

PROYECTO FINAL DE GRADO

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RESPIRADOR
ARTIFICIAL, MONITOREADO VÍA WEB, PARA
PACIENTES DEL ÁREA DE EMERGENCIA DEL
HOSPITAL DISTRITAL DE LA CIUDAD DE
CAAGUAZÚ.**



**OSMAR JAVIER RAMOA DUARTE
LIZ MABEL ARANDA GONZÁLEZ**

**TUTOR: PROF. ING. FEDERICO RODOLFO
FERNÁNDEZ GÓMEZ**

CORONEL OVIEDO



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Hospital Distrital de Caaguazú enfrenta una falta crítica de respiradores artificiales en el área de emergencias, disponiendo de solo cuatro cicladores activos y uno en ambulancia. Esta carencia, sumada a la alta demanda de pacientes y la falta de mantenimiento (especialmente en épocas de alta demanda), obliga al uso manual de dispositivos AMBU, lo que reduce la eficiencia del personal médico y limita la capacidad de respuesta del hospital..



OBJETIVOS DE INVESTIGACION



OBJETIVO GENERAL

Proponer un diseño de respirador artificial que se ajuste a las necesidades específicas del área de emergencia del Hospital Distrital de Caaguazú, atendiendo a las especificaciones técnicas y configuraciones óptimas para su monitoreo remoto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar variables clínicas a monitorear.
- Definir los criterios que se aplicarán para el diseño del respirador artificial.
- Identificar las funcionalidades mínimas y especificaciones técnicas.
- Evaluar las mejores alternativas tecnológicas.
- Definir la configuración y programación adecuada para el correcto funcionamiento del respirador artificial.
- Explorar la viabilidad de desarrollar una aplicación web que permita el monitoreo remoto del respirador artificial.
- Realizar el presupuesto del diseño final del respirador artificial.

METODOLOGIA

FASE 1: Recopilación de información.
Tipos de ventilación asistida y parámetros fundamentales.

FASE 2: Análisis de requisitos.
Identificación de necesidades médicas y técnicas.

FASE 3: Revisión de normativas. Cumplimiento con normativas internacionales y nacionales.

FASE 4: Selección de componentes.
Sensores, actuadores, controladores y alimentación.

FASE 5: Desarrollo del sistema.
Diseño de software y hardware del dispositivo

FASE 6: Integración y validación.
Análisis de diseño

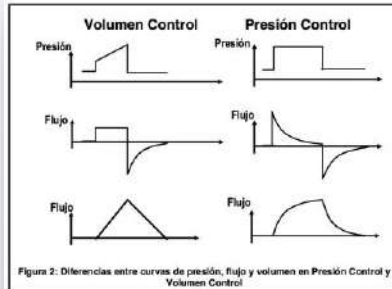
CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE LA RESPIRACIÓN MECÁNICA

Tipos principales de ventilación

- Controlada por volumen (VCV)
- Controlada por presión (PCV)

Parámetros fundamentales de la ventilación

- Frecuencia respiratoria
- Volumen tidal
- Presión inspiratoria pico (PIP)
- Relación I:E



NORMATIVAS

Cumplimiento de normas internacionales y locales:

ISO 80601-2-12

IEC 60601-1

IEC 60601-1-8

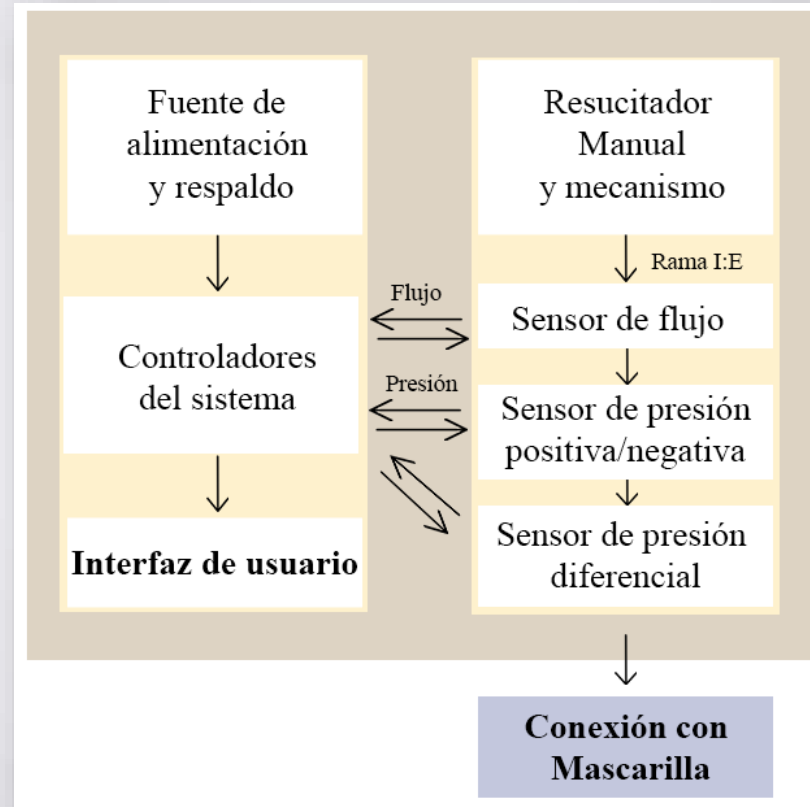
Leyes paraguayas:

Ley N° 1119/1997

Resolución S.G. N° 669/2016

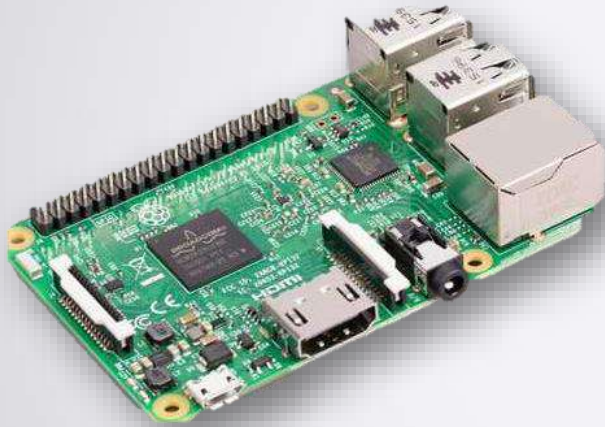
Ley N° 4659/12

DISEÑO TEÓRICO PROPUESTO



SELECCIÓN DE COMPONENTES

CONTROLADORES



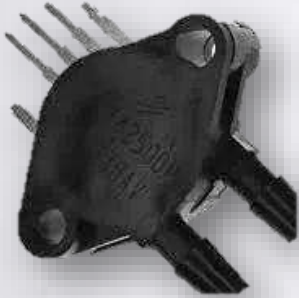
Raspberry Pi 3 (Controlador principal)



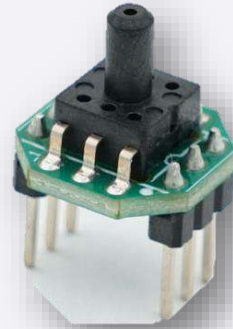
Arduino Mega (Controlador secundario)

SELECCIÓN DE COMPONENTES

SENSORES



**Sensor de presión
MPX5050DPS**



**Sensor de presión
absoluta XGZP6847**



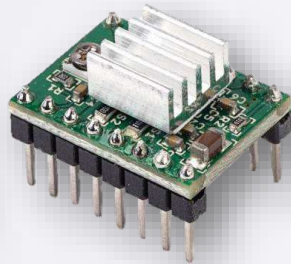
**Sensor de Flujo
YF-S201**

SELECCIÓN DE COMPONENTES

ACTUADOR Y FUENTE



**Motor paso a paso NEMA 17
controlado con driver A4988**



Fuente conmutada de 12 V y 10 A

SELECCIÓN DE COMPONENTES

FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE RESPALDO



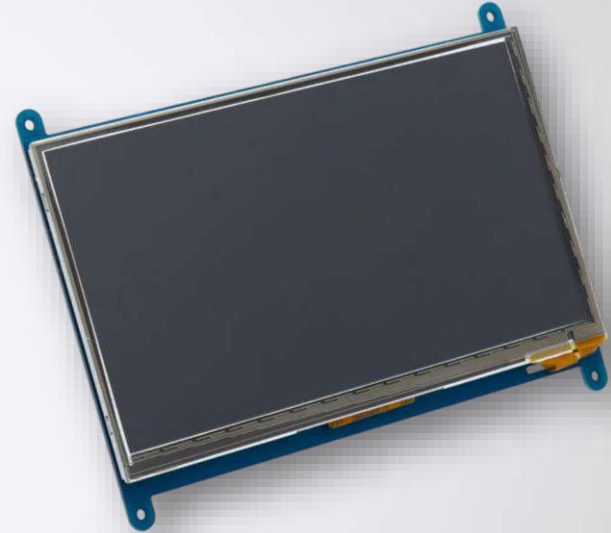
Baterías de litio 18650 en configuración 4S4P.

SELECCIÓN DE COMPONENTES

DISPLAY



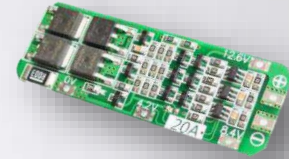
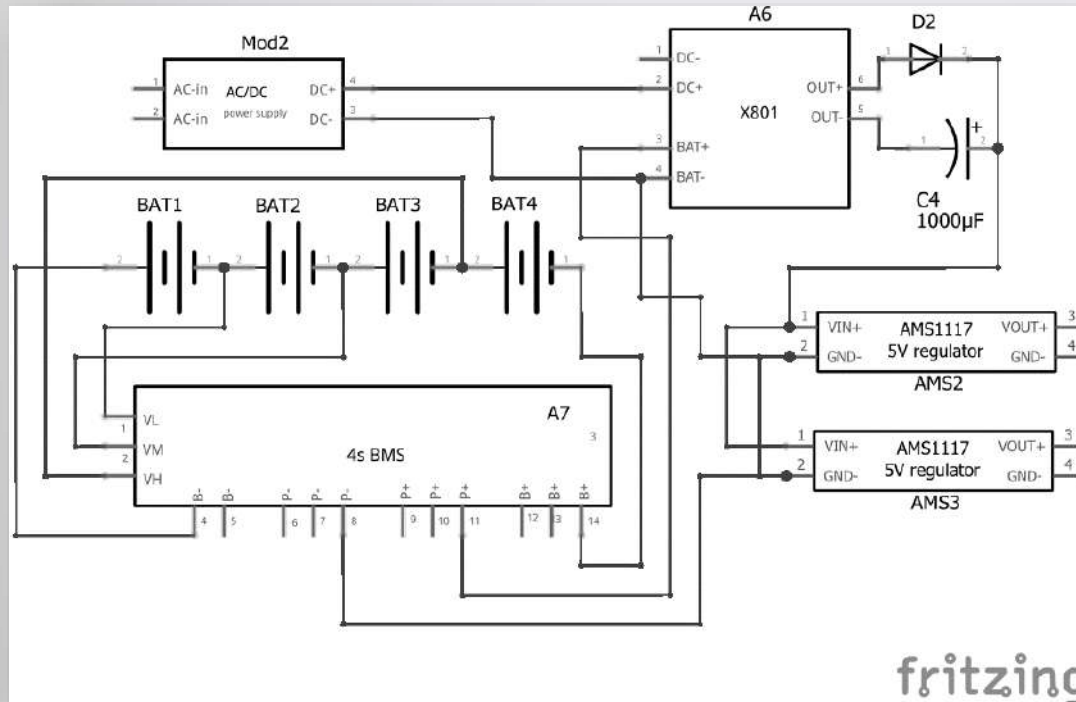
Raspberry Pi Touch Display 7"



**Touch Screen Display TFT 7"
LCD HDMI**

SELECCIÓN DE COMPONENTES

CIRCUITO DE CONMUTACIÓN:



Modulo cargador protector BMS-4S-20A



Módulo conmutación YX850



Convertidor ajustable STEPDOWN 2A
20W

fritzing

PROGRAMACIÓN

ARDUINO IDE:



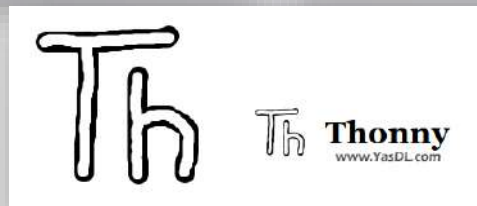
```
Arduino Nano 33 BLE at /dev/...
19
20 This example code is in the public domain.
21
22 https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LED
23
24
25 // The setup function runs once when you press reset or power the board
26 void setup() {
27   // Serial LED (digital) pin LED_BUILTIN as an output.
28   pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
29   Serial.begin(9600);
30 }
31
32 // The loop function runs over and over again forever
33 void loop() {
34   digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
35   delay(1000); // wait for a second
36   digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
37   delay(1000); // wait for a second
38   Serial.println("LED is blinking");
39 }
40
```

Serial Monitor x
Message (0) - Click to send message to Arduino Nano 33 BLE on /dev/ttyUSB0 (9600)
LED is blinking
LED is blinking

1. **Inicialización del sistema:** Se definen pines para sensores y actuadores. En `setup()`, se inicia la comunicación serial (115200 baudios), se configuran los pines y se activa el watchdog timer.
2. **Lectura de sensores y control:** En el `loop()`, el Arduino lee datos de presión, flujo y ángulo de la pinza, enviándolos como JSON a la Raspberry Pi.
3. **Detección de fallos:** La función `checkPotentiometer()` activa una alarma si el ángulo supera 40° , indicando compresión excesiva del AMBU.
4. **Recepción de comandos:** Con `parseCommand()`, el Arduino ejecuta órdenes recibidas desde la Raspberry (start, stop, buzzer on/off).

PROGRAMACIÓN

RASPBERRY PI 3



1. **Comunicación serial y recepción de datos:**
La Raspberry Pi se comunica con el Arduino vía USB, recibiendo datos en formato JSON que incluyen flujo, presión y estado del sistema.
2. **Interfaz web (Flask):** Con Flask, se crea una página web que permite:
 - Ingreso seguro
 - Registro de datos del paciente
 - Configuración de parámetros
 - Visualización de gráficos en tiempo real
3. **Envío de comandos:** Desde la interfaz se envían órdenes (start, stop, buzzer) al Arduino a través del puerto serial.
4. **Seguridad y estabilidad:** Se implementa un Watchdog Timer para reinicio automático ante fallos, lo cual asegura la continuidad del sistema.



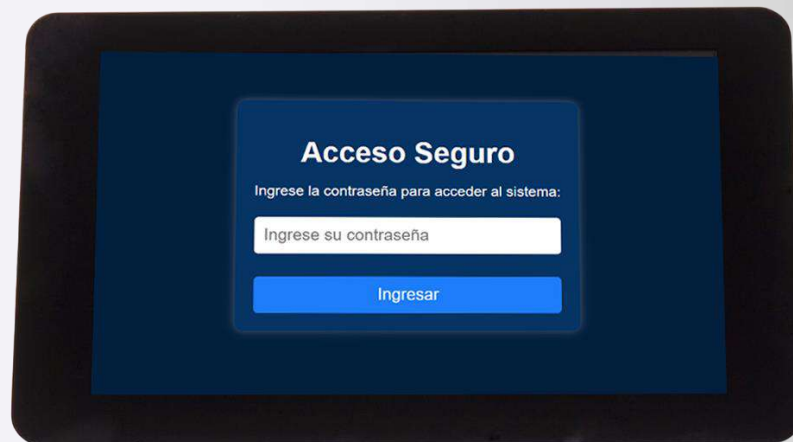
INTERFAZ

INTERFAZ LOCAL Y WEB:

Interfaz web del sistema de ventilación mecánica

- password.html: Acceso seguro
- Página de inicio protegida con contraseña.
- JavaScript valida el código y permite acceso.

```
// JS: Validación del código
if (passwordIngresada === "1234") {
  window.location.href = "Inicio.html";
}
```



Pantalla de acceso



INTERFAZ

INTERFAZ LOCAL Y WEB:

Interfaz web del sistema de ventilación mecánica

- Inicio.html – Datos del paciente
- Formulario para registrar: Nombre, C.I., sexo, edad, peso, descripción.
- botones: FECHA/HORA, ACEPTAR, SIGUIENTE.
- Avanza a configuración respiratoria.

```
<button  
onclick="window.location.href='variables.html'">SIGUIENTE</button>
```

Nombre del paciente:
Ingrese el nombre

N° C.I.: Sexo:
Ingrese C.I. M/F

Edad: Peso (Kg):
Edad Peso

Descripción:
Ingrese una descripción

FECHA/HORA ACEPTAR SIGUIENTE

Pantalla de inicio



INTERFAZ

INTERFAZ LOCAL Y WEB:

Interfaz web del sistema de ventilación mecánica

- variables.html – Configuración de parámetros
- Define variables clave: MODO, VT, FR, Ti, Te, Relación I:E, PIP.
- Guarda valores en localStorage.
- Redirige a la vista de monitoreo (gráficos).

```
localStorage.setItem("parametros",  
JSON.stringify(parametros));  
window.location.href = 'gráficos.html';
```

Definición de Variables Respiratorias

MODO DE VENTILACIÓN: <input type="text" value="VCP"/>	FR (Frecuencia Respiratoria) [12 - 20 rpm]: <input type="text" value="15"/>
VT (Volumen Tidal) [300 - 800 mL]: <input type="text" value="785"/>	Ti (Tiempo de Inspiración) [0.1 - 10 s]: <input type="text" value="7"/>
Te (Tiempo de expiración) [0.1 - 10 s]: <input type="text" value="4"/>	Relación I:E [1:X] (X de 1 a 6): <input type="text" value="3"/>
Presión Inspiratoria Máxima (PIP) [20 - 80 cmH ₂ O]: <input type="text" value="10"/>	

Pantalla de definición de variables



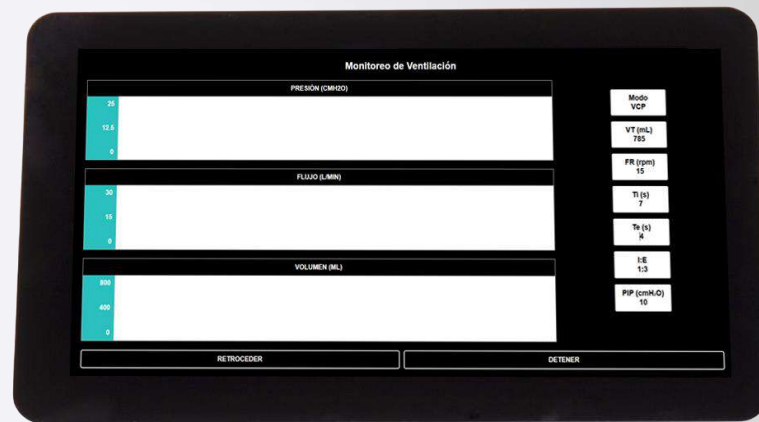
INTERFAZ

INTERFAZ LOCAL Y WEB:

Interfaz web del sistema de ventilación mecánica

- gráficos.html – Monitoreo en tiempo real
- Muestra gráficos estilizados de: Presión (cmH2O), Flujo (L/min), Volumen (mL)
- Muestra parámetros actuales.
- Usa `fetch('/api/data')` para actualizar valores cada 2 s desde Flask (Raspberry Pi).

```
const respuesta = await fetch('/api/data');  
document.getElementById("pip").innerText =  
datos.pip + " cmH2O";
```



Pantalla de gráficos y monitoreo



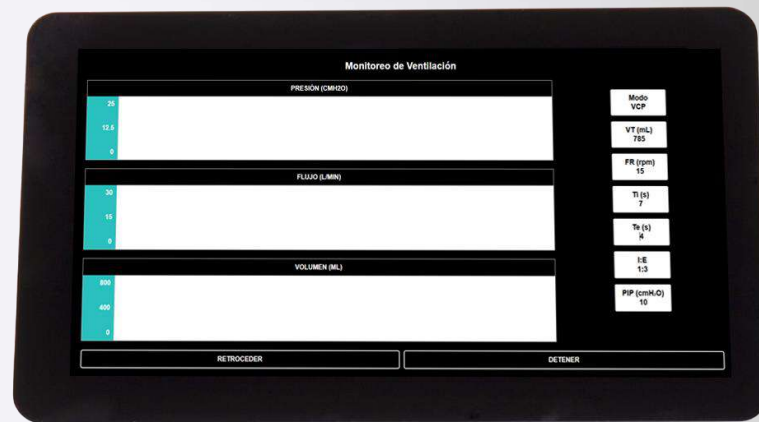
INTERFAZ

INTERFAZ LOCAL Y WEB:

Interfaz web del sistema de ventilación mecánica

- remoto.html – Monitoreo desde PC o celular
- Visualización en solo lectura.
- Estado del respirador (activo/reposo).
- Datos en bloques coloridos.
- Botón para volver al inicio.

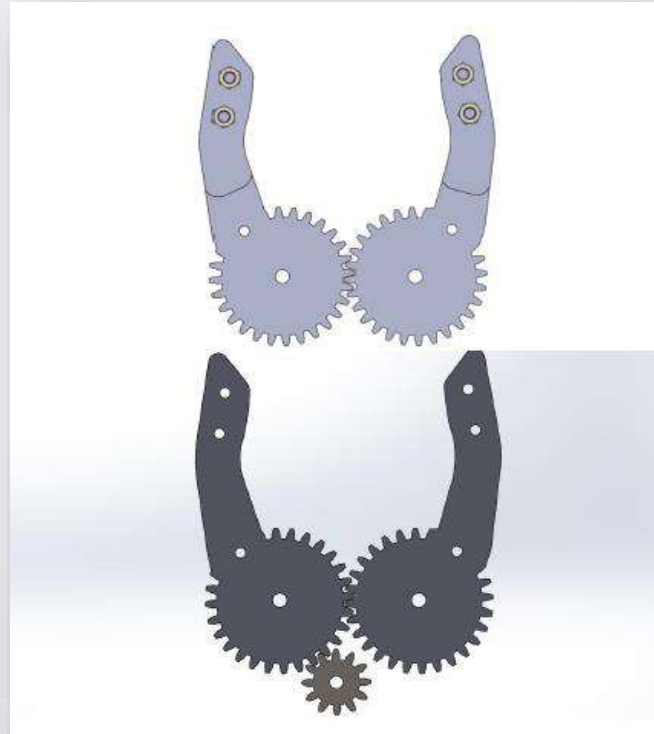
```
statusEl.textContent = `Estado:  
${data.status}`;
```



Pantalla de gráficos y monitoreo

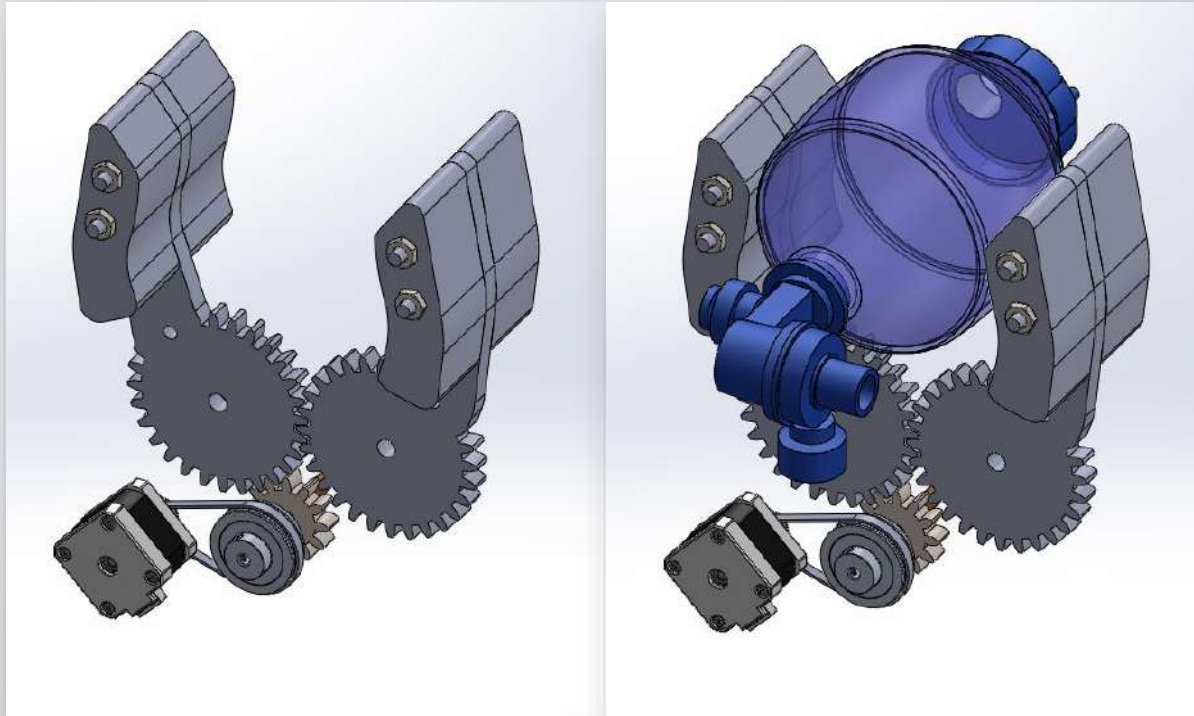
MECANISMO DEL SISTEMA

MECANISMO DUAL-FINGER (PINZA)

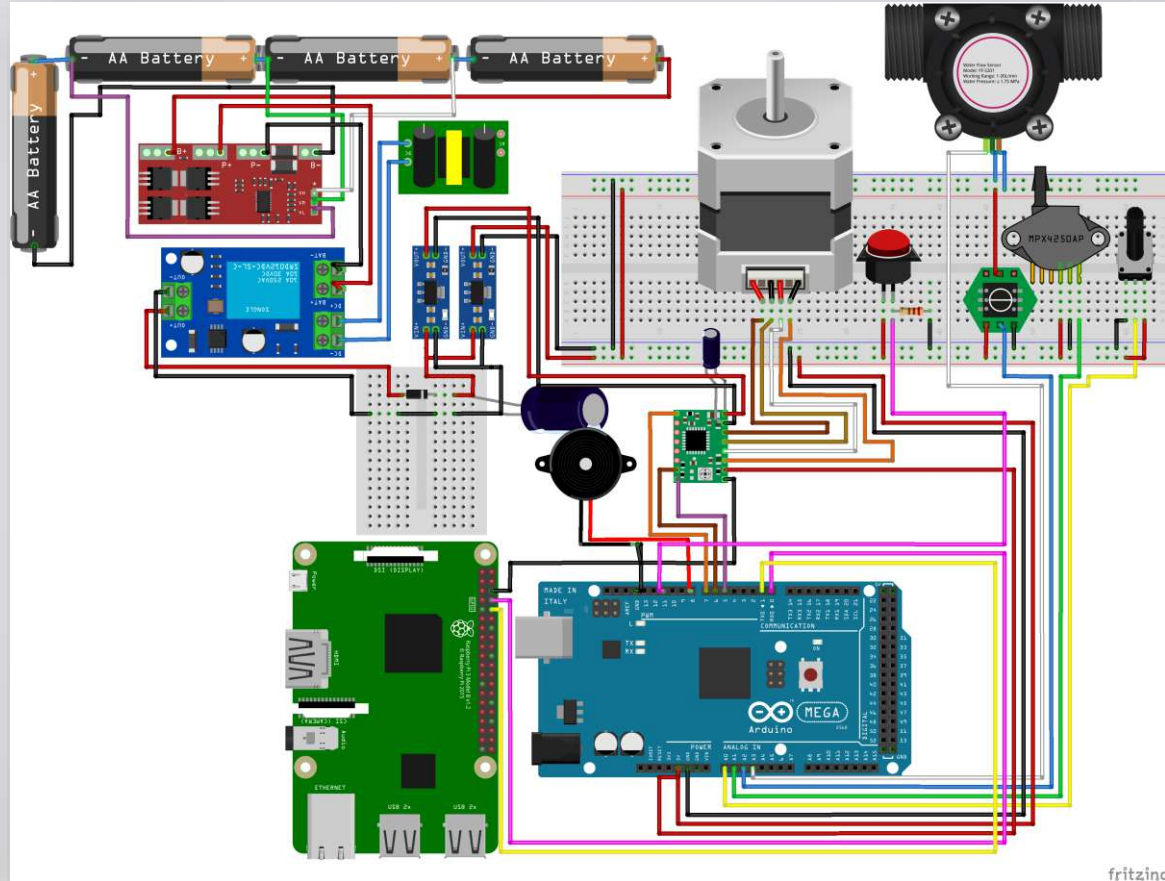


MECANISMO DEL SISTEMA

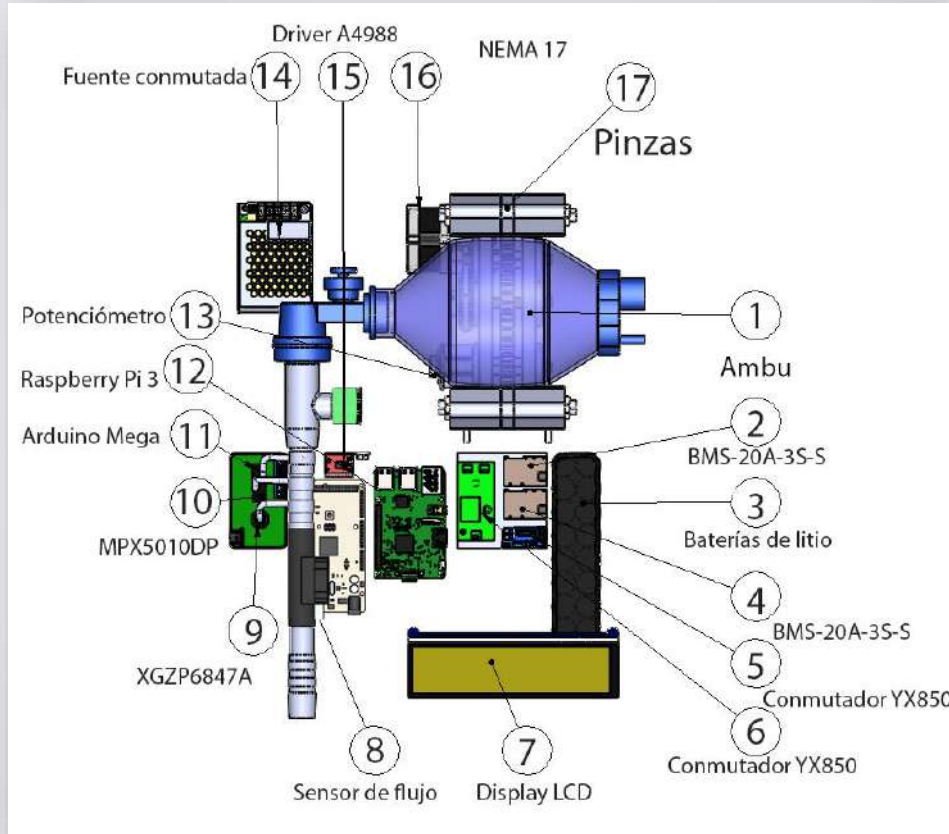
Configuración del mecanismo y motor a pasos Nema 17, en un sistema de poleas para el accionamiento



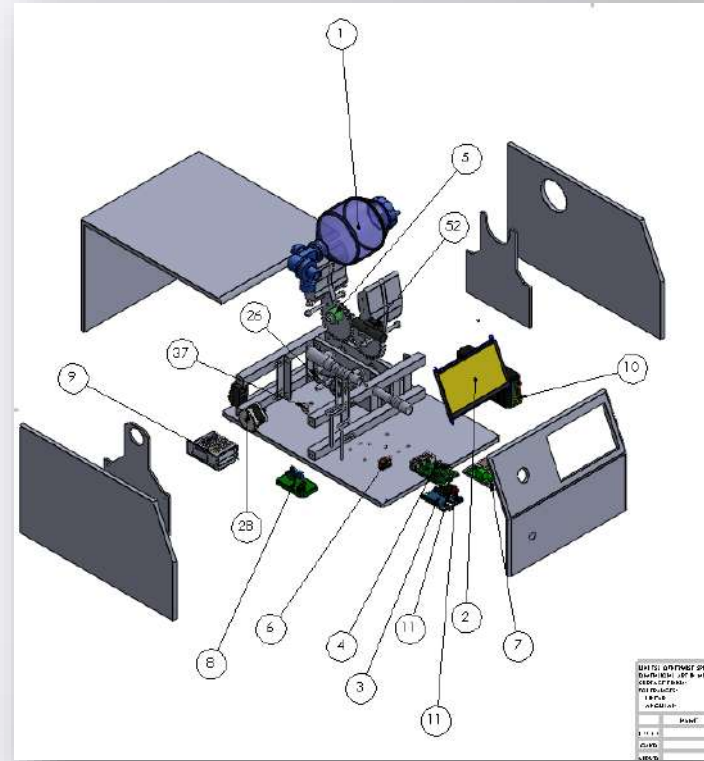
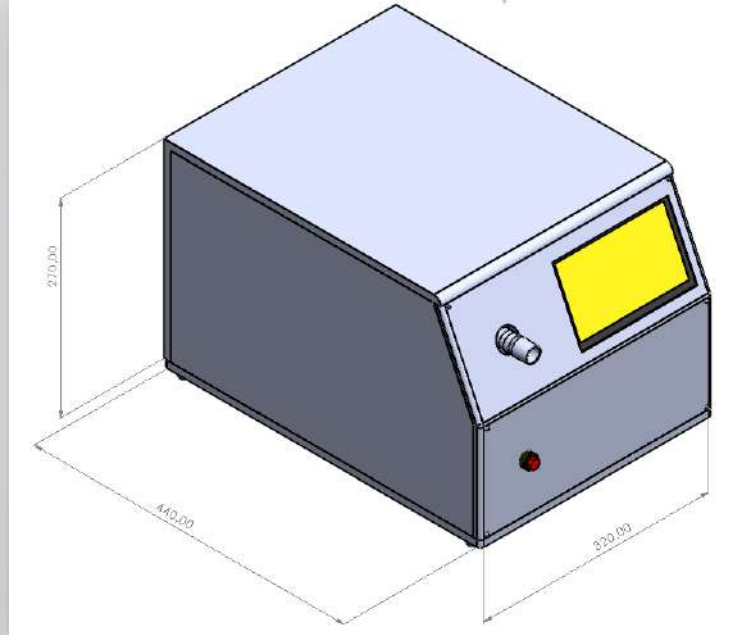
ESQUEMA ELECTRÓNICO DEL RESPIRADOR



ESQUEMA GENERAL DEL RESPIRADOR ARTIFICIAL



REPRESENTACIÓN COMPLETA DEL RESPIRADOR



EVALUACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN

Aspecto a considerar	Costos parciales
Costos de materiales	\$ 647,33
Desarrollo del software e implementación	\$ 450
Costos de ensamblaje y mano de obra	\$ 361.5
Certificados y patentes	\$ 62.08
Costos totales	\$ 1.520
Costos totales (en guaraníes)	₡ 12.022.357

COMPARATIVA DE PRECIOS

Respiradores artificiales	Costos parciales
Puritan Bennet 560	\$ 2999
PUCP MASI (Peruano)	\$ 5000
Respirador planteado	\$ 1.520

CONCLUSIONES

- Se identificaron los parámetros clínicos esenciales y las normativas aplicables, lo que permitió el correcto diseño del sistema de ventilación y alineado con los estándares médicos.
- Se establecieron los criterios técnicos de selección de componentes, garantizando un balance entre eficiencia, costo y operatividad del respirador artificial.
- El sistema de alimentación y respaldo energético, basado en baterías de ion-litio y un conmutador de emergencia, asegura un funcionamiento continuo en situaciones de cortes eléctricos
- El análisis económico reflejó que el costo de implementación del diseño es significativamente inferior al de los ventiladores comerciales, manteniendo funcionalidades clave.
- Se identificaron áreas de mejora en la programación y optimización del software, lo que permitiría una mayor estabilidad y usabilidad del sistema.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar el software del sistema, implementando una interfaz más precisa e intuitiva, junto con algoritmos avanzados de control para una mejor respuesta del ventilador.
- Se sugiere evaluar la integración de sensores de grado médico con mayor precisión, aunque su incorporación aumentaría los costos del dispositivo.
- Se debe considerar la escalabilidad del sistema a una infraestructura en la nube, lo que permitiría almacenar historiales clínicos y mejorar el acceso remoto desde diferentes ubicaciones.
- Es recomendable realizar simulaciones avanzadas del flujo de aire en el sistema de ventilación, asegurando la eficiencia del diseño mecánico y la correcta distribución del volumen tidal.



**¡Gracias por
su atención!**
