

# **Prototipo de respirador con valvula de escape para la protección de personal expuesto al agente viral SARS-CoV-2**

Raúl Mera A., Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile.

## **Resumen**

**En este documento se presenta el diseño y las indicaciones de confección de un prototipo de respirador de medio rostro para la protección de personal de salud, y/u otro personal expuesto al agente viral SARS-CoV-2. Algunas metas de diseño son: Que provea una protección respiratoria al menos superior a la que entrega una máscara quirúrgica de tres pliegues, que la confección no requiere de herramientas o materiales especializados, que la confección no requiere de habilidades especiales, y comodidad de uso. Se discuten los inconvenientes del prototipo, y posibles modificaciones que pudieran eliminarlos u atenuarlos.**

## **Introducción**

La enfermedad COVID19, causada por el coronavirus SARS-CoV-2 ha causado un impacto sanitario, social y económico sin precedentes en la últimas décadas. Su alta transmisibilidad ha causado escasez de material de protección para la exposición profesional a pacientes infectados. En otras partes del mundo, esta falta de material protector, sumada a otros factores, ha causado altas tasas de infección entre los profesionales/trabajadores de la salud, y similares. Este fenómeno es de extrema gravedad, no solo por el valor de la vida y la salud de los trabajadores mismos, que ya sería causa suficiente, sino porque cada profesional que debe ser aislado, significa una pérdida importante en la capacidad de contención de la emergencia para todo el resto de la población. Uno de los equipos de protección más necesitados, debido a la forma de transmisión del agente viral, y de su poca durabilidad, son los respiradores de medio rostro, cuya variedad certificada como N95 o equivalente ha demostrado ser eficaz en la detención de aerosoles virales [REF]

Anteriormente, se han propuesto distintos diseños de respiradores para suplir la escasez de equipos N95 producidos de forma industrial. Algunos de estos diseños han sido pensados para confeccionarse con impresoras 3D e incorporan su propio, sistema de filtración diseñado ad-hoc [REF].

La filosofía del diseño actual difiere de la de estos diseños anteriores en cuanto a que se basa en los siguientes principios:

- 1) Se considera que las impresoras 3D no son artefactos comunes en Chile a la fecha (04/2020), mientras que, debido a la cuarentena y la consiguiente imposibilidad de

trabajar para gran parte de la población, la mano de obra no calificada es, en este momento, de muy alta disponibilidad.

- 2) Se considera que la obtención de cualquier material especial es difícil y costosa en Chile, dada la situación actual
- 3) Se considera que la centralización de la producción en unos pocos lugares limita la disponibilidad de un respirador a personal que pudiera requerir
- 4) Se considera que el diseño de un sistema de filtración nuevo es poco práctica en la situación actual, debido a la falta de tiempo necesario para evaluar la calidad del filtrado.

Con base en los principios anteriores, se plantean las siguientes metas de diseño para un respirador de medio rostro:

- 1) Proveer protección respiratoria igual o superior a la provista por las mascarillas quirúrgicas de tres pliegues, de las que se ha mostrado que son efectivas en prevenir el contagio de COVID-19 [REF], pero de limitada duración.
- 2) Que la confección del respirador no requiera de ningún tipo de herramienta o material especializado, o que pudiera escasear en la situación actual de Chile.
- 3) Que la confección del respirador no requiera de ninguna habilidad técnica especializada, sino que puedan ser llevada a cabo por una persona promedio.
- 4) Que el respirador y el filtro sean entes separados, de manera tal que diferentes tipos de filtro puedan utilizarse con el mismo respirador, dependiendo de la disponibilidad de los diferentes materiales.

Con las restricciones impuestas por las metas de diseño anteriores, se ha producido un prototipo funcional para un respirador de medio rostro, el prototipo RA-03, cuya confección, características y posibles modificaciones se discuten a continuación.

## **Materiales y herramientas**

Nota: Por reproducibilidad, algunos de los materiales se entregan con las marcas (entre corchetes) y modelos específicos que fueron utilizados para el prototipo.

- 1) 1 Bolsa resellable [Ilko], mediana
- 2) Cinta aisladora [3M]
- 3) Cinta de doble faz [*extreme mounting tape*, 3M]
- 4) Cinta de teflón 0.075 mm x 3,4" [Dura]
- 5) Cinta americana, cinta de ducto, o *duct tape* [Tesa]
- 6) 3 tapas "roscas" plásticas
- 7) Silicona líquida

- 8) Aplicador de silicona líquida
- 9) Goma eva, ~1.5 mm de espesor
- 10) Tijeras
- 11) Alicata pequeño
- 12) lija
- 13) Clips [Fullton's] 50 mm
- 14) Cualquier herramienta punzante

## **Confección**

La confección del prototipo se dividirá en varias partes:

### Confección de la válvula de escape

#### *Preámbulo*

Una válvula de escape permite la salida desde, pero no la entrada de aire hacia el respirador, y es necesaria para evitar el calentamiento y la acumulación de humedad dentro de este, en particular para respiradores a ser utilizados por periodos largos de tiempo. Típicamente, la válvula de un respirador comercial consiste en un orificio en el equipo cubierto por una membrana flexible, adherida por fuera al respirador por solamente un extremo. Al espirar, la presión positiva desplaza a la membrana hacia afuera, permitiendo la salida del aire. Al inspirar, la presión negativa hace que la membrana cubra el orificio, impidiendo la entrada de aire. La membrana suele estar rodeada por un “tope”, que impide que se aleje demasiado del orificio durante la espiración, reduciendo el tiempo que tarda en volver a cubrirlo durante la inspiración siguiente.

#### *Procedimiento*

Inspirada en diseños anteriores [REF] la válvula aquí propuesta se compone de dos tapas “rosca” de botella, Un poco de cinta “doble faz”, cinta aisladora, cinta de teflón y lija.

- 1) Realizar varias perforaciones en ambas tapas. Lijar la cara externa de las tapas para evitar asperezas causadas por las perforaciones
- 2) Cortar un trocito de cinta de teflón, justo la suficiente para cubrir las perforaciones en una de las tapas, y pegarlo sobre la cara externa la tapa en cuestión, por uno de los extremos, utilizando cinta aisladora. La cinta de teflón será la membrana de la válvula.
- 3) Sobre la cinta aisladora, pegar un cuadrado de cinta de doble faz, que sea levemente más pequeño que la cinta misma (para evitar que el teflón se le adhiera).
- 4) sobre el cuadrado de cinta de doble faz, pegar la otra tapa, también por su cara externa (las caras externas de ambas tapas de botella deben quedar enfrentadas). Esta segunda tapa es el “tope” de la membrana.

## Confección del respirador

La base del respirador es una bolsa resellable tamaño mediano (aunque el tamaño podría variar según el tamaño de la cara del usuario). En el prototipo RA-03 se ha utilizado una bolsa marca Ilko.

**1 Marcar** en la bolsa círculos del tamaño de una tapa rosca de botella en los lugares en los que se insertaran la válvula y el conector para el filtro, respectivamente.

En RA-03, las marcas van a la misma altura del logo de “Ilko” en la bolsa, cerca de la “o”, y, por la otra cara externa de la bolsa, a la misma altura, pero en el lado opuesto (ver figura).

**2 Perforar** la tercera tapa de botella, tantas veces como sea posible y lijar el borde externo. Se puede utilizar un alicate para retirar pedazos de plástico sobresalientes por el lado interno.

**3 Cortar** unos 5-10 cm de cinta americana y pegar este trozo sobre la tercera tapa formando un cilindro de cinta alrededor de esta (ver Figura).

- El cilindro debe cubrir toda la circunferencia de la tapa
- El cilindro no debe sobresalir por el borde externo de la tapa.
- El cilindro deberá sobresalir unos 3 cm o más desde el borde interno de la tapa (es decir, el borde que normalmente va hacia la botella).

**4 Realizar** una serie de cortes en la parte del cilindro de cinta de ductos que sobresalen de la cara interna de tapa de la tapa.

- Entre cada corte debiera haber unos 0.7 cm de cinta.

**5 Abrir** los cortes de cinta hacia afuera, de modo tal que queden dispuestos como los pétalos de un girasol, siendo la tapa misma el centro de la flor (ver figura)

**6 Adherir** la tapa a la bolsa resellable en uno de los lugares previamente marcados para esto, utilizando la parte pegajosa de los “pétalos” de cinta americana, extendidos sobre la bolsa (ver figura)

**7 Cortar** una serie de trozos delgados (0.5-1 cm) de cinta americana, y adherirlos a la bolsa junto a la orilla de la tapa, tangencialmente a esta, cubriendo el espacio dejado por los “pétalos” de cinta (ver figura). **Nota:** Este paso se realizó en RA-03, lográndose un sello razonable sin necesidad de silicona líquida. Con la posterior adición de silicona, es probable que este paso no sea necesario.

**8 Cortar** la bolsa por el lado interno, en el lugar ahora cubierto por la tapa

**9 Repetir** los pasos del 3 al 8 con la válvula y la segunda marca en la bolsa. Con algunas diferencias importantes:

- La válvula consiste en dos tapas, el cilindro se pega *a la tapa que a que va pegada la membrana*.
- El cilindro no debe llegar al borde externo de la tapa (para evitar que la cinta de teflón se pegue a él). Debería haber un margen de 1-2 mm entre el borde y donde parte el cilindro.
- Al final, la tapa que contiene la membrana se adhiere a la bolsa con la cara interna (la apertura de la tapa) mirando hacia la bolsa, al revés del conector para el filtro.

**10 Sellar** los contornos de ambas tapas en el punto en que se tocan con la bolsa, usando silicona líquida

**11 Pegar** dos trozos de cinta americana por el lado interno de la bolsa, cubriendo los lugares en que están fijadas las tapas, y luego perforar, o retirar un trozo de cinta exactamente bajo cada tapa.

**12 Doblar** la bolsa hacia un lado por el lado cerrado, a unos 15 cm de la apertura. Manteniendo el doblez, revestir la parte externa de la bolsa con cinta americana (obviamente, sin cubrir la válvula ni la conexión para el filtro. Por el lado de la apertura de la bolsa, dejar desde la parte re-sellable hacia afuera sin cubrir (en el modelo RA-03. Es posible que sea preferible dejar un margen adicional de ~1 cm).

Esto concluye la confección básica del respirador mismo. Si uno cubre la apertura para el filtro (por ejemplo, conectándolo a una botella plástica sin orificios) debería ser posible fijarla al rostro con las manos y lograr un sello “negativo” (que impida la entrada de aire).

Para facilitar la visión, y por comodidad, la esquina de la bolsa más cercana al filtro debiera ir hacia abajo, cerca del mentón, puesto que el filtro que se conectara ahí tendría un cierto volumen. La esquina donde va válvula debe ir hacia arriba, cerca de la nariz.

### Terminaciones.

Para facilitar el sello del respirador alrededor del rostro, se realizaron las siguientes adiciones:

Las mascarillas N95 desechables suelen contar con una pieza de metal flexible en la parte de la nariz. Para confeccionar esta pieza:

**1 Extender** y doblar en dos un clip, formando una “U”. Cubrir la U con cinta americana, agregando una o dos capas extra al extremo abierto de la “U”, para evitar que los extremos del alambre dañen al respirador y/o al usuario.

**2 Pegar**, con otro trozo de cinta americana, la pieza confeccionada en el punto anterior al lado exterior de la máscara. Debería adherirse por el lugar donde se espera que se ajuste la nariz.

Debido a la alta flexibilidad de la bolsa, es deseable agregar también un soporte a la parte que se fijará al mentón (el extremo opuesto de donde se fija a la nariz). Para esto:

**3 Extender** dos clips y pegarlos paralelos, a 0.5-1 cm de distancia a un trozo de cinta americana algo más largo que los alambres extendidos.

**4 Doblar** la cinta americana en torno a los alambres, cubriendolos, cuidando cubrir cuidadosamente los extremos (puede ser necesario usar cinta adicional).

**5 Pegar** la estructura resultante a la máscara, por fuera, en la zona que se fijará al mentón.

Con el fin de facilitar el sello en el área de la nariz:

**6 Recortar** un trozo de goma eva de aproximadamente 1x10 cm

**7 Fijar** el trozo a la máscara con silicona líquida, por la parte interna, en la posición equivalente al alambre de la nariz, asegurándose de que quede bien sellada.

### Confección del filtro

Puesto que el respirador es modular, hay diferentes formas de construir filtros más o menos satisfactorios, dependiendo de los materiales disponibles. No se ha confeccionado un prototipo para el filtro, pero se entrega una propuesta de confección, con algunas variaciones

**1 cortar** una botella plástica de refresco, de entre 200 y 600 ml, a unos 5-10 cm de la tapa (es decir, donde el diámetro de la botella es mayor). Conservar el extremo que contiene a la tapa, y lijar los bordes. Es importante que el corte sea tan parejo como sea posible (se puede mejorar con la lija, poniendo la circunferencia contra una mesa o superficie lisa y procurando reducir los espacios entre la circunferencia y la superficie.

**2 Fijar** el material filtrante a la cara del trozo de botella opuesto a la tapa.

La elección del material filtrante es crítica para el desempeño del respirador. se proponen varias posibilidades dependiendo de la disponibilidad de material.

- a) Utilizar una circunferencia del mismo material que compone a las mascarillas quirúrgicas de tres pliegues, que ha demostrado ser eficaz para prevenir el contagio [REF]. Esta solución tiene algunas ventajas por sobre utilizar directamente una mascarilla de tres pliegues:

i. Entrega una protección superior a de las mascarillas quirúrgicas, pues el respirador iría sellado contra el rostro y no ingresaría aire contaminado por los costados de la mascarilla, como ocurre con las de tres pliegues.

ii. La válvula disminuye la acumulacion de humedad sobre el material filtrante.

iii. Se requiere una menor cantidad de material filtrante por persona. Una mascarilla quirúrgica debiera producir material para dos filtros.

Como desventaja, y como se discute más adelante, el respirador propuesto entrega protección unidireccional: solamente protege al usuario de la contaminación externa, no a otras personas de contaminación por el usuario.

- b) Utilizar un filtro de material particulado para respiradores reusables disponible en el mercado. La marca 3M fabrica filtros P100 diseñados para adaptarse a sus respiradores no-desechables de goma/silicona (por ejemplo, ver el modelo 2091. Mientras la disponibilidad de los respiradores mismos se supone limitada, este no tiene por que ser el caso para los filtros. Por un valor de 10.000 pesos chilenos el par (aproximado, al momento de escribir este artículo), los filtros de 3M ofrecen una alta durabilidad. Gracias al diseño modular del prototipo RA-03, el que la vida útil del filtro exceda a la del respirador mismos no constituye problema alguno.
- c) Utilizar un material que tenga alguna graduación para retener material particulado. Un material a explorar sería la combinación de material de bolsa y material de filtro HEPA de aspiradora, como los que comercializa la marca Miele. Aunque de alto precio, se espera que su disponibilidad no esté limitada ahora mismo. Por otro lado, es importante consultar con la marca por la posible toxicidad del material, pese a que no iría en contacto directo con el rostro del usuario (y puede aislarse más agregando algodón u otro material).

Cualquiera de esas opciones de material filtrante puede adherirse a la cara del trozo de botella opuesta a donde va la tapa mediante una combinación de cinta americana y silicona líquida. El uso de esta última asegura hermeticidad. El filtro así preparado se enrosca a la articulación presente en el respirador.

## Discusión

### Ventajas del diseño

El diseño propuesto cumple con las metas de diseño definidas. Si bien requiere de varios materiales, todos son de fácil acceso, y, si bien es un proceso relativamente laborioso, no reviste mayor dificultad, y debiera ser posible de llevar a cabo por cualquier persona. Adicionalmente, AR-03 tiene la ventaja de tener solamente un punto de entrada de aire, por lo que es posible comprobar el sello “negativo” (a la entrada de aire) simplemente enroscando una botella completa (no cortada y sin orificios) a la articulación del filtro, e intentando respirar. Alternativamente, la articulación del filtro puede simplemente cubrirse con la mano.

Las características de RA-03 sugieren un proceso para la logística de producción que tiene por sí mismo algunas ventajas:

- 1) Puesto que no requiere de personal calificado para su confección, es posible paralelizar esta en forma tan masiva como sea necesario, convirtiendo al transporte de materiales/productos en el factor limitante.
- 2) Adicionalmente, al no requerir personal calificado para su producción, es posible utilizar como mano de obra a la población que se encuentra en estos momentos aislada, sin posibilidad de trabajar. Esto significa que el costo invertido en mano de obra cumple una doble función social:
  - a) Producir los respiradores
  - b) Proveer de algún ingreso a personas que pudieran haber visto disminuidos o eliminados sus ingresos normales debido a la cuarentena, otras medidas de aislamiento, y al estado general de la economía debido a la crisis sanitaria.

Puesto que las personas que constituirán la mano de obra están actualmente imposibilitadas de realizar sus trabajos normales (o cualquier otro) el costo de oportunidad es prácticamente nulo.

### Desventajas o inconvenientes del prototipo actual y modificaciones propuestas

Por ser un prototipo inicial, y dadas las condiciones de aislamiento y poca disponibilidad de materiales del diseñador, RA-03 presenta algunos inconvenientes. Con toda probabilidad, la solución a estos es relativamente sencilla.



- 1) El flujo de aire por la articulación del filtro de RA-03 es limitado. Al incluir el filtro, la respiración con RA-03 podría volverse bastante laboriosa. Esto es, con casi total seguridad, un artefacto de simple solución: Basta aumentar el diámetro y cantidad de orificios en la tapa de botella que constituye la articulación al filtro, incluso, reemplazando los por un solo orificio de diámetro ligeramente menor al de la tapa misma.
- 2) Debido a la falta de material, AR-03 no cuenta en este momento con elásticos para ser fijado al rostro. Estos elásticos se fijarían al respirador con una perforadora, en un área del respirador previamente reforzada con algunas capas extra de cinta americana.
- 3) Es difícil predecir si, una vez fijada con elásticos, AR-03 podrá ser acomodada en el rostro de forma tal que no se filtre aire por los costados. Puede ser necesario agregar goma eva por todo el contorno de la máscara. Puede ser necesario utilizar goma eva de mayor espesor, o algún otro material para el sello facial.
- 4) En su estado actual, AR-03 es altamente deformable, lo que causa que se adhiera al rostro durante la inspiración. Se propone resolver este problema agregando un “esqueleto” de alambre, fijado a la parte exterior del respirador, utilizando los mismos clips que se utilizaron para la pieza nasal y de mentón.
- 5) En una veta similar a la anterior, los alambres utilizados en la pieza nasal y de mentón presentan una rigidez excesiva (particularmente el nasal), lo que da lugar a incomodidades durante la postura del respirador, y probables problemas con el sello. Se propone experimentar un alambre más delgado para estas piezas.
- 6) Pese a la válvula de escape, es posible que AR-03 tienda a humedecerse por dentro al ser usado por periodos prolongados. Existen varias soluciones posibles, desde agregar una válvula adicional, hasta fijar un material higroscópico no tóxico (como sílica-gel) a la cara interna de la máscara, en un lugar que no esté en contacto directo con la piel del usuario.

Algunas desventajas inherentes al diseño, o difíciles de solucionar son:

- 1) Si bien simple, la confección de la máscara es relativamente laboriosa. Se espera una tasa relativamente baja de respiradores producidos por persona por unidad de tiempo, que debiera aumentar con la práctica del personal. Esto se compensa con la naturaleza altamente paralelizable del proceso.
- 2) Si bien no se requiere ninguna herramienta especializada, o material que escasee en la situación actual, si se requiere una variedad relativamente alta de materiales.
- 3) El componente estético del respirador no ha sido un meta de diseño, y eso se refleja en el prototipo inicial. Se ha dado completa prioridad a la funcionalidad y facilidad de fabricación.
- 4) El respirador brinda una protección unilateral, es decir, solo protege al usuario de su entorno, no al entorno del usuario, debido a la presencia de válvula de escape.

## Conclusión

Se presenta un prototipo de respirador de medio rostro para la protección unilateral de personal de la salud u otros trabajadores expuestos al agente viral SARS-CoV-2. Se incluyen los principios que orientan el diseño, las metas de diseño, los materiales y metodología de fabricación, así como una discusión de las ventajas y desventajas del prototipo actual, con posibles soluciones para las principales desventajas observadas.

El modelo propuesto cumple con las metas de diseño fijadas y constituye una alternativa viable para la protección de nuestros trabajadores de la salud.

**Copyright (c) Raúl Mera A.**

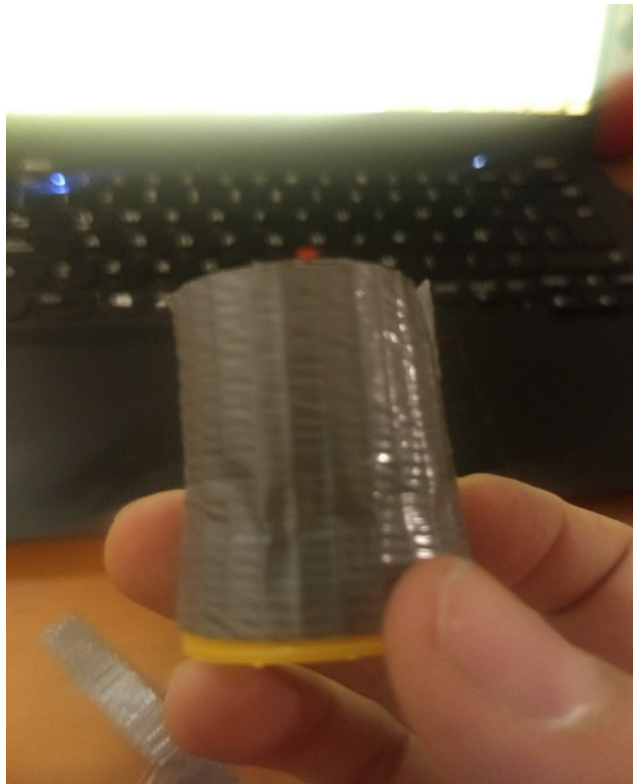
Este trabajo está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

El autor dedica su esfuerzo a la larga vida del Ven. Khenpo Phuntzok Tenzin Rinpoche

## Figuras



Tapa de botella perforada (En este caso, corresponde a la articulación al filtro)



Cilindro de cinta alrededor de la articulación al filtro.



Cortes en el cilindro de cinta adherido al filtro.



Estructura “de girasol” de adhesión de la articulación al filtro al cuerpo del respirador.



Reforzamiento externo de la estructura en “girasol”. Se muestra también la localización de la articulación al filtro (hacia arriba) y de la válvula (hacia abajo) en la bolsa.



Reforzamiento interno del pegado de la válvula (hacia arriba) y el filtro (hacia abajo).



Posición inicial para el revestimiento protector de la pieza nasal.





Pieza nasal revestida y ubicada en cinta para su adición al respirador.