

Mantenimiento a Equipo Médico Durante la Contingencia COVID-19. ¿De Dónde Venimos, Hacia Dónde Vamos?

G. A. Martínez Chavez^{1*}

¹ IMSS Delegación CDMX Sur, México.

*gamartinezch@yahoo.com.

Resumen

Describir las actividades de mantenimiento a ventiladores adulto-pediátrico y monitores de signos vitales para su empleo en unidades de emergencia y unidades de cuidados intensivos en respuesta a la contingencia SARS Cov-2, COVID-19 en la Delegación IMSS CDMX Sur, actividad de gran valía para destacar las bondades de la ingeniería biomédica como parte de los equipos de trabajo y de toma de decisiones en que se involucran la planificación y materialización de los servicios de mantenimiento a equipo médico como parte de las estrategias en la atención de los servicios de salud. Se logró contabilizar 247 ventiladores practicando actividades de mantenimiento a 224 con accesorios y consumibles, lo que representó el 90.68%, de igual manera recibieron mantenimiento 434 monitores de signos vitales lo que significó el 100%, destacando el hecho que el ingeniero biomédico tiene una vocación primeramente dedicada a la investigación, que debe ser por ende creativo, que debe aplicar sus habilidades y conocimientos a mejorar la sociedad en la que se desempeña y que es no una orientación, sino un deber prestar dichos conocimientos y recursos en la solución de los problemas que aquejan a la sociedad de la cual forma parte. He aquí la clave de una ventaja competitiva y duradera al momento de dar una respuesta a una crisis y de una posible respuesta a la pregunta forzada de cual es el rol de ingeniero biomédico dentro del sistema de salud: ¿de dónde venimos y hacia dónde vamos?

Palabras clave: Covid-19, Ejecución, Mantenimiento, Monitor de Signos Vitales, Ventilador.

1. Introducción

El 30 de marzo 2020 se declara en México la “emergencia sanitaria” como consecuencia de la evolución de casos confirmados y muertes por la enfermedad SARS Cov-2 COVID-19 en el país, lo cual dio lugar a la ejecución de acciones adicionales para su prevención y control [1] el 21 de abril dio comienzo la fase 3, mediante la cual se extienden las actividades de prevención y control realizadas en las anteriores fases al menos hasta mediados o finales de mayo [2].

Algunas de las medidas implementadas en nuestra delegación como parte del plan estratégico institucional para la atención de la contingencia COVID-19 implicaron la realización de diversas actividades de gestión en la adquisición, instalación, puesta en operación, capacitación y baja de equipo médico en las unidades hospitalarias dispuestas como unidades concentradoras para prestar asistencia a la población de derechohabientes en los momentos críticos de lo que supondría el suceso epidemiológico.

Destacando la planeación y ejecución en las tareas de mantenimiento a equipos médico teniendo primordial importancia el uso de ventiladores adulto-pediátrico y monitores de signos vitales, junto con sus accesorios y consumibles, los cuales requieren de la realización de actividades de calibración, mantenimiento (preventivo o correctivo), capacitación del personal usuario y retiro del servicio de

aquellos equipos que no garanticen la seguridad en su empleo, tareas propias dentro del perfil del ingeniero biomédico y que son de gran valía al momento de que personal medico hace uso de ellos para emitir el diagnóstico, tratamiento o rehabilitación de la enfermedad.

Ya que la mayor vulnerabilidad en la ejecución de dichas tareas de mantenimiento a equipo médico radica en que este resulte practico para el personal técnico que lo realiza, asegurando con seguridad y oportunidad la disponibilidad de los equipos y que el personal medico cuente con los conocimientos, las destrezas y la preparación suficientes para superar el trance que supondría el empleo de los equipos durante la pandemia, y poder cumplir de esta manera sus labores con eficacia, dejando como experiencia que no es suficiente enseñar, si no que se hace indispensable comprobar que cada equipo en unidad medica cuente con la disponibilidad y uso adecuado según los riesgos mas probables y posibilidades de respuesta.

2. Metodología

Partiendo de la premisa fundamental en la atención del proceso salud-enfermedad causada por el virus SARS Cov-2, COVID-19 en que se hace necesario el poder ubicar al paciente en el lugar más indicado según el tipo de atención requerida y realizar una serie de procedimientos médicos que incluyen la reanimación y/o soporte ventilatorio que implican el uso de equipo medico para garantizar con oportunidad y seguridad su empleo en el paciente al momento de su ingreso al hospital a causa del evento respiratorio.

Se plasmó la necesidad de fortalecer y brindar mantenimiento al equipo médico, buscando preservar su estado óptimo de funcionamiento garantizando de esta manera su confiabilidad y seguridad de manera que se prevengan riesgos y se contribuya en la mejora continua de la calidad del servicio en atención a la salud de la población que lo demanda.

Para lo cual se considero el desarrollo de actividades asociadas a la gestión de equipo médico relacionadas con el servicio de mantenimiento en que se consideraron el manejo de inventario, revisión de bitácoras, aplicación de tareas de mantenimiento basado en el análisis de riesgo practicados en ventiladores y monitores de signo vitales los cuales serían utilizados en las áreas de urgencias, terapias intensivas y áreas de hospitalización principalmente, su ejecución se contempló en cinco fases siendo estas las siguientes:

Fase I. Inventario:

Su razón fue en ese momento de disponer de un registro lo más exacto posible de todos los equipos con que se contaba en eso momentos reflejando el estado actual, ya que el inventario de equipos médicos ofrece una evaluación técnica de la tecnología disponible, con información relevante sobre tipo de equipos, cantidad, y sobre todo su situación operativa.

Lo que facilitó la programación de las actividades de mantenimiento de los mismos, y el seguimiento de las tareas de verificación, reparación, alertas y generación de solicitudes de baja.

Las actividades más relevantes que sobre el particular se realizaron fueron:

- a. Obtención de información; para corroborar la existencia de los equipos disponibles en las diversas unidades medicas destinadas para la atención de los pacientes COVID19.

- b. Se realizó un inventario de todos los equipos utilizando el programa de Excel; con la finalidad de obtener un registro que permitiera manejar más fácilmente toda la información de los mismos, así como generar un registro que se pueda ser fácilmente modificada.
- c. Para ello se tomaron en cuenta los datos más importantes como son nombre del equipo, descripción, marca, modelo, número de serie, número de inventario, empleando colores para resaltar elementos distintivos como ubicación, condición de uso, si está en trámite de baja, si el equipo se encuentra funcionando, o cualquier observación que se tenía al momento de su registro que facilitara destacar el estado que guardara dicho equipo.

Fase. II. Análisis de bitácoras de mantenimiento.

En esta etapa se procedió a analizar las bitácoras de mantenimiento lo cual implicó la realización de las siguientes tareas:

- a. Identificar el área a la que corresponde el equipo; al igual que el análisis de los contenidos en las órdenes de servicio ya que es importante identificar la ubicación del equipo al departamento que corresponde.
- b. Identificar los equipos de cada área, clasificando los equipos por marca, modelo, número de serie, al igual que los calendarios de mantenimiento recibidos de cada uno de los equipos.

Con estas actividades fue posible obtener un diagnóstico sobre el estado que guardan los equipos existentes, mostrando los datos recopilados como son marca, modelo, número de serie, ubicación, características de los mismos, mantenimientos practicados los cuales son datos que facilitan y permiten la toma de decisiones.

Fase. III. Desarrollo del programa de mantenimiento.

Con la información obtenida fue posible la programación de las actividades de mantenimiento de cada uno de los equipos dispuestos de ser utilizados durante la emergencia generando de esta manera un instrumento gerencial que contiene los objetivos, las metas, la programación de actividades, los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros para detonar el plan de acción de mantenimiento a ventiladores y monitores de signos vitales como equipo médico para dar soporte temprano y monitoreo de la insuficiencia respiratoria y el síndrome de dificultad respiratoria aguda.

Fase. IV. Ejecución de los servicios de mantenimiento a ventiladores adulto-pediátrico.

Una vez determinado el universo de los equipos de soporte ventilatorio que son susceptibles de mantener, se procedió a iniciar las tareas de mantenimiento preventivo recordando siempre que el ventilador mecánico es considerado un equipo de soporte de vida, su objetivo principal es la sustitución parcial o total de la función ventilatoria.

Para ello, primero se debe mantener el equipo limpio, lavarnos las manos antes de realizar cualquier proceso, contar con equipo de seguridad (guantes, una bata, cubre bocas y googles), contar con desinfectantes adecuados...etc.

Los parámetros principales que se consideran siempre en un ventilador a la hora de ser programado es que el volumen Tidal respiratorio [ml] en un pediátrico es de 50 y en un adulto es de 500, así como su frecuencia de ventilación f [1/min] en un pediátrico es de 30 y en un adulto es de 12, debemos de recordar que la capacidad de los pulmones de un adulto es mayor que la de un pediátrico y por lo tanto la frecuencia de un adulto es más lenta, y más rápida en un pediátrico.

Tomando en consideración lo anterior antes de abrir el equipo para dar el mantenimiento se debe de comprobar si funciona correctamente, debemos de conectar el ventilador a la toma de corriente y a las tomas de aire y oxígeno, posteriormente colocar el circuito ventilatorio, ya sea circuito para pediátrico o neonatal o adulto, programar el ventilador con los parámetros que concuerden con el modelo del equipo esto es importante porque cada modelo de ventilador es diferente y por lo tanto hay ventiladores que solo son neonatales o pediátricos, de adulto, o neonatal, pediátrico y adulto.

Después lo dejamos ciclar por un periodo de 10 minutos y si no observamos que se activa una alarma y que hace adecuadamente la inhalación y exhalación de nuestro pulmón de prueba procedemos a abrir el equipo para darle su mantenimiento preventivo, con la aplicación del siguiente procedimiento:

1. Verificar el suministro de gases aire/oxígeno (la entrada debe estar entre 30 y 80 PSI preferentemente iguales a 50 PSI)
2. Instalar circuito de paciente completo (mangueras, pieza en “YE”, filtros y conectores adaptadores), verificar la colocación y estado adecuados del diafragma y cuerpo de exhalación.
3. Instalar humidificador con accesorios (cámara, sensor de temperatura y conectores adaptadores).
4. Encender equipo con perilla de control de modo y ejecutar pruebas seleccionando “Modo A/C” (verificando el encendido de todos los indicadores)
5. Verificar el correcto funcionamiento de batería de respaldo (esto se realiza desconectando el cable de alimentación del equipo de la toma mural. En caso de que la batería esté baja se debe dejar conectar de 4 a 8 horas para verificar su estado.
6. Programar el equipo con los siguientes parámetros de prueba:
 - a. Modo ventilatorio: A/C
 - b. Flujo base: 5 LPM
 - c. Flujo inspiratorio: 10 LPM
 - d. Presión inspiratoria al valor máximo: 40 cmH₂O
 - e. PEEP con un valor de: 0 cmH₂O
 - f. Frecuencia respiratoria de: 30 rpm
 - g. Tiempo inspiratorio de: 1 seg.
 - h. Fracción inspirada de oxígeno (FiO₂): 60%
 - i. Alarma de baja presión inspiratoria: 35 cmH₂O
 - j. Alarma de alta presión inspiratoria: 45 cmH₂O
 - k. Alarma de bajo PEEP: -3 cmH₂O
7. Con la programación anterior, se verifica que el equipo despliegue los siguientes valores:
 - a. Presión inspiratoria pico máxima: se observa en el manómetro de aguja (40 cmH₂O).
 - b. Tiempo exhalatorio de: 1 seg
 - c. Relación I:E: 1:1
 - d. Presión medida: entre 18 y 20 cmH₂O
 - e. Frecuencia respiratoria: 30 rpm
8. Dejar ciclando ventilador de 5 a 10 minutos para confirmar su buen funcionamiento
9. De ser posible es recomendable verificar con equipo analizador el oxígeno, FiO₂ programada entre 60 ±5 unidades, también verificando los parámetros anteriores.

Una vez revisado lo anterior, se procede a abrir el equipo utilizando desarmadores; se determinara el cambio de los filtros así como las celdas de oxígeno, diafragmas, circuitos, porta fusibles, fusibles,

sensores de flujo, limpiar las tarjetas y utilizar aire comprimido para retirar el acumulamiento del polvo. Al terminar este proceso se hará una calibración del mismo para poder cerrarlo y verificar nuevamente su buen funcionamiento.

En caso de que llegará a fallar el funcionamiento se detectará la falla y se corregirá, si no se pudiera corregir la falla o el costo de repararlo no sea costeable se sugiere a la unidad que el equipo sea dado de baja.

Cuando se termina de realizar las tareas de mantenimiento a dicho equipo se tendrá que llenar una orden de servicio para su inclusión en la bitácora.

Fase. IV. Ejecución de los servicios de mantenimiento a Monitor de Signos Vitales.

Para realizar el mantenimiento preventivo a monitores de signos vitales; debemos de recordar que un monitor de signos vitales mide principalmente ECG, SPO2, Presión No Invasiva (NIBP) y Temperatura, hay otros monitores de signos vitales que por su marca y modelo pueden incluir Capnografía (CO₂) entre otras funciones de conectividad.

El ECG registra la actividad eléctrica del corazón, se emplea para medir algún daño, las palpitaciones, los efectos de fármacos o dispositivos utilizados para controlarlo. Por lo tanto los parámetros que debemos de visualizar en un monitor para un adulto es de 70 [lpm] y 20 de respiración y para un neonato es de 95 [latidos por minuto] y 40 de respiración aproximadamente.

SPO2 nos mide el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en la sangre de un paciente. Nos ayuda para la evaluación de pacientes con patologías respiratorias.

Los parámetros que debemos visualizar en un 92 a 96 aproximadamente para un adulto y para un neonato es de 93 a 99 aproximadamente.

La presión arterial (NIBP) es la medición de la fuerza sobre las paredes de las arterias a medida que el corazón bombea sangre. Se utiliza para medir si se tiene hipertensión arterial o si se tiene presión baja y detectar alguna anomalía. Los parámetros que debemos visualizar en la presión arterial sistólica es de 120 y la presión arterial diastólica es de 80 [mmHg] en adultos y en neonatos de 70/40 [mmHg] aproximadamente.

La temperatura corporal los parámetros que debemos visualizar en un adulto es de 36 a 36.5 °C grados y en neonatos es de 35 a 37 grados aproximadamente. La temperatura nos ayuda a detectar una enfermedad o si el tratamiento está funcionando.

Fase. V. Estimación de Ventiladores.

Para dar respuesta a la pregunta directiva ¿Cuántos ventiladores supondría ser requeridos para la atención de los casos complicados SARS Cov-2 COVID-19 durante la contingencia en nuestra Delegación?.

Se considero oportuno el seguimiento en el desarrollo de la epidemia basado en la **función de Gompertz**, que es un modelo matemático utilizado para describir el crecimiento en la propagación de una epidemia más lento al comienzo y al final de un período de tiempo dado, lo que permitiría obtener los juicios necesarios respecto de la cantidad de ventiladores que serían necesarios [3] [4].

Se consideraron los datos respecto al pronunciamiento emitido por la Secretaría de Salud Federal, a través de la Dirección General de Epidemiología el miércoles 8 de abril 2020 en el cual se exponen que mediante la aplicación del modelo de vigilancia epidemiológica se estima que la cifra real de contagios en México llegaría a 26 mil 519 casos[5], y de igual forma considerando el resultado estadístico que con fecha 13 de abril 2020 situaban a México con 5014 casos confirmados y 332 fallecimientos.[6]

Con dicha información y teniendo como referencia que el crecimiento de una enfermedad infecciosa se puede ajustar a través de dicha función en que únicamente hacen falta dos datos, uno es la capacidad de carga, que corresponde al máximo número de casos de infección que se van a alcanzar, es decir el número de población que habrá sido infectada al final del episodio epidémico.

Este dato puede estimarse o calcularse porque cuando el número de nuevos casos alcanza su máximo basta multiplicar el número total de infectados en ese punto por el segundo dato necesario que es la constante de crecimiento, que es la que determina la velocidad de crecimiento en el eje de las ordenadas (Y), lo que se busca determinar es el grado de inclinación de la curva los cuales fueron plasmados en una hoja de Excel.

3. Resultados y Discusión

Para el caso de los ventiladores mecánicos empleados como equipo de soporte ventilatorio se contabilizaron un total de 247 equipos de diversas marcas y modelos destacando las Marcas: Dragner, con los Modelos: Savina y Evita, Carefusion Modelos: Vela y Avea, General Electric Modelo: Engstrom, Puritan Bennett Modelo: PB840 principalmente.

En que 224 se encontraron en condiciones satisfactorias de funcionamiento, 23 de los cuales no fue posible su puesta en funcionamiento por ser modelos discontinuados que requerirían de refacciones para el cambio de válvulas del sistema neumático del ventilador encontrándose los de la Marca: T-Bird Modelos: AVS/VSO2/VS y Marca: Bear Modelos: 1000 y Cub750 este último para uso en pacientes neonatales.

Observándose que aunque los equipos son altamente confiables, la mayoría de las fallas generalizadas fueron los sensores de oxígeno, circuitos ventilatorios y las válvulas de seguridad que abren paso a la mezcla de aire y oxígeno circundante, y en menor medida los sistemas de alarma para operar o pedir ayuda si fallan sus mecanismos o programas preinstalados.

Se registraron un total de 434 monitores de signos vitales, de diversas marcas y modelos destacando las Marcas: Phillips Modelo:MX450, General Electric Modelo: Dash 3000, Nihon Kohden Modelo:BSM-6301K, Welch Allyn Modelo: CSM 75CT, principalmente.

En que 429 se encontraron en condiciones satisfactorias de funcionamiento, y 5 requerirían de refacciones menores entre baterías, sensores de temperatura y derivaciones de 5 y 12 electrodos para la obtención del EKG. Dichos monitores de signos vitales fueron requeridos para medir los parámetros fisiológicos y poder notificar al personal clínico cualquier cambio en las condiciones del paciente COVID19. Facilitando la detección de cambios dinámicos del segmento ST durante un síndrome coronario agudo.

Considerando el número de contagios reportados por la Secretaría de Salud Federal a las 19:00Hrs. del día miércoles 22 Abril del 2020 situaban a la República Mexicana con 10544 casos confirmados de Coronavirus SARS Cov-2, COVID-19 y 970 fallecidos [7].

Partiendo de estos hechos se proyectó el cálculo para la función de Gompertz, considerando la capacidad de carga $K=3450$ y la constante de crecimiento $C=0,0015$ al 1 de Mayo 2020 en que se observó que se llegarían a tener aproximadamente 19,685 casos confirmados hasta la primera semana del mes de mayo 2020 en que se esperaba que el país alcanzaría el pico máximo de la epidemia.

En que la Ciudad de México se posicionaba como la entidad con más casos por coronavirus reportándose 2,815 seguidos del Estado de México con 1,690 casos lo que representa el 26.69% y 16.03 % respectivamente [8].

Con dicho patrón y considerando el indicador respecto al número de casos de pacientes que supondrían que requerirían de un ventilador mecánico estimando que solo el 5% de los casos confirmados tendrían complicaciones que hicieran necesario el uso de un equipo [9].

Se obtuvo entonces como posible respuesta que alrededor de 418 ventiladores serían requeridos para atender la demanda de la Ciudad de México (261) y Estado de México (157) en lo que supondría que el país alcanzaría el pico máximo de la curva epidémica durante las primeras semanas del mes de mayo del 2020 para posteriormente dar paso al descenso en el número de casos.

4. Conclusiones

De acuerdo a las diversas circunstancias con que se fueron presentando los sucesos de la pandemia de **SARS Cov-2, COVID-19** en nuestro país, ello representó todo un reto en virtud de la llegada de pacientes a las unidades médicas solicitando atención.

Ya que los equipos de salud en su totalidad son quienes tienen un papel fundamental en la identificación, notificación y asistencia de los pacientes como también en la planificación y organización de las acciones aplicadas en la atención a la población.

Vigilar el correcto funcionamiento de estos equipos de los que depende la salud y muchas veces la vida de los pacientes, es una tarea que recae sobre los ingenieros biomédicos y técnicos de cada institución hospitalaria, y que se agudiza durante cualquier situación de emergencia en la que se recibe un flujo continuo de pacientes.

Con este mismo orden de ideas la integración de los ingenieros biomédicos como parte de los equipos de trabajo, tanto en el ámbito asistenciales como de gestión, favorecen de manera importante el ejercicio en la toma de decisiones de los cuerpos directivos, buscando de esta forma adaptarse a la realidad y necesidades actuales en base a la mejor evidencia disponible en su momento, focalizando los esfuerzos en las actividades de gestión del equipo médico entre las que destaca las de mantenimiento.

Ya que los equipos con que cuentan las unidades médicas pueden ser de alta o baja complejidad y abarcan desde las camas eléctricas, bombas de infusión, ventiladores de respiración asistida, equipos portátiles de imagenología, monitores de signos vitales, ultrasonido para realizar tomografías

torácicas, oxímetros..etc. hasta los equipos especiales de ventilación para ministrar a las habitaciones o salas de aislamiento con sistemas de presión negativa.

Los cuales fueron utilizados en la identificación, diagnóstico, prevención, notificación y asistencia de pacientes en el contexto de la atención a la contingencia SARS Cov-2, COVID-19 en nuestra delegación.

Declaración de conflictos de interés

"El autor declara no tener ningún conflicto de interés para este trabajo".

Referencias

- [1] CSG. (2020, Marzo). Disponible: <https://www.gob.mx/salud/prensa/consejo-de-salubridad-general-declara-emergencia-sanitaria-nacional-a-epidemia-por-coronavirus-covid-19-239301?idiom=es>.
- [2] CSG. (2020, Abril). Disponible <https://www.gob.mx/salud/prensa/110-inicia-la-fase-3-por-covid-19?idiom=es>
- [3] B. Gompertz, "On the Nature of the function Expressive of the law of human mortality, and on new mode of determining the value of life contingencies". Philosophical Transactions of The Royal Society of London, vol.115: pp. 513-583, 1825.
- [4] Z.Bajzer & S. Vuk-pavlovic. "New dimensions in Gompertzian growth". Journal Theoretical Medicine, Vol. 2:pp. 307- 315, 2000.
- [5] eluniversal. <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/coronavirus-hasta-26-mil-casos-de-covid-19-en-mexico-estima-secretaria-de-salud>, consultado el 8 de Abril de 2020.
- [6] eluniversal. <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/coronavirus-13-de-abril-mexico-supera-los-5-mil-casos-de-covid-19-llega-332-muertos> consultado el 13 de Abril de 2020.
- [7] expansión. <https://politica.expansion.mx/mexico/2020/04/22/casos-covid-19-mexico-tiene-mas-de-10-000-contagios-de-coronavirus>, consultado el 22 de Abril de 2020.
- [8] mexicoas. https://mexico.as.com/mexico/2020/04/23/tikitakas/1587604874_283319.html consultado el 22 de Abril de 2020.
- [9] IRIS PAHO. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51980>.
- [10] world meters. <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/china/>
- [11] semicyuc. https://www.semicyuc.org/covid19_files/Plan_de_Contingencia_COVID-19.pdf