



TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO MECATRÓNICO DE REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR PARA MEJORAR LA EFICACIA DE LA EJECUCIÓN DE ESTA MANIOBRA EN ATENCIÓN PRE HOSPITALARIA PARA CRUZ ROJA ECUATORIANA JUNTA PROVINCIAL DE IMBABURA”

Autores:

Gamboa Proaño, Ricardo Javier

Salazar Montalvo, Pablo Patricio

Directora:

Ing. Rea Minango, Sylvia Nathaly



Resumen

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño y construcción de un prototipo mecatrónico de reanimación cardiopulmonar, el mismo que pretende mejorar la eficacia de la ejecución de esta maniobra en atención pre hospitalaria para la Junta Provincial de la Cruz Roja de Imbabura.

El dispositivo está conformado por una estructura fácil de implementar en caso de emergencia; es capaz de posicionar automáticamente el punto de inicio de compresiones a la altura del tórax del paciente; pudiéndose seleccionar dos tipos de maniobra de RCP: 30/2 y modo continuo. Los parámetros de ejecución de la RCP que tiene el dispositivo, cumple con los protocolos establecidos por la AHA.

Introducción

Ingeniería en la medicina

Eficacia de la reanimación
cardiopulmonar

Prototipo de RCP



OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo mecatrónico para reanimación cardiopulmonar en adultos para mejorar la eficacia de la ejecución de la maniobra.

Objetivos específicos

Investigar

Diseñar el sistema mecánico

Diseñar el sistema electrónico

Verificar funcionamiento

Construir y realizar pruebas

Realizar manual de usuario



MARCO TEÓRICO

Signos vitales

Manifestaciones de vida

Pueden ser medidos

Funcionamiento normal del organismo

Frecuencia
cardiaca

Cantidad de veces que late el corazón
por minuto

Varía por diversos factores



MARCO TEÓRICO

Paro cardiorrespiratorio

- Cese de actividad cardíaca
- Ausencia de signos vitales
- Urgencia médica grave
- Principal causa de muerte en varios países
- Tiempo es de suma importancia

Causas PCR

- Ataque cardíaco
- Enfermedades del corazón
- Drogas
- Hipotermia
- Shock
- Trauma
- Paro respiratorio
- Etc.



MARCO TEÓRICO

Reanimación Cardiopulmonar

- Técnicas y procedimientos
- Persona con PCR
- Primeros auxilios

Protocolos RCP

- Frecuencia: 100 a 120 comp/min
- Profundidad: 5 a 6cm
- 30 compresiones, 2 insuflaciones, 5 ciclos
- Modo continuo

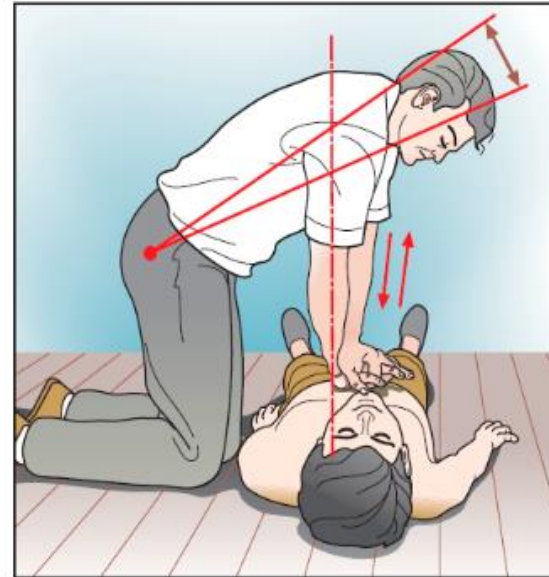
Consideraciones

- Expansión torácica
- Mínimo de interrupciones
- Correcta localización



MARCO TEÓRICO

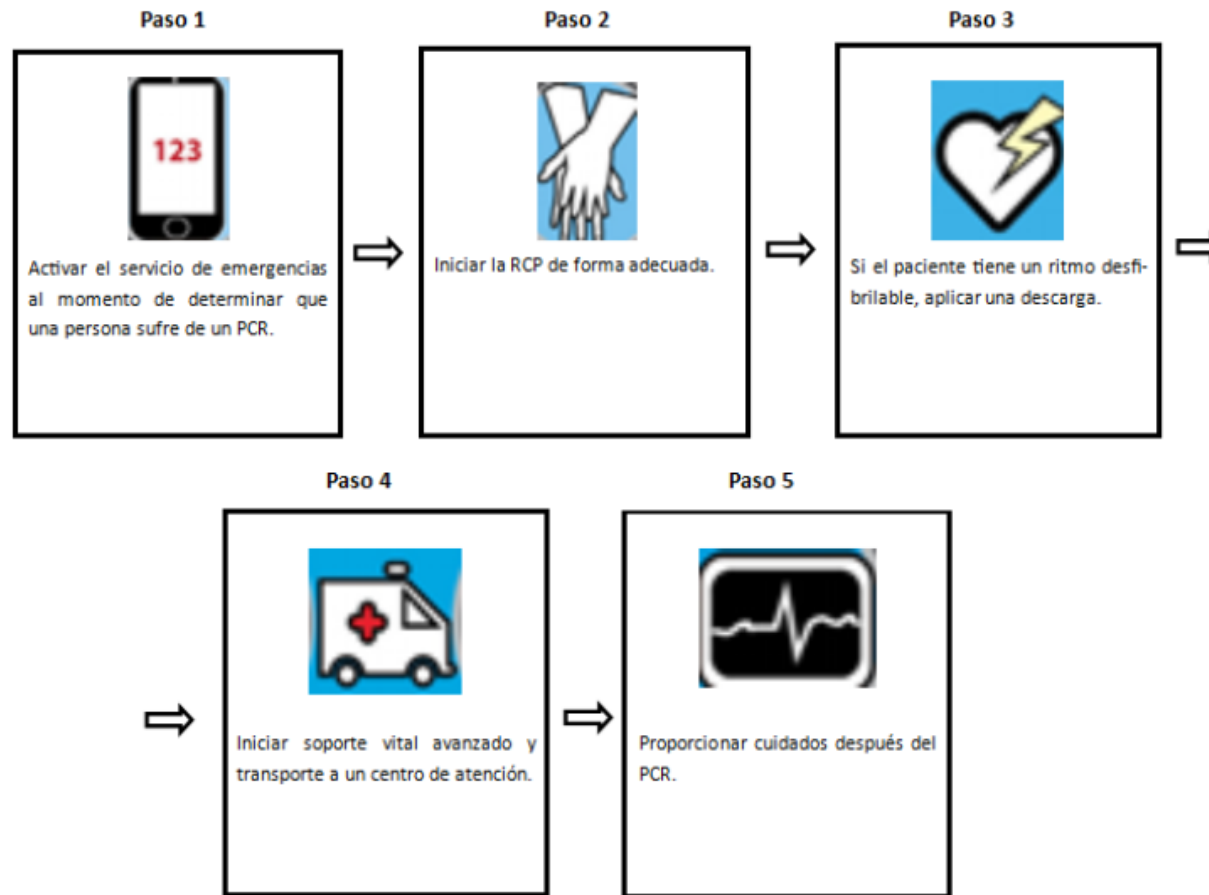
Localización: a 2cm de apófisis xifoides



RCP manual

MARCO TEÓRICO

Cadena de supervivencia



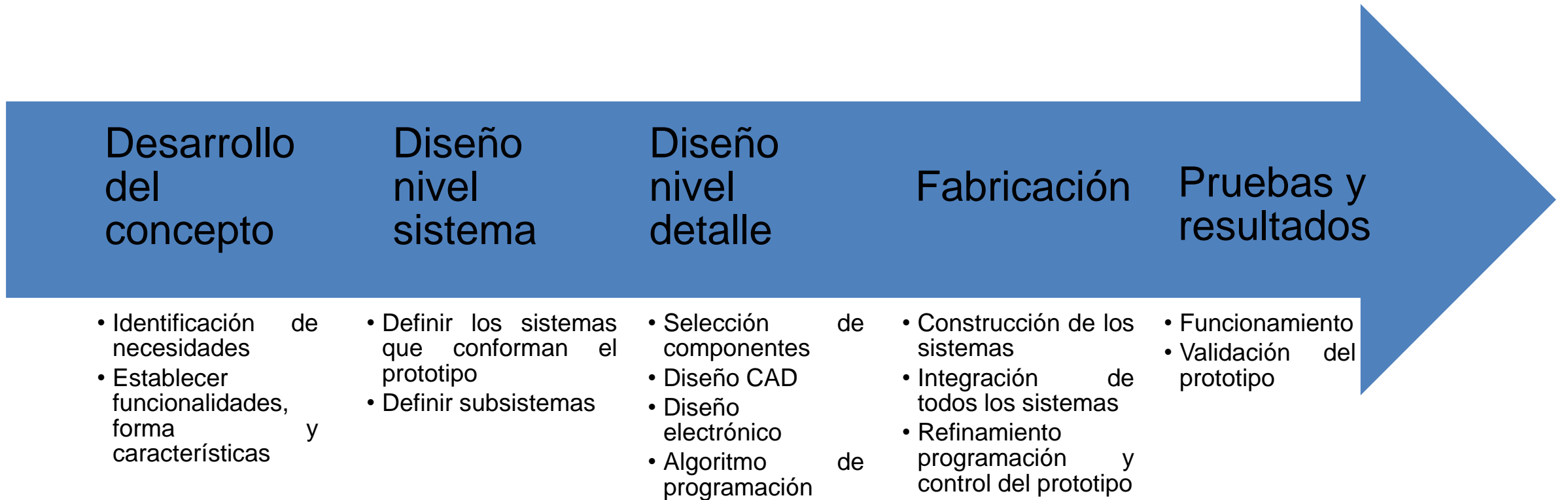
MARCO TEÓRICO

Materiales permitidos para procedimientos no invasivos

No permitidos	
Materiales impregnados con medicamentos	Materia prima de origen animal

DISEÑO

Fases del diseño del prototipo



Parámetros de diseño (Desarrollo del concepto)

- Colocación rápida y fácil
- Fácil uso
- Cumpla con los protocolos de la AHA
- Duración mínima de 10 minutos

DISEÑO NIVEL SISTEMA

Definición de sistemas que conforman el prototipo (Desarrollo nivel sistema)

Sistema mecánico

- Estructura del sistema de compresiones
- Estructura de la tabla dorsal
- Subsistema neumático
- Subsistema de posicionamiento

Sistema electrónico

- Tarjeta electrónica del sistema de compresiones
- Tarjeta electrónica tabla dorsal

Algoritmo de programación

- Código tarjeta electrónica principal
- Código tarjeta electrónica tabla dorsal



DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Actuadores neumáticos)

Cilindro neumático	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Simple efecto	Diseño simple	Cámara de muelle no protegida
	Tamaño compacto	Deformación del resorte
	Menos componentes adicionales	Limitaciones geométricas por el resorte
	Menor consumo de aire	Fuerza de oposición del resorte
Doble efecto	Fuerza en ambas direcciones	Mayor consumo de aire
	Fuerza constante	



DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Elementos electrónicos)

Características	Arduino Nano	Teensy 3.0	STM32F103C
Voltaje lógico	5 [VDC]	5 [VDC]	3.3 – 5 [VDC]
Corriente	40 [mAh] por pin	70 [mAh]	150 [mAh]
Frecuencia	16 [MHz]	120 [MHz]	72 [MHz]
Memoria flash	32 [Kbytes]	32 [Kbytes]	64 [Kbytes]
Núcleo	ATmega328	ARM Cortex M4	ARM Cortex M3

Característica	Válvula solenoide
Voltaje	12 [VDC]
Corriente	0.4 [A]
Presión de trabajo	22 a 116 [Psi]
Dimensión	125 (largo) [mm] 18 (alto) [mm] 75 (ancho) [mm]

DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Elementos electrónicos)

Sensores:	SHARP GP2Y0A41SK0F	Celda de carga + módulo amplificador HX711	Interruptor final de carrera	Sensor FSR cuadrado
Característica	Salida analógica	Salida analógica	Señal digital	Salida analógica
Voltaje	4.5 a 5 [VDC]	2.7 a 5 [VDC]	5 [VDC]	5 [VDC]
Corriente	12 a 22 [mA]	1.5 [mA]	-	-
Rango de medición	2 a 15 [cm]	Hasta 100 [Kg]	-	0.1 – 10 [Kg]

Característica	Motor Nema 17
Voltaje	2.7 a 5 [VDC]
Resistencia	81.65 [Ohm] por bobina
Corriente	Hasta 1.88 [A] por bobina
Torque	3.7 [Kg-cm]
Resolución	200 pasos por vuelta

DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Elementos electrónicos)

Sensores:	SHARP GP2Y0A41SK0F	Celda de carga + módulo amplificador HX711	Interruptor final de carrera	Sensor FSR cuadrado
Característica	Salida analógica	Salida analógica	Señal digital	Salida analógica
Voltaje	4.5 a 5 [VDC]	2.7 a 5 [VDC]	5 [VDC]	5 [VDC]
Corriente	12 a 22 [mA]	1.5 [mA]	-	-
Rango de medición	2 a 15 [cm]	Hasta 100 [Kg]	-	0.1 – 10 [Kg]

Característica	Motor Nema 17
Voltaje	2.7 a 5 [VDC]
Resistencia	81.65 [Ohm] por bobina
Corriente	Hasta 1.88 [A] por bobina
Torque	3.7 [Kg-cm]
Resolución	200 pasos por vuelta

DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Elementos electrónicos)

Características	DRV8825	A4988	DRV8833
Voltaje lógico	3.3 a 5 [VDC]	3.3 a 5 [VDC]	3.3 a 10 [VDC]
Voltaje de potencia	8.2 a 45 [VDC]	8.2 a 35 [VDC]	8.2 a 45 [VDC]
Corriente	1.5 a 2.5 [A] por bobina	1.5 a 2 [A] por bobina	1.2 a 2 [A] por bobina
Resolución de pasos y microstepping	Full step, half step, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32	Full step, half step, 1/4, 1/8, 1/16	Full step, half step, 1/4, 1/8, 1/16



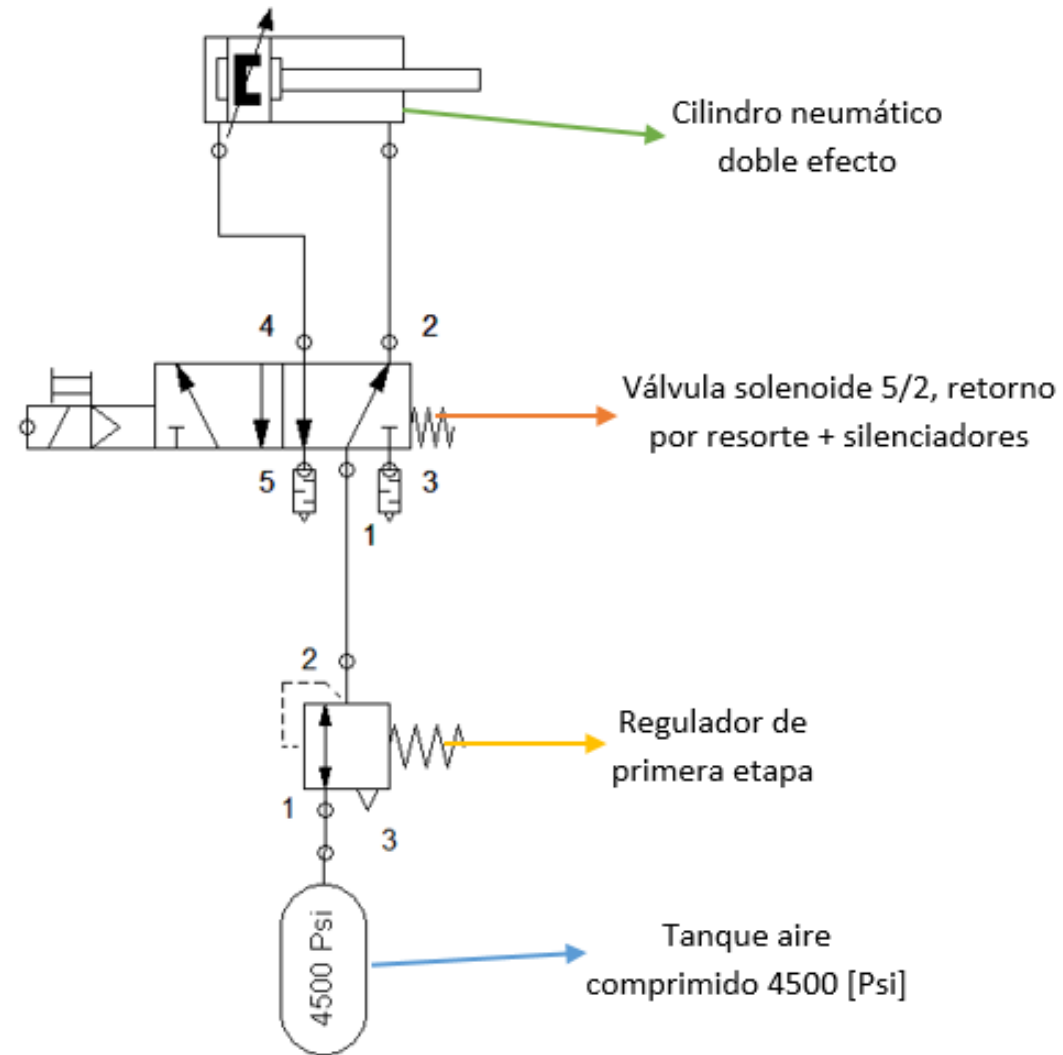
DISEÑO NIVEL DETALLE

Selección de componentes (Elementos electrónicos)

Indicadores	Pantalla O 'led 0,96"	Pulsador metálico LED incluido	Teclado
Característica	Comunicación I2C	Supera un millón de ciclos	4x1 tipo membrana
Voltaje	3 a 5 [VDC]	12 [VDC]	---
Corriente	16 [mA]	18.3 [mA] en el LED	---
Rango de medición	Resolución 128x64	---	---
Cantidad	1	2	1

DISEÑO NIVEL DETALLE

Sistema neumático



DISEÑO NIVEL DETALLE

Sistema neumático

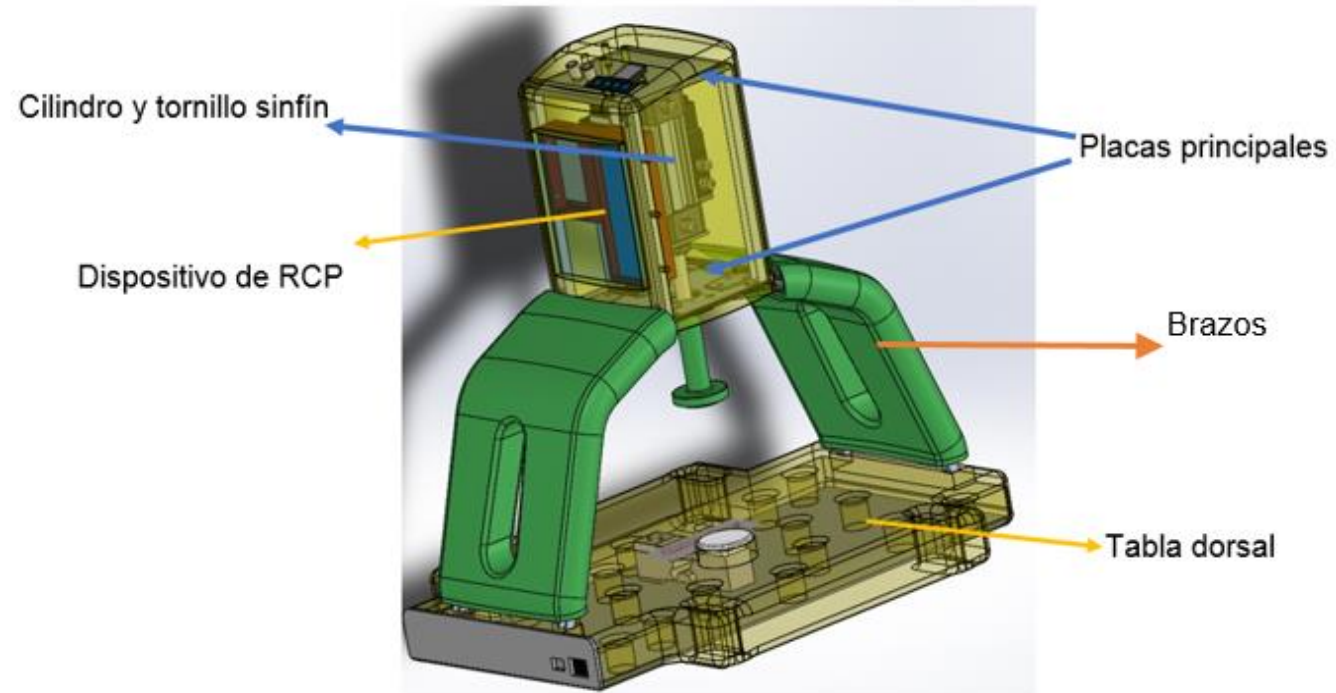
Especificaciones técnicas de sistemas de conexión y reguladores de presión.

Partes	Diámetro	Presión máxima de entrada	Rango de regulación
Manguera	1/4"	200[Psi]	-
Manguera	1/2"	300[Psi]	
Niples de acople rápido roscado	1/4"	-	-
Regulador de diafragma de primera etapa		4500psi	117psi



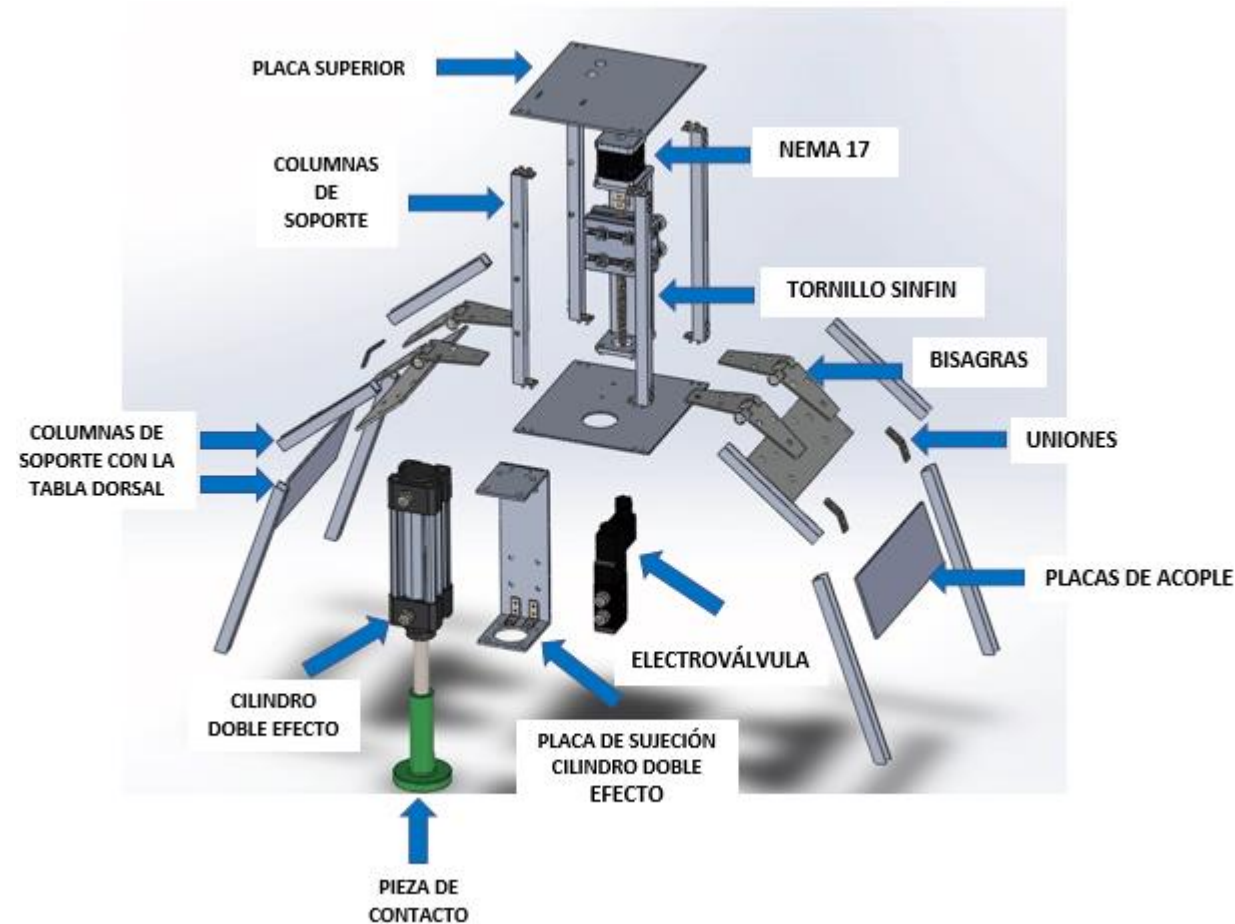
DISEÑO NIVEL DETALLE

Diseño CAD de la estructura
(Vista general del prototipo)



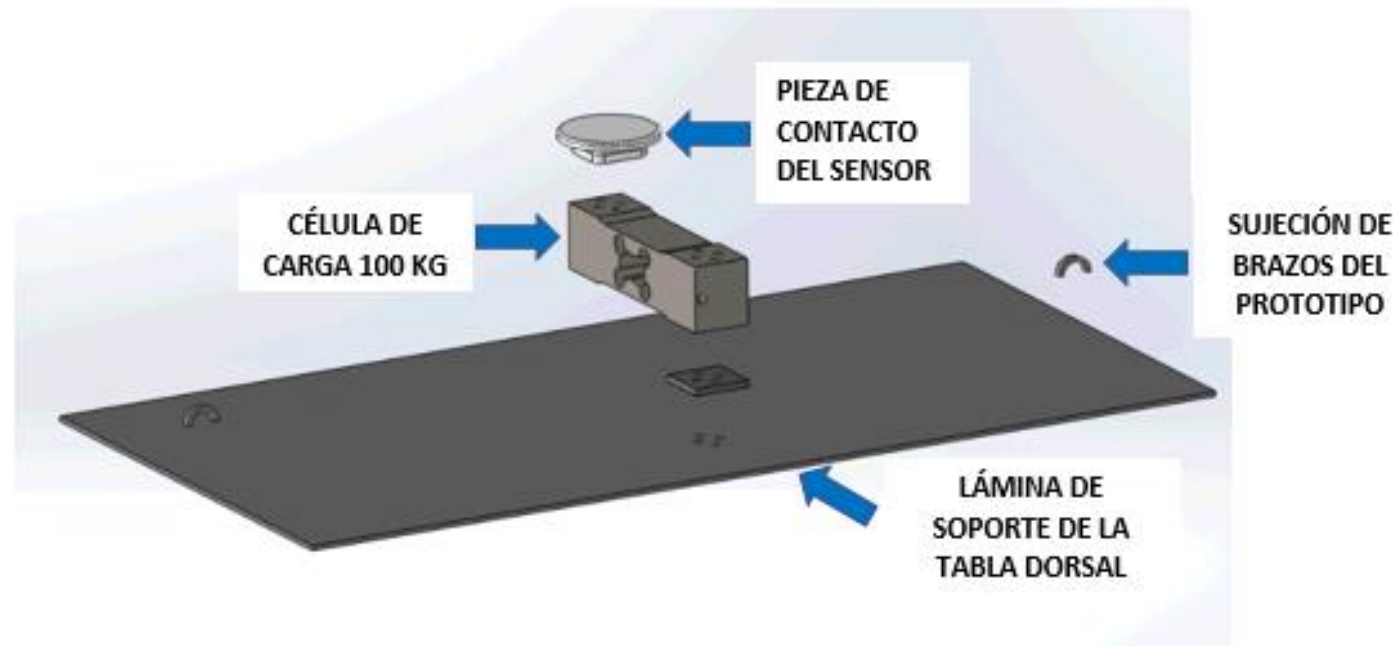
DISEÑO NIVEL DETALLE

Diseño CAD de la estructura (Explosionado estructura del sistema de compresiones)



DISEÑO NIVEL DETALLE

Diseño CAD de la estructura (Explosionado estructura de la tabla dorsal)



DISEÑO NIVEL DETALLE

Diseño electrónico
(Tarjeta principal)

Elementos principales

STM32F103C

Driver A4988

OLED

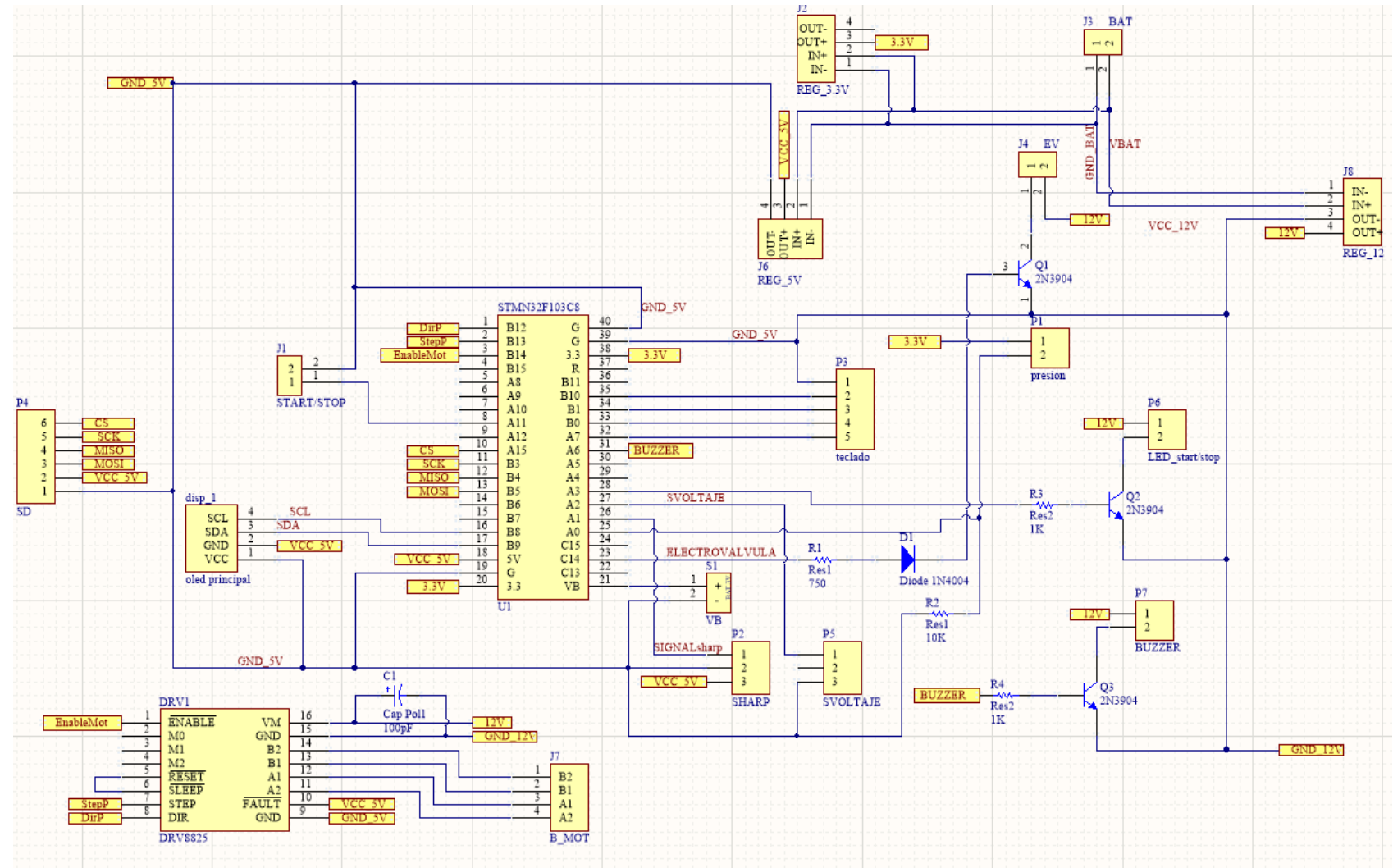
Batería LIPO 4S
4000mAh

Sensor SHARP

Electroválvula

Teclado

Reguladores Step-Down



DISEÑO NIVEL DETALLE

Diseño electrónico (Tarjeta de la tabla dorsal)

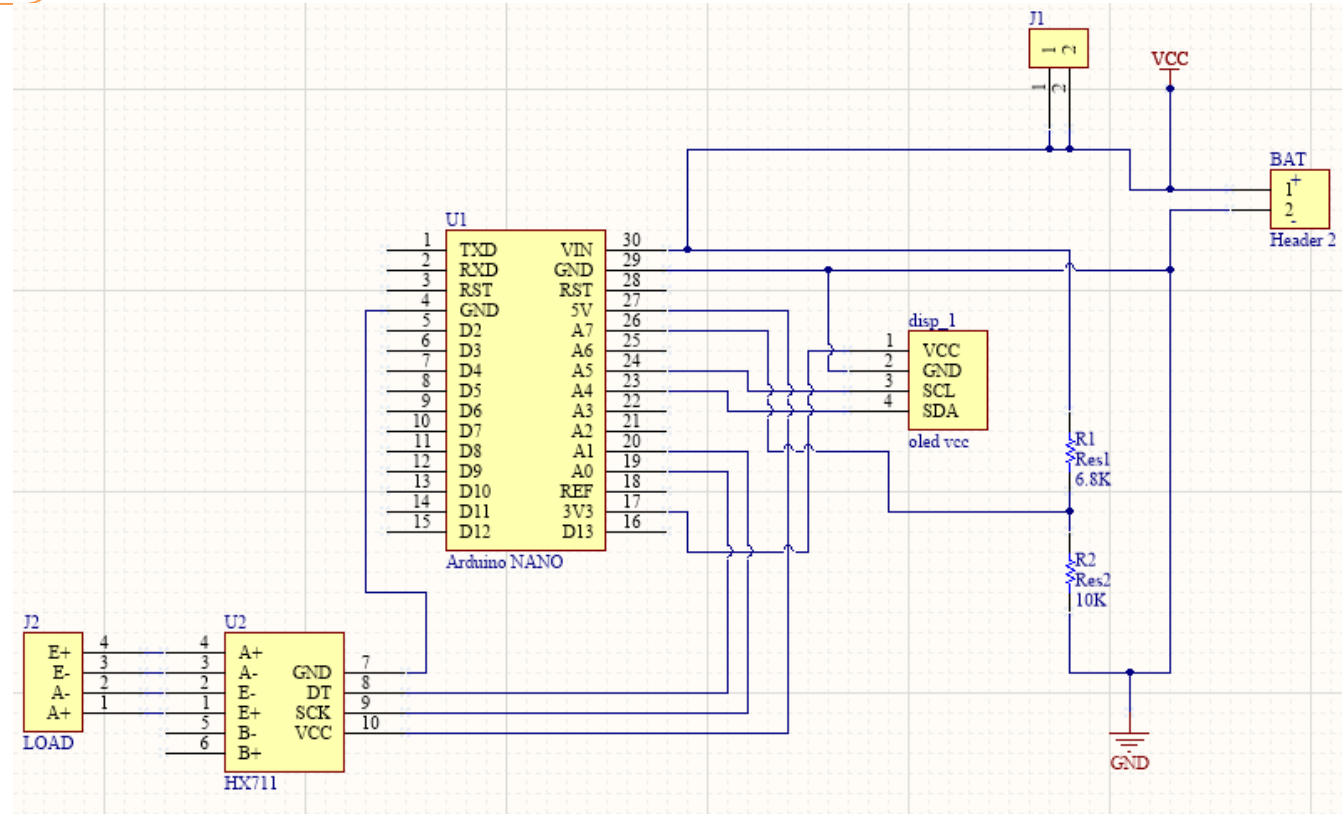
Elementos principales

Arduino NANO

Celda de carga 100Kg

OLED

Batería LIPO 2S 500mAh



DISEÑO NIVEL DETALLE

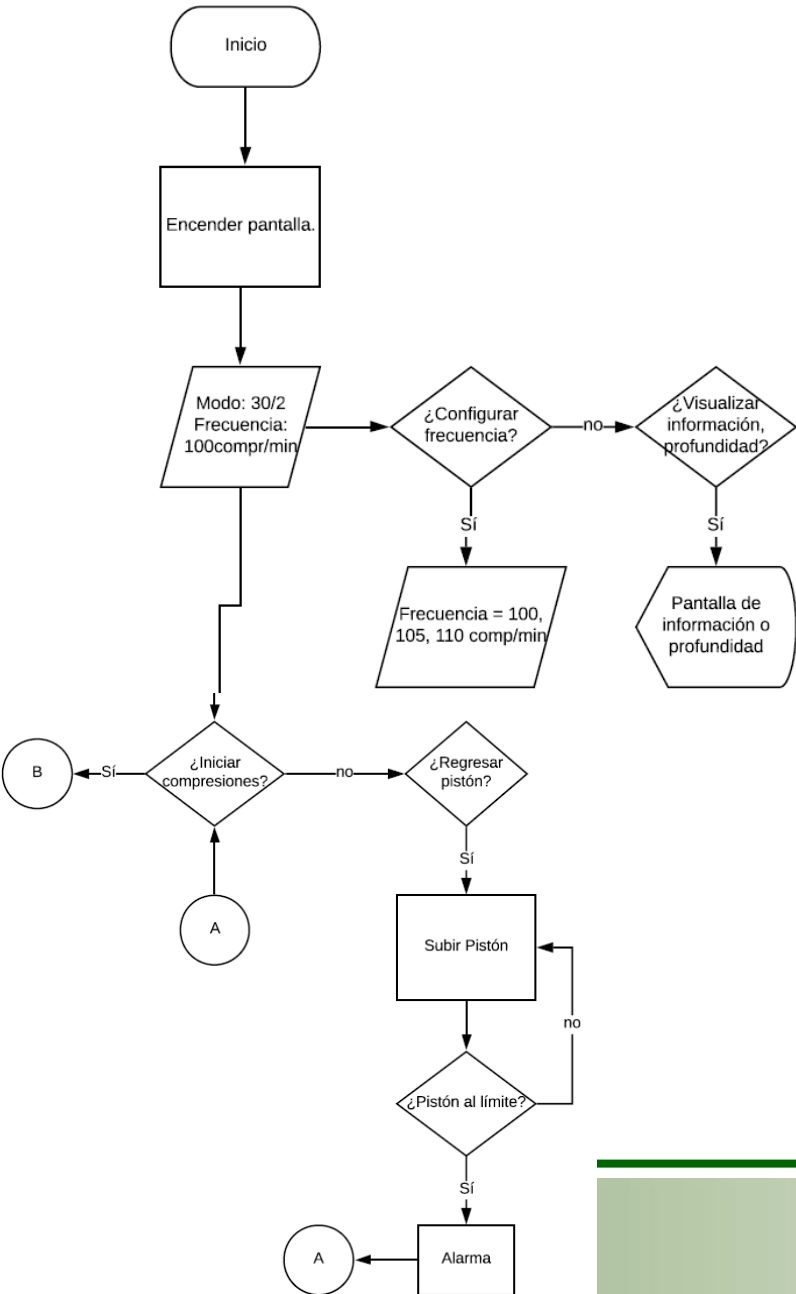
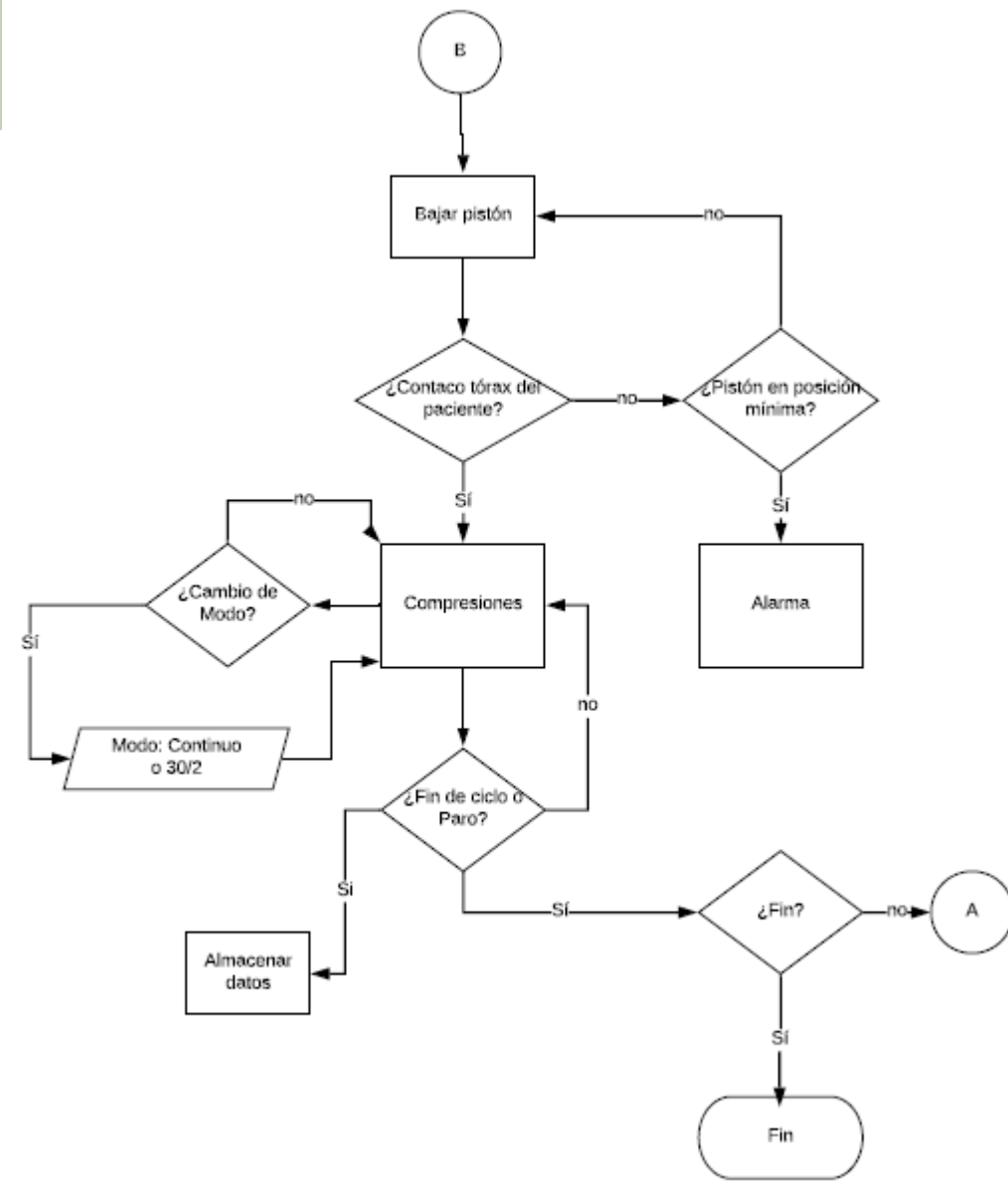


Diagrama de flujo del algoritmo de la tarjeta principal



DISEÑO NIVEL DETALLE

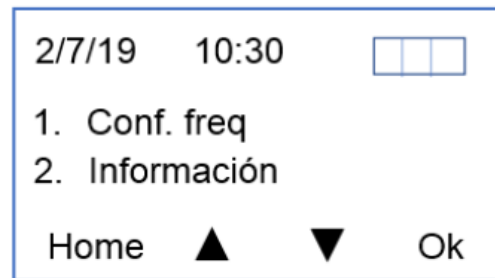
Interfaz de usuario pantalla OLED



Ventana de inicio

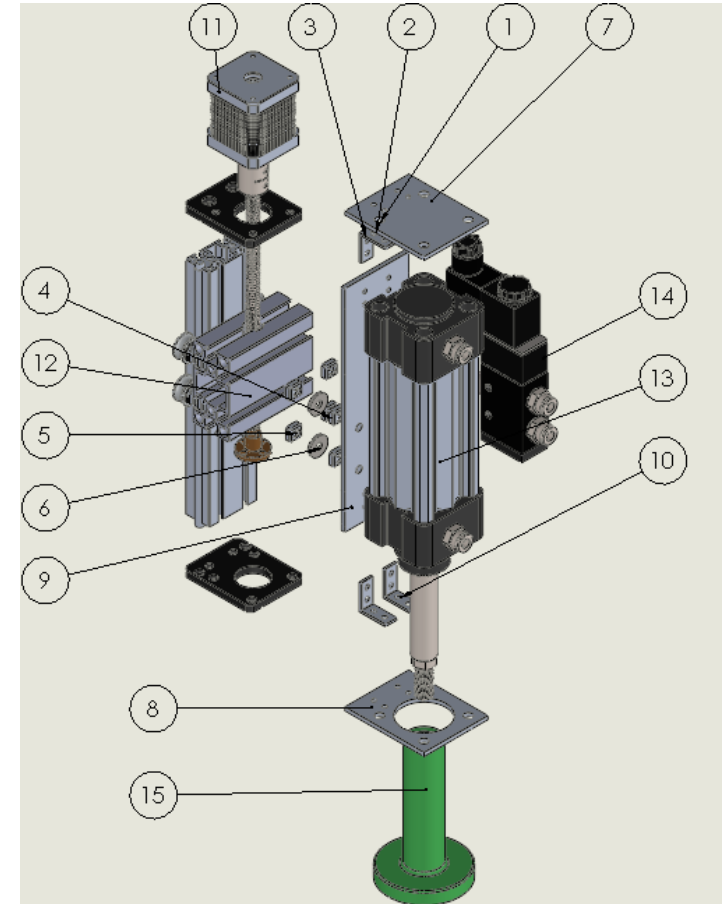


Profundidad



Menú

FABRICACIÓN

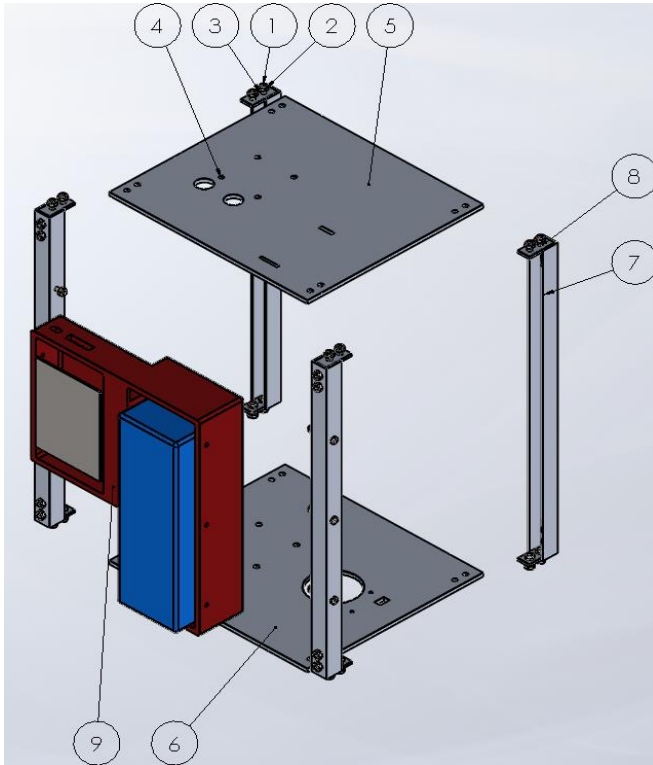


Identificador	Descripción
1	Perno M5 x 15 mm
2	Tuerca M5
3	Arandelas M5
4	Perno M6,5 x 25 mm
5	Tuerca M6,5
6	Arandela M6,5
7	Placa superior de soporte de cilindro
8	Placa inferior de soporte de cilindro
9	Placa posterior de soporte de cilindro
10	Ángulo 90 grados de sujeción
11	Motor NEMA 17
12	Sistema Tornillo sinfin
13	Cilindro doble efecto
14	Electroválvula 5/2
15	Pieza de contacto esternón



Subsistema de sujeción tornillo sinfín y cilindro neumático

FABRICACIÓN

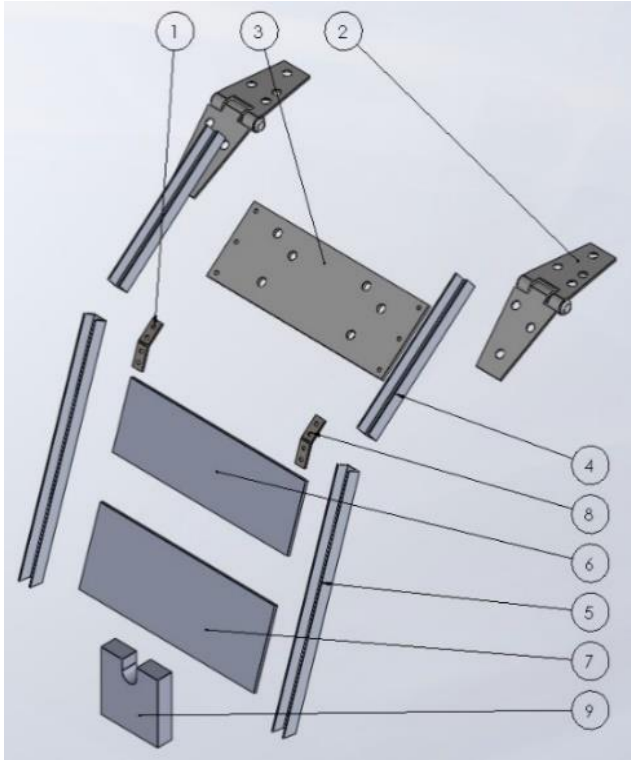


Identificador	Descripción
1	Perno M5 x 15 mm
2	Tuerca M5
3	Arandelas M5
4	Perno M3 x 15 mm, Tuerca M3, Arandela M3.
5	Placa principal superior
6	Placa principal inferior
7	Soportes de placas principales
8	Ángulo 90 grados de sujeción
9	Soporte de batería y tarjeta de control

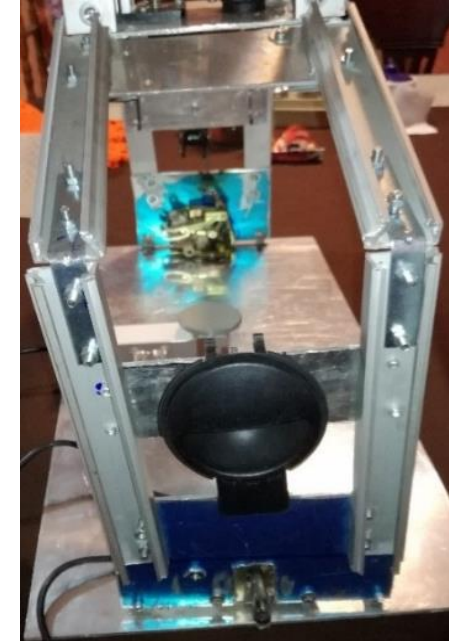


Subsistema de sujeción de actuadores

FABRICACIÓN



Identificador	Descripción
1	Perno M5 x 15 mm, Tuerca M5, Arandelas M5
2	Bisagras
3	Placa de unión entre bisagra y brazos
4	Brazo superior
5	Brazo inferior
6	Placa de soporte para mecanismo de apertura
7	Placa de soporte de mecanismo de sujeción
8	Ángulo 135 grados de sujeción
9	Mecanismo de sujeción

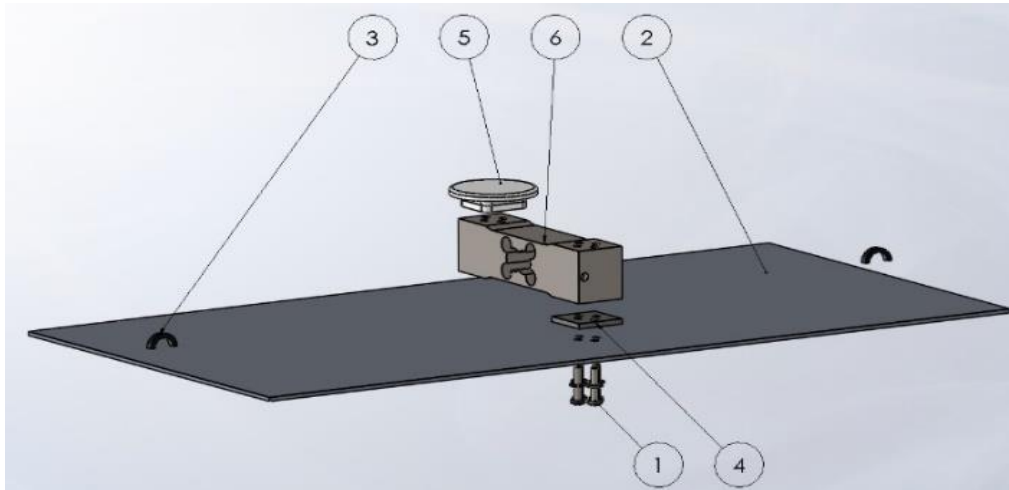


Sistema de fijación del
prototipo a la tabla dorsal



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FABRICACIÓN

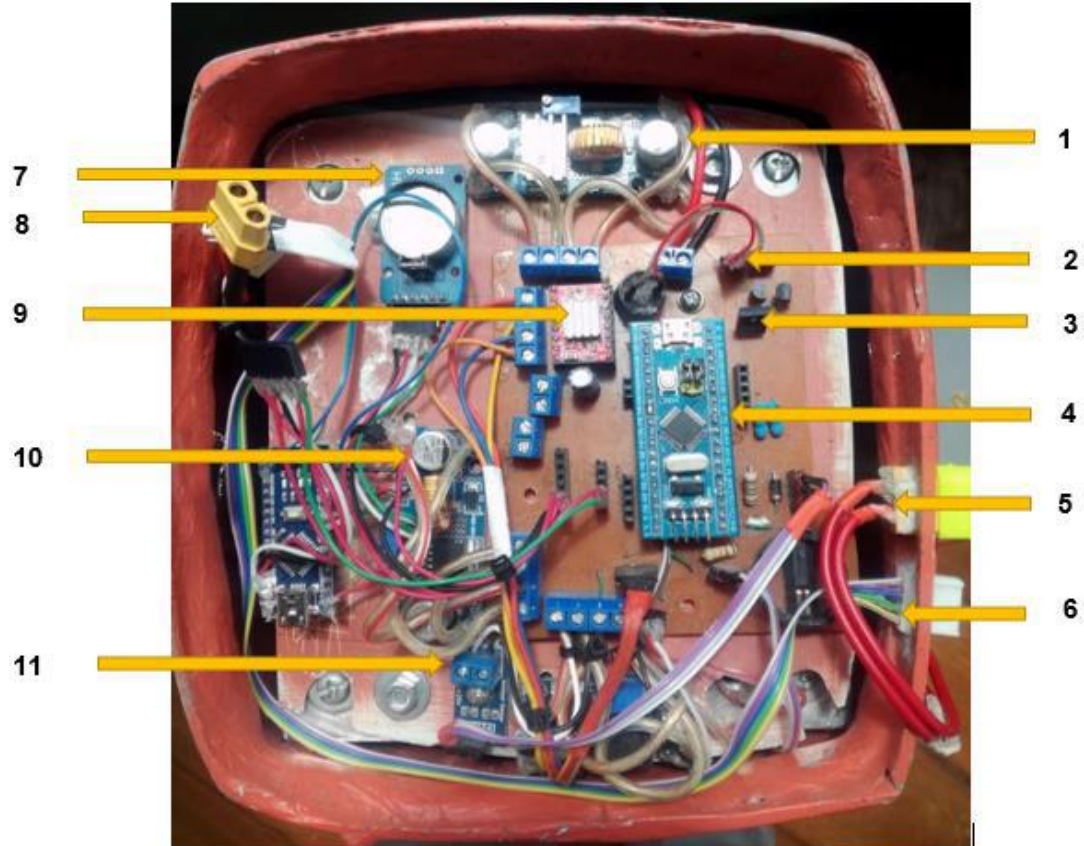


Estructura de la tabla dorsal

Identificador	Descripción
1	Perno M6 x 25 mm, Arandelas M6
2	Placa base la tabla dorsal
3	Anillo de sujeción
4	Alza de sensor
5	Contacto del sensor y espalda del paciente
6	Sensor de fuerza

FABRICACIÓN

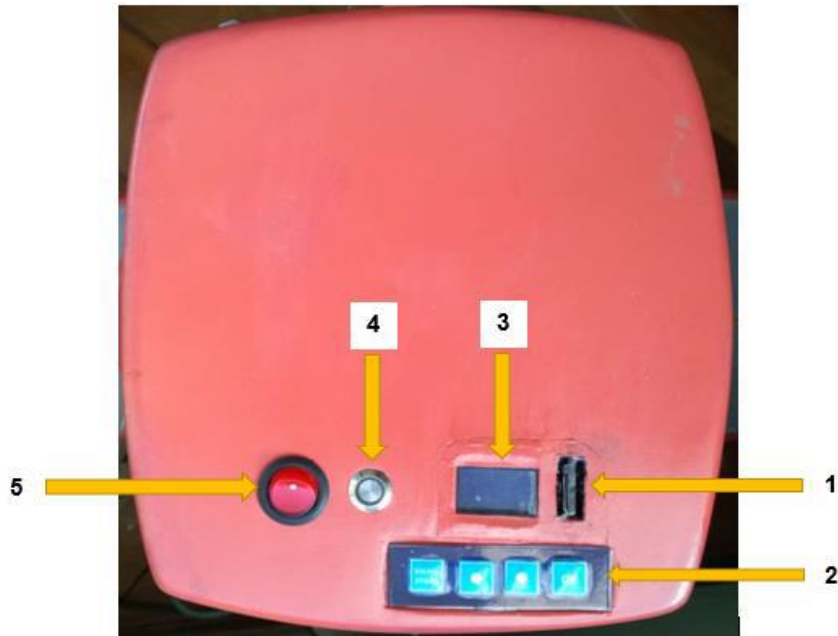
Implementación sistema electrónico



1	Regulador de tensión a 5 [V]
2	Buzzer
3	Transistor BJT BD1306
4	Tarjeta STM32F103C6T8
5	Conector XT90 para la carga de batería
6	Balanceador para la carga
7	Módulo RTC DS3231
8	Conector de batería
9	Driver A4988
10	Regulador de tensión a 12 [V]
11	Sensor de voltaje

FABRICACIÓN

Elementos externos



Identificador	Descripción
1	Lector de memoria micro SD
2	Teclado matricial 4x1
3	Pantalla OLED 0.96"
4	Pulsador de inicio
5	Interruptor de encendido

FABRICACIÓN

Recubrimiento de fibra de vidrio

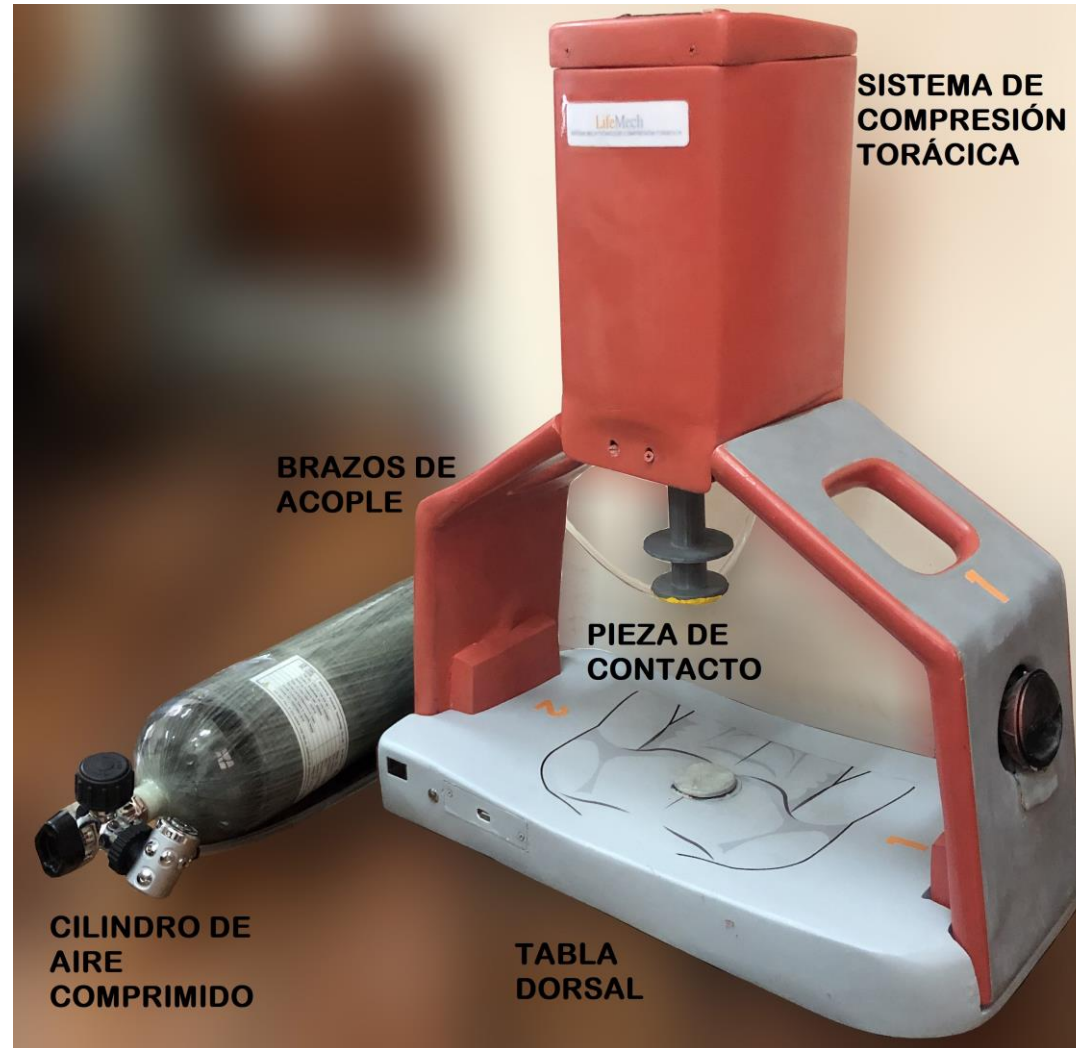


Prototipo pintado



FABRICACIÓN

Prototipo de Reanimación
Cardiopulmonar terminado



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Colocación del paciente en la tabla dorsal

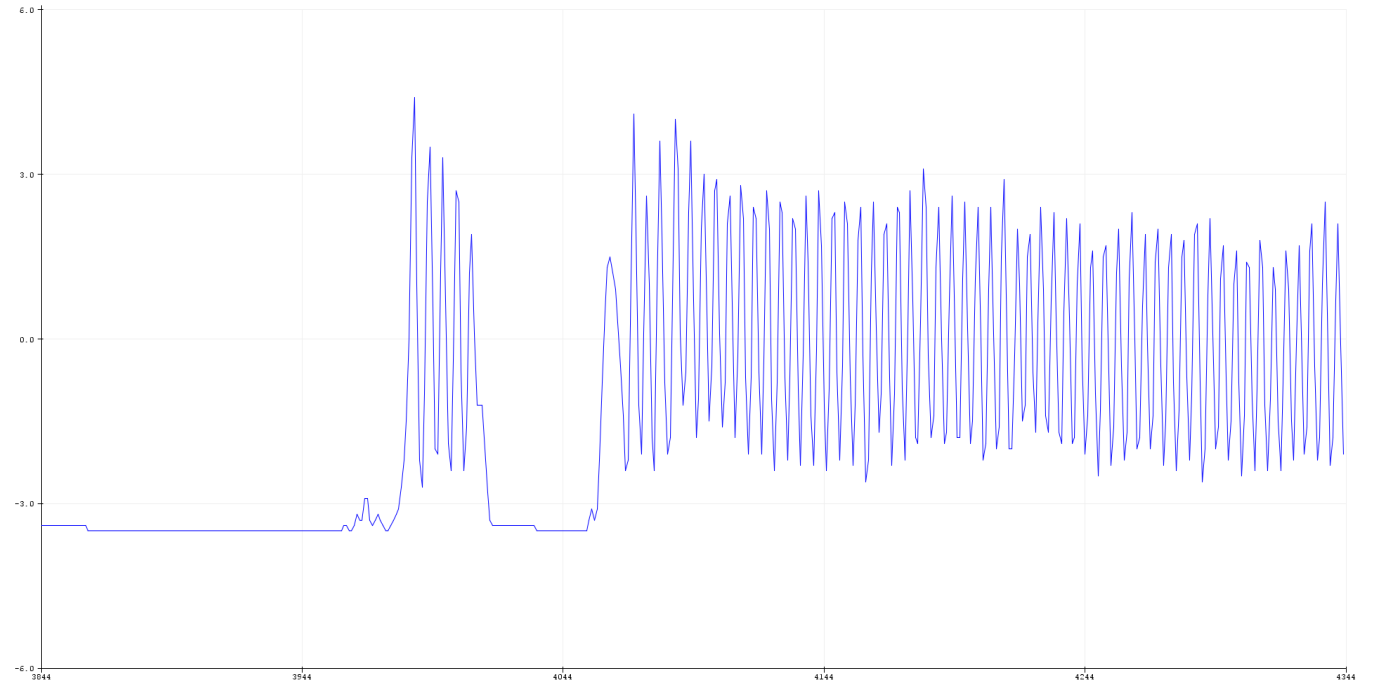


Colocación del sistema de compresión torácica

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Compresiones manuales

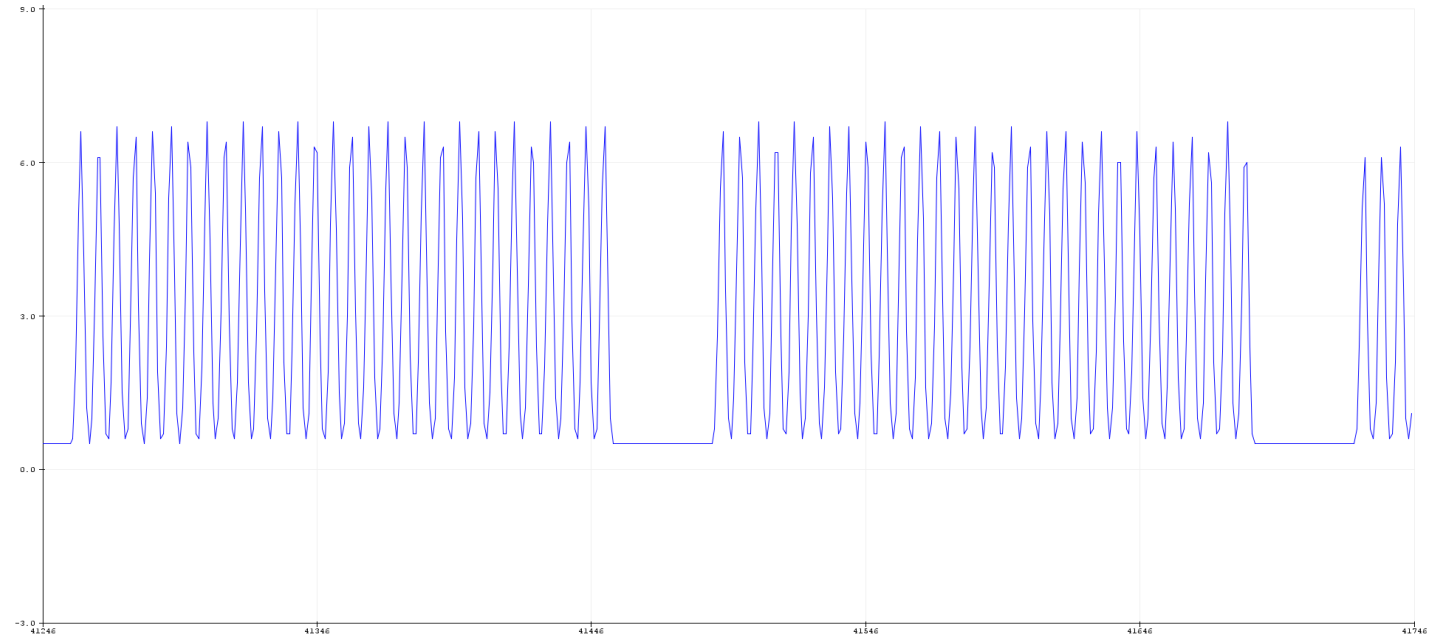


Gráfica de intensidad y frecuencia de compresiones manuales

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Compresiones dadas por el prototipo



Gráfica de intensidad y frecuencia de compresiones dadas por el prototipo

VALIDACIÓN

Para la validación de la hipótesis se ocupó el método T-Student, a continuación se presentan los resultados obtenidos

Hipótesis alternativas	Reglas de decisión
$\mu > \mu_0$	$T > t_\alpha$
$\mu < \mu_0$	$T < -t_\alpha$
$\mu \neq \mu_0$	$T < -t_{\alpha/2}$ o $T > t_{\alpha/2}$

Reglas de decisión

VALIDACIÓN

Resultados de la prueba de tiempo de colocación

H0: El tiempo de colocación del prototipo es igual a 20 segundos.

$$-5.25 < -1.3334$$

H1: El tiempo de colocación del prototipo es menor a 20 segundos.

$$T \quad t_{\alpha}$$

Resultados de la prueba de profundidad de compresiones

H0: La profundidad de las compresiones es menor o igual a 5cm.

$$51.346 > 1.3334$$

H1: la profundidad de las compresiones es mayor a 5cm

$$T \quad t_{\alpha}$$

Resultados de la prueba de intensidad de compresiones

H0: La fuerza de las compresiones es menor o igual a 450.8N.

$$6.7567 > 1.3334$$

H1: La fuerza de las compresiones es mayor a 450.8N.

$$T \quad t_{\alpha}$$

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó el prototipo mecatrónico de reanimación cardiopulmonar y mediante los resultados de las pruebas realizadas se comprobó que la ejecución de la maniobra fue mejorada en comparación a la ejecutada manualmente.
- Al Investigar acerca de los parámetros y protocolos necesarios para la correcta práctica del RCP se conoció que la profundidad que se debe aplicar para la compresión torácica para adultos, va desde un valor mínimo de 5 cm hasta un máximo de 6 cm, y estas deben ser efectuadas a una frecuencia de 100 a 110 compresiones por minuto con una fuerza constante y un tiempo máximo de interrupción de 10 segundos.

CONCLUSIONES

- Mediante la fabricación de la estructura metálica que soporta el sistema de compresión torácica, al implementar en aluminio 6061 de 3 mm de espesor, ayudó al mismo a no ceder más que 0.4 mm por la deflexión ocasionada al aplicar una fuerza opositora en el esternón, que este caso se ha diseñado para una carga de 80 Kg, con lo cual la estructura, será capaz de soportar la carga efectuada sin llegar a sufrir ningún daño, además de que es una carga cíclica.
- El sistema de compresión torácica está formado mediante un sistema de tornillo sinfín acoplado a un motor a pasos NEMA 17; a este mecanismo mediante placas de aluminio se acopla un cilindro neumático de doble efecto que posee un diámetro de 40 mm con una carrera de 6 cm, con el que proporciona una fuerza equivalente a 784 N, los cuales son necesarios para poder llegar a presionar el tórax del paciente, para poder llegar a una profundidad de 6 cm, misma que es la longitud de la carrera del cilindro.

CONCLUSIONES

- El cilindro de doble efecto acoplado al sistema de tornillo sinfín, puede desplazarse una distancia de 7 cm, que van desde un altura mínima de 19 cm a una altura máxima de 26 cm del esternón de cada paciente.
- La alimentación del sistema de compresión torácica está dado por un tanque de fibra de carbono, posee una capacidad de 2040 litros de gas comprimido a 4500 Psi o 310.2641 bar, este tanque fue seleccionado mediante los parámetros de tiempo necesario en la realización de la maniobra de reanimación cardiopulmonar que son de aproximadamente 10 minutos según las directrices de la AHA, por lo cual al realizar los cálculos correspondientes de la autonomía del tanque, este durara aproximadamente 15 minutos, pero al realizar la prueba de autonomía del mismo este duró aproximadamente 12 minutos hasta llegar a su descarga total llegando a tener un margen de error del 25 % en comparación a lo calculado.

CONCLUSIONES

- La tabla dorsal, es el sistema en el cual se coloca al paciente para la aplicación de RCP, en esta, se acopla una celda de carga, la misma que permite obtener el valor de la fuerza aplicada por el sistema de compresión torácica hacia el paciente, este sensor implementado, sirve para determinar que la fuerza con la que se aplica la maniobra de RCP sea constante, en la cual, al usar un maniquí de prueba se pudo observar la fuerza constante de aproximadamente 48 Kg que se aplica sobre el paciente.
- Las estructuras de soporte para el sistema fueron validadas mediante un software CAE, obteniendo así para el sistema de compresión torácica una tensión de Von Mises de 44.4 MPa, el cual es menor que el límite elástico de 275 MPa del aluminio 6061-T6, además se produce un esfuerzo de 177 MPa en las uniones de acero, las cuales tienen un límite elástico de 620 MPa, cumpliendo así con la primera condición de diseño, no debe fallar por fractura, se obtuvo la deformación máxima, la cual fue de 0.4 mm, la cual es mínima y se cumple la segunda condición de diseño, la flexión no debe ser excesiva.

CONCLUSIONES

- Una vez seleccionados los parámetros mecánicos, el diseño electrónico y la programación del mismo se lo realizó mediante el uso de una tarjeta de control STM32F103C6T8, la misma que esta acoplada al sistema de compresión torácica, y maneja los datos tanto del sensor de distancia Sharp GP2Y0A41SK0F y sensor de fuerza FSR interlink 406, como el control de posición del motor a pasos NEMA 17, a su vez en la tabla dorsal del equipo para la medición del peso otorgado por el sistema de compresión torácica se implementó una celda de carga con una capacidad hasta 100 Kg, misma que es controlada a través de la tarjeta Arduino NANO.
- Al implementar las encuestas con personal de la Junta Provincial de la Cruz Roja de Imbabura se pudo constatar que desde la apariencia física es catalogada como buena, además del uso y colocación del mismo fue fácil y rápida, ya que el panel de control como el mecanismo de acople hacia la tabla dorsal son de fácil uso, asimismo el uso del prototipo de reanimación cardiopulmonar les resultó eficaz ya que mantiene un ritmo y una profundidad constante en comparación a la maniobra ejecutada manualmente.

CONCLUSIONES

- La respuesta promedio en implementación del prototipo a un paciente fue de 18 segundos, siendo un tiempo de 9 segundos la colocación de la tabla dorsal, y 9 para la colocación de la parte superior, los cuales están dentro del rango de 10 segundos máximos que se puede interrumpir en la aplicación de la maniobra de RCP, y se concluyó que el prototipo cumple con el protocolo establecido.
- Mediante los resultados obtenidos en las pruebas de intensidad de compresiones, se comprobó que son constantes y genera un valor de aproximadamente 48 Kg, este valor depende de la fuerza de resistencia que ofrece el esternón del paciente, en este caso del maniquí simulador de RCP, además de ello, mediante la comparación de la maniobra ejecutada por el prototipo y la ejecutada manualmente, se comprobó que con el uso del dispositivo se mejora la eficacia de la aplicación de la maniobra en lo referente a la fuerza de compresión.

CONCLUSIONES

- El valor promedio de la profundidad de las compresiones fue de 5.9 cm, y se observó que la desviación estándar de los datos es muy baja, por lo que se concluye que el prototipo proporciona una profundidad de compresión constante y que está dentro de los protocolos establecidos por la AHA.

RECOMENDACIONES

- El peso del prototipo se lo puede optimizar haciendo uso de una inyectora de plástico para formar la estructura del mismo, ya que al implementar como estructura base, placas y tubos de aluminio, este llega a aumentar su peso.
- El sistema neumático puede ser reemplazado por un sistema eléctrico, accionado por un motor y un mecanismo que convierta el movimiento rotacional en movimiento lineal, o a su vez la implementación de un motor lineal.
- La tabla dorsal se debe hacer más delgada, haciendo el uso de una celda de carga de plataforma y punto único, los cuales son de menor tamaño y mejor resolución, así la implementación del sensor no afectará a la textura de la tabla dorsal.
- La apariencia física del prototipo se lo puede mejorar al implementar una pantalla de mayor tamaño y colocarla en el centro superior del prototipo con lo cual mejoraría la visualización de los parámetros de ejecución del prototipo.

RECOMENDACIONES

- Mediante la reestructuración de la colocación de los componentes electrónicos externos del prototipo, este puede llegar a ser impermeable.
- Realizar ensayos pertinentes a la estructura, para así lograr otorgar grados de protección IP.
- Para la obtención de datos de la ejecución de la maniobra llevado a cabo por el prototipo se puede implementar opciones tanto por tarjeta micro SD como también comunicación por bluetooth.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias

