



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR
ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON
INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL
COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO
CARABOBO**

Autor: Manuel E. Ruiz Z.

Urb. Yuma II, calle N.º 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR
ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON
INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL
COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO
CARABOBO**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor: Manuel E. Ruiz Z.

Tutor: Ing. Enmanuel Sandoval

San Diego, junio de 2020



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Ruiz Zepeda	Nombres: Manuel Ernesto	
Dirección: Urb. La Esmeralda sector H2 casa #28, San Diego Edo. Carabobo		Telf.: 0424-4377667
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Electrónica	Índice Académico	10,63
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autor: Manuel E. Ruiz Z.		
Nombre: Manuel E. Ruiz Z.	Teléfono: 0424-4377667	
Título del Trabajo: DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO		
Breve Explicación: Mediante un dispositivo electrónico llevar a cabo un control en un respirador artificial tipo Ambú, para lograr mantener un suministro adecuado de aire y oxígeno en pacientes con insuficiencia respiratoria diagnosticados producto de la pandemia del COVID-19		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto: Centros de Salud en el Estado Carabobo		
Tiempo de Desarrollo: 32 semanas		
Tutor Académico Propuesto: Ing. Enmanuel Sandoval Tutor Metodológico: Alicia de Pizzella		

APROBADO NO APROBADO

COMITÉ DE EVALUACIÓN

COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

Prof. Ana Avendaño

AAAP

16/05/2020

DIRECCIÓN DE ESCUELA

Ing. Jesús R. Rodríguez

JRRL

29/04/20

Nombre

Firma

Fecha

Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto (Enumérelas)

- Electrónica IV

Línea de Investigación:

ANEXOS:

- Título
- Planteamiento del Problema
- Formulación del Problema
- Justificación de la investigación
- Objetivo General
- Objetivos Específicos
- Alcance

Máximo 5 páginas



FI-E -006-2020-2CR (TG)

Valencia, 13 de octubre de 2020

Ciudadano:
Ruiz Z., Manuel E.
19.641.380
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2020 de fecha 28-07-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID 19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Enmanuel Sandoval C.I: 16.774.307 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Dra. Zaida Ostro

Decana (E) de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).
Ll/a.a.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ACEPTACION DEL TUTOR

Quien suscribe Ing. Enmanuel Sandoval, portador de la cedula de identidad N° V-16.774.307, en mi carácter de tutor del informe de Trabajo Especial de Grado presentado por el ciudadano Manuel Ernesto Ruiz Zepeda, portador de la cedula de identidad N° V-19.641.380, titulado **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación, según las condiciones de la Coordinadora de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego a los veintinueve días del mes de junio del año dos mil veinte

Ing. Enmanuel Sandoval

C.I.: V-16.774.307

Tutor Académico



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA
DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Enmanuel Sandoval, portador de la cédula de identidad N° V-16.774.307, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Manuel Ernesto Ruiz Zepeda, portador de la cédula de identidad N° V-19.641.380, titulado **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los veinticinco días del mes de octubre del año dos mil veinte.

Ing. Enmanuel Sandoval

C.I.: V-16.774.307

Tutor Académico





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

San Diego, 29 de junio de 2020

ACTA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Enmanuel Sandoval		29/06/2020
Tutor Académico	Firma	Fecha
Ing. Alicia de Pizella		29/06/2020
Tutor Metodológico	Firma	Fecha

DEDICATORIA

A Dios que hace todo lo posible y ahora disfrutando este momento y este lugar, la verdad más pura que debe existir en nuestro interior, supiste guiarme sin desfallecer, a pesar de todos los obstáculos del camino.

Manuel E. Ruiz Z.

AGRADECIMIENTOS

Nuevamente a ti Dios por guiarme, quererme y ser tu hijo predilecto, a mis padres por apoyar siempre mis decisiones, a todos, muchas gracias, Dios los colme siempre de infinitas bendiciones.

Manuel E. Ruiz Z.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
Lista de tablas.....	x
Lista de figuras.....	xi
Introducción.....	1
CAPITULO	
I. EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Formulación del Problema.....	8
1.3. Objetivos de la Investigación.....	8
1.3.1. Objetivo General.....	8
1.3.2. Objetivos Específicos.....	9
1.4. Justificación.....	9
1.5. Alcance.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.2. Bases Teóricas.....	20
2.2.1. Qué es y cómo funciona un respirador artificial.....	21
2.2.2. ¿Por qué se necesitan los respiradores?.....	22
2.2.3. ¿Qué clase de cuidados necesita una persona cuando está con un respirador?.....	22
2.2.4. Respuestas ante la escasez de ventiladores por COVID-19.....	23
2.2.5. Que es un Ventilador Mecánico (VM).....	23
2.2.6. Volúmenes y capacidades pulmonares.....	25

2.2.7. Valores constantes en volumen y capacidad pulmonar.....	26
2.2.8. Generación y control de flujo de aire.....	27
2.2.9. ¿Qué diferencias en la ventilación marcan la frontera entre un adulto y un niño?.....	27
2.2.10. ¿Qué particularidades debemos tener en cuenta en el manejo de la vía aérea en los pacientes más pequeños (lactantes)?.....	30
2.2.11. Circuito de control (dispositivo electrónico).....	32
2.2.12. ¿Qué es un servo?.....	34
2.2.13. Como controlar un servomotor con Arduino y un potenciómetro.....	34
2.2.14. Plataforma de Arduino.....	35
2.3. Definición de términos básicos.....	36
III. MARCO METODOLÓGICO.....	41
3.1. Tipo de la investigación.....	42
3.2. Diseño de la investigación.....	42
3.3. Nivel de la Investigación.....	43
3.4. Población y Muestra.....	44
3.5. Técnicas de recopilación de información.....	45
3.6. Técnicas de procesamiento de información.....	47
3.7. Fases de la investigación.....	48
3.7.1. Fase I.....	48
3.7.2. Fase II.....	48
3.7.3. Fase III.....	49
3.7.4. Fase IV.....	49
IV. ANALISIS Y RESULTADOS.....	51
4.1. Parámetro de Flujo de Aire.....	51
4.2. Transmisión de Torque a la Leva mediante el Eje.....	52
4.3. Costo Aproximado del Prototipo.....	52

4.4. Respuesta del Equipo por Modo de Operación.....	53
4.4.1. Modo de Operación en Niños.....	53
4.4.2. Modo de Operación en Adultos.....	54
4.5. Conclusiones y Recomendaciones.....	52
4.6. Código de control Arduino.....	57

REFERENCIAS

Bibliográficas.....	63
Audiovisuales.....	64

ANEXOS

A. Casos por COVID-19 al 23 de junio 2020.....	65
B. Curva ascendente COVID-19 al 23 de junio 2020.....	66
C. Curva diaria de COVID-19 al 23 de junio 2020.....	67
D. Casos por COVID-19 al 03 de octubre 2020.....	68
E. Curva ascendente COVID-19 al 03 de octubre 2020.....	69
F. Curva diaria de COVID-19 al 03 de octubre 2020.....	70
G. Informe Gobernador del Estado Carabobo del 23 de junio de 2020.....	71
H. Esquema del Circuito Electrónico para el Control de un Respirador Artificial.....	72
I. Esquema de conexiones del Circuito Electrónico.....	73
J. Esquema de placa base del Circuito Electrónico.....	74
K. Esquema de placa base del Circuito Electrónico en PCB.....	75

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA	Pág.
1. Volumen corriente según la edad del paciente.....	30
2. Detalle aproximado de costos de elementos del prototipo y costo total.....	53

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURA	Pág.
1. Volúmenes y capacidades pulmonares.....	26
2. Evolución de la resistencia al flujo en ventilación mecánica según la edad.....	28
3. Evolución de la compliancia (ml/cm H ₂ O) según la edad.....	29
4. Anatomía de la vía aérea superior del lactante.....	31
5. Sistemas manuales de ventilación espontánea descritos por Mapleson.....	32



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE UN RESPIRADOR ARTIFICIAL CON TECNOLOGÍA ARDUINO, PARA PACIENTES CON INSUFICIENCIA RESPIRATORIA GRAVE DIAGNOSTICADOS CON EL COVID-19, ALBERGADOS EN LOS CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO

Autor

Manuel Ernesto Ruiz Zepeda

Tutor

Ing. Enmanuel Sandoval

Año: 2020

RESUMEN INFORMATIVO

La elaboración del presente trabajo de investigación se desarrolla en presentar una propuesta de un dispositivo electrónico mediante tecnología Arduino para el control de un respirador artificial en personas con insuficiencia respiratoria grave producto del COVID-19, declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud OMS, en los centros de salud del Estado Carabobo. Esto con el fin de proporcionar al sector salud un dispositivo que controle un respirador artificial de fácil traslado, solventando un problema que con el paso del tiempo se está haciendo realidad, debido a los nuevos casos diarios que se van registrando. Producto de estos aumentos, la cantidad de respiradores disponibles en salas de Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), las cuales disponen de cantidad limitada de respiradores mecánicos, se podrán hacer escasos para la cantidad de casos por insuficiencia respiratoria registrados por día, así pueden estar preparados los centros de salud para atender la futura llegada de dichos casos. La investigación es de tipo proyecto factible, con un diseño de investigación de campo y una revisión documental. Como técnica de procesamiento de información se utilizará la observación directa y una entrevista no estructurada.

Descriptor: Respiradores, Arduino.

INTRODUCCIÓN

El respirador artificial es un tipo de máscara conectados a una bolsa auto expandible, utilizadas con el objetivo de brindar asistencia respiratoria a las personas que presenten dificultad al respirar de forma natural. Las bolsas de ventilación manual requieren ser operadas por una persona capacitada para evitar sobrepresiones en el sistema pulmonar. Existen tres tamaños de bolsas, una destinada para recién nacidos (neonatos), otra para niños y una bolsa más grande dirigida su uso para adultos. Los respiradores manuales son equipos indispensables en hospitales y vehículos de emergencias, debido a su pequeño tamaño facilita el transporte y su uso en varios escenarios que lo amerite.

En el presente trabajo se muestra la implementación de un sistema de funcionamiento autónomo con el objetivo de ampliar el rango de los ya existentes respiradores manuales en los centros de salud del Estado Carabobo, para abastecer la capacidad de personas diagnosticadas con insuficiencia respiratoria grave producto de la pandemia a nivel mundial que el COVID-19 está dejando a su paso, dándole utilidad de operación a niños y adultos a partir de una bolsa de resucitación incrementar su versatilidad, habilitando el uso del equipo tanto en centros de salud, tanto públicos como privados, como en lugares particulares.

Se automatizó el sistema de respiración artificial mediante un servomotor, el cual transmite el movimiento rotacional a una leva mediante un eje. La leva tiene la función de presionar la cámara de aire deformándola para proporcionar flujo de aire al paciente. El sistema de automatización es controlado con una tarjeta electrónica Arduino, la cual contiene la programación destinada al funcionamiento del prototipo.

El Capítulo I, contiene el planteamiento del problema, formulación, igualmente se contemplan los objetivos, la justificación y el alcance de la investigación.

El Capítulo II, hace referencia al marco teórico, con los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y definición de términos básicos.

El Capítulo III, comprende el marco metodológico, donde se ubica el tipo y diseño de la investigación, población y muestra, las fases metodológicas, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El Capítulo IV, se realizan planteamientos en cuanto a las conclusiones y las recomendaciones pertinentes al caso.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Los Respiradores Artificiales son necesarios en cada uno de los Centros de Salud debido a que un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que aproximadamente un 5% de los enfermos de Coronavirus COVID-19 en cada país termina padeciendo del llamado Síndrome de Distrés Respiratorio del Adulto (SDRA).

Esto es la respuesta inflamatoria desmesurada de los pulmones a la infección, en este caso vírica, por COVID-19, se crea una especie de membrana y el oxígeno no puede traspasar esa membrana, lo que naturalmente produce insuficiencia respiratoria, hasta llegar a agravarse dependiendo del historial clínico del paciente.

Esto es una condición que no tiene un tratamiento. Lo único es poner a los pacientes en ventilación mecánica y esperar que el organismo reaccione y venza al cuadro de SDRA.

El respirador no es algo que cure por sí este virus, lo que nos permite es ganar tiempo para que un posible tratamiento haga efecto. Estos aparatos trabajan de dos maneras, la primera es proporcionándole al paciente más oxígeno que el disponible en el aire que lo rodea y la segunda es funcionando como una bomba que puede vencer la resistencia de la membrana que le impide el paso.

Al introducir aire en los pulmones a demasiada presión o con un volumen demasiado alto puede producirse una sobrecarga pulmonar y causar una lesión. A veces se rompen los frágiles alvéolos, los cuales son pequeños sacos de aire en los pulmones, lo que permite que el aire se acumule alrededor del pulmón y lo colapse, un trastorno denominado Neumotórax. Para evitar estos problemas, los médicos tratan de limitar el volumen y la presión del aire suministrado por el respirador.

La OMS ha adoptado la decisión de declarar el COVID-19 como pandemia. Hasta ahora, la caracterización de esta enfermedad, causada por el nuevo coronavirus SARS-Cov2, era como epidemia. Pero, ¿en qué se diferencia una pandemia de una epidemia?

La principal diferencia entre una pandemia y una epidemia es la escala geográfica. Los epidemiólogos usan el término epidemia para referirse a cualquier enfermedad que se propaga en la población de forma activa y, frecuentemente, escapando al control normal y deseable por las autoridades sanitarias.

La epidemia del COVID-19 también empezó así, unos pocos casos en Wuhan, que en unas pocas semanas pasaron a decenas y centenares, y en menos de un mes llegó a miles de afectados, casi todos en la provincia de Hubei. A finales de enero, el resto del mundo empezó a oír noticias sobre esta nueva neumonía. Y, antes de que pudiésemos asimilarlo, nos encontramos con que las personas infectadas se encontraban por diversos países, cada semana en más lugares y en mayor número.

La declaración como pandemia no empeora, ni por supuesto mejora, las predicciones que se habían realizado las semanas anteriores sobre la dificultad creciente para controlar el virus. Ni acerca de la posibilidad de que los sistemas sanitarios se tambalearan, incluso sucumbieran, colapsados por un elevado número de pacientes con necesidad urgente de atención médica.

Lo preocupante del asunto es que no solo afecta a los pacientes de COVID-19, sino a todos los que necesitan atención hospitalaria, incluso en el propio domicilio. Venezuela no escapa de la situación mundial con respecto a la pandemia declarada por la OMS, cada día suman personas contagiadas, las cuales se encuentran, en su mayoría, en aislamiento en centros hospitalarios llamados Hospitales Centinelas y en Centros de Diagnóstico Integral (CDI) ubicados en cada estado asignados por una Comisión Presidencial para tal fin.

En Venezuela la cifra de contagiados ha llegado a los **4.185** con unos **35** fallecidos (ver Anexo A). En el Estado Carabobo con informe audiovisual por parte de la Gobernación del Estado del 23 de junio de 2020 (ver Anexo G), existen **45** casos confirmados (10 casos comunitarios y 35 importados) con **0** fallecidos, los cuales se detallan a continuación:

- **7** en Hospitales Centinelas.
 - ü (1) Hospital Simón Bolívar, Mariara.
 - ü (3) Hospital Universitario Dr. Ángel Larralde, Naguanagua.
 - ü (3) Hospital Dr. Rafael González Plaza, Naguanagua.
- **22** en CDI.
 - ü CDI Valencia Centro, Valencia.
 - ü CDI La Begoña, Naguanagua.
 - ü CDI Flor Amarillo, Valencia.
 - ü CDI Rancho Grande, Pto. Cabello.
 - ü CDI Santa Ana I, Valencia.
 - ü CDI La Haciendita, Mariara.
- **9** en Aislamiento Domiciliario.
- **7** Recuperados.

Con la pandemia del COVID-19 la OMS está monitoreando la pandemia y ha constatado que en torno al 80% de las personas infectadas presentan síntomas leves. Esta

variante de coronavirus SARS-Cov2 provoca los síntomas comunes de un resfriado, aunque en los casos más graves también pueden ocasionar una neumonía en personas de edad avanzada y/o en recién nacidos, los cuales no escapan de esta afección.

A la fecha del 03 de octubre de 2020, por reporte de la pág. web del Ministerio del Poder Popular para la Salud (ver Anexo D), detalla que el Estado Carabobo llega a unos **1.999** casos confirmados, sin datos confirmados de fallecidos y casos por municipios.

Así como existen personas las cuales sufren una neumonía leve hay otros que son mas sensibles a resfriados y gripes comunes, estos pueden llegar a tener un cuadro de dificultad respiratoria muchos más grave que los demás, al incrementar este número de pacientes los mismos necesitaran de algún tipo de respirador, los cuales en su mayoría se encuentran en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos (UCIP) y Unidad de Terapia Intensiva Neonatales (UTIN) que existan en centros de salud del Estado Carabobo.

El 23 de marzo del presente año el Ministerio del Poder Popular para la Comunicación e Información presento un informe en cual expresa que el país cuenta con 23.762 camas hospitalarias y 1.213 camas de UCI (990 camas hospitalarias y 50 camas de UCI aproximadamente por cada Estado de Venezuela), las camas de UCI son distribuidas de la siguiente manera, 450 corresponden a la red hospitalaria del sistema público, 573 en Barrio Adentro y 190 están en red privada de salud, es decir, 50 respiradores de respiración asistida en UCI se encuentran activos para atender el COVID-19 en el Estado Carabobo.

Los pacientes con síntomas más leves de insuficiencia respiratoria, dentro de la gravedad, bastará con mascarillas de respiración artificial no invasiva. Mientras, los pacientes de mayor gravedad tendrán que ser intubados y conectados a esas máquinas de respiración asistida. El esquema más simple consiste en dos tubos y una válvula: un tubo para llenar los pulmones de aire, otro para vaciarlos y la válvula que los regula.

Estos respirados en UCI (máquinas de turbina) puede regular el flujo y presión de aire para adaptarse a las necesidades del paciente. También se puede regular la mezcla de oxígeno - aire y la humedad, así como monitorizar intentos de respiración por parte del paciente. Los aparatos más modernos cuentan con varias alarmas que avisarán al personal sanitario de pérdidas de presión, intentos de movimiento y fallos de todo tipo. Además, al ser máquinas vitales, posee sistemas duplicados para que, en caso de fallar el primero, el segundo tome su función inmediatamente.

Un respirador artificial es un tipo de máscara conectada a una bolsa auto expandible, utilizadas con el objetivo de brindar asistencia respiratoria a las personas que presenten dificultad al respirar de forma natural. Las bolsas de ventilación manual requieren ser operadas por una persona capacitada para evitar sobrepresiones en el sistema pulmonar. Existen tres tamaños de bolsas, una destinada para recién nacidos, otra para niños y una bolsa más grande de uso para adultos. Los respiradores manuales son equipos indispensables en hospitales y vehículos de emergencias, debido a su pequeño tamaño facilita el transporte y su uso en varias escenas que requieran atención médica.

Los respiradores artificiales son utilizados en casos de emergencia, es decir, cuando se necesita asegurar una ventilación normal a un paciente o cuando éste se encuentre imposibilitado de mantener su respiración por sí solo, estos no disponen de ningún tipo de controlador que ayude al personal médico a poder realizar otra función, economizando el tiempo en circunstancias vitales.

El funcionamiento manual de los respiradores ha limitado el desempeño del equipo, ya que el esfuerzo físico que se realiza al utilizar el respirador al cabo de un corto tiempo presenta variación en la fuerza aplicada, por lo tanto, la presión y cantidad de aire que se aplican al paciente se ven afectados, provocando riesgo de alteración en el sistema respiratorio en lugar de obtener una eficiente recuperación de la persona en

tratamiento. El peligro incrementa cuando el uso del respirador es requerido por un tiempo que supera los 30 minutos.

El problema no radica en crear o mejorar los respiradores que existen actualmente en los centros de salud del Estado Carabobo, el problema radica en poder abastecer uno poco mas de esos 50 respiradores de respiración asistida, ya que estos respiradores no son accesibles a todo público por la poca disponibilidad de camas clínicas en UCI asignadas para cada Hospital Centinela y CDI en el Estado Carabobo.

Ya que con un crecimiento fuera de control en personas diagnosticadas por COVID-19, la capacidad de respiradores de respiración asistida disminuye cada día más, por eso la necesidad de desarrollar un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con tecnología Arduino, para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo, con el propósito de mejorar la calidad en la atención médica en estos centros de salud y dar soporte vital al incremento diario de contagios que se va generando en el Estado Carabobo.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo se puede mejorar el funcionamiento en la operación actual de un respirador artificial utilizado en pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Proponer el diseño de un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con tecnología Arduino, para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del uso de los respiradores artificiales para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo.
- Determinar las variables de control para un respirador artificial para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19.
- Diseñar un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con tecnología Arduino, para los centros de salud del Estado Carabobo.
- Realizar un estudio de factibilidad técnica, operativa, económica, ambiental y social para la implementación de la propuesta.

1.4. Justificación

Desde que empezó la pandemia del COVID-19 se han repetido continuamente, por parte de los organismos oficiales, el Ministerio del Poder Popular para la Salud y los medios de comunicación, cuáles son las medidas de protección necesarias, los protocolos que se estaban llevando a cabo para hacer frente al virus y, además, un elemento fundamental e imprescindible para poder atender a los pacientes más afectados: los respiradores.

Esto ha provocado que los hospitales no contaran con el suficiente número de respiradores a su disposición con los que poder hacer frente al elevado número de contagiados por COVID-19, llevando a los médicos a no poder garantizar la aplicación de un respirador a todos los pacientes, especialmente a las personas mayores. Causando desafortunadamente, pérdidas humanas irreparables.

La idea surgió debido al hecho que actualmente Venezuela esta pasando por una emergencia sanitaria, la presencia del COVID-19, ya que logrando poder brindar controlar uno de estos respiradores brindamos mayor confianza al personal médico,

debido al hecho de que ellos ya no tendrán la capacidad física de estar bombeando aire por periodos largos de tiempo.

En este punto entra en trabajo el sistema de control electrónico mediante la tecnología Arduino, el cual llevara a cabo toda la programación automática para la ventilación, dando el volumen de flujo de aire exacto requerido para cada paciente, logrando esto con un actuador cuyo desplazamiento puede ser controlado según la necesidad del paciente, permitiendo que los pulmones no colapsen con la neumonía.

Lamentablemente el estado de Pandemia que tenemos producto del COVID-19, nos hace generar ideas tecnológicas para sobrellevar este virus, debido al enorme costo que tiene poder obtener un respirador asistido tipo UCI, se ha llevado que muchos países incluyendo Venezuela, opte por desarrollar prototipos de bajo costo bajo los estándares y parámetros de cada organismo de salud, abasteciendo el mercado de la salud.

La innovación, que tanto impacto tiene en el desempeño de las organizaciones, en la capacidad de producción, en el crecimiento de los países y en la competitividad de las empresas, está jugando igualmente un papel determinante en la actual lucha contra los efectos de la pandemia de COVID-19 en todo el mundo.

Gracias a las soluciones tecnológicas más disruptivas ha sido posible, por ejemplo, crear robots especializados en desinfección y limpieza, aumentar la producción de material sanitario o construir instalaciones hospitalarias en apenas días.

Del mismo modo, en nuestro país, la Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM) junto con El Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) ha centrado sus esfuerzos en aportar su granito de arena para frenar la crisis de COVID-19 por medio de diferentes acciones. Una solución que están dejando una gran huella en la lucha contra el nuevo Coronavirus.

El dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial presente en este trabajo de investigación podrá ser una de tantas soluciones para el déficit de respiradores en los cuales podemos llegar. Usando la tecnología Arduino para el control tendríamos un control compacto de bajo costo, dando beneficios a centros de salud en los cuales se maneje de forma manual un respirador artificial tipo Ámbu por parte del personal médico que labore en el sitio, dándoles ese beneficio para poder seguir prestando la mejor asistencia médica y de forma adecuada al paciente a tratar.

1.5. Alcance

Juntando la ingeniería con la medicina seguimos abriendo paso a involucrar procesos automatizados en procesos que con el tiempo se han hecho de forma manual, en este caso ayudándonos de un dispositivo electrónico junto con Arduino para facilitar procesos en situaciones de emergencia.

Este trabajo de investigación se enfoca en el diseño de un control electrónico de un respirador artificial con tecnología Arduino, el cual sustituirá la parte física del personal médico que está aplicando la resucitación, este diseño será portátil y podrá estar al alcance de cada centro de salud. El equipo presentara un panel de control que permite al usuario definir el modo de operación, volumen y frecuencia requerida.

El respirador artificial usado para este trabajo es un respirador no invasivo, los procedimientos no invasivos no involucran instrumentos que rompen la piel o que penetran físicamente en el cuerpo, en momentos de emergencia en el cual estamos inmersos ya estos son escasos, un control eficaz de un respirador tipo Ambú servirá de mucho, ya que con dicho control se podrá estar salvando una vida.

Estos respiradores artificiales permiten suministrar oxígeno y facilitar el proceso de respiración a los pacientes cuyos pulmones se complican debido al virus, y que lo mantienen estable durante el protocolo de tratamiento terapéutico en los Hospitales Centinelas y centros de salud habilitados para la atención médica.

Este tipo de dispositivo electrónico para el tipo de control de respiración presentado, estando distribuido en la mayoría de los centros de salud del Estado Carabobo podrá mejorar la actividad y el desempeño del personal médico, pudiendo llegar a centros de salud rurales los cuales mejoraría el desempeño del instituto, mejorando sus parámetros y estándares médicos, evitando el traslado de alguna persona con insuficiencia respiratoria a otro centro de salud, economizando el tiempo, ya que este es de vital importancia en la atención médica, beneficiando así a la comunidad en la cual opera.

El diseño del dispositivo puede estar comprendido con el uso de equipos nacionales, y con accesorios que se consiguen en el país. Usando software libre como Arduino, lo que puede permitir seguir avanzando en la mejora de este prototipo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Actualmente a nivel mundial, son muchos los países que han decidido involucrarse en la realización de dispositivos electrónicos para el control de un respirador artificial, relacionado a la mejora en la calidad sanitaria y prevención de insuficiencias respiratorias graves en personas contagiadas por COVID-19.

El nuevo coronavirus SARS-CoV-2 que genera la enfermedad infecciosa del COVID-19 a la fecha del 13 de mayo de 2020, supera los 4.400.000 casos confirmados y 298.000 fallecidos en el mundo, muchos de estos con insuficiencia respiratorias graves, desde que se dio a conocer el primer caso en diciembre de 2019 en China. La cantidad de recuperados ya pasan de los 1.660.000.

A continuación, se exponen diversos estudios previos, relacionados con dicha investigación, las cuales servirán como soporte y referencia en la realización del presente trabajo investigativo.

Chamberg Ruiz Patricia, “**Diseño, Simulación y Control de un Resucitador para Pacientes con Dificultad Respiratoria**”, 2017 en la Universidad de Piura (UDEP), Ciudad de Piura - Perú, expone que el objetivo consiste en el desarrollo de un sistema que mejore la técnica de resucitación con Ambú o resucitador manual para la mejora de la ventilación manual. El diseño del mecanismo se basa en que tenga las funciones del equipo usado comúnmente, además debe ser de fácil de traslado y automático.

El diseño propone un sistema manivela - biela - pistón, conociendo el comportamiento del mecanismo y las fuerzas que intervienen en él, se realiza el diseño del controlador. Se busca controlar la cantidad de volumen, mediante un controlador difuso. Al conocer el funcionamiento del sistema y sus dimensiones, se completa el diseño de las piezas, teniendo de esta forma la propuesta del prototipo. Los resultados que se obtuvieron fueron correctos para pacientes adultos y pediátricos, sin embargo, debido a que la cantidad de volumen para pacientes neonatales es pequeña, el sistema no respondió correctamente.

Cada ventilación se debe realizar en un segundo, por lo que se propone para trabajos posteriores agregar un reductor de velocidad, o un sistema, como la modulación por ancho de pulso, para que el mecanismo cumpla con el tiempo establecido. Esta propuesta mejora la técnica de ventilación, al convertirla de manual a automática, y así ayuda a dar otros soportes vitales.

La ventilación con el resucitador manual o Ambú limita al personal de salud, ya que, para realizarla de manera correcta, el médico necesita usar ambas manos limitándolo a dar otras medidas de soporte vital al paciente, sumado a esto el cansancio que origina estar ventilando por largas horas.

Los médicos que se encuentren en zonas lejanas por ejemplo en los establecimientos donde se realiza servicio rural y urbano, tienen limitaciones ya que no cuentan con el personal suficiente y realizar de forma correcta una ventilación asistida con un resucitador manual.

Además, uno de los problemas muy comunes en los hospitales es la falta de ventiladores mecánicos donde el paciente espera por largas horas hasta que pueda acceder a uno de estos equipos.

En este orden Cervantes Rodríguez William, **“Diseño e Implementación de Sistema de Riego Automatizado y Controlado por una placa Arduino para la finca**

La Lucia”, 2016 de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM), Ciudad de Calceta - Ecuador, comenta que el sistema de riego automatizado por una placa Arduino permitirá que los procesos de irrigación se lleven de manera eficaz y eficiente en las áreas de los cultivos agrícolas de la finca “La Lucia” del sitio La Pita.

El objetivo de este trabajo fue crear un control automatizado de sistema de riego basado en una placa Arduino mega en la Finca “La Lucia” del sitio La Pita - Parroquia Canuto - Cantón Chone, lugar donde se permitió identificar la problemática y proponer la posible solución. El control automatizado del sistema de riego cuenta con varios dispositivos de hardware, complementado dicho control con teclado 4x3, Pantalla LCD de 2x12 donde el usuario accede al manejo del dispositivo de riego, mejorando el control en las actividades y procesos realizadas a diario en el área de los sembríos.

Para la ejecución del control se trabajó con el método informático Hardware Libre que se usó para la elaboración de los procesos de administración y desarrollo en la implementación del control de riego, donde fue necesario determinar los sectores estratégicos para la instalación de los actuadores del riego, haciendo pruebas del control de riego en prototipos obteniendo como resultado el correcto funcionamiento del control.

El agua es tal vez el más importante de los recursos naturales, pues de él dependen la subsistencia de la población, la flora y la fauna, y la continuidad de la industria. En el caso de la agricultura, los agricultores se ven en la necesidad de mejorar estos problemas. Siendo el principal problema no poseer un sistema de riego seguro y eficaz, que mejore la utilización del recurso, ahorrando además costos al contratar menor cantidad de obreros que se dediquen al riego de las plantaciones.

A pesar de que en los últimos años se han desarrollado sistemas para la automatización y control del riego, son pocos los sistemas que han encontrado en la

práctica una aceptación considerable. Esto se debe principalmente a la alta demanda de tiempo, trabajo y capacitación para operar con datos e información estos sistemas.

En la actualidad la sistematización de los procesos es una necesidad, convirtiéndose en una herramienta indispensable, por lo que sistematizar el sistema de riego para el cultivo de la finca “La Lucía” es dar solución a los problemas que se suscita, tales como el desperdicio del líquido vital porque este no cuenta con un control adecuado del agua y el exceso de esta, por ello la necesidad de implementar un sistema de riego automatizado que brinde una solución, dinámica, confiable y eficiente, con el fin de optimizar la productividad.

Seguidamente Rodríguez, D. **“Diseño de Experiencias Prácticas de Control de Movimiento Coordinado, mediante el uso de Servomotores, orientadas a la cátedra de Accionamientos Eléctricos”**, 2013 en la Universidad José Antonio Páez (UJAP), Edo. Carabobo - Venezuela, donde este proyecto tiene como propósito, llevar a cabo el desarrollo de experiencias prácticas de control coordinado, las cuales van dirigidas a los alumnos de la cátedra de Accionamientos Eléctricos de nivel de pregrado y postgrado de la Escuela de Ingeniería Electrónica.

En dichas prácticas se hace uso de equipos adquiridos por la Universidad José Antonio Páez, los cuales conforman sistemas de accionamientos constituidos por máquinas eléctricas como lo son los servomotores hasta sus sistemas de control, los variadores de velocidad. Todos estos son equipos originarios de la marca alemana Sew Eurodrive, la cual posee una sede en Venezuela. Dichos equipos se adaptaron de tal manera que sirvan de herramientas didácticas para la enseñanza del Control de Movimiento Coordinado, el cual se aplica en la actualidad en varias aplicaciones de la industria venezolana.

Así mismo González Kedfy, Hernández Nogaret y Rey Harol E., **“Controlador Embebido para los Módulos de Simulación de Procesos del Laboratorio de Electrónica en una Universidad Privada de Maracaibo”**, 2012 en la Universidad

Rafael Belloso Chacín (URBE), Ciudad de Maracaibo - Venezuela, donde su investigación se enfocó en una actualización de los módulos existentes, de un proceso analógico a uno digital mediante la utilización de la plataforma Arduino, modelo Arduino UNO R3 programado en lenguaje y entorno de desarrollo Arduino.

Se obtuvo como resultado un módulo PID digital, que será de beneficio para los estudiantes de la universidad privada de Maracaibo, ya que podrán realizar las pruebas de los módulos de manera analógica y digital para poder visualizar la diferencia entre un proceso analógico y digital, y poder simular un control completo de una planta.

De igual forma García N. Tomas y Shiguematsu Yukitoshi, **“Diseño, Construcción y Control de Estabilidad de un Robot que se Balancea sobre una Esfera”**, 2012 en la Universidad Nacional autónoma de México (UNAM), Ciudad de México - México, dice que este es uno de los ambientes que cada vez va tomando mayor importancia, es el ambiente humano, para el cual ha sido necesario la reducción

dispositivos que podrían emplearse dependiendo del tipo de datos utilizados, velocidad o funciones necesarias, etc.

Se uso un microcontrolador que cuenta con un CPU, memoria y unidades de entrada/salida, en la actualidad el microcontrolador es extensamente utilizado en los campos de la ingeniería electrónica y es utilizado para diversas aplicaciones y un Arduino basado en microcontroladores Atmel, que cuenta con su propio entorno de desarrollo programado mediante un lenguaje propio de alto nivel, la misma tarjeta maneja datos analógicos, digitales, salidas PWM, etc.

Una vez procesados los datos, se puede utilizar la información obtenida para el control. Para esto, existen diversos tipos de métodos de control para que el robot haga lo que se desea, en este caso, mantener el balance sobre la esfera.

Finalmente, procesada la información y obtenida la salida del control, es necesario mandar las señales adecuadas a los actuadores para que el sistema físico funcione correctamente. El movimiento usando un motor de corriente directa, donde la velocidad de giro de este tipo de motores se puede controlar mediante el uso de una señal de PWM. El control de la velocidad mediante PWM para un motor de CD consiste en controlar la energía que se le suministra al motor, sin embargo, existe un límite en la velocidad mínima alcanzable, ya que, si se reduce más la energía aportada al motor, este no sería capaz de vencer su propia inercia rotacional.

Otro movimiento fue usando un servomotor que cuenta con un control interno de quiere colocar al rotor sin la necesidad de conocer la posición actual. El rango de movimiento de un servomotor es cuando más de una revolución y está diseñado para aplicaciones en las que se requiere precisión y posiciones establecidas. La señal de control utilizada en el servomotor es una PWM, en la cual dependiendo del ciclo de ancho de pulso se puede controlar la posición del servomotor de manera absoluta.

La velocidad en la que el servomotor responde y se mueve entre un punto y otro intención de tener el control de movimiento del servomotor. Este motor puede ser lo moverse a posiciones con respecto a su tamaño y precio.

Para finalizar E. Pérez Pinzón, **“Diseño y Evaluación de un Método de Calibración de Ventiladores Mecánicos para Adultos”**, 2011 en la Universidad de los Andes (ULA), Edo. Mérida - Venezuela, con este trabajo expone que los Ventiladores Mecánicos (VM) son herramientas muy importantes en los tratamientos que se realizan en los pacientes a nivel nacional, tanto en pediatría como en adultos, por lo cual, es de vital importancia se pueda seguir un proceso de calibración seguro y confiable, el cual permita la evaluación de una auditoria adecuada por parte de los diferentes departamentos de ingeniería biomédica de los hospitales del país.

En la actualidad en el país se desconoce la verdadera incidencia de los equipos médicos en eventos adversos, provocando principalmente por dos causas. La primera, es el desconocimiento por parte del cuerpo médico de la importancia de contar con un ingeniero trabajador del área de la salud con amplios conocimientos en el tema biomédico, que pueda establecer la conexión entre la causalidad de un evento, que podría ser catalogado desde el punto de vista médico como no adverso, y el funcionamiento erróneo del equipo, entregando valores no reales que motive al médico a tomar decisiones erróneas, o brindando una terapia inadecuada que conduzca a que se presente una reacción no deseada en el paciente, sin que ellos se llegue a sospechar de los equipos médicos que intervienen en el proceso.

La segunda causa, es la falta de auditorías en los mantenimientos realizados a los equipos médicos por parte del personal responsable y especializado, que pueda determinar de manera adecuada el estado real del equipo dependiendo de las

condiciones climáticas, del correcto mantenimiento que se le haya realizado y de la calidad del equipo que muy pocas veces se controla en el momento de la adquisición.

El método aquí propuesto, se creó con el objeto de poder ser aplicado en la mayoría de ventiladores mecánicos para adultos de cualquier institución prestadora de servicios de salud, las cuales por normativa se encuentran obligadas a realizar este tipo de labores periódicamente en todos sus equipos electro médicos. Sin embargo, analizando el tema desde el punto de vista ético, muchas incumplen con este decreto, o sencillamente asignan a un ingeniero a que realice estas labores de calibración, sin las condiciones mínimas requeridas, poniendo de esta manera, en riesgo la vida de sus pacientes, en especial, equipos electro médicos tan importantes como lo es un VM.

Por tanto, se hace éticamente vital, más que por cumplir un decreto expedido por el estado, los laboratorios de metrología biomédica, se apoderen de este tipo de métodos de calibración y lo usen constantemente, con el fin de ofrecerle una mayor seguridad y confianza en el tratamiento clínico a sus pacientes.

2.2. Bases Teóricas

Los avances tecnológicos aplicados a los modernos respiradores permiten gran variedad de métodos ventilatorios que han mejorado sustancialmente la interrelación paciente - ventilador. Los ventiladores mecánicos son aparatos diseñados para administrar cíclicamente una presión positiva superior a la atmosférica capaz de insuflar los pulmones y proporcionar el adecuado intercambio gaseoso (oxigenación sanguínea y eliminación de anhídrido carbónico). La ventilación mecánica es un elemento primordial e indispensable para el soporte vital.

Un paciente que se encuentra en ventilación mecánica posee una serie de complejidades y para que sea capaz de acoplarse a este sistema, requiere además mantenerse sedado, sometido a múltiples factores de estrés ambiental, compromiso del

estado general y/o de conciencia, lo que implica la multiplicidad de cuidados que requieren en este periodo.

La precisión del tratamiento exige un cuidado minucioso de los tres componentes (paciente, sistema y respirador), por lo que necesitamos una monitorización continua y registro de todas las actuaciones. Al monitorizar al paciente requerimos controlar la frecuencia respiratoria y control de la saturación de oxígeno. Los cuidados de enfermería en pacientes sometidos a ventilación mecánica deben ser constantes y permanentes, otorgando una atención segura y de calidad, evitando la aparición de las complicaciones subyacentes a esta condición.

2.2.1. Qué es y cómo funciona un respirador artificial

Un respirador artificial o ventilador es una máquina que respira por el paciente o que le ayuda en este proceso en caso de padecer una insuficiencia respiratoria por motivos como una neumonía. Los dispositivos utilizados actualmente emplean una turbina como generadora regular de aire.

Estas máquinas introducen aire a los pulmones y lo extraen para facilitar la respiración en una persona que no puede hacerlo por sí misma. A la hora de aplicar la ventilación artificial en un paciente se puede hacer de varias maneras, pero por lo general se introduce un tubo de plástico por la nariz o la boca hasta la tráquea. Este tubo irá conectado al respirador (computadora) que deberá ser controlado por el personal médico.

En el caso de que el paciente necesitase el respirador artificial por un periodo de tiempo elevado, se inserta el tubo directamente en la tráquea (una incisión en el cuello) mediante la técnica denominada como traqueotomía. Por otra parte, en función de las necesidades de la persona, el ventilador artificial suministra oxígeno puro o una combinación de oxígeno y aire.

En el caso de pacientes más estables dentro de la propia gravedad, puede que no necesiten ser intubados y tengan que utilizar mascarillas de ventilación artificial no invasivas.

Esta técnica se denomina “presión de aire positiva” y consiste en colocar la mascarilla al paciente sobre la nariz, o sobre la nariz y boca, ajustarla y suministrar una combinación de oxígeno y aire a presión, pero sin necesidad de intubar la tráquea.

2.2.2. ¿Por qué se necesitan los respiradores?

Colocan a las personas en un respirador cuando no son capaces de respirar por su cuenta, esto puede ser por cualquiera de las siguientes razones:

- Para constatar que la persona esté recibiendo suficiente oxígeno y eliminando el dióxido de carbono.
- Después de la cirugía, las personas pueden necesitar un respirador que respire por ellas cuando les hayan dado un medicamento que les cause sueño y su respiración no haya retornado a la normalidad.
- Una persona tiene una enfermedad o lesión y no es capaz de respirar normalmente.

La mayoría de las veces, se necesita un respirador solo por un corto tiempo, horas, días o semanas. Pero en algunos casos, se necesita durante meses, o a veces años.

2.2.3. ¿Qué clase de cuidados necesita una persona cuando está con un respirador?

En el hospital, una persona con un respirador es vigilada cuidadosamente por personal de atención médica, incluyendo médicos, personal de enfermería y terapeutas respiratorios.

Las personas que necesitan un respirador durante largos períodos pueden permanecer en centros de atención a largo plazo. Algunas personas con una traqueotomía pueden estar en casa.

Los pacientes con un respirador son vigilados cuidadosamente en busca de infecciones pulmonares. Cuando está conectado a un respirador, la persona tiene dificultad para expectorar moco. Si el moco se acumula, los pulmones no reciben suficiente oxígeno. El moco también puede conducir a neumonía. Para eliminarlo, es necesario un procedimiento llamado succión. Esto se hace introduciendo una pequeña sonda delgada en la boca o en la abertura del cuello de la persona para extraer el moco.

Cuando un respirador se usa por más de unos días, la persona puede recibir nutrición a través de sondas puestas en una vena o en el estómago.

Ya que la persona no puede hablar, se necesitan hacer esfuerzos especiales para vigilarla y proporcionarle otras maneras para comunicarse.

2.2.4. Respuestas ante la escasez de ventiladores por COVID-19

Durante la pandemia de enfermedad por coronavirus de 2019 - 2020 y su extensión a prácticamente todos los países del mundo, se produjo una escasez de ventiladores médicos ante la afluencia masiva de enfermos con insuficiencia respiratoria y neumonías a los hospitales y a las unidades de cuidados intensivos que requerían el uso de respiradores médicos. Muchos sistemas sanitarios se vieron desbordados por esta pandemia, y no se pudo atender correctamente a muchos pacientes.

Ante la dificultad de conseguir ventiladores surgieron iniciativas conjuntas académicas, tecnológicas, y empresariales, tanto para aumentar la producción en las empresas existentes como para la construcción de respiradores alternativos para uso hospitalario, entre otras, utilizando técnicas de impresión 3D.

2.2.5. Que es un Ventilador Mecánico (VM)

Las funciones principales de la VM serán proveer gas al paciente según determinadas condiciones de volumen, presión, flujo y tiempo. Para administrar el

soporte se requiere de una interface que actúa sobre la vía aérea superior del paciente por lo que se tiene que acondicionar el gas que se entrega, filtrándolo, modificando su temperatura y su humedad, en forma activa o pasiva.

Esta interface puede ser externa (dispositivos para ventilación mecánica no invasiva), o interfaces invasivas, las que a su vez pueden ser supraglóticas (máscara laríngea, máscara faríngea, combitubos) o subglóticas (tubos endotraqueales, tubo de traqueotomía, combitubos). También podemos entregar medicación que se suministra por vía inhalatoria, ya sea con sistemas nebulizadores o por inhaladores o MDI (inhalador de dosis medida) conectados al sistema.

EL VM debe tener la capacidad de monitorear la ventilación del paciente y su mecánica respiratoria, mediante unos indicadores que pueden ser digitales y/o gráficos. Así mismo deben avisar al operador, a través de su sistema de alarmas audiovisuales, que se ha presentado alguna condición diferente de la esperada o deseada.

Para lo cual debe elaborar la información que maneja y mostrarla de manera adecuada al operador o enviarla a sistemas periféricos conectados al equipo. Cuando tengamos un paciente en VM es necesario proveer sistemas de seguridad para ventilar al paciente en caso de que se presenten situaciones anormales. Facilitar al personal tratante ciertas funciones auxiliares que lo ayuden en la realización de determinadas maniobras vinculadas con la ventilación del paciente, como aspiración de secreciones, nebulizaciones.

El nivel de ventilación está regulado desde el centro respiratorio en función de las necesidades metabólicas, del estado gaseoso y el equilibrio ácido - base de la sangre y de las condiciones mecánicas del conjunto pulmón - caja torácica. El objetivo de la VM es transportar el oxígeno hasta el espacio alveolar para que se produzca el intercambio con el espacio capilar pulmonar y evacuar el CO₂ producido a nivel metabólico.

El pulmón tiene unas propiedades mecánicas que se caracterizan por:

- 1) **Elasticidad**, depende de las propiedades elásticas de las estructuras del sistema respiratorio. Por definición es la propiedad de un cuerpo a volver a la posición inicial después de haber sido deformado. En el sistema respiratorio se cuantifica como el cambio de presión en relación al cambio de presión.
- 2) **Viscosidad**, depende de la fricción interna de un medio fluido, es decir entre el tejido pulmonar y el gas que circula por las vías aéreas. En el sistema respiratorio se cuantifica como el cambio de presión en relación al flujo aéreo.
- 3) **Tensión Superficial**, está producida por las fuerzas cohesivas de las moléculas en la superficie del fluido y de la capa de la superficie alveolar. Estas fuerzas dependen de la curvatura de la superficie del fluido y de su composición.
- 4) **Histéresis**, es el fenómeno por el que el efecto de una fuerza persiste más de lo que dura la misma fuerza.

2.2.6. Volúmenes y capacidades pulmonares

La capacidad ventilatoria (Figura 1) se cuantifica por la medición de los volúmenes pulmonares y la espirometría.

- **Capacidad Pulmonar Total (CPT)**: Es el volumen de gas en el pulmón al final de una inspiración máxima. Es la suma de la capacidad vital (CV) y del volumen residual (RV). Es una medida del tamaño pulmonar.
- **Capacidad Vital (CV)**, Espiratoria es el volumen de gas exhalado después de una inspiración máxima y la inspiratoria es el volumen que puede ser inspirado después de una espiración máxima. La capacidad vital es la suma de la Capacidad Inspiratoria (CI) y del Volumen de Reserva Espiratoria (VRE).
- **Volumen Circulante (VC)**: Es el volumen de gas que se moviliza durante un ciclo respiratorio normal.
- **Volumen de Reserva Inspiratoria (VRI)**: Es el volumen de gas que puede ser inspirado después de una inspiración normal.

- **Volumen de Reserva Espiratoria (VRE):** Es el volumen de gas que puede ser espirado después de una espiración normal.
- **Capacidad Inspiratoria (CI):** Es el volumen que puede ser inspirado después de una espiración normal, es decir desde capacidad residual funcional (CRF).
- **Capacidad Residual Funcional (CRF):** Es el volumen de gas que queda en el pulmón después de una espiración normal.
- **Volumen Residual (VR):** Es el volumen de gas que queda después de una espiración máxima.

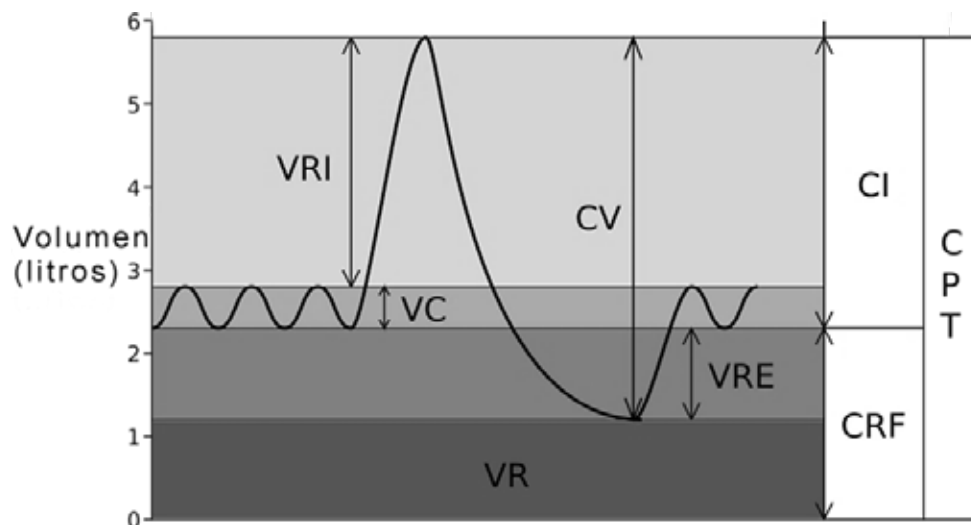


Figura 1. Volúmenes y capacidades pulmonares.

Fuente: Diaz, Silvia (2015)

2.2.7. Valores constantes en volumen y capacidad pulmonar

- Volumen Circulante: 500 ml.
- Volumen de Reserva Inspiratorio: 3.000 ml (con esfuerzo inspiratorio).
- Volumen de Reserva Espiratorio: 1.100 ml (con esfuerzo espiratorio).
- Volumen Residual: 1.200 ml.
- Capacidad Vital: VRI (3.000 ml) + VRE (1.100 ml) + VC (500 ml) = 4.600 ml.

- Capacidad Inspiratoria: VC (500 ml) + VRI (3.000 ml) = 3.500 ml.
- Capacidad Residual Funcional: VR (1.200ml) + VRE (1.100 ml) = 2.300 ml.
- Capacidad Pulmonar Total: CV (4.600 ml) + VR (1.200 ml) = 5.800 ml.

Una persona en reposo realiza 12 respiraciones por minuto, si en cada entrada y salida de aire moviliza 500 ml, en un minuto movilizará 6.000 ml.

2.2.8. Generación y control de flujo de aire

Para poder generar el desplazamiento del aire contenido en la cámara de la bolsa se podrá utilizar un actuador. El desplazamiento angular de la leva permitirá la deformación uniforme y constante de la bolsa lo que produce la entrega de aire al paciente. El volumen de aire entregado se controla al regular el ángulo de desplazamiento de la leva, a mayor ángulo de giro se obtiene mayor volumen de aire desplazado desde la cámara y por lo tanto mayor deformación de la bolsa, mientras que menor ángulo de rotación implica menor emisión de aire. Al mantener un volumen fijo, el caudal emitido puede ser definido al establecer la velocidad de movimiento de la leva.

2.2.9. ¿Qué diferencias en la ventilación marcan la frontera entre un adulto y un niño?

Ante todo, no podemos considerar al niño como un adulto pequeño, aunque en términos generales podríamos decir que a partir de los 7 años (30 - 40 kg), estos pacientes se asemejan bastante al adulto, sin otra consideración especial que la propia de tener un menor tamaño. De los 3 a los 7 años (15 - 40 kg) los pacientes se consideran plenamente niños, y aunque podemos emplear con ellos sistemas propios de los adultos debemos hacerlo con ciertas precauciones. Si tienen menos de 3 años (menos de 15 kg), su manejo será más dificultoso cuanto más pequeños sean. Estos pequeños pacientes requerirán la aplicación de técnicas de ventilación específicas, así como el empleo instrumental adecuado, especialmente en el caso de los lactantes y recién

nacidos (< 1 año), que presentan marcadas diferencias anatómicas, fisiológicas y de mecánica ventilatoria con resistencias muy elevadas (Figura 2) y compliancias muy bajas (Figura 3).

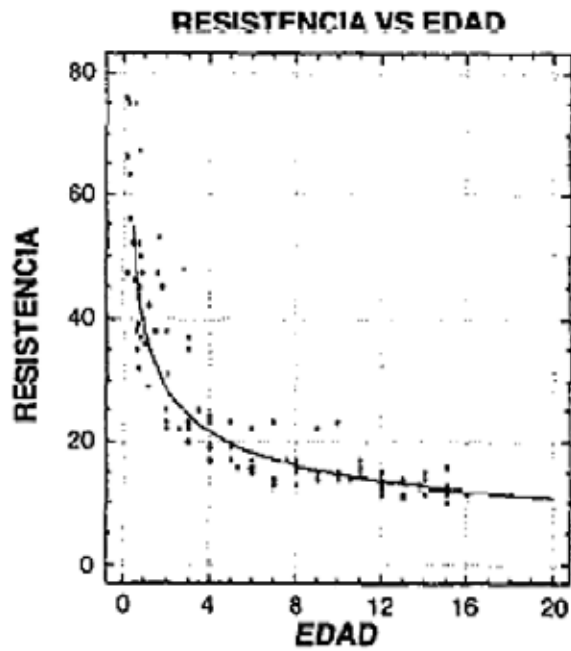


Figura 2. Evolución de la resistencia al flujo en ventilación mecánica según la edad.

Fuente: Dr. Marco, Joan (2010)

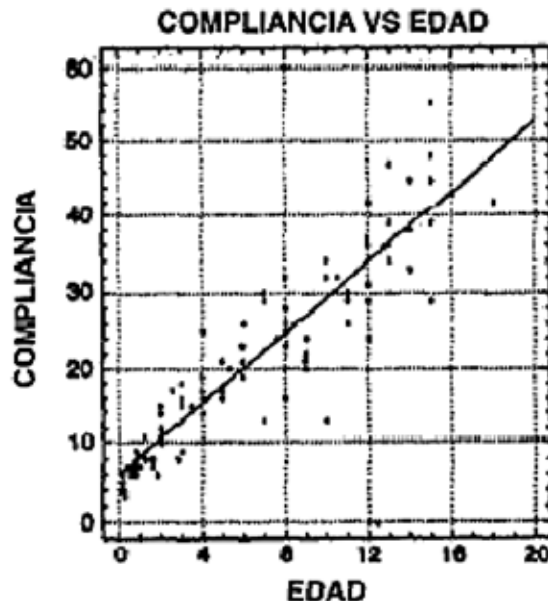


Figura 3. Evolución de la compliancia (ml/cm H₂O) según la edad.

Fuente: Dr. Marco, Joan (2010)

En ventilación mecánica podemos establecer una clasificación de los niños según sus propiedades mecánicas (resistencia y compliancia) (Figuras 2 y 3). Vemos que la compliancia aumenta de forma lineal con la edad y el peso, y por tanto con el tamaño pulmonar, desde compliancias cercanas a los 4 ml/cm H₂O, hasta valores similares a los del adulto. En cuanto a las resistencias, disminuyen de forma exponencial decreciente. Esta curva es muy característica, en forma de L con un ángulo claro cerca de los 3 años (20 kg), y presenta unos valores más altos cuanto más pequeño es el paciente.

En resumen:

- Resistencias muy elevadas en el recién nacido y el lactante.
- Disminución bastante marcada de las resistencias hasta los 3 años.
- Caída progresiva de las resistencias de los 3 a los 7 años.
- Valores similares a los del adulto a partir de los 7 años.

El volumen corriente (Tabla 1) y la frecuencia respiratoria acostumbran a calcularse teniendo en cuenta el peso corporal (ml/kg) o la edad.

EDAD	VOLUMEN CORRIENTE (ml)
Prematuros	5-10
Recién nacidos a término	20-30
Lactantes hasta 6 meses	40-50
De 6 meses a 1 año	70-90
De 1 a 3 años	110-120
De 3 a 6 años	250-300
Adultos	500-800

Tabla 1. Volumen corriente según la edad del paciente.

Fuente: Diaz, Silva (2015)

Las recomendaciones internacionales indican que todos los resucitadores manuales para pacientes pediátricos deberán estar equipados con un mecanismo limitador de presión para que la presión del aire no exceda los 45 cm ² .

2.2.10. ¿Qué particularidades debemos tener en cuenta en el manejo de la vía aérea en los pacientes más pequeños (lactantes)?

Hay importantes diferencias anatómicas con repercusión en el manejo de la vía aérea y la ventilación (Figura 4).

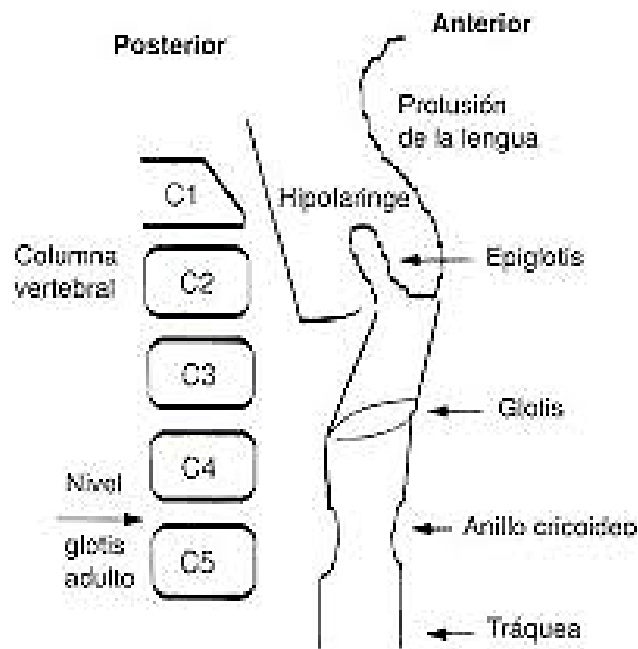


Figura 4. Anatomía de la vía aérea superior del lactante.

Fuente: Dr. Marco, Joan (2010)

- La lengua es de mayor tamaño relativo, con tendencia a la obstrucción.
- La laringe está en una posición más alta (C3-C4) y condiciona la visualización, que es más difícil.
- La epiglotis, en forma de U invertida, está más angulada hacia atrás y es de difícil desplazamiento.
- Las cuerdas vocales tienen una inclinación hacia abajo, desde la parte anterior a la posterior, lo que determina que el tubo endotraqueal contacte con la parte anterior.
- Hay una mayor estrechez de la subglotis con relación a las cuerdas vocales, que condiciona la elección del tubo endotraqueal.
- La longitud de la tráquea en el lactante es de 5 cm, por lo que la intubación selectiva accidental es frecuente.

Estas condiciones, que favorecen una mayor tendencia a la obstrucción, hacen que durante la inducción y el despertar muchos anestesiólogos pediátricos prefieran la ventilación con equipos manuales tipo Mapleson (Figura 5), buscando una mayor sensibilidad y control de la ventilación con la monitorización a través de la bolsa accionada con la mano.

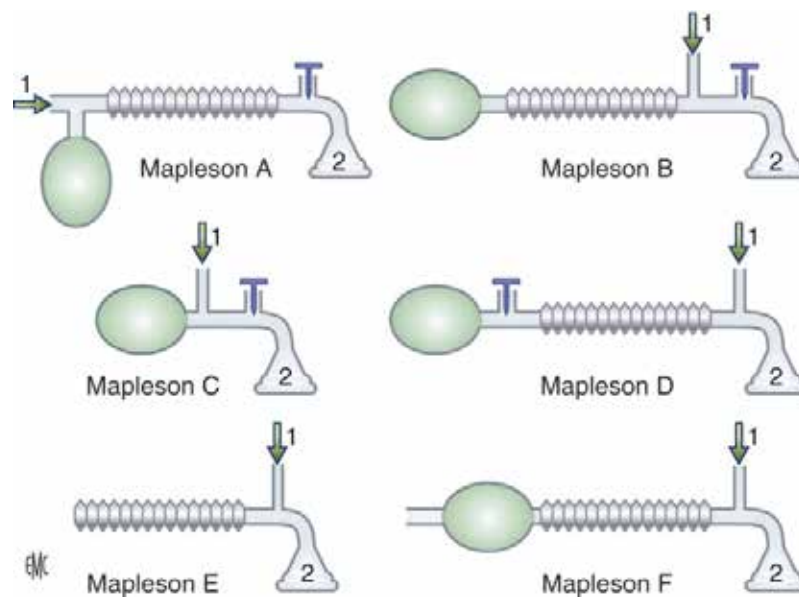


Figura 5. Sistemas manuales de ventilación espontánea descritos por Mapleson.

Fuente: EMC – Anestesia – Reanimación (2013)

2.2.11. Circuito de control (dispositivo electrónico)

El circuito electrónico es el componente principal, ya que este es el que provee la automatización al sistema. La tarjeta electrónica Arduino Uno es el componente vital del circuito. Su base de funcionamiento es el Microprocesador ATmega 3282, el cual consta de 14 puertos digitales (entradas/salidas) y 6 entradas análogas. Tiene además conexión USB para comunicarse con el computador y sincronizar la programación. Los puertos de conexión de la fuente pueden ser batería de corriente

continua o un convertidor AC/DC. El código utilizado para ejecutar el programa de control del respirador artificial se encuentra en el Anexo.

El servomotor es un motor eléctrico que según su rango de operación puede ser controlado en velocidad y posición. El control es realizado mediante una señal la cual es procesada produciendo el movimiento del motor. Este motor es óptimo para poder controlar con precisión la posición, dirección y velocidad de palancas, timones e incluso aplicaciones en robótica, por lo que se puede aprovechar estas características para controlar el recorrido del actuador en el respirador y de esta manera conseguir mediciones más precisas de volumen de acuerdo al desplazamiento del actuador.

Una de las muchas ventajas de un servomotor es que a pesar de su reducido tamaño poseen una gran capacidad de torque debido a su compacta composición de engranes metálicos. La corriente de trabajo de un servomotor es de aprox. 2A, por lo que se puede producir calentamiento en sus componentes internos. Para evitar daños en el dispositivo debido a altas temperaturas estos motores poseen láminas metálicas cuya función es disipar el calor hacia el ambiente.

El circuito de control tendrá un par de pulsadores, donde al ser oprimidos se seleccionará el modo de operación requerido por el usuario. El pulsador 1 está programado para el modo de operación de Adultos y el pulsador 2 en el modo de operación de niños. Cada pulsador ejecuta el control previamente establecido según los parámetros estándar. Una pantalla LCD también es un componente importante ya que en ella se podrá mostrar las opciones de modo de operación existentes en el dispositivo, indicando, además, el botón seleccionado, los parámetros de funcionamiento (frecuencia, volumen y presión). Se incluye un potenciómetro para controlar la frecuencia en cada modo de operación.

2.2.12. ¿Qué es un servo?

Un servo es un tipo de accionador ampliamente empleado en electrónica. A diferencia de otros tipos de motores en los que controlamos la velocidad de giro, en un servo indicamos directamente el ángulo deseado y el servo se encarga de posicionarse en este ángulo.

Típicamente los servos disponen de un rango de movimiento de entre 0 a 180°. Es decir, no son capaces de dar la vuelta por completo (de hecho, disponen de toques internos que limitan el rango de movimiento).

Internamente un servo frecuentemente consta de un mecanismo reductor. Por tanto, proporcionan un alto par y un alto grado de precisión (incluso décimas de grado). Por contra, las velocidades de giro son pequeñas frente a los motores de corriente continua.

Los servos se admiten una tensión de alimentación entre 4,8V a 7,2V, siendo el valor más adecuado de 6V. Con tensiones inferiores el motor tiene menos fuerza y velocidad. Con tensiones superiores a 6,5V los servos empiezan a oscilar demasiado, lo cual los hace poco útiles.

2.2.13. Como controlar un servomotor con Arduino y un potenciómetro

La placa Arduino lee el valor correspondiente a la posición del potenciómetro (valor entre 0 y 1023) y lo convierte en un valor proporcional a la escala del servomotor (valor entre 0 y 180).

Los servomotores tienen tres cables: VCC, GND y Señal. El cable de alimentación VCC es típicamente rojo, y debe ser conectado al pin 5V de la placa Arduino. El cable de tierra, GND, suele ser negro o marrón y debe estar conectado a un conector de tierra de la placa Arduino. El cable de señal es normalmente de color amarillo, naranja o blanco y debe ser conectado a un pin digital en la

placa Arduino. Tenga en cuenta que algunos servos pueden tener un consumo de energía considerable, por lo que, si tienes que utilizar más de uno o dos, es recomendable una fuente de alimentación independiente, es decir, no conectados al pin + 5V en la placa Arduino. Asegúrese de conectar los GND del Arduino y de la fuente de alimentación externa juntos.

Para controlar los servomotores con Arduino disponemos de la Biblioteca “Servo”, que deberemos incluir en nuestros códigos. Esta biblioteca permite a una placa Arduino controlar servomotores. Los servos están formados por engranajes y un eje que puede ser controlado con precisión. Los servos estándar permiten que el eje pueda ser posicionado en varios ángulos, por lo general entre 0 y 180 grados. Los servos de rotación continuas permiten la rotación del eje para ajustarse a diversas velocidades.

2.2.14. Plataforma de Arduino

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales se escriben con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos.

El tipo de periféricos que puedas utilizar para enviar datos al microcontrolador depende en gran medida de qué uso le estés pensando dar. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, teclados para introducir datos, o diferentes tipos de sensores.

También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores.

Arduino es un proyecto y no un modelo concreto de placa, lo que quiere decir que compartiendo su diseño básico te puedes encontrar con diferentes tipos de placas. Las hay de varias formas, tamaños y colores para a las necesidades del proyecto en el que estés trabajando, las hay sencillas o con características mejoradas, Arduino orientados al Internet de las Cosas o la impresión 3D y, por supuesto, dependiendo de estas características te encontrarás con todo tipo de precios.

Además, las placas Arduino también cuentan con otro tipo de componentes llamados Escudos (Shields) o mochilas. Se trata de una especie de placas que se conectan a la placa principal para añadirle una infinidad de funciones, como GPS, relojes en tiempo real, conectividad por radio, pantallas táctiles LCD, placas de desarrollo, y un larguísimo etcétera de elementos.

2.3. Definición de términos básicos

- Arduino: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.
- Auditoria: La actividad de auditar consiste en realizar un examen de los procesos y de la actividad económica de una organización para confirmar si se ajustan a lo fijado por las leyes o los buenos criterios.
- Automatización: Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.
- Ballbot: Es un robot móvil dinámicamente estable diseñado para equilibrarse en una sola rueda esférica. A través de su único punto de contacto con el suelo, es

omnidireccional y, por lo tanto, excepcionalmente ágil, maniobrable y de movimiento orgánico en comparación con otros vehículos terrestres.

- Calibración: Es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida.
- Combitubo: Es un dispositivo de doble lumen diseñado para su uso en vías aéreas dificultosas y en situaciones de emergencia.
- Compliancia: Es la distensibilidad (propiedad que permite el alargamiento o distensión de una estructura) pulmonar determinada por su cambio de volumen con la presión.
- Covid-19: Conocida como enfermedad por coronavirus, e incorrectamente, como neumonía por coronavirus, es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2.
- Diafragma: Tejido músculo tendinoso encargado de la respiración. Cuando se inhala, el diafragma se contrae y el espacio disponible en la cavidad torácica se agranda.
- Elasticidad: Propiedad de un cuerpo sólido para recuperar su forma cuando cesa la fuerza que la altera.
- Epidemia: Se produce cuando una enfermedad contagiosa se propaga rápidamente en una población determinada, afectando simultáneamente a un gran número de personas durante un periodo de tiempo concreto.
- Epidemiólogo: Científico que estudia los modelos, las causas y el control de las enfermedades en grupos de personas.
- Espirometría: Es la técnica de exploración de la función respiratoria que mide los flujos y los volúmenes respiratorios útiles para el diagnóstico y el seguimiento de patologías respiratorias.

- Histéresis: En fisiología respiratoria, se entiende por la diferencia de la distensibilidad del pulmón, en la fase de llenado, respecto a la fase de vaciamiento o deflación pulmonar.
- Hubei: Es una provincia sin litoral de China Central.
- Insuficiencia Respiratoria: Enfermedad en la cual disminuyen los valores de oxígeno en la sangre o aumentan los de dióxido de carbono en la sangre de forma peligrosa.
- Máscara Laríngea: Se utiliza para el manejo de la vía aérea en adultos y niños bajo anestesia general con el objetivo de evitar la intubación traqueal y su uso se ha extendido para fibrobroncoscopia bajo anestesia general.
- Microprocesador: Unidad central que ejecuta y gestiona las instrucciones lógicas que se le transmiten. Un microprocesador está diseñado para realizar operaciones aritméticas y lógicas que utilizan pequeñas áreas de retención de números llamadas registros.
- Neumonía: Inflamación de los pulmones, causada por la infección de un virus o una bacteria, que se caracteriza por la presencia de fiebre alta, escalofríos, dolor intenso en el costado afectado del tórax, tos y expectoración.
- Organización Mundial de la Salud (OMS): Es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención a nivel mundial en la salud.
- Pandemia: Enfermedad epidémica que se extiende a muchos países o que ataca a casi todos los individuos de una localidad o región.
- Periféricos: En informática, es la denominación genérica para designar al aparato o dispositivo auxiliar e independiente conectado a la unidad central de procesamiento de una computadora.
- PID: Es un controlador, es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El

controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa.

- Potenciómetro: Un potenciómetro es un resistor eléctrico con un valor de resistencia variable y generalmente ajustable manualmente.
- PWM: La modulación por ancho o de pulso (en inglés pulse width modulation PWM) es un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Esta acción tiene en cuenta la modificación del proceso de trabajo de una señal de tipo periódico.
- Respirador Ambú: Es un dispositivo manual para proporcionar ventilación con presión positiva para aquellos pacientes que no respiran o que no lo hacen adecuadamente.
- Síndrome de Distrés Respiratorio del Adulto: Insuficiencia respiratoria causada por diversas lesiones pulmonares agudas, que se caracteriza por edema pulmonar no cardiogénico, dificultad respiratoria (distrés) e hipoxemia.
- Supraglóticas: Espacio comprendido entre la entrada de la laringe y las cuerdas vocales superiores, con forma de embudo (más ancho por arriba que por debajo).
- Tensión Superficial: Fuerza ejercida en la superficie de un líquido que está en reposo, para contrarrestar el peso de un objeto ligero que se posa sobre él.
- Traqueotomía: Es un procedimiento quirúrgico para crear una abertura a través del cuello dentro de la tráquea. Casi siempre, se coloca una sonda a través de esta abertura para suministrar una vía respiratoria y retirar secreciones de los pulmones.
- Tubo Endotraqueal: Es un catéter que se inserta en la tráquea con el propósito de establecer y mantener una vía aérea permeable y para asegurar el adecuado intercambio de O₂ y CO₂.

- Ventilador Mecánica: Es una estrategia terapéutica que consiste en asistir mecánicamente la ventilación pulmonar espontánea cuando ésta es inexistente o ineficaz para la vida.
- Virus: Partícula de código genético, ADN o ARN, encapsulada en una vesícula de proteínas. Los virus no se pueden replicar por sí solos. Necesitan infectar células y usar los componentes de la célula huésped para hacer copias de sí mismos.
- Viscosidad: Es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.
- Volumen Pulmonar: Es la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones en una respiración normal. Su valor promedio es de 500 ml.
- Wuhan: Es la extensa capital de la provincia Hubei, en China central.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Una vez formulado el problema, delimitado sus objetivos y alcance, y establecidas sus bases teóricas, el marco metodológico de la investigación, define los aspectos relacionados al conjunto de métodos, procedimientos, instrumentos y técnicas utilizadas para el desarrollo y diseño de la investigación en función de los objetivos planteados. Es decir, la información de pasos detallados de cómo se realizará la investigación, lo que permitirá la obtención, clasificación y organización de la información necesaria para dar respuesta al problema planteado.

Al respecto, Balestrini (2006, p.125) define “el marco metodológico como la instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real”. Según Finol y Camacho (2008, p.60) el marco metodológico está referido al “como se realizará la investigación, muestra el tipo y diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, validez y confiabilidad y las técnicas para el análisis de datos”.

Para iniciar el marco metodológico se debe proceder a delimitar el camino a seguir para la obtención de los resultados, es por ello que primeramente se debe establecer el tipo de investigación donde estamos presente; nivel de la investigación, el cual se refiere al grado de profundidad y complejidad con el cual se desea abordar el estudio, para luego diseñar la investigación en el cual se describen los procedimientos o aspectos operativos de la misma, es decir cómo se desarrollará metodológicamente el estudio.

3.1. Tipo de la Investigación

Se estableció el planteamiento del problema y se definió el alcance de la investigación del presente proyecto de investigación basado en la modalidad de un proyecto factible.

Según Balestrini (2002, p. 9), define “los proyectos factibles son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer”.

Un proyecto factible o investigación proyectiva, de acuerdo a Hurtado (2008), consiste en:

La elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo. (p.47).

De todo lo antes mencionado se puede señalar que la investigación es un proyecto factible o proyectiva, por cuanto consiste en elaborar un Dispositivo Electrónico para el control de un Respirador Artificial con tecnología Arduino, para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo

3.2. Diseño de la investigación

La investigación presente, posee un diseño de proyecto factible, pues esto se debe a la elaboración de una propuesta viable, destinada a atender necesidades específicas a partir de un diagnóstico, arrojando la solución al problema o necesidad que se desea solventar en el Estado Carabobo con el control de un Respirador Artificial mediante un dispositivo electrónico con tecnología Arduino.

En la perspectiva que aquí se adopta, es documental, motivado a que, está basada en el análisis e interpretación de fuentes documentales de diversos autores. Según Palella, S., Martins, F., (2006, p.90) definen que “Se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos - escritos u orales - uno de, los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia”.

Por otra parte, citando a Arias, F. (2012, p.27) define “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.”.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado. Según Arias, F. (2012):

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p.31).

3.3. Nivel de la investigación

La presente investigación, es un modelo orientado hacia una investigación de carácter descriptiva, pues se ha de entender que, para realizar este tipo de investigación, hay que tomar en cuenta que en la propuesta de diseño se tiene que describir el análisis y los procesos que se involucrarán en el mismo, en este caso, en cuanto al diseño de un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con tecnología Arduino. Citando a Arias, F (2012):

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p.24).

De esta forma, el enfoque se ve reflejado en la investigación proyectiva, dando a conocer que la investigación se lleva a cabo mediante el desarrollo de una propuesta que de alguna u otra forma arroje la futura solvencia de la necesidad o problema, refiriéndose entonces en este caso al Diseño de un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con la utilización de Arduino para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19 en el Estado Carabobo. Según Hurtado, J (2010) la investigación proyectiva consiste en:

Diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de ingeniería, el diseño de maquinarias, el diseño de programas de estudio, los inventos, la elaboración de programas informáticos, entre otros, siempre que estén sustentados a la hora de una investigación y son ejemplos de investigación proyectiva. (p. 133).

3.4. Población y Muestra

Según Arias F. (2012) la población se describe como:

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. (p.81).

En el presente trabajo de investigación, la población en estudio se refleja en la fuente primaria que manejan y/o administran el Ministerio del Poder Popular para la Salud y el Ministro de Comunicación e Información de la República Bolivariana de Venezuela. Al principio de este trabajo de investigación el número de personas diagnosticadas con el COVID-19 eran de 4.185. A la fecha del 22 de junio de 2020, el ministro para la Comunicación e Información de la República Bolivariana de

Venezuela detalló que 2.278 pacientes infectados por el coronavirus están asintomáticos, 389 presentan insuficiencia respiratoria aguda leve, 13 tienen insuficiencia respiratoria aguda moderada y 6 están recluidos en Unidades de Cuidados Intensivos por su estado de gravedad.

A la fecha del 03 de octubre de 2020 por reporte del canal Venezolana de Televisión (VTV), detalla que 2.826 presentan insuficiencia respiratoria aguda leve, 1.201 tienen insuficiencia respiratoria aguda moderada, mientras que 215 están ingresados en unidades de cuidados intensivos por presentar una condición grave.

Nuestra población dejó de centrarse en las 408 personas que presentan insuficiencia respiratoria tanto leve como aguda moderada y grave el 22 de junio de 2020 a centrarse por ahora en las 4.242 personas que presentan insuficiencia respiratoria tanto leve como aguda moderada y grave, ya que este número con el paso de los días podrá seguir en aumento.

Según Arias, F. (2012, p.83), expresa que: “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. La muestra es todo aquel subconjunto considerado en una determinada población, a la cual se aplicará la posterior técnica de recolección de datos.

Por consiguiente, se da a entender que, la muestra de la investigación presente será considerada una muestra finita, en relación al total de casos por COVID-19 en el país, ya que, se limita a los 4.242 casos hasta los momentos diagnosticados con insuficiencia respiratoria producto del COVID-19 presente en el país.

3.5. Técnicas de recopilación de información

Es el medio por el cual el investigador facilita la recolección de datos, valiéndose del mismo para obtener la información necesaria. Según Arias, F. (2012, p.67) define: “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”.

De igual forma, la técnica de recolección de datos a usar será la observación, la cual es un método por el cual el investigador se vale para obtener, tal y como lo dice su nombre, la información directa del análisis que se desea desarrollar. Arias, F (2012, p.69) cita: “La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.”.

Una segunda técnica de recopilación de información es la revisión documental la cual para Hurtado (2008, p.427), “es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en si mismo constituyen los eventos de estudio”.

Otra técnica de recopilación de información a usar es la entrevista, la cual Arias, F (2012) cita:

La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. (p.73).

El presente trabajo de investigación se vale de la observación directa, de la revisión documental y de la entrevista, siendo la observación una observación simple o no participante que es la que se realiza cuando el investigador observa de manera neutral sin involucrarse en el medio o realidad en la que se realiza el estudio específicamente. La técnica de revisión documental consultando textos asociados a los sistemas de información bajo ambiente web, de igual forma, fue estudiada la gestión electrónica de documentos, con el fin de obtener una base de conocimiento.

Una entrevista se caracteriza por su profundidad, es decir, indaga de forma amplia en gran cantidad de aspectos y detalles, mientras que la encuesta oral, como se dijo anteriormente, aborda de forma muy precisa o superficial uno o muy pocos

aspectos. Basándose en el avance del contagio del COVID-19 como pandemia para la implementación de un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial para personas con insuficiencia respiratoria grave en los centros de salud en el Estado Carabobo.

3.6. Técnicas de procesamiento de información

Un instrumento sirve como recurso material que se relacionará con el individuo al cual se le hace el análisis. Para el autor Arias, F. (2012, p.68) “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.”.

Para el caso de la observación libre o no estructurada, Arias, F. (2012, p.70) dice: “Se emplean instrumentos tales como: diario de campo, libreta o cuaderno de notas, cámara fotográfica y cámara de video”.

En el caso de la observación directa, Arias, F. (2012, p.70) dice: “Para la observación estructurada, se utilizan instrumentos prediseñados tales como lista de cotejo, lista de frecuencias y escala de estimación.”.

Con la entrevista no estructurada, Arias, F. (2012, p.73) dice: “En esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permiten definir el tema de la entrevista.”.

La presente investigación, tiene como instrumento de recolección de datos una lista de cotejo, una entrevista no estructurada y una grabadora de audio, ya que con esta técnica podemos indicar la presencia o ausencia de un aspecto o conducta a ser observada en cuestión del uso actual que tienen los respiradores en los centros de salud de Estado Carabobo y de la bioseguridad que se necesite tener, para así evitar algún contacto con elementos potenciales que puedan llegar a contagiar personas, y así disminuir la propagación del COVID-19 en el Estado Carabobo.

3.7. Fases de la investigación

El proceso de investigación conlleva al establecimiento de etapas, fases, tareas e hitos que conduzcan al desarrollo sistemático de un conjunto de actividades orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados. La investigación se agrupa en cuatro (4) fases:

3.7.1. Fase I: Diagnóstico de la situación actual del uso de los respiradores artificiales para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los centros de salud del Estado Carabobo.

Se procederá a un diagnóstico de los respiradores artificiales en la actualidad en los centros de Salud del Estado Carabobo, con la cual, mediante dicha información obtenida de la situación actual del uso de los respiradores, se realizará la selección de los componentes para determinar la factibilidad de implementar un modo de operación adicional al proceso, para que sea posible su futuro desarrollo en el uso infantil.

Se evaluará la factibilidad del tipo de variación del flujo de aire para que sea posible su utilización, siempre y cuando beneficie no solo a los adultos si no a los posibles niños diagnosticados con el COVID-19.

De igual forma se evaluará las consecuencias positivas que trae consigo la aplicación de esta operación adicional para la variación del flujo de aire para el respirador tipo Ámbu a usar.

3.7.2. Fase II: Determinación de las variables de control para un respirador artificial para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19.

Se realizarán las evaluaciones y observaciones en las variables de interés, las cuales será estudio para la elaboración del control del respirador artificial por paciente

que se le esté aplicando los procesos de reanimación. Tomando lista de las características actuales de un servomotor para desarrollar su control de velocidad aplicado por paciente a tratar.

Se elaborará el código de programación en Arduino en base a las variables de interés y características del servomotor para lograr el control de operación sobre la velocidad en la manipulación del respirador tipo Ámbu, aplicado en pacientes tanto adultos como pediátricos (niños), para así evitar el cambio del tipo de respirador a usar y poder ser versátil en la atención hospitalaria en cada centro de salud destinados a albergar a los pacientes diagnosticados con el COVID-19 en el Estado Carabobo.

3.7.3. Fase III: Diseño de un dispositivo electrónico para el control de un respirador artificial con tecnología Arduino, albergado en los centros de salud del Estado Carabobo.

Mediante proceso de investigación mediante la web, tomando como referencias e información de los prototipos elaborados en países inmersos en esta pandemia mundial, establecer una estructura de diseño para un dispositivo electrónico de control sobre un respirador artificial tipo Ámbu en el cual abarque las Fases Metodológicas I y II.

Se propondrán el tipo de estructura del ensamble a utilizar teniendo en cuenta características favorables, que a su vez concuerden con la idea principal en cuanto a los modos de operación y el control de velocidad, presentando el prototipo por medio de los planos eléctricos, incluyendo planos de diseño en PCB.

3.7.4. Fase IV: Estudio de factibilidad técnica, operativa, económica, ambiental y social para la implementación de la propuesta.

Se realizará investigación mediante la web, tomando referencias de variaciones de velocidad de un servomotor con tecnología Arduino para determinar el sistema que mejor se adapte a las necesidades requeridas sobre las compresiones de la bolsa del

respirador tipo Ámbu, en el suministro de aire y oxígeno para la implementación en adultos y niños diagnosticados con insuficiencia respiratoria grave por COVID-19 albergados en los centros de salud del Estado Carabobo.

Se propondrá el tipo de código a utilizar con Arduino, teniendo en cuenta tanto el código para la variación de velocidad del servomotor y sus modos de operación, demostrando la factibilidad técnica que este pueda tener sobre los pacientes y centros de salud del Estado Carabobo, a su vez generar un rendimiento sobre su económica elaboración y gestión de operación, y el impacto ambiental y sobre todo social en cuanto a la implementación de la propuesta generada en este trabajo de investigación, para los centros de salud tanto públicos (Hospitales, CDI, Barrio Adentro, entre otros) y privados en el Estado Carabobo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo tiene por objeto plantear todos los parámetros y resultados relacionados con el diseño del Dispositivo Electrónico para el Control de un Respirador Artificial con Tecnología Arduino, para pacientes con insuficiencia respiratoria grave diagnosticados con el COVID-19, albergados en los Centros de Salud del Estado Carabobo, necesarios para la elaboración del trabajo de investigación.

4.1. Parámetro de Flujo de Aire

Para cada modo de operación, los parámetros más importantes son el volumen, la presión y la frecuencia. El volumen se lo puede medir de acuerdo al desplazamiento angular de la leva. Con un anemómetro digital se obtiene el valor de la velocidad del aire desplazado desde la bolsa de resucitación hacia el paciente. El caudal del aire se determina utilizando la definición de caudal en función del área y la velocidad:

—

Dónde Q representa el caudal en (m^3/s), V es la velocidad en (m/s) y d en (m) es el diámetro del conducto de salida del aire hacia la mascarilla. Las mediciones de velocidad se pueden realizar con 2 ángulos de desplazamiento, uno para cada modo de operación, la velocidad se podrá medir con 3 diferentes frecuencias en cada tipo de operación.

Para la presión se utilizó un sensor de tipo análogo, cuyo rango de operación es 15 a 115 (kPa). El sensor se conectará al conducto de salida de aire del resucitador manual.

Este sensor permite conocer el valor de la presión al momento de la inspiración. A este sensor se podrá conectar una alarma, la cual advertirá si el valor de la presión inspiratoria llega a ser igual a la presión máxima establecida para seguridad del usuario.

4.2. Transmisión de Torque a la Leva mediante el Eje

La función de transmisión del eje en el prototipo consiste en transmitir el torque del motor a la leva para producir un movimiento rotacional. Para realizar un diseño y análisis de esfuerzos sobre el eje se tomará en cuenta puntos críticos, los cuales pueden estar presentes en los cambios de diámetros, reduciendo la necesidad del análisis de tensiones en cada punto de la pieza (Budynas & Nisbett, 2006).

En el eje para el prototipo presentará un cambio de diámetro por lo que el análisis de esfuerzos se realiza en ese punto, el mismo puede estar ubicado a unos 2 cm medidos desde la sujeción del eje con el servomotor.

Los esfuerzos axiales pueden llegar a considerarse despreciables cuando los puntos críticos de un eje están sujetos mayormente a esfuerzos de flexión y de torsión, por lo que el análisis se puede realizar con los esfuerzos medios y de alternancia.

Como resultado de las cargas a las que es sometido el eje, la deformación es despreciable en la sección donde se obtiene el cambio de sección. Debido a la longitud del eje podemos decir que la deformación presente en la sección es irrelevante para obtener una falla.

4.3. Costo Aproximado del Prototipo

En la Tabla 3 se muestra detallado el costo de los posibles elementos a usar que intervienen en el ensamble del prototipo. Todos los elementos fueron obtenidos en el mercado nacional.

<i>Elemento</i>	<i>Precio</i>
	90,00 \$
	50,00 \$
	50,00 \$
	6,00 \$
	3,00 \$
	8,00 \$
	15,00 \$
	45,00 \$
	3,00 \$
	10,00 \$
	50,00 \$
	3,00 \$
	5,00 \$
Total	338,00 \$

Tabla 3. Detalle aproximado de costos de elementos del prototipo y costo total.

Fuente: Ruiz, Manuel (2020)

4.4. Respuesta del Equipo por Modo de Operación

4.4.1. Modo de Operación en Niños

El modo de operación para niños presentaría mayor estabilidad, con comportamiento de volumen corriente y frecuencia esperados. El equipo presentara un rendimiento más estable al ser energizado con corriente continua debido a que la fuente (batería) puede proveer mayor potencia y no existirán fluctuaciones en la entrada del sistema. Adicionalmente, se espera que se muestre mayores valores de presión al tener menor volumen corriente, comportamiento que concuerda con la relación de la Ley de

Gases ideal. Esta ley muestra que al incrementar la presión de un gas este presenta menor volumen.

4.4.2. Modo de Operación en Adultos

El modo de operación de adultos presentaría menor estabilidad al ser comparado con el modo de operación anterior. El volumen a obtener será bajo, tanto que para adultos se requiere un volumen corriente entre 500 a 800 (ml/ciclo) según Tabla 1. A pesar de que el recorrido de la leva para este modo de operación esté establecido con mayor ángulo comparado con la anterior forma de operación, la potencia proporcionada al motor no es suficiente para vencer la resistencia de la bolsa y completar el recorrido establecido. A pesar de tener un motor con un torque definido no se cuenta con los valores exactos de las propiedades mecánicas del material para concluir este punto. Como consecuencia, debido a la alta fuerza de restitución del material la leva realiza un recorrido más corto el cual no es suficiente para presionar completamente la cámara de aire y permitir que se expulse mayor cantidad de aire hacia el paciente. Asimismo, la posible presión medida en este modo podría ser pequeña, valor insuficiente para realizar una inspiración normal. Al igual que al modo de operación en niños, presenta mayor volumen corriente y estabilidad al ser energizado con la batería.

4.5. Conclusiones y Recomendaciones

Se desarrolló un prototipo de ventilador mecánico de ventilación no invasiva. Su fácil operación permite utilizar una bolsa de látex para simular un pulmón y realizar varias pruebas. El flujo de respiración puede ser controlado manualmente y se logró ampliar el rango de operación de un resucitador manual a dos modos de operación: niños y adultos.

Su funcionamiento autónomo con batería de Litio tiene una duración de 2 horas y 30 minutos al máximo de su desempeño. El peso total aproximado del prototipo debe de estar entre 3 y 4 Kg, resultando así un dispositivo de fácil manejo para el personal médico y de traslado tanto para los Centros de Salud públicos y privados como en las unidades de emergencias del Estado Carabobo. Consta también con una pequeña pantalla en la que se muestra las posibles opciones a usar, al elegir una opción se indica el modo de operación en el que se encuentra funcionando el equipo, la presión de inspiración, la frecuencia de respiración y el volumen corriente.

El prototipo presentara un desempeño estable al ser energizado con una fuente de corriente continua como es la batería Litio de 7,4V y 2A. Adicionalmente, el costo total del equipo llega a un aproximado de 338\$, el cual es bastante menor a los ventiladores mecánicos portables existentes en el mercado cuyo precio se encuentra a partir de los 1.000\$ dólares.

Entre las posibles mejoras al sistema se recomienda colocar un motor de mayor potencia que permita vencer con facilidad la resistencia de la bolsa y alcanzar el límite máximo de volumen al ejecutarse en modo adulto. Se recomienda también probar un mecanismo diferente con el que se consiga mayor presión en la bolsa para conseguir el flujo de aire óptimo para el funcionamiento del equipo en modo adulto.

Para cumplir con el requerimiento de controlar una presión de 32 cm de H₂O dentro del pulmón se recomienda desarrollar un sistema que permita proveer una ventilación invasiva. Además, se recomienda el uso de un sensor de presión de mayor estabilidad en medición con el fin de asegurar los valores medidos de presión tanto a la entrada como a la salida de los pulmones. Asimismo, se recomienda tomar en cuenta la humedad del aire que se provee al paciente, si el aire que se emite del respirador no es suficiente o es sobrecargado, puede causar molestias al usuario e incluso lesiones al sistema respiratorio.

En cuanto a los elementos del circuito eléctrico, se recomienda acoplar un sistema de ventilación eficiente para el servomotor y el circuito, debido a que la corriente que consume puede producir calentamiento de los elementos, pudiendo causar daños en los mismos. También se recomienda disponer de un adaptador que asegure la misma alimentación de energía al sistema que la de la batería utilizada.

Se recomienda también trabajar con distribuidores directos de equipos médicos que faciliten el rápido acceso a indumentaria de cuidados respiratorios, resultando un excelente recurso para el desarrollo del respirador. Utilizar equipos apropiados de medición incrementa la precisión y confiabilidad del prototipo a desarrollar. Finalmente, se recomienda colocar una señal de seguridad que indique el estado de la batería para advertir al usuario el tiempo restante de funcionamiento del equipo.

En la presente investigación se aplicó una Lista de Cotejo como técnica de procesamiento de información para determinar el estado en el cual la pandemia producto del COVID-19 afecta a los centros de salud del Estado Carabobo.

LISTA DE COTEJO			
COVID-19 EN CENTROS DE SALUD DEL ESTADO CARABOBO			
INDICADORES	SI	NO	OBSERVACION
¿Es alto el riesgo de contagio por COVID-19 en el Estado Carabobo?	X		Seguir los procedimientos de bioseguridad implementados por la OMS
¿Al implementar los métodos de bioseguridad se podrá disminuir los contagios?	X		
¿Actualmente el Estado Carabobo está en condiciones para sobrellevar el estado actual de los contagios de COVID-19 que aparecen con el paso de los días?		X	

¿Los centros de Salud en el Estado Carabobo están realizando las pruebas rápidas para verificar algún caso de COVID-19?	X		Solo a los que se les asignan cierta cantidad de pruebas rápidas PCR
¿En los Hospitales Centinelas asignados por el Estado Mayor existen algún tipo de respirador artificial para atender a los pacientes de COVID-19?	X		
¿Existe cantidad suficiente de respiradores artificiales para atender a los pacientes contagiados por COVID-19?		X	Solo cantidades limitadas en las salas de UCI
¿En los centros de salud del Estado Carabobo existe capacidad de camas clínicas para albergar y tratar a los pacientes contagiados por COVID-19?		X	
¿El personal de salud en los centros de salud está capacitado para dar tratamiento y seguimiento a las personas con contagio de COVID-19?		X	Tratamiento en estudio, aplicando mismo tratamiento para un resfrío normal
¿En los centros de salud cercanos a zonas rurales disponen de algún tipo de respiradores artificiales para cubrir cualquier tipo de emergencia?		X	
¿En el caso de vehículos de emergencias, el Estado Carabobo dispone las necesarias para cubrir múltiples emergencias en un corto periodo de tiempo?		X	Se tuvieron que fabricar unidades especiales para el traslado
¿Es recomendable permanecer una cuarentena segura en algún centro de Salud del Estado Carabobo?		X	Recomendablemente reposo absoluto en casa

4.6. Código de control Arduino

A continuación, se muestra el código en Arduino utilizado para programar el funcionamiento del Dispositivo Electrónico para el Control de un Respirador Artificial.

```

#include <Servo.h> //Librería de Servomotor.

#include <LiquidCrystal.h> //Librería Pantalla LCD.

Servo myservo; //Variable que corresponde a Servomotor.

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

int buttonState = 0; //Variable que lee el estado del pulsador.

//Variables para Volumen, Frecuencia, Presión y Posición del Servomotor//

int velocidad;

int frec = 0;

int vol = 0;

int volumen;

int pos = 0; //Variable de almacenamiento posición del Servomotor.

//Variables de presión//

float Pap, voltaje, lectura, Pfin;

int alarmapin = 13;

void setup()

{

//Inicialización de pulsadores//

pinMode(6, INPUT_PULLUP); //PULLUP resistencia interna y no una resistencia extra en el circuito
de cada pulsador.

pinMode(7, INPUT_PULLUP);

//Configurar impresión del mensaje en pantalla//

lcd.begin(16, 2); //Establecer num de filas y columnas//

lcd.print("MODO DE OPERACION:"); //Impresión en pantalla de modo de operación.

lcd.setCursor(0,1); //Ubicación del cursor para nueva impresión de mensaje.

lcd.print("A=1 N=2"); //Imprimir un mensaje a la pantalla LCD.

Serial.begin(9600); //Encendido impresión de monitor serial.

```

```

myservo.attach(9); //Conexión del Servomotor.

myservo.write(180); //Inicialización de posición Servomotor.

pinMode(alarmapin,OUTPUT); //Inicialización de Alarma.

}

void loop()

{

//Lectura de entradas activadas//

if(!digitalRead(6))buttonState = 1;

else if(!digitalRead(7))buttonState = 2;

else buttonState = buttonState;

Serial.println(buttonState); //Imprime en pantalla el estado del pulsador.

//MODO DE OPERACION ADULTO//

if (buttonState == 1)

{

velocidad = map(analogRead(5),0,1023,18,24); //Lee los valores del potenciómetro de Frecuencia.

volumen = map(analogRead(0),0,1023,100,180); //Lee los valores del potenciómetro de Volumen

(desplazamiento angular de leva).

frec = (-0.7*velocidad) + 34; //Regresión lineal que representa respiraciones por minuto en función de

velocidad de leva.

vol = (-1.2*frec) + 80; //Regresión lineal que representa flujo de aire en función de recorrido angular de

leva.

lcd.clear();

lcd.print("ADULTO"); //Impresión en pantalla de modo de operación.

lectura = analogRead(2); //Lee Puerto Análogo 2 conectado a Sensor de Presión.

voltaje = ((lectura*5)/1024); //Lee presión y transforma los valores de voltaje entre 0 y 1024 a valores

entre 0 y 5.

Pap = voltaje-2.5; //Valor de presión medidos en [H2O].

```

```

Pfin = Pap*2.5; //Valor de presión medido en [cm H2O].

if (Pap >= 2) //Condición para encender alarma cuando presión alcanza 2 [H2O].
{
digitalWrite(alarmapin,HIGH);
}
else
if (Pap <= 2) //Condición para mantener apagada la alarma cuando la presión es menor a 2 [H2O].
{
digitalWrite(alarmapin,LOW);
}

//Movimiento angular de la leva que controlada por movimiento angular al Servomotor//

for (pos = 100; pos < volumen; pos += 1) //Servomotor se mueve de 100 a 180 grados en pasos de 1
grado.
{
myservo.write(pos); //Enviar a servomotor la posición guardada en la variable "pos".
delay(velocidad); //Tiempo movimiento de servomotor de 100 a 180 grados.
lcd.setCursor(9,0); //Asignar una posición para imprimir.
lcd.print("F: ");
lcd.print(frec); //Imprimir valor de variable "frec".
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("P: ");
lcd.print(Pfin); //Imprimir valor de variable "Pfin".
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("V: ");
lcd.print(vol); //Imprimir valor de variable "vol".
}

for (pos = volumen; pos >= 100; pos -= 1) //Servomotor se mueve de 180 a 100 grados en pasos de 1
grado.
{

```

```

myservo.write(pos);

delay(velocidad); //Tiempo movimiento de servomotor de 100 a 180 grados.
}
}

//MODO DE OPERACION NINO//
if (buttonState == 2)
{
velocidad = map(analogRead(5),0,1023,18,24);
volumen = map(analogRead(0),0,1023,125,180);
frec = (-1.3*velocidad) + 55;
vol = (-6.5*frec) + 551;

lcd.clear();

lcd.print("NINO");

lectura = analogRead(2);
voltaje = ((lectura*5)/1024);

Pap = voltaje-2.5;
Pfin = Pap*2.5;

if (Pap >= 2)
{
digitalWrite(alarmapin,HIGH);
}
else
if (Pap <= 2)
{
digitalWrite(alarmapin,LOW);
}

for (pos = 125; pos < volumen; pos += 1)

```

```
{  
myservo.write(pos);  
delay(velocidad);  
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print("F: ");  
lcd.print(frec);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("P: ");  
lcd.print(Pfin);  
lcd.setCursor(9,1);  
lcd.print("V: ");  
lcd.print(vol);  
}  
for (pos = volumen; pos >= 125; pos -= 1)  
{  
myservo.write(pos);  
delay(velocidad);  
}  
}  
}
```

REFERENCIAS

Bibliográficas:

- Arias, F. (2012). “El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica”. 6ª Edición. Caracas, Editorial Episteme.
- <http://ultimasnoticias.com.ve/noticias/mas-vida/venezuela-reporta-130-nuevos-casos-por-covid-19-y-2-nuevos-fallecidos/>
- <https://retopaisvenezuela.org/profesionales-del-pais-desarrollan-el-primer-respirador-artificial-venezolano/>
- <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52060716>
- <https://www.msmanuals.cn/es/hogar/trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/insuficiencia-respiratoria-y-s%C3%ADndrome-de-dificultad-respiratoria-aguda/ventilaci%C3%B3n-mec%C3%A1nica>
- <https://gk.city/2020/04/13/respiradores-artificiales-coronavirus/>
- <https://www.vtv.gob.ve/un-total-de-23-762-camas-hospitalarias-y-1-213-camas-para-cuidados-intensivos-activas-en-venezuela/>
- <https://www.vtv.gob.ve/venezuela-casos-covid-03102020-2/>
- <https://covid19.patria.org.ve/>
- https://www.lespanol.com/omicron/20200312/funciona-respirador-artificial-clave-uci-coronavirus/474203015_0.html
- <https://www.ortopediasilvio.com/blog/que-es-y-como-funciona-un-respirador-artificial/>
- http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172011000200006
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vol%C3%BAmenes_pulmonares_est%C3%A1ticos.png
- <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2163§ionid=162711645>

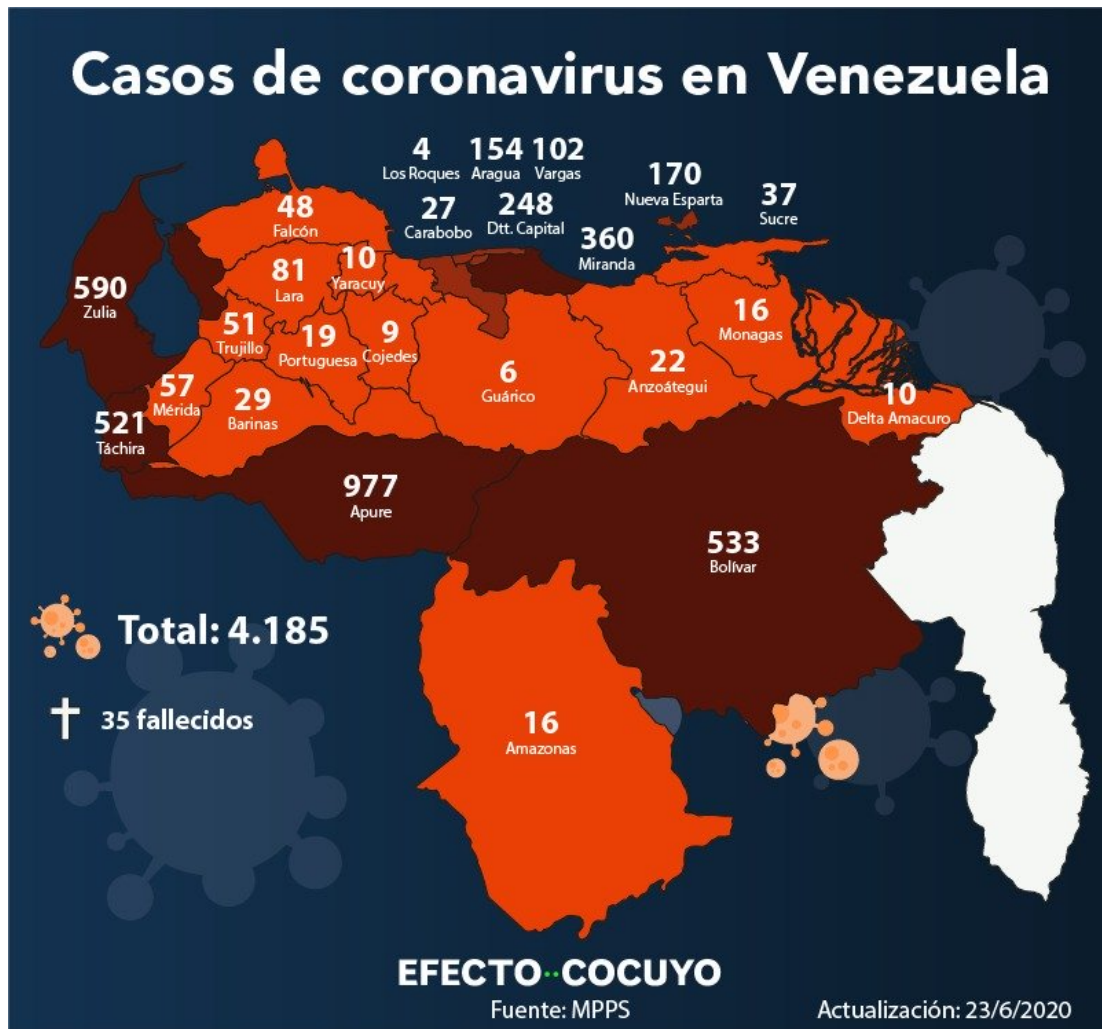
- <https://universoabierto.org/2020/02/17/que-es-y-para-que-sirve-arduino/>
- <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>

Audiovisuales:

- <https://www.instagram.com/p/CBzFtUaJq-O/>

ANEXOS

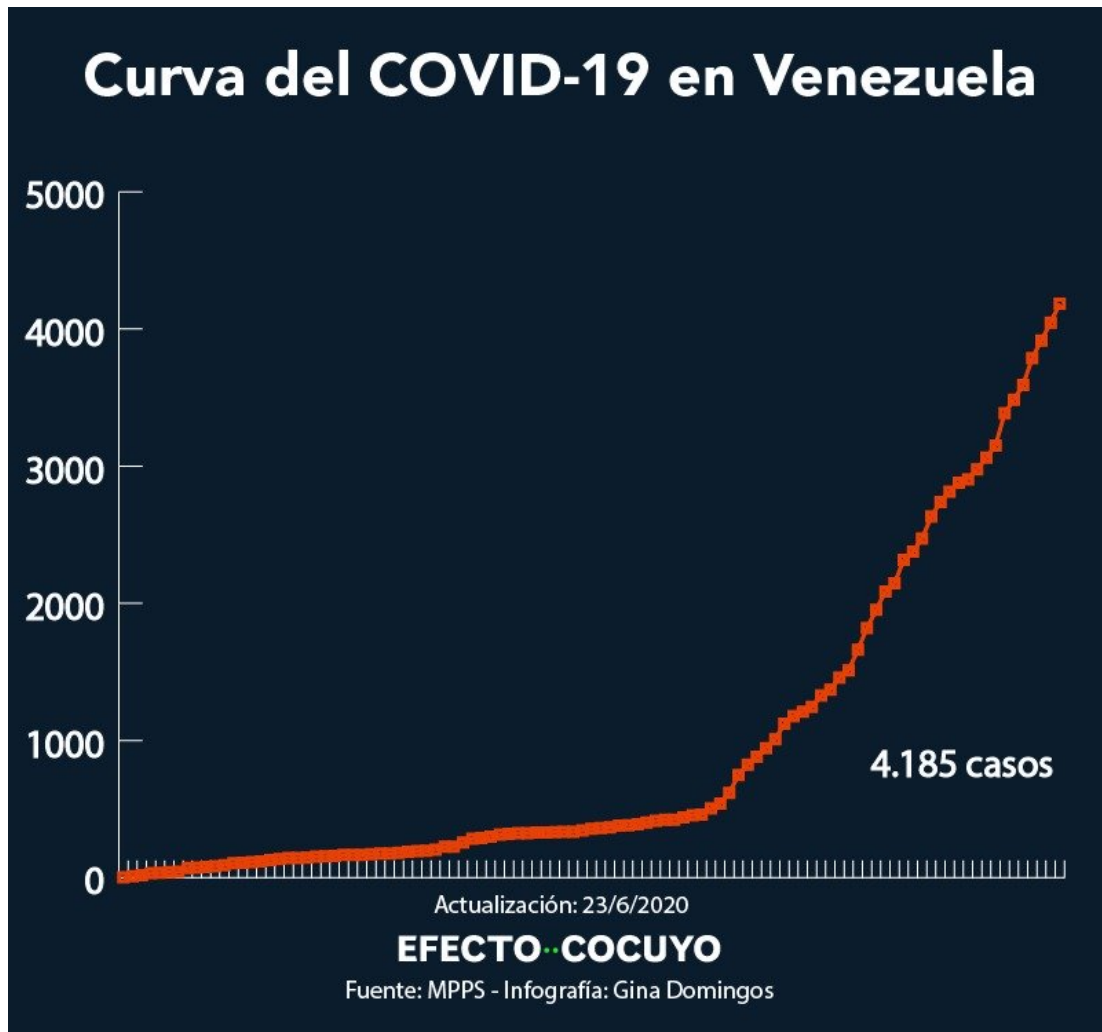
A. Casos por COVID-19 al 23 de junio 2020



*En la presente figura se observa una inconsistencia de 88 casos sin especificar.

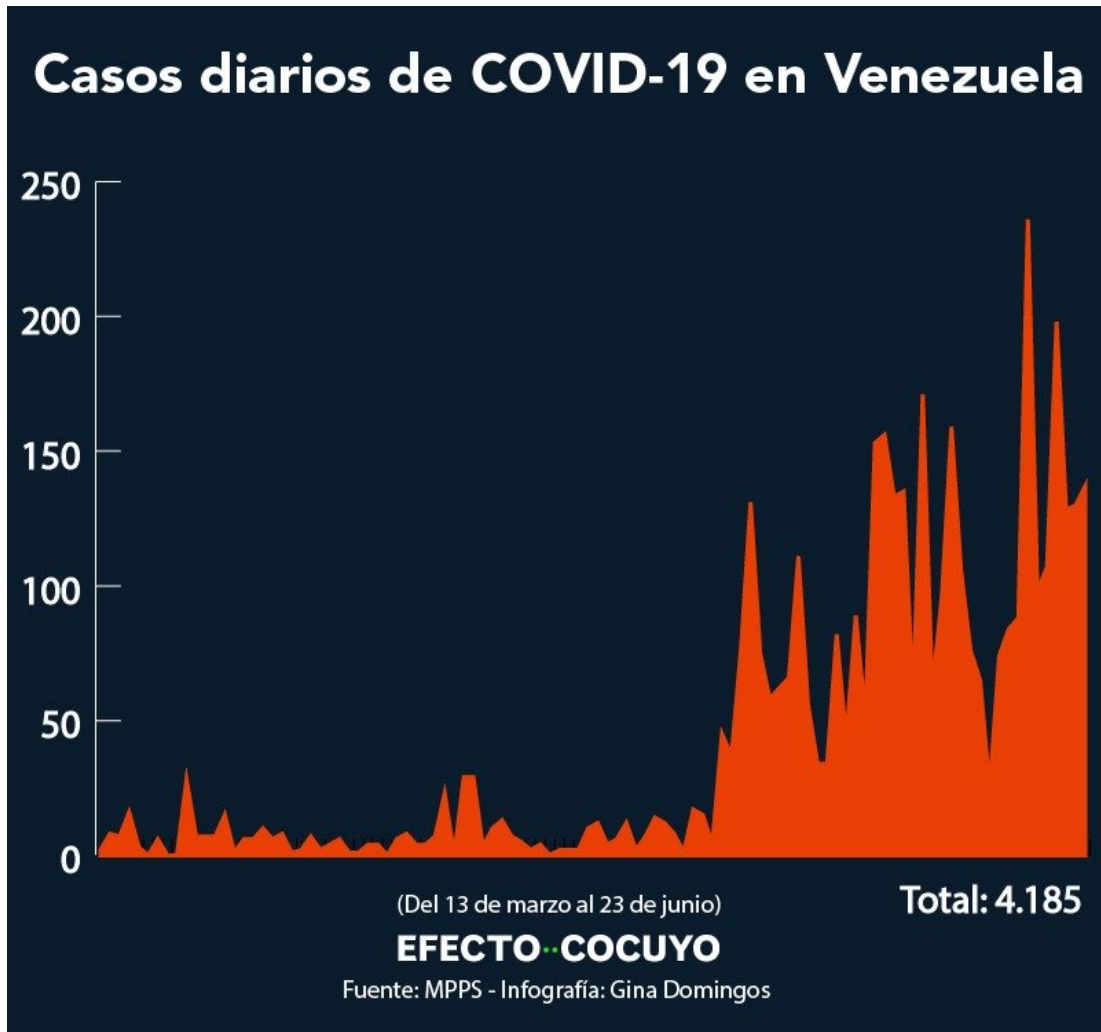
Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

B. Curva ascendente COVID-19 al 23 de junio 2020



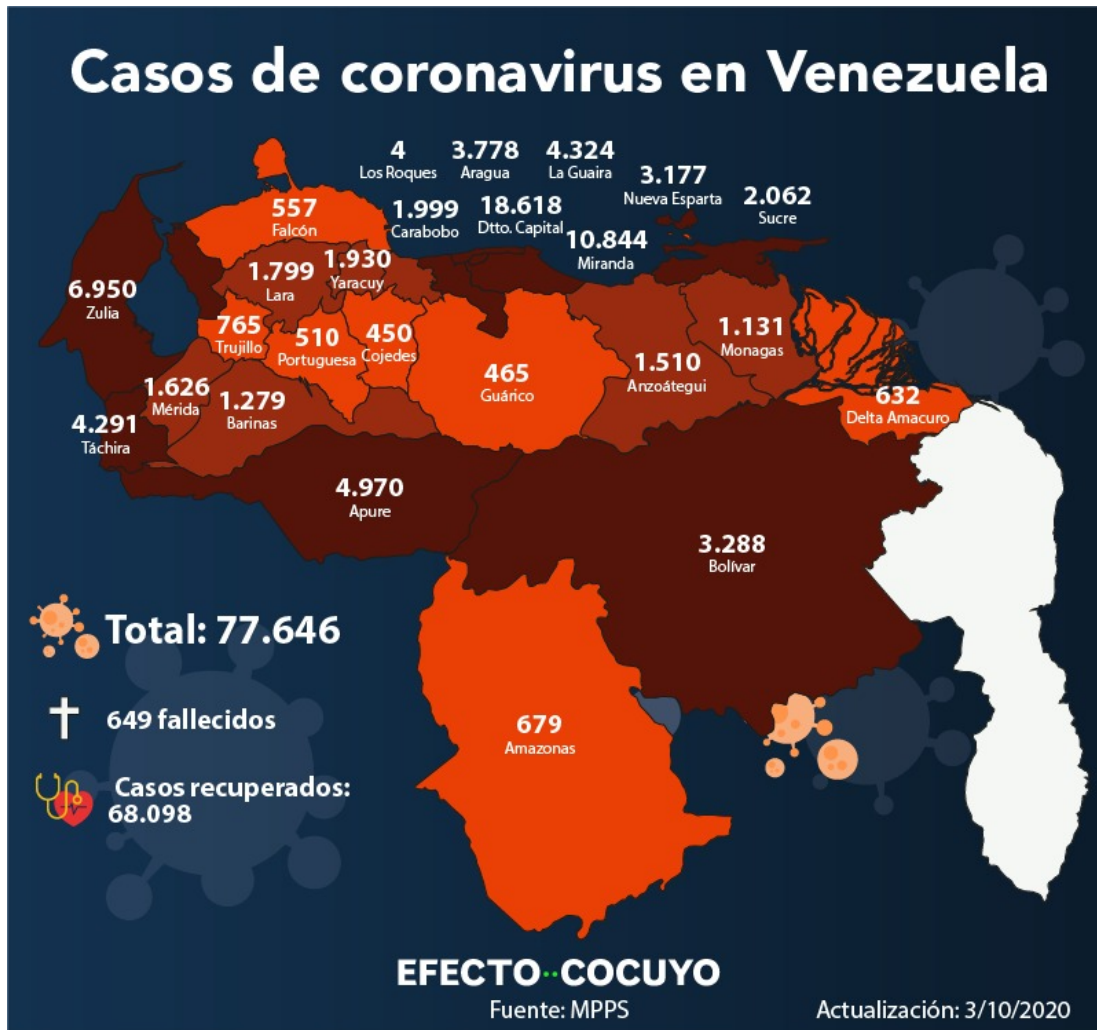
Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

C. Curva diaria de COVID-19 al 23 de junio 2020



Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

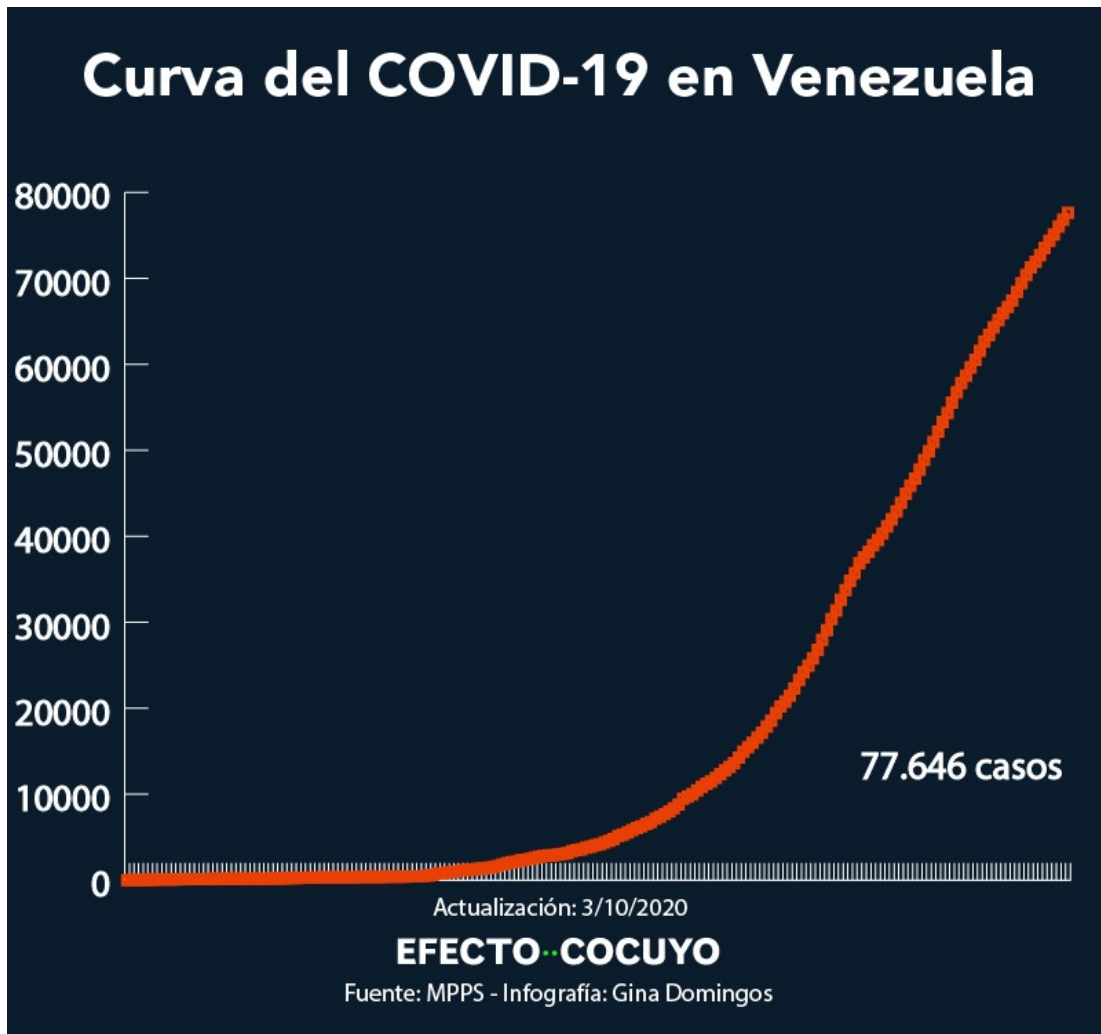
D. Casos por COVID-19 al 03 de octubre 2020



*En la presente figura se observa una inconsistencia de 8 casos sin especificar.

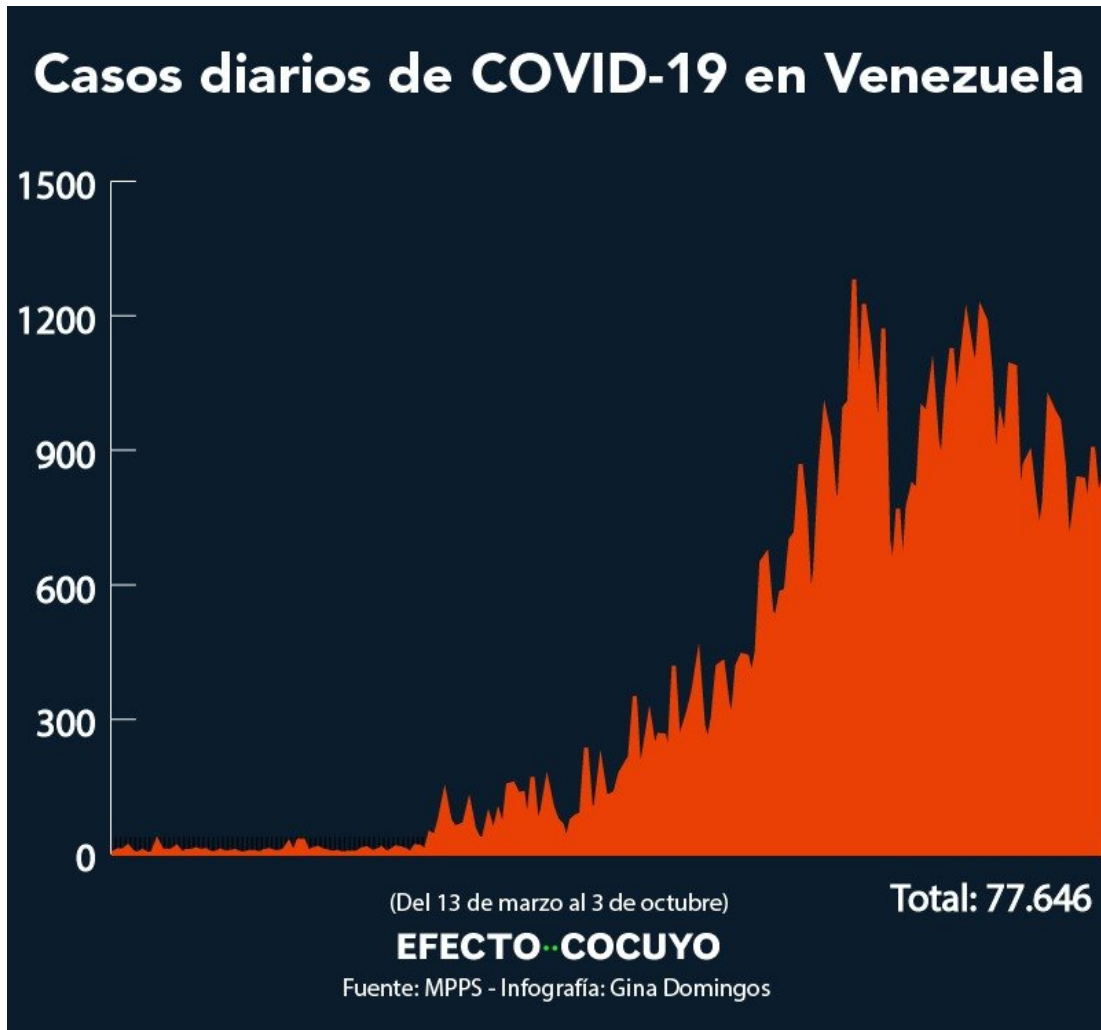
Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

E. Curva ascendente COVID-19 al 03 de octubre 2020



Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

F. Curva diaria de COVID-19 al 03 de octubre 2020



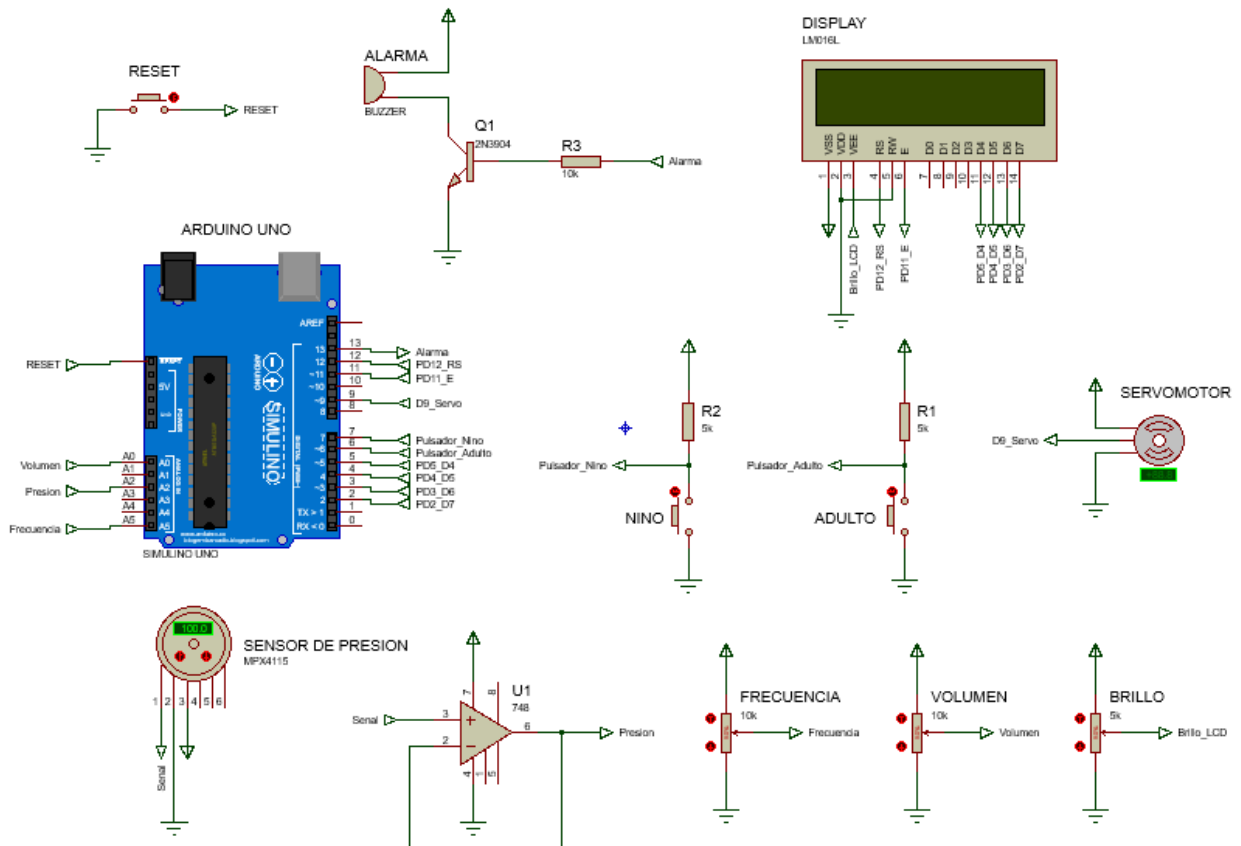
Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Salud

G. Informe Gobernador del Estado Carabobo del 23 de junio de 2020



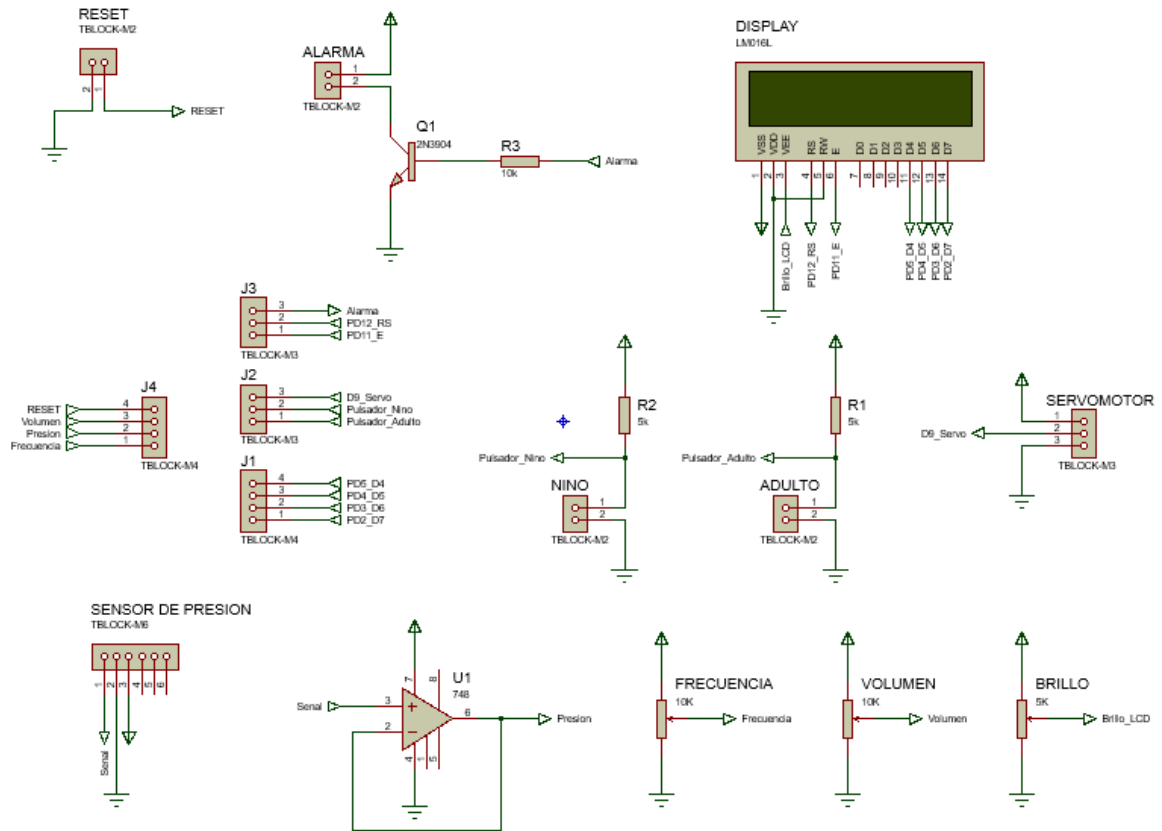
Fuente: Cuenta Instagram @lacava10oficial

H. Esquema del Circuito Electrónico para el Control de un Respirador Artificial



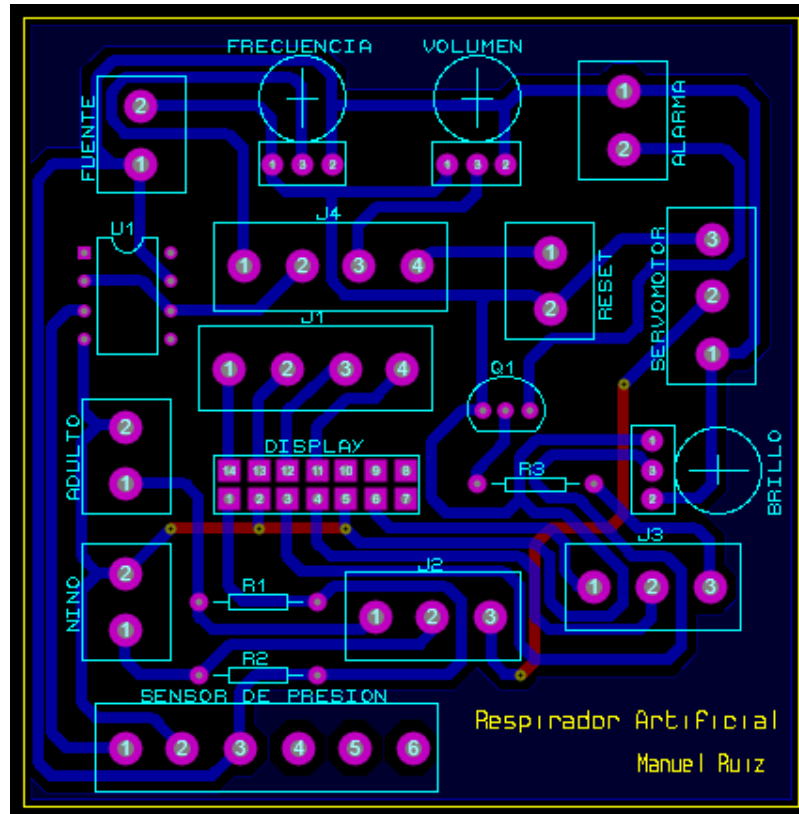
Fuente: Ruiz, Manuel (2020)

I. Esquema de conexiones del Circuito Electrónico



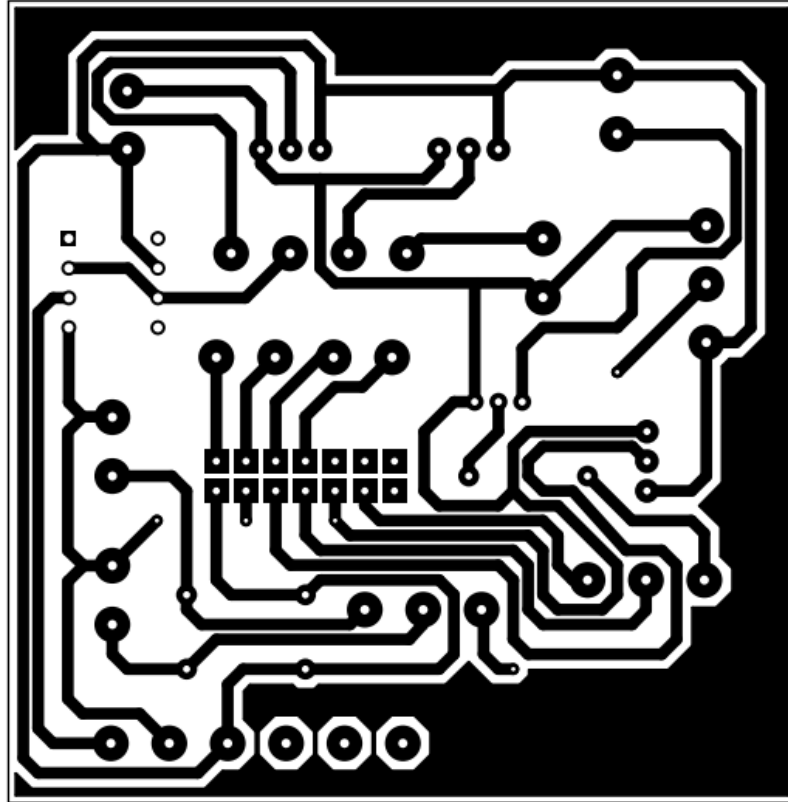
Fuente: Ruiz, Manuel (2020)

J. Esquema de placa base del Circuito Electrónico



Fuente: Ruiz, Manuel (2020)

K. Esquema de placa base del Circuito Electrónico en PCB



Fuente: Ruiz, Manuel (2020)