



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MOVIMIENTO PARA EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE  
ÓRGANOS ANIMALES EN ALCOHOL.**

**Valeria Calvache Centeno**

**20561918364**

**Kelin Gisela Castillo Canacuan**

**20561916837**

**Universidad Antonio Nariño**

**Programa Ingeniería Biomédica**

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica**

**Popayán, Colombia**

**2023**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MOVIMIENTO PARA  
EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE ÓRGANOS Y TEJIDOS  
ANIMALES EN ALCOHOL.**

**Valeria Calvache Centeno**

**Kelin Gisela Castillo Canacuan**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:**

**Ingeniero Biomédico**

**Director:**

**PhD. José Luis Narváez Semanate**

**Codirector:**

**PhD. Luis Rivera Calderón**

**Universidad Antonio Nariño**

**Programa Ingeniería Biomédica**

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Popayán, Colombia**

**2023**



*Nota de aceptación*

El director, codirector y los Jurados  
han leído y aceptan el presente documento.

---

PhD. José Luis Narváez Semanate  
director

---

PhD. Luis Rivera Calderón  
Codirector

---

Jurado

---

Jurado

Popayán, mayo de 2023

*Dedicado a*

*Queremos expresar nuestra gratitud y dedicar este proyecto especialmente a Dios y a*

*nuestra familia*

*A Nuestros padres, ellos han sido nuestro apoyo constante y nos han ayudado a crecer como personas, transmitiéndonos valores y principios que nos han guiado en cada paso de*

*nuestra vida.*

*A Dios, por guiarnos y acompañarnos hasta donde estamos hoy.*

## **Agradecimiento**

Este proyecto que hemos llevado a cabo ha sido un reto importante en nuestras vidas y ha demandado una gran cantidad de esfuerzos y dedicación por nuestra parte. Sin embargo, se debe destacar que no habría sido posible completarlos sin la colaboración de cada una de las personas que han contribuido en su realización.

Quiero comenzar expresando la profunda gratitud a Dios, por estar con nosotras en cada paso dado, por ser nuestro guía y por la fortaleza en los momentos de incertidumbre y de dificultad. Darle gracias, por haber puesto en nuestro camino a personas que han sido soporte y compañía en la realización de este proyecto. Sin su ayuda, habría sido muy difícil llegar hasta donde hemos llegamos hoy.

A lo largo de todo el proceso, hemos contado con el apoyo incondicional de ciertas personas, quienes han ofrecido su tiempo, sus conocimientos y sus recursos y su disposición para asegurar el éxito de nuestro proyecto.

Agradezco los consejos y la ayuda de mi equipo de trabajo, que se mantuvo firme durante todo el camino a pesar de los tropiezos. No solo fue un equipo de trabajo, sino también de amistad.

De la misma manera, agradecemos a la Universidad Antonio Nariño, por habernos brindado la oportunidad de cursar nuestros estudios de pregrado en la facultad de Ingeniería Biomédica.



## **TABLA DE CONTENIDO**

RESUMEN .....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
2. OBJETIVOS .....	20
2.1 Objetivo general .....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3. JUSTIFICACIÓN .....	21
4. ESTADO DEL ARTE.....	23
4.1 ANTECEDENTES.....	23
4.2 ARTÍCULOS .....	25
5. MARCO CONCEPTUAL .....	35
5.1 PLASTINACIÓN .....	35
5.1.1 FIJACIÓN .....	36
5.1.2 DESHIDRATACIÓN.....	37
5.2 PIEZAS ANATÓMICAS PARA DESHIDRATAR .....	38
5.2.1 TEJIDOS .....	38
5.2.1.1 Tejido epitelial.....	38
5.2.1.2 Tejido conjuntivo o conectivo.....	38

5.2.1.3	Tejido nervioso.....	39
5.2.1.4	Tejido muscular.....	39
5.2.2	ÓRGANOS.....	39
5.2.2.1	RIÑÓN.....	40
5.2.2.2	CORAZÓN.....	40
5.2.2.3	HÍGADO.....	41
5.3	MECANISMOS PARA MEDIR CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL.....	42
5.3.1	ALCOHOLÍMETRO.....	42
5.3.1.1	Densímetro.....	42
5.4	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.....	43
6.	MARCO METODOLÓGICO.....	43
6.1	MATERIALES.....	43
6.2	MÉTODOS.....	53
7.	RESULTADOS.....	65
7.1	Diseño cámara de deshidratación.....	65
7.2	Control del sistema de movimiento.....	66
7.3	Código del control de movimiento.....	66
7.4	Medición de Alcohol.....	67
7.5	Control del sistema de medición de alcohol.....	68
7.6	Código medición de concentración de alcohol.....	68

8. VALIDACIÓN .....	77
CONCLUSIONES .....	81
RECOMENDACIONES.....	82
Referencias bibliográficas.....	86

## Lista de Figuras

Figura 1. Canino, deshidratación en isopropílico y acetona, impregnación en glicerina -----	36
Figura 2. Preparación de la etapa de deshidratación para una serpiente en acetona -----	37
Figura 3. Riñón de rumiante -----	40
Figura 4. Corazón de ave. -----	41
Figura 5. Hígado de ave. -----	41
Figura 6. Densímetro para alcohol (alcoholímetro) -----	43
Figura 7. Bomba eléctrica cuadrada. -----	44
Figura 8. Microcontrolador Arduino Uno.-----	45
Figura 9. Módulo sensor infrarrojo. -----	46
Figura 10 Módulo relé múltiple. -----	47
Figura 11. Rosca tubo de PVC y mangueras de circulación.-----	48
Figura 12. Arduino IDE. -----	50
Figura 13. Pantalla LCD con módulo I2C -----	51
Figura 14. Relevé sólido 25 Amperios. -----	52
Figura 15. Diseño cámara de movimiento "Onshape". -----	54
Figura 16. Diseño cámara de movimiento. -----	55
Figura 17. Densímetro inmerso en la cámara y ubicación de sensores infrarrojos.-----	56
Figura 18. Medición de la cantidad de volumen de agua. -----	59
Figura 19. Vaciamiento del agua en el recipiente.-----	60
Figura 20. Medición de la cantidad de volumen de formol.-----	60
Figura 21. Vaciamiento del formol en el recipiente. -----	61
Figura 22. Órgano sumergido en el fijador. -----	62
Figura 23. Riñón en formol, día 1. -----	63

Figura 24. Riñón después de 28 días en formol. -----	63
Figura 25. Corazón después de 28 días en formol. -----	64
Figura 26. Riñón sumergido en alcohol etílico. -----	64
Figura 27. Cámara de deshidratación con 70% de concentración de alcohol. -----	65
Figura 28. Código del sistema de movimiento. -----	66
Figura 29. Diagrama explicativo del control de movimiento. -----	67
Figura 30. Código importación de librerías de la pantalla LCD I2C -----	69
Figura 31. Declarar variables respecto a los pines del Arduino -----	69
Figura 32. Inicializar la lectura de los sensores -----	70
Figura 33. Condicional para el funcionamiento de los sensores. -----	71
Figura 34. Diagrama explicativo del funcionamiento de los sensores infrarrojos. -----	72
Figura 35. Densímetro inmerso donde muestra la concentración de alcohol al 65% -----	78
Figura 36. Concentración de alcohol al 65% -----	78
Figura 37. Equilibrar el sistema a la concentración de alcohol al 70% -----	79
Figura 38. concentración de alcohol al 66% -----	81

## Lista de tablas

Tabla 1. Artículo: Una adaptación del método estándar alemán.-----	26
Tabla 2. Artículo: Protocolo unificado de plastinación -----	27
Tabla 3. Artículo: análisis multivariado aplicado en la etapa de deshidratación en la técnica de plastinación del riñón de caballo. -----	29
Tabla 4. Artículo: Exploración de la técnica de plastinación en la preparación de modelos anatómicos como material docente para la enseñanza de morfología humana. -----	30
Tabla 5. Artículo: Un instrumento complementario para el desarrollo del proceso enseñanza - aprendizaje de la anatomía. -----	32
Tabla 6. Artículo: La química de los fenómenos cadavéricos. -----	33
Tabla 7. El formaldehído y el riesgo de cáncer. -----	34
Tabla 8. Laboratorio de plastinación de la facultad de ciencias de la salud es una realidad en la Universidad del Cauca. -----	34
Tabla 9. Registros de concentración Antonio Nariño. -----	74
Tabla 10. Registro de concentración Universidad del Cauca. -----	74
Tabla 11. Resultados obtenidos en el sistema con movimiento.-----	76
Tabla 12. Resultados de la concentración en el recipiente sin movimiento.-----	76

## RESUMEN

---

La plastinación es una técnica o proceso utilizado para la conservación de componentes anatómicos. Esta se basa en intercambiar los líquidos propios de los tejidos (agua y lípidos) por un polímero (silicon, resina epóxica o poliéster) bajo condiciones especiales, dando como resultado órganos con una apariencia real y con propiedades físicas (flexible o estable) que permiten su manipulación. La técnica consta de cuatro etapas fundamentales, las cuales son: la primera, etapa de fijación; la segunda, etapa de deshidratación; la tercera, etapa de impregnación forzada y, finalmente; la cuarta, etapa de curado. El presente estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema semiautomático para optimizar el proceso de deshidratación de tejidos y órganos animales utilizando bombas y sistemas de control.

Para el correcto desarrollo de la implementación de la segunda etapa, la de deshidratación, se realizó un seguimiento mediante los valores que se obtienen de la concentración de alcohol (%) que arroja el alcoholímetro, el cual está constituido por un densímetro y por sensores de presencia (sensores infrarrojos).

Cada vez que el alcohol etílico disminuye su concentración al 65% o 60% se debe agregar nuevamente alcohol hasta llegar al 70% que es su concentración máxima, y de esa manera es como se verifica que la técnica está funcionando correctamente. Por ende, la etapa se da por finalizada cuando se ha agregado alcohol etílico en varias ocasiones y la concentración de alcohol ya no disminuye.

**Palabras claves:** Plastinación, deshidratación, tejidos, órganos, automatización, alcoholímetro, alcohol etílico.

## ABSTRACT

---

Plastination is a technique or process used for the preservation of anatomical components. It is based on exchanging liquids of the tissues (water and lipids) by a polymer (silicon, epoxy resin or polyester) under special conditions, as a result organs with a real appearance and physical properties (flexible or stable), that allow their manipulation, are obtained. The technique consists of four fundamental stages, which are: first, fixation stage; second, dehydration stage; third, forced impregnation stage and fourth, curing stage. The present study aims to design and implement a semi-automatic system to optimize the dehydration process of animal tissues and organs using pumps and control systems.

For the correct implementation of the second stage, that of dehydration, a follow-up was carried out by means of the values of the concentration of alcohol (%) obtained from the alcoholometer, which is constituted of a density meter and movement sensors (infrared sensors).

Each time ethyl alcohol decreases its concentration down to 65 or 60%, alcohol must be added again until it reaches 70%, which is its maximum concentration, and that is how it is verified that the technique is working correctly. Therefore, the stage is over when ethyl alcohol has been added several times and the alcohol concentration no longer decreases.

Keywords: Plastination, dehydration, tissues, organs, automation, breathalyzer, ethyl alcohol.

## INTRODUCCIÓN

El término de plastinación se describe como una técnica que fue desarrollada por el profesor Gunther von Hagens en 1977 en Heidelberg, Alemania, mientras trabajaba como residente y profesor universitario. El profesor Gunther von Hagens es el creador de esta técnica anatómica revolucionaria e innovadora, que se complementa de forma ideal con la disección cadavérica y otras técnicas de conservación de cadáveres u órganos, permitiendo la obtención de especímenes de aspecto natural, secos, inodoros, de alta calidad y durabilidad, también es considerada como una alternativa para la conservación de tejidos biológicos perecederos como: cuerpos completos, órganos (hígados, pulmones, riñones, corazones), músculos o cortes de secciones de los cadáveres, entre otros (von Hagens & Ernesto Ottone Técnicas Anatómicas, 2013). El punto negativo de esta técnica convencional son las sustancias utilizadas tanto para la etapa de fijación como para la etapa de deshidratación, ya que son sustancias que a largo tiempo se convierten en nocivas para la salud y en algunos casos es difícil el acceso a ellas, además que todo el proceso de plastinación toma tiempos relativamente largos para completarse.

A pesar de que muchos desarrollos de esta técnica han tenido gran éxito, hay que hacer notar que en su gran mayoría no se han desarrollado o implementado nuevas técnicas para mejorar el proceso de plastinación en lo que respecta a los fluidos para fijación y deshidratación de los especímenes. Cabe resaltar que la universidad de Antioquia (UDEA) ha sido la única que a pesar de que continuó con la técnica alemana S10 se atrevió a implementar el cambio del solvente de deshidratación, es decir, reemplazar la acetona por alcohol isopropílico como solvente deshidratante, obteniendo los mismos resultados que la técnica convencional (Acevedo-Arroyave et al., 2018).

Destacando el gran aporte que realizó la UDEA para cada vez mejorar mucho más la técnica alemana convencional, se pretende implementar una nueva técnica con respecto a la convencional cambiando el solvente deshidratante (reemplazar la acetona por alcohol etílico) y, adicionando además un sistema de movimiento a los especímenes con el propósito de que las piezas anatómicas se mantengan en movimiento para facilitar la salida de los líquidos tisulares naturales de la pieza y que de la misma manera ingrese al espécimen el solvente deshidratante (alcohol etílico) con el fin de acelerar el proceso de deshidratación y continuar así con el proceso de plastinación.

Vale la pena decir que la técnica de plastinación consta de cuatro etapas: fijación, deshidratación, impregnación forzada y de curado. Nuestro enfoque está en la segunda etapa, la de deshidratación, la cual consiste en implementar la cámara de deshidratación y en ella sumergir las piezas en alcohol etílico, agregando un sistema de movimiento con el propósito de que estas estén en constante movimiento para acelerar la eliminación de los líquidos tisulares y el ingreso del alcohol para obtener la deshidratación de las mismas en un menor tiempo, la comprobación o verificación de éxito de la técnica se realiza con toma de medidas de la concentración de alcohol cada 7 días, en cada revisión que se realice, si la concentración de alcohol ha disminuido se debe agregar más alcohol hasta completar el 70% que corresponde al alcohol etílico, hasta obtener resultados donde la concentración de alcohol ya no disminuya en ningún porcentaje, y así es como podremos concluir que la etapa ha finalizado completamente para pasar a la siguiente etapa.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, la mayoría de los espacios en los que se enseña y se estudian temas relacionados con la anatomía macroscópica, utilizando piezas anatómicas y cuerpos humanos de personas fallecidas, es en los “Anfiteatros”. En estos se presenta una gran variedad de problemáticas, principalmente el contacto constante que tiene el personal con material contaminado (Universidad del Cauca, n.d.-a), lo que puede causar enfermedades en la piel como, por ejemplo, la tuberculosis verrugosa. El anfiteatro cuenta con otro problema y es que a medida que pasa el tiempo, el hecho de tener cadáveres o piezas anatómicas preservadas en formalina, hace del aire una sustancia nociva, ya que los gases de estos químicos, dispersos en el aire pueden ser absorbidos a través de la piel y también a través de los pulmones, por esto, se estaría afectando tanto al personal encargado, como a los docentes y/o estudiantes que enseñan, practican y aprenden en este lugar.

Enfocándonos en nuestro aporte al proceso de plastinación, que se encuentra en la segunda etapa, que corresponde a la deshidratación, se puede identificar problemas como el tiempo que tarda la pieza anatómica en deshidratarse, debido, posiblemente, a que la pieza se encuentra estática en el fluido el cual está inmersa. De acuerdo con Muñetón et al. Esta etapa podría tardar hasta cinco meses, ocasionando que todo el proceso de plastinación tarde más de lo esperado (Muñetón Gómez & Ortiz, 2012). Otro problema es que el fluido usado en el método estándar de plastinación alemán es la acetona, sustancia líquida incolora transparente, de olor dulce que puede afectar la salud por su inhalación y/o absorción a través de la piel, produciendo irritación en ella y en un tiempo prolongado puede causar formación de grietas con enrojecimiento, además, produce irritación de ojos, nariz y garganta, y es posible que esta

sustancia afecte al hígado y el riñón. Así mismo, en la hoja informática de sustancias peligrosas se afirma que produce efectos crónicos como riesgo de cáncer (*Derecho a Saber Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas Sinónimos: Dimetilcetona Nombre Químico: 2-Propanona*, n.d.). Por otro lado, la acetona es un producto químico controlado, debido a su uso en la fabricación de sustancias ilegales o indebidas, por lo que es de difícil obtención y alto costo (Artículo 4 de la resolución 1 del 2015 del Consejo Nacional de Estupefaciente, Colombia), lo que limita las investigaciones alrededor de este tema. Por lo anteriormente expuesto, se ha optado por realizar una adaptación al método utilizando en lugar de acetona, alcohol etílico como solvente deshidratante.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema semiautomático de movimiento para optimizar el proceso de deshidratación de tejidos y órganos animales, utilizando bombas y sistemas de control.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Diseñar e implementar la cámara de deshidratación en 3D, utilizando un programa CAD con el fin de optimizar tiempo y costos del proyecto.
- Implementar un densímetro para medir la concentración de alcohol dentro del líquido utilizando sensores infrarrojos.
- Desarrollar un software que permita el control automático de los motores del sistema de movimiento mediante Arduino.
- Validar el funcionamiento de la cámara de deshidratación, utilizando los datos obtenidos por el alcoholímetro.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La plastinación es una técnica importante utilizada dentro de la investigación de la medicina, ya que permite hacer estudios tanto anatómicos, fisiológicos y patológicos de los tejidos la cual se realiza en los anfiteatros con técnicas manuales las cuales tardan un largo periodo de tiempo para poder hacer uso de los órganos y tejidos, el fin que tiene nuestro proyecto es poder reemplazar los anfiteatros por sitios de trabajo con las herramientas adecuadas para poder llevar a cabo la plastinación de órganos y tejidos, de esta manera se podrá mejorar la calidad de aprendizaje de los estudiantes y que los profesionales también puedan tener facilidad de enseñanza, ya que de esta forma podrán tener un acercamiento más real con órganos y tejidos animales, que a futuro serán de gran ayuda si se quiere elaborar piezas anatómicas para que sean útiles y didácticas para el aprendizaje.

El proceso de plastinación consta de cinco etapas, de las cuales nuestro proyecto se centra en la segunda etapa que es la deshidratación en la que se tiene como objetivo modificar el sistema de la cámara convencional, haciendo uso de materiales electrónicos que nos ayudaran a convertir el sistema semiautomatizado implementando un motor el cual adopta un sistema de control de recirculación, lo que proporcionara al tejido u órgano inmerso en el alcohol etílico estar en un constante movimiento y así ayudara a reducir el tiempo de este proceso en esta etapa, el proceso de someter la muestra en la cámara con el alcohol etílico es con el fin de poder eliminar el agua, liquido tisular, entre otros ya que son propiedades naturales que se encuentran dentro de los tejidos u órganos y es por eso que buscamos intercambiar esos líquidos con nuestro fluido (alcohol) y poder obtener un buen resultado en la deshidratación.

Por último, se quiere mejorar el método de la medición de la concentración del alcohol para que no se siga realizando de manera manual abriendo la cámara para ingresar el densímetro y afectando así el proceso, por el contrario tenemos la implementación de un densímetro el cual estará todo el tiempo dentro de la cámara y que nos ayudara con la medición de la concentración, por otra parte se realizara la toma de 3 valores (70%, 65% y 60%) para medir de forma digital a través de sensores infrarrojos y los valores inferiores a estos deberán ser medidos de manera manual sin abrir la cámara, con esto podemos saber cuándo debemos volver a llenar la cámara con el líquido para que continúe con su proceso de deshidratación, con esto se busca evitar que se abra la cámara para medir concentraciones, si no que por el contrario podamos saber en qué medida se encuentra el alcohol a través de la pantalla que nos indicara en valor obtenido a través de la lectura digital de los sensores

#### **4. ESTADO DEL ARTE.**

En este punto se realiza una incorporación bibliográfica sobre los antecedentes y avances realizados en el proceso de plastinación y sobre las diferentes sustancias utilizadas para la etapa de deshidratación.

##### **4.1 ANTECEDENTES**

#### **GUNTHER VON HAGENS, CREADOR DE LA PLASTINACIÓN. RESEÑA HISTÓRICA Y DESARROLLO DE LA TÉCNICA.**

La plastinación es un método de conservación cadavérica por medio de la cual se puede preservar especímenes biológicos y en especial blandos para el que lo requiera, durante el proceso de la técnica lo que se hace es eliminar los líquidos naturales del órgano o tejido para ser reemplazados por polímeros plásticos como puede ser silicón, resinas epóxicas o poliéster; componentes que luego son endurecidos dando como resultado especímenes secos, inoloros y altamente durables. Del tipo de polímero usado determinará la propiedad óptica (transparente y opaco) y el movimiento (flexible o sólido) que pueda conferir al espécimen impregnado.

Gracias al uso de artículos y publicaciones sobre la plastinación, y como implementación de esta técnica, se desarrolló en siete etapas, las cuales son: la primera etapa es la selección del espécimen, segunda etapa fijación, la tercera etapa disección, cuarta etapa deshidratación, quinta etapa impregnación forzada, sexta etapa posicionamiento y séptima etapa curado.

La primera es muy importante ya que de una buena selección del espécimen dependerá el gran éxito de la técnica; para la etapa de fijación esta se puede realizar con cualquier tipo de

fijador convencional aunque la más utilizado y con mayor éxito es el formaldehído, en la etapa de disección esta debe ser muy precisa, minuciosa y con una eliminación completa del tejido subcutáneo para lograr pasar a la siguiente etapa que es la deshidratación, esta se desarrolla sumergiendo el espécimen en acetona a 25°C por varias semanas y la acetona es reemplazada hasta que el contenido de agua sea menor a 1% para pasar a la etapa más importante de toda la técnica la de impregnación forzada donde se debe desarrollar lentamente ya que es donde la acetona pasa de estado líquido a estado gaseoso y es removida, esta etapa dura de 4 a 14 días dependiendo del tamaño del espécimen, densidad del tejido y viscosidad del polímero utilizado, la etapa del posicionamiento se hace con el propósito de mostrar las regiones disecadas a través de la colocación de agujas separadoras, hilos de sostén y otros elementos para la composición adecuada de la preparación plastinada y finalmente en la etapa de curado se obtiene básicamente el secado y endurecimiento del espécimen impregnado, exponiendo el espécimen a un endurecedor gaseoso o luz ultravioleta, etapa que se puede extender de 3 a 4 meses para un cuadro total.

“Esta técnica consiste en la obtención de material cadavérico de alta calidad, desde el punto de vista de disección anatómica, reemplazando agua y lípidos de los tejidos biológicos por polímeros plásticos como la silicona, resinas epóxicas o poliéster, para su posterior conservación por tiempo indeterminado en forma seca, manteniendo la textura y coloración del cadáver, y, lo que es muy importante, sin la necesidad de utilizar líquidos conservantes de extrema toxicidad e irritabilidad, como el formaldehído y fenol, obteniendo preparaciones seguras para la manipulación”. Donde tiene como objetivo conseguir preparaciones libres de toxicidad de formaldehído y ofrecer a los estudiantes especímenes que serán fuente de aprendizaje y conocimiento en la anatomía y las ciencias morfológicas.

Cabe resaltar que los especímenes se pueden mantener secos, con volumen y forma natural, así como conservar su textura y coloración aproximadas a las normales, sin tener ningún inconveniente respecto a olores o vapores irritantes y tóxicos de los conservadores convencionales (formaldehído, fenol) que permiten comodidad del manejo manual de las piezas y la resistencia de los cuerpos al tacto (von Hagens & Ernesto Ottone Técnicas Anatómicas, 2013).

A pesar de su gran éxito con esta técnica Gunther von Hagens recomienda desarrollar otras técnicas de fijación que sean cada vez menos tóxicas buscando reemplazar el formaldehído y la acetona por otros solventes que no atenten contra la salud.

#### 4.2 ARTÍCULOS

<b>PROYECTO</b>	
<b>TÉCNICA DE PLASTINACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA: UNA ADAPTACIÓN DEL MÉTODO ESTÁNDAR ALEMÁN</b>	
<b>Descripción:</b> La técnica de plastinación resultante de la adaptación del método estándar alemán, mencionada como técnica UDEA, consta de cuatro etapas: fijación, deshidratación, impregnación forzada y curado; la disección de la pieza anatómica se realiza durante todo el desarrollo de la técnica, por tanto, no se considera solo una etapa sino un proceso dinámico que emplea polímeros, catalizadores, equipos, sustancias adquiridas y piezas anatómicas humanas.	
<b>OBJETIVO</b>	Adaptar el método estándar alemán a las condiciones propias del laboratorio de plastinación de la facultad de medicina de la universidad de Antioquia (UDEA).
	Realiza la técnica de deshidratación en frío a -15°C debido a las

BRECHA	condiciones propias de las instalaciones donde se encuentran ubicados, lo que disminuye la retracción de los tejidos propia de esta etapa ya que la temperatura referente es de -25°C.
APORTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primera técnica que adoptó el reemplazo del agente deshidratante original, la acetona por alcohol isopropílico.</li> <li>• Para la etapa de fijación, utiliza formaldehído al 10% por un lapso de una semana.</li> </ul>

Tabla 1. Artículo: Una adaptación del método estándar alemán.

*Fuente:* (Acevedo-Arroyave et al., 2018)

<b>PROYECTO</b>	
<b>PROTOCOLO UNIFICADO DE PLASTINACIÓN CON SILICONA EN FRÍO Y A TEMPERATURA AMBIENTE</b>	
<p><b>Descripción:</b> En el 2015 se publica la propuesta de plastinación con silicona a temperatura ambiente con varias novedades, modificando la técnica tradicional de plastinación a temperatura ambiente que incorpora principios de la técnica de plastinación con silicona en frío desarrollada por Gunther von Hagens. En este sentido, las modificaciones y propuestas sugeridas en este nuevo protocolo estuvieron asociadas a la etapa de impregnación forzada, en la cual se describieron, por primera vez, los conceptos de impregnación forzada activa y pasiva, asociados al encendido y apagado de la bomba de vacío, respectivamente, durante el proceso.</p>	
<b>OBJETIVO</b>	Unificar los protocolos de plastinación en frío y a temperatura ambiente bajo un mismo protocolo, identificando diferencias únicamente en la etapa de la impregnación forzada, y asociadas a la cámara de vacío y los tiempos

	de impregnación.
BRECHA	La etapa de deshidratación se realiza con la sustitución por congelación en acetona a -25°C durante cuatro semanas, donde cada semana el tejido debe ser traspasado de un baño de acetona al subsiguiente en concentraciones superiores cada baño, comenzando al 90% en el baño inicial hasta alcanzar el último baño con un 100% de acetona.
APORTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para reducir la retracción que ocasiona la acetona, se realiza la sustitución por congelación (en frío: -25°C) de los líquidos naturales del tejido por acetona.</li> <li>• En caso de que la muestra esté conservada en otro compuesto diferente al formol, se debe sumergir la pieza en etanol al 50% por 1 semana.</li> <li>• La deshidratación con acetona en comparación al etanol es más sencilla y recomendable debido a que ocasiona una menor retracción de los tejidos.</li> <li>• Para órganos huecos, se deben llenar con acetona fría (-25°C) al momento de sumergirlos en el solvente con el propósito de mantener la forma y disminución de la retracción.</li> </ul>

*Tabla 2. Artículo: Protocolo unificado de plastinación*

*Fuente: (Ottone & Protocolo, 2021)*

<b>PROYECTO</b>	
<b>ANÁLISIS MULTIVARIADO APLICADO A LA ETAPA DE DESHIDRATACIÓN EN LA TÉCNICA DE PLASTINACIÓN DEL RIÑÓN DE CABALLO</b>	
<p><b>Descripción:</b> La plastinación es la técnica más moderna para la conservación de piezas y especímenes anatómicos. Se utilizaron riñones de equinos mestizos criollos. Después de sumergir el órgano en formalina, se deshidrató. La deshidratación se realizó en tres subetapas trabajando a la misma temperatura, utilizando como solvente una solución de acetona de diferentes concentraciones. Las medidas fueron realizadas con acetómetro, registrando el tiempo consumido para llegar a la deshidratación. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente por medio de varianza multivariada y análisis de correlación simple, dando como resultado que los tiempos de deshidratación se ven afectados por la edad del animal y no por la posición ni por el peso del órgano.</p>	
OBJETIVO	<p>Analizar cómo influye la edad, lateralidad del órgano (izquierda o derecha), y el peso del riñón de caballo sobre el tiempo de deshidratación en la técnica de plastinación.</p>
BRECHA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se obtuvieron evidencias estadísticas significativas para afirmar que existe un efecto interacción entre la edad y lateralidad del órgano.</li> <li>• No se obtuvieron evidencias estadísticas significativas para afirmar que existe un efecto lateralidad del órgano.</li> </ul>
APORTE	<p>Para evitar roturas del tejido (riñón de caballo), la deshidratación se realizó de forma gradual, es decir, se dividió en tres subetapas consecutivas</p>

	<p>utilizando como solución solvente acetona-agua en concentraciones crecientes: subetapa 1 al 85%, subetapa 2 al 90% y la subetapa 3 al 99%, manteniendo la temperatura en -18°C. Durante cada subetapa se realizó monitoreo periódico con el acetómetro, concluyendo que cuando la concentración de la acetona disminuye en un 10% se da por finalizada la subetapa y se pasa a la siguiente.</p>
--	---

*Tabla 3. Artículo: análisis multivariado aplicado en la etapa de deshidratación en la técnica de plastinación del riñón de caballo.*

*Fuente: (Rivera et al., 2009)*

<p>PROYECTO</p>
<p><b>EXPLORACIÓN DE LA TÉCNICA DE PLASTINACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE MODELOS ANATÓMICOS COMO MATERIAL DOCENTE PARA LA ENSEÑANZA DE LA MORFOLOGÍA HUMANA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ</b></p>
<p><b>Descripción:</b> La disección de cadáveres ha sido el método de estudio más utilizado en la historia de la Medicina para la consecución del objetivo fundamental de aprendizaje de la anatomía. Las técnicas de plastificación son de enorme interés docente para los Departamentos de Anatomía, Anatomía Patológica, Odontología, Medicina Forense, Parasitología y en Radiología. De igual manera, los modelos obtenidos adquieren interés informativo en el desarrollo de técnicas como la Tomografía Axial Computarizada y Técnicas de Scanner. En este proceso, el agua y los lípidos de los tejidos biológicos son sustituidos por polímeros curables (silicona, epóxica, poliéster), que posteriormente se endurecen dando lugar a ejemplares secos, sin olor y duraderos.</p>

La clase de polímero utilizado determina las propiedades visuales y mecánicas de la muestra impregnada	
OBJETIVO	Explorar la técnica de plastinación en la preparación de modelos anatómicos como herramienta para la enseñanza de la anatomía humana a estudiantes de pregrado y posgrado en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.
BRECHA	Para la deshidratación, se sumerge el espécimen (corazón de porcino) en baños de acetona, que se deben iniciar en concentraciones no mayores al 70% y semanalmente se debe cambiar el baño aumentando la concentración de la acetona, hasta llegar al punto de obtener una concentración del 99% del solvente.
APORTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la etapa de fijación utilizan formol por debajo del 5% en un lapso de 4 a 8 semanas.</li> <li>• En la etapa de deshidratación, la realizan con alcohol etílico, finalizado con un baño de acetona al 100%.</li> </ul>

*Tabla 4. Artículo: Exploración de la técnica de plastinación en la preparación de modelos anatómicos como material docente para la enseñanza de morfología humana.*

*Fuente: (Arias López, 2012)*

<b>PROYECTO</b>
<b>PLASTINACIÓN: UN INSTRUMENTO COMPLEMENTARIO PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA ANATOMÍA</b>
<b>Descripción:</b> La técnica de plastinación es muy utilizada para conservar piezas anatómicas

utilizadas en la docencia sustituyendo el agua y la grasa de los tejidos por un polímero de silicona o resina poliéster, con el fin de obtener instrumentos de tipo didáctico que favorezcan los procesos de aprendizaje de los estudiantes. La deshidratación con solventes químicos, y la posterior impregnación con glicerina permiten obtener piezas óptimas para la conservación y utilización en docencia convirtiéndose en una estrategia didáctica de gran relevancia para el aprendizaje de la anatomía.

<p>OBJETIVO</p>	<p>Utilizar y modificar diversas técnicas en base a los protocolos propuestos por el Dr. von Hagens, adaptándolos a las necesidades y posibilidades, ya que en el campo se carece de un laboratorio de plastinación para un seguimiento programado de esta técnica. El alto costo de implementar un laboratorio de plastinación y los especímenes plastinados implica el desarrollo y adquisición de artículos similares a menor costo.</p>
<p>BRECHA</p>	<p>Realizaron pruebas con cinco cadáveres (tres felinos y dos caninos), donde con cada cadáver tomó tiempos diferentes para el proceso de deshidratación respecto a los procedimientos realizados, es decir, a dos felinos se les realizó disección de los músculos superficiales de los miembros anteriores y posteriores, así como del tórax y la cavidad abdominal, por lo que tardaron tres meses en deshidratarse completamente, para los dos caninos y el felino fueron sometidos a separación, disección de los miembros anteriores, posteriores y exposición del tórax por lo que tardaron cinco meses en deshidratarse por completo.</p>
<p>APORTE</p>	<p>Para la etapa de fijación utilizaron formol al 5% por un periodo de 15 días</p>

	y seguidamente para la etapa de deshidratación utilizaron como solvente la acetona, pero adicionalmente la mezclaron con isopropanol.
--	---

*Tabla 5. Artículo: Un instrumento complementario para el desarrollo del proceso enseñanza - aprendizaje de la anatomía.*

*Fuente: (Muñetón Gómez & Ortiz, 2012)*

<b>PROYECTO</b>	
<b>LA QUÍMICA DE LOS FENÓMENOS CADAVÉRICOS</b>	
<b>Descripción:</b> El cuerpo humano está formado por materia y energía, esto es, átomos y moléculas que no escapan de las leyes fisicoquímicas que rigen el funcionamiento de todo el Universo. Estas leyes van a permitir que en el individuo se den una serie de fenómenos biológicos, permitiendo el equilibrio homeostático y complejo que es la vida. Por lo que el cadáver sufre un fenómeno físico de deshidratación debido a la pérdida de líquidos por evaporación en el que van a influir las condiciones medioambientales	
<b>OBJETIVO</b>	Clasificar los fenómenos cadavéricos dependiendo de la transformación y el orden cronológico de aparición de estos.
<b>BRECHA</b>	Después de la muerte, en el organismo se producen una serie de procesos y cambios post mortem derivados de la transformación del organismo en un cuerpo inerte debido a que se extinguen los procesos bioquímicos vitales y por aquellos derivados de la actividad propia del cadáver.  Debido a estos cambios físicos y químicos que experimenta el cuerpo no existe una única clasificación de fenómenos cadavéricos, por lo que se

	debe entrar a realizar un estudio del tipo de transformación y del orden cronológico de cada fenómeno.
APORTE	Se adopta la propuesta de Vargas Alvarado y Gisbert Calabuig de sus libros de medicina legal, donde de acuerdo con el tipo de transformación y del orden cronológico de aparición del fenómeno cadavérico, se cuenta ya con la clasificación (tres clasificaciones) de los fenómenos cadavéricos.

*Tabla 6. Artículo: La química de los fenómenos cadavéricos.*

*Fuente: (Serrano & Valenciano, 2018)*

<b>FORMALDEHÍDO Y EL RIESGO DE CÁNCER</b>	
<b>Descripción:</b> El formaldehído es una sustancia química incolora, inflamable y de olor fuerte que se usa para fabricar materiales y para producir muchos productos del hogar. Los materiales que contienen formaldehído pueden liberar la sustancia en forma de gas o de vapor en el aire por lo que pueden llegar a presentar efectos adversos como ojos llorosos; sensación de ardor en los ojos, en la nariz y la garganta; tos; sibilancias o respiración con silbidos; náuseas e irritación de la piel	
OBJETIVO	Evitar el contacto directo, a largo plazo y a altos niveles de formaldehído para prevenir efectos y enfermedades como leucemia, mieloides, cáncer de seno paranasal y cavidad nasal y cáncer de nasofaringe.
BRECHA	Alto riesgo de salud al que se expone al entrar en contacto directo, a altos niveles de concentración y por tiempos muy prolongados.
APORTE	En laboratorios de anatomía y patología se usa frecuentemente como agente fijador y de conservación de especímenes a pesar de los altos

	factores de riesgo.
--	---------------------

*Tabla 7. El formaldehído y el riesgo de cáncer.*

*Fuente: (NIH. Instituto Nacional del Cáncer, 2011)*

<b>PROYECTO</b>	
<b>LABORATORIO DE PLASTINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD ES UNA REALIDAD EN UNICAUCA</b>	
<b>Descripción:</b> La plastinación es una técnica por medio de la cual se preserva definitivamente y se evita la putrefacción de los tejidos en piezas anatómicas y cuerpos del ser humano, controlando todo tipo de riesgos químicos y biológicos. los cadáveres utilizados son manejados de acuerdo con criterios de respeto, dignidad y responsabilidad, pretendiendo estimular la donación de cuerpos para la enseñanza a nuevas generaciones y de órganos para beneficiar a personas que requieran un trasplante	
<b>OBJETIVO</b>	Contar con material de exhibición que podría ser itinerante y enfocado a la promoción de la salud con una estructura determinada, donde las personas conozcan de cerca los efectos de las enfermedades en los cuerpos.
<b>BRECHA</b>	Para una mejor impregnación del solvente (acetona) deben estar realizando movimientos manuales para simular el movimiento del tejido.
<b>APORTE</b>	Primer laboratorio de plastinación a nivel departamental enfocado a la promoción de la salud con una estructura determinada, donde las personas conocen de cerca los efectos de las enfermedades en los cuerpos.

*Tabla 8. Laboratorio de plastinación de la facultad de ciencias de la salud es una realidad en la Universidad del Cauca.*

*Fuente: (Universidad del Cauca, 2015.)*

## **5. MARCO CONCEPTUAL**

### **5.1 PLASTINACIÓN**

La plastinación es un método que puede llevar semanas o meses, ya que consiste en sustituir la grasa y los líquidos de los órganos por un polímero en condiciones de vacío y temperaturas negativas. Mediante este proceso se consiguen hacer exposiciones de órganos, tal cual son, en su estado físico real. Este método une el campo de la medicina anatómica y la química de polímeros, esto con el fin de conseguir la preservación de tejidos y órganos retirados del cuerpo del cadáver, en algunos casos, de la totalidad del cuerpo. Con esto se consigue detener la descomposición, ya que se priva a las bacterias que la generan de lo de lo que necesitan para vivir en el organismo (NOTICIAS UNIVISION, 2013).

Esta técnica es una de las más utilizadas frente a otras técnicas, ya que por medio de esta se puede tener un mayor acercamiento con los órganos a tratar y por la cual podemos visualizar los órganos internos secos o que estén más cercanos al estado vivo, este procedimiento permite no solo la conservación de órganos humanos, sino también tejidos animales y vegetales, ya que se impregna resina sintética o acetona, la cual se reemplaza por alcohol etílico. Con esta técnica, que se ha convertido en una de las más utilizadas, se ha dejado de lado métodos como la momificación, tanatopraxia, entre otras, ya que esta ayuda de manera más práctica a la conservación de los órganos sin necesidad de estar expuestos a químicos corrosivos.



*Figura 1. Canino, deshidratación en isopropílico y acetona, impregnación en glicerina*

*Fuente: (Muñetón Gómez & Ortiz, 2012)*

### **5.1.1 FIJACIÓN**

El proceso de fijación de las células implica conservarlas en un estado estable que impida su degradación o descomposición. Cuando las células mueren inmediatamente empiezan a eliminar enzimas de adentro hacia fuera haciendo que estas se destruyan, la etapa de fijación implica la inmersión del órgano o tejido en el fijador (formaldehído), lo que le permite actuar sobre las células de las piezas y conservarlas en su estado natural. Estas piezas al entrar en contacto con el fijador, las células morirán, pero mantendrán su estructura natural.

Un buen fijador debe tener varios atributos clave, incluida una buena difusión y penetración para la conservación eficaz de los componentes celulares internos y externos, así

como un modo de acción rápido para prevenir la muerte celular. Además, un buen fijador debe ser fácil de obtener y no tóxico, razón por la cual el formol (formaldehído) se ha convertido en el fijador más utilizado y ampliamente aceptado.

### 5.1.2 DESHIDRATACIÓN

La deshidratación corresponde a la segunda etapa de toda la técnica de plastinación, es una fase crucial, ya que permite extraer los fluidos del órgano o del tejido como el agua y los lípidos para luego ser reemplazarlos por un solvente con propiedades adecuadas, en este proyecto se usará alcohol etílico al 70%, ya que, es una sustancia miscible en agua. Es importante destacar que la deshidratación se lleva a cabo mediante difusión, lo que significa que no se aplican fuerzas externas al tejido para extraer los fluidos, sino que se produce una mezcla del alcohol con los líquidos del órgano de manera natural. Este proceso es fundamental para lograr la preservación del órgano



*Figura 2. Preparación de la etapa de deshidratación para una serpiente en acetona*

Fuente: (Ekim & Insal, 2014)

## **5.2 PIEZAS ANATÓMICAS PARA DESHIDRATAR**

### **5.2.1 TEJIDOS**

Al estudio de los tejidos y la manera que se organizan se le conoce como histología o anatomía macroscópica. Un tejido es un grupo de células que contribuye para que los órganos realicen una función estructural o fisiológica. A pesar de que los órganos exhiben patrones fisiológicos y estructurales diferentes, se pueden reconocer cuatro tipos de tejidos que son: tejido epitelial, tejido conectivo, tejido muscular y tejido nervioso (Saladin & Pineda Rojas, 2013).

#### **5.2.1.1 Tejido epitelial**

Se encuentra localizado en la epidermis. El tejido epitelial está conformado por una lámina de células estrechamente adheridas con la superficie superior que, por lo general, está expuesta al entorno o a un espacio interno del cuerpo. El epitelio cubre la superficie corporal, recubre las cavidades corporales, forma las cubiertas externas e internas de muchos órganos y constituye la mayor parte del tejido glandular, su función principal es la protección de los tejidos más profundos contra invasiones y lesiones; la secreción, esto debido a que los epitelios producen moco, sudor, enzimas, hormonas y la mayoría de las demás secreciones del cuerpo, la excreción por lo que los epitelios evacuan desechos de los tejidos; la absorción debido a que los epitelios absorben sustancias químicas del medio; la filtración y la sensibilidad, esto porque los epitelios cuentan con terminaciones nerviosas que perciben estímulos (Saladin & Pineda Rojas, 2013).

#### **5.2.1.2 Tejido conjuntivo o conectivo**

Son los tejidos más abundantes. Los tejidos fibrosos y adiposos, el cartílago, el hueso y la sangre son de este tipo. La mayoría de los tejidos conjuntivos se utilizan para unir los órganos

entre sí y de esta forma, crear un marco estructural para un órgano y brindarle soporte y protección. Las funciones principales de este tipo de tejidos son: La unión de órganos, el soporte, la protección física, protección inmunitaria, constituyen el sistema de palanca para el movimiento corporal, almacenamiento principalmente de energía, producción de calor y transporte de gases, nutrientes, desechos, hormonas y células sanguíneas (Saladin & Pineda Rojas, 2013).

### **5.2.1.3 Tejido nervioso**

Su función principal es la comunicación que se realiza a través de señales tanto eléctricas como químicas. Está compuesto principalmente de neuronas y células nerviosas. El tejido nervioso se encuentra localizado en el encéfalo, la médula espinal, los nervios y los ganglios nerviosos.

### **5.2.1.4 Tejido muscular**

Los movimientos del cuerpo y de las extremidades, al igual que los procesos de digestión, eliminación de desechos, respiración y circulación sanguínea hacen que el tejido muscular se contraiga cuando son estimulados, con el fin de ejercer una fuerza física. Los tejidos musculares son células alargadas que se conforman de fibras que son las que se contraen ya sea de forma voluntaria o involuntaria, existen tres tipos de tejidos musculares que son: músculo liso, responsable de la contracción involuntaria y del movimiento de las vísceras; músculo esquelético, se relaciona con los movimientos de locomoción y, músculo cardiaco, responsable de los movimientos del corazón (Saladin & Pineda Rojas, 2013).

## **5.2.2 ÓRGANOS**

Los órganos del cuerpo humano están formados por varios tipos tejidos, cada uno con una

función específica que contribuye al funcionamiento principal del órgano. Es importante saber, que los órganos no son estructuras estáticas, sino que cambian y se adaptan a lo largo del tiempo a través de procesos como la regeneración (Pintat, n.d.).

### **5.2.2.1 RIÑÓN**

El riñón es un órgano que cumple la función de filtrar la sangre y de eliminar los desechos líquidos del cuerpo. En el proyecto se utilizó un riñón de un rumiante, que se caracteriza por su apariencia lobulada con medidas de 15 cm de largo \* 10.5 cm de ancho y un peso de 235.60 gr, también, tiene una textura suave y gomosa.



*Figura 3. Riñón de rumiante*

*Fuente: Propia.*

### **5.2.2.2 CORAZÓN**

El corazón es un órgano que cumple la función de enviar el flujo sanguíneo hacia los lechos capilares de las circulaciones sistémica y pulmonar. En el proyecto fue utilizado corazones de un ave, los cuales se caracterizan por ser los únicos que poseen al igual que los humanos cuatro cámaras que presionan intermitentemente las arterias centrales para enviar el flujo sanguíneo, tiene medidas de 6 cm de largo \* 2.5 cm de ancho y un peso de 16.66 gr.



*Figura 4. Corazón de ave.*

*Fuente: Propia*

### **5.2.2.3 HÍGADO**

El hígado es un órgano que tiene como función participar en el metabolismo, desintoxicación, secreción de bilis, coagulación, inmunidad, generación de calor, regulación de la circulación sanguínea, regula el equilibrio de agua y electrolitos, entre muchas más funciones. Se caracteriza por ser relativamente grande e importante en las aves, tiene unas dimensiones relativas de 5.5 cm de largo \* 6 cm de ancho y alcanza un peso de 35.22 gr, y tiene una textura lisa.



*Figura 5. Hígado de ave.*

*Fuente: Propia*

## **5.3 MECANISMOS PARA MEDIR CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL**

### **5.3.1 ALCOHOLÍMETRO**

El alcoholímetro es un instrumento utilizado para determinar la concentración de alcohol presente en un líquido o gas. Estos instrumentos generalmente miden el porcentaje de alcohol en una bebida alcohólica, la presencia de alcohol en la sangre o en un gas. La estructura básica de un alcoholímetro está constituida por sensores cuya finalidad es detectar la presencia de alcohol, para esto, se utilizan sensores de detección de gas y generalmente están compuestos a base de una capa de óxido de estaño (Repetto,1995) (Canedo, 2020).

#### **5.3.1.1 Densímetro**

Es un instrumento que sirve para medir la densidad relativa de un líquido. El funcionamiento de este se basa en el principio de Arquímedes el cual establece que todo cuerpo que se encuentre sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba equivalente al peso del fluido desplazado. El densímetro maneja diferentes escalas; para medir la concentración de alcohol, se utiliza la escala Gay-Lussac, escala volumétrica que mide el contenido de alcohol como un porcentaje en volumen, a cada unidad de porcentaje le corresponde un grado de graduación alcohólica (Ribeiro, (2014)) (Densímetro, 2014).

En resumen, el densímetro es un instrumento que funciona gracias al principio de Arquímedes y se utiliza para medir la densidad relativa del alcohol, lo que es útil para obtener información sobre la concentración del alcohol que se encuentra dentro de la cámara de deshidratación



*Figura 6. Densímetro para alcohol (alcoholímetro)*

*Fuente: (Laboratorio Densidad – Conamet, n.d.)*

## **5.4 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN**

La automatización se refiere al uso de la tecnología para realizar procesos y tareas sin intervención directa de seres humanos. En el contexto de la deshidratación de los órganos, la automatización puede ser utilizada para mejorar la eficiencia del proceso y para reducir la necesidad de la mano de obra humana.

Al incorporar la tecnología en la cámara de deshidratación, es posible programar la acción del sistema de movimiento y establecer los tiempos y los espacios necesarios para el proceso de manera más precisa.

## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.1 MATERIALES**

#### **6.1.1 Bomba de recirculación**

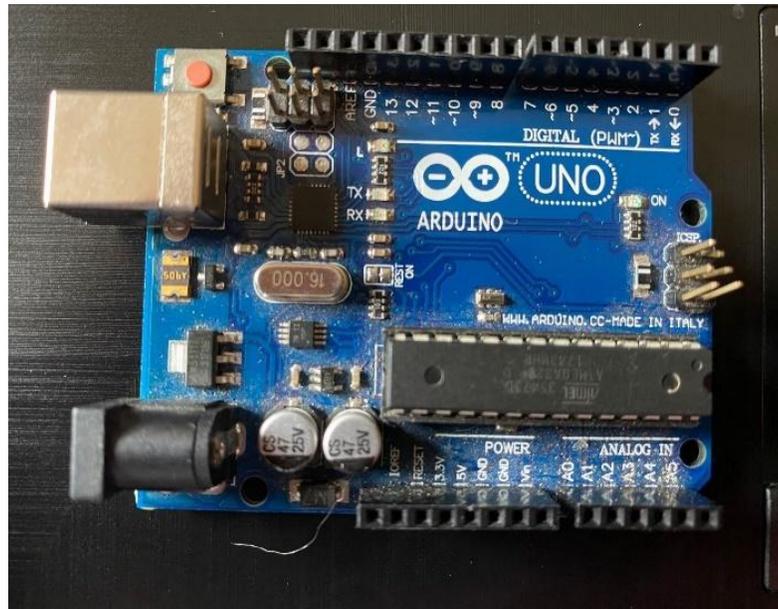


*Figura 7. Bomba eléctrica cuadrada.*

**Fuente:** (BOMBA ELECTRICA DE GASOLINA UNIVERSAL VEHICULOS CARBURADOS CUADRADA 4,6,8 VARIOS, n.d.)

En el proceso de deshidratación, es importante contar con una bomba eléctrica que permita la recirculación del alcohol etílico al 70%. La bomba tiene por principio de funcionamiento la recirculación del líquido a través de una entrada y una salida. En este caso, la entrada absorbe el alcohol etílico de la cámara de deshidratación, mientras que la salida expulsa el fluido para volver a ingresar al sistema y así mantener el movimiento del fluido dentro de la cámara. Se debe destacar que la bomba eléctrica tiene un filtro en su entrada que retiene las partículas que puedan expulsar los órganos inmersos en el alcohol etílico durante la deshidratación. Este filtro evita que las partículas obstruyan o dañen el funcionamiento de la bomba. En cuanto al voltaje de trabajo de la bomba, para un correcto funcionamiento se debe contar con una fuente de alimentación que garantice una entrega estable de 12V.

### 6.1.2 Arduino Uno



*Figura 8. Microcontrolador Arduino Uno.*

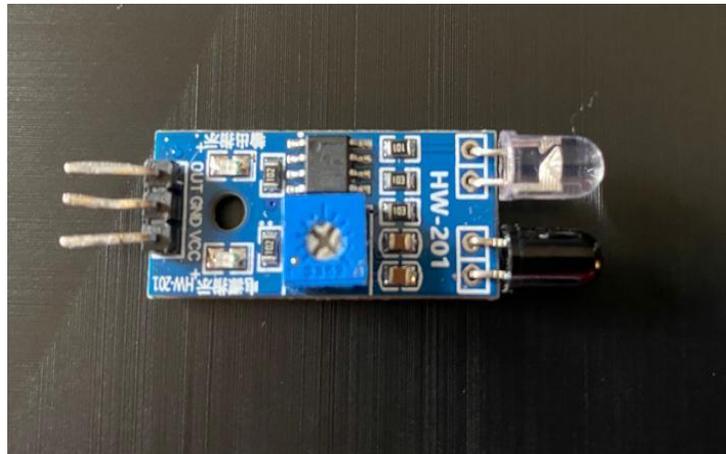
Fuente: Propia.

El Arduino es un componente que contiene un circuito integrado que incorpora un microcontrolador reprogramable. Este microcontrolador tiene la capacidad de realizar funciones programadas en el entorno Arduino IDE y cuenta con entradas y salidas tanto digitales como analógicas. En este caso, el módulo del sensor infrarrojo de la Figura 9 y el relevo de estado sólido de la Figura 14 se conectan al microcontrolador Arduino, lo que permite su control a través de la programación registrada en Arduino IDE.

Es importante mencionar que la programación en Arduino IDE permite definir la acción que cada componente realizará al recibir una señal. En el caso del sensor infrarrojo, permitirá detectar la presencia del densímetro, mientras que el relevo sólido permitirá el control de encendido y apagado de la bomba eléctrica. Todo esto será posible gracias al procesamiento y

control de señales que se realiza en el microcontrolador. El Arduino permite la integración del sensor infrarrojo y el relevo sólido en un sistema automatizado.

### 6.1.3 Módulo de sensor infrarrojo



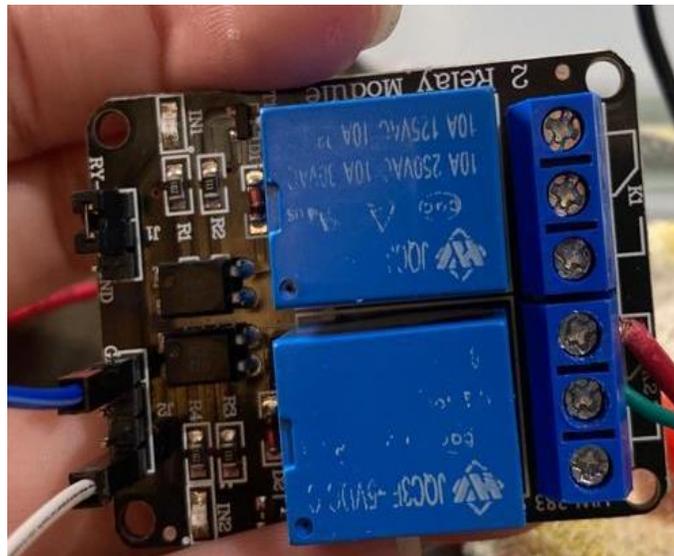
*Figura 9. Módulo sensor infrarrojo.*

*Fuente: Propia.*

El sensor infrarrojo es un dispositivo utilizado para detectar la presencia de objetos a través de la radiación infrarroja emitida por los objetos en su campo de visión. El sensor infrarrojo es el encargado de leer el densímetro cuando la concentración de alcohol sea del 70, 65 y 60%, es decir, se van a utilizar tres sensores, el primero, va a estar ubicado de tal forma que siempre detecte la etiqueta del densímetro; el segundo, estará ubicado a la misma distancia que el densímetro tiene entre 70 y 65%, esto con el fin de que cuando la concentración de alcohol esté en 65%, el segundo sensor apunte a la parte transparente del densímetro y de esta manera no lo detecte, así mismo; el tercer sensor va a estar ubicado a la misma distancia que hay entre 65 y 60% del densímetro para que cuando la concentración del líquido baje hasta 60%, el sensor

apunte a la parte transparente del densímetro y no lo detecte. En el módulo de los sensores infrarrojos, se cuenta con un potenciómetro mediante el cual se puede controlar la distancia de detección. Para este caso, los potenciómetros se configuran de manera que la distancia de detección sea la correcta para capturar la lectura adecuada del densímetro en la cámara de deshidratación, cabe destacar que la lectura se realiza a través de la parte transparente del densímetro, ya que este material, en esta parte, permite la transmisión del haz infrarrojo sin ser absorbido o reflejado, lo que garantiza una medición precisa y confiable de las distancias.

#### 6.1.4 Módulo Relé (múltiple)



*Figura 10 Módulo relé múltiple.*

*Fuente: Propia.*

El módulo Relé es un dispositivo que funciona de manera similar a un interruptor, permitiendo el encendido y apagado de un objeto que se encuentre alimentado por este (ON/OFF). Es importante resaltar que este módulo tiene la capacidad de soportar hasta 220 V y

10 A, lo que lo convierte en una excelente herramienta para proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de ciertos equipos. En la figura 18 se observa que tiene dos zonas diferenciadas: la zona de control y la zona de potencia. La zona de control se encuentra conectada directamente al microcontrolador (Arduino), permitiendo que reciba las órdenes que este envía. Por otro lado, la zona de potencia es la encargada de recibir la alimentación y permitir el paso de energía al objeto que está siendo alimentado. En este sentido, la zona de control está conectada al Arduino, el cual es capaz de indicarle a la bomba de recirculación cuándo debe ser encendida o apagada, garantizando así su correcto funcionamiento.

A pesar de que el módulo relé cuenta con la capacidad de permitir la circulación hasta 10 A, experimentalmente se ha detectado que no es capaz de suministrar la corriente necesaria para el correcto funcionamiento de la bomba de recirculación, debido a esta limitación, se ha decidido sustituirlo por un relevo sólido que sea capaz de proporcionar la corriente que requiere la bomba sin riesgo de fallas o interrupciones en el suministro eléctrico.

#### 6.1.5 Tubo de PVC y mangueras



*Figura 11. Rosca tubo de PVC y mangueras de circulación.*

*Fuente: Propia.*

La rosca tubo de PVC es un material estéril y completamente higiénico, lo que lo convierte en un implemento ideal para actuar como intermediario entre el interior y el exterior de la cámara de deshidratación. Este material es utilizado para asegurar la correcta entrada del alcohol etílico a la cámara sin ningún tipo de fugas, lo que es esencial para garantizar la calidad del proceso de deshidratación.

Las mangueras son otro componente fundamental en el proceso de deshidratación, y al igual que la rosca de PVC son material estéril e higiénico que no genera ningún tipo de contaminación al paso del alcohol etílico. Es por esta razón que las mangueras son utilizadas como canal de circulación del fluido en tres segmentos diferentes: el primer segmento se encuentra desde la salida de la cámara hasta llegar a la bomba eléctrica, mientras que el segundo segmento se encuentra desde la salida de la bomba eléctrica, hasta la entrada de la cámara de deshidratación y, el tercer segmento se encuentra ubicado en la parte interna de la cámara y tiene como objetivo lograr tener un buen flujo del fluido, evitando que la entrada del fluido llegue directamente a la misma dirección donde se encuentra la salida del fluido; este tercer segmento de la manguera es importante, ya que una buena circulación interna del fluido es esencial para generar el movimiento adecuado en los órganos y garantizar un proceso de deshidratación eficaz y completo. Además, es importante mencionar que, al igual que la rosca de PVC, es necesario seleccionar manguera de alta calidad y esterilidad para evitar cualquier tipo de contaminación durante el proceso de deshidratación.

### 6.1.6 Programa de Arduino

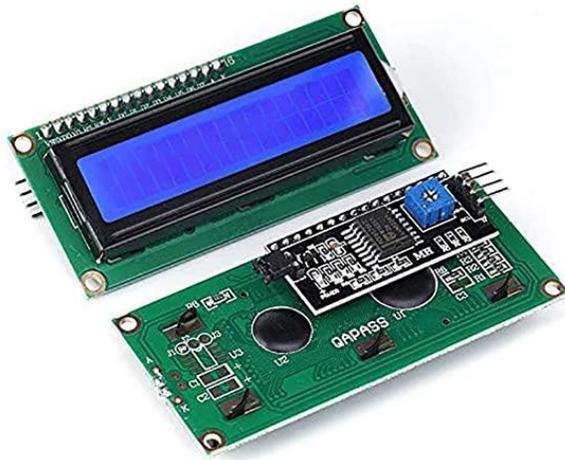


*Figura 12. Arduino IDE.*

*Fuente: Propia.*

El Arduino IDE es un entorno de desarrollo integrado, que ofrece una plataforma completa para programar los dispositivos Arduino (Carmona et al., 2014). Esta plataforma es altamente valorada por la comunidad académica debido a su enfoque de hardware y software libres, contiene un entorno de programación utilizada para escribir y cargar los programas de control requeridos para diversos proyectos. En el proyecto, se hace uso de Arduino IDE para implementar el código que controla tanto el sistema de movimiento como la lectura de ciertos valores del densímetro para obtener la concentración del alcohol en el líquido. La programación de Arduino se basa en el lenguaje de programación C/C++, lo que permite flexibilidad en el diseño del código.

### 6.1.7 Pantalla LCD I2C



*Figura 13. Pantalla LCD con módulo I2C*

*Fuente: (LCD 2X16 BACKLIGHT AZUL CON I2C ZAMUX BOGOTA, n.d.)*

La pantalla LC 2X16 cuenta con un módulo I2C el cual facilita la programación del microcontrolador, tiene un protocolo de comunicación rápida y eficiente entre el microcontrolador y la pantalla. Usar una pantalla con el módulo hace posible simplificar las conexiones entre la pantalla y el microcontrolador, ya que solo se usa dos salidas analógicas que son: SDA (Serial Data) que es utilizado para enviar y recibir los datos entre los dispositivos y SCL (Serial Clock) que es utilizado para sincronizar la transmisión de datos entre los dispositivos. La pantalla del sistema tiene como función principal imprimir el valor de la concentración de alcohol de acuerdo con la programación implementada en los sensores, esto permite visualizar en tiempo real esta información. A través de la pantalla, se puede observar cuándo el sistema se encuentra estable, es decir, la concentración en 70%, por otro lado, si la concentración de alcohol se encuentra en el rango de 60-65%, la pantalla mostrará un mensaje

donde se exprese la necesidad de llenar el sistema con más alcohol con el fin de estabilizar el sistema. La información que se muestra en la pantalla permite un monitoreo constante.

### 6.1.8 Relevo sólido



Figura 14. Relevo sólido 25 Amperios.

Fuente: propia

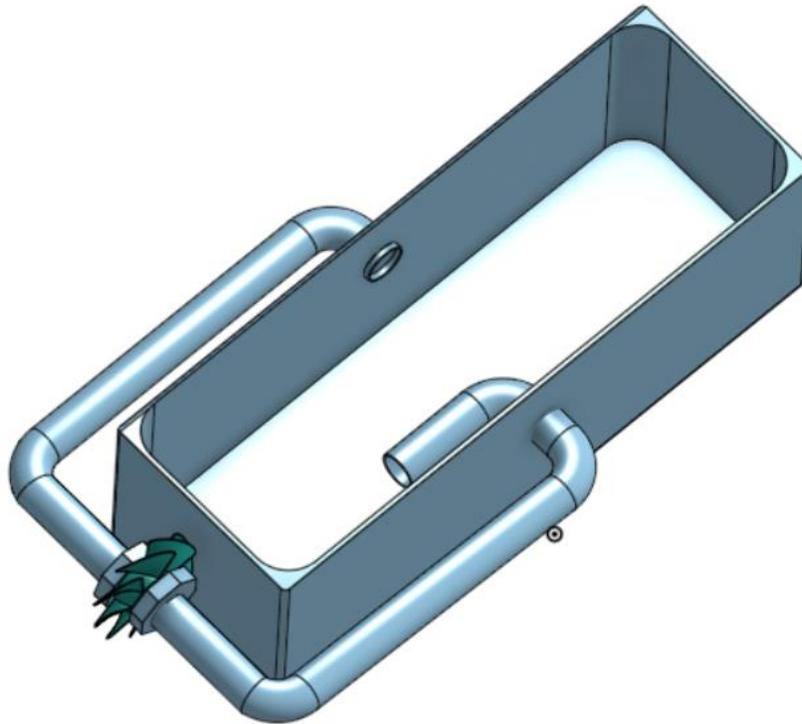
El relevo sólido funciona como una especie de interruptor que es controlado por un circuito, es por esto por lo que se considera como dispositivo electrónico, que no genera chispa ni arcos eléctricos, de esta manera es un dispositivo seguro para utilizarlo cerca a la presencia de alcohol; en el proyecto, el relevo se utiliza para controlar la bomba de recirculación, recibiendo la señal enviada por el Arduino y encargándose de enviarla directamente a la bomba. De esta manera, se consigue un control preciso y seguro de la bomba, sin riesgo de generar chispas o arcos eléctricos que pudieran provocar un accidente.

## 6.2 MÉTODOS

Se siguió la metodología CDIO (concebir, diseñar, implementar y operar), de la siguiente manera: Concebir, es el momento en el cual a través de la investigación sobre el tema, se obtienen los conocimientos necesarios para poder realizar el proyecto a cabalidad y de esta manera detectar la problemática; Diseñar la cámara de deshidratación con un sistema de control de movimiento que cuente con la capacidad de mover el fluido (alcohol) que se encuentra dentro de la cámara; implementar, al momento de poner en marcha el sistema de control ya adherido a la cámara de deshidratación, con el fin de reducir los tiempos en esta etapa y; operar, se observa en el funcionamiento y en la validación, realizando un seguimiento manual del densímetro, esperando que el alcohol disminuya hasta el 65% para que, de esta manera, los sensores infrarrojos logren detectarlo y se refleje este valor en el display. La disminución de la concentración de alcohol en la solución se da porque los tejidos han liberado agua de su interior. Para facilitar el entendimiento del proceso se explicará la metodología por pasos:

PASO 1: Para realizar el diseño de la cámara de deshidratación con movimiento, se utilizaron herramientas computacionales. Ente ellas, se utilizó la plataforma CAD (Diseño asistido por computadora) “OnShape”, que permitió diseñar previamente la cámara antes de su construcción. Así mismo, el diseño previo de la cámara permitió tener una idea clara de posibles modificaciones que se debían realizar y de esta forma eliminar la necesidad de construir prototipos costosos y que sean poco eficientes.

El diseño previo de la cámara permitió tener una representación detallada de cómo sería la estructura y funcionamiento de la esta, lo que facilitó el proceso de su construcción.



*Figura 15. Diseño cámara de movimiento "Onshape".*

Fuente: Propia.

PASO 2: la implementación de la cámara de movimiento se llevó a cabo utilizando una caja plástica de medidas específicas: 33,5cm de largo x 23,5cm de ancho, en ella se hacen dos orificios en donde se ubican las mangueras que conectan directamente a la bomba de recirculación. Durante este proceso, fue esencial asegurarse de que los orificios estuvieran sellados de manera adecuada para evitar posibles fugas de alcohol. Para esto, se utilizaron tubos de PVC sellados con pegamento para tuberías y se adaptaron mangueras llevándolas con acoples y sus empaques.

Realizar estos pasos con precisión fue fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de la cámara de movimiento. Además, la elección cuidadosa de los materiales

utilizados en la construcción permitió crear una estructura sólida y duradera, capaz de soportar las condiciones de uso a las que estaría expuesta.

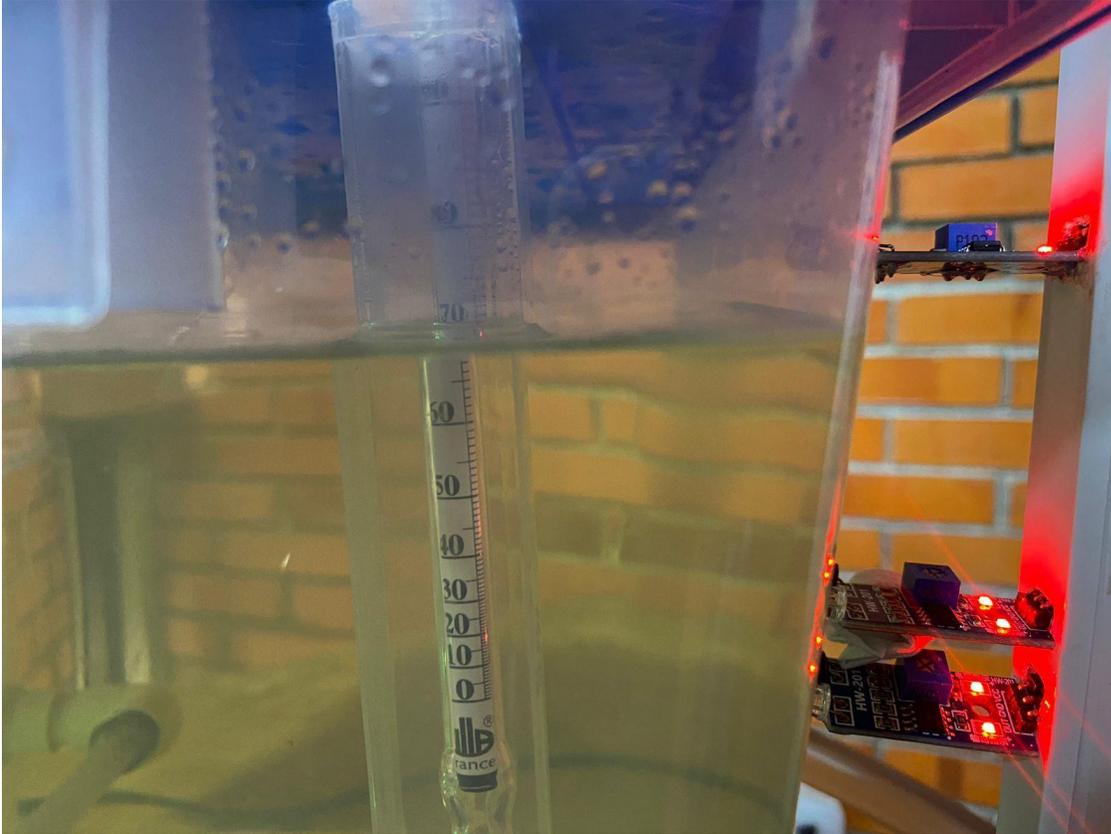


*Figura 16. Diseño cámara de movimiento.*

*Fuente: Propia.*

PASO 3: Se implementó un densímetro de medición de alcohol (alcoholímetro) para que a través de este se lleve un control de las medidas de concentración, el densímetro estará ubicado todo el tiempo en un espacio dentro de la cámara, esto con la finalidad de evitar abrirla para el seguimiento de las concentraciones, el densímetro actuará constantemente, a medida que la concentración de alcohol disminuye este dispositivo flota hacia la superficie del líquido, marcando el valor de la concentración, de esta manera es posible tomar las medidas de 70, 65 y 60% a través de los sensores infrarrojos, para que estos reflejen el valor en la pantalla, la concentración debe estar siempre equilibrada al valor exacto del alcohol, en este caso, debe estar

siempre al 70%, a medida que el alcohol va siendo absorbido por la pieza anatómica, esta va expulsando H<sub>2</sub>O, es decir ya se está deshidratando y en ese momento se debe equilibrar la concentración para garantizar que la pieza está siendo deshidratada.



*Figura 17. Densímetro inmerso en la cámara y ubicación de sensores infrarrojos.*

Fuente: propia

PASO 4: Se implementó el diseño y el desarrollo de un software que pudiera controlar de manera automática el movimiento de la bomba de recirculación, el cual fue cargado en el microcontrolador. El software permite controlar la bomba de manera precisa y automática, mediante una programación que indica el funcionamiento durante un periodo de doce horas, seguido de un descanso de dos horas. Esta secuencia se repetirá de manera continua hasta que se decidiera desconectar el sistema.

El diseño, permitió la operación automática del sistema y también la integración de múltiples sensores, lo que hace que se pueda hacer un monitoreo y control de todo el sistema.

PASO 5: La validación del funcionamiento de la cámara de deshidratación, se basa en demostrar que efectivamente está deshidratando la pieza anatómica. Por lo tanto, si la cámara está funcionando adecuadamente, se observará la disminución de la concentración de alcohol en la solución.

Para esto, se realizará la medición permanente de la concentración de alcohol en, por lo menos, siete días consecutivos, es decir, si la pieza anatómica se colocó en el alcohol etílico el miércoles 26 de abril, la primera revisión será el día 3 de mayo, cumpliendo así con los siete días propuestos anteriormente, en caso tal que la concentración haya disminuido un valor considerado, se debe equilibrar el sistema nuevamente hasta que la pieza deje de absorber alcohol.

El proyecto que se llevó a cabo en el área de anatomía de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Antonio Nariño. Antes de deshidratar la pieza se exige realizar un proceso de fijación. Para esto se utilizó formaldehído, que se encuentra en una concentración del 39%, sin embargo, se necesita que su concentración esté al 10%, por lo que se debe diluirlo en agua utilizando la fórmula de dilución de concentración. Esta fórmula permitió obtener la concentración deseada y completar la etapa de fijación del proyecto. A continuación se muestra la ecuación utilizada para realizar la dilución de la concentración del formaldehído (de las Heras, 2001).

$$V_i * C_i = V_f * C_f \quad \text{Ec.1}$$

$$C_i = 39\% \text{ y } C_f = 10\%$$

$V_i = \text{Volumen de la disolución madre (formol) necesaria}$

$C_i = \text{Concentración de la disolución madre (formol)}$

$V_f = \text{Volumen que se desea preparar de disolución final}$

$C_f = \text{Concentración de la disolución final o diluida}$

Para nuestro caso la cantidad de volumen requerido de la disolución final es de 3000 mL, esta cantidad depende del tamaño del recipiente y del espécimen donde van a ser instalados, la concentración inicial de la disolución madre (formol) es del 39% y la concentración de la solución final que se desea es del 10%. Con estos valores ya podemos resolver la ecuación Ec 1 y obtener el valor del volumen de la disolución madre (formol) necesaria, como se puede observar a continuación (de las Heras, 2001).

$$V_i * C_i = V_f * C_f$$

$$V_i * 39\% = 3000\text{ml} * 10\%$$

$$V_i = \frac{3000\text{ml} * 10\%}{39\%}$$

$$V_i = 769,23 \text{ ml} \rightarrow \text{Cantidad de formol necesario}$$

Ahora que ya se tiene la cantidad del volumen de formol necesario, se requiere conocer la cantidad de agua que se necesita para lograr una disolución del 10%. Para ello, se puede emplear la fórmula que se presenta en la Ec 2. Una vez que se conoce los valores del volumen que se desea preparar de la disolución final y del volumen de la cantidad de formol necesario, se puede hallar el valor de esta variable. De esta forma, se puede proseguir con el proceso de preparación de la disolución (de las Heras, 2001).

$$\text{Cantidad de agua necesaria} = V_f - V_i \quad \text{Ec.2}$$

$$\text{Agua} = V_f - V_i$$

$$\text{Agua} = 3000\text{ml} - 769,23\text{ml}$$

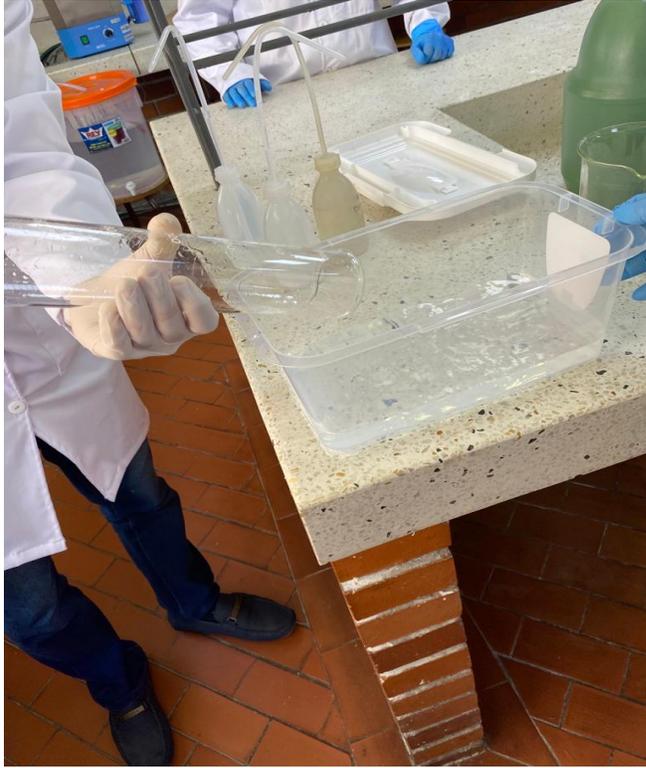
$$\text{Agua} = 2.230,77\text{ml}$$

Para realizar la disolución, medimos aproximadamente 2200 mL de agua, como se muestra en la figura 18, y lo vertimos en el recipiente destinado para la fijación, tal como se observa en la figura 19. Seguidamente, medimos aproximadamente 800 mL de formol, como se muestra en la figura 20, y lo vertimos en el mismo recipiente en el que habíamos agregado el agua, según se puede apreciar en la figura 21.



*Figura 18. Medición de la cantidad de volumen de agua.*

*Fuente: Propia.*



*Figura 19. Vaciamiento del agua en el recipiente.*

*Fuente: Propia.*



*Figura 20. Medición de la cantidad de volumen de formol.*

*Fuente: Propia.*



*Figura 21. Vaciamiento del formol en el recipiente.*

*Fuente: Propia.*

Después de completar la mezcla, el siguiente paso es introducir cuidadosamente el espécimen a la solución preparada. Esto marca el inicio de la etapa de fijación, que puede ser observada de manera clara en la figura 22. En esta etapa, se llevarán a cabo los procesos necesarios para asegurar que la mezcla permanezca estable y en su lugar durante el resto del experimento, garantizando así resultados precisos y confiables.



*Figura 22. Órgano sumergido en el fijador.*

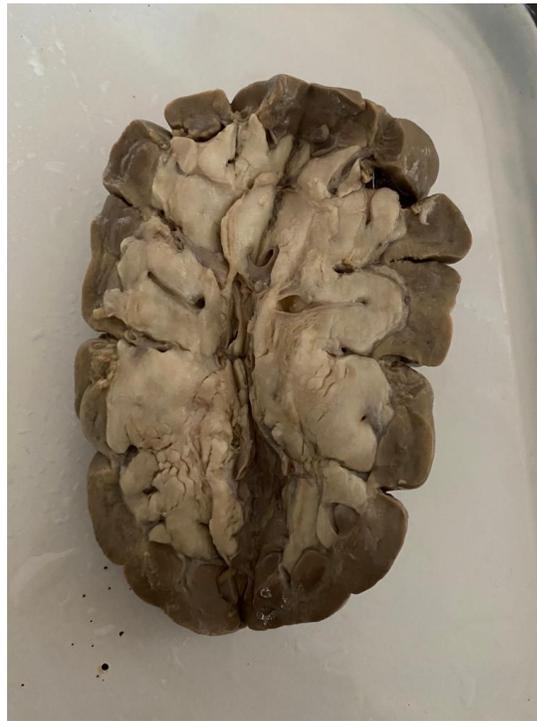
*Fuente: Propia*

Una vez que los órganos fueron fijados con formol durante 28 días, se procedió a someterlos al proceso de deshidratación. La deshidratación es el proceso de eliminación del agua de los tejidos para evitar la putrefacción, haciendo que el tejido sea más duradero y resistente a la descomposición. Para el desarrollo del proceso de deshidratación en cuestión, se utilizó una variedad de piezas anatómicas, incluyendo un riñón de vaca y tres corazones y un hígado de pollo.



*Figura 23. Riñón en formol, día 1.*

Fuente: propia



*Figura 24. Riñón después de 28 días en formol.*

Fuente: Propia.



*Figura 25. Corazón después de 28 días en formol.*

*Fuente: Propia*

En la etapa de deshidratación es fundamental realizar revisiones constantes para asegurar el funcionamiento del sistema y validarlo. En este caso, se decidió llevar a cabo revisiones cada siete días para evaluar la eficacia del proceso y equilibrar el sistema si fuese necesario.



*Figura 26. Riñón sumergido en alcohol etílico.*

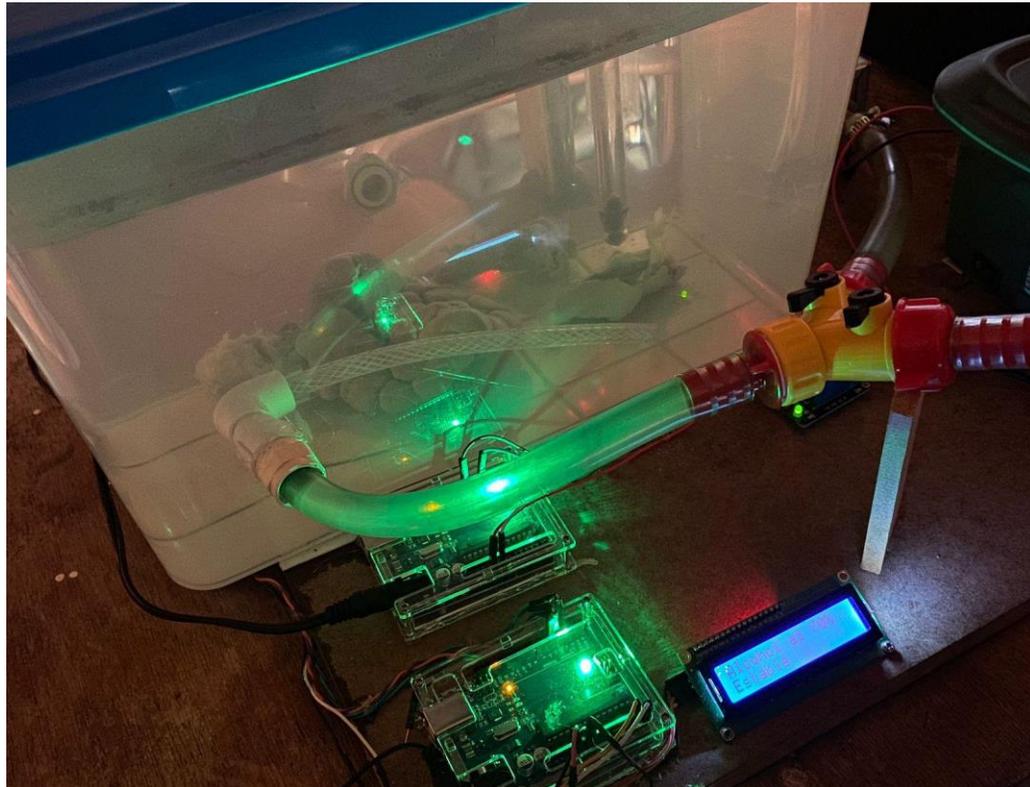
Fuente: propia

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Diseño cámara de deshidratación

Para el desarrollo de la cámara de deshidratación, se utilizó el diseño realizado en la plataforma OnShape. En la figura 27 se muestra de manera clara cómo se llevaron a cabo todas las conexiones y el resultado final de la implementación de la cámara de deshidratación, en esta figura, se logra visualizar de manera detalladas las conexiones necesarias para el control del movimiento, la medición de la concentración de alcohol y la circulación del líquido a través de las mangueras.

Es importante destacar que la correcta implementación de estas conexiones es esencial para el funcionamiento de la cámara de deshidratación y su capacidad para llevar a cabo su función de manera eficaz.



*Figura 27. Cámara de deshidratación con 70% de concentración de alcohol.*

*Fuente: propia*

## 7.2 Control del sistema de movimiento

Se crea un código en lenguaje C/C++ en Arduino, para lograr un control preciso del funcionamiento de la bomba a través del microcontrolador.

## 7.3 Código del control de movimiento

```
codigo_bomba.ino
1  int RelayBomba = 7;
2
3  void setup() {
4    // Configuración
5    pinMode(RelayBomba, OUTPUT);
6    Serial.begin(9600); // Abrir el puerto serie a la velocidad
7  }
8
9  void loop() {
10   // Código principal donde ocurren en loop
11   digitalWrite(RelayBomba,HIGH);
12   Serial.println("Relay accionado");
13   delay(43200000); // 43200 segundo-12 HORAS
14   digitalWrite(RelayBomba,LOW);
15   Serial.println("Relay no accionado");
16   delay(7200000); // 7200 segundo-2 horas
17
18
19
```

Figura 28. Código del sistema de movimiento.

Fuente: propia.

El código anterior, es para describir cómo se controla el funcionamiento de la bomba utilizando el relevo sólido y el microcontrolador. Para iniciar el código es importante declarar la variable que representa el pin del microcontrolador Arduino donde se encuentra conectado el relevo, para que a través de este reciba la acción que envía el código, posteriormente, en la línea 9 observamos el loop, es en donde se escribe la secuencia de acciones que va a ejecutar la tarjeta Arduino. En este caso, se utilizan las funciones digitalWrite para alternar el estado del pin entre HIGH y LOW, lo que enciende y apaga respectivamente, es decir, cuando el digitalWrite se encuentra en HIGH quiere decir que la bomba se encuentra encendida y el delay da el tiempo de ejecución de la acción, es decir, de doce horas ( 43200000 milisegundos), por otro lado cuando

el digitalWrite está en LOW nos dice que la bomba, se encuentra apagada y que lo estará por un tiempo de dos horas (7200000 milisegundos).

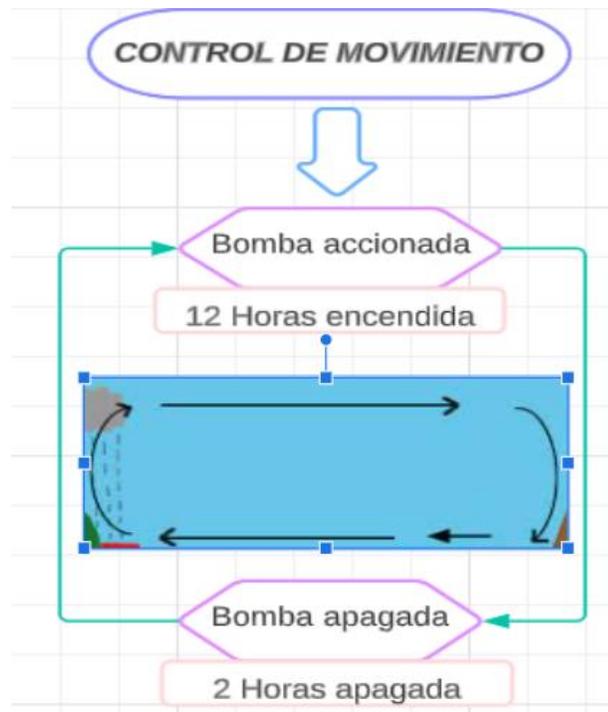


Figura 29. Diagrama explicativo del control de movimiento.

Fuente: propia

En la figura 29 se observa de manera mas clara como es el proceso del control de movimiento con respecto al control de los tiempos de encendido y de apagado que maneja la bomba, los tiempos se adecuaron con el fin de mantener la vida útil de bomba debido a que no puede estar encendida todo el tiempo, pero si es necesario que la mayor parte se encuentre encendida para beneficiar en la deshidratación de las piezas anatómicas.

#### 7.4 Medición de Alcohol

El proyecto cuenta con dos formas para medir la concentración de alcohol dentro del líquido:

La primera forma, es medir el alcohol de manera manual y se lleva a cabo a través del uso de un densímetro inmerso en la cámara. Debido a su ubicación, es posible realizar medidas

en todo momento y se puede realizar en intervalos de 1%. En esta forma de medición, no se requiere abrir la tapa de la cámara ya que el densímetro permanece en el líquido en todo momento.

La segunda forma de medición se realiza a través de un sistema de sensores infrarrojos que se encargan de medir la concentración de alcohol en el líquido y luego imprimir los valores correspondientes en la pantalla. Sin embargo, esta forma de medición solo es capaz de arrojar valores correspondientes a concentraciones del 70, 65 y 60%, es decir, en intervalos de 5%.

En la figura 17 se puede observar como el densímetro se encuentra inicialmente en una concentración del 70%, que corresponde a la concentración del alcohol étílico. Por otro lado, en la figura 27 se puede ver como la pantalla imprime la lectura estable de la concentración de alcohol, que se mantiene en el 70% y en la figura 17 notamos que los tres sensores infrarrojos se encuentran encendidos.

En conclusión, este proyecto presenta dos formas de medición para la concentración de alcohol en líquidos, una manual a través de un densímetro y otra a través de sensores infrarrojos con una pantalla. Ambas formas de medición son útiles y complementarias para lograr una mayor precisión y calidad del producto final.

### **7.5 Control del sistema de medición de alcohol**

Se crea un código en lenguaje C/C++ en Arduino, que cumpla con la función de controlar los sensores infrarrojos y también, que sea idóneo para enviar los valores correspondientes a la pantalla LCD para que estos sean observados por el usuario. A continuación, se describe el código por partes y su función.

### **7.6 Código medición de 70, 65, 60% de concentración de alcohol.**

```
2  #include <Wire.h>
3  #include <LCD.h>
4  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Figura 30. Código importación de librerías de la pantalla LCD I2C

Fuente: Propia

El código para esta función inicia incluyendo la librería para el funcionamiento de la pantalla, el programa de Arduino normalmente incluye la librería “LyquidCrystar.h”, pero debido a que la pantalla utilizada contiene el módulo I2C, para facilitar las conexiones con el microcontrolador, se debe instalar la librería que incluye el módulo (Wire.h y LiquidCrystal\_I2C.h), esta librería es necesaria descargarla desde la página de Arduino y luego incluirla en las librerías del programa, esto con el fin de que se desarrolle debidamente el código.

```
6  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
7  const int S1 = 3;
8  const int S2 = 4;
9  const int S3 = 5;
```

Figura 31. Declarar variables respecto a los pines del Arduino

Fuente: propia

Después de haber incluido las librerías necesarias, el siguiente paso es nombrar las variables correspondientes a cada número de pin del microcontrolador. Además, es importante identificar la pantalla que se estará utilizando y asignarle sus respectivas conexiones.

En este código en particular, se utilizaron sensores infrarrojos, por lo que es necesario asignar un nombre a cada uno de ellos para poder identificarlos correctamente. En este caso, se han nombrado los sensores como: S1, S2 y S3, lo que permitirá una fácil identificación de cada uno al momento de la ejecución del programa.

```
24 void loop(){
25
26     int value1 = 0;
27     int value2 = 0;
28     int value3 = 0;
29     int value4 = 0;
30
31     value1 = digitalRead(S1); // Leer estado del PIN
32     value2 = digitalRead(S2);
33     value3 = digitalRead(S3);
```

*Figura 32. Inicializar la lectura de los sensores*

*Fuente: Propia*

En el loop del código, es crucial inicializar los sensores en valor 0 antes de usarlos para que el valor en el que se encuentran pueda imprimirse correctamente, se debe tener en cuenta, que los sensores infrarrojos trabajan en corriente continua DC por esto, solo presenta dos estados: cuando detectan la presencia de un objeto (señal en 0) y cuando no lo detecta (señal en 1). Para llamar a los sensores con otras variables y asegurarse de leer el estado del pin correctamente, se debe utilizar el comando “digitalRead” junto con el sensor correspondiente.

```

36 | if (value1 == HIGH && value2 == HIGH && value3 == HIGH ) {
37 |     lcd.setCursor(0, 0);
38 |     lcd.print("No detecta");
39 |     lcd.setCursor(0, 1);
40 |     lcd.print("OFF");
41 |     delay(200);
42 | }
43 | else if(value1 == LOW && value2 == LOW && value3 == LOW) {
44 |     Serial.println("70% concentracion");
45 |     lcd.setCursor(0, 0); // ubica cursor en columna 0 y linea 0
46 |     lcd.print("Alcohol al 70% "); // escribe el texto
47 |     lcd.setCursor(0, 1);
48 |     lcd.print("Estable");
49 |     delay(200);
50 | }
51 | else if (value1 == LOW && value2 == LOW) {
52 |     lcd.setCursor(0, 0);
53 |     lcd.print("Alcohol al 65%");
54 |     lcd.setCursor(0, 1);
55 |     lcd.print("llenar alcohol");
56 |     delay(100);
57 | }
58 |
59 | else if (value1 == LOW) {
60 |     Serial.println("60% concentracion");
61 |     lcd.setCursor(0, 0);
62 |     lcd.print("Alcohol al 60");
63 |     lcd.setCursor(0, 1);
64 |     lcd.print("LLENAR ");
65 |     delay(100);
66 | }
67 |

```

*Figura 33. Condicional para el funcionamiento de los sensores.*

*Fuente: Propia*

Finalmente, para realizar la programación de los sensores, se utilizarán los condicionales if (si) y else if (si, no). En el primer if teniendo en cuenta que los sensores manejan una lógica inversa, cuando todos los sensores estén es HIGH (no detecta ningún objeto), en la pantalla nos imprime un mensaje que dice: “No detecta, OFF”; posteriormente, comienza la lectura de la etiqueta que contiene el densímetro, debido a que el recipiente y el densímetro son transparentes los sensores no los detectarán, porque no existe una reflexión de la luz que sea percibida por el receptor, es por eso que los sensores van ubicados de tal manera que cuando el densímetro esté en 70% todos los sensores deben apuntar hacia la etiqueta del densímetro que es de color blanca

y si es detectable, esto para la segunda condición, el siguiente else if nos dice que el densímetro ha disminuido al 65% y los sensores están ubicados de tal manera que los dos primeros sensores perciban la etiqueta, pero el tercer sensor va estar apuntando a la parte transparente del densímetro y finalmente la última condición nos dice cuando el densímetro se encuentra en 60%, es decir, sólo el primer sensor está detectando la etiqueta del densímetro y por el contrario el sensor dos y tres estarán apuntando a la parte transparente del densímetro. La pantalla LCD tiene su respectivo mensaje en cada condición, en el 70% nos avisará que se encuentra estable por la concentración de alcohol presente en el fluido, en el 65 y 60% nos avisará que se debe llenar más alcohol para estabilizar el sistema nuevamente.

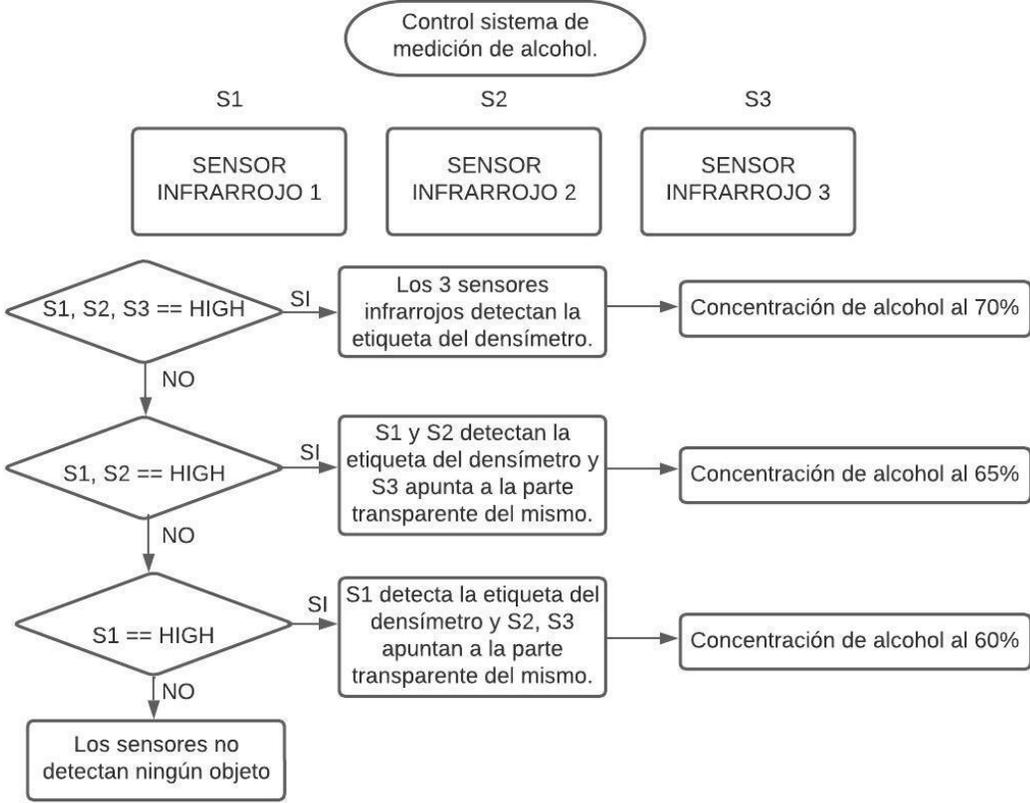


Figura 34. Diagrama explicativo del funcionamiento de los sensores infrarrojos.

Fuente: propia.

En la figura 34 observamos un diagrama de bloques en donde se especifica de manera mas clara el código de la figura 33, teniendo en cuenta que se utilizaron tres sensores infrarrojos de estos van a depender las condiciones, es decir, cuando los tres sensores detecten la presencia de la etiqueta del densímetro en pantalla se imprime que el sistema se encuentra estable a una concentración de 70%, cuando el sensor uno y dos detectan y el tercera no, en pantalla nos imprime que la concentración esta al 65% y que se debe llenar, de la misma manera cuando solo el sensor uno detecta en pantalla nos imprime que el sistema se encuentra en una concentración del 60%.

### **RESULTADOS DE LA CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN CON MOVIMIENTO.**

Para verificar la etapa de deshidratación con el sistema de movimiento, tomaremos como referencia el laboratorio de plastinación de la Universidad del Cauca. Hemos elegido este laboratorio debido a sus avances en el campo y a los experimentos realizados sobre el tipo de fluido utilizado en la etapa de deshidratación. En el laboratorio, el proceso se realiza de forma estática, sumergiendo los órganos o cadáveres en el fluido, en algunas ocasiones, se aplica movimientos manuales para obtener una impregnación profunda y rápida del alcohol.

Los encargados de las revisiones llevan un registro del valor de la concentración de alcohol con la ayuda de un densímetro, los resultados se observan en la tabla 10.

De esta manera, se ve la importancia de demostrar que el sistema de movimiento es un aporte para acelerar la etapa de deshidratación.

PIEZAS	FECHA	ALCOHOL	% DE ALCOHOL	VOLUMEN(LT)
Riñón de rumiante  Hígado de ave Corazón de ave.	26/04/2023	Etílico	70%	17.2 litros
	03/05/2023	Etílico	65%	
	08/05/2023	Etílico	66%	
	09/05/2023	Etílico	66%	
	10/05/2023	Etílico	66%	
	17/05/2023	Etílico	66%	

Tabla 9. Registros de concentración Antonio Nariño.

PIEZAS	FECHA	ALCOHOL	% DE ALCOHOL	VOLUMEN(LT)
Urna grande	14/02/2023	Isopropanol	100%	152 litros
(Diferentes órganos)	21/02/2023	Isopropanol	99%	
	28/03/2023	Isopropanol	99%	
	09/05/2023	Isopropanol	98%	

Tabla 10. Registro de concentración Universidad del Cauca.

En la tabla 9 se observa, que con el sistema de movimiento la concentración de alcohol en la primera revisión disminuyó un 5% y en la segunda revisión, disminuyó un 4%. A diferencia de la tabla 10, que pertenece a los registros del laboratorio de la Universidad del Cauca, donde la cámara no tiene movimiento, se observa que el 13 de febrero del 2023 la concentración se encuentra al 100% y hasta el 8 de mayo del mismo año, sólo logró disminuir un 2%.

La concentración de alcohol al 70%, no va a disminuir más de 5%, Para finalizar la etapa de deshidratación de los órganos, se debe hacer un cambio de solvente de mayor concentración de alcohol para que termine de eliminar el agua impregnada en el tejido y se logre reemplazar por el alcohol para culminar la etapa.

Por otro lado, para validar el funcionamiento de la cámara se decidió realizar una comparación sumergiendo piezas en un recipiente el cual no tenga movimiento y llevar un monitoreo diario de la concentración en comparación a las piezas que se van a sumergir en la cámara de deshidratación semiautomatizada. Los resultados se van a ver reflejados en la tabla 11 y 11.

 <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b> <b>CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN CON MOVIMIENTO.</b>				
PIEZAS	FECHA	ALCOHOL	% DE ALCOHOL	VOLUMEN(LT)
Hígado de ave  Corazón de ave.	18/05/2023	Etílico	70%	17.2 litros
	19/05/2023	Etílico	70%	
	23/05/2023	Etílico	69%	
	24/05/2023	Etílico	69%	
	25/05/2023	Etílico	69%	

	26/25/2023	Etílico	69%	
	29/05/2023	Etílico	68%	
	30/05/2023	Etílico	68%	
	31/05/2023	Etílico	68%	

Tabla 11. Resultados obtenidos en el sistema con movimiento.

 UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO RECIPIENTE SIN MOVIMIENTO.				
PIEZAS	FECHA	ALCOHOL	% DE ALCOHOL	VOLUMEN(LT)
Hígado de ave  Corazón de ave.	18/05/2023	Etílico	70%	700 mL
	19/05/2023	Etílico	70%	
	23/05/2023	Etílico	70%	
	24/05/2023	Etílico	70%	
	25/05/2023	Etílico	70%	
	26/25/2023	Etílico	70%	
	29/05/2023	Etílico	70%	
	30/05/2023	Etílico	70%	
	31/05/2023	Etílico	70%	

Tabla 12. Resultados de la concentración en el recipiente sin movimiento.

## 8. VALIDACIÓN

### PRIMERA REVISIÓN:

De acuerdo con el último punto de la metodología del proyecto, donde se especifica cómo se llevará a cabo la validación del proceso de deshidratación de las piezas, se indica que la primera revisión, debe realizarse siete días después de que las piezas hayan sido sumergidas en alcohol etílico. Recordando que, la etapa de deshidratación comenzó el miércoles 26 de abril, por lo que la primera revisión se llevó a cabo el miércoles 3 de mayo.

Pasados los siete días, se realiza la revisión. En esta primera revisión, se examinó la concentración de alcohol en el líquido y se encontró que paso del 70 al 65%, es decir, había disminuido un 5%. Para verificar que el alcohol había llegado a la concentración del 65%, se contó con la ayuda del densímetro como verificación manual. Asimismo, se utilizó el sistema de sensores infrarrojos que son capaces de detectar el valor de 65%. En la figura 35 se puede observar que efectivamente el último sensor se encontraba apagado, lo que confirmaba la concentración del alcohol del 65%. En la figura 36 se puede ver la pantalla, que indica que la concentración de alcohol se encuentra en el 65% y que se debe llenar más alcohol.

Cabe resaltar que la validación del proceso de deshidratación es un paso clave en el proyecto, ya que garantiza la calidad del producto final. La utilización de distintos métodos de medición, como el densímetro y los sensores infrarrojos, permite tener mayor precisión y control sobre la concentración de alcohol en el líquido.

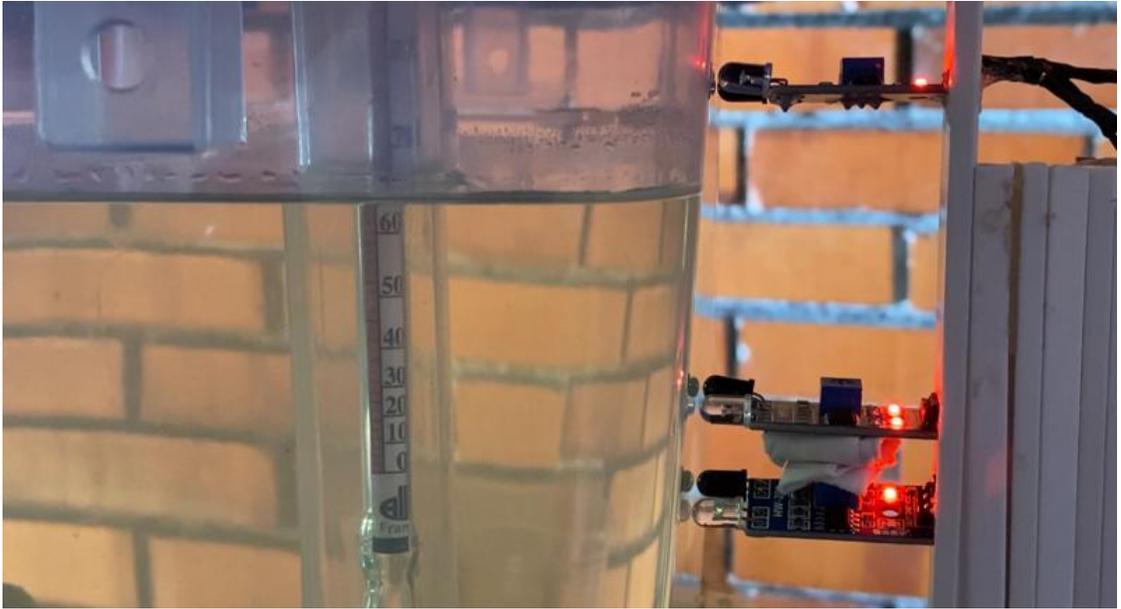


Figura 35. Densímetro inmerso donde muestra la concentración de alcohol al 65%

Fuente: Propia

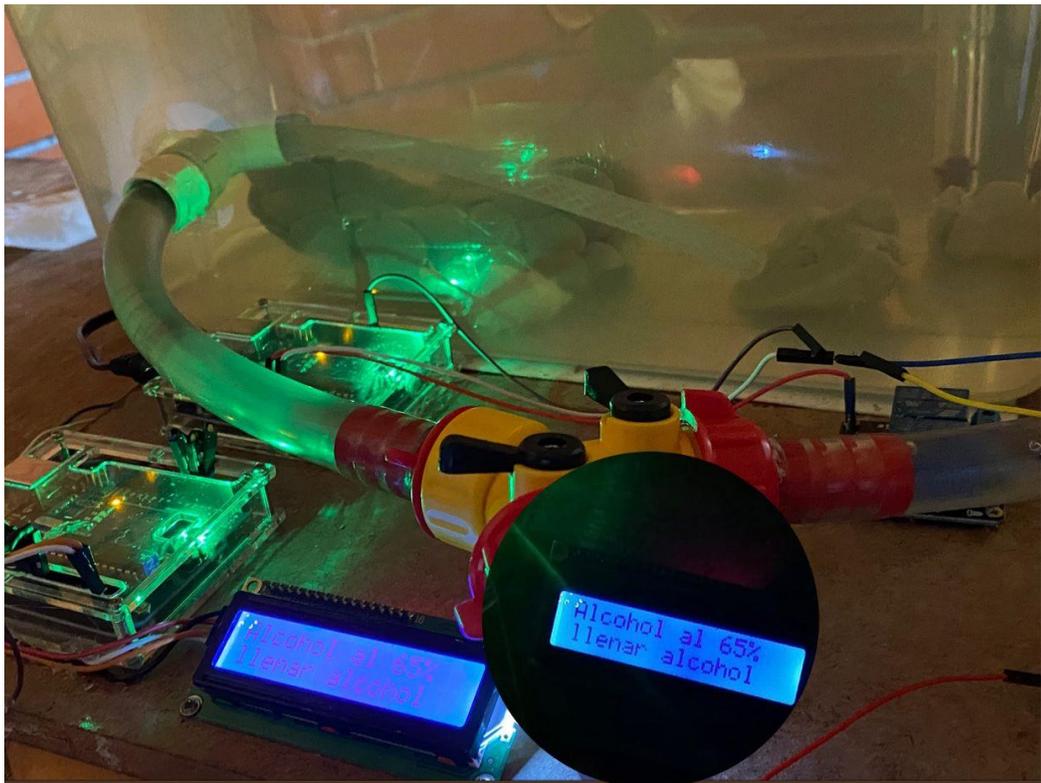
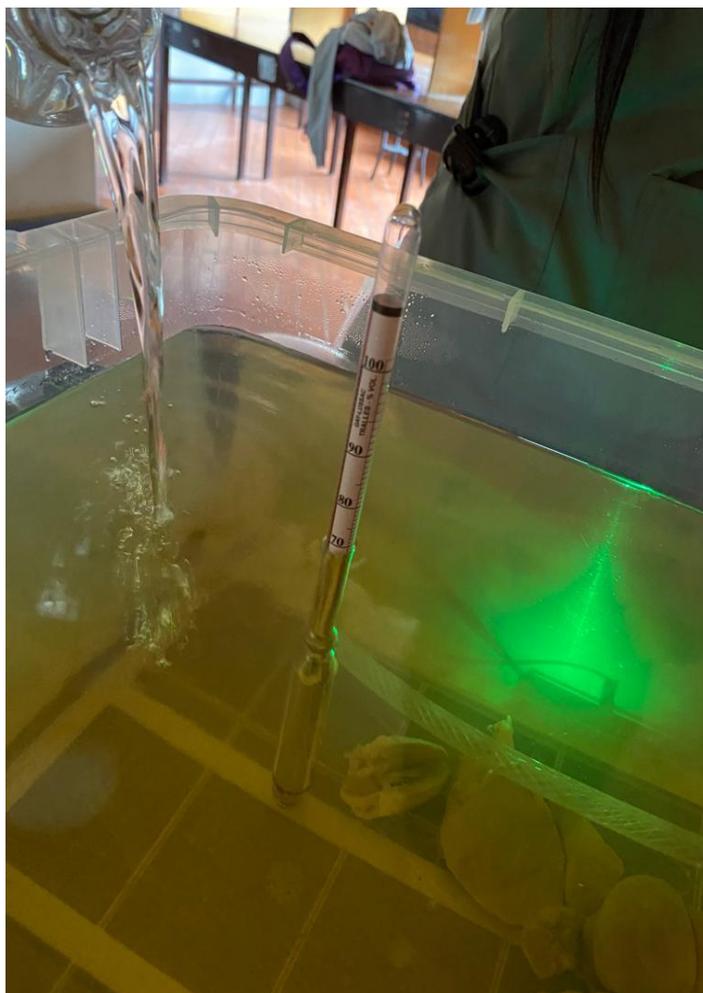


Figura 36. Concentración de alcohol al 65%

Fuente: propia

Posteriormente, debido a que la concentración disminuyó un 5%, fue necesario equilibrar el sistema una vez más para garantizar que la concentración de alcohol volviera al nivel deseado del 70%. Este proceso implicó agregar más alcohol etílico a la cámara de deshidratación hasta el punto de que el densímetro y la pantalla indiquen que la concentración ha alcanzado el objetivo de 70%. Esto se hizo con el fin, de comprobar el proceso de deshidratación en la segunda revisión



*Figura 37. Equilibrar el sistema a la concentración de alcohol al 70%*

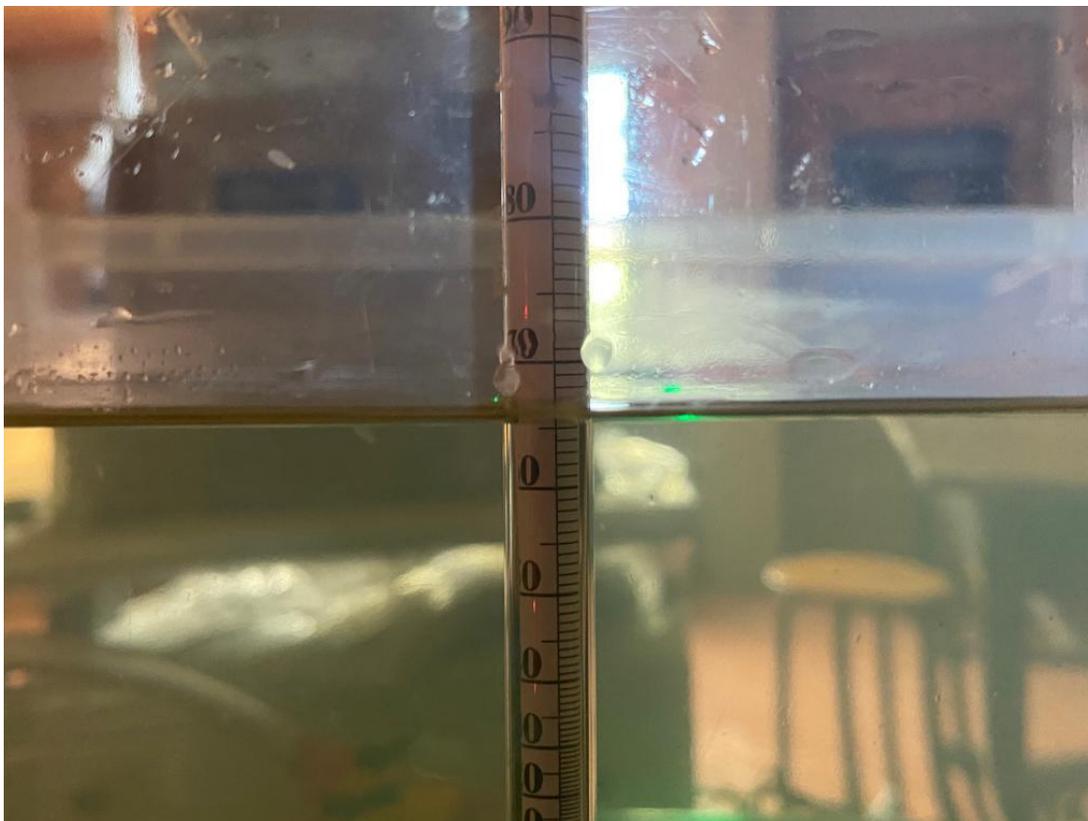
*Fuente: propia.*

Es importante destacar que, durante el proceso de revisión, se pudo percibir un notable cambio en el aspecto del líquido que se está utilizando. Al inicio de la etapa de deshidratación, el alcohol etílico presentaba un aspecto incoloro, tal como se puede apreciar en la figura 27. Sin embargo, al transcurrir un lapso de siete días, se pudo constatar que el líquido había adquirido una tonalidad amarillenta, como se muestra en la figura 37. Este cambio en el alcohol etílico indica la expulsión de los líquidos por parte de la pieza anatómica.

#### SEGUNDA REVISIÓN:

La segunda revisión se realizó a los cinco días, es decir, el 8 de mayo.

El sistema fue observado nuevamente para observar la concentración de alcohol presente en el mismo. La concentración, había disminuido un 4% obteniendo una concentración de alcohol total del 66%, el cual fue medido de forma manual con el densímetro que se encuentra inmerso en el líquido. En cuanto a las revisiones, la primera obtuvo una disminución del 5% y la segunda de un 4%, esto significa que el proceso de deshidratación complementado con el sistema de movimiento tiene unos resultados positivos.



*Figura 38. concentración de alcohol al 66%*

Fuente: Propia.

## CONCLUSIONES

- El sistema semiautomático de movimiento se implementó satisfactoriamente mediante el uso de herramientas tales como bombas de recirculación de líquidos y un sistema de control. Con la finalidad de optimizar el proceso de deshidratación de órganos animales, se logró alcanzar una implementación completa del sistema, lo cual demuestra nuestro compromiso con la innovación y la eficiencia en el desarrollo de nuevas técnicas de deshidratación.
- Se logró implementar con éxito el densímetro para medir la concentración de alcohol en líquidos utilizando tanto el densímetro manual como los sensores infrarrojos para su lectura digital. Este avance permitió la obtención de resultados más precisos y confiables en la

medición de la concentración de alcohol.

- El desarrollo del software que permite el control automático de los motores del sistema de movimiento se logró gracias a la utilización de una bomba de recirculación de líquido, que funciona mediante un microcontrolador (Arduino) y un interruptor electrónico (Relé de estado sólido). Es importante señalar que este avance tecnológico ofrece una solución eficiente y efectiva para el control de los motores, lo que permitirá mejorar la precisión y el rendimiento del sistema. Además, gracias a la automatización del proceso, se reduce significativamente la intervención humana en el control del sistema, lo que a su vez hace que sea más seguro y fiable.
- Al realizar la validación del funcionamiento de la cámara de deshidratación utilizando los datos obtenidos por el alcoholímetro, se ha demostrado con éxito la efectividad del sistema de movimiento en el proceso de deshidratación, pues en los días de prueba se verificó una disminución en la concentración de alcohol, pasando del 70 al 65% la primera vez y del 70 al 66% la segunda vez. Esto muestra cómo la utilización de nuevas tecnologías puede mejorar significativamente la eficiencia de los procesos y ayudar a garantizar la calidad del producto final. Los resultados obtenidos de esta validación son altamente satisfactorios y sirven como una prueba sólida de que la nueva técnica es una mejora valiosa para acelerar el desarrollo de la segunda etapa del proceso de plastinación.

## **RECOMENDACIONES**

De acuerdo con el prototipo presentado sobre el diseño e implementación de un sistema de movimiento para el proceso de deshidratación de órganos en alcohol etílico, se ha identificado una serie de recomendaciones que deben tenerse en cuenta al momento de implementar el

sistema de movimiento principal y definitivo. Por lo que, es importante contar con un diseño adecuado que permita el movimiento uniforme de los objetos y evite su deformación durante el proceso de deshidratación. Además, es recomendable usar materiales de alta calidad que garanticen la durabilidad del sistema y reduce la necesidad de reemplazar piezas con frecuencia. Asimismo, es importante realizar pruebas y revisiones constantes para asegurarse de que el sistema funcione correctamente y detectar posibles fallos a tiempo.

Las recomendaciones para tenerse en cuenta son respecto a:

- **Cambio de alcohol:** En el prototipo implementado, se utilizó alcohol etílico con una concentración del 70%. Sin embargo, si se desea reemplazar este solvente por otro tipo de alcohol con una mayor concentración, se debe considerar el tamaño del recipiente utilizado como cámara de deshidratación y la ubicación de los sensores para garantizar una correcta lectura de la concentración de alcohol con la ayuda del densímetro. Es importante tener en cuenta que el tipo de alcohol utilizado puede afectar el proceso de deshidratación el cual puede ser acelerado o retrasado y, por lo tanto, es necesario realizar pruebas para determinar la concentración adecuada y lograr los resultados deseados. Además, se deben seguir las precauciones adecuadas de seguridad al manejar cualquier tipo de solvente y asegurarse de que se estén utilizando las condiciones operativas correctas para el proceso de deshidratación.
- **Ubicación de sensores:** La ubicación de los sensores está estrechamente relacionada con el tipo de alcohol que se utilizará, lo que determina su posición específica. Por ejemplo, para el alcohol etílico con una concentración del 70%, los sensores deben ubicarse a una altura diferente a la del alcohol isopropílico con una

concentración del 96% o el alcohol metanol con una concentración del 99.5%. En resumen, la colocación de los sensores dependerá del tipo de alcohol que se utilizará y la concentración se medirá mediante el densímetro, el cual indica la concentración del alcohol según el nivel del alcohol en el recipiente utilizado como cámara de deshidratación. Por lo que es importante tener en cuenta que el tipo de alcohol y la concentración necesaria determinarán la forma en que debe colocarse el sensor y la precisión requerida para las mediciones. Además, se debe tener en cuenta cualquier variación en el proceso de medición que pueda afectar la veracidad y exactitud de los resultados obtenidos.

- **Bomba eléctrica de recirculación del líquido:** Este dispositivo debe tener la capacidad de soportar un largo periodo de tiempo de trabajo sin problemas. Además, es importante que la bomba esté explícitamente capacitada para recircular alcohol, ya que de esta manera se evita forzarla más de lo necesario y no se alterará el funcionamiento de la cámara de deshidratación, que es el sistema de movimiento que se utiliza. Considerando las dimensiones de la cámara, es necesario revisar la potencia en la que trabaja y su capacidad para circular una cierta cantidad de líquido. De esta forma, se puede determinar la cantidad de bombas eléctricas necesarias a utilizar para tener un movimiento adecuado del líquido circulante y acelerar el proceso de deshidratación a través del movimiento.
- **Regulador de voltaje o protección de energía:** Es un aparato eléctrico diseñado para mantener un voltaje estable y seguro en una línea de tensión, y para proteger a los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentren conectados a dicha línea contra diversos fenómenos asociados con la tensión eléctrica, como pueden ser las

sobretensiones, las caídas de tensión, las variaciones de voltaje, entre otros. Los reguladores de voltaje son especialmente útiles para garantizar que los elementos conectados a una misma línea de tensión operen de manera segura y eficiente, evitando así fallas en sus componentes y prolongando su vida útil.

Debido a la falta de un respaldo de seguridad eléctrica en las instalaciones de la Universidad Antonio Nariño y a las condiciones climáticas adversas, como los frecuentes bajones de energía y tormentas eléctricas, se teme que se puedan ocasionar daños en los equipos conectados a la fuente eléctrica. Los dispositivos que se utilizan en la etapa de deshidratación, como los microcontroladores (Arduino), sensores infrarrojos, bombas de recirculación de líquidos, pantalla LCD, relé de estado sólido, fuente de voltaje, entre otros, son particularmente susceptibles a estas fallas eléctricas. Por esta razón, se hace necesario implementar esta medida de seguridad electrónica adecuada para garantizar la integridad y el correcto funcionamiento de los equipos y dispositivos utilizados en este proceso.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo-Arroyave, L. M., Rojas, M. A., & Velásquez, J. M. (2018). Plastination technique antioquia university: An adaptation of the german standard method. *Iatreia*, 31(3), 228–239. <https://doi.org/10.17533/udea.iatreia.v31n3a01>
- Arias López, L. A. (2012). *Exploración de la técnica de plastinación en la preparación de modelos anatómicos como material docente para la enseñanza de la Morfología Humana en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.*
- BOMBA ELECTRICA DE GASOLINA UNIVERSAL VEHICULOS CARBURADOS CUADRADA 4,6,8 VARIOS.** (n.d.). Retrieved April 29, 2023, from <https://www.refacciomex.com/electronico/6715-bomba-electrica-de-gasolina-universal-vehiculos-carburados-cuadrada-468-varios.html>.
- Carmona, M., Tutor, R., & Centeno, G. (2014). *Trabajo de Fin de Grado Grado en Ingeniería Aeroespacial.*
- Derecho a Saber Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas Sinónimos: Dimetilcetona*  
*Nombre químico: 2-Propanona TELÉFONOS DE EMERGENCIA Centro de información*  
*toxicológica: 1-800-222-1222 CHEMTREC: 1-800-424-9300 Línea de emergencias del NJ*  
*DEP: 1-877-927-6337 Centro Nacional de Respuesta: 1-800-424-8802 PERSONAL DE*  
*PRIMERA RESPUESTA >>>> VER PÁGINA 6 Resumen de riesgos.* (n.d.).  
<http://nj.gov/health/workplacehealthandsafety/right-to->
- Ekim, O., & Insal, B. C. (2014). *Whole Body Silicone Plastination of Snakes with Cold-Temperature Technique Yılanlarda Soğuk Ortam Tekniği ile Tüm Vücut Silikon Plastinasyonu Özet Whole Body Silicone Plastination of Snakes with Cold-Temperature*

*Technique Abstract. January.*

*Laboratorio Densidad – Conamet.* (n.d.). Retrieved April 29, 2023, from <https://conamet.com/project/laboratorio-densidad/>.

*LCD 2X16 BACKLIGHT AZUL CON I2C ZAMUX BOGOTA.* (n.d.). Retrieved April 29, 2023, from <https://www.zamux.co/lcd-2x16-backlight-azul-con-i2c>.

Muñetón Gómez, C. A., & Ortiz, J. A. (2012). Plastinación: un instrumento complementario para el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje de la anatomía. *Revista de Medicina Veterinaria*, 23, 111. <https://doi.org/10.19052/mv.79>

NIH. Instituto Nacional del Cáncer. (2011). *Formaldehído y el Riesgo de Cáncer.*

NOTICIAS, U. (2013). *Plastinacion de cadaveres.* Act 2 Abr 2018. <https://www.univision.com/explora/que-es-la-plastinacion-de-cadaveres>

Ottone, N. E., & Protocolo, N. E. (2021). Protocolo Unificado de Plastinación con Silicona en Frío y a Temperatura Ambiente Unified Plastination Protocol with Silicone at Cold and Room Temperature. In *Int. J. Morphol* (Vol. 39, Issue 2).

Rivera, \*, Bonino, F. ;, Fioretti, C. ;, Galán, M. ;, Gigena, S. ;, Moine, R. ;, Mouguelar, H. ;, Natali, J., Quinteros, R., & Rivera, M. C. ; (2009). Análisis Multivariado Aplicado a la Etapa de Deshidratación en la Técnica de Plastinación del Riñón de Caballo Multivaried Analysis Applied at the Stage of Dehydration in the Plastination Technique in Horse´s Kidney. In *Int. J. Morphol* (Vol. 27, Issue 3).

Serrano, M., & Valenciano, S. (2018). *LA QUÍMICA DE LOS FENÓMENOS CADAVERÍCOS THE CHEMISTRY OF THE CADAVEROUS PHENOMENA.*

Universidad del Cauca. (n.d.-a). *Laboratorio Departamento de Morfología.*

von Hagens, G., & Ernesto Ottone Técnicas Anatómicas, N. (2013). GUNTHER VON HAGENS,

CREADOR DE LA PLASTINACIÓN. RESEÑA HISTÓRICA Y DESARROLLO DE LA  
TÉCNICA. In *Revista Argentina de Anatomía Online* (Vol. 4, Issue 2).

[www.plastinacion.com](http://www.plastinacion.com)

de las Heras, E. (2001). Disoluciones, diluciones y densidad 9. *McGraw Hill*, 2(261545), 10–20.

<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448184491.pdf>

Pintat, N. (n.d.). *la fisiología energética de la Medicina Tradicional China*. 14–16.

Universidad del Cauca. (n.d.). *Laboratorio Departamento de Morfología* .