



*SIMULADOR DE SISTEMA VASCULAR CON BOMBA PERISTÁLTICA
PARA ENTRENAMIENTO MÉDICO*

Valdez Boldo Humberto Jose



*ESCUELA DE INGENIERÍA
INGENIERÍA BIOMÉDICA
CICLO ESCOLAR 2023 – 2024
OCTAVO SEMESTRE
GRUPO A
PROYECTOS VIII
MAESTRA: ARIANA MARILYN SÁNCHEZ MUTUL
FECHA DE ENTREGA: 06 DE JUNIO DEL 2024*

Resumen:

El propósito de este simulador es proporcionar una herramienta educativa que permita a los profesionales de la salud y estudiantes practicar procedimientos vasculares de manera segura y realista, mejorando así sus habilidades clínicas y reduciendo errores médicos. Se describe el diseño y construcción del simulador, que incluye una base y una red arterial intercambiable, así como el uso de gel balístico para replicar la consistencia de los tejidos humanos. También se detallan los componentes necesarios, como tubos flexibles, una bomba peristáltica y un sistema de control basado en Arduino. La implementación de este simulador busca abordar las limitaciones actuales de los entrenamientos médicos, ofreciendo una solución más accesible y efectiva para la formación en intervenciones vasculares.

Abstract:

The aim of this simulator is to provide an educational tool that allows healthcare professionals and students to safely and realistically practice vascular procedures, thereby improving their clinical skills and reducing medical errors. The design and construction of the simulator are described, including a base and an interchangeable arterial network, as well as the use of ballistic gel to replicate the consistency of human tissues. The necessary components, such as flexible tubes, a peristaltic pump, and an Arduino-based control system, are also detailed. The implementation of this simulator seeks to address the current limitations of medical training, offering a more accessible and effective solution for training in vascular interventions.

Tabla de contenido:

- I. MARCO TEÓRICO (pag. 3-7)
- II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (pag. 7-9)
- III. HIPÓTESIS (pag. 9)
- IV. OBJETIVOS (pag. 9-10)
 - 4.1. Objetivo general
 - 4.2. Objetivos específicos
- V. MATERIALES Y MÉTODOS (pag. 10-11)
- VI. RESULTADOS (pag. 11-18)
- VII. DISCUSIÓN (pag. 18-19)
- VIII. PERSPECTIVAS A FUTURO (pag. 19)
- IX. REFERENCIAS (pag. 20-21)

Simulador de Sistema Vascular Con bomba peristáltica para Entrenamiento Médico

Introducción:

Nodar, A. (2019) describe que se ha demostrado que la simulación ofrece diversas ventajas en el proceso de aprendizaje. En primer lugar, crea un entorno seguro donde los participantes pueden cometer errores sin causar daño, permitiéndoles aprender de estas experiencias. La simulación aborda tanto habilidades técnicas como no técnicas, proporcionando un aprendizaje integral.

Otra ventaja es la capacidad de personalizar el aprendizaje, adaptando la simulación a áreas específicas que se desean mejorar o fortalecer, permitiendo la participación de estudiantes y profesionales, acelera el proceso de aprendizaje al ofrecer la posibilidad de repetir la simulación hasta que se adquieran las habilidades, incluyendo procedimientos que pueden llevar mucho tiempo adquirir en condiciones reales. Además facilita la comprensión y consolidación de la práctica basada en protocolos y estándares.

La simulación también brinda una evaluación constructiva a través del *debriefing*, donde se reflexionan sobre los resultados, se realiza la autoevaluación y se graban las sesiones para analizar todos los aspectos de la simulación. Este proceso, guiado por el tutor, es esencial para que los participantes comprendan y analicen los aspectos clave, identificando áreas que no se abordaron adecuadamente. Refuerza aspectos técnicos, habilidades de comunicación, trabajo en equipo, liderazgo y gestión de crisis. Además, proporciona la oportunidad de establecer criterios de mejora o metas para futuras sesiones. La retroalimentación en la reflexión por parte del participante hacia el tutor es un componente relevante del aprendizaje en simulación, permitiendo expresar opiniones sobre posibles cambios para mejorar la productividad de las simulaciones en futuras ocasiones. En resumen, la simulación emerge como una herramienta educativa integral y efectiva para el desarrollo de habilidades en el ámbito de la salud.

Existen varios tipos de simuladores, Simulación de baja fidelidad: abarca la simulación estática, de menor realismo. Suelen ser maniquíes, modelos anatómicos tridimensionales, animales, cadáveres humanos, pacientes simulados.

Simulación de mediana fidelidad: proporcionan un mayor realismo integrando modelos anatómicos con otras variables como puede ser sonidos.

Simulación de alta fidelidad: simuladores con el mayor realismo, incorporando distintas variables y creando un realismo complejo. Ejemplos de ello serían simuladores informáticos de gran fidelidad

con recursos audiovisuales/táctiles integrados, simuladores de paciente completo interactivo realístico y de alta tecnología o simuladores por ordenador.

La simulación en medicina ha experimentado una evolución significativa, pasando de pruebas balísticas realizadas en trozos de carne animal a sistemas sofisticados y especializados para la formación médica y cirugía cardiovascular. El gel balístico, desarrollado por Martin Fackler y otros en el campo de la balística de la herida, surgió como respuesta a la necesidad de estudiar los efectos de las balas sin depender de trozos de carne animal. Este gel, compuesto principalmente por agua y gelatina, simula con precisión los tejidos y músculos humanos, siendo utilizado no solo en estudios balísticos, sino también en maniquíes balísticos para proporcionar visiones detalladas de traumas humanos en accidentes, pruebas forenses y estudios universitarios.

Riveros, S. & Montoya, C. (2018). Menciona que en el ámbito de la medicina veterinaria y la zootecnia, es común realizar imágenes diagnósticas para evaluar patologías y la condición de los órganos torácicos y abdominales. Entre las diversas técnicas utilizadas se encuentran la ecografía y la radiografía. Sin embargo, en la práctica docente y estudiantil, el uso de modelos de animales vivos para estas prácticas presenta limitaciones considerables. Aunque existen alternativas como modelos anatómicos fabricados con material sintético, su adquisición resulta costosa y complicada, lo que contribuye a que las prácticas en esta área sean más restringidas, generando lagunas notables en la formación de los profesionales. Esta limitación se traduce en dificultades al tomar imágenes diagnósticas y proporcionar informes médicos precisos, afectando tanto la toma de decisiones como la planificación de tratamientos para corregir patologías.

Actualmente, los modelos anatómicos utilizados para el estudio veterinario son insuficientes para lograr una comprensión completa del conocimiento. La disponibilidad de especímenes es limitada, y durante procesos como la disección y conservación, muchas estructuras se pierden. Aun cuando se cumplieran estas condiciones, acceder al animal como un conglomerado biológico representativo de la práctica profesional se vuelve prácticamente imposible.

Un desafío importante es la complejidad técnica. Los simuladores médicos avanzados deben incorporar tecnología sofisticada que puede ser difícil de operar y mantener. Esto requiere que las instituciones dispongan de personal especializado que debe estar capacitado para solucionar problemas técnicos y realizar el mantenimiento regular del equipo. La complejidad técnica también puede resultar en períodos de inactividad del simulador debido a fallos o necesidades de reparación, lo cual interrumpe el entrenamiento.

La necesidad de actualización constante es otro factor por considerar. La tecnología médica avanza rápidamente, y los simuladores deben ser actualizados regularmente para reflejar las últimas prácticas y descubrimientos médicos. Esto implica no solo costos adicionales, sino también la necesidad de interrumpir el uso del simulador durante los períodos de actualización, lo cual puede afectar la continuidad del entrenamiento.

Además, la accesibilidad puede ser un problema significativo. No todas las instituciones educativas o centros de salud pueden permitirse la adquisición de simuladores médicos avanzados, lo que crea una disparidad en la calidad de la formación que reciben los profesionales de la salud. Las instituciones en áreas rurales o con menores recursos económicos deben enfrentar mayores desafíos para acceder a estas tecnologías.

Por último, debe considerarse que aunque los simuladores proporcionan una experiencia de aprendizaje valiosa, no pueden replicar completamente todas las variables y situaciones que pueden ocurrir en la vida real. La dependencia excesiva en los simuladores puede llevar a una preparación insuficiente para enfrentar situaciones clínicas imprevistas o de alta complejidad que solo pueden ser aprendidas a través de la experiencia directa con pacientes. Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). *Human Anatomy & Physiology*. Pearson.

En respuesta a estas limitaciones, el gel balístico ha surgido como una solución práctica. Este material se utiliza no solo para simular la textura de músculos y piel en animales pequeños, sino también para representar las consecuencias de impactos de balas. Su aplicación abarca desde pruebas de calidad automotriz hasta pruebas de chalecos antibalas. El gel balístico ofrece una simulación precisa de la textura de la piel y los músculos tanto en cuerpos humanos como en animales pequeños, siendo una opción accesible y fácil de elaborar desde cualquier ubicación.

A pesar de que se han desarrollado diversos modelos anatómicos para prácticas veterinarias, son escasos los que se centran en prácticas ecográficas y aún más limitados los que incorporan el uso de gel balístico. Con el tiempo, estos modelos han ganado relevancia, especialmente debido a las leyes que buscan proteger el bienestar de los animales. La creciente dificultad en llevar a cabo prácticas con animales vivos ha llevado a la implementación progresiva de modelos sintéticos en el ámbito de la formación veterinaria.

En el ámbito de la educación médica, la simulación se ha convertido en una herramienta esencial y en creciente importancia. Los simuladores abarcan diversas áreas, desde la práctica de habilidades

técnicas hasta el manejo de situaciones clínicas complejas. Esta evolución ha llevado a una reducción de errores y complicaciones en procedimientos médicos al permitir que los profesionales adquieran habilidades clínicas antes del contacto directo con los pacientes. El crecimiento exponencial de publicaciones en simulación en medicina, especialmente en cirugía cardiovascular, refleja la importancia creciente de esta metodología en la formación médica.

El corazón es el órgano principal del sistema circulatorio, situado en el mediastino, entre los pulmones. Se debe dividir en cuatro cavidades: dos aurículas (superiores) y dos ventrículos (inferiores). Las aurículas deben recibir la sangre que llega al corazón, mientras que los ventrículos deben bombear la sangre hacia fuera del corazón.

Las arterias deben transportar la sangre rica en oxígeno desde el corazón hacia los tejidos del cuerpo. La arteria principal, la aorta, debe ramificarse en arterias más pequeñas que se distribuyen por todo el cuerpo. Las venas deben devolver la sangre pobre en oxígeno desde los tejidos de vuelta al corazón. La vena cava superior e inferior deben ser las principales venas que llevan la sangre de vuelta al corazón.

Los capilares deben ser vasos microscópicos que conectan las arterias y las venas. Deben permitir el intercambio de oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes y desechos entre la sangre y los tejidos.

El corazón es el órgano principal del sistema circulatorio, situado en el mediastino, entre los pulmones. Se debe dividir en cuatro cavidades: dos aurículas (superiores) y dos ventrículos (inferiores). Las aurículas deben recibir la sangre que llega al corazón, mientras que los ventrículos deben bombear la sangre hacia fuera del corazón.

Las arterias deben transportar la sangre rica en oxígeno desde el corazón hacia los tejidos del cuerpo. La arteria principal, la aorta, debe ramificarse en arterias más pequeñas que se distribuyen por todo el cuerpo. Las venas deben devolver la sangre pobre en oxígeno desde los tejidos de vuelta al corazón. La vena cava superior e inferior deben ser las principales venas que llevan la sangre de vuelta al corazón. Los capilares deben ser vasos microscópicos que conectan las arterias y las venas. Deben permitir el intercambio de oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes y desechos entre la sangre y los tejidos. Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). *Principles of Anatomy and Physiology*. Wiley.

En el campo específico de la cirugía cardiovascular, la simulación se ha aplicado a diversas áreas, como la simulación de flujo sanguíneo, técnicas endovasculares y pulso arterial. La relevancia de simuladores específicos, como el de inyección de contraste y cateterismo, destaca la importancia de replicar la anatomía vascular torácica y abdomino-pélvica con presiones variables y

retroalimentación. Riera, J (2017) Menciona que el método BiAR-COH, que analiza la dependencia entre señales biológicas, muestra cómo la simulación puede identificar pacientes con bajo flujo en la vena cava superior, un estimador asociado a muerte y discapacidad.

El objetivo principal de los simuladores vasculares es diseñar estructuras que permitan practicar procedimientos médicos con interactividad realista y replicación precisa del sistema vascular. La variedad de escenarios de entrenamiento aborda situaciones clínicas comunes y complejas, prometiendo mejorar la competencia clínica y la seguridad del paciente.

A pesar de estos avances, la falta de herramientas de entrenamiento realistas y accesibles para intervenciones vasculares sigue siendo un desafío. Algunos simuladores pueden ser costosos y difíciles de usar, limitando su disponibilidad para estudiantes y profesionales médicos. La implementación de simuladores del sistema vascular en la formación médica presenta desafíos que deben abordarse para maximizar su efectividad y utilidad en la mejora continua de la atención médica. La evolución hacia simuladores más accesibles ha democratizado el acceso a esta herramienta, asegurando que un mayor número de especialistas se beneficien de la simulación como parte integral de su desarrollo profesional.

Planteamiento del problema:

El uso de simuladores médicos en la formación de profesionales de la salud ha demostrado ser una herramienta efectiva para mejorar las habilidades y competencias clínicas. Sin embargo, existen varios desafíos asociados con su implementación y eficacia, especialmente en el contexto de cirugías del sistema vascular. Un problema central es evaluar si la inversión en simuladores médicos justifica los resultados en términos de preparación y precisión en procedimientos vasculares.

El porcentaje de operaciones relacionadas con el sistema vascular es significativo, representando aproximadamente el 20% de todas las cirugías realizadas en hospitales de todo el mundo. Estas intervenciones requieren un alto grado de precisión y destreza, ya que cualquier error puede resultar en complicaciones severas o fatales. A pesar de la alta frecuencia de estas cirugías, la formación tradicional de los médicos a menudo no proporciona suficiente práctica práctica antes de que los profesionales se enfrenten a pacientes reales.

Los simuladores médicos deben ofrecer una solución potencial a esta brecha formativa, permitiendo a los médicos practicar procedimientos vasculares en un entorno controlado y seguro. Estudios recientes han indicado que el uso de simuladores en la preparación de médicos para cirugías

vasculares puede aumentar la precisión y reducir los errores quirúrgicos. Por ejemplo, se ha observado que los médicos que entran con simuladores tienen una tasa de éxito del 15% al 20% mayor en procedimientos vasculares en comparación con aquellos que no reciben este tipo de entrenamiento.

Sin embargo, a pesar de estos beneficios, persisten desafíos significativos. Los altos costos de adquisición y mantenimiento de los simuladores médicos pueden limitar su accesibilidad, especialmente en instituciones con recursos limitados. Además, la complejidad técnica de estos dispositivos requiere personal especializado para su operación y mantenimiento, lo que añade una capa adicional de costos y logística.

Otro aspecto crítico es la necesidad de actualizar continuamente los simuladores para reflejar las últimas técnicas y descubrimientos médicos. Sin actualizaciones regulares, los simuladores pueden volverse obsoletos rápidamente, reduciendo su efectividad como herramienta de entrenamiento. Esta necesidad de actualización constante también puede interrumpir el uso del simulador, afectando la continuidad del entrenamiento de los médicos.

Finalmente, aunque los simuladores proporcionan una experiencia de aprendizaje valiosa, no pueden replicar completamente todas las variables y situaciones que pueden ocurrir en la vida real. La dependencia excesiva en los simuladores puede llevar a una preparación insuficiente para enfrentar situaciones clínicas imprevistas o de alta complejidad.

Una de las maneras que se optan para reducir costos es realizar componentes caseros en este caso el gel balístico funge un papel importante. La aplicación de gel balístico en la simulación médica plantea diversas problemáticas y desafíos. A pesar de que dicho gel puede replicar algunas características de los tejidos humanos, no logra reproducir de manera integral la complejidad de la anatomía y la fisiología humanas, lo cual incide directamente en la precisión y autenticidad de las simulaciones médicas. La adquisición de geles balísticos de alta calidad conlleva costos significativos, lo cual puede representar una restricción para numerosas instituciones médicas o programas de formación con presupuestos ajustados. Aunque algunos de estos geles son reutilizables, su duración puede ser limitada, y tras varios usos, su degradación implica costos adicionales para su reposición. La simulación realista de ciertas lesiones médicas, como fracturas específicas o daños internos, puede resultar desafiante mediante el uso exclusivo de gel balístico, afectando así la capacidad de los profesionales médicos en formación para abordar diversas situaciones clínicas.

Con el tiempo, el perfeccionamiento de simuladores más avanzados y económicamente accesibles ha contribuido a la consolidación de la simulación como un componente imprescindible en la formación de nuevos especialistas. Estos simuladores sofisticados no solo han facilitado un entrenamiento más

efectivo, sino que también han permitido a los profesionales de la salud familiarizarse con nuevas técnicas quirúrgicas antes de su implementación en la práctica clínica. La evolución hacia simuladores más accesibles ha democratizado el acceso a esta herramienta, asegurando que un mayor número de especialistas se beneficien de la simulación como parte integral de su desarrollo profesional y la mejora continua de la atención médica. La falta de herramientas de entrenamiento realistas y accesibles para intervenciones vasculares limita el desarrollo de habilidades y conocimientos entre los profesionales médicos, lo que puede llevar a riesgos potenciales para los pacientes y aumentar los costos de atención médica. Aunque existen varios simuladores y modelos para entrenamiento médico, incluyendo aquellos enfocados en intervenciones vasculares, hay limitaciones en términos de realismo, accesibilidad y efectividad de estos. Por ejemplo, algunos simuladores pueden ser costosos y difíciles de usar, lo que limita su disponibilidad para la mayoría de los estudiantes y profesionales médicos. La implementación de simuladores del sistema vascular en la formación médica presenta varias problemáticas que deben abordarse para maximizar su efectividad y utilidad. Aunque los simuladores han avanzado en términos de realismo, algunos todavía pueden no proporcionar una representación completamente precisa del sistema vascular humano.

Hipótesis:

La implementación de un simulador de sistema vascular para el entrenamiento médico mejorará significativamente la eficacia y la seguridad de la formación de profesionales de la salud, al proporcionar una plataforma realista y segura para la práctica de procedimientos vasculares, lo que resultará en un aumento en la competencia clínica y una reducción de los errores médicos relacionados con estas intervenciones.

Objetivos:

Objetivo general:

Diseñar una representación precisa y funcional del sistema circulatorio humano a nivel torácico-abdomipelviano para permitir a los profesionales de la salud y estudiantes practicar procedimientos médicos, diagnósticos y tratamientos del sistema vascular.

Objetivos específicos:

- Permitir a los usuarios del simulador interactuar con el sistema vascular de manera realista, incluyendo la realización de procedimientos como la inserción de catéteres y la administración de medicamentos intravenosos.

- Replicar la función del sistema vascular humano en el simulador.
- Ofrecer una variedad de escenarios de entrenamiento en el simulador que representen situaciones clínicas comunes y complejas relacionadas con el sistema vascular.

Materiales y métodos:

El sistema se estructura en dos componentes fundamentales: la base, diseñada para proporcionar soporte y estabilidad al conjunto, y la red arterial, encargada de simular la verdadera anatomía vascular y ajustarse mediante presión directa sobre los soportes de la base.

La base, elaborada a partir de un cuerpo laminar de material rígido y translúcido, se caracteriza por la presencia de orificios estratégicamente ubicados. Estos orificios, al observarse desde arriba, reproducen de manera parcial o completa el contorno anatómico del cuerpo humano. Este diseño contribuye a la representación realista del sistema circulatorio, permitiendo una visualización precisa de la anatomía.

Por otro lado, la red arterial constituye la porción dinámica del sistema, compuesta por segmentos intercambiables que representan arterias tanto en su estado saludable como con patologías específicas. Estos tramos intercambiables logran una geometría tridimensional fiel a la anatomía real del paciente, ofreciendo una representación detallada y precisa de las condiciones anatómicas. La combinación de ambas partes, la base y la red arterial, contribuye a la creación de un simulador que no solo proporciona soporte estructural, sino que también replica con precisión las características del sistema vascular humano, permitiendo prácticas médicas simuladas altamente realistas.

Gel balístico:

Comprar gel balístico preformulado o elaborarlo de forma casera.

Incluir agua, gelatina sin sabor y glicerina en las proporciones deseadas para lograr la consistencia buscada.

Colorante:

Añadir colorante al gel balístico para simular el sistema vascular.

Utilizar colorantes alimentarios seguros para la piel y ajustar la concentración según la apariencia deseada de venas y arterias.

Contenedores:

Utilizar moldes de silicona o recipientes resistentes para dar forma al gel balístico.

Verificar que los moldes sean lo suficientemente grandes para replicar la anatomía del sistema vascular.

Tubos flexibles:

Incluir tubos de silicona o material similar en el gel balístico antes de su solidificación para simular arterias y venas.

Bomba o jeringa:

Utilizar una bomba peristáltica o una jeringa controlada para simular el flujo sanguíneo.

Inyectar y circular fluido a través de los tubos para simular la sangre.

Preparación del gel balístico:

Seguir la receta para preparar el gel balístico y asegurar la consistencia y firmeza adecuadas para simular el tejido humano.

Coloración:

Añadir colorante al gel balístico antes de su solidificación, utilizando diferentes colores para representar arterias y venas.

Posicionamiento de los tubos:

Colocar los tubos flexibles en los moldes antes de verter el gel balístico.

Ajustar la posición de los tubos para replicar la anatomía del sistema vascular.

Solidificación:

Permitir que el gel balístico se solidifique completamente antes de continuar, considerando el tiempo necesario según la fórmula y las condiciones ambientales.

Conexión de la bomba o jeringa:

Conectar la bomba peristáltica o la jeringa a los tubos para simular el flujo sanguíneo.

Ajustar la velocidad y presión para replicar las condiciones normales y de impacto.

Resultados:

El gel balístico es un material usado comúnmente para probar la efectividad de armas de fuego y municiones. Se utiliza porque simula las propiedades de los tejidos humanos y permite medir la penetración y expansión de una bala.

Los materiales que se utilizaran son los siguientes:

- Gelatina sin sabor: La gelatina es el ingrediente principal. Puedes conseguirla en supermercados en sobres o en polvo.
- Agua caliente: Necesitarás agua caliente para disolver la gelatina.
- Molde: Un recipiente para verter el gel y darle la forma deseada. Puedes usar moldes de pan, recipientes de plástico o incluso moldes hechos a medida.
- Recipiente para mezclar: Un recipiente grande para mezclar la gelatina y el agua caliente.
- Balanza: Para medir la cantidad correcta de gelatina y agua.
- Termómetro: Para asegurarte de que el agua esté a la temperatura adecuada para disolver la gelatina.
- Mezclador o cuchara grande: Para mezclar la gelatina y el agua.
- Aceite vegetal (opcional): Se puede agregar para mejorar la claridad del gel y reducir las burbujas de aire.

Para elaborar gel balístico, es importante seguir una proporción precisa de gelatina y agua, así como una temperatura adecuada para garantizar la consistencia y efectividad del gel. La proporción óptima de gelatina y agua es de aproximadamente 10 partes de agua caliente por 1 parte de gelatina en polvo. Por ejemplo, si utilizo 1 kilogramo de gelatina, necesitaré 10 litros de agua caliente.

La temperatura ideal del agua para disolver la gelatina está entre los 70°C y 80°C. Esta temperatura es lo suficientemente alta para disolver completamente la gelatina sin hervir el agua, lo que podría afectar la calidad del gel final. Es importante utilizar un termómetro para asegurarse de que el agua esté dentro de este rango antes de agregar la gelatina.



Fig.1.0 Simulador de gel balístico.

Posterior a la preparación del gel, se trabajo en el código, primero se realizo un código experimental y se simulo el circuito en tinkercad.

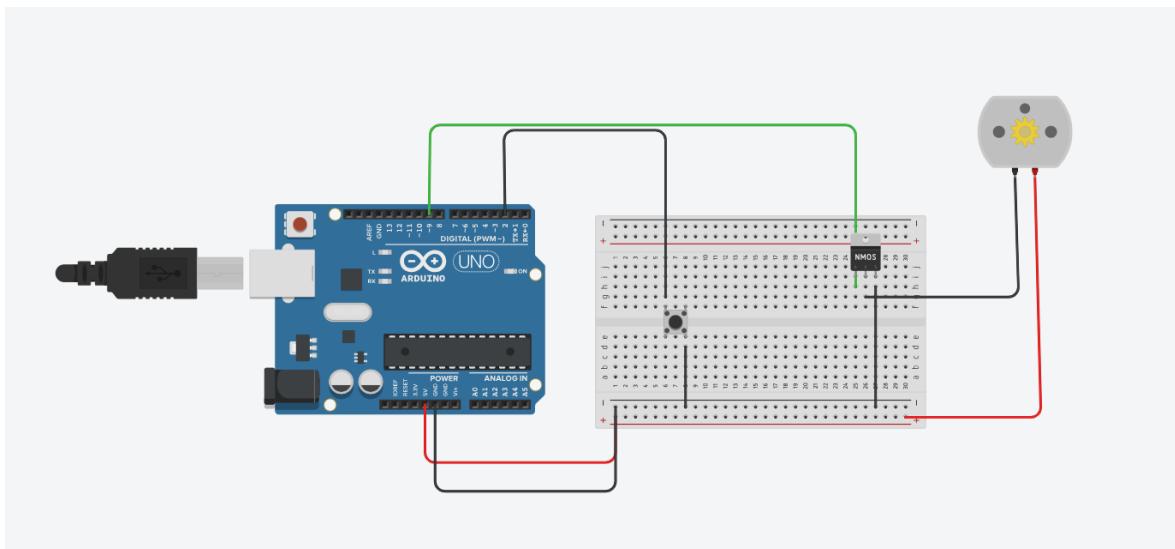
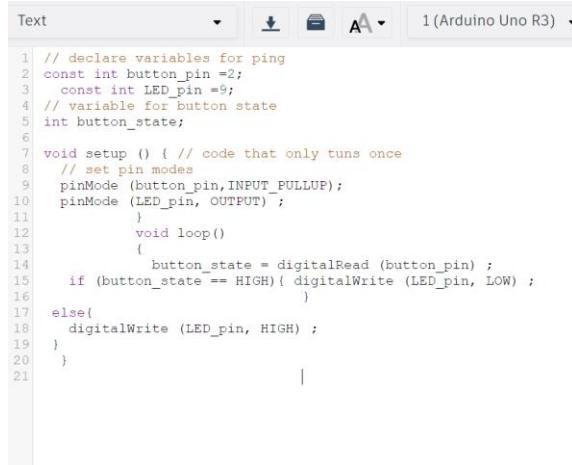


Fig.1.1 Simulador de circuito.

En el circuito se utiliza un botón el cual abrirá y cerrara el paso del fluido, un MOSFET que es un transistor que regula la alimentación y la bomba que es de salida y retorno.



```
1 // declare variables for ping
2 const int button_pin =2;
3 const int LED_pin =9;
4 // variable for button state
5 int button_state;
6
7 void setup () { // code that only runs once
8     // set pin modes
9     pinMode (button_pin,INPUT_PULLUP);
10    pinMode (LED_pin, OUTPUT);
11 }
12
13 void loop()
14 {
15     button_state = digitalRead (button_pin) ;
16     if (button_state == HIGH){ digitalWrite (LED_pin, LOW) ;
17     }
18     else{
19         digitalWrite (LED_pin, HIGH) ;
20     }
21 }
```

Fig.1.2 Código de circuito.

Se declaran variables para el ping.

Se define la variable para el estado del botón.

Se configuran los modos de pin una vez.

Se comprueba el estado del botón.

Si el estado del botón es ALTO, se apaga el LED.

De lo contrario, se enciende el LED.

(el led es la referencia al motor).

Para recrear el sistema vascular fueron necesarios los siguientes materiales:

Tubos flexibles: Puedes utilizar tubos de plástico flexible, tubos de silicona u otros materiales que sean compatibles con líquidos.

Bomba de circulación: Una bomba que pueda simular el flujo sanguíneo a través del sistema vascular. Puedes utilizar una bomba peristáltica.

Contenedor o tanque: Un recipiente que pueda contener el líquido que simulará la sangre y otros fluidos corporales.

Líquido simulador de sangre: Puedes preparar una solución que simule las propiedades de la sangre, como la densidad y la viscosidad. Esto podría incluir agua teñida con colorante rojo para alimentos, glicerina u otros aditivos para ajustar las propiedades.

Tuberías y conectores: Necesitarás tuberías para conectar los diferentes componentes del sistema vascular, así como conectores para unir los tubos de manera segura.

Para realizar el circuito físico se usaron estos materiales:

Arduino uno

Puente h rojo

Cables de conexión

Boton

Protoboard

Bomba peristáltica

Baterias 9v

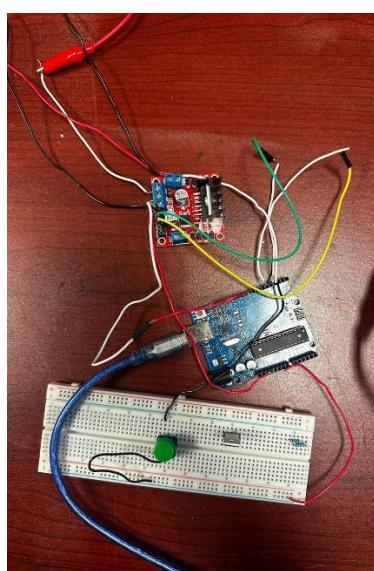


Fig.1.3 Circuito físico.



Fig.1.4 Circuito físico.

```

// Definir pines para el botón, la bomba y el puente H L298
const int botonPin = 2; // Pin del botón
const int bombaPin = 3; // Pin conectado a la bomba
const int motorPin1 = 4; // Pin IN1 del puente H
const int motorPin2 = 5; // Pin IN2 del puente H
const int motorEnablePin = 9; // Pin ENA del puente H (debe ser un pin PWM)

void setup() {
    // Configurar pines
    pinMode(botonPin, INPUT_PULLUP); // Se usa INPUT_PULLUP para habilitar resistencia interna pull-up
    pinMode(bombaPin, OUTPUT);
    pinMode(motorPin1, OUTPUT);
    pinMode(motorPin2, OUTPUT);
    pinMode(motorEnablePin, OUTPUT); // Configurar el pin de habilitación del motor como salida
}

void loop() {
    // Leer el estado del botón
    int botonEstado = digitalRead(botonPin);

    // Si se presiona el botón, encender la bomba y el motor en una dirección
    if (botonEstado == LOW) {
        digitalWrite(bombaPin, HIGH); // Encender la bomba
        digitalWrite(motorPin1, HIGH); // Establecer dirección del motor
        digitalWrite(motorPin2, LOW);
        analogWrite(motorEnablePin, 255); // Ajustar la velocidad del motor (0-255)
    } else {
        // Si no se presiona el botón, apagar la bomba y el motor
        digitalWrite(bombaPin, LOW); // Apagar la bomba
        digitalWrite(motorPin1, LOW);
        digitalWrite(motorPin2, LOW);
        analogWrite(motorEnablePin, 0); // Apagar el motor
    }
}

```

Fig.1.5 Código de circuito.

Este código tiene como objetivo controlar una bomba y un motor mediante un puente H L298, accionados por un botón.

Definir pines para el botón, la bomba y el puente H L298:

Definir botonPin como pin 2, que se usa para el botón.

Definir bombaPin como pin 3, que se conecta a la bomba.

Definir motorPin1 como pin 4, que corresponde al pin IN1 del puente H.

Definir motorPin2 como pin 5, que corresponde al pin IN2 del puente H.

Definir motorEnablePin como pin 9, que corresponde al pin ENA del puente H (debe ser un pin PWM).

Configurar los pines en la función setup:

Configurar botonPin como entrada con resistencia pull-up interna usando INPUT_PULLUP.

Configurar bombaPin como salida.

Configurar motorPin1 como salida.

Configurar motorPin2 como salida.

Configurar motorEnablePin como salida.

En la función loop, ejecutar continuamente el siguiente proceso:

Leer el estado del botón utilizando digitalRead(botonPin).

Si el estado del botón es bajo (LOW), lo que indica que se presionó el botón:

Encender la bomba escribiendo HIGH en bombaPin.

Establecer la dirección del motor escribiendo HIGH en motorPin1 y LOW en motorPin2.

Ajustar la velocidad del motor a máxima potencia (255) utilizando analogWrite(motorEnablePin, 255).

Si el botón no está presionado (estado alto, HIGH):

Apagar la bomba escribiendo LOW en bombaPin.

Apagar el motor escribiendo LOW en motorPin1 y motorPin2.

Apagar el motor estableciendo la velocidad a 0 utilizando analogWrite(motorEnablePin, 0).

Cuando se presiona el botón conectado al pin 2 (botonPin), se activa la bomba y el motor en una dirección específica.

La bomba conectada al pin 3 (bombaPin) se encenderá.

El motor, conectado al puente H L298, girará en una dirección determinada por los pines 4 (motorPin1) y 5 (motorPin2).

La velocidad del motor será ajustada al máximo (255 en una escala de 0 a 255) mediante el pin 9 (motorEnablePin), que debe ser un pin PWM.

Cuando el botón no está presionado, la bomba y el motor se apagan.

La bomba conectada al pin 3 (bombaPin) se apaga.

El motor, conectado al puente H L298, se detiene.

La velocidad del motor se establece en 0, lo que lo apaga completamente.

Estos resultados permiten el control de una bomba y un motor mediante un único botón, activándolos cuando se presiona el botón y apagándolos cuando se suelta.

Discusión:

La utilización de simuladores médicos ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la precisión y destreza de los profesionales en formación. Estudios citados en el documento indican que los médicos entrenados con simuladores presentan una tasa de éxito significativamente mayor en procedimientos vasculares, con un aumento del 15% al 20% en comparación con aquellos que no reciben este tipo de entrenamiento. Este dato resalta la importancia de la simulación en la preparación médica, permitiendo a los futuros cirujanos practicar y perfeccionar técnicas antes de enfrentarse a situaciones reales.

Sin embargo, el uso de simuladores no está exento de desafíos. Uno de los principales problemas identificados es el alto costo de adquisición y mantenimiento de estos dispositivos, lo que puede limitar su accesibilidad en instituciones con recursos limitados. Además, la complejidad técnica de los simuladores requiere personal especializado para su operación y mantenimiento, añadiendo una capa adicional de costos y logística. Estos factores pueden restringir el uso de simuladores a centros médicos más grandes y con mayores recursos, dejando a otros con menos capacidad para integrar estas herramientas en su formación.

Otro aspecto crítico es la necesidad de actualizar constantemente los simuladores para reflejar los últimos avances y técnicas médicas. La falta de actualizaciones regulares puede hacer que los simuladores se vuelvan obsoletos rápidamente, reduciendo su efectividad como herramienta de entrenamiento. Además, aunque los simuladores proporcionan una experiencia de aprendizaje valiosa, no pueden replicar completamente todas las variables y situaciones que pueden ocurrir en la vida real. Esta limitación puede llevar a una preparación insuficiente para enfrentar situaciones clínicas imprevistas o de alta complejidad.

El documento también discute el uso de gel balístico como una alternativa para reducir costos en la simulación. Aunque el gel balístico puede replicar algunas características de los tejidos humanos, no logra reproducir de manera integral la complejidad de la anatomía y fisiología humanas. Además, su adquisición y mantenimiento también implican costos significativos, lo que puede ser una restricción para numerosas instituciones médicas. Por lo tanto, es necesario buscar soluciones más asequibles y efectivas que permitan a un mayor número de profesionales beneficiarse de la simulación.

Perspectiva a futuro:

A futuro, el desarrollo de simuladores médicos debe centrarse en la accesibilidad y la actualización constante para maximizar su efectividad en la formación médica. Una posible solución es la creación de simuladores modulares y de bajo costo, que permitan la personalización y actualización de componentes específicos según las necesidades formativas y avances tecnológicos. Esto no solo reduciría los costos iniciales y de mantenimiento, sino que también facilitaría la adaptación de los simuladores a nuevas técnicas y descubrimientos médicos.

Además, la integración de tecnologías avanzadas como la realidad virtual (VR) y la inteligencia artificial (IA) puede revolucionar la simulación médica. La VR puede ofrecer entornos de simulación altamente realistas y completamente inmersivos, mientras que la IA puede proporcionar retroalimentación instantánea y personalizada, mejorando significativamente el proceso de aprendizaje. Estas tecnologías también pueden permitir la creación de escenarios de entrenamiento más variados y complejos, preparando mejor a los profesionales para enfrentar una amplia gama de situaciones clínicas.

La colaboración entre instituciones académicas, centros de investigación y la industria es crucial para el desarrollo y la implementación exitosa de estas innovaciones. Inversiones en investigación y desarrollo, así como en la capacitación de personal especializado para operar y mantener los simuladores, son esenciales para garantizar que estas herramientas evolucionen y sigan siendo relevantes en la formación médica.

Referencias:

- Corvetto, M., Bravo, M. P., Montaña, R., Utili, F., Escudero, E., Boza, C., Varas, J., & Dagnino, J. (2013). Simulación en educación médica: una sinopsis. *Revista médica de Chile*, 141(1), 70-79. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013000100010>
- López, J. G., & Spirko, L. V. (2007). Simulación, herramienta para la Educación Médica. *Educación Médica*, 10(1), 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2016.07.008>
- Riera Banal, J. (2017). Diseño y construcción de un simulador de sistema vascular para entrenamiento médico. Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/47967/1/JOAN_RIERA_BANAL_1_2.pdf
- Villca-Sadith, S. (2018). Simulación clínica y seguridad de los pacientes en la educación médica. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 16(18), 7-14.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2225-87872018000200007&script=sci_arttext
- Zapata Maldonado, A. G. (2014). Simulador de entrenamiento médico (SEMSOR). *Tecnológico Nacional de México*. <https://www.redalyc.org/pdf/3497/349733229006.pdf>
- Puesto, T., Roldan, A., Bustamante, J., & Barros, F. (2004). Modelo físico del sistema cardiovascular. Recuperado de; <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n3/v11n3a3.pdf>
- Domínguez, L. (2019). modelado y simulación matemática del sistema cardiovascular. Recuperado de: Universidad Politécnica de Barcelona.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173469/Memoria%20finalTFG.pdf>
- Brown, S. (2020). Simuladores de sistema vascular para entrenamiento médico. En J. García (Ed.), *Avances en cardiología* (pp. 120-135). Editorial Médica Panamericana.
- Johnson, R. (2019). Simuladores médicos avanzados. Editorial Médica Panamericana.

- González, A. (2022). Simulador de sistema vascular para entrenamiento médico. *Cardiología en línea*. <https://www.cardiologiaenlinea.com/simulador-de-sistema-vascular-paraentrenamiento-medico/>
- Smith, J. (2021). Simulador de sistema vascular para entrenamiento médico. *Revista de Cardiología*, 10(2), 45-50