

## Diseño Industrial Y Seguridad En El Transporte Público Proyectos Innovadores En Tiempos De Crisis Sanitaria

### *Industrial Design And Safety In Public Transportation Innovative Projects In Times Of Health Crisis*



**Mercedes J. Hernández Padilla**  
Universidad de Guadalajara, México

mercedes.hernandez@academicos.udg.mx  
ORCID: 0009-0009-3218-3116

**Roberto Cerpa Águila**  
Universidad de Guadalajara, México

roberto.cerpa@academicos.udg.mx  
ORCID: 0009-0003-1105-9462

**Juan Enrique Mendoza Medina**  
Universidad de Guadalajara, México

enrique.mendozam@academicos.udg.mx  
ORCID: 0009-0003-9419-6015

Recibido: 08/03/2024  
Aceptado: 14/11/2024

## Resumen

Este artículo de investigación presenta una experiencia de investigación aplicada desarrollada en respuesta a la pandemia de COVID-19, en colaboración entre una empresa y una universidad, con el fin de solucionar problemas económicos surgidos por la reducción en la demanda de unidades de transporte público de pasajeros debido a la contingencia sanitaria. La investigación se enfoca en disminuir los riesgos de contagio de COVID-19 mediante adecuaciones que puedan implementarse en el transporte público urbano, sin alterar su estructura u operatividad. Se exponen los resultados desde una perspectiva de diseño sostenible, al considerar las restricciones de actividades presenciales, acceso a materiales y equipos experimentales. El estudio se limitó a la realización de pruebas y simulaciones en modelos digitales. A partir del análisis de la información disponible sobre el COVID-19 en ese momento, se establecieron conclusiones desde el ámbito del Diseño Industrial, al desarrollar propuestas conceptuales basadas en medios naturales. La investigación concluye que la efectividad de estas soluciones depende en gran medida del comportamiento social y de las prácticas de higiene responsables de los usuarios. No obstante, desde el Diseño Industrial, se identificaron mejoras potenciales que podrían contribuir a minimizar los riesgos de contagio en el transporte público.

**Palabras clave:** diseño industrial aplicado, transporte público, diseño sostenible, modelos de la naturaleza, industria-universidad.

---

## Abstract

*This research article presents an applied research experience developed in response to the COVID-19 pandemic, in collaboration between a company and a university, in order to solve economic problems arising from the reduction in demand for public passenger transport units due to the health contingency. The research focuses on reducing the risks of COVID-19 contagion through adaptations that can be implemented in urban public transport without altering its structure or operation. The results are presented from a sustainable design perspective, considering the restrictions on face-to-face activities, access to materials, and experimental equipment. The study was limited to carrying out tests and simulations in digital models to contribute to reduce the risks of contagion in transport units during journeys and to enable their permanent implementation for the benefit of users and operators. Based on the analysis of the information available on COVID-19 at that time, conclusions were established from the field of Industrial Design, developing conceptual proposals based on natural means. The research concludes these solutions' effectiveness depends mainly on social behavior and responsible hygiene practices. However, from Industrial Design, potential improvements were identified that could minimize the risks of contagion in public transport.*

**Keywords:** industrial design, public transport, sustainable design, models of nature, industry-university.

## Introducción

Las epidemias históricas han impulsado cambios en los hábitos humanos. La peste negra en el siglo XIV provocó millones de muertes; asimismo, la viruela en el siglo XVI afectó significativamente a Europa y América (Crespo, 2020). La gripe española de 1918 afectó a un tercio de la población mundial, con alrededor de 50 millones de muertes (Fujimora, 2003).

De la misma manera, el brote de COVID-19 en Wuhan fue declarado pandemia en marzo de 2020, tras la propagación a 114 países (OPS, 2020). Esta pandemia impuso restricciones globales, lo que redujo actividades económicas y sociales. Durante el confinamiento, el transporte público sufrió una notable disminución en su demanda, debido a su alto riesgo de contagio, lo que afectó la rentabilidad del sector y de la cadena de suministro de vehículos.

En abril de 2020, las ventas de autobuses cayeron drásticamente, lo cual llevó a despidos y reducción de jornadas en la industria (Cantera, 2020). En respuesta, diversas empresas adoptaron estrategias para reducir el riesgo de contagio y restaurar la confianza en sus servicios y operaciones. Las condiciones se presentaron para el acercamiento entre la iniciativa privada y las universidades, con el propósito de trabajar de manera conjunta en encontrar respuestas y opciones orientadas hacia la generación de soluciones viables, que estuvieran de acuerdo con la situación que imperaba en ese momento. Las propuestas resultantes debían posibilitar la implementación en las unidades de transporte que ya estaban circulando, por lo que el requisito más relevante fue que no requirieran una intervención profunda en la estructura de las mismas. Así, se evitaba el consiguiente costo excesivo.

Así, se inició el proyecto de colaboración denominado *Implementación y adecuación de nuevos sistemas y componentes al interior de las unidades de transporte público*, de acuerdo a las condiciones pos-contingencia sanitaria 2020. Su objetivo general fue el de coadyuvar a la reducción de riesgo de contagio por Covid-19 dentro de las unidades de transporte público. Se estructuró en cuatro ejes de problemáticas a abordar, y cada eje contó con sus objetivos específicos. Debido a la extensión de esta parte del trabajo, por ahora se hace referencia únicamente a los dos primeros:

- A. Aislar aeróticamente al operador respecto a los usuarios de las unidades de transporte público.
- B. Propiciar la circulación de aire natural en el interior de las unidades de transporte público.
- C. Facilitar a los usuarios del transporte público asirse de manera sana y segura.
- D. Replantear elementos y/o la distribución de ellos en el espacio interior de las unidades de transporte público, sin perder su base funcional y uso eficiente.

El desarrollo de estos proyectos en instituciones de educación superior fortalece la formación de futuros diseñadores industriales, al tiempo que cumple con las funciones sustantivas de investigación y vinculación con el sector productivo. En este contexto, la Licenciatura en Diseño Industrial del CUAAD de la Universidad de Guadalajara, a través del cuerpo académico *Diseño y Desarrollo de Producto Sostenible*, colabora con una empresa fabricante de carrocerías para transporte público en el desarrollo de cuatro proyectos. Esta empresa, fundada a finales del siglo XX, se consolidó en México como una de las principales en su rubro, al producir carrocerías para proveedores como Mercedes Benz, Man y Volkswagen. Actualmente, se expande hacia el mercado global y la movilidad eléctrica urbana.

El trabajo que aquí se presenta corresponde a una primera etapa para que la empresa carrocería analizara la viabilidad de llevar el proyecto al siguiente nivel. Esta etapa consiste en solucionar los detalles técnicos, la materialización funcional de la propuesta, su puesta a prueba y su potencial implementación en las nuevas unidades que fabrica, así como en aquellas que ya se encontraban circulando. Bajo este esquema, se presentaron propuestas conceptuales con las que se buscaba coadyuvar a reducir contagios de Covid-19 a usuarios y operarios del transporte público del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) durante sus traslados en el interior de las unidades de transporte urbano de pasajeros.

## Metodología

Una vez que se establecieron los proyectos, sus objetivos específicos y los lineamientos solicitados por la empresa, se estructuró el proyecto general y los objetivos particulares que derivaron en cuatro proyectos. Cada uno de ellos tenía sus objetivos específicos. Estos seguían las etapas fundamentales del proceso de diseño: análisis, síntesis y ejecución.

Se utilizó una tabla de Gantt para planear las actividades a realizar, responsables y resultados esperados de cada una de ellas. Asimismo, se establecieron fechas de revisión de avances, a través de reuniones virtuales periódicas de todos los participantes.

En la fase inicial de análisis, se recopiló y examinó la información disponible en línea sobre el Covid-19 (SARS-CoV-2). Se priorizaron fuentes científicas y acreditadas como la Organización Mundial de la Salud, la Organización Panamericana de la Salud, la Universidad Johns Hopkins y la Universidad de Hong Kong. El objetivo principal fue definir las características de la enfermedad, sus síntomas y mecanismos de transmisión. Adicionalmente, se consultaron fuentes sobre las medidas recomendadas para prevenir el contagio en espacios concurridos, con especial atención al transporte público en otros países. También, se investigaron tecnologías de desinfección eficaces para neutralizar el virus y la viabilidad de integrarlas en las propuestas de solución.

La etapa de síntesis (creativa) consistió en el desarrollo de propuestas de solución bajo los principios del diseño sostenible. Se priorizó la creación de alternativas con un bajo impacto ambiental y que garantizaran efectividad a largo plazo. Estas soluciones fueron evaluadas por la empresa, que seleccionó aquellas consideradas viables para su implementación en las unidades de transporte. Se realizaron simulaciones en modelos digitales para evaluar la efectividad de las propuestas, que posteriormente se presentaron a los directivos de la empresa como soluciones conceptuales. Quedó a su discreción su incorporación en el diseño final de las carrocerías.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la primera etapa consistió en recabar y analizar la información disponible, entonces, sobre el virus SARS-Cov-2, que era el causante original del problema a resolver.

### ¿Qué es el COVID-19?

Para abordar el problema planteado por la empresa, primeramente, fue necesario conocer qué es el COVID-19 (SARS-CoV-2), sus principales síntomas, forma de transmisión y las medidas preventivas, conocidas hasta ese momento, para evitar contagios.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), desde el 2019, se enfocó en monitorear de manera permanente este brote. Publicaba en su sitio web información de utilidad para la población mundial, por lo que fue una de las más importantes fuentes consultadas.

En ella, explica que el COVID-19 es una variación de virus, la cual pertenece a la vasta familia de coronavirus. Este tipo de virus provoca infecciones respiratorias tanto a humanos como a diversos animales; estas afecciones van desde resfriados comunes hasta casos graves como el síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) o el síndrome respiratorio agudo severo (SRAS) (OMS, 2019).

Los síntomas presentados por esta variación de coronavirus pueden ser desde ligeros a fuertes. Entre los principales están el dolor de cabeza, dolor de garganta, conjuntivitis, congestión nasal, pérdida del gusto, pérdida del olfato, diarrea, cambios de color en manos y pies.

Estadísticamente, la mayor parte de personas que adquieren el COVID-19 se recuperan sin requerir atención hospitalaria; un 80% de ellas lo hacen. Las personas que presentan un cuadro más severo suelen deber esta realidad a factores de morbilidad como diabetes, cáncer, afecciones pulmonares o cardíacas, hipertensión arterial y, en general, enfermedades crónico-degenerativas, muchas de ellas propias del paso del tiempo. Por ello, la edad avanzada, de manera natural, representa un factor de riesgo.

La principal vía de propagación es de persona a persona, cuando el portador del COVID-19, al toser, estornudar o simplemente hablar, despiden gotículas por la boca o nariz. Estas se mantienen suspendidas en el aire y son inhaladas por personas sanas por vía nasal, oral o a través de los ojos. Diversos estudios han demostrado que las gotículas despedidas al toser, estornudar o hablar permanecen suspendidas en el aire con el virus activo hasta por tres horas.

Las gotículas, por la atracción gravitatoria, caen a diversas superficies y objetos como mesas, mostradores, pasamanos, tubos de sujeción en el transporte público, manijas, pomos de puertas, asas de carros de supermercado y similares, tanto en ambientes públicos como en espacios privados. Estas superficies y objetos se contaminan por el virus; al ser tocados o manipulados por personas sanas, estas corren el riesgo de contagiarse del virus, sobre todo al llevar sus manos a su boca. Por otra parte, el tiempo en que el virus se mantiene activo varía según la superficie o temperatura en que está alojado. Vive 72 horas en plásticos y acero inoxidable, menos de 24 horas en cartón y menos de 4 horas en cobre (OMS, 2019).

### ***El Transporte Público y el COVID-19***

Si bien se debatió durante los primeros meses del brote sobre lo que es recomendable y su efectividad para evitar los contagios de COVID-19, sí se consensó sobre una serie de recomendaciones generales a seguir. Sin embargo, para efecto del trabajo encomendado, la investigación se concentró en aquellas relacionadas directamente con el transporte público.

La Universidad de Guadalajara, a través de la Sala de Situación en Salud por COVID-19 del Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS), trabajó de manera permanente en el seguimiento regional de la pandemia en cuestión. Esto se hizo con el fin de evaluar, prevenir y asumir anticipadamente posibles riesgos, para tomar decisiones y diseñar estrategias en beneficio de la comunidad.

Sobre el transporte público, que es un tema de particular interés en este proyecto, en el comunicado de prensa emitido el 21 de junio de 2020 (Ríos, 2020) se señaló que estos medios de transportes son considerados como de alto riesgo para el contagio de COVID-19. Esto es derivado del gran número de personas en tránsito que ocupa espacios confinados con ventilación limitada, además de estar en contacto físico con diversas superficies y objetos de uso común, como medios de pago, asideras, pasamanos y asientos. A esto, hay que sumar la dificultad para identificar a usuarios potencialmente portadores del COVID-19, independientemente de su derecho a hacer uso del servicio de transporte.

Durante 2020 y 2021, diversas organizaciones sanitarias realizaron estudios sobre la transmisión del COVID-19 en el transporte público. Uno de estos estudios, liderado por Zheng et al. (2020), examinó la transmisión espacial del virus a través del transporte público y privado en China. Encontró una correlación significativa entre el aumento de contagios y el uso de transporte terrestre y aéreo desde Wuhan, especialmente en trenes y autobuses, debido a la ventilación limitada en espacios cerrados.

En otro estudio, Shen et al. (2020) analizaron dos autobuses en China. En el autobús 1, sin pasajeros infectados, no hubo contagios; sin embargo, en el autobús 2, donde un pasajero estaba infectado, se reportaron contagios en 24 de los 67 pasajeros (35.3%). La proximidad a ventanas o puertas abiertas pareció reducir la transmisión del virus, salvo en un caso aislado. Investigaciones posteriores, como la de Cuiyun et al. (2021), señalaron que la ventilación insuficiente contribuye a la transmisión viral en el transporte urbano. Yang et al. (2020) coincidieron, al afirmar que los virus respiratorios, donde se incluye el SARS-CoV-2, se transmiten mediante gotículas y aerosoles generados al hablar, toser o cantar en espacios cerrados.

Durante la pandemia, la OMS, así como muchas otras instituciones, organizaciones y empresas del área médica, realizaron una gran cantidad

de estudios, tanto para conocer su estructura como sus mecanismos de propagación. Esto se hizo con la finalidad de contener y contrarrestar sus efectos.

El gobierno de los Estados Unidos de América, a través del Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC), con base en los reportes científicos publicados por la OMS (2020) y los resultados publicados por distintas instituciones, elaboró una serie de recomendaciones para prevenir los contagios de COVID-19 en el interior de las unidades de transporte público.

Al momento en que es escrito este artículo, las fuentes de información con las cuales se elaboran tales recomendaciones ya no están disponibles. Sin embargo, el CDC (2020), al ser una agencia del gobierno federal de los Estados Unidos de América, goza de seriedad y reconocimiento sobre sus publicaciones. Las recomendaciones mencionadas incluyen una serie de acciones combinadas. Se destacan las siguientes:

En cuanto a las intervenciones de ingeniería en el propio vehículo de transporte:

- Modificar, en la medida de lo posible, la disposición de los elementos en el habitáculo del conductor.
- Alejar las terminales de pago, como lectores de tarjeta prepago o tragamonedas, del operador de transporte, para distanciar físicamente a los pasajeros del conductor.
- Colocar barreras físicas entre los operadores y los pasajeros, como cortinas, mamparas o barreras plásticas impermeables.
- Implementar un sentido de circulación único en el interior de las unidades de transporte.
- Fomentar que los usuarios mantengan una distancia de 1.5 metros entre ellos.
- Utilizar guías visuales y señalización en pisos, puertas de entrada y paneles laterales para recordar a los usuarios la distancia recomendada.
- Colocar dispensadores de desinfectante de manos en ubicaciones estratégicas para usuarios y operarios.

- Asegurar una buena circulación de aire natural y constante renovación en el interior de la unidad de transporte.
- Realizar una limpieza y desinfección constante de superficies y objetos de uso común.
- Limitar la cantidad de usuarios en el interior de las unidades de transporte.
- Considerar el uso de puertas distintas para entrada y salida en los autobuses.
- Respecto a las intervenciones en los espacios comunes para operarios o usuarios del transporte público:
  - Restringir o limitar la afluencia a áreas de descanso de uso común, como salas de descanso, estacionamientos y áreas de entrada/salida.
  - Utilizar guías visuales y señalización en pisos, muros y accesos en las paradas de autobús. Recordar a los usuarios la importancia de mantener una distancia de 1.5 metros.

Con base en la información sobre el diseño y la ingeniería de las unidades de transporte público, proporcionada por la empresa carrocería, así como la disponible en línea sobre los riesgos de contagio y recomendaciones para evitarlo, fue que el grupo de investigadores, con el apoyo de estudiantes de la licenciatura en Diseño Industrial de nivel avanzado, y bajo el esquema de voluntariado y prestación de servicio social, trabajó en el desarrollo de posibles soluciones. Se lo hizo a través de la disciplina de diseño industrial y en congruencia con los requerimientos de la empresa. Entre los requerimientos de la empresa, se necesitaba que fuera mínima la intervención física en la estructura general de las unidades y que, a su vez, se posibilitara su implementación en aquellas unidades de transporte público activas.

Al cabo de algunos meses, se obtuvieron las siguientes propuestas. Ambas tienen un objetivo general, que es el de disminuir el riesgo de contagio en el interior de las unidades de transporte público. Cabe mencionar que cada propuesta se enfoca en un tipo de beneficiario; la primera se centra en el operador y la segunda en el usuario.

Por ello, cada proyecto presenta particularidades en la solución al problema específico.

## Resultados y Discusión

**Proyecto A.** Aislar aeróbicamente al operador, respecto a los usuarios de las unidades de transporte público

Los operadores de las unidades de transporte urbano representan uno de los sectores laborales más expuestos a este foco de contagio por los usuarios. Esto se debe a que no se media, en el servicio, algún filtro sanitario. Es necesario el replanteamiento del equipamiento, aditamentos, objetos, sistemas y espacio interior en su conjunto. Este debe poder ser implementado en las unidades de transporte público, con el fin de coadyuvar a evitar contagios por agentes patógenos entre usuarios u operador.

Dicho replanteamiento puede partir desde la manera de uso, la función que cumple, la lectura que se le da por parte del usuario, la dinámica que provoca, la naturaleza de sus componentes, entre otros. Ante esta problemática, se busca identificar oportunidades para realizar adaptaciones en las unidades de transporte, con el fin de reducir el riesgo de contagios para el operador de la unidad de transporte público.

### Objetivo General

Aislar aeróbicamente al operador respecto a los usuarios de las unidades de transporte público, ante la llamada 'nueva normalidad' presentada por la contingencia sanitaria que inicia su escala global en el año 2020.

### Objetivos Particulares

- Evitar que el operador de la unidad de transporte público comparta el mismo aire inhalado y exhalado por los usuarios.
- Coadyuvar a salvaguardar la salud de operadores de unidades de transporte en

cuanto a contagios por agentes patógenos durante su jornada laboral.

- Disminuir estrés extra a operarios del transporte público, derivado del potencial riesgo de contagio por agentes patógenos durante su jornada laboral.

En el momento en que se lleva a cabo este proyecto, se considera la realización diaria de evaluaciones de sintomatología Covid-19 a cada operador antes de iniciar su jornada laboral. De esta manera, no representan un vector de contagio hacia usuarios de los servicios de transporte público.

### Luz UVC como Desinfectante

La IUVA (Asociación Internacional Ultra-violeta, por sus siglas en inglés: *International Ultraviolet Association*), de manera genérica, adopta la postura de que la luz tiene el comportamiento dual de onda-partícula (Sholtes *et al.*, 2020). En ese comportamiento, como onda, la luz se irradia por medio de oscilaciones; además, como partícula, es llamada fotón y es entendida como una masa que transporta energía lumínica. La luz, en el espectro electromagnético de radiación UV, se encuentra en el rango de entre 100 y 400 nm; está subdividida en rangos dentro de este espectro: de 100 a 200 nm, de 200 a 280 nm, de 280 a 315 nm y 315 a 400 nm.

El espectro entre 200 a 225 nm se utiliza para la desinfección en superficies y aire. Sin embargo, debido al temor de que la exposición a este espectro cause daño en la piel o córnea del ser humano, su uso y empleo se ha dado en ausencia del ser humano y otras especies.

La IUVA menciona que la luz UV-C, de manera natural, es irradiada por el sol y varía en diferentes puntos de la superficie terrestre (Sholtes *et al.*, 2020). De manera artificial, se genera por medio de lámparas de descarga y LEDs (diodos emisores de luz). Estos últimos son los de mayor uso, por su alta eficiencia en potencia lumínica y bajo consumo de energía eléctrica.

El UV-C y el UV-B tienen un efecto directo de desinfección, cuando la luz es absorbida por el material genético (lo que limita su replicación) o por otros componentes celulares o virales como proteínas. Así, se limita su transmisión.

Cuando el DNA y/o el RNA de los microorganismos absorbe fotones de UV-B y UV-C, se inhibe la capacidad de replicación de los microorganismos. Esto hace que estos microorganismos ya no sean infecciosos (Harm, 1980)

La luz UV-C lejana es la que se encuentra en el rango de 200 a 225 nanómetros (nm). Este rango ha mostrado un gran potencial para aplicaciones de desinfección, al poder inactivar bacterias, virus (incluido el SARS-CoV-2, responsable de Covid-19) y otros patógenos, sin dañar el tejido humano. Esto se debe a que no penetra en las capas superficiales de la piel ni en la capa externa del ojo. A diferencia de la luz UV-C Convencional, que se encuentra en el rango de 254 nm, también es efectiva para aplicaciones de desinfección, pero esta última es, potencialmente, perjudicial para la piel y los ojos (Simons *et al.*, 2020).

La luz ultravioleta UV-C lejana puede ser utilizada para desinfectar superficies y aire en lugares con presencia de personas, como lo son hospitales, transporte público, oficinas, entre otros. La efectividad germicida de la luz UV-C depende de dos factores. Uno de ellos es la longitud de onda; en el caso de la UV-C lejana, esta está en el rango de 222 nm. El otro factor es el tiempo de exposición.

Las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina (*The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*), en el año 2020 señala que la luz UV-C destruye los virus más rápidamente que la luz UV-A y UV-B. Estas últimas son las que llegan a la superficie terrestre en un día soleado. Señalan que, en estudios realizados con luz UV-B, esta destruyó el SARS-CoV-2 en menos de 20 minutos. (*National Academies of Sciences, Engineering and Medicine*, 2020)

La empresa Signify, líder en innovación en iluminación, anunció en junio de 2020 la eficacia de la luz UV-C para inactivar el SARS-CoV-2, en

colaboración con el Laboratorio Nacional de Enfermedades Infecciosas Emergentes (NEIDL), de la Universidad de Boston. En pruebas de laboratorio, el equipo liderado por el Dr. Anthony Griffiths, de la Facultad de Medicina de dicha universidad, aplicó distintas dosis de radiación UV-C sobre material inoculado con el virus. Con una dosis de 5 mJ/cm<sup>2</sup>, lograron reducir el virus en un 99% en seis segundos; con una dosis de 22 mJ/cm<sup>2</sup>, alcanzaron una inactivación del 99.9999% en 25 segundos (Signify, 2020). Eric Rondolat, director ejecutivo de Signify, expresó el compromiso de la empresa para incrementar la producción de esta tecnología, para buscar satisfacer la creciente demanda de desinfección en distintos entornos.

A raíz de estos hallazgos, otros estudios evaluaron la luz UV-C lejana para inactivar el SARS-CoV-2. El Centro de Investigación Radiológica del Centro Médico de la Universidad de Columbia, en Nueva York, demostró que una dosis de 2 mJ/cm<sup>2</sup> de luz UV-C de 222 nm inactiva eficazmente los virus en el aire, lo que logra una reducción del 90% en ocho minutos, 95% en 11 minutos, 99% en 16 minutos y 99.9% en 25 minutos. Por ende, es segura para su uso en interiores (Buonanno *et al.*, 2020).

De forma similar, el Departamento de Enfermedades Infecciosas de la Universidad de Hiroshima obtuvo una reducción del virus de entre 88.5% y 99.7% al irradiar luz UV-C a 222 nm, con dosis de 1 y 3 mJ/cm<sup>2</sup> durante 10 y 30 segundos. Esto confirma la eficacia de esta tecnología en experimentos *in vitro* (Kitagawa *et al.*, 2021).

Aún cuando se afirma que la luz ultravioleta lejana no es dañina para el tejido humano, persiste cierta desconfianza para utilizarla en entornos habitados. Sin embargo, su efectividad para desactivar los virus y bacterias en el aire y superficies en poco tiempo de exposición representa un gran avance en el campo, no solo para combatir el SARS-CoV-2, sino también el virus de la influenza y hasta la gripe común.

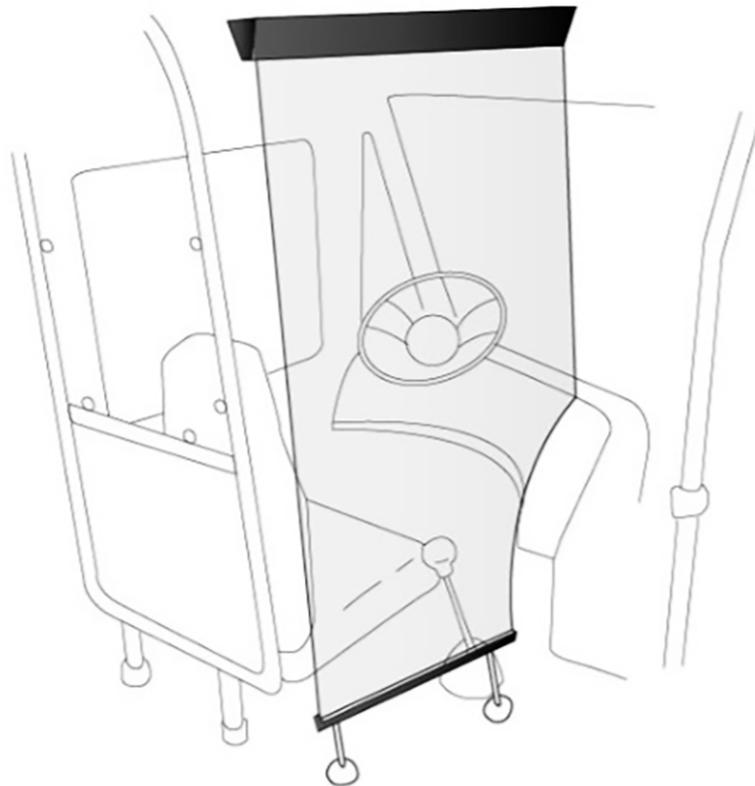
### **Propuesta**

Armar una persiana de PVC semirrígido de 2mm de espesor, enrollable dentro de una carcasa de polietileno, en la que se encuentran dos lámparas de luz UV-C y un pequeño motor a pasos. Este es accionado por el operador.

Las lámparas están colocadas de tal forma que la persiana se desinfeste en ambos lados al enrollarse o desplegarse, sin tener contacto directo con la luz UV-C o con persona alguna. Esta carcasa es de fácil instalación en el techo del autobús, permite aislar al conductor de los usuarios, sin afectar actividades o visibilidad. La persiana tiene un corte semi curvo en la parte inferior, para ajustarse con la forma del tablero; además, al ser transparente, el conductor no pierde visibilidad.

### **Figura 1**

*Separador físico semirrígido en operación*



*Nota.* Modelo creado por el equipo de trabajo de esta investigación, 2021.

**Figura 2**

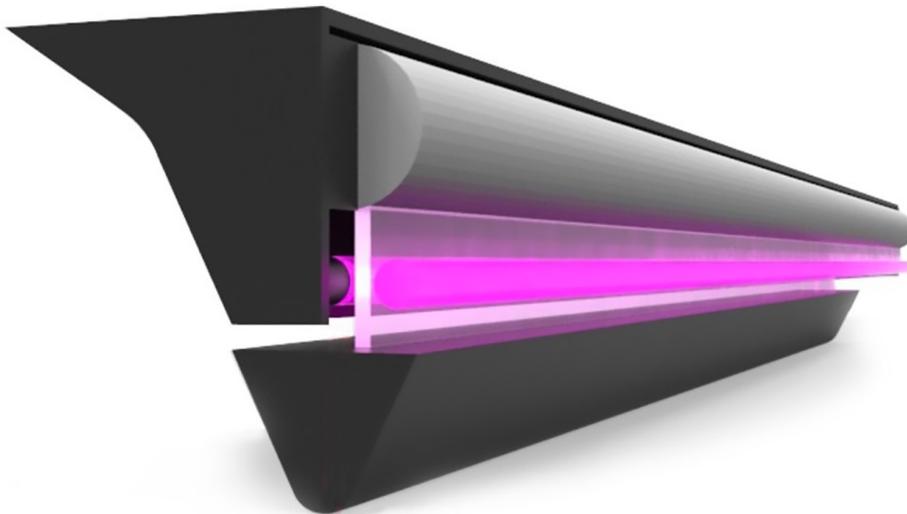
*Persiana desplegada (izquierda) y plegada (derecha) del separador físico semirrígido*



*Nota.* Modelo creado por el equipo de trabajo de esta investigación, 2021.

**Figura 3**

*Carcasa del separador físico semirrígido accionada mediante un motor eléctrico a pasos.*



*Nota.* Modelo creado por el equipo de trabajo de esta investigación, 2021.

### Componentes y Materiales

Se propone, para la persiana, una lámina flexible de PVC, de 2 mm de espesor, ya que es un material ligero; además, por su bajo costo, es de fácil reemplazo. Para la carcasa, se sugiere el polietileno de alta densidad, debido a su resistencia a la luz UV y facilidad de transformación por moldeo por inyección. El motor a pasos, modelo *Nema 23*, con un par de 1.2 Nm, controlado por un circuito integrado o, en su defecto, por un controlador tipo Arduino.

### Consideraciones Adicionales

En esta fase conceptual, sujeta a revisión y factibilidad técnica, se considera que:

- Es viable instalar barreras físicas entre el operador y los usuarios, sin comprometer la estructura de la unidad.
- La barrera debe ser flexible, para evitar lesiones en caso de contacto brusco.
- La barrera física ayuda a reducir el estrés del operario ante el riesgo de contagio.
- Una o más barreras pueden formar un sistema para disminuir los riesgos de contagio de Covid-19.
- El uso adecuado del cubrebocas debe ser obligatorio en el transporte público.
- Se puede automatizar la desinfección constante de superficies.
- La propuesta debe aplicarse tanto en unidades nuevas como en las que ya están en circulación.
- Es posible reubicar la entrada de usuarios y los dispositivos de pago o lectores de tarjetas.
- Se sugiere usar dispositivos de pago sin contacto para evitar el uso de efectivo.
- La luz UVC elimina virus, incluido el Covid-19, pero debe usarse con seguridad, por lo que se debe evitar la exposición directa por sus efectos nocivos en la piel.

Estas recomendaciones ofrecen una base inicial para soluciones prácticas y seguras en el transporte público frente a los desafíos de la pandemia.

Si bien en el planteamiento utilizado como punto de partida para el proyecto se utilizó el término aislar para buscar una solución viable, la cual pudiera ser implementada en las unidades de transporte en circulación, también estuvo presente el requisito relevante de no requerir una intervención profunda a la estructura de las unidades de transporte. Ante esto, después de analizar diversas opciones, se opta por situar barreras físicas entre operarios y pasajeros, para contener las microgotas que puedan ser expulsadas por la boca o la nariz al hablar, toser, estornudar o exhalar. De manera adicional, se plantea la destrucción de virus y la eliminación de agentes patógenos en la barrera física mediante el uso de luz UV-C.

**Proyecto B.** Propiciar la circulación de aire natural en el interior de las unidades de transporte público, ante la llamada 'nueva normalidad' presentada por la contingencia sanitaria 2020.

La emergencia sanitaria global por Covid-19 en 2020 provocó, en México, una disminución del 80% en las ventas de autobuses para transporte público y foráneo, debido al impacto social y económico a nivel mundial. Los gobiernos y autoridades sanitarias establecieron nuevas normas de convivencia en espacios públicos, lo que incluye el transporte, con factores de control complejos. La respuesta de la población ante estas medidas fue diversa: hubo quienes seguían estrictamente las recomendaciones, hasta quienes las ignoraban o rechazaban abiertamente.

La respiración es un proceso fisiológico esencial que permite al cuerpo obtener oxígeno ( $O_2$ ) y expulsar dióxido de carbono ( $CO_2$ ), resultado de la combustión celular. En condiciones normales, los adultos e infantes respiran entre doce y veinte veces por minuto; varía también según la profundidad de la respiración. Al inhalar, se toma oxígeno; al exhalar, se libera dióxido de carbono. En un vehí-

culo, este proceso genera emisiones que afectan la calidad del aire, en función de la cantidad de personas, el espacio disponible, la duración del viaje, la temperatura, la humedad y otros factores.

El consumo de aire de un ser humano es aproximadamente de cinco a seis litros por minuto. En proporción al consumo mínimo –cinco litros–, es de 300 a 360 litros en una hora, por persona. La cantidad de viajeros sentados, o la cantidad de butacas, en las unidades de transporte público que circulan en el AMG varía de 29 a 53 personas. De esa manera, el consumo de aire en una hora es de 8,700 a 19,080 litros; este número solo hace referencia a los viajeros sentados. Es decir, no hace cuenta de los hasta ocho viajeros de pie que existen por metro cuadrado.

La necesidad de renovación de aire en el interior de las unidades de transporte público se intensifica con la presencia de la contingencia sanitaria del Covid-19. Es entonces que mejorar la calidad del aire en el interior de la unidad de transporte público se traduce en un ambiente de viaje más saludable.

### **Objetivo General**

Propiciar la circulación de aire natural en el interior de las unidades de transporte público, ante la llamada ‘nueva normalidad’ presentada por la contingencia sanitaria que inicia su escala global en el año 2020.

### **Objetivos Específicos**

- Agilizar la circulación de aire natural en el interior de las unidades de transporte público.
- Reducir la concentración de agentes patógenos suspendidos en el aire en el interior de las unidades de transporte público.
- Coadyuvar a salvaguardar la salud de operadores y usuarios en el interior de las unidades de transporte público.
- Reducir el estrés a usuarios del transporte público derivado del potencial riesgo de contagio por agentes patógenos en el interior de las unidades de transporte.

### **Ventilación Natural Inducida en la Arquitectura**

El enfriamiento de aire por sistemas de inducción térmica se basa en la diferencia de densidad entre el aire caliente y el aire frío. El aire caliente, al ser más ligero, asciende, mientras que el aire frío desciende. Este principio se aplica en espacios habitables, mediante la colocación de entradas de aire en la parte inferior y salidas en la parte superior. Esto genera un efecto chimenea (Pereira, 2019). Para lograr este efecto, es necesaria una diferencia de temperatura mínima de 1.7 °C. Además, cuanto mayor sea la distancia entre las aberturas, mayor será la circulación de aire (2030 Palette, 2020).

El efecto Venturi se refiere a la aspiración generada por el movimiento de un fluido en un conducto cerrado. Cuando el fluido pasa de un conducto de mayor sección a uno de menor sección, su velocidad aumenta y la presión disminuye, lo que crea una succión que permite mezclar el fluido del segundo conducto, cuando se intersectan de manera perpendicular. La disminución de presión en la sección más estrecha puede generar presión negativa suficiente para producir un efecto de aspiración (2030 Palette, 2020).

El sombrero de Venturi aprovecha el principio del efecto Venturi: el aire caliente que sale por el conducto principal es succionado por el aire frío que ingresa por la parte inferior del sombrero. Este efecto es especialmente eficiente en zonas ventosas, ya que su efectividad es proporcional a la velocidad del viento.

### **Renovaciones de Aire por Hora. Concepto y Explicación de la Fórmula**

Cambios de Aire por Hora (CAH) es la medida del volumen de aire que entra a un espacio, dividido entre el volumen de dicho espacio. Expresa cuántas veces en una hora, el aire en un espacio determinado es reemplazado por el aire entrante (Stamper & Koral, 1979).

Los CAH se obtienen de la siguiente manera: Calcular la tasa de renovación de aire a partir de las medidas del balómetro dividiendo el flujo de aire exterior que entra a la habitación (medido fuera) por el volumen de la habitación (largo x ancho x alto).

CAH = [Flujo de aire Exterior que entra (m<sup>3</sup> / minuto) x 60 (minutos / hora)] / Volumen del aula (m<sup>3</sup>). (Allen, Spengler & Jones, 2020, p. 12).

Para aplicarlo al estudio de este caso, al obtener los datos en segundos, se multiplica por 3,600, que son los segundos por hora. Esto da como resultado la siguiente fórmula:

$$[(\text{volumen de aire entrante en m}^3/\text{s}) \times (3600 \text{ s/h})] / [\text{Volumen total del Unidad en m}^3]$$

La tasa de renovación de aire por hora es un término de ingeniería mecánica y no es un método exclusivo para los sistemas de aire acondicionado. Sin embargo, es muy utilizada en el campo, ya que los sistemas de calefacción y ventilación de aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés: *Heating, Ventilating and Air Conditioning*) pueden controlar y, por lo tanto, medir el volumen de flujo de aire entrante. Para obtener estos datos, se realizaron simulaciones que utilizaron la aplicación de mecánica de fluidos computacional *Solidworks CFD*. Se calculó el promedio de volumen de cada entrada y salida de aire en la unidad, a una velocidad de 5 km/h.

### **Flujo de Aire Necesario para Disminuir las Probabilidades de Contagio**

Por la naturaleza relativamente desconocida del virus SARS CoV-2, al ser recientemente descubierto y todavía investigado, al momento de este trabajo, existen diferentes opiniones respecto al volumen de aire específico para obtener un espacio seguro. Sin embargo, todos concuerdan en que es necesario un flujo mayor a 3 lt/seg por persona (Lee & Tsang, 2020).

La norma ABNT 15570 de Brasil (ABNT, 2009) especifica que, para el transporte de pasajeros, se precisa una tasa de renovación de al menos 20 veces el volumen de aire interno útil en la unidad de transporte. Salvo esta normativa, no se

localizó alguna otra recomendación explícita sobre el flujo de circulación de aire requerido en el transporte público.

Investigaciones sobre un contexto responsable de uso de cubrebocas sugieren que en las unidades de transporte público no existe un riesgo tan alto de contagio, debido a una baja o nula interacción social. Esto es cierto, sobre todo, en unidades no saturadas de usuarios o sin aglomeraciones y una ventilación adecuada. (Fiter, 2020)

**Tabla 1**

Tabla SEQ Tabla \ \*ARABIC 1. Tasa de renovación de aire por hora

Tipo de espacio	Tasa de renovación de aire por hora	
	Baja	Alta
Cocina industrial	30	40
Panadería	20	30
Sala de calderas	15	30
Sala de máquinas	15	30
Fundición	15	30
Quirófano	15	25
Cine	10	15
Clínica dental	12	15
Gimnasio	6	15
Peluquería	10	15
Laboratorio	6	15
Bar	10	12
Cantina	8	12
Sala de conferencias	8	12
Restaurante	8	12
Taller	6	10
Oficina	6	10
Aula de clase	5	7
Área común de vivienda	3	6
Dormitorio	2	4

Nota. Tabla creada por el equipo de trabajo de esta investigación (2021), con datos de (Arnabat, 2020)

Por lo anterior, obtener los cambios necesarios de renovación de aire por hora es importante para lograr una depuración total del aire en el interior de la unidad de transporte, independientemente de la finalidad del espacio, como lo es un gimnasio u oficina (Arnabat, 2020).

La OMS (2019), explica que un flujo de 10 lt/seg por persona es lo ideal para evitar el esparcimiento de aerosoles contaminantes en un contexto de oficina. Muchas guías coinciden con los datos de la OMS, al recomendar 10 lt/seg por persona, para evitar los contagios en referencia al Covid-19 en específico (ASHRE, 2022).

### *Recopilación de los Datos e Interpretación*

La forma en que se obtuvieron los datos de flujo de aire hacia el interior de la unidad de transporte fue midiendo cada una de las entradas y salidas en las ventanas. Para ello, se realizó una sumatoria de las entradas para calcular los CAH. El resultado en la unidad sin modificaciones fue de aproximadamente 24 cambios de aire por hora.

Otro artículo que cita la investigación antes mencionada, indica que abrir las ventanas tan solo seis pulgadas más contribuye a un aumento significativo en la calidad del aire (Allen, 2020).

Para saber cuánto flujo de aire es necesario, primero se calculan los cambios de aire por hora. Esto es el número de veces que el volumen total de un espacio es completamente reemplazado en una hora.

**Paso 1. Calcular el Volumen de la Habitación.** Aquí se consideran las dimensiones tomadas de unidades de transporte público en circulación durante la contingencia sanitaria, con dimensiones de 9.67m x 2.43m x 2.08m. Esto arroja un volumen total de 48.87 m<sup>3</sup>.

**Paso 2. Multiplicar el Volumen Total del Espacio por la Cantidad de Veces que se quiere Renovar.** Así, se obtiene la cantidad de volumen total de aire que se requiere hacer circular.

Se han encontrado diferentes recomendaciones, por lo que se decide considerar una tasa de 50 ciclos de aire por hora.

$$(48.87\text{m}^3) \times (50 \text{ CAH}) = 2,443.5 \text{ m}^3/\text{h}.$$

**Paso 3. Convertir Flujo de Metros Cúbicos/hora a metros cúbicos/segundo.** Se divide el flujo total/hora entre 3,600, que es la cantidad de segundos en una hora, para obtener el flujo mínimo necesario de metros/segundo.

$$(2,443.5 \text{ m}^3/\text{h}) / (3,600 \text{ s}) = 0.67875 \text{ m}^3/\text{s} \text{ para obtener } 50 \text{ CAH}$$

Una vez que se ha despejado la fórmula anterior, se obtiene la cantidad de renovaciones de aire.

### *Resultados de las Simulaciones*

#### **1. Unidad sin Modificar.**

Con el dato del flujo total de aire hacia el interior, en este caso se hizo una prueba en un modelo esquemático del volumen, con las dimensiones reales de la unidad. Se indicó la ubicación de entradas y salidas de aire; la primera prueba se realizó con la unidad sin modificar; es decir, se midió el caudal volumétrico de aire que ingresa solo por las ventilas ya existentes. Las entradas laterales, superior, la salida posterior y los extractores aparecen como inválidos, porque las modificaciones propuestas se encuentran cerradas -sin salidas y entradas, además de las ventanas-. Así, se precisa saber en la siguiente simulación cómo reacciona el aire con las propuestas. Una vez terminada la medición, el programa arrojó los siguientes datos.

Tabla 2

Tabla SEQ Tabla 1 \*ARABIC 2. Flujo de aire en UTP sin modificar

Nombre	Valor Actual	Progreso	Criterio	Valor Promedio
Entrada derecha	0 m <sup>3</sup> /s	Invalido	8.30768e-05 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s
Entrada izquierda	0 m <sup>3</sup> /s	invalido	8.30768e-05 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s
GG Presión Total Media 1	101326 Pa	Logrado (IT = 85)	0.01557 Pa	101326 Pa
promedio de flujo	- 0.0181738 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 124)	0.00227192 m <sup>3</sup> /s	- 0.0177147 m <sup>3</sup> /s
Salida trasera	0 m <sup>3</sup> /s	Invalido	8.30768e-05 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s
Salida trasera techo	0 m <sup>3</sup> /s	Invalido	8.30768e-05 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 10	0.0409085 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 131)	0.00122684 m <sup>3</sup> /s	0.0410549 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 11	0.0148238 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 108)	0.00367834 m <sup>3</sup> /s	0.014788 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 12	0.00478755 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 101)	0.0079268 m <sup>3</sup> /s	0.0056335 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 13	- 0.00151671 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 80)	0.0151951 m <sup>3</sup> /s	- 8.80459e-05 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 14	- 0.0162144 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0308904 m <sup>3</sup> /s	- 0.0163539 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 15	- 0.155941 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0289723 m <sup>3</sup> /s	- 0.155106 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 16	0.00738118 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 102)	0.0156439 m <sup>3</sup> /s	0.00740551 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 17	0.0610826 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 95)	0.00855366 m <sup>3</sup> /s	0.0613952 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 18	0.0414732 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 108)	0.00405018 m <sup>3</sup> /s	0.0405777 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 19	0.0388971 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 138)	0.00132554 m <sup>3</sup> /s	0.0380346 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 20	0.0107046 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 113)	0.00353586 m <sup>3</sup> /s	0.0117119 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 21	0.00386721 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 100)	0.00772835 m <sup>3</sup> /s	0.00466452 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 22	9.09672e-05 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 79)	0.0149892 m <sup>3</sup> /s	- 0.00134887 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 23	- 0.0149432 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0304221 m <sup>3</sup> /s	- 0.0160664 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 6	- 0.160014 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.029408 m <sup>3</sup> /s	- 0.156778 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 7	0.000750395 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 107)	0.0160849 m <sup>3</sup> /s	- 0.0018608 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 8	0.0606502 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 102)	0.00885211 m <sup>3</sup> /s	0.0596532 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 9	0.0450388 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 110)	0.00407344 m <sup>3</sup> /s	0.0449679 m <sup>3</sup> /s
Vol entrada	0.328189 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 108)	0.0158301 m <sup>3</sup> /s	0.32845 m <sup>3</sup> /s
Vol total	0.0181738 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 124)	0.00227192 m <sup>3</sup> /s	- 0.0177147 m <sup>3</sup> /s
Volumen entrada arriba	0 m <sup>3</sup> /s	Invalido	8.30768e-05 m <sup>3</sup> /s	0 m <sup>3</sup> /s

Nota. Parámetros cuantitativos en simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público sin modificar. Equipo de investigación, 2021.

La tabla de simulación de flujo de aire muestra columnas con diferentes mediciones y datos:

**Nombre.** refiere el punto o sección de la simulación donde se toman los datos. Ej. "Entrada derecha", "Salida trasera", entre otros.

**Valor Actual.** muestra el resultado de la medición en ese punto o sección, expresado en unidades como metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s), para caudales volumétricos, y pascales (Pa), para la presión.

**Progreso.** indica si el criterio de simulación se logró y el número de iteraciones realizadas para ello. En esta columna, "Logrado" indica que los resultados en la simulación se consiguieron. Por su parte, el Número de Iteraciones (IT) se refiere a la cantidad de ciclos de cálculo en la simulación para llegar al resultado. Por ejemplo "IT = 81" significa que se realizaron 81 ciclos de cálculo.

**Criterio.** muestra la referencia para validar los resultados.

**Valor Promedio.** refiere el valor promedio calculado en ese punto o sección (columna "Nombre") durante la simulación.

Las unidades de medida utilizadas son: m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo), que refiere el caudal volumétrico del aire o la cantidad de volumen de aire que pasa por una sección en un segundo. Pa (pascales), refiere la presión total media en un punto. Mide la fuerza ejercida por el aire por unidad de área.

Los puntos de medición o sección de la simulación se enlistan en la columna Nombre. En el modelo de autobús que se analizó, cuenta con 18 ventillas, donde se incluye la del habitáculo del conductor. Estas son numeradas del 6 al 23 y son

los puntos de medición, cuya función es tanto de entrada como de salida de aire. La entrada derecha y entrada izquierda corresponden a las aperturas propuestas en los laterales de la carrocería; asimismo, la salida trasera inferior, con los extractores de aire y su correspondiente efecto venturi, está en la parte posterior superior.

El cálculo se obtiene al dividir el flujo de aire por segundo entre el volumen total del espacio, de la siguiente manera:

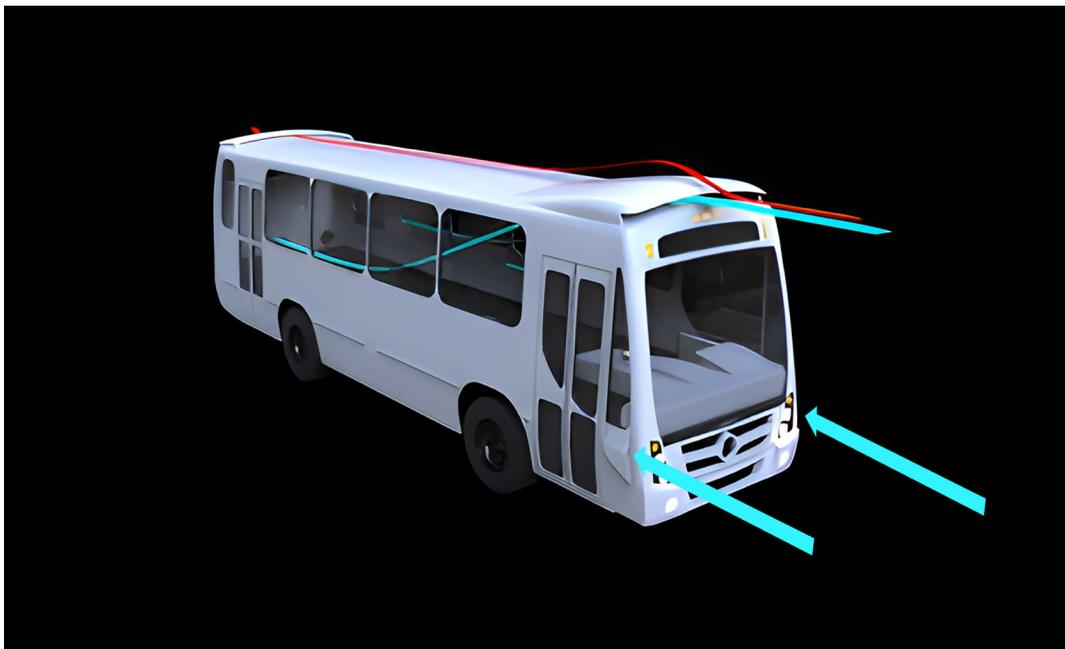
$$[(0.3281 \text{ m}^3/\text{s}) * (3600 \text{ s/h})] / [48.87 \text{ m}^3] = 24.16 \text{ Cambios de aire / hora (sin modificaciones).}$$

## 2. Simulación con Modificaciones, Sin Extractores

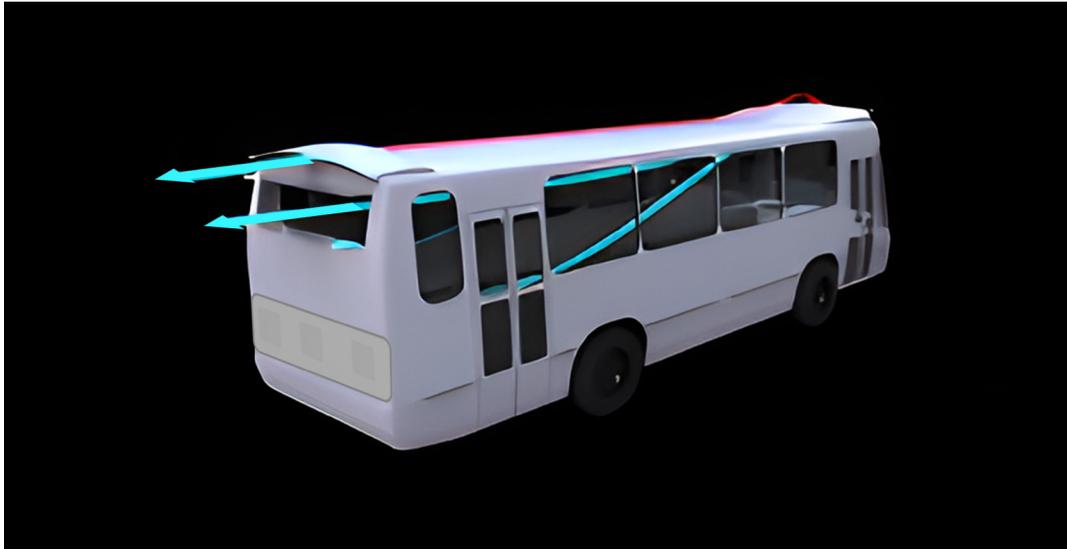
En los resultados de las modificaciones que se proponen para la unidad de transporte, hay una entrada de aire en la parte frontal superior y dos a los costados, en la parte inferior (Figura 4). Tiene salidas de aire en la parte posterior: una en la parte central superior y tres en la parte baja (Figura 5). Estos últimos se mantuvieron cerrados para efecto de esta prueba, donde se analizó el comportamiento del caudal de aire en estas condiciones. Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 3.

**Figura 4**

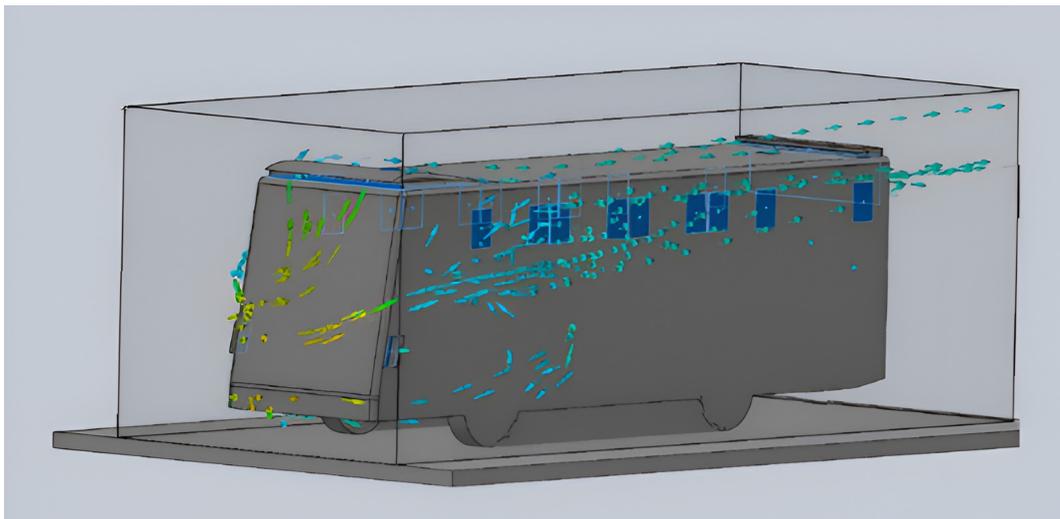
*Modificaciones propuestas a la unidad de transporte público*



*Nota.* Las entradas de aire en la parte frontal superior y costados de la unidad de transporte público, se muestran en color azul. La línea roja indica la dirección del aire al estar en circulación la unidad de transporte. Equipo de investigación, 2021.

**Figura 5***Modificaciones propuestas a la unidad de transporte público*

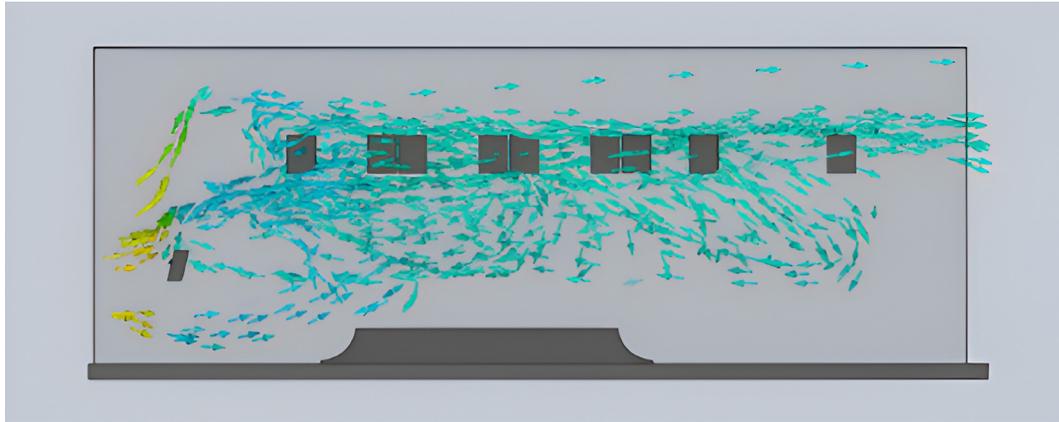
*Nota.* Las salidas de aire en la parte posterior superior de la unidad de transporte público, se muestran en color azul. La línea roja indica la dirección del aire al estar en circulación la unidad de transporte. Los extractores de la parte posterior baja se sellaron para la prueba. Equipo de investigación, 2021.

**Figura 6***Simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones*

*Nota.* Las salidas de aire en la parte posterior superior, sin extractores en la parte baja posterior. Las marcas en colores cálidos muestran zonas de mayor densidad de aire. Las marcas en colores fríos muestran zonas de menor densidad de aire. En su conjunto muestran la dirección del aire al estar la unidad de transporte público en movimiento. Vista en isométrico. Equipo de investigación, 2021.

**Figura 7**

Simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones



Nota. Las salidas de aire en la parte posterior superior, sin extractores en la parte baja posterior. Vista lateral. Las marcas en colores cálidos muestran zonas de mayor densidad de aire. Las marcas en colores fríos muestran zonas de menor densidad de aire. En su conjunto muestran la dirección del aire al estar en movimiento la unidad de transporte; es de notar el retorno de aire en la parte posterior de la unidad. Equipo de investigación, 2021.

**Tabla 3**

Tabla SEQ Tabla 1 \*ARABIC 3. Flujo de aire en UTP con modificaciones sin extractores

Nombre	Valor Actual	Progreso	Criterio	Valor Promedio
Entrada derecha	0.0199176 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 81)	0.00400704 m <sup>3</sup> /s	0.0201271 m <sup>3</sup> /s
Entrada izquierda	0.0198526 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.00454253 m <sup>3</sup> /s	0.0200791 m <sup>3</sup> /s
GG Presión Total Media 1	101326 Pa	Logrado (IT = 86)	0.0356453 Pa	101326 Pa
Salida trasera	- 0.478715 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 88)	0.0855471 m <sup>3</sup> /s	-0.476784 m <sup>3</sup> /s
Salida trasera techo	0.00830766 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 84)	0.00654212 m <sup>3</sup> /s	0.00815106 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 10	0.0556889 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 109)	0.0045629 m <sup>3</sup> /s	0.0567482 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 11	0.0261654 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 166)	0.00134738 m <sup>3</sup> /s	0.0268042 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 12	0.023027 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 130)	0.00308735 m <sup>3</sup> /s	0.0231052 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 13	0.0117571 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 113)	0.00676831 m <sup>3</sup> /s	0.0120247 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 14	- 0.00896761 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0133246 m <sup>3</sup> /s	- 0.00937126 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 15	- 0.132098 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0270587 m <sup>3</sup> /s	- 0.135544 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 16	0.0040087 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 112)	0.0163 m <sup>3</sup> /s	0.0023319 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 17	0.0543844 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 108)	0.0100306 m <sup>3</sup> /s	0.0542097 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 18	0.0596884 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 108)	0.00596195 m <sup>3</sup> /s	0.0593255 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 19	0.0550885 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 107)	0.0044566 m <sup>3</sup> /s	0.0554205 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 20	0.0234149 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 248)	0.00136769 m <sup>3</sup> /s	0.0237388 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 21	0.0203328 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 118)	0.00301318 m <sup>3</sup> /s	0.0205798 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 22	0.00772804 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 138)	0.00671347 m <sup>3</sup> /s	0.00794864 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 23	- 0.0106559 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 76)	0.0132399 m <sup>3</sup> /s	- 0.0099973 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 6	- 0.140382 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT 76)	0.0274254 m <sup>3</sup> /s	- 0.140844 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 7	- 0.00367384 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 112)	0.0165739 m <sup>3</sup> /s	- 0.00471365 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 8	0.0460692 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 109)	0.0105591 m <sup>3</sup> /s	0.0477931 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 9	0.0606676 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 106)	0.00596616 m <sup>3</sup> /s	0.0610585 m <sup>3</sup> /s
Vol entrada	0.720225 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 122)	0.0486131 m <sup>3</sup> /s	0.722821 m <sup>3</sup> /s
Vol total	-0.0459604 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 226)	0.00168726 m <sup>3</sup> /s	- 0.0462815 m <sup>3</sup> /s
Volumen entrada arriba	0.232433 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 102)	0.00433812 m <sup>3</sup> /s	0.231526 m <sup>3</sup> /s

Nota. Parámetros cuantitativos en simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones: salidas de aire en parte posterior superior, sin extractores en la parte baja posterior. Los indicadores en positivo son caudales de entrada y los negativos indican que el volumen medio fue de salida. Equipo de investigación, 2021.

Los resultados obtenidos con las modificaciones fueron los siguientes:  $[(0.72022 \text{ m}^3/\text{seg.}) * (3,600 \text{ seg. /h})] / [48.87 \text{ m}^3] = 53.05 \text{ CAH}$  Cambios de aire por hora. Considerado solo el dato de flujo de aire de entrada (0.72022 m<sup>3</sup>/seg, equivalente a 720.22 lt/seg), resulta en un flujo total de 12.0 lt/seg por persona, en una unidad con 60 personas (720.22 lt/seg / 60 personas), lo que supera la meta de 10 lt/seg por persona que recomienda la OMS (2019)

Estos resultados fueron positivos, ya que superan la tasa de renovación de aire requerida indicada en la investigación. Sin embargo, después de realizar un análisis de la circulación de aire en el interior, se notó una cantidad considerable de aire que retorna desde la parte de atrás de la unidad y lo recircula hacia el frente. Esto no es lo ideal, por tratarse de un aire no renovado y potencialmente contaminado, lo que podría causar contagios (ver Figura 7). Por lo tanto, se propone una alternativa que utiliza extractores de aire en las zonas donde se presenta este fenómeno. Los resultados en la simulación indicaron que esto, además de mejorar el problema de la recirculación, presenta un aumento del flujo total de aire de entrada.

### 3. Simulación con Modificaciones y Extractores

Para esta simulación (ver Figuras 8, 9 y 10), se liberaron, además, los extractores propuestos de la parte posterior baja de la unidad de transporte. De esta propuesta, se obtuvieron los siguientes resultados:

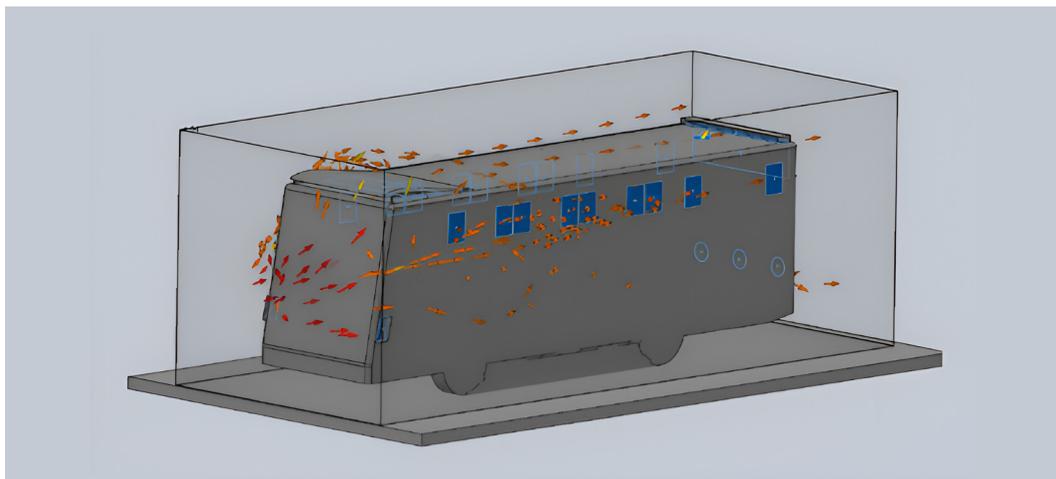
$[(1.31614 \text{ m}^3/\text{seg.}) * (3,600 \text{ seg/h})] / [48.87 \text{ m}^3] = 96 \text{ Cambios de aire por hora (con modificaciones)}$ .

Los resultados obtenidos con las modificaciones fueron los siguientes:  $[(1.31614 \text{ m}^3/\text{seg.}) * (3,600 \text{ seg. /h})] / [48.87 \text{ m}^3] = 96 \text{ CAH}$  Cambios de aire por hora. Si se considera solo el dato de flujo de aire de entrada (1.31614 m<sup>3</sup>/seg, equivalente a 1,316.14 lt/seg), resulta en un flujo total de 21.93 lt/seg por persona, en una unidad con 60 personas (720.22 lt/seg / 60 personas). Esto supera la meta de 10 lt/seg por persona que recomienda la OMS (2019).

Se debe señalar que, con la activación de los extractores posteriores, si bien aumenta el caudal de aire de salida, también aumenta considerablemente el de entrada de aire nuevo (Figuras 9 y 10).

**Figura 8**

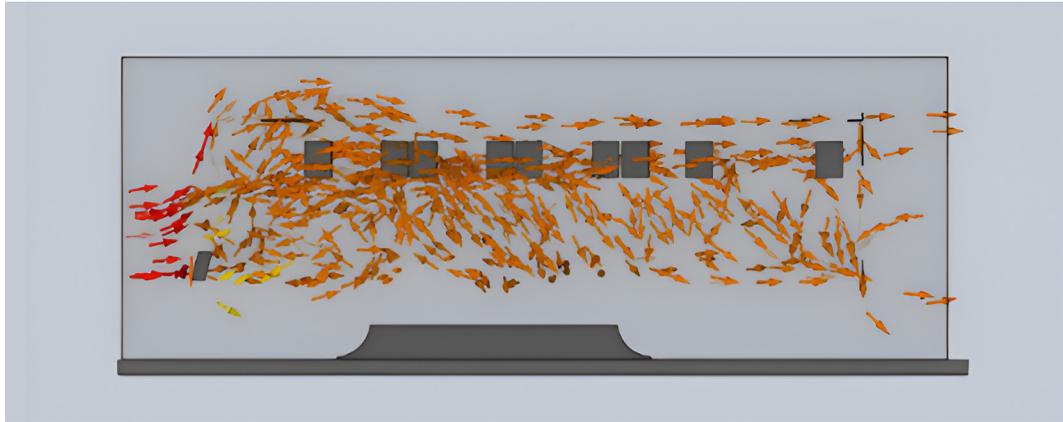
*Simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones*



*Nota.* Las salidas de aire en parte posterior superior y extractores en la parte baja posterior. Las marcas en colores cálidos muestran zonas de mayor velocidad y flujo de aire. En su conjunto muestran la dirección del aire, al estar la unidad de transporte público, en movimiento. Vista en isométrico. Equipo de investigación, 2021.

**Figura 9**

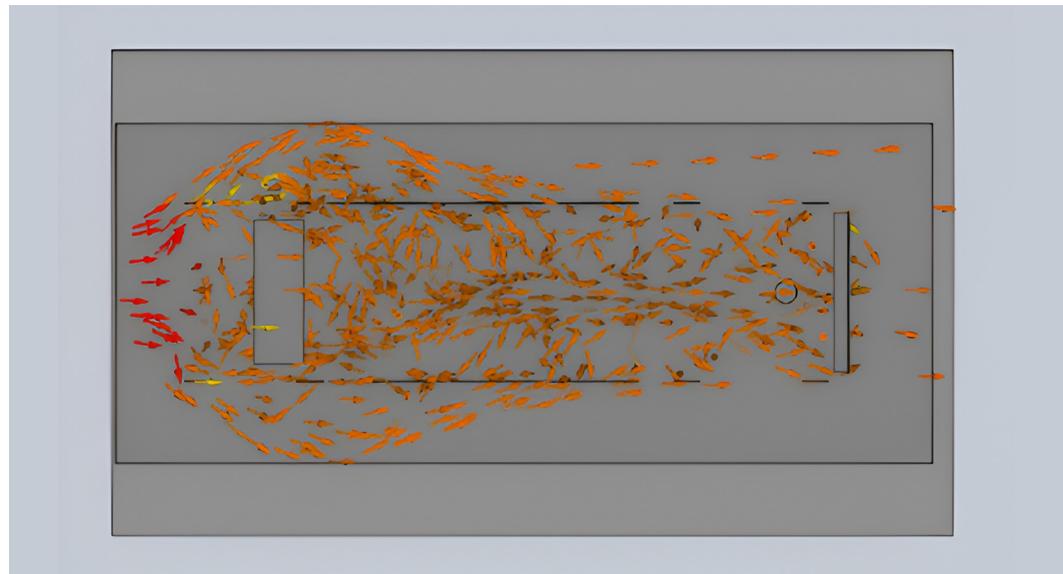
*Simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones*



*Nota.* Las salidas de aire en la parte posterior superior y extractores en la parte baja posterior. Las marcas en colores cálidos muestran zonas de mayor velocidad y flujo de aire. En su conjunto muestran la dirección del aire al estar la unidad de transporte público, en movimiento. Vista lateral. Equipo de investigación, 2021.

**Figura 10**

*Simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones*



*Nota.* Las salidas de aire en la parte posterior superior y extractores en la parte baja posterior. Las marcas en colores cálidos muestran las zonas de mayor velocidad y flujo de aire. En su conjunto muestran la dirección del aire, al estar la unidad de transporte público, en movimiento. Vista superior. Equipo de investigación, 2021.

Tabla 4

Tabla SEQ Tabla 1 \*ARABIC 3. Flujo de aire en la UTP con modificaciones y extractores

Nombre	Valor Actual	Progreso	Criterio	Valor Promedio
Entrada derecha	0.0310248 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 96)	0.0054458 m <sup>3</sup> /s	0.0306042 m <sup>3</sup> /s
Entrada izquierda	0.0221403 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 96)	0.00538875 m <sup>3</sup> /s	0.022167 m <sup>3</sup> /s
GG Presión Total Media P 1	101326 Pa	Logrado (IT = 96)	0.0496252 Pa	101326 Pa
Salida Trasera	- 0.0141787 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 140)	0.0792058 m <sup>3</sup> /s	- 0.326325 m <sup>3</sup> /s
Salida Trasera Techo	0.0501571 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 112)	0.00726487 m <sup>3</sup> /s	0.0502152 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumetrico 10	0.094737 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 141)	0.00453671 m <sup>3</sup> /s	0.0958396 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 11	0.0441426 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 172)	0.00167371 m <sup>3</sup> /s	0.0446899 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 12	0.0604599 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 170)	0.00263534 m <sup>3</sup> /s	0.0612264 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 13	0.0372684 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 139)	0.00359234 m <sup>3</sup> /s	0.037845 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 14	0.0198301 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 121)	0.00730229 m <sup>3</sup> /s	0.0194564 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 15	- 0.0602173 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 96)	0.0202106 m <sup>3</sup> /s	- 0.0607023 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 16	0.0388264 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 141)	0.0112197 m <sup>3</sup> /s	0.040754 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 17	0.0770114 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 144)	0.00786795 m <sup>3</sup> /s	0.0787199 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 18	0.0746448 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 134)	0.00487065 m <sup>3</sup> /s	0.0756405 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 19	0.0857529 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 139)	0.00443113 m <sup>3</sup> /s	0.0868912 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 20	0.0449432 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 169)	0.0017451 m <sup>3</sup> /s	0.0453925 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 21	0.0605017 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 171)	0.00266083 m <sup>3</sup> /s	0.0613637 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 22	0.0395139 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 161)	0.0035766 m <sup>3</sup> /s	0.0401036 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 23	0.0222758 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 100)	0.00740801 m <sup>3</sup> /s	0.0230146 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 6	- 0.069637 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 96)	0.0204043 m <sup>3</sup> /s	- 0.0693666 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 7	0.0316405 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 139)	0.0113115 m <sup>3</sup> /s	0.0342362 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 8	0.0775729 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 140)	0.00862117 m <sup>3</sup> /s	0.0794095 m <sup>3</sup> /s
SG Caudal Volumétrico 9	0.0769677 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 131)	0.00496311 m <sup>3</sup> /s	0.0776591 m <sup>3</sup> /s
Volumen entrada	1.31614 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 143)	0.0521076 m <sup>3</sup> /s	1.33241 m <sup>3</sup> /s
Volumen entrada arriba	0.37689 m <sup>3</sup> /s	Logrado (IT = 96)	0.0040787 m <sup>3</sup> /s	0.377396 m <sup>3</sup> /s

Nota. Parámetros cuantitativos en simulación digital de flujo de aire en unidad de transporte público con modificaciones: salidas de aire en la parte posterior superior y extractores en la parte baja posterior. Equipo de investigación, 2021.

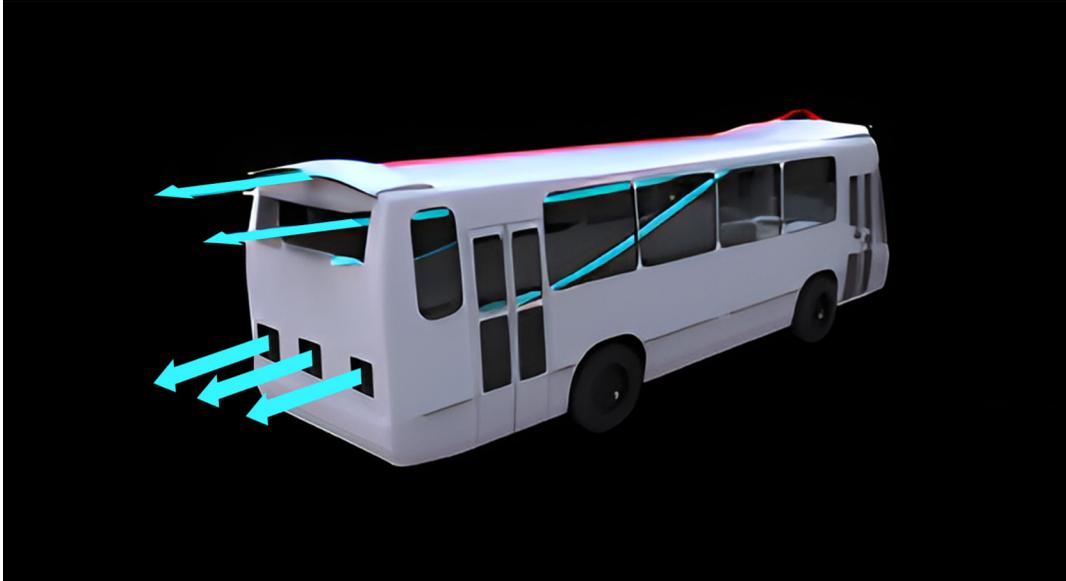
### Propuesta

Los resultados obtenidos en este análisis coinciden con lo afirmado en investigaciones realizadas por la universidad de Hong Kong, a través del departamento de Ingeniería Mecánica, que señala un flujo mayor de 3 lt/seg/persona (*Department of Mechanical Engineering of the University of Hong Kong et al., 2020*). Por la naturaleza del contexto en que se está trabajando, debe tomarse en cuenta que la exactitud de los resultados arrojados por las simulaciones podría variar, al compararse en situación real, donde no existe una velocidad constante. Es por ello que se toma la decisión de considerar una velocidad más baja que el promedio en una

ruta normal, que es 5 km/h. Así, con las modificaciones, se logra un incremento de flujo de aire de entrada de casi el doble. Cabe mencionar que, si una unidad promedia una velocidad más alta en su ruta, lo cual es muy probable, se tendría un resultado aún mayor de CAH.

**Figura 11**

Salidas de aire en la parte posterior superior y extractores



*Nota.* Las salidas de aire se muestran en color azul. La línea roja indica la dirección del aire al estar en circulación la unidad de transporte.

Es importante recalcar que estas simulaciones se realizaron en un modelo volumétrico esquematizado con las dimensiones reales de la unidad de transporte analizada. Así, los datos arrojados son aproximaciones que fueron de utilidad para observar el comportamiento del caudal de aire de entrada y salida; asimismo, representan una aproximación a los valores y cambios en el caudal por las modificaciones propuestas. Para obtener datos reales, se debe trabajar con base en un modelo tridimensional, que contenga todos los elementos estructurales. Es decir, debe analizarse una unidad con escalones, asientos, salpicaderas, y demás elementos interiores que puedan modificar el comportamiento del flujo de aire. Esta tarea corresponde al departamento de ingeniería de la empresa, ya que el alcance del proyecto consistió en las propuestas conceptuales.

#### **Recomendaciones Complementarias:**

- Exigir el uso de cubrebocas y su correcto empleo. Paradójicamente, los usuarios a proteger, de igual manera, son la fuente de infección.
- Las renovaciones de aire en el interior de la unidad de transporte deben ser de, al menos, 25 cada hora.
- No debe recircular el mismo aire en el interior de la unidad.
- Para coadyuvar a un ambiente sano, limitar el número de usuarios en el interior de las unidades de transporte.
- La intervención física a la unidad de transporte público no debe interferir con la disposición de los elementos que componen el habitáculo del conductor.

## Conclusiones

El año 2020 representó el punto álgido de la contingencia sanitaria por la Covid-19, en el que las medidas de contención y confinamiento alcanzaron su nivel máximo. Esto incluyó el cierre de fronteras, la cancelación de vuelos internacionales y la interrupción de actividades presenciales no esenciales. La recomendación general fue permanecer en casa en la medida de lo posible, para evitar la propagación del virus, especialmente para aquellos perfiles de riesgo, menos resilientes, ante la entonces nueva cepa del coronavirus. Durante este periodo de confinamiento, los trabajos se realizaron exclusivamente con información proveniente de fuentes oficiales en cuanto a Covid-19; asimismo, se recurrió a fuentes oficiales o de reconocido prestigio en temas normativos. La información sobre las características de los autobuses de autotransporte urbano de pasajeros fue proporcionada por la empresa carrocera, y los datos sobre materiales y equipos se basaron en consultas a proveedores, fabricantes y fuentes especializadas.

Han transcurrido casi cuatro años desde que la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró la pandemia global. La humanidad, gracias a la experiencia acumulada, ha aprendido a enfrentar eventos de esta naturaleza y escala; se han generado registros y protocolos definidos, con alcances claros en cuanto a su efectividad dentro de parámetros conocidos. Esto constituye un precedente para plantear con mayor precisión aspectos puntuales en el desarrollo de proyectos similares. No obstante, toda decisión se basa en hechos y en una realidad percibida que depende del lugar, tiempo, contexto particular e información disponible. Esta, a su vez, contribuye a la creación de nueva información.

Es probable que, para quien lee estas líneas, la percepción sobre la problemática sea considerablemente distinta a la que se tuvo en 2020. Sin embargo, para una comprensión adecuada de lo aquí expuesto, es importante considerar el contexto de aquel año y las circunstancias que motivaron a la empresa carrocera a buscar el apoyo de la Universidad. Se aprovechó su estructura metodológica para abordar la investigación de la problemática, administrar datos y organizar ideas en un periodo en el que circulaba información errónea entre gran cantidad de datos fidedignos. Las universidades, por su parte, cuentan con el capital humano—profesores y estudiantes—para realizar investigaciones y desarrollos en diversas áreas. Esto genera beneficios mutuos, a través del trabajo conjunto.

El proyecto tuvo un beneficio social en dos aspectos directos. En primer lugar, su objetivo fundamental fue reducir los riesgos de contagio durante el periodo de pandemia. En segundo lugar, generó un impacto anímico positivo en el grupo de estudiantes que participó en los proyectos colaborativos entre la Universidad y el sector privado. Se percibió un ánimo positivo entre los estudiantes, quienes experimentaron la satisfacción de trabajar en proyectos que les permitieron contribuir activamente en la solución de un problema que los mantuvo en un estado de estrés, confinamiento indefinido y exposición a mensajes poco favorables en los medios de comunicación. Muchos de los participantes solicitaron expresamente ser parte del proyecto, pues lo consideraron un aliciente psicológico positivo ante la situación; esta percepción fue evidente en las sesiones de trabajo.

Aunque, con el paso del tiempo, las propuestas de solución puedan parecer básicas, es fundamental enfatizar el contexto y los desafíos que implicó su realización. En primer lugar, todo el trabajo se llevó a cabo en modalidad “a distancia” durante el confinamiento obligatorio. Esto implicó no sólo el aprendizaje de las posibles intervenciones disciplinarias para resolver el problema, sino también el desarrollo de habilidades en el uso de tecnologías de la información y el trabajo colaborativo en equipos. Estos equipos, progresivamente, se adaptaron a las limitaciones de la modalidad, al aprovechar los recursos informáticos disponibles en cada momento. El aprendizaje resultante fue multidireccional, ya que benefició a todos los implicados en el proceso.

Desde la distancia, las soluciones propuestas pueden parecer básicas; sin embargo, es crucial subrayar los factores contextuales y los desafíos que implican su implementación. En primer lugar, todo el trabajo se llevó a cabo de forma remota, durante el período obligatorio de confinamiento. Esto implicó no solo explorar las posibles contribuciones de la disciplina para abordar el problema en cuestión, sino también aprovechar las tecnologías de la información y fomentar los esfuerzos de colaboración entre los equipos que se fueron adaptando gradualmente a las limitaciones de este enfoque. De este modo, hicieron un uso eficaz de los recursos informáticos disponibles en todo momento.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflictos de interés.

**Declaración de contribución de los autores:** A continuación, se menciona la contribución de cada autor, en correspondencia con su participación, utilizando la Taxonomía Crédit:

- Mercedes J. Hernández Padilla: Análisis formal, Curaduría de datos, Investigación, Redacción-borrador original, Supervisión, Visualización.
- Roberto Cerpa Águila: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción-revisión y edición.
- Juan Enrique Mendoza Medina: Recursos, Software, Validación.

## Referencias

- 2030 Palette. (Octubre de 2020). Ventilación Inducida. *2030 Palette*. <http://2030palette.org/stack-ventilation/?lang=es>
- ABNT. (20 de febrer de 2009). *NBR 15570-2009: Transporte colectivo urbano*. Conselho Nacional do Ministério Público. [https://www.cnpm.br/portal/images/Comissoes/DireitosFundamentais/Acessibilidade/NBR\\_15570-2009\\_Transp\\_Coletivo\\_Urbano.pdf](https://www.cnpm.br/portal/images/Comissoes/DireitosFundamentais/Acessibilidade/NBR_15570-2009_Transp_Coletivo_Urbano.pdf)
- Allen, J. G., Spengler, Jack; Jones, Emily. (2020). *How School Buildings Influence Student Health, Thinking and Performance*. Harvard T.H. Chan, School of Public Health. [https://andefil.com/wp-content/uploads/2020/09/guia\\_ventilacion.pdf](https://andefil.com/wp-content/uploads/2020/09/guia_ventilacion.pdf); [https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2021/01/Harvard-Healthy-Buildings-program-How-to-assess-classroom-ventilation-10-30-2020-EN\\_R1.8.pdf](https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2021/01/Harvard-Healthy-Buildings-program-How-to-assess-classroom-ventilation-10-30-2020-EN_R1.8.pdf)
- Arnabat, I. (2 de noviembre de 2020). Medición y cálculo de la tasa de renovación de aire interior. *Caloryfrio.com*. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/medicion-y-calculo/tasa-renovacion-aire-interior-saueremann-una-medicion-critica-contra-covid.html>
- ASHRAE. (2022). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- Buonanno, M., Welch, D., Shuryak, I., y Brenner, D. J. (2020). Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Scientific reports*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67211-2>
- Cantera, S. (25 de mayo de 2020). Venta de autobuses cae 96% en abril. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/venta-de-autobuses-cae-96-en-abril/>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (8 de octubre de 2020). Información sobre el COVID-19 para los empleadores de autobuses. *CDC*. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/organizatio>

- Crespo, C. (26 de noviembre de 2020). Cinco pandemias más letales en la historia de la humanidad. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/historia/2020/11/cinco-pandemias-mas-letales-de-historia-de-humanidad>
- Fiter, M. (7 de septiembre de 2020). ¿Cual es el riesgo de contagio por coronavirus en el transporte público? El Independiente. <https://www.elindependiente.com/vida-sana/salud/2020/09/07/cual-es-el-riesgo-de-contagio-por-coronavirus-en-el-transporte-publico/>
- Fujimora, S. F. (2003). *La muerte púrpura: La gran gripe de 1918*. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/quienes-somos/historia-ops/muerte-purpura-gran-gripe-1918>
- Kitagawa, H., Nomura, T., Nazmul, T., Omori, K., Shigemoto, N., Sakaguchi, T., y Ohge, H. (2021). Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination. *American journal of infection control*, 49(3), 299-301. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.08.022>
- Lee, C., y Tsang, B. (15 de julio de 2020). COVID-19 and the role of ventilation in reducing transmission. *University of Hong Kong*. <https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/21290.html>
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. (22 de abril de 2020). ¿La luz solar mata el coronavirus? *National Academies of Sciences, Engineering and Medicine*. <https://www.nationalacademies.org/espanol/based-on-science/basado-en-la-ciencia/la-luz-solar-mata-el-coronavirus>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (20 de junio de 2020). ¿La luz ultravioleta (UV) mata el coronavirus? *National Academies of Sciences, Engineering and Medicine*. <https://www.nationalacademies.org/espanol/based-on-science/basado-en-la-ciencia/la-luz-ultravioleta-mata-el-coronavirus>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (diciembre de 2019). Preguntas y respuestas sobre el COVID 19. OMS. <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (julio de 2019.) Transmission of SARS-CoV-2: Implications for infection prevention precautions. OMS. [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci\\_Brief-Transmission\\_modes-2020.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización Panamericana de la Salud. (OPS). (11 de noviembre de 2020). OMS caracteriza el COVID-19 como pandemia global. *Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia>
- Ou, C., Hu, S., Luo, K., Yang, H., Hang, J., Cheng, P., ... y Li, Y. (2022). Insufficient ventilation led to a probable long-range airborne transmission of SARS-CoV-2 on two buses. *Building and environment*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108414>
- Pereira, M. (31 de octubre, 2019). Ventilación cruzada y efecto chimenea. *Archdaily*. <https://www.archdaily.mx/mx/889075/ventilacion-cruzada-efecto-chimenea-y-otros-conceptos-de-ventilacion-naturalMS>
- Ríos, J. (2020, 21 de junio). El transporte público implica riesgo de contagio de COVID-19. *Universidad de Guadalajara*. <https://udgtv.com/noticias/transporte-publico-implica-alto-riesgo-contagio-covid-19/>
- Signify (16 de junio de 2020). Signify and Boston University validate effectiveness of Signify's UV-C light sources on inactivating the virus that causes COVID-19. *Signify*. <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-releases/2020/20200616-signify-boston-university-validate-effectiveness-signify-uv-c-light-sources-on-inactivating-virus-that-causes-covid19>
- Shen, Y., Li, C., Dong, H., Wang, Z., Martinez, L., Sun, Z., ... y Xu, G. (2020). Community outbreak investigation of SARS-CoV-2 transmission among bus riders in Eastern China. *JAMA internal medicine*, 180(12), 1665-1671. doi:10.1001/jamainternmed.2020.5225

- Sholtes, K., Simons, R., Beck, S. E., Adeli, B., y Sun, Z. (10 de octubre de 2020). Desinfección ultravioleta: una perspectiva general. *International Ultraviolet Association (IUVA)*. <https://iuva.org/resources/covid-19/UV-101-Desinfección-Ultravioleta-una-perspectiva-general.pdf>
- Simons, M., Blatchey, E. R. y Linden, K. G. (julio de 2020). Far UV-C in the 200-225 nm range, and its potential for disinfection applications. *International Ultraviolet Association (IUVA)*. <https://www.iuva.org/iuva-covid-19-faq>
- Stamper, E., y Koral, R. (1979). *Handbook of air conditioning, heating and ventilating*. Industrial Press.
- Transporte.MX. (17 de junio de 2020). Caen hasta 80% las ventas en terminales de autobuses durante la pandemia. *Transporte.MX*. <https://transporte.mx/caen-hasta-80-las-ventas-en-terminales-de-autobuses/#:~:text=La%20pandemia%20por%20el%20Covid,terminales%20de%20autobuses%20para%20pasajeros.>
- Yang, X., Ou, C., Yang, H., Liu, L., Song, T., Kang, M., ... y Hang, J. (2020). Transmission of pathogen-laden expiratory droplets in a coach bus. *Journal of hazardous materials*, 397. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122609>
- Zheng, R., Xu, Y., Wang, W., Ning, G., y Bi, Y. (2020). Spatial transmission of COVID-19 via public and private transportation in China. *Travel medicine and infectious disease*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101626>