

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE ASPIRACIÓN PARA PARTÍCULAS VOLÁTILES EN ODONTOLOGÍA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE SUCTION SYSTEM FOR VOLATILE PARTICLES IN DENTISTRY

J. Maldonado Cubas¹
R. Estrada Nájera²

RESUMEN

Como consecuencia de la pandemia por COVID-19 muchas actividades fueron restringidas, entre ellas el acceso a instituciones de salud para la realización de prácticas hospitalarias por parte de los alumnos de ingeniería biomédica de la Universidad La Salle, por lo que se diseñó una estrategia consistente en el desarrollo de proyectos en modalidad mixta, uno de ellos fue el solicitado por el INCMNSZ para la elaboración de un dispositivo de aspiración que pudiera utilizar el personal de odontología para atender a pacientes probablemente infectados con el virus de SARS-CoV-2. El desarrollo del proyecto se realizó en seis fases: elección del motor, diseño del equipo, simulación de flujos, construcción, ensamblaje e instrumentación. Al término del proyecto se pudo realizar un dispositivo que cumple con las características necesarias para aspirar de manera eficiente los aerosoles generados en la vecindad del área de trabajo del odontólogo, con una fase de filtrado y una de desinfección incorporadas y con un precio competitivo por lo que se considera que la solicitud realizada por la institución hospitalaria fue atendida de manera adecuada, logrando además un acercamiento de nuestros alumnos con la elaboración de proyectos que solucionan problemáticas reales.

ABSTRACT

As a consequence of the COVID-19 pandemic, many activities were restricted, including access to health institutions for hospital internships by biomedical engineering students at La Salle University, so a strategy was designed consisting of the development of mixed-mode projects, one of which was requested by the INCMNSZ for the development of a suction device that could be used by dental personnel to treat patients probably infected with the SARS-CoV-2 virus. The development of the project was conducted in six phases: motor selection, equipment design, flow simulation, construction, assembly, and instrumentation. At the end of the project, it was possible to create a device that meets the necessary characteristics to efficiently aspirate the aerosols generated in the vicinity of the dentist's work area, with filtering and a disinfection phase incorporated and with a competitive price, so it is considered that the request made by the hospital institution was adequately met, also achieving an approach of our students with the development of projects that solve real problems.

ANTECEDENTES

La licenciatura en Ingeniería Biomédica que se imparte en la Universidad La Salle México tiene entre sus objetivos, el fomentar en los alumnos una interacción estrecha con otros profesionales de la salud, para ello, en su plan de estudios se contempla la asignatura de Prácticas Hospitalarias, cuyo propósito es que los discentes aprendan el tipo de equipamiento, la disposición de espacios y las actividades que se realizan en una instalación hospitalaria.

¹ Jefe de posgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad La Salle México. juan.maldonado@lasalle.mx

² Egresado. Universidad La Salle México. raul.estrada@lasallistas.org.mx

Atendiendo a las indicaciones por parte de las instituciones de salud que se derivaron por la reciente pandemia por COVID-19, en las que se solicitaba que se restringiera al máximo el ingreso de personal ajeno a estas instituciones, nuestra Universidad se dio a la tarea de diseñar una estrategia alterna para que, en la medida de lo posible, los alumnos tuvieran esta experiencia de interacción con el medio hospitalario además de que resolvieran alguna problemática real para fomentar en ellos la investigación aplicada.

Para atender esta situación, la Universidad acordó con las distintas instituciones de salud a las que habitualmente acudían los alumnos para sus prácticas hospitalarias, la opción de realizarlas en una modalidad mixta en la que les fuera asignado un proyecto a los alumnos que pudieran desarrollar en gran medida sin tener que ir al hospital con asesoramiento de manera remota tanto por personal del hospital como por un tutor asignado por la Universidad y asistir al hospital en días y horarios programados y controlados.

Logrado este acuerdo se propusieron a los alumnos distintos proyectos de investigación, uno de ellos fue el solicitado por el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) que requería de un dispositivo de aspiración que pudiera ser utilizado por el personal de odontología que tenía que atender pacientes probablemente infectados con el virus de SARS-CoV-2, para minimizar la posibilidad de diseminación de partículas de saliva en las que pudiera estar contenido el virus.

Como es sabido por todos, durante los procedimientos odontológicos es frecuente el uso de instrumental que funciona a gran velocidad, ocasionando la formación de aerosoles que se originan desde la boca del paciente y se diseminan a su alrededor, estos aerosoles se forman principalmente por microgotas de saliva que puede contener virus y bacterias que pueden llegar a una distancia de hasta 2 metros si no se hace su extracción (Pérez et al., 2021).

La permanencia de estos aerosoles en el aire puede ser de hasta 3 horas, disminuyendo en su carga viral, pero, sin saber si es lo suficientemente baja como para evitar algún tipo de contagio, además de que es posible que dichos aerosoles ingresen al sistema de ventilación propagándose a otras áreas representando un riesgo para otros pacientes y para el personal de salud que participa en la atención (van Doremalen et al., 2020).

Se sabe también que el personal de salud que maneja pacientes con enfermedades del tracto digestivo, como es el caso de los odontólogos, son los que tienen el mayor riesgo de infectarse por SARS-CoV-2, esto es consistente con lo informado por la Organización Mundial de la Salud que dice que la transmisión aérea de COVID-19 es posible siempre que se efectúen procedimientos o se administren tratamientos que generen aerosoles (Peng et al., 2020).

Aunque es clara la necesidad de atender esta problemática, normalmente las áreas donde se brinda atención dental no están diseñadas para ello, ya que, la mayoría no tienen salas de aislamiento y atienden a un flujo continuo de pacientes a pesar de que se recomiendan diversas consideraciones para el control de infecciones, tales como la higiene de manos, el

uso adecuado del equipo de protección personal, el aislamiento con diques de goma y el uso de evacuadores de alto volumen (HVE, por sus siglas en inglés) (Morales, 2020; Peng et al., 2020).

Para que un evacuador de alto volumen cumpla con su función, es necesario que pueda realizar una extracción de aire de hasta 100 pies cúbicos por minuto mediante un motor/ventilador para que posteriormente pase este flujo a través de un sistema de filtrado y desinfección.

Los materiales que normalmente se utilizan para direccionar el flujo pueden ser construidos con una combinación de aluminio y plástico para posicionarlos de manera correcta, la etapa de filtrado se puede realizar con filtros HEPA H14 útiles para retener partículas mayores a los 0.3 micrómetros y que son suficiente para evitar la propagación del virus que para mantenerse viable necesita viajar en las gotas de algún fluido biológico.

Para atender las necesidades de aspiración normalmente se utiliza un ventilador centrífugo que maximice el caudal de aire, que genere el menor ruido posible y que sea lo más compacto posible.

Para resolver el problema de la desinfección se puede utilizar luz ultravioleta tipo C (con una longitud de onda de 200 a 280 nanómetros) que es útil para inactivar al virus que origina SARS-CoV-2 (Biasin et al., 2021).

Para atender esta problemática, la propuesta fue el diseño e implementación de un sistema de extracción extraoral, que permitiera remover de una manera muy eficiente todo el aire que se genera en la inmediata vecindad de la boca del paciente que es atendido por el personal de odontología y, que tuviera un costo menor al de los equipos disponibles en el mercado; por lo que se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de un sistema de aspiración para partículas volátiles en odontología.

Objetivos Particulares

1. Elegir el motor
2. Realizar el diseño asistido por computadora (CAD)
3. Simular los flujos de aire en el CAD
4. Construir el prototipo
5. Ensamblar las mangueras y boquilla
6. Colocar la instrumentación

METODOLOGÍA

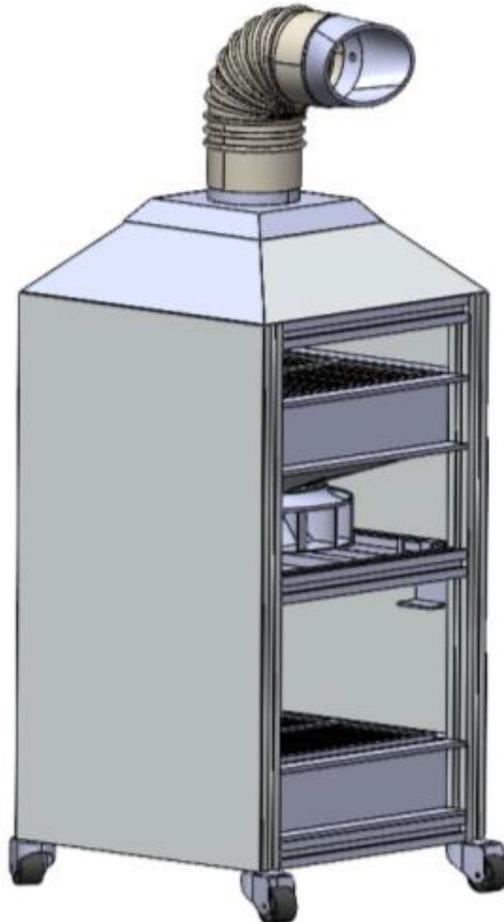
Elección del motor

El motor debía de tener un caudal mayor a 100 pies cúbicos por minuto por la pérdida que se pudiera generar al pasar el flujo a través del filtro colocado, por lo que, se decidió seleccionar un motor R2E220-AA40-23 de 22 cm de diámetro y 6.3 cm de ancho de la marca EBM PAPST, que cuenta con un caudal de hasta 530 pies cúbicos por minuto y genera un ruido máximo de 74 dB, con un costo de \$5,000.00, considerándolo adecuado para el desarrollo.

Diseño del equipo en CAD

El diseño se realizó utilizando el software CAD SolidWorks, utilizando cuatro perfiles de aluminio, cada uno con dimensiones de 12 x 24 pulgadas, para formar una carcasa con espacio suficiente para el motor, para la etapa de filtrado y para la etapa de desinfección. Posteriormente, se le colocaron llantas para facilitar su movimiento y se le colocó una base de aluminio ubicada por arriba del motor para colocar el filtro HEPA cuyas dimensiones eran de 12 x 12 x 3 pulgadas, adicionalmente, se colocó una tolva interna desde la base del filtro hasta el motor, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. *Diseño del equipo en SolidWorks*

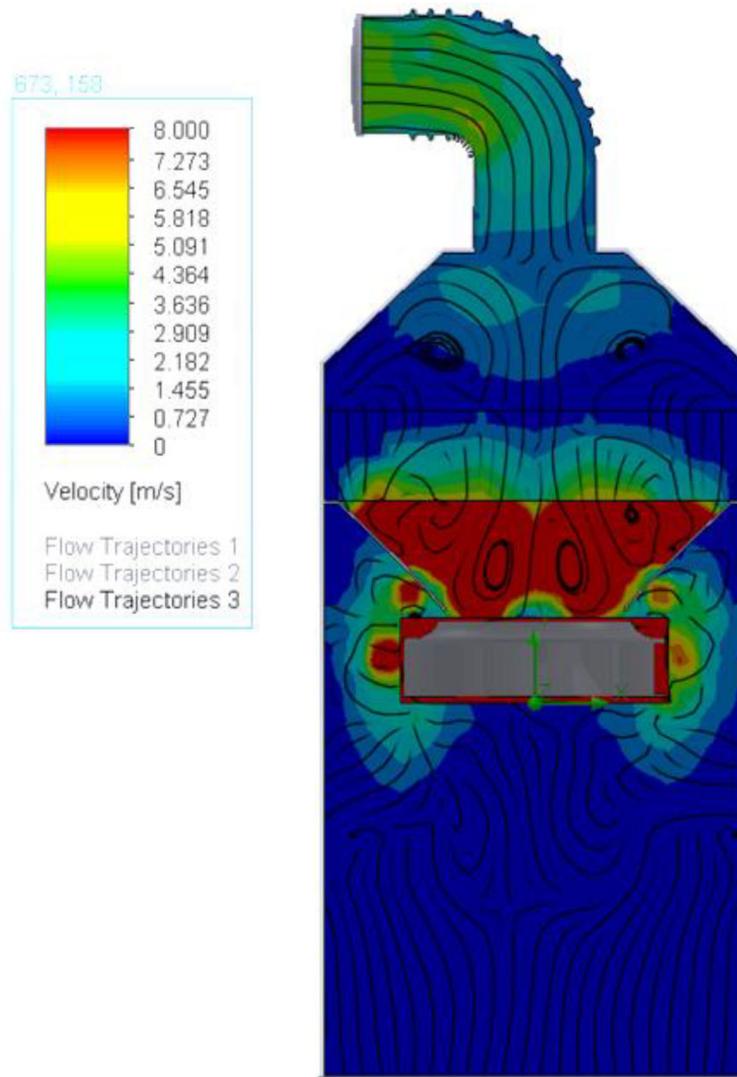


Simulación de flujos

Concluido el diseño se realizó un modelo para simular el flujo con la herramienta CFD que es complementaria de SolidWorks. Para esta simulación se consideró la manguera, la carcasa del equipo, el motor, la tolva interna y el filtro HEPA, los parámetros que se cargaron fueron el de un medio poroso para simular el filtro HEPA y la velocidad angular del motor, la cual es de 2,550 RPM.

En la Figura 2 se observa un corte transversal de la simulación en la que se identifica la velocidad del flujo de aire, así como, su trayectoria dentro del sistema. La máxima velocidad se encuentra indicada en color rojo y con líneas continuas se identifica la trayectoria que sigue el flujo en el interior del prototipo hasta su expulsión después de pasar por el filtro y la etapa de desinfección.

Figura 2. Corte transversal de la simulación de flujo



Construcción del prototipo

Para la construcción del equipo se inició con el ensamblado de los perfiles contruidos con láminas de aluminio calibre 20, después se colocó la base central donde se colocaría el motor, la base para el filtro HEPA y la tolva interna.

Ensamblaje de mangueras

Para la extracción del aire se utilizaron mangueras de polipropileno de 4 pulgadas de diámetro con un cable interno de acero para mantener la posición, la utilización de mangueras de polipropileno las hace fáciles de remover y lavar para mantenerlas libres de contaminación. Además, se diseñó e imprimió una boquilla construida con PETG para colocarse en el extremo de la manguera para mejorar la succión.

Instrumentación del equipo

La instrumentación se inició con la colocación de un receptáculo con fusibles de seguridad, después, se colocó un capacitor de arranque de 10 μ f conectado directamente al motor cuyo propósito es agregar una fase extra para permitir su arranque por ser un motor monofásico, posteriormente, se colocó un atenuador de 2000 W para modular la velocidad del motor.

Para realizar la desinfección se utilizaron dos lámparas de mercurio UV-C con una longitud de onda de 200 a 280 nm de 8 W, la primera colocada en la parte superior del filtro HEPA y la segunda debajo del motor después de la etapa de filtración, ambas lámparas eran encendidas junto con el motor.

Finalmente, se colocó la etapa de filtrado en la parte superior del motor, para ello, se utilizó un filtro HEPA H14 con una eficiencia de 99.98%.

RESULTADOS

Durante el desarrollo del presente proyecto se realizaron diversas adecuaciones con respecto a variables como el peso, la movilidad y el tamaño del sistema atendiendo a las peticiones específicas de la parte usuaria con revisiones semanales en las que se evaluaba el avance del proyecto.

Para evaluar el ruido generado por el motor del prototipo, se consultó tanto a los odontólogos que probaron el desarrollo como a los pacientes que eran atendidos, obteniendo en ambos casos respuestas favorables ya que, ambas partes manifestaron que no les generaba molestia alguna, por lo que, se considera que esta variable se encuentra en límites normales.

Por lo que respecta al caudal que es capaz de generar el equipo, se realizaron 10 mediciones, obteniéndose un flujo promedio de 108.63 ± 1.8 pies cúbicos por minuto, por lo que, se considera que esta variable también se encuentra en valores adecuados.

Otra variable que se evaluó fue la distancia máxima que puede existir entre la boquilla del sistema de aspiración y el área de trabajo del odontólogo para que se mantuviera una

aspiración adecuada, para ello se colocó la boquilla del sistema a distancias de 10, 15, 20 y 25 cm de una fuente generadora de gases la cual consistía en CO₂ en estado sólido, con estas pruebas se concluyó que la distancia máxima para mantener una aspiración adecuada fue de 15 cm.

Con respecto a la reducción de la carga viral que podría ser dispersada en el ambiente, esta se cuantificó de manera indirecta al comparar la cantidad de fluidos que se adherían a la careta del odontólogo sin el uso y con el uso del prototipo, concluyendo que cuando el sistema de aspiración era utilizado prácticamente no se identificaban restos de fluidos en la careta en comparación con lo que sucedía cuando no se utilizaba el sistema de aspiración, situación en la cual era evidente la gran cantidad de fluidos que eran detenidos por la careta, además de que visualmente se corroboró que la nube de aerosoles generados durante el procedimiento era fácilmente aspirada por el prototipo construido.

Complementario al punto anterior se puede asumir que la carga viral de los aerosoles generados era eliminada de manera satisfactoria al utilizar lámparas de luz ultravioleta para irradiar el aire que era aspirado por el prototipo.

En la Figura 3 se observa el sistema terminado, considerando que el tamaño fue el adecuado, ya que, la boquilla puede ser colocada a una altura cómoda para el odontólogo y que la colocación de llantas también fue de utilidad para facilitar el traslado del equipo.

Figura 3. *Sistema de extracción terminado*



CONCLUSIONES

Este desarrollo consume una potencia de 150 W, valor muy por debajo de los 1000 W que consumen los modelos comerciales, resultando en un ahorro de energía eléctrica sin impactar de manera negativa en su desempeño.

Respecto al costo, se requirió de una inversión de \$15,000.00, lo que lo hace competitivo al compararse con los precios de los equipos comerciales que oscilan de los \$17,000 a los \$35,000, lo cual es una opción viable.

Con base en estos datos consideramos que la solicitud realizada originalmente por el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, para el diseño de un dispositivo de aspiración que pudiera ser competitivo con respecto a los que se encuentran en el mercado fue atendida de manera adecuada.

Como último punto, es de destacar que con este tipo de actividades se generan experiencias enriquecedoras tanto para los alumnos de pregrado, los cuales, en la mayoría de las ocasiones, ponen por primera vez en práctica sus conocimientos para la resolución de problemas reales, como para los docentes que pueden ver materializadas sus enseñanzas a través de desarrollos tangibles y, por supuesto, para las instituciones de salud que se benefician de los desarrollos.

Es por lo que, aunque las políticas han cambiado y ya se permite nuevamente el acceso de alumnos para sus prácticas hospitalarias, este esquema se trata de mantener por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería de la Universidad La Salle México, incentivando la colaboración entre la Universidad y las Instituciones de Salud para el desarrollo de proyectos que tengan un impacto real en beneficio de la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Biasin, M., Bianco, A., Pareschi, G., Cavalleri, A., Cavatorta, C., Fenizia, C., Galli, P., Lessio, L., Lualdi, M., Tombetti, E., Ambrosi, A., Redaelli, E. M. A., Saulle, I., Trabattoni, D., Zanutta, A., & Clerici, M. (2021). UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Scientific Reports*, *11* (6260). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>
- Morales, D. (2020). Riesgos y retos para los profesionales de las disciplinas estomatológicas ante COVID-19. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, *19* (2). <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3256>
- Peng, X., Xu, X., Li, Y., Cheng, L., Zhou, X., & Ren, B. (2020). Transmission routes of 2019-nCoV and controls in dental practice. *International Journal of Oral Science*, *12* (9). <https://doi.org/10.1038/s41368-020-0075-9>

- Pérez, N., Díaz, C., Adorno, C., Fretes, V., Escobar, J., Gamarra, J., Pereira, A., Acosta, J., Mello, J., & Escobar, R. (2021). Evaluation of the dispersion of aerosols produced during the use of the dental turbine using the ejector of the equipment and/or extraoral suction. Exploratory study. *Revista de Salud Pública del Paraguay, 11* (1), pp. 28-32. <https://doi.org/10.18004/rspp.2021.junio.28>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine, 382* (16), pp.1564–1567. <https://doi.org/10.1056/nejmc2004973>