

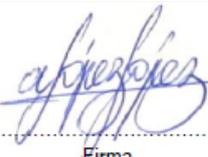
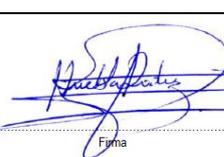


## 1. DATOS GENERALES

|   |   |  |   |   |
|---|---|--|---|---|
| <b>Nombre o Título del proyecto (Español):</b><br>Respiradores Mecánicos. Ingeniería inversa de un respirador comercial y desarrollo de un respirador mecánico de bajo costo.       |   |  |   |   |
| <b>Nombre o Título del proyecto (Inglés):</b><br><i>Mechanical Respirators. Reverse engineering of a commercial respirator and development of a low cost mechanical respirator.</i> |   |  |   |   |
| <b>Nombre del Departamento/<br/>Centro Responsable:</b><br><i>Elija un elemento.</i><br>DECEM, DECE, DCM  |   | <b>Carrera:</b><br><i>(Si la carrera no se encuentra en el listado por favor agregue)</i><br>Ingeniería Mecánica |   | <b>Programa de Postgrado:</b><br><i>Elija un elemento.</i>            |
| <b>No. Convocatoria</b><br><br>CONVOCATORIA A PRESENTAR PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA CRISIS SANITARIA 2020    |   |  | <b>Nombre del Programa (Dominios Académicos)</b><br><i>Elija un elemento.</i> |   |
| <b>Línea de Investigación:</b><br><i>ENERGÍA Y TERMO FLUIDOS</i>  |   |  | <b>Grupo de Investigación Asociado:</b><br>Energomat                          |   |
| <b>Tipo de Investigación:</b><br><i>Investigación Aplicada</i>  |   | <b>Disciplina Científica:</b><br><i>Ingeniería y Tecnología</i>  |   | <b>Objetivo Socio Económico:</b><br>Salud                             |
| <b>COBERTURA Y LOCALIZACIÓN</b>   |   |  |   |   |
| <b>Internacional</b><br><input checked="" type="checkbox"/>   | <b>Nacional</b><br><input type="checkbox"/> | <b>Provincial</b><br><input type="checkbox"/>  | <b>Cantonal</b><br><input type="checkbox"/>                                   | <b>Parroquial</b><br><input type="checkbox"/>                         |
| <b>Provincia</b><br>Pichincha   |   | <b>Cantón</b><br>Rumiñahui   |   | <b>Parroquia</b><br>Sangolquí.  |
| <b>Objetivos del Plan de Desarrollo Nacional Toda una Vida.</b>   |   |  |   |   |
| <b>Objetivos</b><br><i>NO APLICA</i><br><b>Políticas</b><br><i>NO APLICA</i>  |   |  |   |   |
| <b>Área de Conocimiento:</b>  |   |  |   |   |
| <b>ESPE</b><br>Energía  |   | <b>Área de Conocimiento Unesco</b><br>Ciencias tecnológicas  |   | <b>Sub área de Conocimiento Unesco:</b><br>3313.15 Diseño de Máquinas |
| <b>Campo Amplio</b><br>Ingeniería, Industria y Construcción   |   | <b>Campo Específico</b><br>Fabricación y procesos  |   | <b>Campo Detallado</b><br>Electrónica y automatización                |
| <b>INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO</b>  |   |  |   |   |





|  |            |                             |       |   |   |
|--|------------|-----------------------------|-------|---|---|
| Asesor de Investigación                | 1712575826 | Xavier Sánchez              | DECEM | 099577159<br>xrsanchez@espe.edu.ec        | <br>Firma  |
| Asesor de Investigación                | 1802644854 | Pullas Tapia Gonzalo Javier | DCM   | 0998443873<br>gjpullas@espe.edu.ec        | <br>Gonzalo Pullas Tapia                           |
| Asesor de Investigación                | 1714570791 | Luis Jiménez                | DECEM | 0995474992<br>lojimenez@espe.edu.ec       | <br>Firma  |
| Asesor de Investigación                | 0603247362 | Hernán Lara                 | DECEM | 023989400 ext. 1809<br>hvlara@espe.edu.ec | <br>Hernán Vinicio Lara Padilla<br>CC: 0603247362 |
| Asesor de Investigación                | 1600687733 | Andrea López                | DECEM | 0986686331<br>amlopez13@espe.edu.ec       | <br>Firma  |
| Asesor de Investigación                | 1706875604 | Germán Huebla               | DECEM | 0984581931<br>gphuebla@espe.edu.ec        | <br>Firma  |
| Asesor de Investigación                | 1714432679 | Pinto Segundo Nicolás       | SICTE | snpinto@espe.edu.ec<br>0995124024         |    |
| Asesor de Investigación                | 1002403200 | Escobar Luis Fernando       | DECEM | lfescobar@espe.edu.ec<br>0987136601       | <br>Firma  |
| Ayudante de Investigación (estudiante) | 1003054044 | Kathy Méndez                | DECEM | 0978949297<br>kgmndezs@espe.edu.ec        |   |
| Ayudante de                            | 1718483710 | Loarte Bryan                | DCEE  | 0995047595                                |   |



|  |            |                       |       |  |  |
|--|------------|-----------------------|-------|--|--|
| Investigación (estudiante)             |            | Francisco             |       | bfloarte@espe.edu.ec                   |  |
| Ayudante de Investigación (estudiante) | 1717825903 | JorgeRodríguez Solano | DECEM | jdrodriguez5@espe.edu.ec<br>0986908344 |  |
| Ayudante de Investigación (estudiante) | 1726635970 | Cristhian Luj Padilla | DECEM | ciluje@espe.edu.ec<br>0982507986       |  |

**CONSIDERACIONES DE GÉNERO Y CONOCIMIENTO ANCESTRAL**

N/A

**CONSECUENCIAS NO INTENCIONALES**

N/A

**2. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMA**

**2.1 Descripción de la situación actual del tema a investigar:**

Cuando la actual pandemia causada por el virus SARS-COV19 fue inminente en la ciudad de Quito, varios de los autores de este proyecto, representantes de distintos departamentos de la ESPE, entre ellos DECE, DECEM, SICTE, entre otros, unieron esfuerzos para identificar sus posibles consecuencias y problemas, y así proponer soluciones a la sociedad para mitigar sus consecuencias. Una de dichas ideas fue el desarrollar respiradores mecánicos, máquinas cuyo uso también resultaba inminente. Un ventilador mecánico es un dispositivo automático cuyo propósito es ayudar a la ventilación o la respiración humana (1), es decir, mover el gas hacia adentro y hacia afuera de los pulmones.

Es conocido que un paciente afectado por la enfermedad respiratoria COVID19 puede llegar a desarrollar el síndrome de deficiencia respiratoria (SARS), para el cual no existe una cura directa (2). En este caso, aparte de tratamientos experimentales (3) los médicos sólo pueden ofrecer al paciente tratamientos paliativos, siendo el uso de respiradores mecánicos el último recurso o tratamiento para alargar la vida del paciente, de tal manera que su sistema inmune tenga el tiempo necesario y pueda eliminar el SARS-COV19 del cuerpo (4).

En la actual situación en el Ecuador, especialmente en la provincia de Pichincha y su capital, Quito, en donde se reporta en la prensa que los hospitales están saturados de pacientes con problemas graves de Covid19 (5), es inminente - se podría decir urgente - la necesidad de ayuda técnica en hospitales, tanto públicos como privados.

Los ventiladores mecánicos industriales o profesionales, son aparatos muy costosos por todo lo que dicha tecnología implica: electrónica, mecánica, física médica, seguridad, testeo, aprobación, etc (6). El precio de uno de estos aparatos en el mercado ecuatoriano puede llegar a bordear los 100000 USD y por lo tanto son aparatos muy escasos en las unidades de cuidados intensivos en los hospitales ecuatorianos(7,8).

Como respuesta a dicha problemática, muchas universidades emblemáticas y empresas del mundo han desarrollado prototipos de respiradores mecánicos. Detalles de dichos modelos han sido liberados bajo licencia de código abierto y resultan ser de muy bajo costo - el abaratamiento de costos llega a aproximadamente dos órdenes de magnitud comparado con uno profesional (9).

Nuestro grupo propone, y lo ha propuesto desde el inicio de la pandemia, la investigación de dichos equipos en cuanto a calidad, seguridad y posibilidad de manufacturación local para su uso en hospitales ecuatorianos que así lo requieran. Hasta el momento, nuestra iniciativa se ha visto truncada por falta de financiamiento.



## 2.2 Identificación, descripción y diagnóstico del problema

**Identificación del problema:** En los hospitales públicos ecuatorianos se observa la falta de respiradores mecánicos para asistir a los pacientes afectados por el COVID19 (1).

**Descripción del problema:** Los respiradores mecánicos disponibles en el mercado ecuatoriano oscilan entre 20 y 100 k\$, por lo que es imposible que el estado ecuatoriano pueda financiar el número total de respiradores que sería necesario en nuestros hospitales actualmente. A pesar de que se siga recibiendo donaciones de entidades extranjeras, estas resultan insuficientes en la situación actual (2).

**Diagnóstico del problema:** Se necesita desarrollar respiradores mecánicos de bajo costo, con los mínimos estándares de seguridad y de propia manufactura para abaratar costos de desarrollo y producción local y así poder proveer de suficientes respiradores a las distintas casas de salud que así lo requieran.

## 2.3 Línea Base del proyecto *(debe contener indicadores cuantificados, que permitirán medir el impacto del proyecto, y servirá para la construcción de metas e indicadores del mismo)*

Al realizar el estudio bibliográfico pudimos identificar las necesidades mecánicas y de control de un respirador mecánico, tomando en cuenta que este tipo de equipos deben ser producidos de una manera efectiva, eficaz, segura y de bajo costo en nuestro país.

Nuestra estrategia consiste en desarrollar paralelamente prototipos de dos soluciones complementarias: la primera es el uso de ingeniería inversa de un respirador profesional y segundo, el desarrollo de modelos de código abierto ya probados en otros países.

### *Modelos de código abierto*

En esta estrategia, nuestra línea base consiste en investigar, entender, adaptar, desarrollar y manufacturar en la ESPE modelos de respiradores de código abierto. Para esto hemos evaluado distintos modelos cuyos diseños han venido siendo liberados por distintas universidades o empresas alrededor del mundo a lo largo de esta pandemia. Por varios motivos técnicos (explicados en la sección de metodología) decidimos re-diseñar el modelo del Massachusetts Institute of Technology (MIT) e investigar su fiabilidad en cuanto a manufactura y seguridad.

### *Ingeniería inversa de un respirador profesional.*

Para poder entender el funcionamiento tecnológico y técnico de los respiradores mecánicos industriales, estamos realizando ingeniería inversa de varios modelos de respiradores (1. marca patito, marca chikito, marca feo) que nos fueron otorgados por medio del hospital militar. Para esto se usaron respiradores artificiales que habían sido dados de baja por el personal técnico del hospital por avería grave del aparato.

Puntos pendientes:

- Se logró controlar los elementos mecánicos de un respirador dado de baja por el hospital militar utilizando un PLC del laboratorio de Mecatrónica.
- Se realizaron estudios y análisis del sistema de control por caudal o presión.
- Se estudiaron los elementos mecánicos como válvulas de presión y se propusieron diseños.

\* Adjuntar : Página Legal

## Identificación y caracterización de la población objetivo (beneficiarios y participantes)

| Número Directos Hombres: | Número Directos Mujeres: | Total Número Directos: | Total Número Indirectos: | Personas con capacidades especiales: |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 20.000.00 aprox          | 18.000.00 aprox          | 38.000.00 aprox        | 100.000.00 aprox         |                                      |



|   |   |   |
|---|---|---|
| Número de docentes participantes:<br>11   | Docentes participantes hombres:<br>10   | Docentes participantes mujeres:<br>1    |
| Número de estudiantes participantes:<br>4   | Estudiantes participantes hombres:<br>3 | Estudiantes participantes mujeres:<br>1 |
| Factores críticos de éxito: Matriz de riesgo  |   |   |
| <b>Restricciones/Supuestos:</b><br>En el contexto de la pandemia resulta imposible hacer un estimado del número de beneficiarios de nuestro proyecto. Por otra parte, nuestro objetivo es desarrollar respiradores fácilmente escalables en la industria local, por lo tanto, el número de beneficiarios depende directamente de la necesidad hospitalaria. Por último, así se logre salvar una sola vida, o dar un respiro más a un solo convaleciente, pues un beneficiario sería número suficiente para financiar este proyecto. |   |   |

### 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO *(Matriz de Marco Lógico)*

|   | Indicador   | Medio de Verificación/Entregables                        | Supuestos   |
|---|---|--|---|
| Fin:<br>Construcción de un respirador de bajo costo y un respirador basado en la ingeniería inversa de un respirador comercial  | Respiradores mecánicos  | Respiradores funcionando                                 | No hubo financiamiento parcial o total  |
| Propósito (objetivo general):   | Construir dos respiradores mecánicos para ser evaluados en pulmones artificiales. | Documento de la evaluación en los pulmones artificiales. | Falta de financiamiento.  |
| Componente 1 (objetivo específico 1):<br><br>Adquisición de componentes mecánicos y electrónicos<br><br>Actividades:<br>1.1 Adquirir componentes mecánicos y electrónicos | Componentes mecánicos y electrónicos entregados                                   | Componentes recibidos en el laboratorio de Reología      | No se entregan los componentes  |
| Componente 2 (objetivo específico 2):<br><br>Ensamble del equipo<br><br>Actividades:<br>2.1 Construcción de los respiradores  | Elementos mecánicos de los respiradores funcionando                               | Informe  | No se pueden construir los elementos por limitaciones de logística debido a la pandemia |



|   |   |                |  |
|---|---|----------------|--|
| <p><b>Componente 3 (objetivo específico 3 ):</b></p> <p>Control de funcionamiento de los equipos</p> <p>Actividades:<br/>3.1 Desarrollo del control de los respiradores</p> | <p>Desarrollo del programa de control</p>   | <p>Informe</p> | <p>No se cuenta con los permisos del software solicitado para el proyecto.</p>                       |
| <p><b>Componente 4 (objetivo específico 4 ):</b></p> <p>Pruebas técnicas de control y estabilidad mecánica del equipo.</p> <p>4.1 Desarrollo de las pruebas de control.</p> | <p>Verificación de las pruebas técnicas</p> | <p>Informe</p> | <p>No se dispone de los dispositivos para realizar la medición de las variables necesarias.</p>      |
| <p><b>Componente 5 (objetivo específico 5 ):</b></p> <p>Pruebas técnicas en pulmón artificial</p> <p>5.1 Desarrollo de las pruebas de control en pulmón artificial.</p>     | <p>Verificación de las pruebas técnicas</p> | <p>Informe</p> | <p>La entidad que dispone de los pulmones artificiales no permite la realización de las pruebas.</p> |

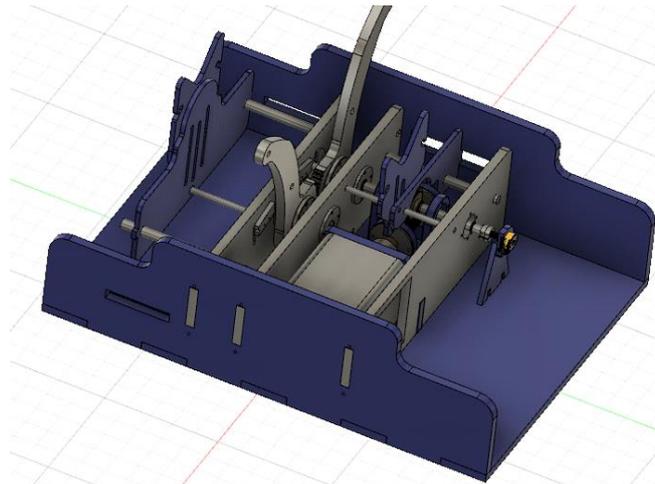
| Detalle de entregables del proyecto   |                            |             |  |                                 |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------|--|---------------------------------|
| Bienes                                | Dos respiradores mecánicos |             |  |                                 |
| Servicios                             |                            |             |  |                                 |
| Detalle de adquisiciones del proyecto |                            |             |  |                                 |
| Descripción                           | % Nacional                 | % Importado | Detalle insumo nacional                            | Detalle insumo importado        |
| Bienes<br>Respiradores mecánicos      | 60                         | 40          | Soportes mecánicos, válvulas, mangueras y acoples. | Controladores, servo, sensores. |
| Servicios                             |                            |             |  |                                 |
| Categorización del Proyecto           |                            |             |  |                                 |
| Indispensable<br>XXX                  | Necesario                  |             | Deseable   | Admisible                       |

## 4. METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN (Diseño del Estudio: Detallar diseño experimental, tipo de análisis estadístico, otros)

### 4.1 Respirador basado en bolsa auto inflable

Como se explicó anteriormente, el modelo presentado en este proyecto está basado en el modelo liberado por el MIT bajo código abierto. Inicialmente se realizó un estudio del diseño mecánico y los análisis presentados por el MIT para realizar las modificaciones y adecuaciones a los materiales e implementos mayormente disponibles en el mercado ecuatoriano.

#### Diseño mecánico



El primer cambio realizado fue el cambio de unidades de medida inglesas a medidas estándar métricas. Con las mismas definidas, se procedió a un redimensionamiento y rediseño de la estructura conforme se acople a las siguientes consideraciones:

- Soportes para Ambu (bolsa auto inflable): Los soportes se diseñaron de tal forma que puedan desplazarse forma longitudinal y vertical a fin de que puedan sujetar ambus de diferente medida en la posición central de los brazos de aplastamiento.
- Re-ubicación del motor 90°: Se reubico el motor a una posición 90° de su posición original debido a la transmisión sin fin- corona, lo que requirió una reestructuración del diseño para ubicar el motor en la posición adecuada conforme se acople de forma concéntrica con el tornillo sin fin y proporciona el torque a la transmisión.
- Ubicación componentes electrónicos de medición: Se realizaron adecuaciones a la estructura para la instalación de componentes electrónicos a fin de controlar el giro de los brazos de aplastamiento y la velocidad de giro del motor.
- Concentricidad y soportes para ejes de transmisión: La reestructuración se diseñó a fin de soportar cargas axiales en el eje de transmisión del sistema sin fin- corona hacia los brazos de aplastamiento, para el sistema sin fin-corona se diseñaron soportes individuales para facilitar su ensamble y concentricidad tanto de corona-brazo de aplastamiento como con eje motor- tornillo sin fin, mientras que para los brazos de aplastamiento se redujo la distancia entre soportes para evitar así un pandeo en los ejes y garantizar un acople entre ambos brazos de aplastamiento.
- Placas soporte para rodamientos: La carga longitudinal producida en los rodamientos provocaría un desplazamiento de los mismos a lo largo del eje, por lo que se optó por colocar placas soporte que mantengan los rodamientos en la posición inicial.



- Espesor de las placas: Se dimensionan de tal manera que los rodamientos se ubiquen completamente en la parte interna de las placas según especifica la DIN 616(1994-06) para montaje de rodamientos en estructuras

Al ser necesaria una reducción de velocidad del motor para obtener la velocidad idónea en los brazos para el flujo de aire requerido además del torque de 10 [Nm] en cada brazo y un total de 20 [Nm] en la pinza de aplastamiento se optó por una configuración tipo tornillo sin fin corona con una relación de transmisión 15:1 con tres entradas en el tornillo sin fin y 45 dientes en la corona lo cual significa que por cada giro del tornillo sin fin giran 3 dientes de la corona, con esto cuando el tornillo sin fin haya girado 15 veces la corona habrá girado 1 vez, con esta configuración y con el motor utilizado obtenemos más del toque mínimo requerido en la entrada que es de 1.38 [Nm], además nos ofrece una alta reducción de transmisión, tamaño reducido y trabajo silencioso.

Para la sujeción de la corona a su respectivo eje se colocará una chaveta para el movimiento y para fijación axial se usará prisioneros, a su vez para la unión entre el tornillo sin fin y el eje de motor se realizará un acople tipo matrimonio para la transmisión de movimiento y prisioneros para evitar el desacople.

Basados en esto, los siguientes pasos son:

- Construcción de los partes del respirador en los materiales diseñados, para lo cual se necesita del financiamiento. Hasta el momento se han realizado pruebas de la estructura en materiales como mdf o duralon (del sistema tornillo sin fin corona) para comprobar que no existían inconvenientes, tanto en el ensamblaje como en la manufactura de los mismos y de existir poder tomar acciones correctivas.
- Montaje de los elementos mecánicos del respirador y acoplamiento de la parte electrónica y de control.
- Calibración de todos los elementos que conforman el sistema del respirador para realización de pruebas en laboratorio y determinar su correcto funcionamiento en los aspectos mecánicos, control, requerimientos de flujo y volumen de aire.

### **Control y electrónica**

Para poder controlar el sistema mecánico se tiene como parámetros necesarios para la ventilación los siguientes: Volumen Tidal, BPM, relación I/E y la sensibilidad de presión de PEEP. Para el funcionamiento del respirador emergente variamos estos parámetros los cuales a través de una tarjeta basada en un microcontrolador (Arduino) son recogidos, analizados y efectuaran una variación en el suministro de aire del paciente mediante cambios en velocidad y posición en los brazos. La programación lleva 3 algoritmos, de los cuales, uno se refiere a la inicialización del sistema, donde se verifica la posición de los brazos y la respuesta de los fines de carrera de los brazos. El segundo algoritmo corresponde al control del ciclo de respiración donde se divide en tres partes, la fase de inspiración suministra aire al paciente establecido anteriormente por el Volumen Tidal, continuando con el estado de pausa, donde se mantendrá un tiempo los brazos estáticos para después abrirse, en esta parte se aprovecha tal pausa para medir la presión de meseta, cuando haya pasado el tiempo establecido los brazos procederán a abrirse, y se entra a la fase espiratoria, que durara un tiempo establecido para su fase, donde se ordena al sistema llevar a los brazos a su posición inicial, al terminar ese tiempo, se regresa nuevamente a la fase de inspiración. El tercer algoritmo se trata sobre el Control asistido, que trabaja semejantemente al control del ciclo respiratorio con la diferencia que la fase de exhalación se divide en tres partes, la primera trata de abrir los brazos, la segunda fase mide la presión PEEP, y la ultima fase espera que se haya completado todo el circuito o espera la inspiración del paciente para que este regrese de nuevo a la fase de inspiración.

### **Sensores de presión**

Para la medición de la presión enviada al paciente, se caracterizaron 4 sensores de presión diferencial: MPX1010, MPX5050, manométrico Hamilton y diferencial Hamilton, los cuales fueron sometidos a pruebas de presión en un rango específico de diferencia de presión de 0 a 20 cmH2O. Se utilizó este rango en consideración de la aplicación, para corroborar los datos se utilizó columnas en centímetros de agua analógica con una sensibilidad de 0.1 cmH2O.

Para la caracterización de los sensores se implementó una metodología experimental, en donde, a partir del mismo equipo y diferentes parámetros de tiempo se hizo variar la presión, se la paso a través de nuestro equipo patrón (columnas de centímetro de agua) para luego ser comparadas y analizadas. Una vez obtenidos los datos se descartaron los sensores MPX1010 y MPX5050 debido a dos factores, primero que su coeficiente de correlación con respecto a la señal patrón era media a media-alto 0.53 y 0.84 respectivamente y el segundo factor fue que los mismos requerían de un mayor costo computacional debido a que la señal bajo las mismas condiciones se encontraba llena de ruido siendo necesario implementar un media móvil para adquirir los datos necesarios, por lo tanto, se concluyó que para el trabajo realizado los sensores manométrico Hamilton y diferencial Hamilton son aptos para el trabajo. Con respecto a la señal patrón poseen un índice de correlación alto del 0.98 y 0.92 respectivamente y la señal obtenida sin tratamientos es apta para utilizar como medidor de



presión.

Sin embargo, dichos sensores son de difícil acceso en el mercado ecuatoriano, por lo que hace falta la investigación y caracterización de otros modelos disponibles en el mercado ecuatoriano.

#### **4.2 Respirador basado en electroválvulas**

Se recuperó el equipo dado de baja del Hospital Militar, donde se notificó que el ventilador no funcionaba debido a problema de actualizaciones de software, puesto que tiene 15 años de antigüedad, y se toma la decisión de ser donado para el estudio y aplicación de ingeniería inversa, para un futuro desarrollo con componentes encontrados en el medio local.

La ingeniería inversa es una metodología que avanza en sentido opuesto a las tareas convencionales de la ingeniería. Realiza el análisis de un sistema para identificar sus componentes y las interrelaciones existentes entre sí. En este caso, la ingeniería inversa fue utilizada para realizar un análisis del sistema neumático y electrónico del equipo. Se continuó el proyecto con la reutilización de los componentes en buen estado, tanto de los sensores y actuadores, y se desarrolló el control y una interfaz del usuario a través de programación gráfica desarrollada en el entorno de LabVIEW, y la adquisición de datos y envío de señales con la ayuda de una tarjeta de Adquisición NI myRIO. Para alcanzar un correcto funcionamiento del ventilador mecánico, se ha considerado: un sistema de alimentación, las funciones de transferencia tanto para sistemas de control neumáticos como electrónicos y las salidas en forma de presión, volumen y flujo. Primero, se procedió a analizar el comportamiento del ventilador HAMILTON GALILEO, donde se observó que tiene un sistema de control de flujo, cuyo ciclo comienza al medir el flujo de aire a través de la válvula inspiratoria en el circuito del paciente, luego detiene el flujo después de que el volumen correcto de gas ha entrado al circuito del paciente, y finalmente abre la válvula espiratoria para que el paciente logre espirar. Se concluye que la ventaja de este equipo con flujo controlado es que el flujo de aire hacia el paciente puede ser ajustado con gran precisión.

Después se procede a desarrollar una mejor descripción del comportamiento del ventilador, donde se analiza el sistema como "caja negra", para su control, es decir, una salida determinada frente a una señal suministrada, donde las operaciones internas son desconocidas. Este procedimiento se desarrolla frente a la combinación del sistema neumático, conformado por la válvula inspiratoria, la válvula espiratoria y las válvulas de mezclado principalmente, el sistema de sensado, por otro lado, está conformado por sensores de presión diferencial, sensores de presión relativa y un sensor de flujo. Se suministra señales de entrada de voltaje y corriente para obtener respuestas tanto en flujo como en presión medidas a través de columnas de agua, para poder determinar la función de transferencia del comportamiento del sistema. Se debe de tomar muy en cuenta todos los valores que serán suministrados al paciente, ya que los valores de presión deben de permanecer entre 20 y 70 mbar, mientras que el flujo debe de estar entre 20 y 500 ml/s. Y sobre todo, evitar presiones mayores a 100 mbar, ya que comprometería la salud del paciente.

## **5. FINANCIAMIENTO**

(Ingresar información en Anexos)

## **6. VIABILIDAD Y PLAN DE SOSTENIBILIDAD**

### **Viabilidad Técnica:**

**Se han realizado equipos parecidos en varios países, algunos con resultados positivos.**

### **Equipamiento Tecnológico Disponible**

**En el laboratorio de fluidos contamos con los equipos y herramientas para medir las variables que nos permiten verificar el correcto desarrollo de los equipos en cuestión de caudal y presión y sus relaciones simultáneas.**



|   |  |
|---|--|
| <p><b>Qué perdería el país si el proyecto no se ejecuta en este periodo?</b></p>  | <p>A nuestro modo de ver, nuestra institución debería priorizar la financiación de este proyecto, ya que se alinea directamente con los intereses y deberes de la ESPE: defender la seguridad ciudadana con ayuda del desarrollo de tecnología. Cabe destacar que este proyecto, cuyas soluciones serían ya necesarias en este momento de crisis, se ha visto afectado de sobremanera en su desarrollo debido, sobre todo, a la falta de capital financiero y humano. Es por esto que instamos a las autoridades del plantel a priorizar el financiamiento de este proyecto.</p> <p>Aún siendo posible que la tecnología desarrollada por nuestro equipo no llegase a ser usada, el presente proyecto de investigación sigue siendo de extrema importancia, ya que los conocimientos adquiridos aportarán para una mejor preparación a futuras posibles pandemias.</p> |
| <p><b>¿Cuáles son los resultados o impactos esperados del proyecto?</b></p>   | <p><b>Impacto Social:</b><br/>Es inminente que el uso de respiradores artificiales puede llegar a ser un factor esencial en salvar la vida de un paciente afectado de COVID19.</p> <p><b>Impacto Científico:</b><br/>La comunidad científica está a la espera de respuestas con respecto al uso seguro de respiradores emergentes.</p> <p><b>Impacto Económico:</b><br/>Se pueden ahorrar millones de dólares al estado en este específico tratamiento paliativo a pacientes con COVID19.</p> <p><b>Impacto Político:</b><br/>Nuestra institución no se ausentaría de formar parte en el desarrollo tecnológico necesario para dar soluciones en esta línea.</p> <p><b>Otro Impacto:</b></p>   |
| <p><b>Análisis de impacto ambiental</b><br/>N/a.</p>  |  |
| <p><b>Sostenibilidad social: equidad, género, participación ciudadana</b><br/>N/a.</p>  |  |
| <p><b>Difusión y Transferencia Tecnológica</b></p> <p>Publicación científica</p>  |  |
| <p><b>Artículo Científicos</b></p> <p>Es posible hacer un reporte científico en el tema del desarrollo de los respiradores si así el tema lo requiere. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que este no es el principal objetivo de este proyecto.</p> |  |
| <p><b>Prototipos</b><br/>Se entregarán prototipos funcionales de respiradores mecánicos para su aprobación en el COE nacional.</p>  |  |

|   |
|---|
| <b>Registro de Propiedad Intelectual</b>  |
| N/A   |
| <b>Empresas Spin Offs</b>   |
| N/A   |
| <b>Otros: Difusión</b>  |
| Dado el hecho que nuestra Universidad trabaja muy ligada al hospital de las Fuerzas Armadas, la capacidad de transferencia de la tecnología generada a la sociedad resulta inminente. |
| <b>Análisis de riesgos: Ingresar la información en el ANEXO</b>   |

## 7. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

*Los datos que ingrese en este ítem serán empleados para hacer seguimiento*

| Hitos del proyecto (Un hito x mes) |              |           |  |   |                      |     |           |
|------------------------------------|--------------|-----------|--|---|----------------------|-----|-----------|
| No.                                | Fecha Inicio | Fecha Fin | Actividades (1)  | Entregables (1)                                     | USD. Presupuesto (3) |     |           |
|                                    |              |           |  |   | INV.                 | CTE | TOTAL     |
| 1                                  | 17/08/20     | 17/11/20  | 1.1 Adquirir componentes mecánicos y electrónicos              | Componentes recibidos en el laboratorio de Reología | 17.000.00            |     | 17.000.00 |
| 2                                  | 17/11/20     | 17/12/20  | 2.1 Construcción de los respiradores                           | Informe   | 6.000.00             |     | 6.000.00  |
| 3                                  | 17/12/20     | 17/01/21  | 3.1 Desarrollo del control de los respiradores                 | Informe   | 4.000.00             |     | 4.000.00  |
| 4                                  | 17/01/20     | 17/02/21  | 4.1 Desarrollo de las pruebas de control.                      | Informe   | 1.000.00             |     | 1.000.00  |
| 5                                  | 17/02/21     | 17/03/21  | 5.1 Desarrollo de las pruebas de control en pulmón artificial. | Informe   | 2.000.00             |     | 2.000.00  |

Los hitos son mensuales, debido al seguimiento que realiza la Unidad de Planificación Institucional de la Universidad y SENPLADES.

(1) Debe colocarse las actividades y entregables subidas en el punto 3. **OBJETIVOS DEL PROYECTO.**

(2) Debe colocarse el presupuesto de acuerdo a la planificación financiera del punto 5. **FINANCIAMIENTO.**

## 8. BIBLIOGRAFÍA Y OTRA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA CITADA

<https://e-vent.mit.edu/wp-content/uploads/2020/03/Ventilators-Enforcement-Guidance.pdf>

<https://www.clinicaalemana.cl/articulos/detalle/2020/como-funcionan-los-ventiladores-mecanicos>

<https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>

<https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/global-research-on-novel-coronavirus-2019-ncov/solidarity-clinical-trial-for-covid-19-treatments>



<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332638/WHO-2019-nCoV-clinical-2020.5-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://www.elcomercio.com/actualidad/hospitales-privados-limite-covid19-quito.html>

<http://www.elhospital.com/temas/Ventiladores-para-cuidado-intensivo+8062027?pagina=7>

<https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/ventiladores-mecanicos-disponibles-ecuador-coronavirus/>

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vTYAfldxoIiO46VAWH1NlhrwFBn9mguqS2bh1spnLEu4AVVN1cj1vaEm6vOp5Z6UnaAbUwd8dsICXdM/pubhtml>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Atelectotrauma>

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000065.htm>

<https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/fullarticle/2763184>

<https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/required-reading/respiratory-system/Chapter%205591/alveolar-pressure-and-inspiratory-hold-manoeuvre>

[http://www.ardsnet.org/files/pbwtables\\_2005-02-02.pdf](http://www.ardsnet.org/files/pbwtables_2005-02-02.pdf)

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulmonary-capillary>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Compliancia>

<http://web.mit.edu/2.75/resources/random/Graham%20Peer%20Review%20Process.pdf>

<https://e-vent.mit.edu/wp-content/uploads/2020/03/DMD-2010-MIT-E-Vent.pdf>

<https://e-vent.mit.edu/>

[https://docs.google.com/document/d/1Dz7eMgXowFBtBA\\_0PKzfAXweHnNMBGIIAXPshCbI2Vk/edit](https://docs.google.com/document/d/1Dz7eMgXowFBtBA_0PKzfAXweHnNMBGIIAXPshCbI2Vk/edit)

<https://github.com/jcl5m1/ventilator>

<https://letsbeatcovid19.blogspot.com/>

<https://e-vent.mit.edu/team/>

<https://members.smoove.io//view.ashx?message=h44803226O122324982O219654O122394144&r=1009>



[https://f1000researchdata.s3.amazonaws.com/manuscripts/25328/0e408e33-0e5d-4125-9a97-db885ca19482\\_22942\\_joshua\\_m\\_pearce.pdf?doi=10.12688/f1000research.22942.1&numberOfBrowsableCollections=21&numberOfBrowsableInstitutionalCollections=5&numberOfBrowsableGateways=23](https://f1000researchdata.s3.amazonaws.com/manuscripts/25328/0e408e33-0e5d-4125-9a97-db885ca19482_22942_joshua_m_pearce.pdf?doi=10.12688/f1000research.22942.1&numberOfBrowsableCollections=21&numberOfBrowsableInstitutionalCollections=5&numberOfBrowsableGateways=23)

<https://arxiv.org/abs/2004.00310>

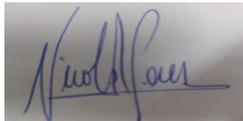
<https://airtable.com/shrIHCO5Sm4SiAsx0/tbl7hMA18kmI63JDk?backgroundColor=red&viewControls=on&blocks=hide>

## 9. ANEXO

En los formatos que se encuentran en la hoja electrónica que se acompaña se debe ingresar la información relacionada con:

- Acta de Consejo de Departamento.
- Matriz de riesgos del proyecto.
- Planificación financiera.
- Declaración de autoría e Informe de búsquedas.
- Currículo Vitae actualizado de todos los participantes.
  
- Carta de auspicio del grupo de investigación al cual pertenece de ser pertinente.
- Herramientas para presupuesto.
- Modelo lógico y plan de trabajo.

## 10. FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

|  |  |
|--|--|
| <b>Ciudad y Fecha:</b><br><br>Quito, 22 de julio de 2020   | <b>Director del Proyecto</b><br><br><br>Nicolás Marcelo Páez Flor<br>Nombre del Director del Proyecto<br>C.I. 1714097985 |
| <b>DECLARO QUE EL PROYECTO SE ENCUENTRA APROBADO Y TIENE EL RESPALDO DEL DEPARTAMENTO/CENTRO</b><br><br><br>_____<br>TCRN EDISON HARO ALBUJA PH.D.<br>C.I.<br><br>ACTA DE APROBACIÓN DE CONSEJO NO. RES-025-DCEM-ESPE-g-3 |  |

*En el caso de las extensiones incluir la firma de respaldo de la Jefatura de Investigación.*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Fecha: 8/2/2020

Pág. 15