identificación de las características según la experiencia con la que cuento actualmente. Y también sabiendo que tengo una empresa que puede realizar mediciones de calidad de aire, puedo hacer más eficiente mi proceso durante la realización de investigación, esto con el fin de mejorar los parámetros de calidad de aire y poder hacer comparación con alguna norma internacional.

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se identificarán los temas más importantes del trabajo de investigación.

7.1. Calidad del aire

De acuerdo con Colop (1989) los procesos de la naturaleza que producen contaminantes son clasificados como fuentes biogénicas, las cuales son actividades del hombre que producen contaminantes en el aire se denominan fuentes antropogénicas.

La calidad del aire es un parámetro de cuánto el aire está exento de polución atmosférica y, por lo tanto, que tan apto para ser respirado, esto depende de la concentración de contaminantes que son dañinos a la salud humana y se encuentran diluidos en un área determinada, a esto se le llama inmisiones. (Colop, 1989)

De acuerdo con Colop (1989) la expulsión, a la atmósfera, de sustancias líquidas, sólidas o gaseosas procedentes de fuentes fijas o móviles producto de la combustión o del proceso de una producción se le llama emisión, los contaminantes o componentes que pueden afectar la salud humana, los cuales al estar altos en determinadas concentraciones, estos son:

- Partículas menores a 10 micras (PM10, PM2.5, PM1)
- Formaldehidos (CH₂O)
- Dióxido de carbono (CO₂)

- Compuesto Orgánicos Volátiles (VOCs)
- Temperatura
- Humedad

7.1.1. Componentes del aire

El aire atmosférico es una mezcla de gases que, al parecer, ha evolucionado durante varios miles de millones de años hasta llegar a la composición actual. Sus componentes naturales son nitrógeno, oxígeno y algunos gases inertes o nobles. Otros componentes como el dióxido de carbono y el vapor de agua son variables, según el lugar y el tiempo. (Colop, 1989)

Tabla II. Componentes de calidad del aire

COMPONENTE	VOLUMEN %	PESO %
Nitrógeno (N ₂)	78.03	75.58
Oxígeno (O ₂)	20.99	23.08
Argón (Ar)	0.94	1.28
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0.035	0.053
Neón (Ne)	0.0024	0.0017
Otros gases inertes	0.0024	0.0017
Hidrógeno (H ₂)	0.00005	0.000004

Fuente: Colop (1989). *Determinación de los índices de contaminación del aire por la industria en la ciudad Tecún Umán, San Marcos, Guatemala.*

7.1.1.1. Dióxido de carbono

La Organización Panamericana de la Salud en el año 2018, ha mencionado que dentro de las viviendas la contaminación del aire se encuentra considerado como el segundo nivel de riesgo ambiental mas alto que afecta la salud

ocupacional, en los países con economías bajas y medianas se estima que causó 3,8 millones de muertes en el 2016.

7.1.1.2. Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos son sustancias que químicamente contienen carbono y que lo contienen todos los seres vivos. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) pueden convertirse fácilmente en gases o vapores. En conjunto con el carbono, agrupan elementos como hidrógeno, cloro, fluor, oxígeno, bromo, azufre o nitrógeno. Los COV son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.

7.1.1.3. Material particulado (PM10, PM2.5, PM1)

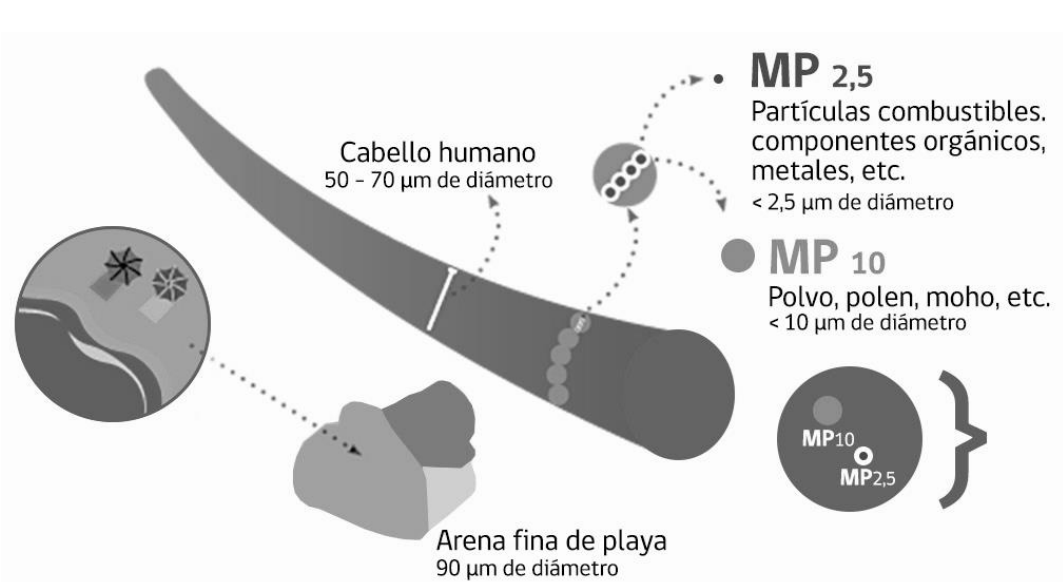
Son todas aquellas partículas que se encuentran en el aire y que por lo general son sólidas o líquidas, éstas se encuentran suspendidas en el aire y la mayor parte de las cuales son un peligro para los seres humanos.

Para investigación cuantitativa: según la EPA, (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). No certifica equipos para medición de calidad del aire. Sin embargo, recomienda equipos de medición de calidad de aire en tiempo real porque lo que se debe saber es la tendencia del alza de contaminantes en el ambiente. Según los datos medidos se realiza un análisis correlacional entre las variables que intervienen para determinar si el revestimiento tipo mortero mejora las condiciones de calidad de aire para las que es diseñado.

7.1.1.4. PM1 (Material particulado)

Las partículas más habituales en el aire son: PM1: partículas de tamaño <1 μm . Ejemplos: polvo ultrafino, partículas de combustión, bacterias y virus.

Figura 2. Tamaño de partículas PM1, PM2.5, PM10



Fuente: elaboración propia, realizado con Canva.

7.1.1.5. PM2.5 (Material particulado)

El material particulado o también llamado PM2.5, son partículas muy pequeñas en el aire que tiene un diámetro de 2.5 micrómetros (aproximadamente 1 diezmilésimo de pulgada) o menos de diámetro. Si comparamos este tamaño es menos que el grosor de un cabello humano.

7.1.1.6. PM10 (Material particulado)

Se les denomina PM10 a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo que pueden ser en ciertas cantidades distinguibles, cenizas, hollín, partículas metálicas en el aire, cemento o el polen, que se encuentran dispersas en la atmósfera, y que su diámetro aerodinámico es menor que 10 μm .

7.2. Morteros

Pueden definirse como una mezcla de material aglomerante (cemento Portland), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente utilizados para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento, repello o revestimiento. (Sabá, 2006)

7.2.1. Tipos y Usos

Éstos pueden dividirse de la siguiente manera:

- Los aéreos, los cuales endurecen bajo influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación. (Francisco, 2002)
- Los hidráulicos que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas no purificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas. (Francisco, 2002)

Tabla III. **Usos y proporciones de morteros de cementantes**

PROPORCIÓN	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para la impermeabilización y muros de tanques subterráneos. Rellénelos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega de ladrillos y bloques en muros. Muros finos
1:5	Muros exteriores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:6 y 1:7	Muros interiores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:8	Pega para construcciones que se demolerán pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: García (2012). *Diseño y evaluación de un mortero fino tipo repello con acabado alisado y propiedades de hidrofobicidad para una empresa de acabados de la construcción.*

Tabla IV. **Los requerimientos para especificar proporciones**

Mortero	Tipo	Proporciones por Volumen (materiales comandantes)							Proporción de agregado	
		Cemento hidráulico	Cemento para mortero de pega			Cemento de mampostería				Cal hidratada o cal pasta
			M	S	N	M	S	N		
Cemento-cal	M	1	...	...	...	...	...	...	Más de ¼
	S	1	...	...	...	...	...	...	Más de ¼ a ½
	N	1	...	...	...	...	...	...	Más de ½ a 1 ¼
	O	1	...	...	...	...	...	...	Mas de 1 ¼ a 2 ½
Cemento para mortero de pega	M	1	...	...	1	...	...	...	...
	M	...	1	...	...	...	...	...	No menos de 2 ¼ y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	½	...	...	1	...	...	...
	S	...	...	1	...	...	...	...
	N	...	...	...	1	...	...	...
Cemento de mampostería	O	...	...	...	1	...	...	...
	M	1	...	...	...	...	1	...	
	M	...	...	...	...	1	...	...
	S	½	...	...	...	...	1	...	
	S	...	...	...	...	...	1	...	
	N	...	...	...	...	...	1	...	
O	...	...	...	...	...	1	...		

Fuente: Norma NTG 41050 (2012). *Mortero de pega para unidades de mampostería.*

7.2.2. Las propiedades de los morteros

La evaluación de las propiedades de los morteros se puede considerar como una medida para el control de calidad. Por lo regular se toman en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido. Si un mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados. (Sabá, 2006))

7.2.2.1. Estado plástico

El mortero es un material plástico que está compuesto de una mezcla de aglomerante, agua y arena. Este material fue utilizado incluso en las civilizaciones más antiguas. También llamada mezcla plástica.

- Manejabilidad

Es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería o en revestimientos. Está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir; qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico, la consistencia del mortero debe cambiar en virtud de las condiciones climáticas en el lugar del proyecto. (Gudiel, 2009)

Según Gudiel, en general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obtenido en la mesa de flujo de acuerdo con la Norma NTG 41011 (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico). Dentro de los parámetros que disminuyen la consistencia y por tanto la trabajabilidad, están:

- Granulometría y forma de las partículas del agregado fino.
 - Cantidad de cemento utilizado.
 - Cantidad de cal utilizado.
 - Porcentaje de aire.
 - Relación agua/cemento
 - El uso de aditivos
 - El tiempo de mezcla.
-
- Retención de agua

Es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando queda en contacto con una superficie absorbente (como una unidad de mampostería). Esto permite que las unidades puedan ser acomodadas, alineadas y niveladas, por lo que resulta ser uno de los factores de mayor incidencia en la adherencia entre morteros y unidades. (Gudiel, 2009)

De acuerdo con Gudiel (2009), la retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia a la compresión del mortero, ya que afecta la hidratación del cemento, adquiere mayor importancia en el caso de que las unidades utilizadas presenten una alta absorción (las unidades deben de tener un contenido de humedad adecuado, húmedas no mojadas). Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

- Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, éstos dependen de diversos factores tales como: las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra, hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos. La Norma NTG 41017 h12 (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración), indica el procedimiento para este ensayo. (Gudiel, 2009)

- Contenido de aire en mezcla

De acuerdo a las definiciones realizadas por Gudiel (2009), es una propiedad de gran importancia que afecta su comportamiento en estado fresco y endurecido, puede producirse por efectos mecánicos o de manera intencional por medio de aditivos inclusores de aire. La adherencia disminuye cuando aumenta el contenido de aire.

7.2.2.2. Estado endurecido

Estado que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico al estado rígido. Proceso por el cual el concreto gana resistencia y se endurece. Este se divide en varias propiedades, éstas son algunas de ellas:

- Retracción

Es la pérdida de volumen del mortero y se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua-cemento. El agregado soluciona el problema en parte, especialmente si es

de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de mucho viento el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas, lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. (Gudiel, 2009)

Podemos encontrar 3 variaciones distintas de volumen que afectan al mortero:

- La retracción hidráulica que se da por humedad.
- La retracción térmica que se da por temperatura.
- La retracción por carbonatación por la composición atmosférica

“Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos”. (Gudiel, 2009, pág. 53).

- Adherencia

De acuerdo a los datos de Gudiel (2009), la propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o acero. En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la

unión mecánica del mortero, así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería, ya que permiten una íntima unión entre las piezas. Sin curado húmedo, los morteros con el contenido de humedad mayor logran un curado mejor y alcanzan mayor resistencia a la adherencia. Los ensayos en especímenes almacenados al aire favorecen a los morteros que contienen cal porque ésta retiene mayor cantidad de agua. (Gudiel, 2009)

- Durabilidad

En el año 2009 de acuerdo con Gudiel (2009), es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones fisicoquímicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo. Los principales factores que influyen en la durabilidad son:

- Congelación
- Permeabilidad
- Eflorescencia

- Permeabilidad

Es el proceso de dejar filtrar ya sea agua o aire. Los morteros que son trabajables y uniformes pueden hacer que la mampostería sea mucho más resistente a la penetración del agua. Si un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su lugar. Teniendo como resultado que la junta de mortero no es tan buena, y que pueden producirse grietas que permitan alguna filtración”, esto según Gudiel (2009). El agua es capaz de incorporarse a la mezcla por medio de dos procesos diferentes:

- Por presión hidrostática
- Por capilaridad

“Debido a las características de los morteros estos son casi impermeables en comparación con algunos tipos de unidades y en la interfaz de estos con el mortero, por esta razón esta propiedad debe estudiarse dentro del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.” (Gudiel, 2009, pág. 21)

- Eflorescencia

Según Gudiel (2009), es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que, al contacto con ella, se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

- Apariencia

Es una característica de suma importancia en el mortero debido a que su apariencia, especialmente en mampostería está expuesta. La plasticidad de la mezcla, la dosificación y la selección adecuada de cada uno de sus componentes son de suma importancia en la colocación y el acabado de superficies. La textura y el color con capaces de mejorar con aditivos especiales o con colorantes inorgánicos.

7.3. Fotocatálisis

Se basa en la aplicación de las propiedades fotocatalíticas que se le han agregado al diseño de mezcla de mortero, es importante relacionar esta propiedad con la fotosíntesis, ya que esta utiliza la energía solar como un activador para iniciar el proceso auto limpiante y descontaminante combatiendo así los principales contaminantes encontrados en la atmosfera, dióxido de carbono (CO₂), compuestos orgánicos volátiles (COVs), material particulado (PM)) convirtiéndolos en compuestos inocuos que no afectan a la salud. La fotocatalisis es un proceso que aumenta la velocidad de reacción de la oxidación natural de los compuestos orgánicos a sustancias inofensivas para el ser humano. (Camelo, 2019)

7.3.1. Fotocatálisis heterogénea

De acuerdo con Camelo (2019), este proceso avanzado de oxidación está definido como la aceleración de una fotorreacción mediante la presencia de un catalizador, el cual, al ser activado por la absorción de la luz, acelera el proceso e interacciona con la sustancia contaminante a través de un estado excitado (C*) o bien mediante la aparición de pares de electrón-hueco. Los electrones

excitados son transferidos hacia la especie reducible, a medida que el catalizador acepta electrones de la especie oxidable que ocuparán los huecos (e^- h^+); de esta manera, el flujo neto de los electrones será nulo y el catalizador permanecerá inalterado, y generará reacciones de óxido-reducción que provocan la degradación y la mineralización de la sustancia tratada.

La fotocatalisis heterogénea con el catalizador TiO_2 causa una total mineralización de una amplia gama de compuestos orgánicos (alcanos, alquenos, alcohol, pesticidas).

7.3.2. Obtención de dióxido de titanio

Según Camelo (2019) el dióxido de titanio es el pigmento inorgánico más importante en la industria. Se puede encontrar en la naturaleza como; *brookita*, rutilo y anatasa. Estos dos últimos se elaboran industrialmente en enormes cantidades. El dióxido de titanio es una de las sustancias más blancas existentes. Es seguro, barato y abundante en la Tierra. Casi siempre es utilizado en procesos de oxidación avanzada fotocatalizada, también en la industria cosmética y en la industria alimentaria.

Este elemento/compuesto fue identificado por primera vez en el año 1791.

Segura (2019), en su investigación menciona que el dióxido de titanio es un compuesto que puede ser extraído de manera industrial de algunos minerales como lo son el rutilo y la anatasa, se lleva a cabo a través de un proceso químico, que es capaz de eliminar las impurezas hasta obtener un polvo de tes blanco que es el dióxido de titanio.

De acuerdo con Segura (2019), al momento de ser extraído de la naturaleza, se encuentra demasiado impuro como para poder comercializarse, es por eso por lo que se somete a un proceso de purificación. Este producto es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV. Es anfotérico y muy estable químicamente, no es inflamable y puede causar irritación si no es manipulado con cuidado. Se puede diluir en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidrofúrico, su fórmula química corresponde a TiO_2 .

8. DISEÑO Y DESARROLLO

En el diseño y el desarrollo de un producto que servirá como apoyo ambiental para la mejora de la calidad del aire deben tomarse las siguientes consideraciones:

8.1. Diseño y desarrollo

El diseño y desarrollo de nuevos productos es crucial para la supervivencia de la mayoría de las industrias. Aunque existen algunas que experimentan muy poco cambio en sus productos, la mayoría de las industrias deben revisarlas en forma constante. (Guerrero, 2012)

Según Guerrero (2012) las industrias que cambian con rapidez, la introducción de nuevos productos es una forma de vida y se han desarrollado enfoques muy sofisticados para presentar nuevos productos. En 2021 es indispensable pensar en la innovación de los productos hacia una industria verde, enfocada en mejorar las condiciones de vida y las condiciones ambientales de las personas.

El diseño del producto es un prerrequisito para la producción. El resultado de la decisión del diseño del producto se transmite a operaciones en forma de especificaciones del producto. En estas especificaciones se indican las características que se desea tenga el producto y así se permite que se proceda con la producción. (Guerrero, 2012)

8.2. Planificación del diseño y desarrollo

Se planifica y controla el diseño y desarrollo del producto. Durante la planificación del diseño y desarrollo, se debe determinar:

- Las etapas del diseño y desarrollo.
- La revisión, verificación y validación, apropiadas.
- Las responsabilidades y autoridades para el diseño y desarrollo.

Se gestionan las interfaces entre los diferentes grupos involucrados en el diseño y desarrollo para asegurarse de una comunicación eficaz y una clara asignación de responsabilidades. Los resultados de la planificación deben actualizarse, según sea apropiado, a medida que progresa el diseño y desarrollo. (Guerrero, 2012)

8.3. Verificación del diseño y desarrollo

Se debe realizar, de acuerdo con lo planificado, para asegurarse que los resultados del diseño y desarrollo cumplen los requisitos de los elementos de entrada del diseño y desarrollo. Deben mantenerse registros de los resultados de la verificación y de cualquier acción que sea necesaria. (Guerrero, 2012)

La verificación se hará a través de la data recolectada por los equipos de monitoreo remoto *Airthinx* IAQ, que almacenan datos en la nube, y son descargables en archivos “.csv”. Esto con la finalidad de hacer una verificación de resultados confiable y se puedan cumplir los objetivos del desarrollo del revestimiento.

8.4. Validación del diseño y desarrollo

Se debe realizar la validación del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto, cuando sea conocido. Siempre que sea factible, la validación debe complementarse antes de la entrega o implementación del producto.

Deben mantenerse registros de los resultados de la validación y de cualquier acción que sea necesaria. (Guerrero, 2012)

8.5. Control de cambios del diseño y desarrollo

Según la sección 8 de la normativa ISO 9001:2015, los cambios del diseño y desarrollo deben identificarse y mantenerse registros. Los cambios deben revisarse, verificarse y validarse, según sea apropiado y aprobarse antes de su implementación. La revisión de los cambios del diseño y desarrollo deben incluir la evaluación del efecto de los cambios en las partes constitutivas y en el producto ya entregado. Deben mantenerse registros de los resultados de la revisión de los cambios y de cualquier acción que sea necesaria.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
 - 3.1. Descripción del problema
 - 3.2. Formulación del problema
 - 3.2.1. Pregunta central
 - 3.2.2. Preguntas auxiliares
 - 3.3. Delimitación del problema
3. JUSTIFICACIÓN
4. OBJETIVOS
5. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN
7. MARCO TEÓRICO
 - 7.1. Calidad del aire
 - 7.1.1. Componentes del aire
 - 7.1.1.1 Dióxido de carbono
 - 7.1.1.2 Compuestos orgánicos volátiles

- 7.1.1.3PM1 (Material particulado)
 - 7.1.1.4PM2.5 (Material particulado)
 - 7.1.1.5PM10 (Material particulado)
 - 7.2. Morteros
 - 7.2.1. Tipos y Usos
 - 7.2.2 Las propiedades de los morteros
 - 7.2.2.1 Estado plástico
 - 7.2.2.2 Estado endurecido
 - 7.3. Fotocatálisis
 - 7.3.1. Fotocatálisis heterogénea
 - 7.3.2. Obtención de dióxido de titanio
- 8. DISEÑO Y DESARROLLO
 - 8.1. Diseño y desarrollo
 - 8.2. Planificación del diseño y desarrollo
 - 8.3. Verificación del diseño y desarrollo
 - 8.4. Validación del diseño y desarrollo
 - 8.5. Control de cambios del diseño y desarrollo
- 9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS
- 10. METODOLOGÍA
 - 10.1. Enfoque
 - 10.2. Diseño y alcance de la investigación
 - 10.3. Operacionalización de variables
 - 10.4. Recursos y materiales
- 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS
 - 11.1. Método y técnicas de recolección de datos
- 12. CRONOGRAMA

- 13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

- 14. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 14.1 Resultados tabulados
 - 14.2 Gráficos para interpretación

- 15. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 15.1 Verificación de resultados
 - 15.2 Comparación con normativas
 - 15.3 Factibilidad del producto

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

En la siguiente área se delimitará la forma en la cual se llevará a cabo la investigación, es decir la metodología de esta.

10.1. Enfoque

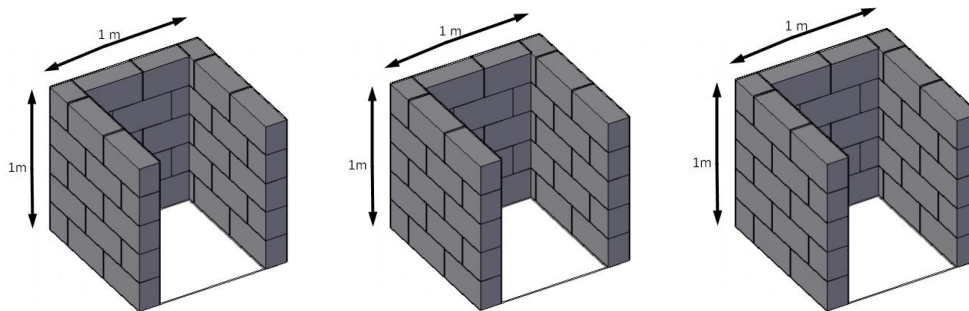
Es cuantitativo porque se basa en datos de contaminantes que serán reducidos de manera que la aplicación de los revestimientos mejore los índices ambientales, por lo que debe ser un indicador medible para los distintos parámetros a reducir. Para investigación cuantitativa: Según la EPA, (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). No certifica equipos para medición de calidad del aire. Sin embargo, recomienda equipos de medición de calidad de aire en tiempo real porque lo que se debe saber es la tendencia del alza de contaminantes en el ambiente. Según los datos medidos se realiza un análisis correlacional entre las variables que intervienen para determinar si el revestimiento tipo mortero mejora las condiciones de calidad de aire para las que es diseñado.

10.2. Diseño y alcance de la investigación

Se realiza un estudio previo, antes de aplicar el revestimiento interior, en 3 especímenes de mampostería de 1 m x 1 m x 1 m, durante un periodo de 24 horas continuas, para determinar la calidad del aire dentro de los mismos. Luego se aplica el revestimiento interior en cada uno de los especímenes y se realiza una medición de calidad del aire interior, durante 24 horas continuas, para

determinar los cambios que puede generar el revestimiento anteriormente mencionado.

Figura 3. **Especímenes para realización de pruebas a revestimiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autocad 3D.

10.3. Operacionalización de variables

Se medirá la eficiencia de reducción de contaminantes como, CO₂ y TVOCs.

Tabla V. **Operacionalización de variables**

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos	En el caso de los ponentes que soliciten la tercera categoría de financiamiento los resultados deberán ser: un programa, un proyecto o propuesta de iniciativa de ley que pueda implementarse en la región o instituciones involucradas.
Reducción de Dióxido de Carbono (CO₂)	Utilización de equipos de medición profesional Airthinx en tiempo real de manera remota en aplicación y consola Airthinx.io	Que los niveles de medición se registren en un espacio interior con poca ventilación por debajo de 800 ppm.
Reducción de Compuestos Orgánicos Volátiles (TVOCs)	Utilización de equipos de medición profesional Airthinx en tiempo real de manera remota en aplicación y consola Airthinx.io	Que los niveles de medición se registren en un espacio interior con poca ventilación por debajo de 1-3 ppm.

Continuación Tabla V.

Reducción de material particulado PM10	Utilización de equipos de medición profesional Airthinx en tiempo real de manera remota en aplicación y consola Airthinx.io	Que los niveles de medición se registren en un espacio interior con poca ventilación por debajo de 50 µg/m3.
---	---	--

Fuente: elaboración propia.

10.4. Recursos y materiales

Con el apoyo de dos personas auxiliares para el proyecto se llevará a cabo como recurso humano para la elaboración de los especímenes de prueba y seguimiento.

Se realiza la medición con el apoyo de equipos de medición portátil llamados Airthinx IAQ, de la marca *Airthinx* Inc, de la empresa Guatemalteca Boreal GT S.A. Se utiliza las técnicas de medición de monitoreo remoto y en tiempo real, enfocados en la industria 4.0

Figura 4. **Monitor de calidad de aire *Airthinx* IAQ**



Fuente: Airthinx IAQ (2019). *Equipo de medición de calidad de aire*. Consulta: 15 de septiembre de 2022. Recuperado de www.airthinx.io .

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

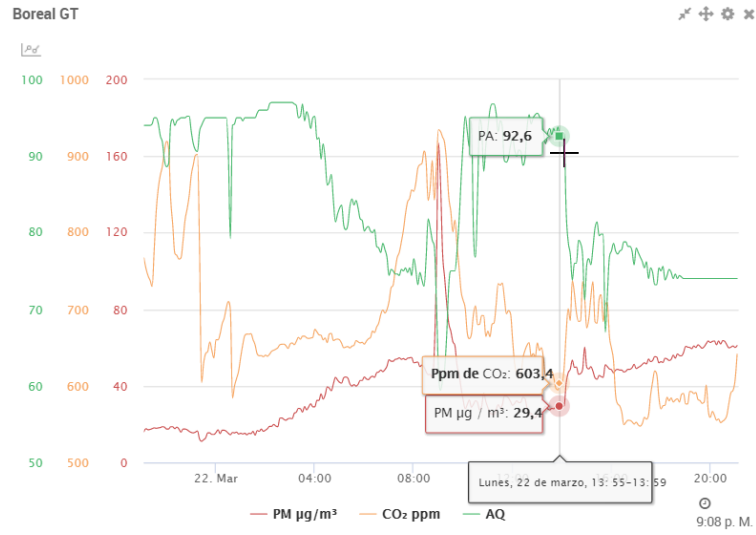
Las técnicas de análisis de datos consisten en la realización de las operaciones a las que el investigador someterá los datos con la finalidad de alcanzar los objetivos.

11.1. Método y técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se hará con el apoyo de equipos Airthinx de monitoreo de calidad de aire interior para comprobación de datos en tiempo real de las características que brinda el mortero aplicado en los espacios interiores. Estos equipos son brindados y proporcionados por empresas privadas que tienen el servicio de monitoreo de alquiler. Las universidades cuentan con laboratorios de medición de calidad de aire, sin embargo, son equipos estacionarios que no pueden hacer una medición en un punto móvil.

Se utiliza las técnicas de medición de monitoreo remoto y en tiempo real, enfocados en la industria 4.0, como en la figura 5.

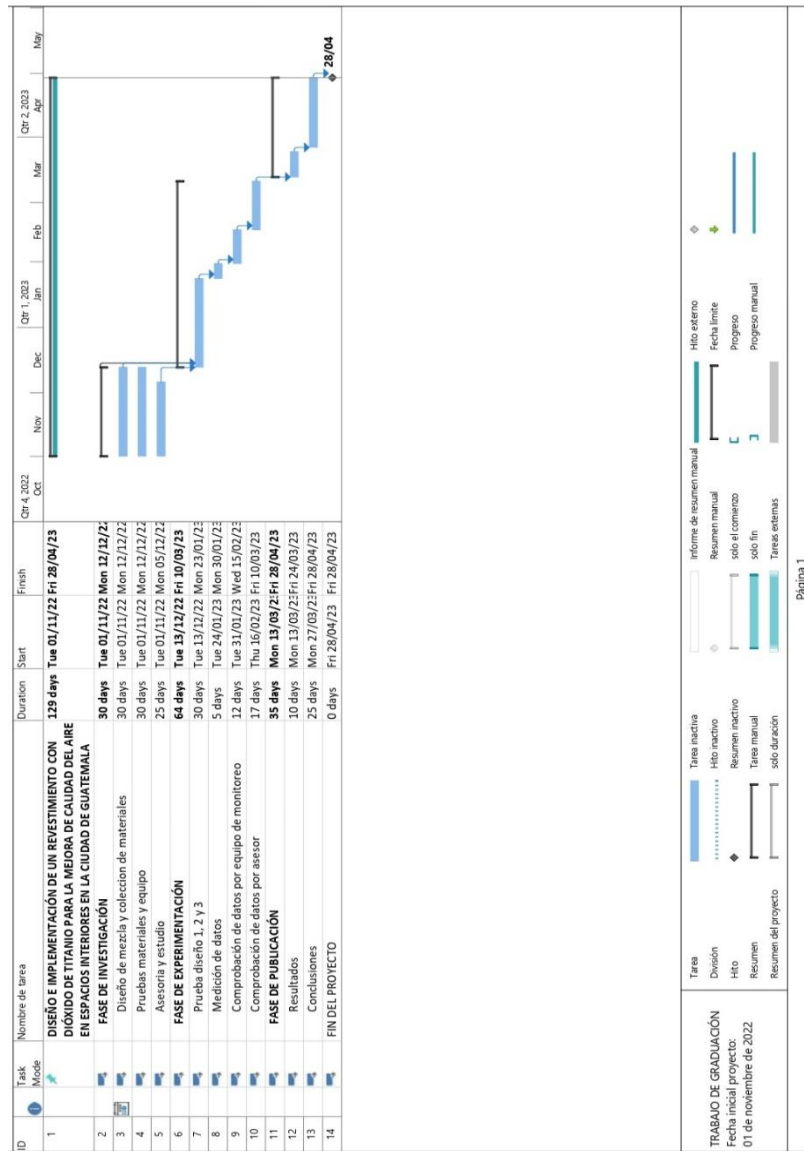
Figura 5. **Calidad del aire en tiempo real**



Fuente: Boreal GT (2022), *Calidad de aire en tiempo real en ciudad de Guatemala, Mixco*

12. CRONOGRAMA

Figura 6. Cronograma



Fuente: elaboración propia realizado con Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La factibilidad de la investigación analiza la posibilidad que se tiene de realizar el proyecto en el momento de formulación de la idea.

Tabla VI. Recursos necesarios y su disponibilidad

Coordinador/ investigador/ auxiliar y personal de apoyo	Datos de contratación			
	Meses de contratación	Fecha de inicio de contrato	Fecha de finalización de contrato	Horario de contratación
Persona 1 (coordinador)	2 meses	20/11/2022	20/02/2023	2 pm – 4 pm
Persona 2 (Auxiliar)	2 meses	20/11/2022	20/03/2022	2 pm – 4 pm

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Materiales e insumos**

Código de Insumo	Renglón presupuestario	Descripción de equipos, materiales e insumos	Costo unitario	Costo total
2764	223	Arena - Variedad de Rio	Q150.00	Q 2,500.00
116918	274	Clase: Base de cemento y resinas; Consistencia: Polvo;	Q 75.00	Q 4,500.00
133616	269	Agua	Q 0.00	Q 0.00
22023	189	Consultoría en la gestión de la calidad del aire	Q2,200.00	Q 2,200.00
27161	329	Medidor de calidad de aire	Q1,000.00	Q 1,000.00
Subtotal 1				Q 10,200.00

Cargo (Coordinador/investigador/auxiliar)	Horas asignadas	Costo unitario estimado	Costo total
Persona 1 (Coordinador)	2	Q 1,818.00	Q 3,636.00
Persona 2 (Auxiliar)	2	Q 1,818.00	Q 3,636.00
Subtotal 2			Q 7,272.00

PRESUPUESTO TOTAL			Q 17,472.00
--------------------------	--	--	--------------------

Fuente: elaboración propia.

14. REFERENCIAS

1. Colop M., Samuel O, Determinación de los índices de contaminación del aire por la industria en la ciudad Tecún Umán, San Marcos, Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989. 52-53 p.
2. Forbes México. Recuperado de <https://www.forbes.com.mx/30-promesas-2021-emprendedores-ingenia-concretos-casas-contaminacion-unam-aragon/> [Consulta: 20 de septiembre de 2022]
3. Gudiel, F., Evaluación de la incidencia del contenido de cemento del mortero en el comportamiento del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, por medio del ensayo de prismas a compresión, corte y adherencia. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009.
4. Guerrero, J., Diseño y evaluación de un mortero fino tipo repello con acabado alisado y propiedades de hidrofobicidad para una empresa de acabados de la construcción, Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012.
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Boletines de calidad del aire. Recuperado de

<http://www.insivumeh.gob.gt:8080/calidadaire/>. [Consulta: del 11 de septiembre 2022].

6. ISO 9001:2015, Recuperado de <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/8-3-diseno-desarrollo-los-productos-servicios/> [Consulta: 17 de agosto de 2022]
7. Normas de la agencia de protección ambiental. Recuperado de <http://www.epa.gov/espa%F1ol/aire.html>. [Consulta: 20 de agosto de 2022]
8. Norma NTG 41050 (2012). Mortero de pega para unidades de mampostería. Recuperado de https://conred.gob.gt/normas/NRD3/6morteros/norma_ntg_41050_astm_c270.pdf. [Consulta: 18 de agosto de 2022]
9. Oliva S., Pablo E. Calidad del aire en Guatemala compilación de la información existente. Trabajo de graduación de Maestría en Docencia Universitaria con especialización en Evaluación Educativa. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Humanidades, 2008.
10. Prensa Libre. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/pl-plus/guatemala/comunitario/es-seguro-el-aire-que-respiramos/> [Consulta: 21 de agosto de 2022]
11. Sabá M., Carlos E., Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de

albañilería. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 125-127 p.

12. Segura M., Dany J. y Camelo M., Diego M.; Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto adicionado con dióxido de titanio (TiO_2), Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2019.

15. APÉNDICE

Estas páginas contienen información elaborada por el estudiante no debe continuar con la numeración de figuras y tablas.

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Mala calidad del aire en espacios interiores en la ciudad de Guatemala	Desarrollar un revestimiento tipo mortero que mejore las condiciones de calidad de aire interior al ser aplicado en paredes de espacios interiores en la ciudad de Guatemala.	Calidad del aire y sus componentes			Cantidad de CO2 en el aire
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		La calidad de aire en espacios interiores es de 2 a 5 veces peor que la que existe en exteriores.	Calidad del aire	Material particulado en espacio interior
¿Se tiene una mala calidad de aire en espacios interiores en Guatemala?	Estimar la remoción de material particulado (PM10, PM2.5 y PM1) en la calidad del aire en el revestimiento tipo mortero.	Morteros y sus usos		Revestimiento	Cantidad de VOCs en el aire
PREGUNTAS SECUNDARIAS					
¿Existe creación de gases en procesos productivos en el área industrial del país?	Determinar la cantidad de Dióxido de carbono (CO2) que reduce el revestimiento tipo mortero.	Fotocatalisis			Porcentaje de aditivo absorbente
¿Las actividades cotidianas del ser humano dañan la calidad del aire?	Determinar la cantidad de compuestos orgánicos volátiles (TVOCs) que reduce el revestimiento tipo mortero.				
¿Los productos en el mercado para acabados interiores son de muy mala calidad y nocivos?	Determinar la proporción del aditivo absorbente con la mezcla del mortero.				

Fuente: elaboración propia.

