



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL DE FIDELIDAD INTERMEDIA CON ESTRUCTURA MODULAR Y EQUIPADO CON UN SOFTWARE DE MONITOREO Y PROGRAMACIÓN DE ESCENARIOS CLÍNICOS, PARA LA FORMACIÓN DE PROFESIONALES DE LA SALUD”**

### **Autores:**

Porras Torres Pamela Elizabeth  
Vela Mosquera Juan Carlos

### **Directora:**

Ing. Sylvia Nathaly Rea Minango



## RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño y construcción de un simulador robótico neonatal de fidelidad intermedia constituido por un sistema mecánico, electrónico y software de monitoreo; enfocado al tratamiento de pacientes neonatos.

Equipado con una interfaz amigable que permite la interacción usuario-simulador, este simulador brinda la capacidad de realizar prácticas de ciertos procedimientos médicos con el fin de desarrollar habilidades y destrezas en los profesionales de la salud sin arriesga la integridad humana.

# JUSTIFICACIÓN

- Nuestro país no cuenta con empresas que se dediquen en este sector del mercado, por lo cual la adquisición de estos simuladores se realiza en el extranjero conlleva un gasto elevado en cuestión de implementación de laboratorios.
- Por estos motivos el presente proyecto busca desarrollar equipos de simulación médica robótica que puedan ser accesibles dentro del país y satisfacer las necesidades de los diversos centros de enseñanza en el área de medicina.
- Trabajar en un ambiente simulado permite que los estudiantes cometan errores sin necesidad de intervención de expertos para detener el daño del paciente. Al ver el resultado de sus errores, los estudiantes obtienen una visión profunda de las consecuencias de sus acciones y la necesidad de "acertar".

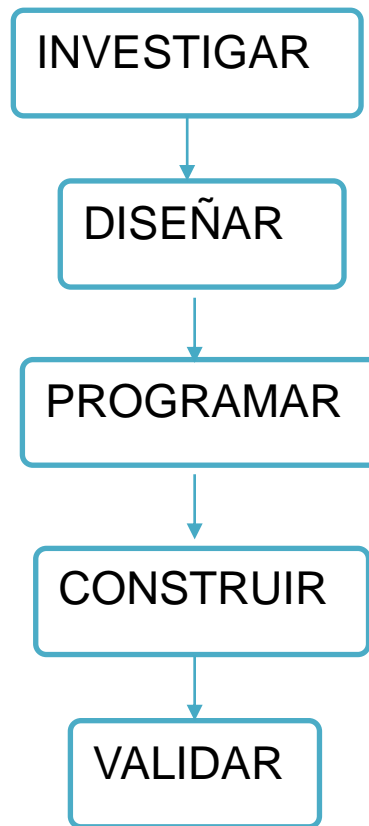
## ANTECEDENTES

En todo el mundo se producen alrededor de 100 millones de nacimientos, un 10% de estos requieren asistencia médica al iniciar su respiración y el 1% necesita esfuerzos intensivos de resucitación como intubación endotraqueal.

En el Ecuador la tasa de mortalidad neonatal se encuentra entre 19 y 20% convirtiéndose en una prioridad para el Ministerio de Salud Pública optando por el entrenamiento a los médicos con estos simuladores.

# OBJETIVOS

Diseñar e implementar un simulador robótico neonatal de fidelidad intermedia, con estructura modular y equipado con un software de monitoreo y programación de escenarios clínicos, para la formación de profesionales en el área de la salud.



# MARCO TEÓRICO



## Neonato

Las primeras cuatro semanas de vida.  
Defectos congénito y anomalías genéticas.

## Características físicas de un neonato real

Peso niño: 3.4 kg, Talla niño: 50.3 cm

Peso niña: 3.0 kg, Talla niña: 50.0 cm

## Signos vitales

Frecuencia cardíaca: 100-160 lpm.

Frecuencia respiratoria: 30-50 rpm.



# MARCO TEÓRICO

## Simulación médica

La simulación médica es una herramienta de aprendizaje relacionada a la educación y entrenamiento en el campo de la medicina cuyo objetivo principal es la adquisición de competencias entrenando en un ambiente lo más parecido al contexto real.

Busca sustentar:

- Mejores normas de cuidado para los pacientes.
- Dar un mejor entrenamiento al estudiante.
- Permite una evaluación más objetiva a los docentes.
- Dirigir y encontrar los errores en el acto médico.
- Respeto y preservación de la autonomía de los pacientes.
- Respeto y preservación de la autonomía de profesionales en las ciencias de la salud.



# FUNCIONES DEL SIMULADOR





# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Requerimientos del simulador



# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Tarjeta de control, envío y recepción de datos

Criterios de selección	Arduino Nano	Raspberry Pi3	UDDO Neo Extend
Rendimiento	0	+	+
Tiempo de ejecución	+	0	-
Tamaño	+	+	+
Conectividad Ethernet	0	+	-
Conectividad LAN	-	+	+
Peso	0	+	+
Software libre	+	+	+
Costos	-	0	+
<b>SUMA +</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>SUMA -</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>SUMA 0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>VALORACIÓN FINAL</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>

# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Sistema Operativo

Crterios de seleccin	Raspbian	Mate	Kodi
Software libre	+	+	+
Robustez	+	0	-
Centro Multimedia	-	0	+
Compatible Linux	+	+	+
Compatible Windows	+	-	+
Compatible con versiones antiguas de Raspberry	+	-	0
<b>SUMA +</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>SUMA -</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>SUMA 0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>VALORACIN FINAL</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>

# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Estructura física del simulador

Criterios de selección	Impresión 3D	Maniquí fibra de vidrio	Maniquí de plástico sólido
Resistencia	0	-	+
Costos	+	+	0
Tamaño	-	0	+
Tiempo de construcción	+	-	+
Peso	+	0	-
Durabilidad	-	0	+
<b>SUMA +</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>SUMA -</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>SUMA 0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>VALORACIÓN FINAL</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>3</b>

# DISEÑO CAD DEL SIMULADOR

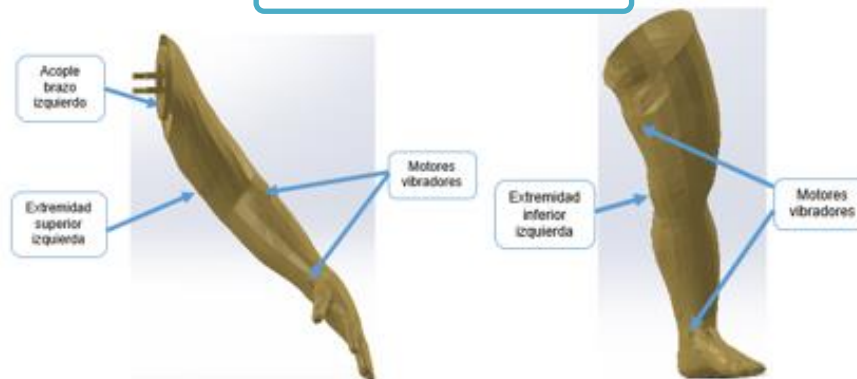


Parte del cuerpo	Medidas aproximadas (cm)
Altura total	59
Perímetro cefálico	45
Longitud extremidades superiores	21
Longitud extremidades inferiores	28,6
Contorno pecho	38
Contorno cadera	41
Contorno puño	10
Contorno pie	13

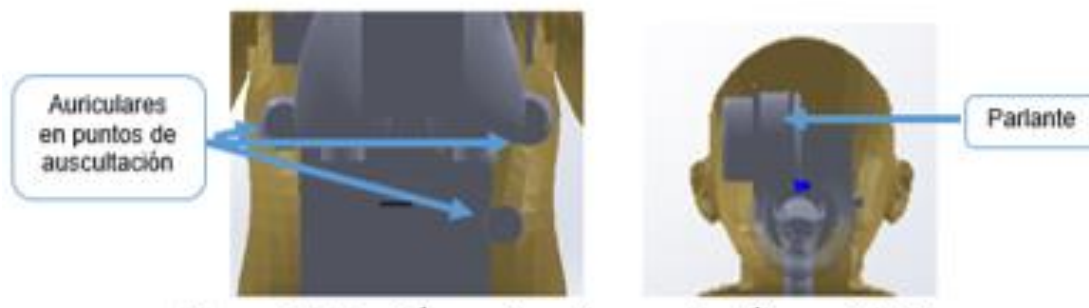


# DISEÑO CAD DE LAS FUNCIONES

## Pulsos palpables

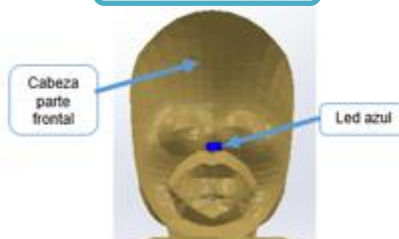


## Puntos de auscultación

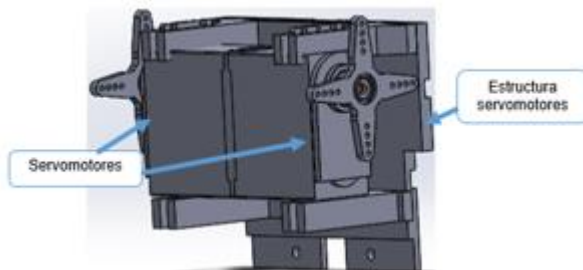


# DISEÑO CAD DE LAS FUNCIONES

Cianosis



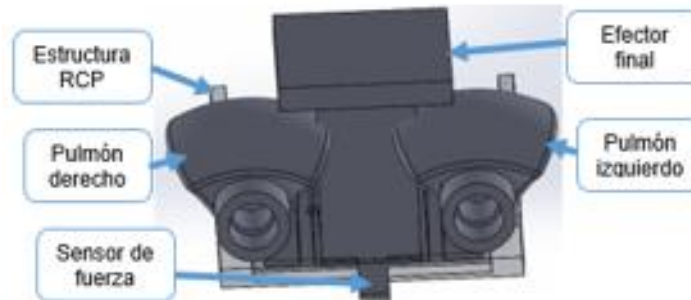
Movimiento extremidades superiores



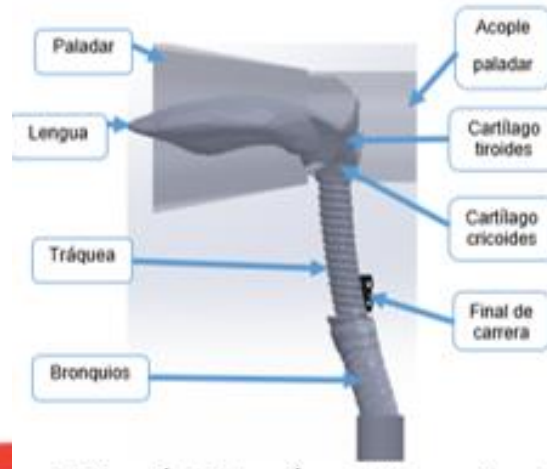


# DISEÑO CAD DE LAS FUNCIONES

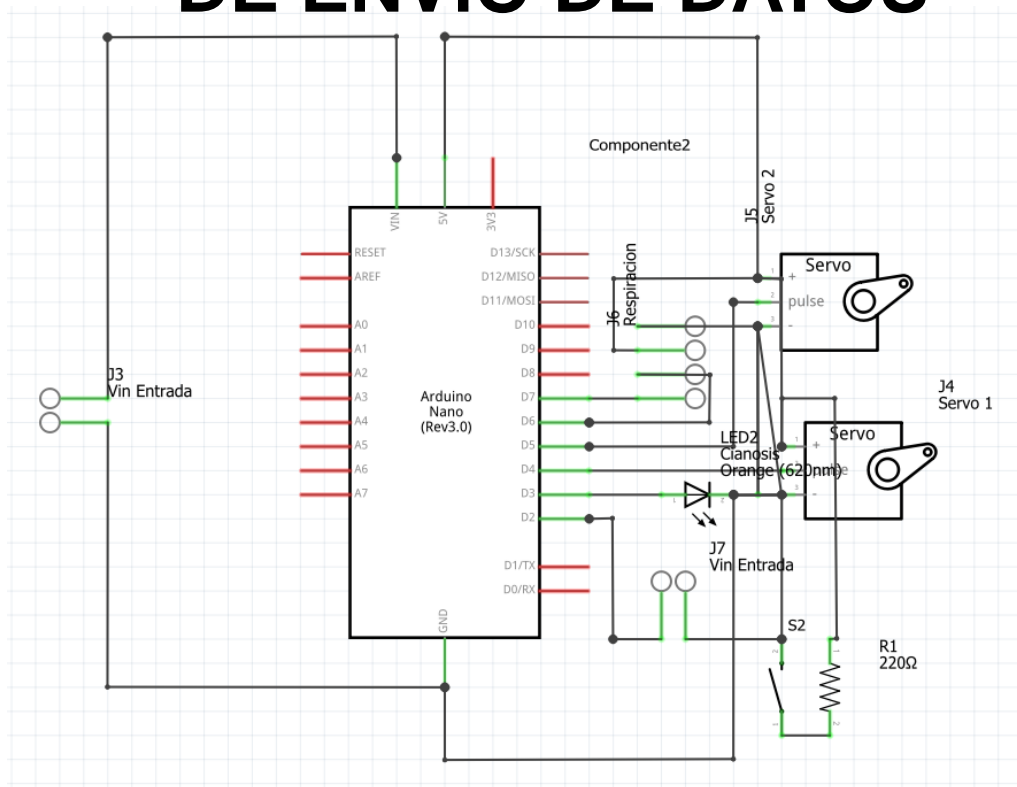
## Reanimación cardiopulmonar



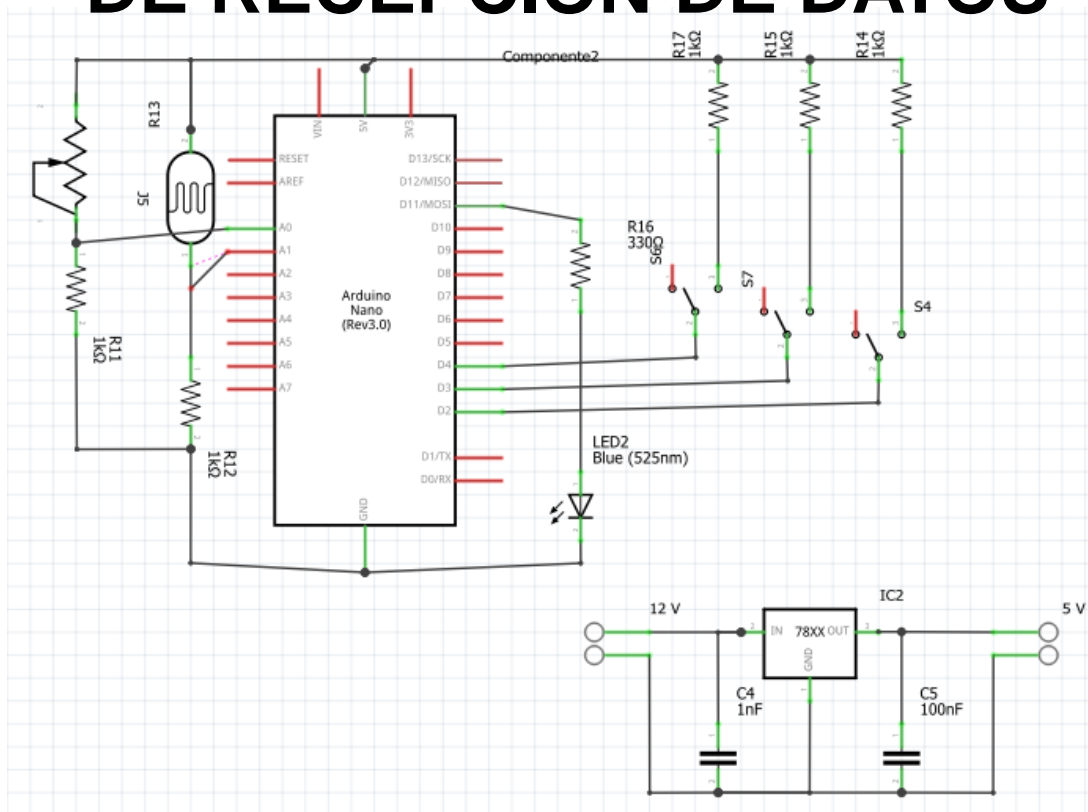
## Intubación endotraqueal



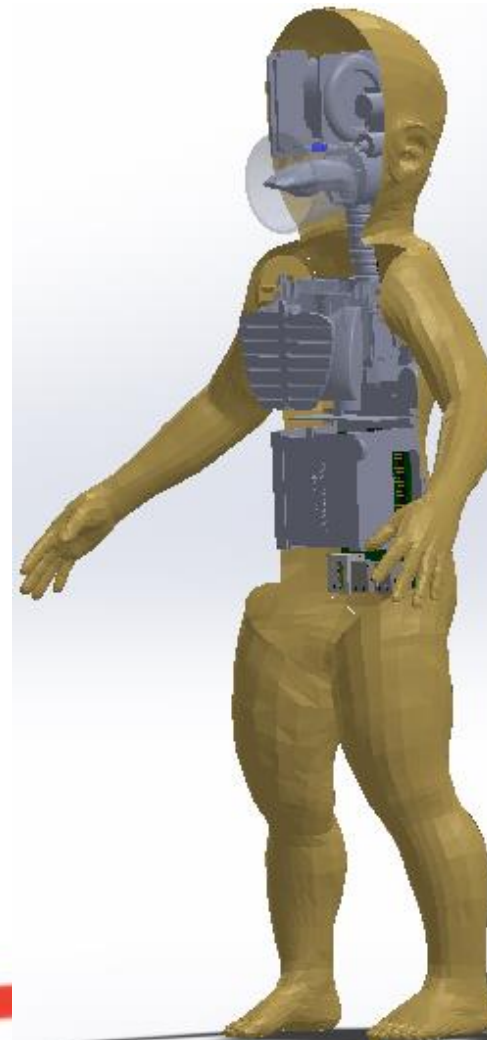
# DISEÑO ELECTRÓNICO DE LA TARJETA DE ENVÍO DE DATOS



# DISEÑO ELECTRÓNICO DE LA TARJETA DE RECEPCIÓN DE DATOS

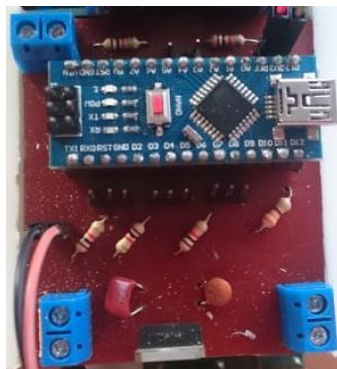


# DISEÑO DEL SIMULADOR NEONATAL



# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

PCB del envío  
y recepción  
de datos



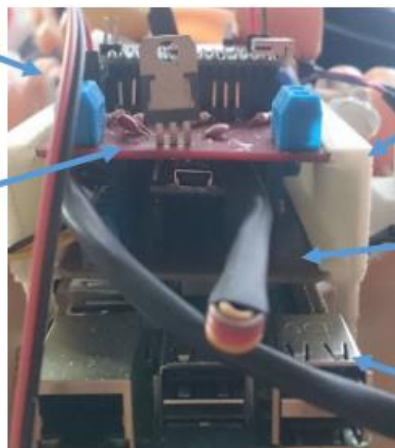
Subensamble  
servomotores





# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

Subensamblaje  
tarjetas  
electrónicas



Convertidor  
de voltaje

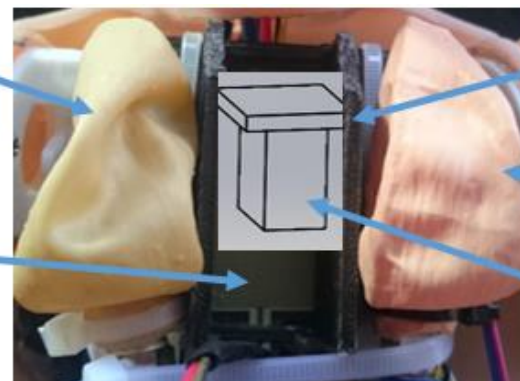
Placa  
recepción de  
datos

Estructura  
tarjetas  
electrónicas

Placa envío  
de datos

Raspberry Pi3

Subensamblaje  
RCP-pulmones



Pulmón  
derecho

Sensor de  
fuerza

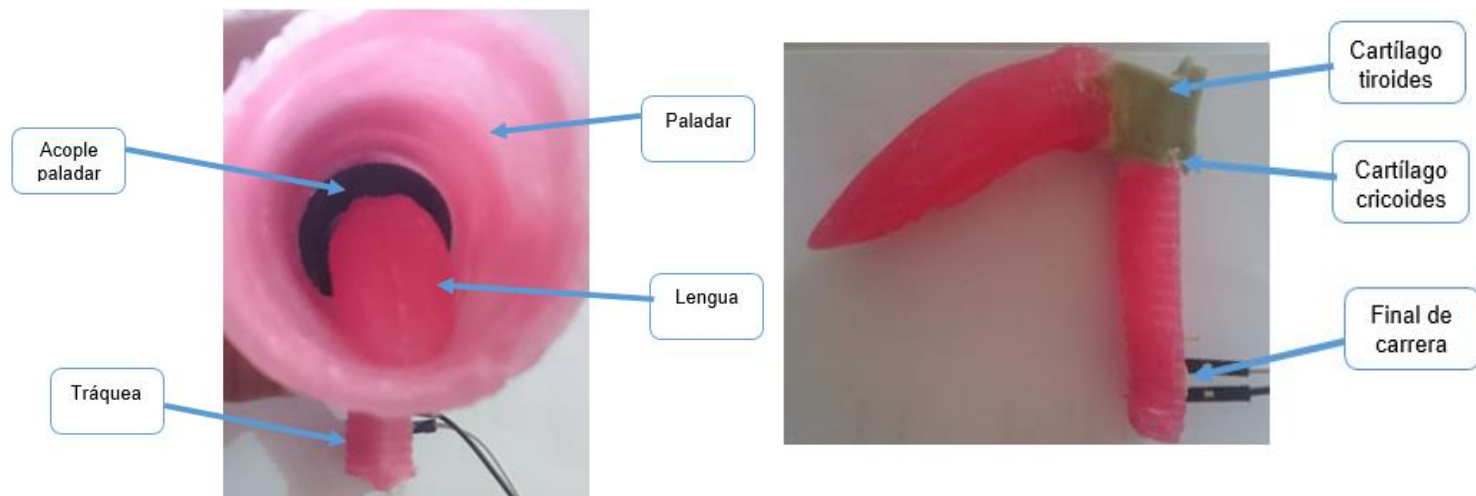
Estructura  
RCP

Pulmón  
izquierdo

Efecto final de  
silicona fría

# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

Subensamble  
vía aérea





# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

Subensamble  
electroválvula-parlante



# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

Subensamble  
motores  
vibradores

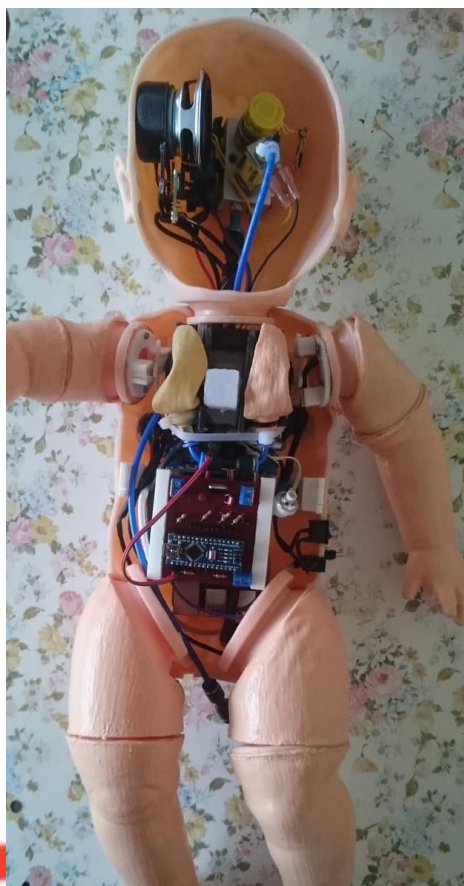


Subensamble  
cianosis



# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

Subensamble completo

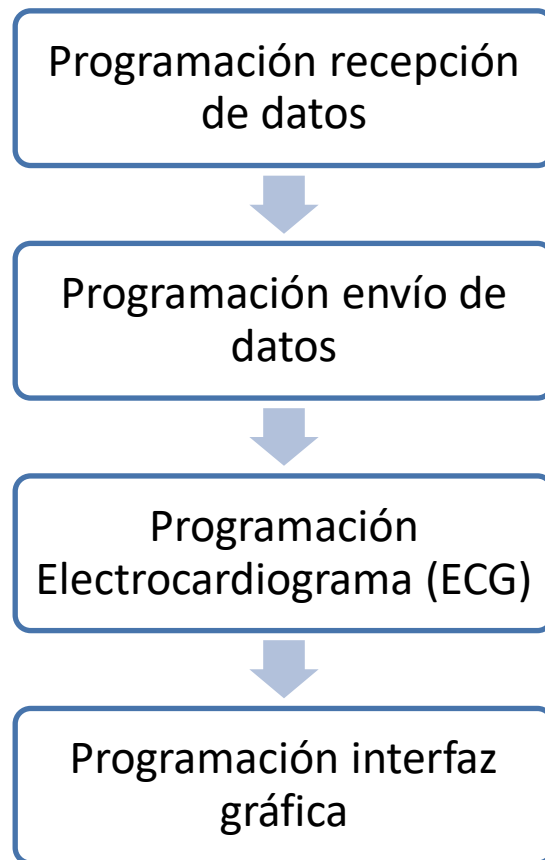


# CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR ROBÓTICO NEONATAL

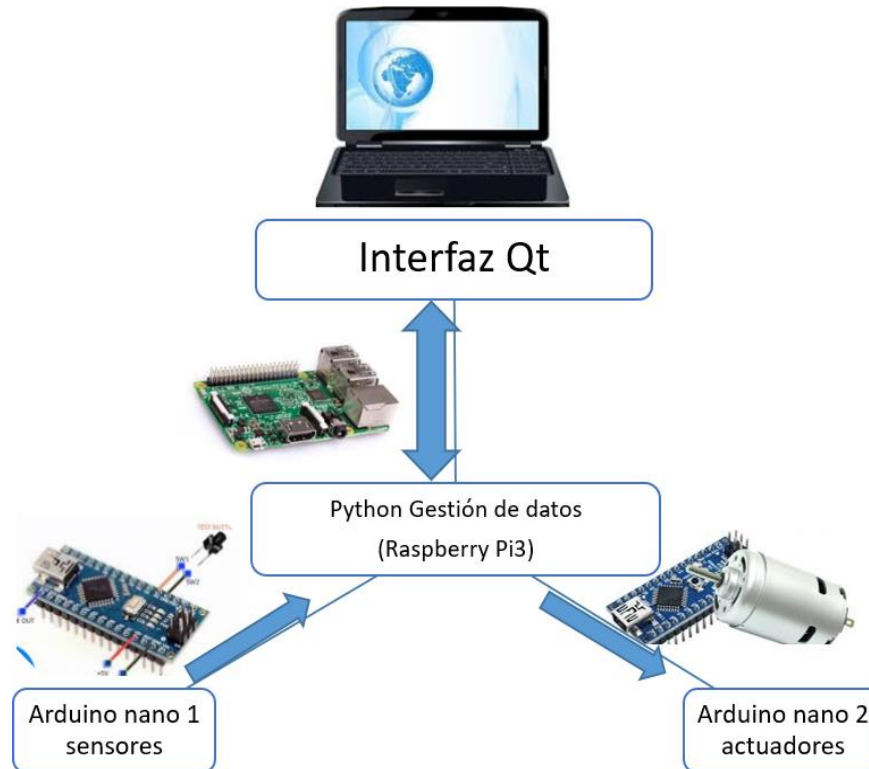
Piel artificial del simulador



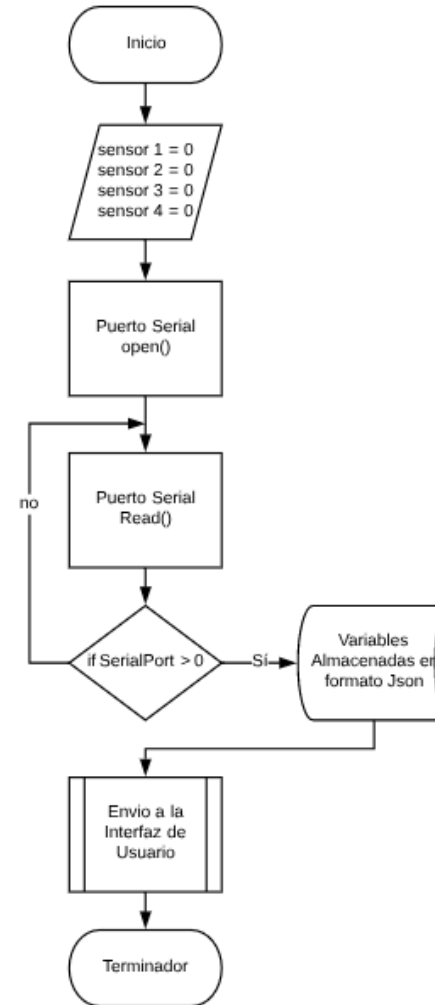
# SOFTWARE DE CONTROL



# ESQUEMA DE COMUNICACIÓN DEL SIMULADOR

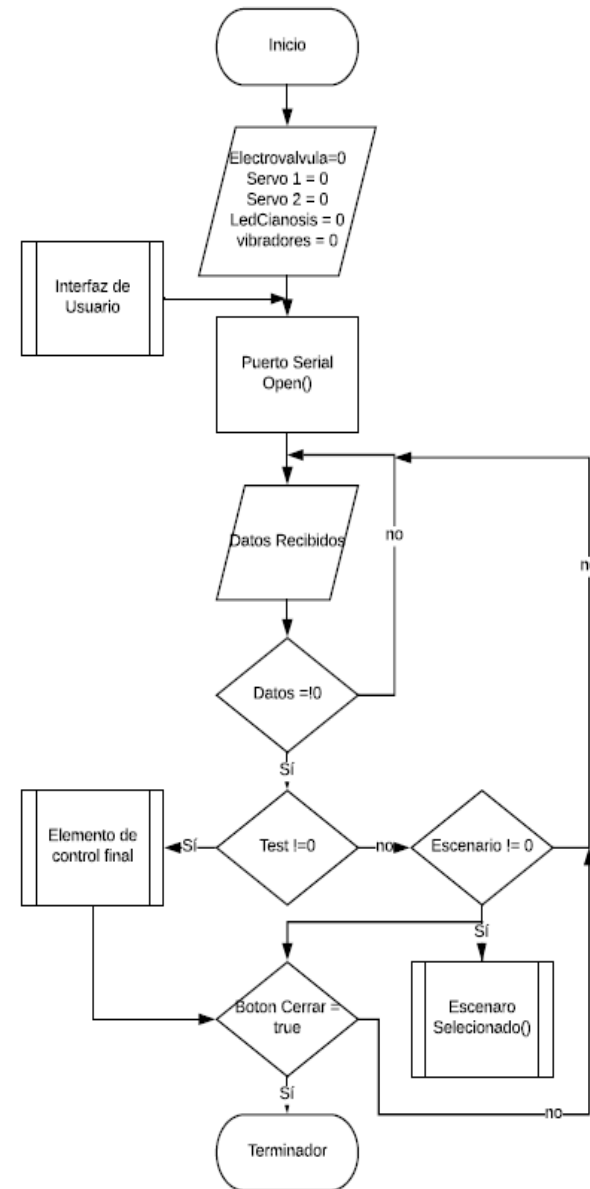


# DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCIÓN DE DATOS

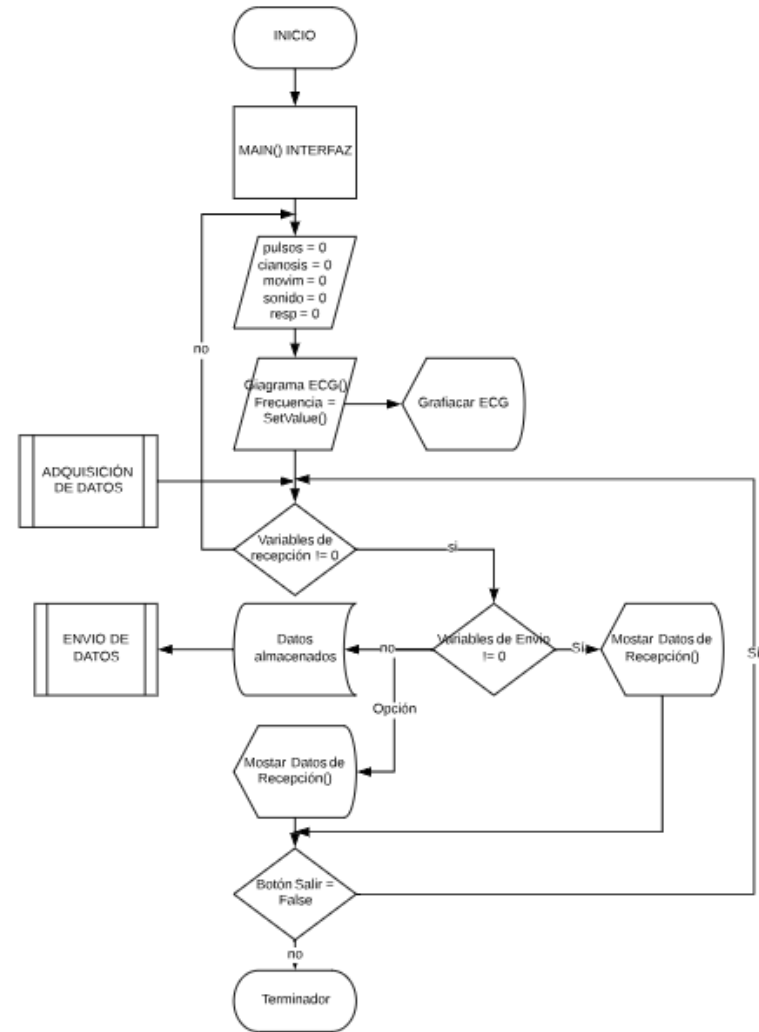




# DIAGRAMA DE FLUJO DE ENVÍO DE DATOS



# DIAGRAMA DE LA INTERFAZ



# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Pulsos palpables



# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Respiración y elevación torácica



# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Cianosis



# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Movimiento  
extremidades  
superiores



Intubación  
endotraqueal





# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Reanimación cardiopulmonar





# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Escenario clínico  
Paro Cardíaco



# PRUEBAS DEL SIMULADOR

Escenario clínico  
Paro Cardíaco



# ANÁLISIS ECONÓMICO

Componentes	Cantidad	Precio (\$)	
		Unitario	Total
Maniquí de plástico	1	60,00	60,00
Rollo de filamento PLA	3	30,00	90,00
Costo energía eléctrica impresiones	-	-	25,00
Silicona fría	2	4,50	9,00
Pintura acrílica	2	1,50	3,00
Arduino nano	2	7,00	14,00
Raspberry Pi3	1	65,00	65,00
Cables de protoboard	-	-	6,00
Alambre de timbre	-	-	1,50
Módulo Relé 5V	1	2,50	2,50
Convertidor de voltaje DC-DC	1	8,00	8,00
Electroválvula 3/2, 12V, 25 psi	1	15,00	15,00
Mangueras, acoples electroválvula	-	-	20,00
Parlante	1	15,00	15,00
Látex	3	17,00	51,00
Pinceles	4	1,10	4,40
Servomotores	2	16,00	32,00

# ANÁLISIS ECONÓMICO

Sensor de fuerza cuadrado	1	14,80	14,80
Baqelita	2	2,00	4,00
Ácido cloruro férrico	2	1,50	3,00
Resistencias, borneras, capacitores, botón on-off, plug alimentación, led, etc.	-	-	12,00
Motores vibradores	4	1,50	6,00
Tornillos, pernos M4 y M3, tuercas M4 y M3	-	-	5,00
Espagueti térmico	-	-	5,00
Impresiones	-	-	20,00
Transporte	-	-	50,00
Alimentación	-	-	50,00
Software libre	-	-	0,00
Mano de obra directa	2	150,00	300,00
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>896,20</b>

Pediatric ALS  
Trainer Maniki with  
Interactive ECG  
Simulador

**\$1.679,30**

**Ahorro  
46.63%**

## CONCLUSIONES

- En la elaboración del proyecto, se logró estructurar un conjunto de sistemas que trabajan conjuntamente para lograr una simulación a nivel de fidelidad media para la interpretación del profesional en el área de la salud, obteniendo resultados favorables con respecto a su uso y propósito. La integración de los sistemas electrónicos mecánicos y el software de control y monitoreo permitieron a los usuarios practicar sus destrezas y mejorar sus habilidades en la atención de un paciente neonato, sin poner en riesgo la vida del paciente.
- Durante el desarrollo del proyecto se realizó una vasta investigación acerca de simuladores médicos neonatales existentes en el mercado internacional, se conocieron las funciones implementadas en este tipo de simuladores y también se evidenciaron los elevados costos de adquisición. El simulador del presente proyecto cuenta con funciones comparables a las de los modelos comerciales de fidelidad media y fue implementado con materiales existentes en el mercado ecuatoriano, alcanzando una reducción de costo de 46.63%.



## CONCLUSIONES

- La estructura de la vía área del simulador corresponde al modelo anatómico de un neonato real, partiendo de las medidas referenciales de la tráquea cuyo diámetro interno es de 4mm y una longitud de 4cm (hasta antes de los bronquios), consiguiendo que los órganos subyacentes tengan una medida apropiada.
- Con la investigación en el ámbito médico de cada una de las funciones que realiza el simulador se consiguió establecer parámetros para cada una de ellas y para el escenario de paro cardíaco, los cuales fueron validados y aprobados por los profesionales de la salud durante las pruebas.
- La realización del diseño CAD de las estructuras mecánicas con las medidas exactas de cada uno de los componentes que las conforman, permitió un adecuado ensamble de los componentes, sin interferir con el modelo anatómico del simulador. La ubicación de los componentes electrónicos y otras estructuras se planificó para obtener el mayor aprovechamiento del espacio interno del simulador, el cual fue crítico por su pequeño tamaño, logrando localizar internamente todos los componentes requeridos en las funciones implementadas.


## CONCLUSIONES

- Se implementó un software de control adecuado, el cual permite tener una lectura rápida de los sensores que contiene el simulador; esto ayuda a que el simulador para reaccione de acuerdo a un proceso clínico establecido por el usuario. El procesamiento de estas señales se realizó en el lenguaje de desarrollo Python, que gracias a sus múltiples librerías y compatibilidad con los elementos del hardware existente, permitió el control adecuado del sistema electrónico.
- Como resultado de la investigación acerca de los materiales para la elaboración de la piel artificial para el simulador neonatal se escogió el látex que se utiliza en las máscaras de disfraces realistas disponible en el mercado, además brinda propiedades de: elasticidad, alta resistencia a la manipulación y detalles superficiales. Después de una serie de pruebas se concluyó que la composición óptima fue de 4:1 partes de látex y pintura acrílica color piel y realizando 15 capas de látex. Para su adherencia se utilizó velcro con el fin que se ajuste al simulador dando una apariencia realista.



---

# CONCLUSIONES

- Tras la ejecución de las pruebas, los profesionales de la salud lograron un entendimiento del funcionamiento físico en conjunto con la interfaz y manifestaron que el simulador si ayudará a mejorar las destrezas y habilidades en el tratamiento de pacientes neonatos reales, con la respectiva práctica, asegurando la realización correcta de maniobras como intubación endotraqueal y reanimación cardiopulmonar en neonatos.
- 

# RECOMENDACIONES

- Buscar motores más silenciosos para el sistema de movimiento de las extremidades superiores.
- Conseguir otros tipos de sonidos del latido del corazón y respiración que sean lo más reales posible.
- Antes de utilizar el simulador robótico neonatal leer previamente el manual de operación para evitar daños en el mismo.
- Tratar de conseguir un maniquí base menos rígido que permita realizar cambios con facilidad.
- Al realizar la piel artificial con el látex procurar hacerlo en un ambiente libre, con una vestimenta adecuada y mascarilla debido a que el olor es demasiado fuerte.
- Conectar la fuente de alimentación directamente a un tomacorriente para que energice a todos los componentes.
- Desarrollar mejor las ecuaciones de la gráfica del electrocardiograma para obtener una aproximada a la real.
- Incrementar nuevos escenarios enfocados a procedimientos clínicos cardíacos.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# GRACIAS

