

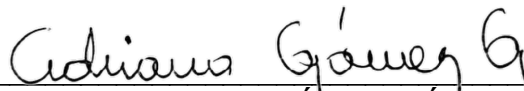
Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Mecánico.



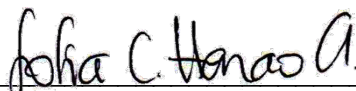
**Dr. CAMILO ROCHA**

Decano de la Facultad de Ingeniería



**Dra. ADRIANA GÓMEZ GÓMEZ**

Directora de la Carrera de Ingeniería Mecánica.



**Dra. Sofía Catalina Henao Aguirre**

Directora Trabajo



**Dr. Abel Alvarez Bustos**



**ING. Mauricio Castaño Vergara**



## **Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Mecánica**

**Fecha:** 12/02/2024

**Autores:** Nicolás Folleco Valencia y Samuel Medina Narvaéz

**Nombre del Proyecto de Grado:** Diseño de un sistema de enfriamiento tipo “Scalp Cooling” de bajo costo para el tratamiento de la alopecia inducida causada por quimioterapia

**Director:** Sofia Catalina Henao Aguirre

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Firma de Director(a) del Proyecto de Grado



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali



Res. 2333 del 2012

Cali, 6 de Diciembre 2023.

### **Carta de aval del Proyecto de Grado**

**Tema:** Diseño de un sistema de enfriamiento tipo “Scalp Cooling” de bajo costo para el tratamiento de la alopecia inducida causada por quimioterapia.

**Integrantes:** Nicolás Folleco Valencia  
Samuel Medina Narváez

Mediante la presente se certifica que el proyecto de grado fue revisado con satisfacción y se realizaron todas las correcciones pertinentes al documento, cumpliendo con los requisitos para su entrega.

**Director de tesis:** Sofía C. Henao Aguirre

Para Constancia de lo anterior se firma en la ciudad de Cali a los 6 días del mes de diciembre de 2023.

Directora de tesis: Sofía C. Henao Aguirre



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

# **Diseño de un sistema de enfriamiento tipo “Scalp Cooling” de bajo costo para el tratamiento de la alopecia inducida causada por quimioterapia**

**Nicolás Folleco Valencia  
Samuel Medina Narvález**

Programa de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana  
Santiago de Cali, Colombia

2023

# **Diseño de un sistema de enfriamiento tipo “Scalp Cooling” de bajo costo para el tratamiento de la alopecia inducida causada por quimioterapia**

**Nicolás Folleco Valencia  
Samuel Medina Narváz**

Director:

PhD. Sofia Catalina Henao

Línea de Investigación:

Diseño de producto

Programa de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana  
Santiago de Cali, Colombia

2023

Dedicada a nuestros padres, familiares, profesores y amigos, que hicieron de esta etapa, una de las mejores experiencias que hemos vivido.

Nicolas Folleco y Samuel Medina

## Declaración de obra original

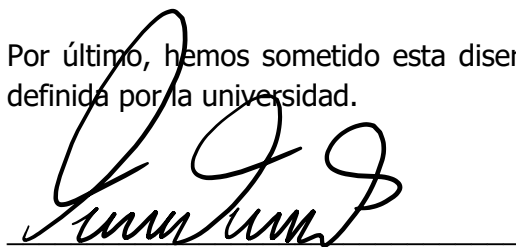
Nosotros, Nicolás Folleco Valencia y Samuel Medina Narváez declaramos lo siguiente:

Hemos leído el Acuerdo 535 de 2010 del Consejo Directivo de la Pontificia Universidad Javeriana. «Política de Propiedad Intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Este proyecto representa nuestro trabajo original, excepto donde hemos reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en este proyecto, hemos realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Hemos obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, hemos sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nicolás Folleco Valencia



Samuel Medina Narváez

## Resumen

Este trabajo de grado se enfoca en el diseño eficiente y económico de un sistema de enfriamiento del cuero cabelludo para su aplicación en países en vía de desarrollo como Colombia. Durante la quimioterapia, el enfriamiento del cuero cabelludo, conocido como Scalp Cooling, ha demostrado ser efectivo para prevenir la caída del cabello. La técnica consiste en la circulación de un líquido refrigerante en una gorra de enfriamiento, que extrae el calor del cuero cabelludo y reduce la cantidad de medicamentos quimioterapéuticos que llegan al folículo piloso. Sin embargo, los sistemas actuales son costosos y no están disponibles en muchos países en desarrollo. Por tanto, este proyecto se centrará en una investigación exhaustiva para identificar los requisitos y desafíos clave en el diseño de un sistema de enfriamiento del cuero cabelludo eficiente y económico. Se evaluarán diferentes métodos y tecnologías, selección de los materiales adecuados, la elección de los componentes, como bombas, tuberías y sensores de temperatura, y la determinación de la configuración del sistema. Se considerará la portabilidad, la facilidad de uso y la seguridad del sistema en el diseño además de su viabilidad técnica y económica, así como las limitaciones específicas de los países en desarrollo, como la disponibilidad de recursos y la infraestructura existente.

El objetivo final de este proyecto es proporcionar una solución asequible y viable para los pacientes en Colombia, mejorando su calidad de vida y mitigando los efectos secundarios del tratamiento de quimioterapia. Se espera que los resultados de esta investigación sienten las bases para la implementación exitosa de sistemas de enfriamiento del cuero cabelludo de bajo costo en el país, brindando acceso a esta tecnología a aquellos que más lo necesitan.

**Palabras Clave:** Quimioterapia, alopecia, terapia de frío, caída del cabello, crioterapia, cascos fríos, *Scalp Cooling*.

## **Abstract**

This thesis focuses on the efficient and cost-effective design of a scalp cooling system for its application in developing countries such as Colombia. During chemotherapy, scalp cooling, known as Scalp Cooling, has proven to be effective in preventing hair loss. The technique involves circulating a coolant fluid in a cooling cap, which extracts heat from the scalp and reduces the amount of chemotherapy drugs reaching the hair follicles. However, current systems are expensive and not widely available in many developing countries. Therefore, this project will undertake thorough research to identify the key requirements and challenges in designing an efficient and cost-effective scalp cooling system. Different methods and technologies will be evaluated, including the selection of suitable materials and components such as pumps, pipes, and temperature sensors, as well as determining the system configuration. Consideration will be given to portability, ease of use, and system safety in the design, as well as its technical and economic feasibility, along with specific limitations of developing countries such as resource availability and existing infrastructure.

The goal of this project is to provide an affordable and viable solution for patients in Colombia, improving their quality of life and mitigating the side effects of chemotherapy treatment. The results of this research are expected to lay the groundwork for successful implementation of low-cost scalp cooling systems worldwide, granting access to this technology to those who need it most.

**Keywords:** Chemotherapy, alopecia, cold therapy, hair loss, Cryotherapy, cold helmets, cooling caps.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>1. Antecedentes .....</b>	<b>15</b>
1.1 Marco Teórico .....	15
1.1.1 Cáncer y sus medicamentos .....	15
1.1.2 Alopecia .....	16
1.1.3 Scalp Cooling .....	17
1.1.3.1 Hipotermia Inducida .....	19
1.1.3.2 Vasoconstricción .....	20
1.1.4. Transferencia de calor .....	21
1.2 Estado del arte .....	22
1.2.1 HI para el tratamiento de encefalopatía Hipóxico-isquémica .....	22
1.2.2 HI para el tratamiento de accidentes cerebrovasculares .....	23
1.2.3 HI en cardiología .....	24
1.2.4 Gorras de frío .....	24
<b>2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>30</b>
<b>3. Justificación .....</b>	<b>35</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>37</b>
4.1 Objetivo general .....	37
4.2 Objetivos específicos .....	37
<b>5. Metodología .....</b>	<b>38</b>
<b>6. Restricciones .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Diseño conceptual .....</b>	<b>44</b>
7.1 Clarificación de objetivos .....	44
7.1.1 Árbol de objetivos .....	44
7.2 Establecimiento de funciones .....	46
7.2.1 Caja negra .....	46
7.2.2 Caja transparente .....	47
7.3 Fijación de requerimientos .....	49
7.4 Determinación de características .....	51
7.5 Diagrama morfológico .....	55
7.5.1 Alternativas de diseño .....	55
7.6 Alternativas de diseño .....	58

<b>8. Diseño de materialización .....</b>	<b>62</b>
8.1 Cálculo del calor a retirar .....	62
8.2 Cálculo de parámetros para disminuir la temperatura .....	66
8.3 Cálculo de parámetros para mantener la temperatura del sistema.....	70
8.4 Otros componentes .....	71
8.4.1 Tanque .....	71
8.4.2 Bomba de recolección de agua.....	71
8.4.3 Presión en el sistema .....	73
<b>9. Diseño de detalle .....</b>	<b>75</b>
9.1 Modelado en CAD .....	75
9.1.2 Ensamble del dispositivo .....	75
9.1.3 Casco amoldable .....	76
9.1.4 Otros elementos del circuito de flujo de líquido .....	78
9.1.5 Elementos del circuito de refrigeración.....	79
9.2 Listas BOM.....	83
9.3 Diagrama P&ID .....	86
<b>10. Estudio de prefactibilidad económica .....</b>	<b>89</b>
<b>11. Discusión.....</b>	<b>92</b>
<b>12. Bibliografía.....</b>	<b>94</b>
<b>13. Anexos .....</b>	<b>99</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Ciclo normal de crecimiento del cabello [13].....	17
Figura 2 Equipos utilizados en la HI.....	23
Figura 3 "Penguin Cold Caps" [27].....	25
Figura 4 "Dignicap Delta" [29].....	26
Figura 5 "Paxman Scalp Cooling" [32].....	28
Figura 6 Número estimado de casos nuevos en 2020, Colombia, ambos sexos, todas las edades [35].....	30
Figura 7 Prevalencia del cáncer [36].....	31
Figura 8 Desarrollo objetivo específico 1.....	38
Figura 9. Árbol de objetivos.....	45
Figura 10. Caja negra.....	47
Figura 11. Diagrama de caja transparente.....	48
Figura 12. Casa de la calidad.....	52
Figura 13. Diagrama morfológico.....	56
Figura 14. Alternativas de diseño.....	57
Figura 15. Dibujo casco de refrigeración alternativa 1.....	59
Figura 16. Dibujo casco de refrigeración alternativa 2.....	59
Figura 17. Dibujo del sistema de refrigeración (sin evaporador).....	60
Figura 18. Dibujo de la distribución de los elementos del sistema de refrigeración.....	61
Figura 19. Dibujo del cuerpo de protección del sistema de refrigeración y mando de control.....	61
Figura 20 Representación esquemática de las capas de la cabeza y el casco [50].....	64
Figura 21. Diagrama de Moody [53].....	73
Figura 22. Vista isométrica del ensamble del dispositivo.....	76
Figura 23. Vista isométrica del ensamble de los componentes del dispositivo.....	76
Figura 24 Vista frontal de casco.....	77
Figura 25. Vista lateral del casco.....	77
Figura 26. Vista superior del casco.....	78
Figura 27. Tanque de agua.....	79
Figura 28. Mini bomba de agua.....	79
Figura 29. Vista isométrica del compresor.....	81
Figura 30. Vista isométrica del condensador.....	81
Figura 31. Vista isométrica ventilador.....	82
Figura 32. Vista isométrica filtro deshidratador.....	82

Figura 33. Vista isométrica tubería capilar.....	82
Figura 34. Vista isométrica del evaporador.....	82
Figura 35. Vista isométrica explosionada del ensamble .....	84
Figura 36. Diagrama P&ID del sistema de refrigeración .....	87
Figura 37. Diagrama P&ID sistema de bombeo de agua .....	87

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Detalles "Penguin cold caps" .....	24
Tabla 2 Detalles "Dignicap" .....	26
Tabla 3 Detalles "Paxman Scalp Cooling" .....	27
Tabla 4 Principales características de los trastornos capilares según las terapias anticancerosas utilizadas [40]. .....	32
Tabla 5 Lista de requerimientos .....	49
Tabla 6. Importancia de cada aspecto evaluado .....	53
Tabla 7 Requerimientos e importancias .....	54
Tabla 8 Evaluación de alternativas .....	58
Tabla 9. Conductividades térmicas .....	65
Tabla 10. Resistencias térmicas. ....	65
Tabla 11. Propiedades del agua [20]. ....	67
Tabla 12. Condiciones iniciales. ....	68
Tabla 13. Resultados primera iteración. ....	69
Tabla 14. Parámetros para la disminución de temperatura. ....	70
Tabla 15. Parámetros para mantener la temperatura. ....	71
Tabla 16. Lista de materiales de primer nivel. ....	83
Tabla 17. Lista detallada de materiales .....	85
Tabla 18. Lista detallada de instrumentación .....	88
Tabla 19 Lista de componentes .....	90

# Introducción

El cáncer de mama es uno de los tipos de cáncer más comunes en la región de las Américas, especialmente en mujeres menores de 69 años. En Colombia, se estima que la incidencia de este tipo de enfermedad es de 222,5 casos por cada 100 000 habitantes y se han reportado alrededor de 15 509 casos nuevos para el 2020 [1], [2]. Para abordar una enfermedad de tan alta complejidad como esta, existen diversos tratamientos tales como radioterapia, terapias endocrinas, inmunoterapia, quimioterapia o incluso cirugía de extirpación de tumores; el tipo de tratamiento depende del nivel de avance de la enfermedad [2].

La quimioterapia es un tratamiento común para combatir el cáncer de mama, pero una de sus consecuencias más temidas es la pérdida de cabello, condición que medicamente es conocida como alopecia inducida por quimioterapia. Los medicamentos usados para combatir la enfermedad pueden afectar indirectamente las células sanas del folículo piloso, lo que puede resultar en una pérdida total o parcial de cabello semanas después del inicio del tratamiento. El grado de pérdida de cabello puede variar según varios factores, como el tipo de quimioterapia, la dosis, la duración del tratamiento y la sensibilidad individual del paciente [3].

La caída del cabello puede afectar significativamente la autoestima y la calidad de vida, (QOL por sus siglas en inglés), de los pacientes con cáncer, especialmente en el caso de las mujeres, para quienes el cabello puede ser un símbolo de feminidad y belleza [4]. Por esta razón, el enfriamiento del cuero cabelludo se ha convertido en una técnica cada vez más utilizada para prevenir o reducir la pérdida de cabello durante la quimioterapia.

El enfriamiento del cuero cabelludo, también conocido como Scalp Cooling, es una técnica de hipotermia inducida que consiste en el uso de una gorra o dispositivo especializado que

---

enfri  el cuero cabelludo a temperaturas bajas (temperaturas que oscilen entre 18 C (64 F) y 22 C (72 F)) antes, durante y después de las sesiones de quimioterapia. Al enfriar el cuero cabelludo, los vasos sanguíneos se contraen, reduciendo el flujo sanguíneo hacia los folículos capilares. Esta constricción limita la cantidad de medicamentos de quimioterapia que llegan a los folículos capilares, disminuyendo así el riesgo de pérdida de cabello [5].

La transferencia de calor entre el cuero cabelludo y la gorra de enfriamiento es clave para el éxito de esta técnica [6]. La gorra de enfriamiento utiliza un líquido refrigerante que extrae el calor del cuero cabelludo y lo disipa en el ambiente. La transferencia de calor se produce debido a la diferencia de temperatura entre la gorra y el cuero cabelludo, y la temperatura de la gorra debe permanecer constante. A medida que el calor se transfiere, la temperatura del cuero cabelludo disminuye, lo que reduce el flujo sanguíneo debido a la vasoconstricción y por lo tanto la cantidad de medicamentos que llegan al folículo. Es importante que la gorra se ajuste correctamente para garantizar una transferencia de calor óptima y un enfriamiento uniforme del cuero cabelludo [7].

Una desventaja de este procedimiento es su difícil acceso, sobre todo en países como Colombia, en donde la tecnología no es tan avanzada y este tipo de terapia es sumamente costosa, donde los costos por cada sesión rondan entre los cuatrocientos y quinientos dólares [5]; por lo general, estos costos no los asumen las aseguradoras o planes médicos de los pacientes siendo así, a largo plazo, de baja accesibilidad para el colombiano promedio [8].

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un dispositivo de "Scalp Cooling" de bajo costo para ayudar a reducir los problemas de alopecia en pacientes en tratamiento de quimioterapia de cáncer de mama a través de hipotermia inducida mediante una investigación preliminar de la tecnología ya existente, un establecimiento de requisitos de diseño, la selección de la tecnología, geometría y materiales de fabricación que mejor se ajuste a dichos requerimientos, un diseño de detalle del dispositivo que incluya especificaciones de los elementos comerciales necesarios y por ultimo una estudio de prefactibilidad técnica y económica mediante una comparación del dispositivo diseñado frente a uno comercial, todo esto con el objetivo de aplicar conocimientos de la ingeniería en el diseño de productos en

14    Diseño de un sistema de enfriamiento tipo "Scalp Cooling" de bajo costo para el  
tratamiento de la alopecia inducida causada por quimioterapia.

---

el ámbito de la salud, para ayudar a los pacientes y crear soluciones de apoyo a la población.

# 1. Antecedentes

## 1.1 Marco Teórico

### 1.1.1 Cáncer y sus medicamentos

El cáncer es una enfermedad caracterizada por la proliferación incontrolada de células, las cuales pueden diseminarse en distintas partes del cuerpo. La división celular es un proceso natural que las células utilizan para duplicarse, sin embargo, cuando una célula no sigue el proceso normal de división, comienza a replicarse sin control, lo que puede dar lugar a la formación de tumores, los cuales pueden ser cancerosos o benignos. Las células malignas también pueden viajar a otras partes del cuerpo y formar nuevos tumores, proceso conocido como metástasis [9].

Esta enfermedad puede afectar a cualquier órgano o tejido del cuerpo y existen más de 100 tipos diferentes de cáncer, cada uno con características específicas y patrones de crecimiento únicos. El tipo de cáncer se determina por el lugar en el cuerpo donde se origina la proliferación anormal de células. Por ejemplo, el cáncer de mama se desarrolla en el tejido mamario, mientras que el cáncer de pulmón afecta a los pulmones [9].

El conocimiento en profundidad sobre el cáncer y su comportamiento es fundamental para desarrollar enfoques de tratamiento efectivos y mejorar la calidad de vida de los pacientes. En este contexto, es relevante explorar los medicamentos utilizados en el tratamiento del cáncer de mama, considerando su impacto en los pacientes, incluyendo la pérdida de cabello como uno de los efectos secundarios más conocidos.

Existen varios métodos para tratar a los pacientes con cáncer, como la quimioterapia, la radioterapia y las terapias hormonales o endocrinas, entre otros. La elección del método de tratamiento depende de diversos factores, como el tipo y la etapa del cáncer, la salud general del paciente y sus preferencias personales. Uno de los tratamientos más comunes para el tratamiento del cáncer de mama es la quimioterapia, el cual consiste en el uso de fármacos para eliminar las células cancerosas y los tumores, reduciendo su crecimiento y división celular, y disminuyendo el dolor asociado. Sin embargo, no todos los pacientes

reciben este tratamiento, ya que su aplicación depende del tipo de cáncer y su evolución.

Algunos pacientes pueden recibir únicamente quimioterapia, mientras que otros pueden requerir una combinación de diferentes métodos de tratamiento, tales como radioterapia, terapias endocrinas u inmunoterapias. Es importante destacar que la quimioterapia se administra en ciclos semanales y puede utilizarse para destruir células cancerosas que han reaparecido o se han extendido a otras partes del cuerpo [10].

El objetivo principal de los medicamentos utilizados en el tratamiento del cáncer de mama es combatir las células cancerosas de manera selectiva y reducir su capacidad de crecimiento y propagación. Estos medicamentos pueden actuar de diferentes formas, como inhibiendo la replicación celular, interfiriendo con procesos metabólicos específicos o atacando directamente las células cancerosas. Sin embargo, La falta de selectividad de ciertos medicamentos puede afectar a células sanas, como el folículo piloso, generando atrofia y, como consecuencia, provocando efectos secundarios como la pérdida total o parcial del cabello. [11].

### **1.1.2 Alopecia**

La alopecia es una condición médica que se caracteriza por la pérdida anormal de cabello en el cuero cabelludo u otras partes del cuerpo. Se presenta cuando los folículos pilosos, que son las estructuras desde las cuales crece el cabello, sufren daño o debilitamiento, lo que impide el crecimiento normal del cabello. Puede afectar tanto a hombres como a mujeres, aunque es más común en los hombres.

Existen diferentes tipos de alopecia, siendo los más conocidos la alopecia areata, la alopecia androgenética y la alopecia totalis/universalis. La alopecia areata se caracteriza por la aparición de áreas bien definidas de pérdida de cabello, mientras que la alopecia androgenética, también conocida como calvicie común, suele presentarse con un patrón de adelgazamiento y pérdida de cabello en la parte superior y frontal de la cabeza. La alopecia totalis afecta a toda la cabeza, mientras que la alopecia universalis se caracteriza por la pérdida de cabello en todo el cuerpo [12]. Tanto la alopecia areata como la totalis pueden ser condiciones generadas por el uso de medicamentos quimioterapéuticos, cuando esto sucede se le conoce como alopecia inducida, cabe también

mencionar que cuando se deja de suministrar medicamentos la alopecia inducida se detiene y el crecimiento del cabello comienza nuevamente.

Es importante destacar que el crecimiento del cabello sigue un ciclo que consta de tres fases: una fase larga de crecimiento, una fase de transición y una fase de reposo. Al final de este ciclo, el cabello se cae y comienza un nuevo ciclo. Sin embargo, en casos de alopecia, se produce una interrupción del ciclo durante la fase de transición, lo que resulta en la caída del cabello. Cada persona tiene una duración distinta de las fases de crecimiento, transición y reposo, lo que puede influir en la cantidad y calidad del cabello [12].

En la Figura 1 se pueden observar con mayor claridad las etapas previamente mencionadas, ya que es importante comprender el funcionamiento del crecimiento del cabello en el folículo para entender por qué ocurre la caída de este.

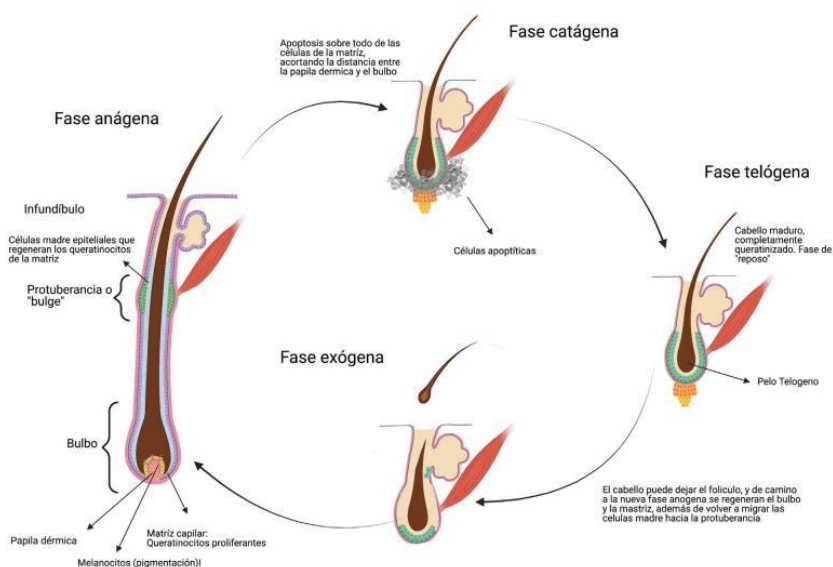


Figura 1 Ciclo normal de crecimiento del cabello [13].

### 1.1.3 Scalp Cooling

El Scalp Cooling es un tratamiento cada vez más utilizado para prevenir la caída del cabello durante los tratamientos de quimioterapia. Este método se basa en enfriar el cuero cabelludo utilizando la hipotermia inducida durante la administración de los fármacos de quimioterapia. Al enfriar el cuero cabelludo, los vasos sanguíneos se contraen,

reduciendo el flujo sanguíneo hacia los folículos capilares. Esta constricción limita la cantidad de medicamentos de quimioterapia que llegan a los folículos capilares, disminuyendo así el riesgo de pérdida de cabello [14].

Es importante destacar que el Scalp Cooling no es efectivo en todos los casos y su eficacia puede variar según el tipo de quimioterapia y otros factores individuales tales como duración del tratamiento, estado del cuero cabelludo, grosor del cabello y tolerancia individual. Sin embargo, ha demostrado ser una opción prometedora para muchas personas que desean conservar su cabello durante el tratamiento de quimioterapia [14].

También los cambios de temperatura en el Scalp Cooling deben ser graduales, ya que cambios bruscos podrían tener efectos negativos en la salud del paciente. En el pasado, se solían utilizar equipos antiguos con paquetes grandes de hielo, los cuales resultaban demasiado pesados y se calentaban rápidamente al contacto con el cuero cabelludo. Sin embargo, en la actualidad se utilizan sistemas más sofisticados que permiten controlar la temperatura de manera precisa y evitar estos problemas. Dichos dispositivos los podemos subdividir en dos grupos, los sistemas manuales y los sistemas automatizados. Hasta el año 2016, únicamente existían los sistemas manuales disponibles en el mercado [15].

#### Scalp Cooling Manual:

**Características:** En este tipo de sistema, se utilizan gorras de enfriamiento que contienen un gel refrigerante. Estas gorras se enfrían previamente en un congelador o utilizando hielo seco antes de colocarlas en la cabeza del paciente. Se requiere que un cuidador cambie y reemplace las gorras de enfriamiento cada cierto tiempo durante el tratamiento [16].

**Ventajas:** Son dispositivos de costo más bajo en comparación con los sistemas automatizados. Requieren una inversión inicial menor y no necesitan una infraestructura eléctrica específica. Son más portátiles y pueden ser utilizados en diferentes entornos de tratamiento [16].

---

Desventajas: Requieren un mayor nivel de intervención y participación del cuidador o personal médico para reemplazar las gorras de enfriamiento periódicamente. Pueden no ofrecer un control de temperatura tan preciso y constante como los sistemas automatizados. La eficiencia del enfriamiento puede variar según la técnica de aplicación y la experiencia del cuidador [16].

Scalp Cooling Automatizado:

Características: En estos sistemas, se utilizan dispositivos automatizados que circulan un líquido refrigerante a través de una gorra de enfriamiento conectada a una unidad de control. La temperatura y el flujo del líquido refrigerante son controlados automáticamente para mantener una temperatura constante en el cuero cabelludo [16].

Ventajas: Ofrecen un mayor control y precisión en la temperatura del cuero cabelludo, lo que puede mejorar la eficacia del enfriamiento y la protección del cabello. Requieren menos intervención y supervisión constante del personal médico durante el tratamiento. Pueden proporcionar un enfriamiento más uniforme y consistente en comparación con los sistemas manuales [16].

Desventajas: Generalmente tienen un costo más alto debido a la tecnología y la automatización involucrada. Requieren una infraestructura eléctrica adecuada y un suministro constante de energía. Pueden ser menos portátiles y requerir una instalación más permanente en los centros de tratamiento [16].

### **1.1.3.1 Hipotermia Inducida**

La hipotermia es una condición de emergencia médica que ocurre cuando el cuerpo pierde calor más rápido de lo que lo produce, lo que resulta en una disminución significativa de la temperatura corporal. La temperatura normal promedio del cuerpo humano oscila entre 36.5°C y 37.5°C. Cuando la temperatura corporal cae por debajo de los 35°C, se considera hipotermia [17]. Dicha condición puede ser peligrosa e incluso potencialmente mortal. Se conoce que un tercio de los pacientes reportados con una temperatura corporal inferior a 28°C por hipotermia accidental no sobrevive [9] Aunque esta condición es riesgosa puede ser útil para la preservación de la vida.

La hipotermia inducida (HI) es un procedimiento en el cual se reduce intencionalmente la temperatura de una parte del cuerpo con el fin de obtener beneficios metabólicos. La HI se utiliza comúnmente en cirugías para mejorar los aspectos técnicos y proteger los órganos durante los procedimientos, cuando se reduce la temperatura del tejido o los órganos, se disminuye el metabolismo celular, lo que resulta en una reducción del consumo de oxígeno y la demanda de energía de los órganos. Esto puede ser beneficioso en procedimientos que involucran órganos sensibles, ya que se reduce el estrés metabólico y se protege la función de los tejidos, además, la HI también permite una disminución o parada temporal de la circulación sanguínea en el área afectada. Esto puede ser útil para realizar procedimientos en los que es necesario disminuir o detener temporalmente el flujo sanguíneo, como es en el caso de los pacientes en cirugías como trasplantes de corazón[18].

A la hora de utilizar la HI en el "Scalp Cooling" hay ciertos requerimientos que se deben cumplir como: El enfriamiento del cuero cabelludo debe comenzar unos 15 minutos antes de la sesión de quimioterapia y ser continuado por un periodo entre 30 y 60 minutos luego de la quimioterapia y también se debe cumplir que los valores de temperatura deben estar en un rango de  $-18^{\circ}\text{C}$  y  $-25^{\circ}\text{C}$  en donde se debe hacer un enfriamiento de manera controlada, en donde los primeros 15 minutos son para bajar la temperatura de manera gradual hasta alcanzar la temperatura requerida, y el tiempo luego de la aplicación de la quimioterapia es para subir nuevamente la temperatura y que no haya un choque térmico brusco el cual provoque lesiones u otros problemas. Siguiendo estos lineamientos no se han reportado problemas en los pacientes como dolores de cabeza o daño en el cuero cabelludo por la aplicación de HI [15].

### **1.1.3.2 Vasoconstricción**

El objetivo principal de la vasoconstricción es controlar el flujo sanguíneo del organismo. El flujo sanguíneo a través de los vasos sanguíneos disminuye al contraerse los músculos que los rodean, ya que se reduce la anchura de los vasos. Esto puede ser útil cuando es necesario dirigir el flujo sanguíneo a determinados lugares [19].

La vasoconstricción puede ser provocada localmente por la vasculatura, o los vasos sanguíneos de una zona concreta del cuerpo, o puede ser provocada a distancia por

---

mediadores presentes en la sangre. Este procedimiento puede ser una reacción a una serie de factores estresantes emocionales y físicos.

En el contexto del Scalp Cooling, la vasoconstricción se genera mediante la hipotermia inducida de manera controlada. El objetivo principal de esta técnica es reducir el flujo sanguíneo al cuero cabelludo durante la administración de los medicamentos de quimioterapia. Al enfriar el cuero cabelludo, se produce una vasoconstricción selectiva en los vasos sanguíneos de la región, lo que disminuye la circulación sanguínea en esa área específica [19].

La vasoconstricción inducida por el enfriamiento del cuero cabelludo tiene un efecto beneficioso al reducir la tasa de paso de los medicamentos de quimioterapia hacia los folículos pilosos. Esto ayuda a disminuir la exposición de los folículos al medicamento y, por lo tanto, reduce el riesgo de efectos secundarios adversos, como la alopecia o caída del cabello [19].

#### **1.1.4. Transferencia de calor**

El estudio y comprensión de la transferencia de calor en el contexto del scalp cooling son fundamentales para optimizar el diseño del dispositivo, garantizar una reducción efectiva de la temperatura en el cuero cabelludo y minimizar los efectos de la hipotermia inducida. Además, el análisis de estas condiciones, variables y fórmulas proporciona una base científica sólida para evaluar la eficiencia y efectividad del dispositivo en la reducción de la alopecia en pacientes en tratamiento de quimioterapia de cáncer de mama.

La transferencia de calor es un concepto fundamental en la ingeniería mecánica que estudia cómo se transfiere la energía térmica entre diferentes objetos o sistemas. En el contexto del diseño del dispositivo de "Scalp Cooling" para la reducción de la alopecia en pacientes en tratamiento de quimioterapia de cáncer de mama, es importante comprender los principios de la transferencia de calor y cómo se relacionan con la hipotermia inducida

La transferencia de calor se produce a través de tres mecanismos principales: conducción, convección y radiación. La conducción es la transferencia de calor a través de la interacción directa de las moléculas, donde la energía térmica se transmite de las partículas más calientes a las más frías. La convección, por otro lado, implica la transferencia de calor

mediante el movimiento de un fluido, ya sea líquido o gas. Por último, la radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas, como la radiación infrarroja, en el scalp cooling el mecanismo de transferencia de calor es la conducción [20].

En el diseño del dispositivo de "Scalp Cooling", se consideran diversas condiciones y variables relacionadas con la transferencia de calor. Estas incluyen la temperatura del cuerpo humano, la temperatura del cuero cabelludo, la temperatura ambiente, la conductividad térmica de los materiales utilizados en el dispositivo, la velocidad del flujo del refrigerante, entre otros.







Para calcular y predecir la transferencia de calor en el proceso de scalp cooling, se emplean diferentes fórmulas y ecuaciones, como la ley de conducción de calor de Fourier, las ecuaciones de convección y las ecuaciones de radiación térmica. Estas permiten determinar la cantidad de calor transferido y las tasas de transferencia de calor, variables que son fundamentales para el estudio del Scalp Cooling además de que es muy importante conocer previamente el material con el cual hará contacto la piel para poder definir las propiedades del mismo y aplicar las ecuaciones, de igual manera con las propiedades del fluido y saber si es turbulento o laminar, se analizará la condición en donde el flujo sea laminar para poder controlar la transferencia de calor y este será el caso de estudio [20].

## **1.2 Estado del arte**

### **1.2.1 HI para el tratamiento de encefalopatía Hipóxico-isquémica**

Uno de los ejemplos más comunes es la vinculación de esta práctica en el tratamiento de neonatos con encefalopatía hipóxico-isquémica (EHI), enfermedad con una alta tasa de morbilidad y mortalidad generada por la privación de oxígeno y un limitado flujo sanguíneo al cerebro de un bebe durante o cerca al momento del nacimiento. La HI es el único tratamiento existente hasta el momento para reducir dicha tasa de mortalidad. La cual debe ser iniciada en las primeras 6 horas del nacimiento del bebe con EHI, esto aumenta la probabilidad de que este tenga una función neurológica normal [21].

Luego de estabilizar la temperatura corporal entre 33°C y 34°C esta se mantiene durante 72h, pasadas estas comienzan la fase de recalentamiento lento, 0,5°C por hora. Los mecanismos por el cual la HI suele ser efectivo es que dicha condición genera una reducción del metabolismo cerebral, disminución de la excitabilidad neuronal, reducción de la síntesis y liberación de radicales libres y óxido nítrico, disminución de la liberación de aminoácidos excitotóxicos (glutamato), todos estos procesos bioquímicos que son protegidos por la HI. Algunos de los equipos utilizados en esta técnica están descritos como se puede observar en la Figura 2 [22].

Equipo	Tecotherm TS med 200	Tecotherm-Servo	Criticool	Arctic Sun	Stephan	Cool-Cap
Tipo de enfriamiento	Corporal total	Corporal total	Corporal total	Corporal total	Corporal total	Selectivo craneal
Diseño	Colchón	Colchón	Envoltura corporal- chaleco (Curewrap)	Parches de hidrogel (ArcticGel)	Colchón	Gorro
Servo-controlado	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Foto						

An Pediatr Contin. 2013;11:212-7

Figura 2 Equipos utilizados en la HI

## 1.2.2HI para el tratamiento de accidentes cerebrovasculares

Siguiendo las implementaciones de la HI en el área neurológica, esta técnica también es bien aceptada para el tratamiento de otras patologías tales como: lesión cerebral traumática, accidente cerebro vascular isquémico, hemorragia inter cerebral, hemorragia subcraniodea y demás afecciones en el ámbito cerebrovascular, sin embargo, uno de los mayores usos en este campo es el tratamiento de la disfunción de la autorregulación cerebral (AC) después de haber sufrido una lesión cerebral aguda.

La AC es un mecanismo de protección encargado de mantener el flujo sanguíneo cerebral (FSC) pese a los cambios generados en la presión de perfusión cerebral, la cual se define a su vez como la diferencia entre la presión arterial media y la presión inter craneal [23]; es decir que se encarga de modificar la vasodilatación o vasoconstricción con el fin de mantener un flujo sanguíneo cerebral (FSC) acorde a los requerimientos metabólicos de O<sub>2</sub> en el cerebro y cualquier afección a este mecanismo se traduce como un inconveniente en

la regulación de presión sanguínea, que puede generar condiciones como la Hipertensión inter craneal, y en el peor de los casos conduce a una muerte encefálica [24].

La hipotermia puede reducir la tasa metabólica disminuyendo el consumo de oxígeno por los tejidos cerebrales en un 6 %/7 % por cada grado disminuido entre la temperatura corporal promedio y 32°C, es decir un grado de HI moderado. Dichos cambios metabólicos generan preservación de glucosa e inhibe la acumulación de ácido láctico, condiciones que ayudan a preservar el PH y el ATP de los tejidos y células promoviendo la homeostasis (capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior) previniendo la posibilidad de isquemia (falta de suministro de sangre a una parte del cuerpo) cuando el FSC está alterado o ausente [25].

### **1.2.3HI en cardiología**

En el contexto de infarto cardiaco es donde se encuentra la implementación de esta terapia, ya que en casos como este luego del retorno de circulación espontanea (ROSC) se busca establecer una reperfusión (tratamiento médico para restablecer el flujo sanguíneo) con suficiente oxígeno en todos los pacientes con parada cardiaca y en coma. Las primeras 24 horas de reperfusión determinan críticamente la extensión de la lesión cerebral que dicha parada puede generar, vinculando nuevamente la neuro protección que la HI puede generar para minimizar el daño cerebral [27], [26]

### **1.2.4Gorras de frio**

En esta sección, se presentará el estado del arte referente a los sistemas de Scalp Cooling comerciales de mayor uso en el mercado que podemos encontrar hoy en día.

Tabla 1 Detalles "Penguin cold caps"

<b>Nombre: Penguin Cold Caps</b>	<b>Tipo de sistema: Manual</b>
<b>Fabricante: Penguin Cold caps</b>	

<b>Origen:</b> Londres, Gran Bretaña	 <p data-bbox="948 751 1390 789">Figura 3 "Penguin Cold Caps" [27]</p>
<b>Web:</b> penguincoldcaps.com	
<b>Año de lanzamiento:</b> 1997	
<b>Disponible en Colombia:</b> No	
<b>Costo:</b> Alquiler mensual, aproximadamente 450 USD por mes, más un depósito reembolsable de 249 USD [28].	
<b>Tecnología de refrigeración:</b> <p data-bbox="282 972 1456 1167">Emplea gorras rellenas de gel Crylon enfriadas en hielo seco previo al tratamiento. Está compuesto por tres gorras (una en uso y dos en refrigeración) ajustadas en el cuero cabelludo y cambiadas cada 20-30 minutos por un cuidador. El enfriamiento con gorra fría debe comenzar 50 minutos antes de la infusión de quimioterapia y continuar durante 4 horas después de completarla [27].</p>	
<b>Contras:</b> <ul data-bbox="380 1423 1456 1619" style="list-style-type: none"> <li>● El enfriamiento de los cascos se debe realizar previamente.</li> <li>● La aplicación del frío no se realiza de manera gradual.</li> <li>● No tiene un control de temperatura que monitoree el estado en el interior del casco</li> <li>● Es costoso, no es accesible en Colombia.</li> </ul>	

Tabla 2 Detalles "Dignicap".

<p><b>Nombre: DigniCap Delta y DigniCap C3</b></p>	<p><b>Tipo de sistema: Automatizado.</b></p>
<p><b>Fabricante:</b> Dignitana AB.</p>	
<p><b>Origen:</b> Lund, Suecia.</p>	
<p><b>Web:</b> dignicap.com</p>	
<p><b>Año de lanzamiento:</b> 2015 aprobado por la FDA (Federal Drug Administration).</p>	
<p><b>Disponible en Colombia:</b> Sí, distribuido por "Massal LLC".</p>	
<p><b>Costo:</b> Someterse a un tratamiento con DigniCap cuesta en promedio entre 1500 a 2000 USD por ronda de quimioterapia [30].</p>	
<p><b>Tecnología de refrigeración:</b></p> <p>El dispositivo DigniCap consta de un gorro de silicona con canales de flujo de líquido cubierta por un gorro térmico que permite mantener la temperatura, alimentados por una unidad de refrigeración y control termoeléctrica que mantiene la temperatura entre 3 y 5°C. Este enfriamiento permite mantener la temperatura del cuero cabelludo del paciente entre 15 y 25°C durante la fase de administración del tratamiento, eliminando la necesidad de usar varios gorros durante cada sesión. Además, el dispositivo incluye un sistema de retroalimentación con tres sensores patentados estratégicamente ubicados en el gorro de silicona. Estos sensores monitorean y controlan el tratamiento en tiempo real, lo que automatiza gran parte del proceso a través de un software integrado en la unidad de refrigeración [31].</p> <p>La unidad de refrigeración delta utiliza un fluido refrigerante Delta cool, MSDS S1144 a un rango de temperatura de -5°C a -0,5°C. Posee una bomba de recirculación 12V DC de centrifugado, cuenta con un tanque de 250 ml de almacenamiento de</p>	

Figura 4 "Dignicap Delta" [29]

refrigerante. Dicha unidad opera a una altura máxima de 3000 mts y una temperatura de almacenamiento y transporte entre 0° y 50°; debe tener un voltaje de entrada de 100 – 240 VAC, con una frecuencia de 47 a 63 Hz y una corriente de entrada máxima de 17,5 A. tiene un peso total de 65 Kg [29].


Las diferencias entre la unidad delta y c3 son principalmente su ergonomía, su peso y su facilidad de transporte, siendo la unidad C3 la primera y la delta la más reciente.

**Contras:**

- Es bastante costoso para el colombiano promedio
- Está disponible en Colombia por medio de un tercero.

Tabla 3 Detalles "Paxman Scalp Cooling"

<b>Nombre:</b> Orbis 1 y 2 de PAXMAN.	Tipo de sistema: Automatizado.
<b>Fabricante:</b> PAXMAN	
<b>Origen:</b> EEUU.	
<b>Web:</b> Paxmanscalpcooling.com	
<b>Año de lanzamiento: 2017 aprobado por la FDA</b>	

<p><b>Disponible en Colombia:</b> Si, A través de distribuidor "ROOCOL SA".</p>	 <p>Figura 5 "Paxman Scalp Cooling" [32]</p>
<p><b>Costo:</b> Someterse a un tratamiento con Paxman cuesta 2400 USD [8].</p>	
<p><b>Descripción y modo de uso:</b></p> <p>La gorra Paxman utiliza una unidad de refrigeración compacta que circula refrigerante a través de tuberías insertadas en un gorro de silicona. Para mayor comodidad del paciente, las líneas de refrigerante están sostenidas por un brazo ajustable. La gorra Paxman se ajusta perfectamente alrededor de la cabeza del paciente y está disponible en tres tamaños diferentes con fundas de colores coordinados (rojo para pequeño, morado para mediano y azul para grande). Cuenta con sensores de temperatura en línea los cuales aseguran que la gorra mantenga el cuero cabelludo del paciente a una temperatura constante y uniforme mientras que una cubierta de neopreno ayuda a la eficiencia y la operación del sistema. Además, la funda absorbe la condensación y protege la gorra del calor ambiental [33].</p> <p>La unidad de refrigeración utiliza un fluido refrigerante Orbis C, propio de la marca, es un líquido refrigerante R-134A libre de clorofluorocarbono (CFC) lo que lo hace un refrigerante secundario no peligroso; este opera a una temperatura entre -4°C y 0°C con un flujo de 10-50 ml/s generando una presión en la gorra de enfriamiento de 17 psi.</p> <p>Dicha unidad opera en condiciones ambientales donde la temperatura está entre los 10°C y los 30°C, con presiones atmosféricas entre 70 y 106 kPa y una humedad relativa entre 35% y 75%. La unidad requiere un voltaje de entrada de 220 – 240 V AC con una frecuencia de 50 a 60 Hz monofásica a una potencia máxima de 850 VA. El fabricante también especifica que todos los circuitos del dispositivo deben</p>	

estar conectados a tierra y estar protegidos por fusibles con capacidad de corriente 10A [32].

**Contras:**

- Es bastante costoso para el colombiano promedio
- Está disponible en Colombia por medio de un tercero
- Requiere hacer adaptaciones en el lugar de instalación.

Después de revisar la literatura y ver las opciones disponibles en el mercado, es relevante resaltar que únicamente hay dos opciones de dispositivos automatizados comerciales y aprobados por la FDA para su uso. Aunque hay otras opciones comerciales de sistemas manuales, no se consideraron relevantes en esta revisión ya que de primera mano el diseño que se busca proponer es automatizado, por eso se exponen únicamente los dispositivos comerciales automatizados en el mercado.

## 2. Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), las enfermedades relacionadas con el cáncer son la segunda causa de muerte en la región de las Américas. Para datos del 2020 hay un estimado de cuatro millones de personas diagnosticadas de algún tipo de cáncer en la región, de los cuales el 57% de los nuevos casos ocurren en personas menores a 69 años [1]. En Colombia, la incidencia de este tipo de enfermedad se estima en 222,5 por cada 100 000 habitantes, de los cuales los cinco tipos más comunes son: mama (15 509 casos nuevos), próstata (14 460), colon y recto (10 783), estómago (8 214) y pulmón (6 876), como se puede observar en la Figura 6. Del total de los casos, el 44,2% corresponde a hombres y el 55,8% a mujeres. Teniendo en cuenta esto, se puede evidenciar que el tipo de cáncer de mayor incidencia es el de mama, el cual además reporta una tasa de mortalidad de 13,74%, de un total de 47 710 personas fallecidas por esta enfermedad [34].

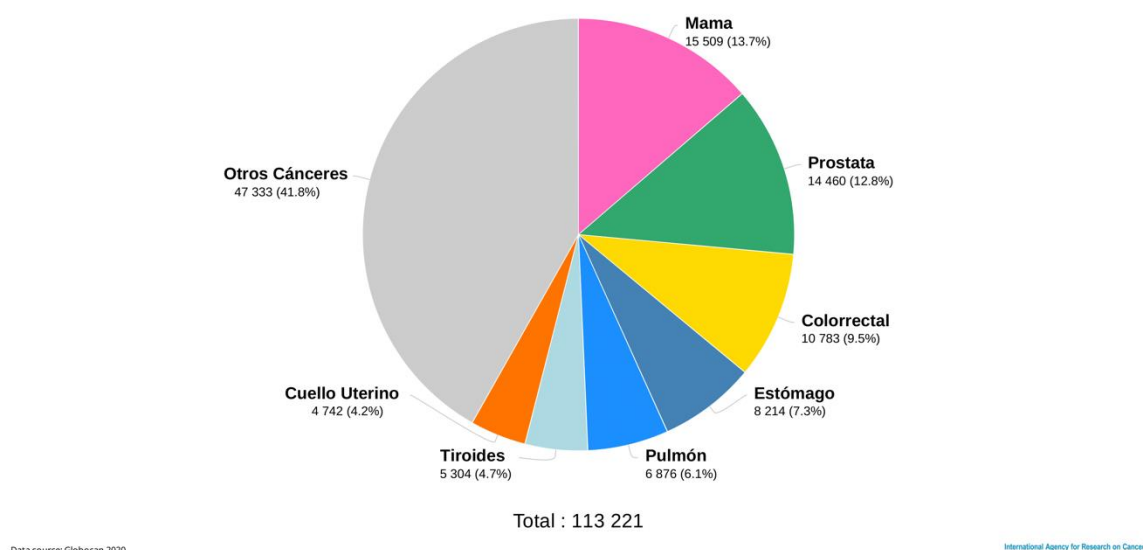
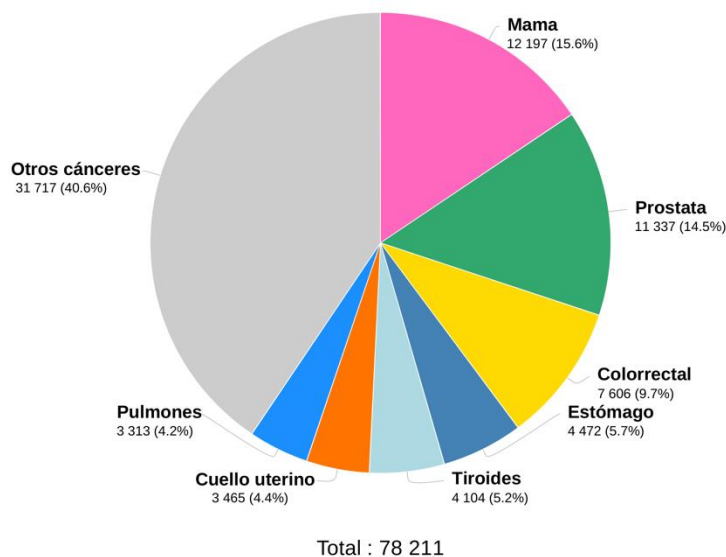


Figura 6 Número estimado de casos nuevos en 2020, Colombia, ambos sexos, todas las edades [35]

Para el año 2020, el cáncer de mama reporta una prevalencia del 15,6% frente a otros tipos de cáncer. Mundialmente, este tipo de cáncer tiende a tener una mayor prevalencia en países o ciudades de mayor desarrollo humano, los cuales se caracterizan por una mayor expectativa de vida, educación e ingreso bruto per cápita. (Figura 7) [35].



Data source: Globocan 2020  
Graph production: Global Cancer  
Observatory (<http://gco.iarc.fr>)

International Agency for Research on Cancer  
World Health  
Organization

Figura 7 Prevalencia del cáncer [36].

Además de todos los problemas congénitos de la enfermedad y lo que puede conllevar vivir con ella, se puede hacer un análisis de las afecciones a la vida cotidiana, que incluyen tanto las consecuencias en la salud física como en la salud psicológica y emocional de la persona. Si bien cualquier tipo de enfermedad conlleva una carga emocional, una enfermedad como el cáncer, que cotidianamente se relaciona de forma directa con la posibilidad de muerte, genera un impacto trascendental durante el tratamiento. Sentimientos como angustia, ansiedad y depresión son síntomas comunes expresados por pacientes en tratamiento y pacientes que ya han sobrellevado la enfermedad [37].

Con respecto a la salud física, uno de los temas más relacionados de forma cotidiana con los tratamientos de cáncer es la pérdida de cabello o, por su nombre clínico, alopecia; éste es uno de los efectos secundarios más temidos tanto por hombres como por mujeres. Cabe

aclarar que la quimioterapia puede producir pérdida del cabello no solamente en el cuero cabelludo, sino en distintas partes del cuerpo, como las pestañas, cejas, vellos de axilas, púbico y demás [38].

Aproximadamente uno de cada cuatro pacientes que han logrado superar la enfermedad han reportado un decrecimiento en la QOL debido a condiciones físicas después del tratamiento; la cual disminuye, en la mayoría de los casos, debido a eventos dermatológicos adversos (EDA) como lo son alopecia, despigmentación o cicatrización. Además, un 30% de sobrevivientes ha mostrado una condición de irreversibilidad post quimioterapia de la pérdida de cabello, generando así una baja en la QOL comparado a como era antes de contraer la enfermedad y ser sometidos a tratamiento [39].

De acuerdo con lo planteado anteriormente sobre la QOL, es pertinente tener en cuenta el efecto del tratamiento en el cuero cabelludo y que tanto de esta condición es reversible. La Tabla 4 realiza una comparación entre los tipos de tratamientos utilizados para combatir la enfermedad, su efecto en el cuero cabelludo, el mecanismo que causa el trastorno capilar, el tiempo de transcurso desde el inicio del tratamiento hasta la manifestación de la condición, la reversibilidad del tratamiento y la frecuencia.

Tabla 4 Principales características de los trastornos capilares según las terapias anticancerosas utilizadas [40].

<b>Tipo de Tratamiento</b>	<b>Topografía clínica</b>	<b>Principales mecanismos</b>	<b>Tiempo hasta inicio</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Frecuencia (%)</b>
Quimioterapias	Difusión y +/- total	Bloqueo de la división celular y apoptosis. Destrucción del folículo	2-3 semanas del comienzo	Promedio: 2-4 meses post tratamiento irreversible	≈65
Terapias endocrinas	Adelgazamiento del cabello	Minutiarización del folículo	1-91 meses	No sistemático	≈5
Terapias específicas	Muy variable (dependiente del objetivo)	Minutiarización del folículo	Muy variable	Posible incluso dentro del tratamiento irreversible con varias moléculas	≈15
Radioterapia (<43 Gy)	En función del campo de radiación	Destrucción del folículo	1-3 semanas del comienzo	Promedio: 2-4 meses post-irradiación	≈75-100

<b>Tipo de Tratamiento</b>	<b>Topografía clínica</b>	<b>Principales mecanismos</b>	<b>Tiempo hasta inicio</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Frecuencia (%)</b>
Radioterapia (>43 Gy)	En función del campo de radiación	Dstrucción del folículo	≈100 semanas	Sin (alopecia cicatrizante)	≈75-100
Inmunoterapias	Variable	Bloqueo del ciclo de dismuidad	Variable	Variable	≈1-2

Considerando las prevalencias en la región, es relevante analizar los efectos emocionales que la pérdida de cabello puede tener en pacientes con un tipo específico de cáncer. En este caso, se destaca la importancia de examinar los efectos secundarios de los medicamentos de quimioterapia utilizados en el cáncer de mama sobre la calidad de vida de las mujeres que experimentan alopecia inducida. Conociendo que el cáncer de mama es el más común en términos de prevalencia (este tipo de cáncer representa menos del uno por ciento de los casos en hombres, con una prevalencia no mayor al 0,2% del total), y dado el significado sociocultural del cabello en las mujeres, se enfocará en este grupo en particular.

Analizando la Tabla 4, específicamente los datos presentados para la quimioterapia, se puede evidenciar el efecto agresivo que ésta tiene en el cuero cabelludo, cuya recuperación puede involucrar meses o no haber recuperación [41]. Como se mencionó anteriormente, el trastorno capilar depende de la dosis administrada de medicamento, por lo que en algunos casos puede llevar a una destrucción total del folículo, evitando la regeneración del cabello post tratamiento.

Adicionalmente, la tabla evidencia que la alopecia inducida por quimioterapia es la más rápida y contundente. Por lo tanto, una solución eficiente para esta problemática sería proteger el folículo durante la administración de dosis de medicamento. Esto bien puede ser resuelto con un dispositivo de scalp Cooling, sin embargo, a la hora de plantear un diseño surgen los siguientes retos [41]:

- La eficiencia térmica del dispositivo, ya que este debe enfriar de manera eficiente el cuero cabelludo para minimizar la pérdida de cabello durante la quimioterapia.
- El sistema de control de temperatura; es esencial tener un control preciso de una temperatura constante y segura del cuero cabelludo.
- La seguridad y comodidad del paciente, debido a que el dispositivo debe ser ergonómico, liviano y fácil de usar, para que el paciente pueda llevarlo cómodamente durante las sesiones de quimioterapia. Además, se deben implementar medidas de seguridad para evitar fugas de refrigerante u otros riesgos potenciales.
- La durabilidad y el mantenimiento son factores a tener en cuenta para desarrollar un dispositivo duradero y resistente al desgaste, ya que se espera que se utilice durante varias sesiones de quimioterapia.
- El costo y la accesibilidad es un reto primordial ya que se deben buscar opciones económicas y eficientes en términos de materiales y componentes.

Ahora bien, ¿cómo podemos diseñar un dispositivo que proteja los folículos del cuero cabelludo para reducir la probabilidad de alopecia inducida en pacientes colombianos con cáncer de mama bajo tratamiento de quimioterapia teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas en las que se encuentra una persona promedio?

---

### 3. Justificación

Como se evidenció anteriormente, la alopecia es uno de los efectos secundarios más comunes a la hora de la realización de quimioterapias en pacientes con cáncer, y tiene mucho que ver con la etapa de desarrollo de la enfermedad. Por lo tanto, es importante abordar esta problemática dadas las alteraciones emocionales y psicológicas que esta condición puede conllevar dificultando el tratamiento de la enfermedad. Para esto, se deben explorar las distintas soluciones que se pueden tomar para prevenir esta condición.

Hasta la fecha, diferentes estudios han evaluado las intervenciones farmacológicas con el fin de prevenir el daño del folículo piloso; sin embargo, ninguno de estos ha sido aprobado por los entes reguladores. En uno de estos estudios, se evaluó el uso del minoxidil en la prevención de la alopecia inducida por quimioterapia sin resultados efectivos. De igual manera, se han implementado fármacos como la finasterida, la espironolactona y el calcitriol tópico, con los que, en algunos casos, se ha evidenciado aumento en los niveles de estrógenos (situación poco favorable para la erradicación de la enfermedad) [6].

En el campo de la medicina, una de las técnicas más útiles para la preservación de tejido vivo es la HI; ésta es una técnica que consiste en reducir la temperatura corporal de manera controlada y temporal. La HI se utiliza de forma común en casos como lesión cerebral en pacientes que han sufrido una parada cardíaca o edema (i.e., hinchazón generada por retención de líquidos) cerebral en pacientes que han sufrido un traumatismo craneal. Esto se debe a que la reducción de la temperatura corporal disminuye la inflamación cerebral y ayuda a prevenir el daño cerebral secundario[42]. Otro ejemplo de aplicación es el tratamiento de lesión medular, la HI se utiliza para reducir el daño medular en pacientes que han sufrido una lesión en la médula espinal, La reducción de la temperatura corporal disminuye la liberación de radicales libres, lo que puede reducir el daño tisular [7].

Con respecto a los trastornos capilares que se presentan debido a la quimioterapia, la HI que se ha introducido en los últimos años para el manejo de la caída del cabello buscando proteger el folículo piloso durante la administración de medicamento. Esta terapia es conocida como Scalp Cooling se utiliza para enfriar el cuero cabelludo antes, durante y después de la quimioterapia. Este enfoque tiene como objetivo generar vasoconstricción sanguínea, lo cual reduce el flujo sanguíneo y disminuye la cantidad de agentes citostáticos,

que son fármacos capaces de inhibir el crecimiento desordenado de las células tumorales. Como resultado, se reduce la tasa metabólica de las células del folículo piloso y se logra una menor absorción de los agentes quimioterapéuticos por parte de dichas células [6].

El uso del Scalp Cooling no es una terapia ampliamente utilizada a nivel global debido a su costo elevado. Actualmente, se observa que países como Estados Unidos, España, Francia, Reino Unido y Alemania son los que han adoptado este tipo de tratamiento en sus hospitales [43]. Para los países latinoamericanos, este tipo de tecnología es de difícil acceso dado que es un tratamiento costoso y que debe tener equipos especializados. De acuerdo con los datos de Paxman, empresa pionera en el desarrollo e implementación de esta tecnología, el precio estándar del tratamiento para 12 sesiones de quimioterapia es de 2200 USD por paciente [44], los cuales a tasa de cambio promedio para Colombia en el año 2022 (4255,4 COP) [45] se verían reflejados en 9 361 968 COP equivalentes a 9,36 Salarios Mínimos Legales Vigentes (SMLV) para el mismo año. Teniendo en cuenta que, en el país, para el año 2022, el 15,7% del total de personal ocupado en Colombia devengaba un sueldo equivalente a un salario mínimo y el 54,35% de los jubilados reciben su mesada con base a este salario [46] podemos hablar de que cerca de 4,6 Millones de personas devengan un SMLV equivalente al 10,68% del costo del tratamiento de *Scalp Cooling*, una cifra bastante alta para el contexto socioeconómico de Colombia.

Por lo tanto, es importante desarrollar este tipo de sistemas automatizados en contextos como Latinoamérica y Colombia, utilizando el principio de HI para reducir la alopecia, pero reduciendo los costos para hacerlo así accesible a esta población.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Diseñar un dispositivo de "Scalp Cooling" de bajo costo para ayudar a reducir los problemas de alopecia en pacientes en tratamiento de quimioterapia de cáncer de mama a través de HI.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Desarrollar un diseño conceptual para un dispositivo de "Scalp Cooling" de bajo coste teniendo en cuenta los requerimientos específicos del dispositivo.
2. Definir la geometría y los materiales de fabricación del dispositivo de "Scalp Cooling" que garanticen el cumplimiento de las especificaciones de diseño a través de cálculos de transferencia de calor.
3. Elaborar el diseño de detalle del dispositivo de "Scalp Cooling" que incluya las especificaciones de los elementos comerciales necesarios para un desempeño adecuado.
4. Realizar un estudio de prefactibilidad económica y técnica comparando el dispositivo diseñado con un referente comercial.

## 5. Metodología

En la metodología, se explicará cómo se alcanzaron los objetivos específicos del estudio, evaluando aspectos como la revisión del estado del arte, los cálculos necesarios, etc.

### Objetivo específico 1:

Como se puede ver en la Figura 8 este fue el camino a seguir para el desarrollo del objetivo 1:

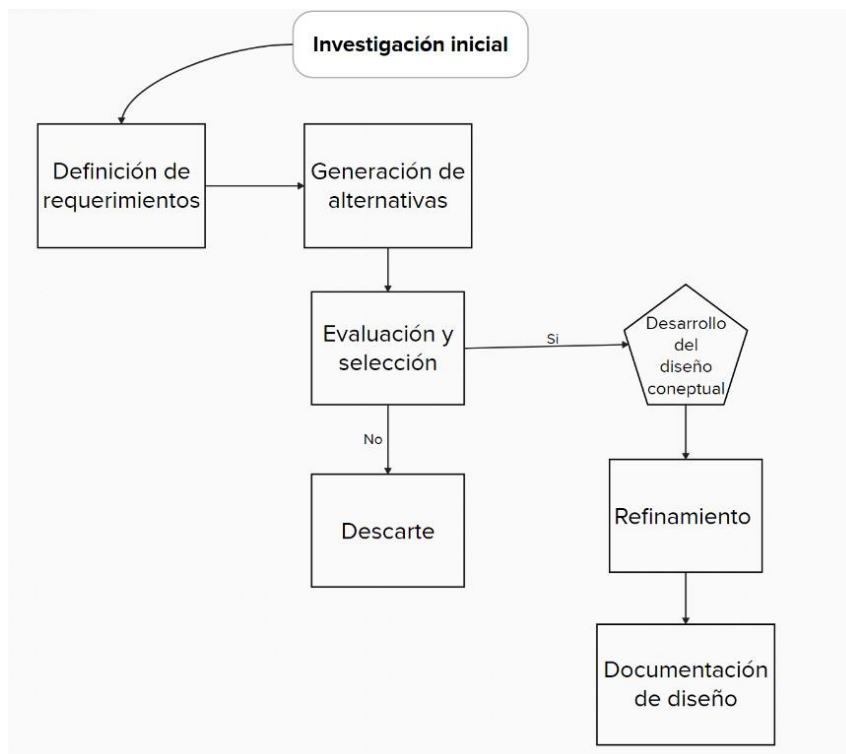


Figura 8 Desarrollo objetivo específico 1.

**Investigación inicial:** Se llevó a cabo una investigación sobre los problemas de alopecia en pacientes de cáncer de mama sometidos a quimioterapia. Se revisaron artículos de investigación y dispositivos comerciales para obtener una comprensión del panorama actual. Además, se analizaron las necesidades y expectativas de los pacientes, así como las limitaciones y desafíos asociados con los tratamientos existentes.

**Definición de requerimientos:** Se identificaron los requisitos del dispositivo de "Scalp Cooling" con el objetivo de abordar los problemas de alopecia en pacientes de cáncer de mama sometidos a quimioterapia. Se consideraron aspectos como la eficacia del enfriamiento, la seguridad, la comodidad, la facilidad de uso, la portabilidad y el bajo costo. Estos requisitos se definieron distinguiendo entre deseos y demandas, utilizando variables cuantitativas para objetivar la determinación de estos. Todo esto fue posible gracias a la realización de encuestas que se realizaron tanto a pacientes como a profesionales en oncología, que pudieran brindar una mejor perspectiva.

**Generación de alternativas:** Se implementaron técnicas de generación de ideas, tales como lluvia de ideas y análisis morfológico, para producir diversas alternativas de diseño que cumplieran con los requisitos establecidos. Se exploraron diferentes enfoques tecnológicos, materiales y configuraciones del dispositivo, teniendo en cuenta las variables definidas para su uso e implementación.

**Evaluación y selección:** Se llevó a cabo una evaluación de las alternativas de diseño generadas, tomando como base los criterios de requerimientos previamente establecidos. Se seleccionaron las propuestas que cumplieran de manera óptima con los objetivos del proyecto.

**Desarrollo del diseño conceptual:** Se utilizó un conjunto de herramientas de diseño, como esquemas, diagramas y representaciones visuales, para crear un boceto detallado del dispositivo. Aunque los dibujos no fueron detallados, permitieron definir la propuesta de diseño, abarcando aspectos clave de la implementación técnica y visual del dispositivo.

**Documentación del diseño conceptual:** Se documentó y presentó de manera completa el diseño conceptual final. Esta documentación incluyó descripciones detalladas,

ilustraciones, especificaciones técnicas y cualquier otra información relevante para proporcionar una comprensión integral del proyecto y facilitar su futura implementación.

### **Objetivo específico 2:**

***Análisis de transferencia de calor:*** Se realizaron cálculos y análisis de transferencia de calor para determinar la cantidad de calor que debe ser extraído del cuero cabelludo durante el tratamiento de "Scalp Cooling". Se consideraron los factores de enfriamiento, como la temperatura ambiente, el flujo de líquido y las propiedades térmicas del cuero cabelludo y del fluido, utilizando las leyes de conducción y convección, teniendo en cuenta variables como geometrías, área de contacto, coeficientes de transferencia de calor y propiedades del fluido elegido.

***Definición de la geometría:*** Se definieron geometrías y dimensiones teniendo en cuenta los resultados del análisis de transferencia de calor y los requisitos de diseño. Se considerarán factores como la superficie de contacto con el cuero cabelludo, la distribución del enfriamiento, la facilidad de colocación y retiro del dispositivo, y la comodidad del paciente.

***Selección de materiales:*** Se investigaron y seleccionaron diferentes materiales que fueran adecuados para la fabricación del dispositivo de "Scalp Cooling". Se consideraron las propiedades térmicas de los materiales, su conductividad térmica, su resistencia a la corrosión y su compatibilidad con el contacto directo con la piel.

### **Objetivo específico 3:**

El diseño de detalle tiene como objetivo principal proporcionar información clara y precisa para la fabricación, construcción o implementación del producto. Se desarrolló el nivel de detalle necesario para que los fabricantes, ingenieros o técnicos puedan comprender y llevar a cabo todas las etapas de producción de acuerdo con las especificaciones y requisitos establecidos durante el proceso de diseño.

Algunos elementos que se incluyeron en el diseño de detalle son:

- Desarrollo de CAD (dibujo asistido por computador, por sus siglas en inglés).
- Planos y esquemas técnicos: Representaciones gráficas que muestran las dimensiones, formas y ubicación de los componentes.
- Lista de materiales (BOM, por sus siglas en inglés): Un listado detallado de todos los componentes y materiales necesarios para la construcción del producto, incluyendo sus cantidades, descripciones y especificaciones.
- Diagramas de conexión: Representaciones gráficas de las conexiones eléctricas y electrónicas entre los componentes del diseño, presentadas a través de diagramas P&ID (siglas en inglés de "diagramas de tuberías e instrumentación")

#### **Objetivo específico 4:**

Para realizar la prefactibilidad técnica y económica del diseño, se llevó a cabo una evaluación detallada de los requerimientos técnicos del sistema de *Scalp Cooling* como la capacidad de enfriamiento, la tasa de transferencia de calor y otros. También se definieron las especificaciones técnicas y los materiales necesarios para su construcción. Además, se analizaron los costos asociados a la adquisición de materiales, la fabricación del sistema y su posterior instalación, y también se debe tener en cuenta los objetivos anteriores y que estos se cumplan; para la evaluación económica, se tomaron en cuenta los costos directos e indirectos asociados al proyecto, como los costos de mano de obra, el costo de los materiales y equipos, los gastos generales, entre otros. Asimismo, se estimaron los costos de operación y mantenimiento del sistema durante su vida útil.

## 6. Restricciones

- Restricciones económicas: El dispositivo de "Scalp Cooling" de bajo costo debe ser asequible y accesible para los pacientes y los centros de tratamiento. Se deben considerar los costos de fabricación, los materiales utilizados, el mantenimiento y los gastos asociados a la operación del dispositivo, en este caso la restricción principal será disminuir los costos entre 35% y 40% para que en un país como Colombia toda la población pueda usarlo, teniendo en cuenta el costo por uso.
- Peso del casco: El peso es un factor importante porque la persona va a estar soportando el casco con su cabeza y por un tiempo prolongado, de acuerdo con los productos que se encuentran en el mercado el peso del casco no podrá ser superior a los 900 g, esto para brindarle una comodidad al paciente y no generar problemas en el cuello por el tener que cargar con este casco o problemas como dolores de cabeza [47].
- Peso de la unidad de refrigeración: Es importante también tener en cuenta la unidad de refrigeración puesto que esta debe ser portable y fácil de transportar, las comerciales tienen pesos de 44 Kg por parte de Paxman y 65 kg por parte de Dignicap, de esta manera el peso debe estar en este rango igual o inferior sin perder calidades de diseño o técnicas [47], [48].
- Temperaturas: Para la operación de este tipo de dispositivos se debe tener unas temperaturas optimas tanto del gorro como la temperatura ambiente, y el fluido debe estar en una temperatura entre -5 °C y 1 °C.

- **Tiempo:** Las restricciones de tiempo son un factor vital para considerar en el tratamiento de Scalp Cooling. Para garantizar la seguridad y comodidad del paciente, se limita la exposición al frío a un máximo de 30 minutos, evitando así posibles molestias o lesiones cutáneas, además de que esto no generará un daño al paciente. También, se realiza una cuidadosa regulación de la temperatura, con disminuciones y aumentos graduales, para evitar cambios bruscos que puedan afectar negativamente al cuero cabelludo. En conjunto, estas medidas aseguran que el tratamiento completo, que abarca las etapas de enfriamiento, exposición al frío y recalentamiento, no exceda generalmente las 4 horas. Este enfoque permite obtener los beneficios deseados del Scalp Cooling mientras se salvaguarda el bienestar del paciente, proporcionando un equilibrio adecuado entre eficacia y tiempo de exposición controlado.
- **Biocompatibilidad:** Los materiales utilizados en el dispositivo y cualquier contacto directo con el cuero cabelludo del paciente deben ser seguros y no provocar reacciones alérgicas, irritaciones o complicaciones médicas. Además, la biocompatibilidad también puede incluir la evaluación de la respuesta del organismo a largo plazo y la minimización de cualquier posible toxicidad, garantizando el bienestar de los pacientes.
- **Estándares de seguridad:** Es crucial la seguridad del paciente, por esta razón se deben cumplir unas normas técnicas para el uso de dispositivos electrónicos médicos BS EN 60601-1:2006 + IEC 60601-1:2005, además de esta norma de seguridad, el fluido no puede ser peligroso para la persona, es decir, debe tener una toxicidad baja dentro de condiciones normales de uso.

## **7. Diseño conceptual**

### **7.1 Clarificación de objetivos**

#### **7.1.1 Árbol de objetivos**

Para la construcción del árbol de objetivos se tuvo en cuenta el objetivo general del proyecto, y a partir de esto se esclarecieron cuatro objetivos que debería satisfacer el dispositivo de Scalp Cooling:

- 1) Funcionalidad
- 2) Comodidad
- 3) Costos
- 4) Confiabilidad

Para cada uno de estos objetivos se plantean objetivos más específicos, los cuales se reescribirán como requerimientos más adelante y se pueden observar en la Figura 9.

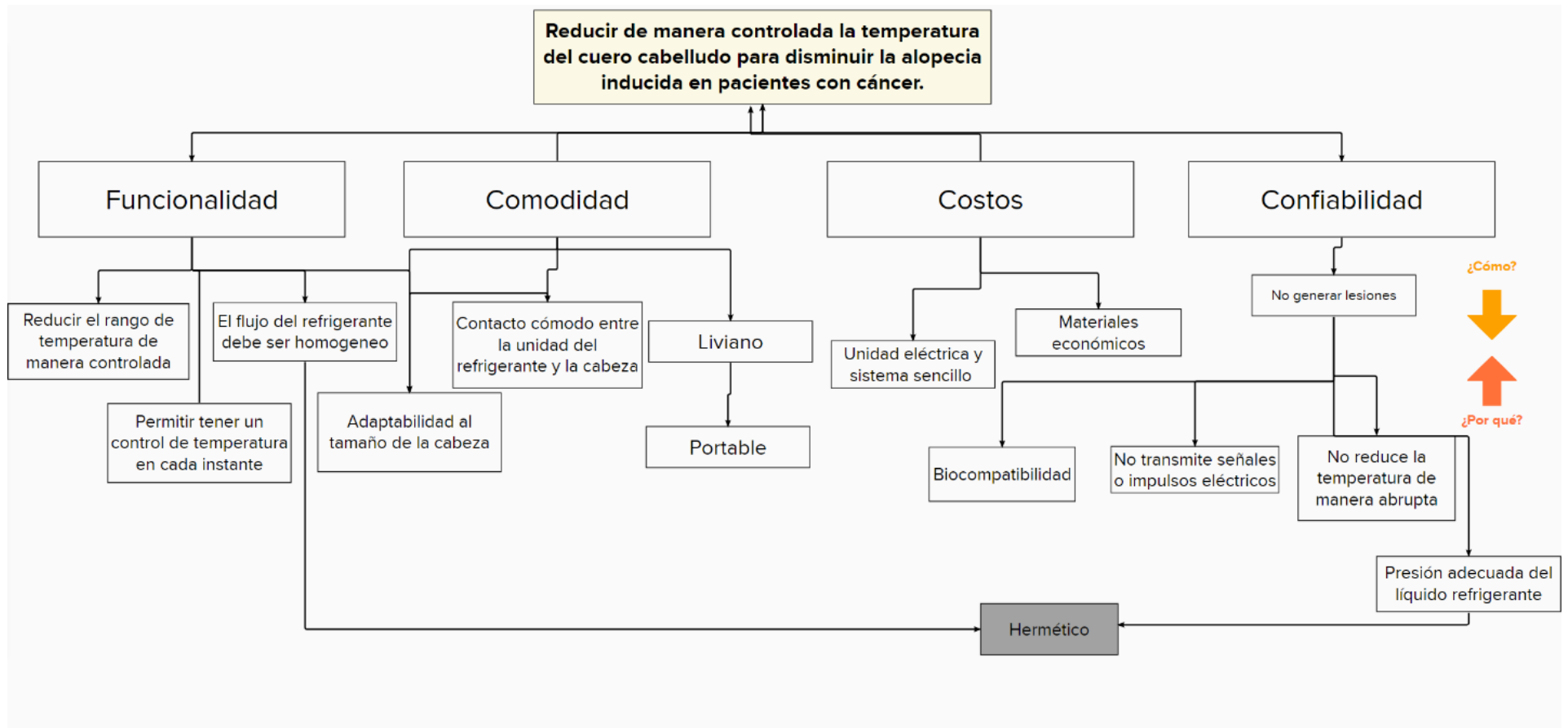


Figura 9. Árbol de objetivos

## 7.2 Establecimiento de funciones

Una vez que se han establecido los objetivos de diseño del dispositivo, el siguiente paso consiste en definir sus funciones. Para lograr esto se crean los diagramas de la caja negra y la caja transparente. Estos diagramas permiten identificar las funciones que el dispositivo debe llevar a cabo al especificar las condiciones de entrada y las salidas deseadas, convirtiendo así las entradas en las salidas correspondientes.

### 7.2.1 Caja negra

En la Figura 10 se puede observar la caja negra y a continuación se explican los elementos presentados en ella.

**Entrada (parte izquierda):** En la parte izquierda del diagrama, se representa la entrada principal del sistema, que son los "Pacientes en tratamiento de quimioterapia con cáncer de mama". Esta es la población objetivo que se beneficiará del dispositivo de scalp cooling.

**Salida (parte derecha):** En la parte derecha del diagrama, se representa la salida deseada del sistema, que son los "Pacientes con disminución de alopecia inducida por medicamentos de quimioterapia". Estos pacientes son el resultado del uso efectivo del dispositivo de scalp cooling.

**Dispositivo de Scalp Cooling (parte central):** El dispositivo de scalp cooling es la "caja negra" en el centro del diagrama. Este dispositivo es el componente clave del sistema.

- El dispositivo tiene la función de tomar a los "Pacientes en tratamiento de quimioterapia con cáncer de mama" como entrada y aplicar su tecnología de enfriamiento controlado para reducir la temperatura del cuero cabelludo durante las sesiones de quimioterapia.
- El proceso interno del dispositivo, que implica el enfriamiento controlado y cómo protege los folículos pilosos de los efectos dañinos de la quimioterapia, se encapsula en esta "caja negra". No se detallan los aspectos técnicos específicos en este nivel de representación, ya que se centra en la función general del dispositivo.

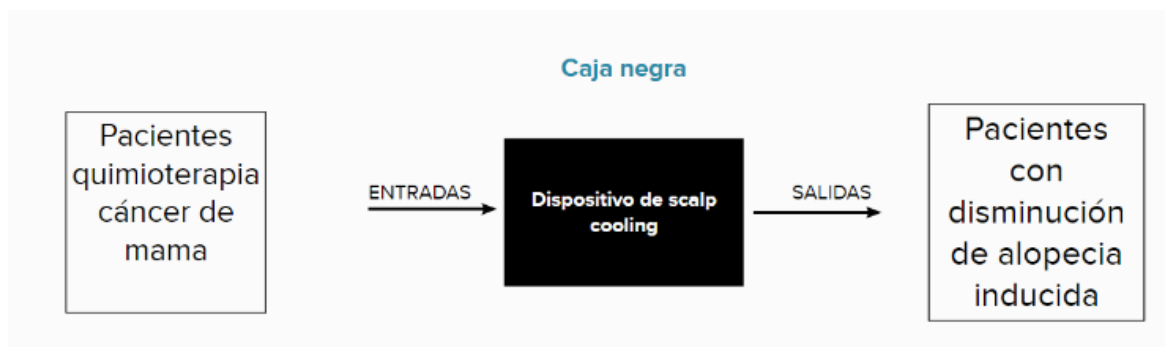


Figura 10. Caja negra.

### 7.2.2 Caja transparente

A partir de las entradas y salidas definidas en la caja negra, se establecen funciones que permiten llevar a cabo las transformaciones de energía necesarias para convertir las entradas en las salidas correspondientes. Este proceso se representa de manera esquemática en la caja transparente, donde se evidencia que estas transformaciones se realizan a través de once funciones específicas. Estas funciones están en coherencia con lo que se describe en el árbol de objetivos, y se utilizarán más adelante en el diagrama morfológico para generar diferentes alternativas de solución.

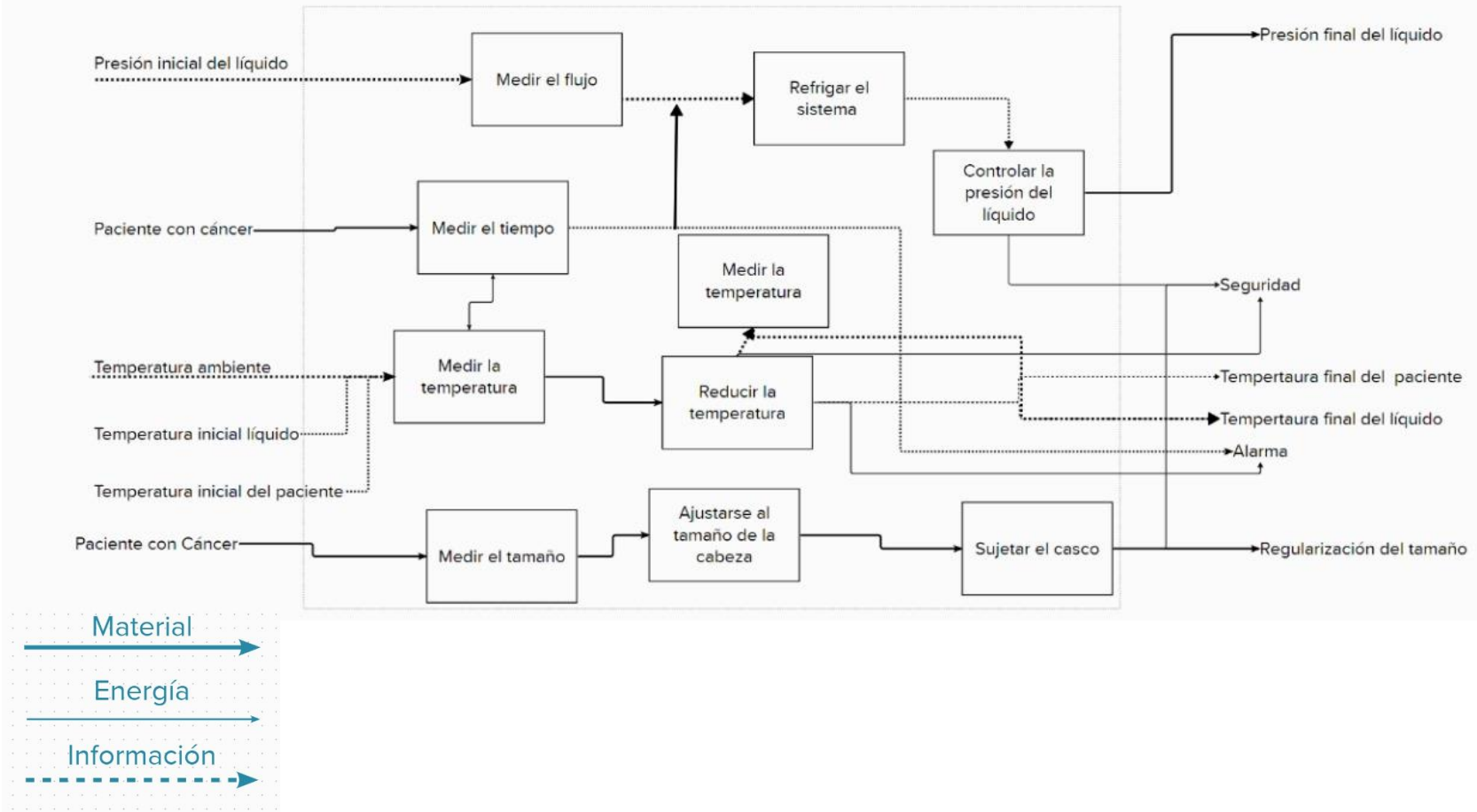


Figura 11. Diagrama de caja transparente

## 7.3 Fijación de requerimientos

Durante el proceso de diseño, es esencial definir límites que determinen la aceptabilidad de las posibles soluciones generadas. Cross propone un método llamado "método de la especificación del rendimiento" para establecer estos límites. El primer paso en este método implica definir el nivel de especificidad o detalle con el cual se trabajará. Un mayor nivel de especificidad brinda al diseñador una mayor libertad para proponer alternativas, mientras que un menor nivel conduce a una lista más reducida de soluciones aceptables [49]. Dado que estamos buscando diseñar un nuevo dispositivo de "Scalp Cooling" que amplíe las opciones disponibles en el mercado y que incorpore características avanzadas para destacar entre la competencia, optaremos por el nivel de especificidad más bajo. Esto significa que nuestro enfoque principal será en las características del dispositivo en sí.

El siguiente paso es definir los requisitos del dispositivo y distinguir entre deseos y demandas, es decir, requisitos obligatorios para el funcionamiento del producto. La Tabla 5 presenta la lista de requisitos para el diseño del dispositivo de "Scalp Cooling". La mayoría de estos requisitos se derivan directamente del árbol de objetivos o se extrapolan de él.

Tabla 5 Lista de requerimientos

<b>Demanda</b>	<b>Deseo</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Magnitud</b>
x		Temperatura del fluido	-5 – 1 grados centígrados
x		Temperatura epicutánea	19-22 grados centígrados
	x	Peso unidad de refrigeración	44 kg – 65 kg
	x	Peso del casco	700 a 900 gr
x		Flujo del refrigerante	10-50 ml/s
x		Voltaje de operación	110-240 VAC
	x	Disminuir costos de tratamiento	35 – 40% menos
x		Tiempos de operación	0 < t < 240 min

<b>Demanda</b>	<b>Deseo</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Magnitud</b>
x		Biocompatibilidad	Sin reacción alérgica
x		Comodidad del casco	
x		Monitoreo y control continuo del sistema	
x		Permitir pausas	

A partir de estos requisitos, se procede a determinar cuáles son las características que deben recibir una mayor prioridad en el diseño. Esta evaluación se realiza tanto desde la perspectiva del equipo de trabajo como desde la perspectiva del cliente, que en este caso son los potenciales usuarios del dispositivo de "Scalp Cooling" y sus familiares.

## 7.4 Determinación de características

Con el fin de determinar qué características del dispositivo deben recibir prioridad y asegurar que esta priorización sea congruente no solo con los objetivos y requisitos previamente establecidos, sino también con los deseos y demandas del cliente, se procederá a desarrollar la "matriz de despliegue de la función de calidad", también conocida como la "casa de la calidad". Esta matriz permite comparar las necesidades del cliente con los requisitos de diseño definidos por el equipo de trabajo. Previo a la construcción de dicha matriz, y con el fin de satisfacer las necesidades de los profesionales de la salud y los pacientes, se realizó una encuesta, en la cual los participantes son profesionales en área de cáncer, es decir, médicos oncólogos, y pacientes que tuvieron o han tenido relación con enfermedades oncológicas.

Dicha encuesta buscaba satisfacer inquietudes relacionadas con la percepción que podrían tener los pacientes frente al dispositivo, indagar en aspectos tales como que tanto afecta emocionalmente la caída de cabello a los pacientes, contextualizar sobre el tratamiento si no se tiene información de este, identificar cuáles son las expectativas de dichos pacientes frente a lo que se puede ofrecer, comprender los deseos de los mismos frente a aspectos tales como comodidad y poder priorizar algunos aspectos útiles a la hora de poder diseñar.

Para la realización de la casa de la calidad en las encuestas se tuvieron aspectos tanto para pacientes como para médicos, en donde se evaluaron aspectos como:

1. Acumulación de calor
2. Efectividad en todo tipo de pacientes
3. Prevención del dolor de cabeza
4. Vida útil
5. Comodidad y peso
6. Facilidad de uso y transporte
7. Efectos secundarios
8. Tratamiento menos invasivo

CUSTOMER ATTRIBUTES		CARACTERÍSTICAS INGENIERILES	Efectividad en todos los pacientes	Control fluido líquido refrigerante	Sistema de bandas para enfriamiento	Temperatura del fluido	Peso unidad de refrigeración	Peso del casco	Voltaje de operación	Disminuir costos de tratamiento	Tiempos de operación	Biocompatibilidad	Comodidad del casco	Monitoreo continuo del sistema	Permitir pausas
MÉDICO	Efectividad del tratamiento	8	❖	■	◆	❖					❖	■		◆	◆
MÉDICO	Evitar acumulación de calor	8	❖	❖	❖	❖			□		◆			❖	◆
MÉDICO	Efectividad en pacientes con ciclos	6	❖	◆	❖	❖					❖	■		◆	◆
MÉDICO	Efectividad en pacientes sin ciclos	7	❖	◆	❖	❖					❖	■		◆	◆
MÉDICO	Prevenir el dolor de cabeza	9	□	■	■	◆		■			◆	◆	◆	■	❖
MÉDICO	Dispositivo con Perforaciones	5	❖	□	□	◆		■		■	■		◆	◆	
MÉDICO	Vida útil	9	■	◆	■	■	□		◆	❖	❖	◆	■	■	■
PACIENTE	Comodidad	9			□	□	❖	❖		■	◆		❖		
PACIENTE	Peso	7			□	□	❖	❖		■			■		■
PACIENTE	Facilidad de uso	5		□		□		□		■				◆	□
PACIENTE	Fácil de transportar	7					❖		◆	❖	◆				
PACIENTE	Tratamiento menos invasivo (dispositivos)	8	◆	■	□					◆	■		■	◆	□
PACIENTE	Prevenir el dolor de cabeza	9	□	■	■	◆		■			◆	◆	◆	■	❖
PACIENTE	Menor cantidad de efectos secundarios	10	■	❖	■	■		❖		■	◆	■	❖	❖	❖
PACIENTE	Prevenir la caída de cabello cíclica	10	❖	■	❖	❖				■	❖	■		◆	◆
PACIENTE	Seguridad	10	□	■	■	◆			❖	■	❖	❖		❖	◆
<b>Escala</b>			<b>m3/s</b>		<b>°C</b>		<b>Kg</b>	<b>Kg</b>	<b>V</b>	<b>\$</b>	<b>s</b>		<b>Es</b>		
			529	466	497	627	216	308	216	368	831	375	381	627	607
			0,078	0,069	0,073	0,092	0,032	0,045	0,032	0,054	0,122	0,055	0,056	0,092	0,089

RELACIONES		
Fuerte positiva	❖	9
Mediana positiva	◆	6
Mediano negativa	■	3
Fuerte negativa	□	1

Figura 12. Casa de la calidad

Con los requerimientos del cliente, el valor otorgado por el mismo y los atributos relacionados a ingeniería de estos se construyó la casa de la calidad mostrada anteriormente, en la zona izquierda se tienen todos los atributos que el cliente considera importantes de manera que se pueda obtener la percepción del cliente de cualquier aspecto que pueda ser relevante en el diseño para ellos, también se hace una calificación del 1 al 10 para conocer la importancia relativa del cliente de estos atributos, ver Tabla 6.

Tabla 6. Importancia de cada aspecto evaluado

<b>Aspecto Evaluado</b>	<b>Calificación promedio</b>	<b>Ponderado (%)</b>
Efectividad del tratamiento	8	6,30
Evitar la acumulación de calor	8	6,30
Efectividad en pacientes con ciclos	6	4,72
Efectividad en pacientes sin ciclos	7	5,51
Prevenir el dolor de cabeza	9	7,09
Dispositivo con perforaciones	5	3,94
Vida útil	9	7,09
Comodidad	9	7,09
Peso	7	5,51
Facilidad de uso	5	3,94
Fácil de transportar	7	5,51
Tratamiento menos invasivo (dispositivos)	8	6,30
Prevenir el dolor de cabeza	9	7,09
Menor cantidad de efectos secundarios	10	7,87
Prevenir la caída de cabello cíclica	10	7,87
Seguridad	10	7,87

En la zona superior se identifican los requerimientos que se tienen para el diseño del dispositivo, y en la zona central se hace la relación entre los requerimientos de diseño y los atributos seleccionados por el cliente; esto se hace para conocer qué tanta relevancia tiene el atributo del cliente y el requerimiento, se tienen en cuenta cuatro tipos de relaciones: 1. Fuerte positiva, 2. mediana positiva, 3. mediana negativa 4. fuerte negativa. Y, finalmente, en la parte inferior se realiza la ponderación para la relación entre requerimiento y atributo.

Los valores de importancia asignados a cada uno de los requerimientos se obtienen al multiplicar las calificaciones otorgadas a los requerimientos del usuario por sus respectivos pesos relativos y sumar estos resultados para cada requerimiento de ingeniería estos resultados se presentan en la Tabla 7 en donde se puede conocer que los aspectos que tienen más relevancia a la hora del diseño son los tiempos de operación y la temperatura epicutánea, y también poder permitir pausas durante el tratamiento. Como se puede observar, tiene valores congruentes con Tabla 6, dado que para los clientes uno de los aspectos más importantes es prevenir dolores de cabeza y más efectos secundarios

Tabla 7 Requerimientos e importancias

<b>Requerimiento de ingeniería</b>	<b>Importancia</b>	<b>Peso relativo</b>
Efectividad en todos los pacientes	5,29	7,80%
Control flujo líquido	4,66	6,87%
Sistema de bandas para enfriamiento	4,97	7,32%
Temperatura del fluido	6,27	9,20%
Temperatura epicutanea	7,38	10,88%
Peso unidad de refrigeración	2,16	3,18%
Peso del casco	3,08	5,00%
Voltaje de operación	2,16	3,18%
Disminuir costos de tratamiento	3,68	5,00%
Tiempos de operación	8,31	12,00%
Biocompatibilidad	3,75	6,00%
Comodidad del casco	3,81	5,60%
Monitoreo continuo del sistema	6,27	9,00%
Permitir pausas	6,07	10,00%

## **7.5 Diagrama morfológico**

Utilizando las funciones señaladas en la Figura 13 para el dispositivo de "Scalp Cooling", se reconocen las especificaciones necesarias para que el dispositivo pueda desempeñar cada función. Una vez que estas especificaciones han sido identificadas, se procede a crear el diagrama morfológico que incluye las funciones y las especificaciones relacionadas. Para alguna de las especificaciones se propuso dos o tres alternativas, en otra solamente una propuesta. La Figura 13 presenta el diagrama morfológico antes mencionado.

### **7.5.1 Alternativas de diseño**

Basándonos en el diagrama morfológico que se muestra en la Figura 13, en colaboración con el equipo de trabajo, se desarrollan combinaciones de los elementos. Estas combinaciones se detallan y se denominan opciones de diseño. En total se han creado cuatro alternativas. Es importante destacar que las combinaciones se han formulado teniendo en consideración posibles limitaciones entre los diferentes elementos que podrían impedir su combinación mutua.
























Características/Funciones esenciales		Soluciones						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Unidad de enfriamiento	Enfriamiento por agua	Enfriamiento por aire	Tecnología peltier				
								
2	Fuente de energía	Batería recargable	Enchufe eléctrico	Energía solar				
								
		<b>Control de presión</b>		<b>Control</b>	<b>Medición de temperatura</b>		<b>Control de Flujo</b>	
3	Instrumentos	Válvula reguladora	Válvula de alivio	Controlador programable	Sensor infrarrojo	Sensor de contacto	Sensor de temperatura ambiente	Bomba de agua
								
4	Interfaz de usuario	Botones físicos	Pantalla táctil	Control Remoto	Comandos por voz			
								
5	Estructura de sujeción	Diadema ajustable	Gorro de silicona	Gorro de tela				
								
6	Reducción de temperatura	Refrigeración moderada			Refrigeración intensiva			
7	Aislantes Térmicos	Gorro de neopreno	Gorro en algodón	Gorro de icopor				
								
8	Medición de tamaño	Tamaño Único						

Figura 13. Diagrama morfológico


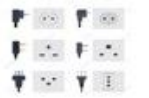






















ALTERNATIVAS	Especificación							
	Unidad de enfriamiento	Fuente de energía	Sensores	Interfaz de usuario	Estructura de sujeción	Reducción de temperatura	Aislantes térmicos	Medición de tamaño
A1						Reducción moderada		Tamaño único
A2						Reducción moderada		Tamaño único
A3						Reducción moderada		Tamaño único
A4						Reducción moderada		Tamaño único

Figura 14. Alternativas de diseño

## 7.6 Alternativas de diseño

En el proceso de evaluación y elección de las opciones, el equipo evaluó cada propuesta de acuerdo con su contribución para cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 5. Se empleó una escala del 1 al 5, donde 1 representa la contribución mínima y 5 la máxima. Luego, se ponderaron los resultados con base en la importancia de estos requisitos, que se determinó a partir de la casa de la calidad. Los resultados de la calificación y ponderación se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8 Evaluación de alternativas.

Requerimiento de ingeniería	Calificación			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Efectividad en todos los pacientes	5	5	4	4
Control flujo líquido	4	5	5	5
Sistema de bandas para enfriamiento	4	4	4	5
Temperatura del fluido	3	5	5	4
Temperatura epicutánea	3	5	5	4
Peso unidad de refrigeración	2	2	2	3
Peso del casco	3	3	2	3
Voltaje de operación	5	4	3	3
Disminuir costos de tratamiento	4	3	2	3
Tiempos de operación	3	4	2	3
Biocompatibilidad	3	4	4	4
Comodidad del casco	4	4	3	4
Monitoreo continuo del sistema	5	5	4	4
Permitir pausas	3	3	5	4
<b>Calificación promedio</b>	<b>3,64</b>	<b>3,96</b>	<b>3,57</b>	<b>3,79</b>

Ya teniendo en cuenta todas las características evaluadas y descritas en la tabla 8, se comenzó a plantear los diseños preliminares de cómo debían ser construidos los sistemas, los cuales podrán ser descritos por las figuras 15 a 19.

Aunque las figuras en cuestión no establecen de manera definitiva las formas y disposiciones finales del dispositivo, funcionan como un primer paso que incorpora las características de la alternativa elegida. Esta representará el inicio del proceso para llevar a cabo el diseño concreto del dispositivo.

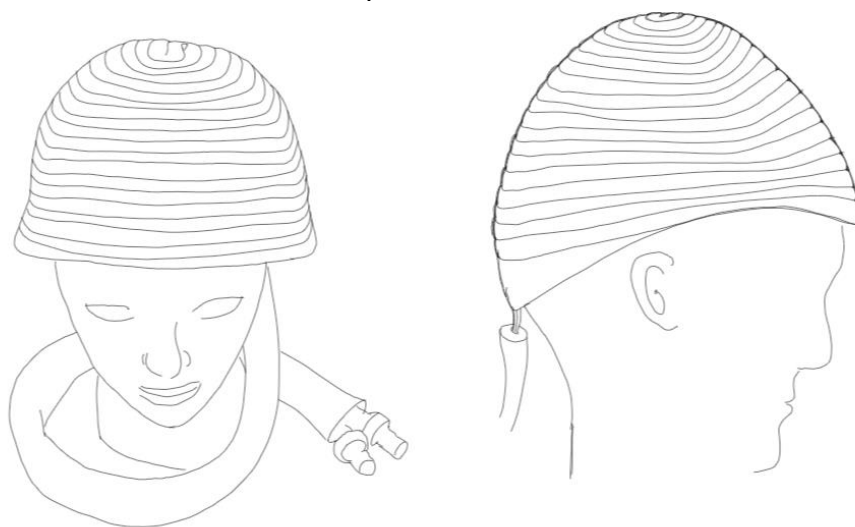


Figura 15. Dibujo casco de refrigeración alternativa 1

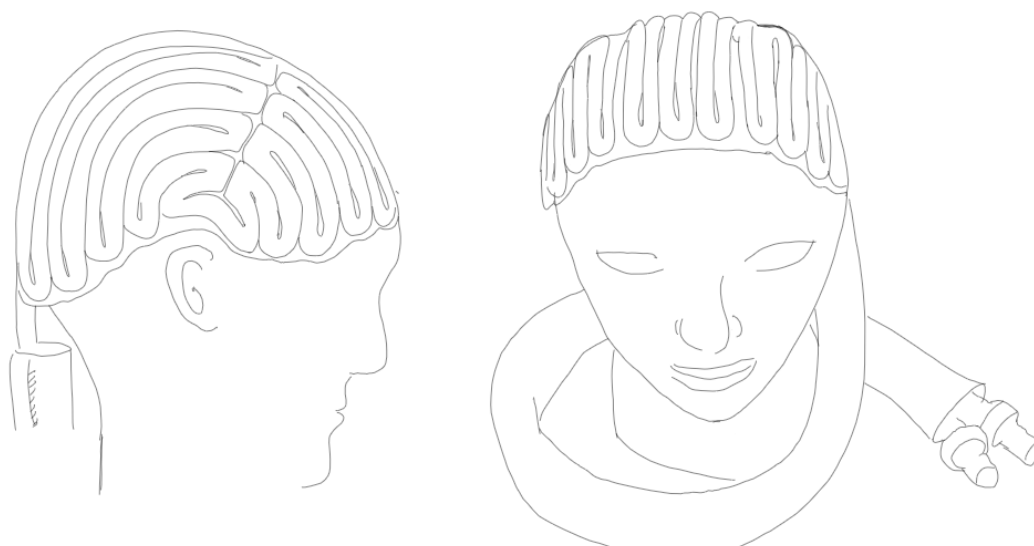


Figura 16. Dibujo casco de refrigeración alternativa 2

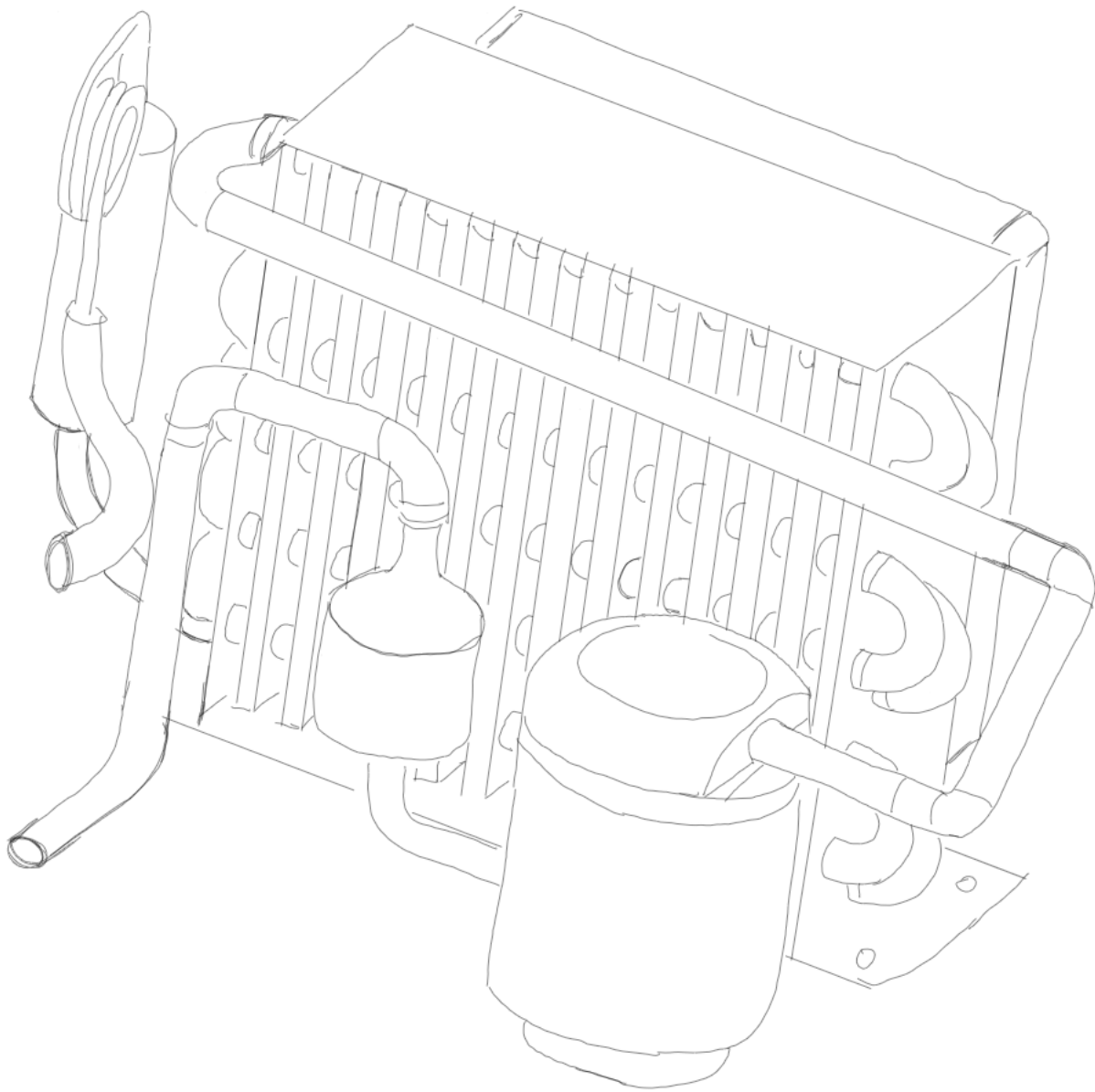


Figura 17. Dibujo del sistema de refrigeración (sin evaporador)

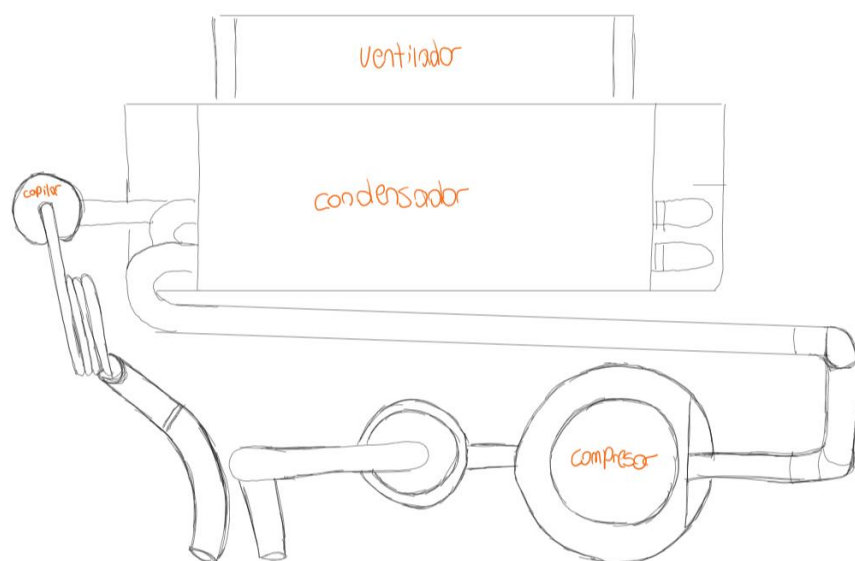


Figura 18. Dibujo de la distribución de los elementos del sistema de refrigeración

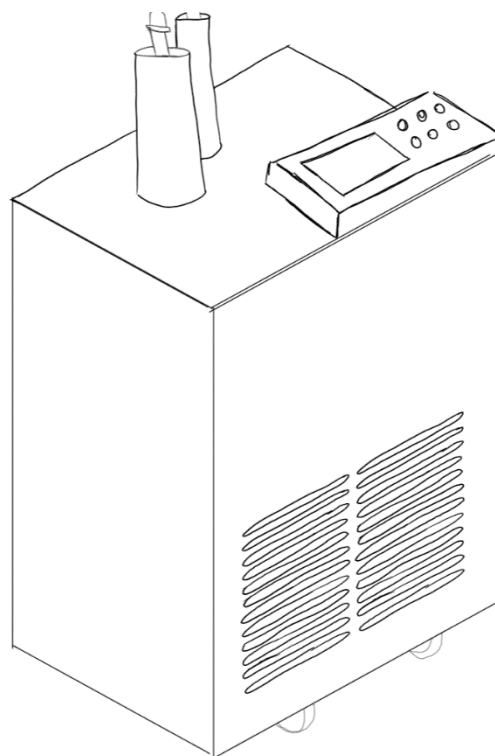


Figura 19. Dibujo del cuerpo de protección del sistema de refrigeración y mando de control

## 8.      Diseño de materialización

En esta sección, se aborda el proceso integral de diseño y materialización del casco de enfriamiento para el cuero cabelludo, se presentarán los cálculos realizados con el objetivo de desarrollar un sistema eficiente que pueda cumplir los objetivos establecidos, como la disminución de la temperatura, su subsiguiente estabilización y un aumento controlado posterior.

### 8.1 Cálculo del calor a retirar

Para determinar la cantidad de calor que debe ser retirada de la cabeza, es crucial considerar el tipo de transferencia de calor que ocurre entre el casco y la cabeza. También es importante tener en cuenta que el cuerpo irradia calor y que el ambiente contribuye generando energía. Por lo tanto, es esencial realizar un balance de energía que evidencie el balance térmico del sistema.

$$Calor\ Total = Q_{Cuerpo} + Q_{Sistema} + Q_{Ambiente} \qquad \text{Ecuación 1}$$

En donde  $Q_{Cuerpo}$  es el calor que irradia el cuerpo de manera natural,  $Q_{Sistema}$  es el calor que se debe extraer, en donde está presente la temperatura de la cabeza, la temperatura del fluido y las resistencias térmicas de los materiales y  $Q_{Ambiente}$  es la energía que está siendo generada en la habitación.

La función principal del casco es extraerle calor a la cabeza, lo que implica que hay una transferencia de calor por conducción en estado estacionario, cuando se refiere a este tipo de transferencia se asume que el medio que no presenta cambios en sus condiciones y permanece constante con el tiempo. A pesar de esto, se mantiene una transferencia de calor constante. En este caso, el fluido que va a actuar como medio será el agua a una temperatura de 1°C, dado que el agua es 100% biocompatible y este es un factor crítico en el sistema, ya que el casco está en un contacto directo con la piel [20]. Es importante añadir que no se está teniendo en cuenta la tasa de perfusión sanguínea del cuerpo sin embargo se asume una generación de calor del cuerpo constante.

Al realizar cálculos en estado estacionario, resulta esencial definir supuestos de manera precisa. En este contexto, se parte de la premisa de que el fluido se encuentra en estado estacionario, sin generación interna de calor, y que sus propiedades termodinámicas permanecen constantes a lo largo del ciclo. También se debe hacer una suposición de que la transferencia de calor ocurre en una sola dirección (conducción unidimensional) esto se hace para poder simplificar los cálculos. En cuanto a la geometría, se considera la cabeza como una esfera, y se establece una temperatura inicial como parte de las consideraciones iniciales.

Cualquier material presenta una resistencia térmica en contra de la conducción de calor, en este caso se hace la suposición de que el material que se utilizará es homogéneo por lo tanto no habrá variaciones en las propiedades termodinámicas del mismo. Esta resistencia depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio, la explicación de esto es análoga con las resistencias eléctricas, así la ecuación para conocer el calor que se debe extraer a la cabeza es:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Sph}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde  $\dot{Q}$  es la tasa de transferencia de calor expresada en Watts, T1 y T2 son las temperaturas de la cabeza y el casco, y  $R_{Sph}$  denota la resistencia térmica. Las resistencias térmicas en este contexto serían de las distintas capas que recubren la cabeza, como se mostrará en la Figura 20:

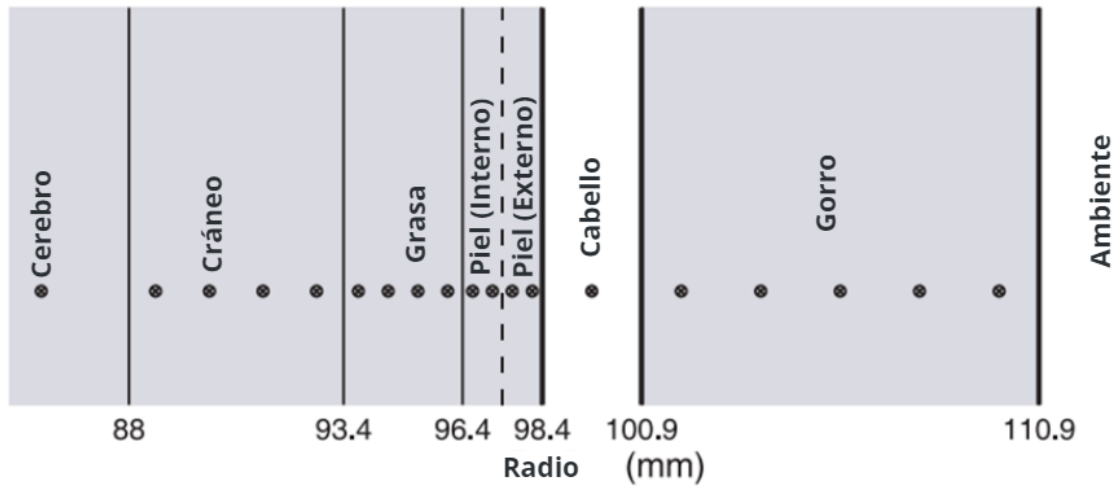


Figura 20 Representación esquemática de las capas de la cabeza y el casco [50]

Dado que se conoce la distribución de las capas en la cabeza, es esencial saber la ecuación que describe la resistencia térmica de una esfera, de la cual la ecuación de resistencia térmica se presenta a continuación:

$$R_{Sph} = \frac{r_2 - r_1}{4\pi r_1 r_2 k} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $r$  representa los radios de las diversas capas y  $k$  es la conductividad térmica expresada en  $\text{watts/mm } ^\circ\text{C}$ . La relación entre estos parámetros proporciona una descripción detallada de cómo la resistencia térmica está influenciada por las dimensiones y las propiedades térmicas de las capas que componen la estructura esférica de la cabeza.

Es importante tener en cuenta para el cálculo de la resistencia térmica total, que la estructura de la cabeza que ha sido tomada en consideración abarca desde la piel hasta el contacto con el ambiente, esta selección se basa en la importancia de esta sección como una aproximación precisa para cumplir los objetivos de este cálculo.

Como se mencionó anteriormente es crucial saber la resistencia térmica de cada sección, por esto hay que conocer la conductividad térmica desde la piel hasta el ambiente para conocer cómo se lleva a cabo la transferencia de calor, las resistencias térmicas se presentan en la Tabla 9 [20], es importante tener en cuenta el material del *casco* que en

este caso es TPU, así  $K_{skin}$ ,  $K_{Hair}$ ,  $K_{Cap}$  son las conductividades térmicas del cráneo, cabello y el casco respectivamente :

Tabla 9. Conductividades térmicas

<b>K<sub>Skin</sub></b>	0,00037	$\frac{W}{mm \cdot ^\circ C}$
<b>K<sub>Hair</sub></b>	0,00037	$\frac{W}{mm \cdot ^\circ C}$
<b>K<sub>Cap</sub></b>	0,0003	$\frac{W}{mm \cdot ^\circ C}$

Otro conjunto de datos esenciales para la ecuación son los radios de las secciones anteriormente seleccionadas, y así remplazando en la Ecuación 3 se tienen los siguientes resultados:

Tabla 10. Resistencias térmicas.

<b>R<sub>1</sub></b>	0,045	$\frac{K}{W}$
<b>R<sub>2</sub></b>	0,054	$\frac{K}{W}$
<b>R<sub>3</sub></b>	0,237	$\frac{K}{W}$
<b>R<sub>Total</sub></b>	0,337	$\frac{K}{W}$

Donde  $R_1$  es la resistencia entre cabello y piel,  $R_2$  entre cabello y el gorro,  $R_3$  entre el gorro y el ambiente, y, por último, la resistencia total es la suma de las resistencias anteriores, estos resultados permiten conocer el calor que se debe retirar de la cabeza para poder llegar a la temperatura seleccionada de 22°C.

Con la resistencia térmica total determinada, se debe aplicar la Ecuación 2 para calcular el calor por conducción que debe retirarse de la cabeza. Es fundamental considerar el delta de temperatura, que se calcula como la diferencia constante entre la temperatura a la que se desea llegar (22°C) y la temperatura de la inicial de la cabeza (37°C) dado que el valor

de interés es el calor que se debe extraer desde una temperatura inicial ya dada hasta los (22°C). La diferencia entre estos dos valores proporcionará el resultado deseado. Es importante destacar que, en la implementación práctica, un sistema de control se encargará de regular la temperatura final a la que se desea llegar, optimizando así el proceso de transferencia de calor para alcanzar el objetivo específico.

Aplicando la Ecuación 1, se determina que la pérdida de calor a través del sistema es realmente de 45 W. En este caso, se asume que se extraerán 45 W por minuto. Dado que los líquidos refrigerantes están diseñados para absorber calor de manera mucho más rápida que el agua, y el agua como líquido refrigerante puede llevar más tiempo en enfriar un cuerpo, se estima que en una hora se extraerán 2774 W, esto se realiza para poder tener una transferencia de calor más exitosa. Este valor se utilizará para calcular la disminución de la temperatura en el cuero cabelludo en el siguiente numeral.

Además de este valor se le añade el valor del calor generado por el cuerpo. En condiciones normales, el cuerpo humano genera aproximadamente 100 Watts de calor. Por otra parte, para conocer el calor del ambiente, es necesario aplicar la ley de Stefan-Boltzmann para conocer la radiación térmica que existe.

$$P = e\sigma A(T^4 - T_c^4) \qquad \text{Ecuación 4}$$

En la ecuación se evidencian los parámetros, donde "e" es la emisividad que en este caso se tomará el valor más alto para evidenciar el punto más crítico, la constante de Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5.6703 * 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$  el Área es el área de la habitación que normalmente es de 20 metros cuadrados, y las temperaturas T y Tc son de 28 (Paredes de la habitación) y 22 (persona) grados Celsius respectivamente, así aplicando la Ecuación 4 se tiene que el valor es de 366 W.

Por lo tanto, tomando la Ecuación 1 el calor total a retirar en el sistema es de 3140 W.

## **8.2 Cálculo de parámetros para disminuir la temperatura**

Cuando un fluido fluye sobre un cuerpo sólido, se experimenta una transferencia de calor por convección externa forzada. La transferencia de calor por convección externa forzada

está influenciada por diversos factores, tales como la velocidad del fluido, las propiedades termo físicas tanto del fluido como del sólido, así como las condiciones de la superficie del sólido.

Para llevar a cabo el cálculo, es esencial conocer la temperatura de la película, la cual está asociada con la capa límite térmica que se forma en la superficie de un objeto expuesto al fluido. Esta temperatura se calcula simplemente tomando el promedio de las temperaturas en juego, en este caso, serían 22°C y 1°C, por lo que la temperatura de película sería de 10,5°C.

Es importante conocer la temperatura para poder saber las propiedades del fluido que se van a utilizar, que en este caso es agua. Las propiedades se presentan en la Tabla 11

Tabla 11. Propiedades del agua [20].

<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Cp [J/Kg*K]</b>	<b>Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Viscosidad [kg/m*s]</b>	<b>Pr</b>	<b>K [W/m*K]</b>
10	4194	999,7	0,001307	9,45	0,58
10,5	4193,1	999,64	0,0012901	9,314	0,5809
15	4185	999,1	0,001138	8,09	0,589

Para determinar el caudal que debe llevar el sistema es importante conocer la ecuación que se utiliza en un contexto de convección externa forzada:

$$Q = h A_s \Delta T \quad \text{Ecuación 5}$$

Además de la ecuación de transferencia de calor, es crucial tener en cuenta ciertas condiciones iniciales para realizar cálculos precisos. Estas condiciones incluyen el radio de la cabeza, que determina el área superficial de la cabeza, así como la longitud total de la tubería y el área de los tubos, las cuales se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Condiciones iniciales.

<b>Longitud tubo</b>	7	m
<b>Área cabeza</b>	0,1017876	m <sup>2</sup>
<b>Radio cabeza</b>	0,09	m
<b>Área tubos</b>	7,854x10 <sup>-05</sup>	m <sup>2</sup>

Con las condiciones iniciales establecidas; y dado que ya se dispone del calor, el área superficial y el delta de temperatura (la diferencia entre la temperatura inicial de la cabeza a 37°C y la temperatura deseada a 22°C) para calcular la velocidad y el caudal para la disminución de la temperatura; el primer paso es determinar el coeficiente de calor convectivo "h" que se puede hallar despejando la Ecuación 5.

Posteriormente, se emplea la Ecuación 6 para calcular el número de Nusselt "Nu", en donde se tienen los parámetros de "h", la longitud de los tubos "L" y la conductividad térmica "K".

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad \text{Ecuación 6}$$

Con este valor, es posible hallar el número de Reynolds "Re". Este se despeja de la Ecuación 7 asociada con el Nu y el Número de Prandtl, asumiendo que se está en un rango de flujo laminar.

$$Re = \frac{Nu^2}{Pr^{\frac{2}{3}} 0,664^2} \quad \text{Ecuación 7}$$

Finalmente, determinamos la velocidad y, con esta información, se calcula el caudal necesario para el sistema, además se utilizará la densidad del fluido "ρ".

$$V = \frac{Re \mu}{L \rho} \quad \text{Ecuación 8}$$

Después de aplicar los pasos anteriores, se lograron obtener los siguientes resultados donde se evidencian el Q como el calor total a extraer. Por otro lado, la variable h denota el coeficiente de transferencia de calor por convección, siendo fundamental para evaluar la

eficiencia de la transferencia de calor entre el casco y la cabeza El número de Nusselt ( $Nu$ ) proporciona información sobre la convección del fluido y la transferencia de calor, mientras que el número de Reynolds ( $Re$ ) caracteriza el régimen del flujo y la naturaleza de la convección en el sistema:

Tabla 13. Resultados primera iteración.

<b><math>Q</math></b>	3139,741	$W$
<b><math>h</math></b>	856,833	$\frac{W}{m^2K}$
<b><math>Nu</math></b>	10325,071	Adimensional
<b><math>Re</math></b>	$5,46 \times 10^7$	Adimensional

Los resultados de los cálculos indican que el Reynolds obtenido corresponde a un régimen turbulento, lo cual invalida la suposición inicial de un flujo laminar. Esto es crucial, ya que impacta directamente en la precisión de los resultados. Por lo tanto, se debe realizar una segunda iteración para obtener con mayor precisión el valor de calor que se retirará del sistema. Esta corrección nos permitirá ajustar las condiciones del flujo y garantizar una evaluación más precisa del intercambio de calor en el sistema.

Por lo tanto, con la nueva información del número de Reynolds, los pasos a seguir difieren en esta segunda iteración. Se comienza con el número de Reynolds conocido, a partir del cual se calculó el número de Nusselt, seguido por la determinación del coeficiente de calor convectivo ( $h$ ) y, finalmente, la estimación más precisa del calor que se retirará del sistema.

$$Nu = (0,037 Re^{0,8} - 871) Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Luego de aplicar los pasos mencionados en la segunda iteración, se determinó que el calor realmente retirado del sistema es aproximadamente 50KW, con la velocidad de 15 m/s que proporcionaron los pasos anteriores. Ante esta discrepancia, se ha tomado la decisión de asignar un valor específico a la velocidad y partir de allí. Este enfoque permitirá ajustar el sistema de manera más controlada para cumplir con los requisitos de transferencia de calor deseados.

Al seleccionar una velocidad del fluido de 2 m/s y realizar los pasos de la segunda iteración, se determinó que el calor a retirar del sistema es de aproximadamente 3959 Watts, un valor que supera ligeramente el calor inicialmente estimado. Aunque este resultado pueda

parecer más alto, la velocidad elegida es razonable para el sistema. Para mantener un control efectivo sobre el sistema y garantizar la regulación adecuada de la temperatura del cuero cabelludo, se implementará un sistema de control que indicará cuándo es necesario ajustar el flujo, permitiendo así una gestión óptima del intercambio de calor en el sistema.

Además, se han llevado a cabo estudios similares, los cuales involucran líquidos refrigerantes. En este caso, con un líquido refrigerante a -8 °C, el flujo másico que obtienen en el estudio [51] es de 0,17 kg/s, similar al que se obtiene en este estudio de 0,16 kg/s, lo cual implicaría una velocidad y caudal similar con el agua; por lo tanto, se puede observar que las variables para cada estudio son similares y se encuentran dentro de los rangos esperados.

En resumen, los resultados importantes para disminuir la temperatura en el sistema son los siguientes:

Tabla 14. Parámetros para la disminución de temperatura.

<b>Calor del sistema</b>	3958,78	W
<b>Velocidad del fluido</b>	2	m/s
<b>Caudal</b>	0,00016	m <sup>3</sup> /s
<b>Flujo másico</b>	0,16	Kg/s
<b>Transferencia</b>	13499,45	Btu/h
	65,92	Watts/min

### 8.3 Cálculo de parámetros para mantener la temperatura del sistema

Para los cálculos, se tomará en cuenta la generación de calor en el cuerpo, ya que es esencial conocer cuánto calor se está generando para contrarrestarlo efectivamente con el sistema y generar un equilibrio térmico. En condiciones normales, el cuerpo humano genera aproximadamente 100 Watts de calor. Esta consideración es crucial para ajustar el sistema y mantener la temperatura deseada de 22°C en la cabeza.

Los pasos realizados son análogos a los anteriores. Inicialmente, se calcula el número de Reynolds, el cual, en este régimen, también indica un flujo turbulento con un valor de  $7,18 \times 10^7$  [20] Procedemos a una nueva iteración para determinar el valor real de calor que el sistema extraería, encontrando que sería aproximadamente 1251 W, mientras que el

calor que se debe extraer es de 100 Watts. Al igual que en iteraciones anteriores, se toma la decisión de asignar una velocidad para ajustar el sistema y permitir la regulación del calor para cumplir con los objetivos deseados.

De esta manera, el valor asignado es de 1 m/s, así los resultados que se obtienen para el caudal son los siguientes:

Tabla 15. Parámetros para mantener la temperatura.

<b>Q</b>	144,993	$W$
<b><math>V_n</math></b>	1	$\frac{m}{s}$
<b>Caudal</b>	7,85E-05	$\frac{m^3}{s}$
<b>Peso</b>	0,079	$Kg$

En donde Q es el calor que extraer,  $V_n$  es la velocidad del flujo, el caudal implica la cantidad de fluido que se desplaza por unidad de tiempo y por último el peso que este generaría.

## 8.4 Otros componentes

Adicionalmente, se realizaron cálculos para otros componentes fundamentales en el sistema, como la bomba y el tanque de recolección de agua. Además, se consideraron los aspectos relativos a la presión, ya que se implementará un sistema de control de presión.

### 8.4.1 Tanque

En el caso del tanque, los cálculos realizados fueron de naturaleza simple. Se consideró un tiempo de recolección, asumiendo un valor elevado para otorgar ventajas al sistema, de 120 segundos. Multiplicando este tiempo por el caudal operativo del sistema, que es de 0,00016 m<sup>3</sup>/s, se determinó el volumen necesario del tanque. Con este método, se obtuvo un valor de 0,019 m<sup>3</sup>, equivalente a aproximadamente 19 litros.

### 8.4.2 Bomba de recolección de agua

Para la bomba de recolección, lo más importante es conocer la potencia de la bomba y conocer cuántos litros por hora está manejando el sistema, para conocer los litros por hora,

simplemente se realiza con el caudal que se había encontrado inicialmente, y se tendrían 565,5 l/h y para la potencia de la bomba se utiliza la formula

$$P = \frac{\rho g Q H}{\mu} \quad \text{Ecuación 10}$$

Aquí, donde H representa la cabeza de la bomba, asumida como un valor de 5 metros desde el suelo hasta la altura del sistema, y  $\mu$  denota la eficiencia, supuesta en un valor de 0,8; teniendo así una potencia de 9,6 Watts.

Además de este valor es necesario calcular las pérdidas de carga por fricción del sistema para saber si la bomba puede superar estas, de esta manera se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{LV^2}{d2g} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde f representa el coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach, L es la longitud de la tubería, V es la velocidad media del flujo, D es el diámetro de la tubería, y g es la aceleración debida a la gravedad; para conocer la velocidad media de flujo es necesario conocer también la rugosidad absoluta que en este caso para el material es de 0.0025 mm[52].

$$V = \frac{2\sqrt{2gh\gamma h}}{\sqrt{L}} * \log_{10} \left( \frac{K_s}{3.7\gamma} \right) + \left( \frac{2.51 * d\sqrt{L}}{d * \sqrt{2gdh}} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde  $\gamma$  representa la viscosidad cinemática, h es la altura a la que se va a elevar,  $K_s$  es la rugosidad absoluta.

Por otra parte, es crucial conocer el coeficiente de rugosidad que se puede encontrar en el diagrama de Moody, en donde se sabe que el material es un material liso entonces su rugosidad relativa es 0:

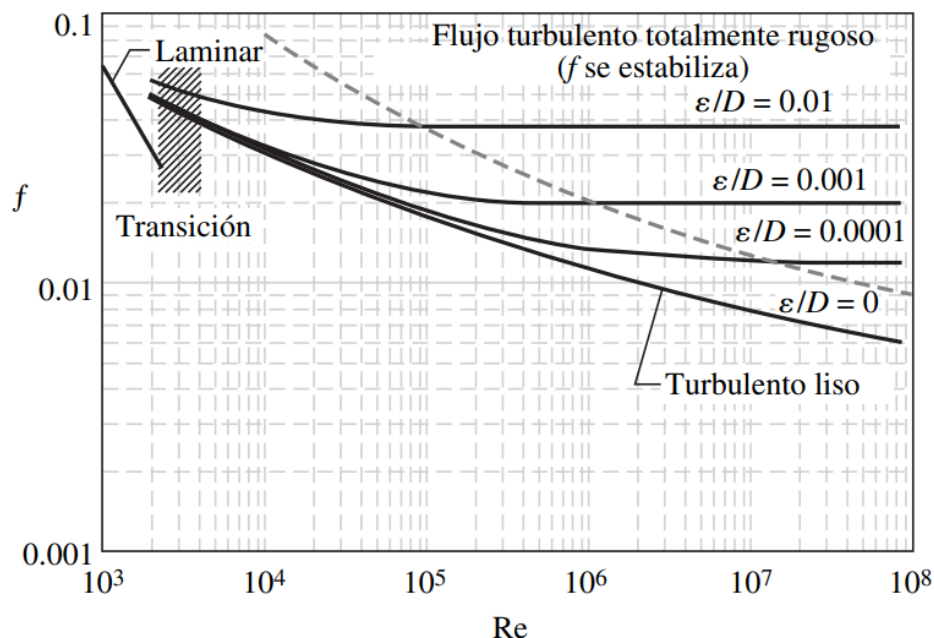


Figura 21. Diagrama de Moody [53]

Con un coeficiente de rugosidad de 0.009 y los valores relevantes disponibles, al aplicar la Ecuación 11 se determina que las pérdidas son de 0.460 metros.

A este valor hay que sumarle las pérdidas menores, en este caso la válvula se asume que solo podrá estar cerrada hasta la mitad de está siendo un caso crítico, así se establece gracias a tablas que el coeficiente de pérdida ( $k$ ) es de 2, así se aplicando la Ecuación 13 se obtiene que el valor es de 0.41 [54]

$$h = k \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 13}$$

Por lo tanto, se concluye que se debe seleccionar una bomba que cumpla con los requisitos establecidos en términos de cabeza. Potencia y caudal.

### 8.4.3 Presión en el sistema

La evaluación de la presión en el sistema se basa en la ecuación de Bernoulli, considerando valores cruciales para la presión estática y dinámica. La cabeza de la bomba que es de 5m y las pérdidas que suman un total de 0.87 m, y la altura a la que se debe subir el fluido

previamente establecida en 1,2 m, contribuye a la presión estática. Por otro lado, la velocidad del fluido, que se establece en 2 m/s, influye en la presión dinámica. Con estos parámetros, se obtiene un valor total de presión de 31,9 kPa.

$$Presión = Presión\ estática + presión\ dinámica$$

Ecuación 14

## **9. Diseño de detalle**

En esta sección, se presentan los detalles del diseño del dispositivo, abordando la ingeniería estructural, abarcando sus componentes, materiales utilizados, especificaciones para la fabricación y proporcionando planos que permitan la fabricación o selección de los componentes del dispositivo, así como las características finales que hacen de esta una solución efectiva para mitigar la pérdida de cabello durante tratamientos oncológicos.

### **9.1 Modelado en CAD**

El proceso de diseño se inició con la creación detallada de modelos en CAD (Diseño Asistido por Computadora) de cada uno de los componentes del circuito de refrigeración y, por último, un ensamble de estos, permitiendo una visualización tridimensional integral del dispositivo.

#### **9.1.2 Ensamble del dispositivo**

La presentación del ensamble se limitará a la exhibición de vistas isométricas en CAD, destacando las diversas perspectivas del ensamblaje. Estas representaciones visuales (Figura 22 y Figura 23) ofrecen una comprensión clara de la disposición y relación entre los componentes clave, sin entrar en detalles técnicos.



Figura 22. Vista isométrica del ensamblaje del dispositivo

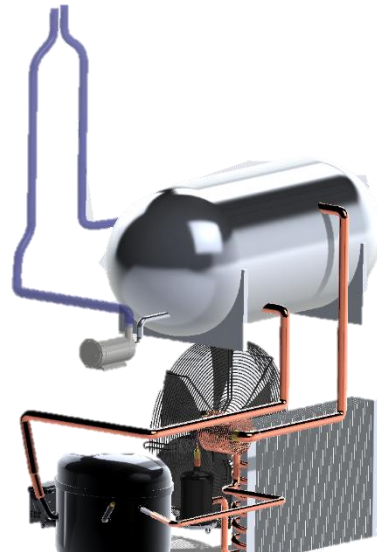


Figura 23. Vista isométrica del ensamblaje de los componentes del dispositivo

Los planos de ensamblaje y los despieces individuales de cada componente se encuentran detalladamente documentados en los anexos. Estos anexos proporcionan una referencia visual que respalda la comprensión y la replicación del diseño del dispositivo de "Scalp Cooling". Sin embargo, a continuación, se detallará de forma superficial cada uno de sus elementos.

### **9.1.3 Casco amoldable**

En la selección del diseño para nuestro casco de "Scalp Cooling" hemos priorizado la eficiencia en la manufactura, un diseño funcional atractivo y de materiales biocompatibles, así como la gestión efectiva de los costos de producción. Se optó por un enfoque que destaca por su simplicidad y eficiencia, como se puede observar en la Figura 15. Este diseño, reduce los costos unitarios a diferencia de la otra alternativa planteada en la Figura 16, el cual es un diseño un poco más complejo, lo cual implica mayores costos en su manufactura. A continuación, se presenta un casco capilar modular y adaptable, diseñado

para amoldarse a diversas formas y tamaños de cabeza, gracias al flujo de agua, por medio de tuberías amoldadas a dicho casco se extrae el calor de la cabeza.



Figura 24 Vista frontal de casco



Figura 25. Vista lateral del casco

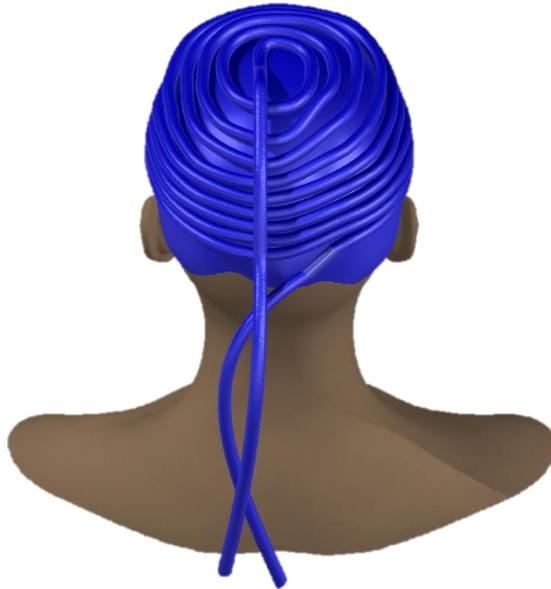


Figura 26. Vista superior del casco

El material seleccionado para el casco, al igual que fue mencionado en el apartado de cálculos es poliuretano termoplástico, o por sus siglas en inglés TPU, este es un material que permite realizar la manufactura del casco de manera fácil y económica por medio de impresión 3D; sus propiedades térmicas lo hacen un material adecuado para su implementación en este proyecto además de que es un material con excelentes propiedades de rendimiento como la resistencia a los fluidos corporales, conductividad térmica y propiedades de biocompatibilidad.

#### **9.1.4 Otros elementos del circuito de flujo de líquido**

El sistema de flujo de líquido frío se encarga de bombear el agua hacia el casco que previamente se presentó anteriormente. Los elementos que lo componen además del casco son:

- El tanque en el cual se va a almacenar el agua fría que va a circundar la tubería del casco, dicho tanque se puede observar en la Figura 27. Para la selección del tanque se tuvo en cuenta el cálculo realizado en apartado 8.1.4, el cual evidencia la necesidad de un tanque de 19L, por tal motivo se buscó una referencia comercial

que fuera cercana a este valor, dicha referencia seleccionada puede ser evidenciada en los anexos.

- Una bomba, que será la encargada de hacer llegar el fluido a todo el casco la cual se representa en la Figura 28. Para la bomba, también se seleccionó una referencia comercial que se puede evidenciar en los anexos, la cual cumple con las especificaciones técnicas que se requieren después de hacer los cálculos del apartado 8.4.2 en donde valores obtenidos y asumidos en los cálculos tales como potencia, cabeza de la bomba y caudal son el criterio de selección de este elemento.

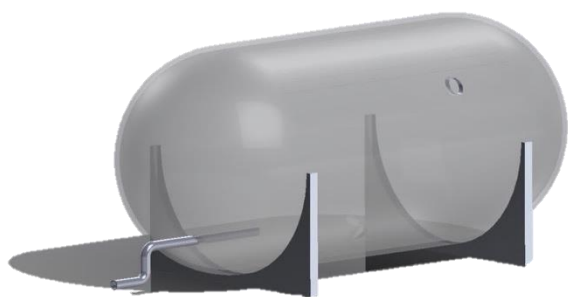


Figura 27. Tanque de agua

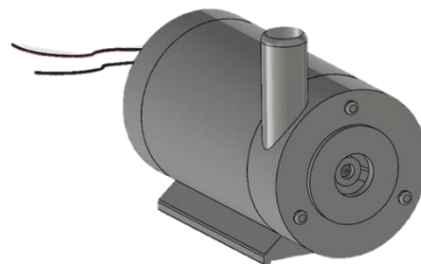


Figura 28. Mini bomba de agua

### 9.1.5 Elementos del circuito de refrigeración

El circuito de refrigeración, el cual va a permitir enfriar el agua del tanque a la temperatura deseada está compuesto por los siguientes elementos:

- Un compresor, el cual se le conoce como el "corazón" del sistema de refrigeración, su tarea es tomar el refrigerante en estado gaseoso y comprimirlo para iniciar el ciclo. Para el compresor se utilizó un modelo 3D que se puede visualizar en la Figura 29 que representara la selección que fuera útil (en términos de eficiencia, fluido de trabajo, alimentación) para nuestro modelo, dicha selección se hizo teniendo en cuenta compresores comunes de sistemas de refrigeración que se pueden encontrar

en neveras de minibar, aires acondicionados pequeños, todo esto en pro de buscar referencias comerciales que se ajustaran a nuestro propósito, dado que el único fin del circuito de refrigeración es llevar el agua a la temperatura deseada. Como primer criterio de elección se buscó un compresor que fuera para aplicación móvil, después de investigar los tipos de compresores existentes en el mercado, se optó por un compresor de pistón ya que estos son los más económicos del mercado, ligeros y de fácil mantenimiento, idealmente dicho compresor debía ser de alta presión de retorno o por sus siglas en inglés HBP (High Back Pressure), estos compresores suelen utilizarse en sistemas de refrigeración comercial y de temperatura media, es decir temperaturas no tan bajas, como buscamos únicamente reducir la temperatura del agua a 1 grado, no requeríamos un compresor de tan bajas temperaturas, por lo tanto este era ideal. Adicionalmente, se tomó en cuenta el gas para el cual está diseñado el compresor, que para nuestra aplicación es el R-134a debido a su bajo impacto ambiental más adelante se dará información más detallada de por qué se escogió este tipo de refrigerante. La referencia de la elección se puede evidenciar la Tabla 18.

- Un condensador (Figura 30), el cual libera el calor absorbido por el refrigerante en el casco al entorno, permitiendo que el refrigerante se condense de nuevo en estado líquido. Las consideraciones de este componente se dieron de acuerdo con el espacio que se estimó para este mismo dentro del contenedor, el cual es de 40 cm de ancho, 34 cm de alto y 6 cm de profundidad, y que a su vez cumpliera su función dentro del circuito de refrigeración. Se escogió una referencia comercial la cual se especifica en los anexos.
- Un ventilador (Figura 31), que permite disipar el calor que libera el condensador. El criterio de selección para este componente se dio de acuerdo con el tamaño del condensador, ya que, como especificación, este debe cubrir casi en su totalidad el área de la cara frontal del condensador para poder disipar de mejor manera el calor emitido por este, se buscó una referencia comercial de referencia que cumpliera con las dimensiones máximas del espacio diseñado para este elemento, las cuales son de 34 cm de alto, 10 cm de profundidad y 40 cm de ancho.
- El filtro deshidratador (Figura 32), el cual se encarga de eliminar los rastros de humedad antes de entrar a la tubería capilar. Esta es una referencia comercial, ue

únicamente debe cumplir con la capacidad del compresor seleccionado, las características de la selección están descritas en la Tabla 18 .

- Un evaporador (Figura 34), el cual permite la expansión del refrigerante y hace el cambio de estado de este mismo; como su nombre lo indica, lo evapora, para luego poder entrar al compresor en estado gaseoso. Este fue diseñado de acuerdo con las necesidades del proyecto, como el espacio disponible en el tanque de agua, esto se evidencia en los planos anexos.
- Las tuberías y válvulas correspondientes a cada una de las partes del sistema tales como tubo capilar, válvula reguladora, se buscaron referencias comerciales que se adecuaron a las dimensiones requeridas para un compresor de las características de entrada y salida seleccionadas.



Figura 29. Vista isométrica del compresor

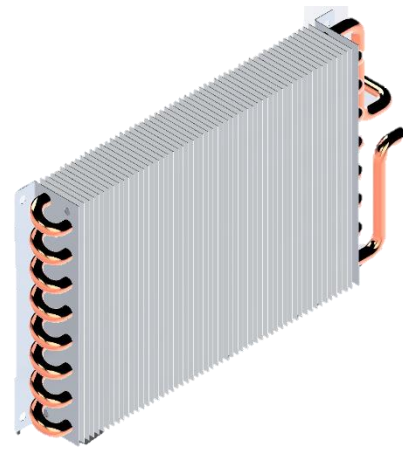


Figura 30. Vista isométrica del condensador



Figura 32. Vista isométrica  
filtro deshidratador

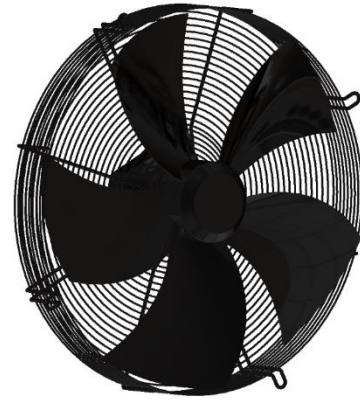


Figura 31. Vista isométrica ventilador

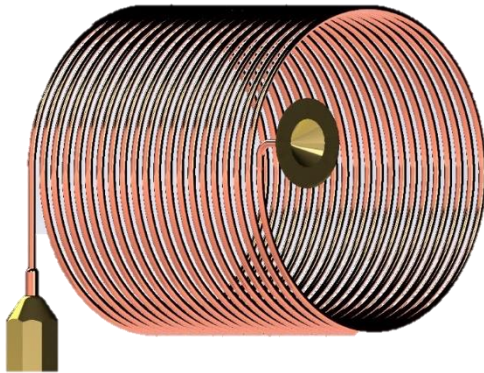


Figura 33. Vista isométrica tubería capilar

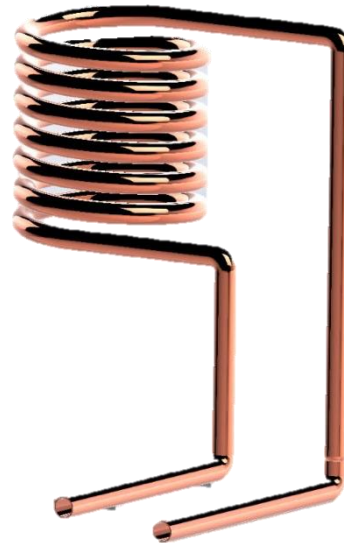


Figura 34. Vista isométrica del  
evaporador

## 9.2 Listas BOM

En la sección de la Lista de Materiales (BOM, por sus siglas en inglés), se desglosan los componentes esenciales destinados a la construcción del dispositivo de enfriamiento para el cuero cabelludo que está siendo diseñado. Esta lista proporciona una visión completa de los elementos necesarios, desde componentes electrónicos hasta materiales estructurales, que se utilizarán en la implementación de la solución de enfriamiento.

Se presenta la lista BOM de primer nivel, detallando los elementos esenciales, en la Tabla 16.

Tabla 16. Lista de materiales de primer nivel.

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Condensador	Condensador de aire con aletas, tubería de cobre y cuerpo de aluminio	1
2	Ventilador	Ventilador 550 mm de diámetro	1
3	Compresor	Compresor tipo alternativo HBP, para refrigerante R-134a, voltaje de entrada 115 V	1
4	Gabinete	Gabinete elaborado en ABS	1
5	Casco		1
6	Tanque de agua	Tanque de aluminio con capacidad de 19 L	1
7	Bomba de agua	Bomba de agua rotativa 12V DC, capacidad de 560 L / h	1
8	Evaporador		1
9	Tubo capilar	Tubería capilar de 2 mm de diámetro interno	1
10	Tapa Gabinete	Tapa elaborada en ABS	1
11	Filtro deshumidificador		1

Esta lista sirvió como base para la construcción del modelo CAD, donde las descripciones de cada componente en la lista BOM fueron consideradas.

Tras completar el modelo, se generó la BOM específica en la Tabla 17, proporcionando detalles de cada componente, incluyendo materiales, cantidades, especificaciones y

descripciones. Esta lista se diseñó con el propósito de facilitar la fabricación del dispositivo, ofreciendo una guía para el proceso de manufactura; para el ensamble de los elementos del circuito de refrigeración se recomienda soldar sus componentes.

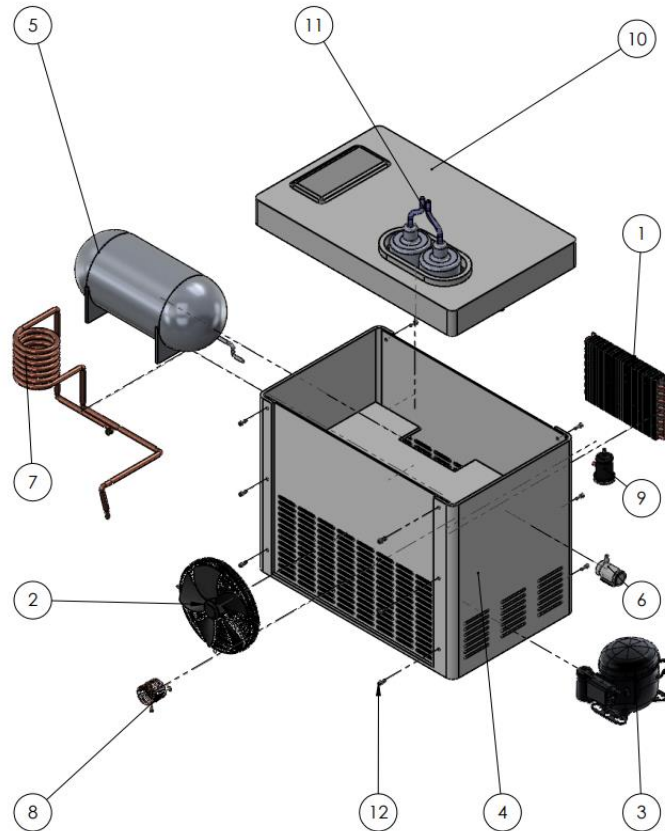


Figura 35. Vista isométrica explosionada del ensamble

La vista isométrica presentada en la Figura 35 permite identificar cada uno de los componentes con su respectiva numeración, la cual hace referencia a la primera columna de la Tabla 17. Después de definidas las características de cada uno de los componentes, se estableció que los elementos: uno, cuatro, cinco, ocho y diez se deben fabricar con requerimientos específicos, y los elementos restantes se pueden conseguir de forma comercial.

Tabla 17. Lista detallada de materiales

ITEM NO.	Descripción	QTY.	MATERIAL	Especificaciones	OBSERVACIONES
1	Condensador	1	Aluminio, Cobre	Condensador de aluminio 360 mm x 210 mm x 47mm , tubería interna de cobre de 9 mm diámetro interno	
2	Ventilador	1	Acero	Motoventilador Axial 550mm – YWF4E-550S-137/50-G – 220V/1PH/60Hz, C/Rejilla (-30C a +60C) – WG	inoxidable
3	Compresor	1	Acero	Compresor de 1/6 HP (600 BTU) para Refrigerante R134 115V Modelo CMA042LHCM	
4	Gabinete	1	Aluminio		
4.1	Caja de contención	1	Aluminio		
4.2	Sub piso del gabinete		Aluminio		
4.3	Tapa lateral gabinete	2	Aluminio		
5	Tanque de agua	1	Acero	Tanque Hidroneumático Diafragma 20 Lts Modelo MNP 20H	inoxidable
6	Bomba de agua	1	ABS	Caudal: 800L/h (m3/h) Elevación máxima: 5 metros- succión horizontal - impulsor abierto	
7	Evaporador	1	Cobre	Tubería de cobre helicoidal de 13 mm de diámetro interno	
8	Tubo capilar	1	Cobre	Tubería helicoidal de diámetro interno de 1.5 mm	
9	Filtro dehumidificador	1	Acero	Filtro secador hermético, DML, Tubería de cobre 023Z5058	
10	Tapa Gabinete	1	ABS	50mm x 800mm x 500mm	
11	Tubería de flujo a casco	1	Silicona	Tubo de silicona de 12mm de diámetro interno y espesor de 1mm	
12	Tornillo de ajuste	18	Acero	Tornillo hexagonal M8 x 20	

### 9.3 Diagrama P&ID

En la sección de Diagramas P&ID (Diagramas de Tuberías e Instrumentación), se presenta una representación visual de la disposición y conexión de los elementos fundamentales en el diseño del dispositivo de enfriamiento para el cuero cabelludo. Estos diagramas ofrecen una comprensión integral de la red de tuberías, válvulas, instrumentos y otros componentes del sistema.

En esta sección, se destaca que el dispositivo se divide en dos sistemas, cada uno con su propio diagrama. El primero es el sistema TANQUE-BOMBA-CASCO (Figura 36), diseñado para la circulación del agua fría almacenada en el tanque. El segundo sistema se enfoca en la refrigeración y abarca componentes como COMPRESOR-CONDENSADOR-FILTRO-CAPILAR-EVAPORADOR (Figura 37). Dichos sistemas se interceptan por medio del evaporador.

En este último sistema, el cual no tendrá contacto directo con el paciente, el fluido de trabajo es el refrigerante R-134a, perteneciente a la familia de los hidrofluorocarbonos (HFC). Es importante señalar que los HFC, al carecer de cloro, tienen un menor impacto en la capa de ozono en comparación con los refrigerantes que contienen cloro, como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y clorofluorocarbonos (CFC). El R-134a se ha utilizado ampliamente en sistemas de aire acondicionado automotriz y aplicaciones de refrigeración, reemplazando a veces a refrigerantes más antiguos, como el R-12 (un CFC), que tenían efectos ambientales más adversos [55].

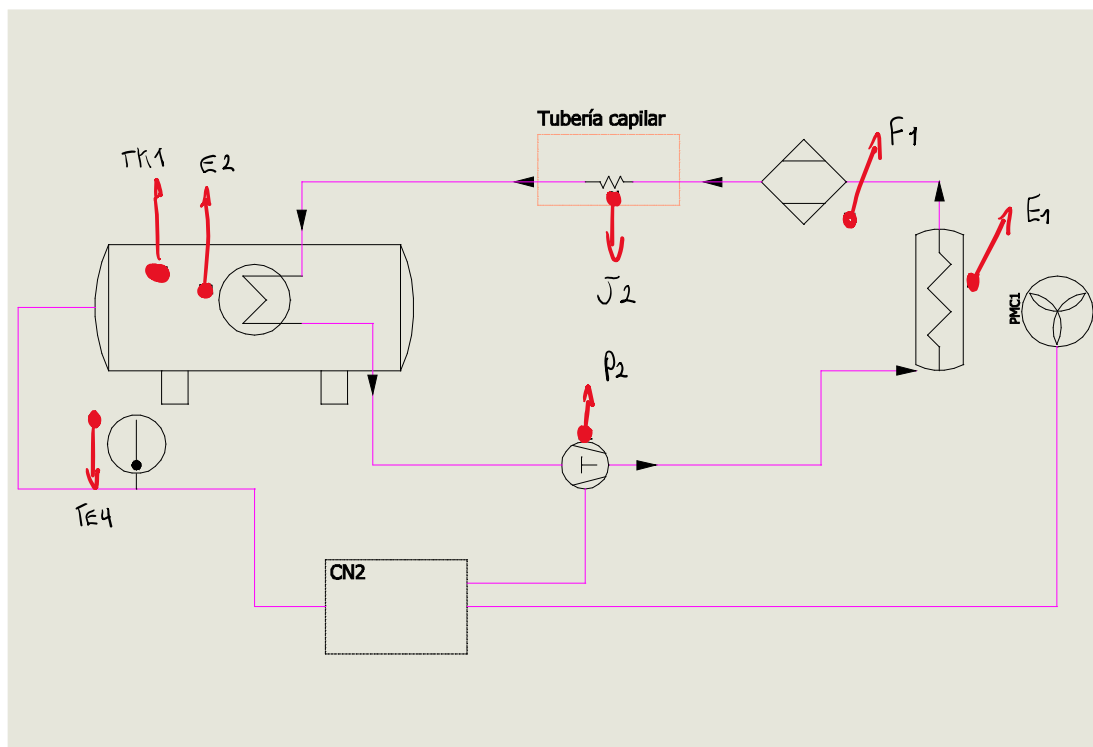


Figura 36. Diagrama P&ID del sistema de refrigeración

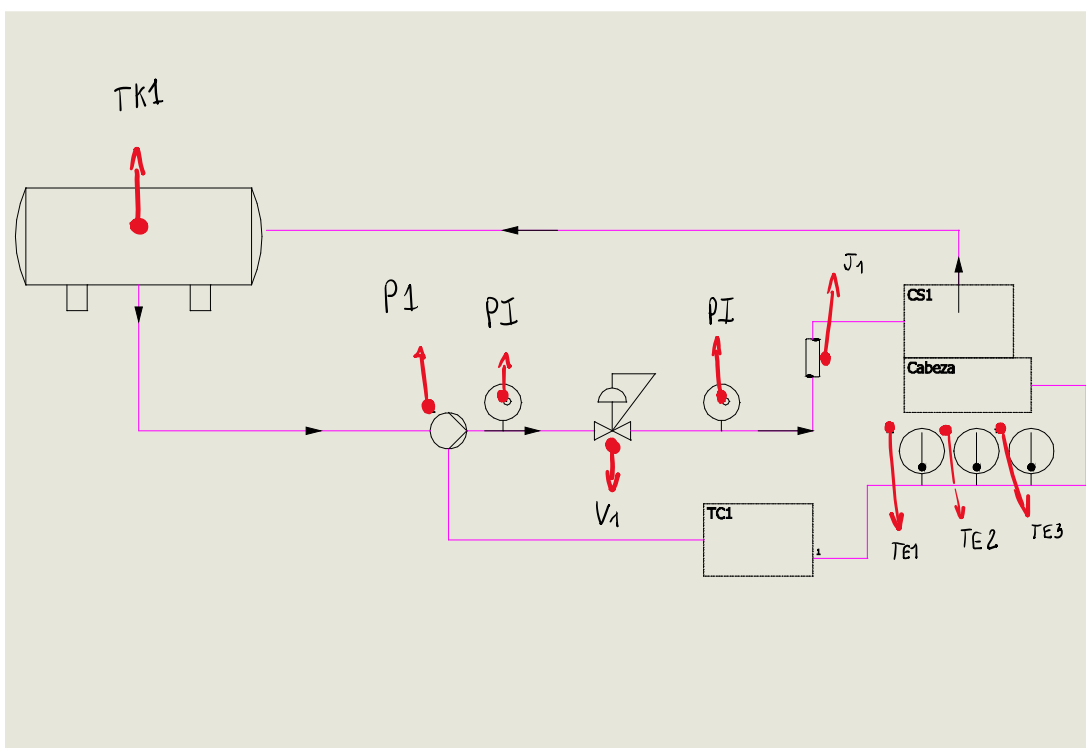


Figura 37. Diagrama P&ID sistema de bombeo de agua

Después de completar los diagramas, se elaboró una lista de instrumentación detallada, la cual proporciona información específica sobre cada elemento mencionado (en la primera columna se encuentra la referencia usada dentro del P&ID para cada uno de los componentes). Este enfoque permite una identificación precisa de las características y especificaciones de cada componente delineado en los P&ID.

Tabla 18. Lista detallada de instrumentación

Lista de instrumentación			
Ref.	Nombre	Descripción	QTY.
TK1	Tanque de agua	Tanque hidroneumático diafragma 20lts	1
CN1	Controlador 1	CONTROLADOR PROGRAMABLE MODELO FP23, precisión ±0.1 % FS + 1 Dígito, Interfaz RS- 485 Protección IP66 Fuente de energía universal de 100 ~ 240 VAC ± 10%	1
CS1	Casco silicona		1
CN2	Controlador 2	CONTROLADOR PROGRAMABLE MODELO FP23, precisión ±0.1 % FS + 1 Dígito, Interfaz RS- 485 Protección IP66 Fuente de energía universal de 100 ~ 240 VAC ± 10%	1
E1	Condensador	Condensador de tubería cobre, aletas de aluminio 360mm x 210mm	1
E2	Evaporador	tubería de cobre helicoidal 13mm diámetro interno	1
PMC1	ventilador	Motoventilador Axial 550mm – YWF4E-550S-137/50-G – 220V/1PH/60Hz, C/Rejilla (-30C a +60C) – WG	1
J2	Tubo capilar	Tubo capilar de cobre de 0,80 x 2 mm.	
P1	Bomba de agua	Caudal: 800L/h (m3/h) Elevación máxima: 5 metros- succión horizontal - impulsor abierto	1
P2	Compresor	Compresor de 1/6 HP (600 BTU) para Refrigerante R134a, HBP 115V	1
F1	Filtro deshumidificador	FILTRO SECADOR DML ELIMINADOR PARA R134a CONEXION 3/8 X 3/8 SOLDAR ODF COBRE LONGITUD TOTAL 158mm	1
V1	Valvula reguladora	Valvula reguladora 1/2, 798790001	1
PI	Indicador de presión	Medidor de presión 0-40 KPa	
J1	Aislamiento térmico	Rubatex Aislante 1 1/8	1
TE1	Medidor de temperatura 1	Termopar para superficie TC50-O, Tipo K, Aislado	
TE2	Medidor de temperatura 2	Termopar para superficie TC50-O, Tipo K, Aislado	
TE3	Medidor de temperatura 3	Termopar para superficie TC50-O, Tipo K, Aislado	
TE4	Medidor de temperatura 4	Termopar para superficie TC50-O, Tipo K, Aislado	

## 10. Estudio de prefactibilidad económica

A lo largo de este trabajo, se han explorado diversos aspectos vinculados al "Scalp Cooling", analizando su aplicación y sus posibles beneficios. Sin embargo, para comprender completamente el potencial de esta tecnología, es necesario realizar una evaluación de su prefactibilidad económica.

El objetivo actual se concentra de manera específica en esta evaluación, ofreciendo un análisis de la viabilidad técnica y económica vinculada a la implementación del enfriamiento del cuero cabelludo como parte integral de los protocolos de tratamiento oncológico. En este contexto, se busca la viabilidad económica de los dispositivos, con la aspiración final de establecer un sistema que sea no solo técnica sino también económicamente viable.

La prefactibilidad técnica ya está realizada, ya que, en el segundo objetivo, a través de los cálculos, se identificaron las variables fundamentales para el dispositivo. Se llevó a cabo una comparación entre los datos obtenidos para este sistema y los de un sistema ya existente. A pesar de utilizar dos fluidos diferentes, ambos comparten similitudes en la transferencia de calor, un aspecto crítico en nuestro análisis.

Como se mencionó al inicio, el propósito principal de este trabajo es reducir los costos asociados al tratamiento y garantizar su accesibilidad a todas las pacientes en un país en desarrollo como Colombia, es esencial destacar que el punto de partida para el análisis es el costo inicial de un sistema de "Scalp Cooling", que se sitúa alrededor de 15 000 euros [56]. En este contexto, la estrategia consiste en evaluar el precio de cada componente necesario para el sistema, estableciendo así un valor base. Posteriormente, se podrán estimar los costos asociados a la mano de obra y a los ingenieros de diseño, permitiendo una evaluación exhaustiva de la viabilidad económica del proyecto.

Se hizo una lista con la estimación de los costos de los dispositivos:

Tabla 19 Lista de componentes

	<b>Nombre</b>	<b>Precio</b>
<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresor de 1/6 HP (600 BTU)</li> <li>• Refrigerante de operación R134</li> <li>• 115V</li> <li>• CMA042LHCM</li> </ul>	\$ 355.000
<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rubatex Aislante 11/8</li> <li>• Diámetro interno: 2.54 cm</li> <li>• Longitud: 180 cm</li> </ul>	\$ 16.500
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro 3/8 X 3/8</li> <li>• Tubería de cobre, cuerpo de acero</li> <li>• Dml-083s 023z5058 Danfoss</li> </ul>	\$ 75.500
<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo capilar de cobre</li> <li>• Longitud: 1000 mm</li> <li>• Diámetro exterior: 2 mm</li> </ul>	\$ 12.821
<b>5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termopar de superficie x4 unidades</li> <li>• Referencia TC50</li> </ul>	\$ 1.827.947
<b>6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moto ventilador Axial 550mm</li> <li>• YWF4E-550S-137/50-G</li> <li>• 220V/1PH/60Hz</li> <li>• C/Rejilla (-30C a +60C) – WG</li> </ul>	\$ 280.674
<b>7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiador pequeño sin cáscara</li> <li>• 300 mm x 212 mm x 360 mm</li> </ul>	\$ 224.211
<b>8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gorro de tela para sujeción</li> </ul>	\$ 10.000
<b>9</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gorro aislante de Neopreno Con Capucha</li> </ul>	\$ 50.000
<b>10</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidor de presión x2</li> <li>• 0-15 KPa</li> </ul>	\$ 119.540
<b>11</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula reguladora de presión</li> <li>• Dn 15 ½</li> <li>• 10 cm x 10 cm x 3 cm</li> </ul>	\$ 81.000
<b>12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba de agua</li> <li>• Potencia: 19 W</li> <li>• Caudal 800 L/h</li> </ul>	\$ 97.501
<b>13</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de cobre TCD15</li> <li>• 4 m</li> <li>• 13 mm – 15 mm</li> </ul>	\$ 79.983

	<b>Nombre</b>	<b>Precio</b>
<b>14</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubería de silicona</li> <li>• diámetro interno: 12 mm</li> <li>• espesor 1mm</li> </ul>	\$ 127.000
<b>15</b>	• Casco de circulación impreso en TPU	\$ 2.608.140
<b>16</b>	• Gabinete para el sistema	\$ 1.000.000
<b>17</b>	• Costos ingenieros de control	\$ 2.000.000
<b>18</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8.967.316</b>

Por ende, el costo total de los dispositivos esenciales para el sistema se estima en aproximadamente 8 967 000 pesos colombianos (COP), equivalente a alrededor de 2230 dólares estadounidenses.

El precio proporcionado constituye el costo base del dispositivo, tomando en consideración que el casco se hace con TPU, que comparte propiedades similares a la silicona, incluyendo características de transferencia de calor. Con relación al gabinete, aunque no se haya identificado un proveedor específico, se realizó una estimación del costo. Este cálculo se basó en una caja con dimensiones similares, considerando tanto el precio de la caja como el costo asociado a la mano de obra para asegurar su configuración de acuerdo con el diseño específico. Este enfoque proporciona una aproximación razonable al costo total del sistema, considerando las variables involucradas en la fabricación de los componentes.

Para completar el cálculo total, se estima una suma global de 12 000 000 (COP), destinada a cubrir los honorarios de los ingenieros de diseño y control. Esta inclusión refleja un enfoque integral al considerar todos los aspectos económicos involucrados en el desarrollo y la implementación del sistema de enfriamiento del cuero cabelludo.

Es crucial resaltar, en el análisis, no solo el costo total del dispositivo, sino también la rentabilidad en comparación con el costo por ronda de quimioterapia de los equipos existentes, que asciende a aproximadamente 2000 dólares según se mencionó en el documento. Inicialmente, consideramos un precio de alquiler estimado del 60% del precio comercial, es decir, 1200 dólares. Posteriormente, al relacionar el costo de fabricación con el costo de alquiler, se determina que serían necesarias aproximadamente 2.6 rondas de quimioterapia para recuperar la inversión en el equipo. Esto implica que, con 3 rondas o 3 pacientes, se cubren los costos del equipo y se generan ganancias. Este enfoque es

significativamente más eficiente en comparación con los equipos comerciales, que requerirían aproximadamente 7 sesiones o pacientes para lograr una rentabilidad similar.

De acuerdo con estas estimaciones, se observa que los costos asociados a este sistema son considerablemente más bajos en comparación con un sistema de "Scalp Cooling" convencional.

## **11. Discusión**

Durante el desarrollo de la investigación, nos enfrentamos a diversos desafíos que influyeron en la ejecución de nuestro proyecto. Uno de los principales obstáculos fue la demora en la recopilación de datos a través de encuestas, debido a la baja colaboración por parte de las personas identificadas como posibles contribuyentes a nuestro estudio. Esta falta de participación impactó directamente en la obtención de información valiosa para nuestro análisis y, en consecuencia, generó retrasos en el cronograma previsto.

Además, hubo alteraciones significativas en algunas partes de la metodología inicialmente planificada. Estas modificaciones fueron necesarias para adaptarnos a las circunstancias cambiantes y garantizar la validez y la confiabilidad de los resultados. Si bien estos ajustes introdujeron cierta complejidad en la ejecución del proyecto, consideramos que fueron esenciales para mantener la integridad científica de la investigación. A pesar de estos desafíos, es crucial destacar que perseveramos en nuestro empeño por alcanzar el objetivo final de desarrollar un dispositivo de menor costo que permita reducir a su vez el valor del tratamiento.

En conclusión, aunque enfrentamos contratiempos significativos en el desarrollo de nuestra investigación, los resultados y adaptaciones realizadas fortalecieron la validez de nuestro enfoque. Mantenemos la convicción de que la reducción del 40% en los costos de

tratamiento de "Scalp Cooling" es alcanzable, respaldada por las evidencias recopiladas y las decisiones estratégicas tomadas durante el proceso.

Este estudio no solo contribuye al cuerpo existente de conocimiento en el área, sino que también resalta la importancia de la flexibilidad y la adaptabilidad en la investigación científica, especialmente cuando se abordan problemas complejos con múltiples variables y factores externos.

## 12. Bibliografía

- [1] ministerio de salud y protección social, “Incidencia del cáncer se redujo en los últimos 3 años”. Consultado: el 12 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Incidencia-del-cancer-se-redujo-en-los-ultimos-3-anos.aspx>
- [2] “Tipos de tratamiento - NCI”. Consultado: el 29 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/tratamiento/tipos>
- [3] C. J. Dunnill, W. Al-Tameemi, A. Collett, I. S. Haslam, y N. T. Georgopoulos, “A Clinical and Biological Guide for Understanding Chemotherapy-Induced Alopecia and Its Prevention”, doi: 10.1634/theoncologist.2017-0263.
- [4] K. Namkoong *et al.*, “Expression and reception of treatment information in breast cancer support groups: How health self-efficacy moderates effects on emotional well-being”, *Patient Educ Couns*, vol. 81, núm. SUPPL. 1, dic. 2010, doi: 10.1016/J.PEC.2010.09.009.
- [5] V. V Shah *et al.*, “Scalp hypothermia as a preventative measure for chemotherapy-induced alopecia: a review of controlled clinical trials”, 2017, doi: 10.1111/jdv.14612.
- [6] D. Amarillo, D. De Boni, y M. Cuello, “PRACTICAL DERMATOLOGY [Translated article] Chemotherapy, Alopecia, and Scalp Cooling Systems”, *Actas Dermosifiliogr*, vol. 113, 2022, doi: 10.1016/j.ad.2021.09.003.
- [7] “Scalp cooling technology to fight cancer causing alopecia (hair loss) approved by the FDA”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.news-medical.net/news/20170419/Scalp-cooling-technology-to-fight-cancer-causing-alopecia-%28hair-loss%29-approved-by-the-FDA.aspx>
- [8] “How Much Does Paxman Scalp Cooling Cost? | coldcap.com”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://coldcap.com/i-want-to-scalp-cool/pricing/>
- [9] Instituto Nacional del Cáncer, “¿Qué es el cáncer? - NCI”. Consultado: el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/naturaleza/que-es>

- [10] Instituto Nacional del Cáncer, “Quimioterapia para tratar el cáncer - NCI”. Consultado: el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/tratamiento/tipos/quimioterapia>
- [11] American Cancer Society, “Cómo funcionan los medicamentos de quimioterapia”. Consultado: el 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/tratamientos-y-efectos-secundarios/tipos-de-tratamiento/quimioterapia/como-funcionan-los-medicamentos-de-quimioterapia.html>
- [12] F. C. Yang, Y. Zhang, y M. C. Rheinstädter, “The structure of people’s hair”, *PeerJ*, vol. 2014, núm. 1, 2014, doi: 10.7717/peerj.619.
- [13] D. Amarillo, D. de Boni, y M. Cuello, “Alopecia, quimioterapia y gorras de frío o «scalp cooling system»”, *Actas Dermosifiliogr*, vol. 113, núm. 3, 2022, doi: 10.1016/j.ad.2021.09.003.
- [14] O. Carolina, Á. Montes, E. Barrientos, y C. González Cruz, “Diseño de un Scalp Cooling System”.
- [15] H. S. Rugo y J. Voigt, “Scalp Hypothermia for Preventing Alopecia During Chemotherapy. A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials”, *Clin Breast Cancer*, vol. 18, núm. 1, 2018, doi: 10.1016/j.clbc.2017.07.012.
- [16] Trujillo Martín MM *et al.*, “Sistemas de enfriamiento del cuero cabelludo para la prevención de la alopecia secundaria a quimioterapia Scalp Cooling devices for the prevention of Chemotherapy-induced alopecia”.
- [17] M. L. Avellanas *et al.*, “Manejo de la hipotermia accidental severa”, *Med Intensiva*, vol. 36, núm. 3, 2012, doi: 10.1016/j.medin.2011.12.005.
- [18] R. Gocoł *et al.*, “The role of deep hypothermia in cardiac surgery”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, núm. 13. 2021. doi: 10.3390/ijerph18137061.
- [19] B. K. Alba, J. W. Castellani, y N. Charkoudian, “Cold-induced cutaneous vasoconstriction in humans: Function, dysfunction and the distinctly counterproductive”, *Experimental Physiology*, vol. 104, núm. 8. 2019. doi: 10.1113/EP087718.
- [20] Y. A. Çengel, *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*, 3a ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2007. Consultado: el 14 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transfereencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>

- [21] H. Liu y M. Zhou, “The utility of therapeutic hypothermia on cerebral autoregulation”, *Journal of Intensive Medicine*, vol. 3, núm. 1, pp. 27–37, ene. 2023, doi: 10.1016/J.JOINTM.2022.08.004.
- [22] J. Labat *et al.*, “Hypothermia for neonatal hypoxic–ischemic encephalopathy: Retrospective descriptive study of features associated with poor outcome”, *Archives de Pédiatrie*, feb. 2022, doi: 10.1016/J.ARCPED.2022.08.022.
- [23] A. G. Alix y A. A. Allen, “Hipotermia terapéutica en el recién nacido a término o casi término con encefalopatía hipóxico-isquémica”, *Anales de Pediatría Continuada*, vol. 11, núm. 4, pp. 212–217, jul. 2013, doi: 10.1016/S1696-2818(13)70140-9.
- [24] “AUTORREGULACIÓN CEREBRAL: FISIOLÓGÍA Y FISIOPATOLOGÍA ESENCIALES PARA EL MANEJO NEUROCRÍTICO | REVISTA ARGENTINA DE MEDICINA”. Consultado: el 15 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.revistasam.com.ar/index.php/RAM/article/view/524>
- [25] G. Rodríguez-Boto, M. Rivero-Garvía, R. Gutiérrez-González, y J. Márquez-Rivas, “Conceptos básicos sobre la fisiopatología cerebral y la monitorización de la presión intracraneal”, *Neurología*, vol. 30, núm. 1, pp. 16–22, ene. 2015, doi: 10.1016/J.NRL.2012.09.002.
- [26] A. Schäfer, J. Bauersachs, y M. Akin, “Therapeutic Hypothermia Following Cardiac Arrest After the TTM2 trial – More Questions Raised Than Answered”, *Curr Probl Cardiol*, mar. 2021, doi: 10.1016/J.CPCARDIOL.2021.101046.
- [27] “Penguin Cold Caps to reduce hair loss in chemotherapy”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://penguincoldcaps.com/page/cold-caps>
- [28] “Frequently asked Questions on Cold Cap Therapy”. Consultado: el 3 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://penguincoldcaps.com/faqs>
- [29] “Technical Specifications - DigniCap Scalp Cooling System”. Consultado: el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dignicap.com/technical/>
- [30] “Cost - DigniCap Scalp Cooling System”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dignicap.com/cost/>
- [31] “DigniCap - C3 - DigniCap Scalp Cooling System”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dignicap.com/dignicap-c3/>
- [32] “Paxman Scalp Cooling Safety Information - ROW”. Consultado: el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://paxmanscalpcooling.com/system/rest-of-world-technical-specifications/>
- [33] “Overview of the Paxman Scalp Cooling System and Cold Caps”. Consultado: el 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://paxmanscalpcooling.com/system/>

- [34] Ministerio de Salud y Protección Social, "Minsalud se unió a conmemoración del Día Mundial contra el Cáncer", el 5 de febrero de 2022.
- [35] C. Wiesner-Ceballos, D. Puerto, S. Diaz-Casas, O. Sánchez, R. Hernando-Murillo, y L. E. Bravo, "Políticas basadas en la evidencia científica: el caso del control del cáncer de mama en Colombia", *Revista Colombiana de Cancerología*, vol. 24, núm. 3, 2020, doi: 10.35509/01239015.261.
- [36] World Health Organization, "Cancer Today". Consultado: el 6 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode\\_population=continents&population=900&populations=170&key=total&sex=0&cancer=39&type=2&statistic=1&prevalence=1&population\\_group=0&ages\\_group%5B%5D=0&ages\\_group%5B%5D=17&nb\\_items=7&group\\_cancer=1&include\\_nmsc=1&include\\_nmsc\\_other=1&half\\_pie=0&donut=0#collapse-group-0-1](https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=170&key=total&sex=0&cancer=39&type=2&statistic=1&prevalence=1&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_items=7&group_cancer=1&include_nmsc=1&include_nmsc_other=1&half_pie=0&donut=0#collapse-group-0-1)
- [37] "THE EFFECT OF PSYCHOLOGICAL GROUP INTERVENTION ON EMOTIONAL PROBLEMS, EVENT...: EBSCOhost". Consultado: el 12 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://web-s-ebSCOhost-com.bdbib.javerianacali.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=88d97fb5-42d5-4197-974b-a2b806bcfd5f%40redis>
- [38] Mayo Clinic editors, "Quimioterapia y caída del cabello: qué esperar durante el tratamiento".
- [39] A. Freitas-Martinez *et al.*, "Hair disorders in cancer survivors", *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 80, núm. 5. 2019. doi: 10.1016/j.jaad.2018.03.056.
- [40] S. Quesada, A. Guichard, y F. Fiteni, "Cancer-related alopecia: From etiologies to global management", *Cancers*, vol. 13, núm. 21. 2021. doi: 10.3390/cancers13215556.
- [41] N. Cross, *Metodos de diseño*. 2002.
- [42] G. Uy *et al.*, "LACK OF EFFECT OF INDUCTION OF HYPOTHERMIA AFTER ACUTE BRAIN INJURY A BSTRACT Background Induction of hypothermia in patients", *N Engl J Med*, vol. 344, núm. 8, 2001, Consultado: el 22 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: [www.nejm.org](http://www.nejm.org)
- [43] H. S. Rugo *et al.*, "Association between use of a scalp cooling device and alopecia after chemotherapy for breast cancer", *JAMA - Journal of the American Medical Association*, vol. 317, núm. 6, 2017, doi: 10.1001/jama.2016.21038.

- [44] “Precio - Cold Cap”. Consultado: el 22 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://coldcap.com/quiero-hacerme-el-enfriamiento-del-cuero-cabelludo/precio/?lang=es>
- [45] “Comportamiento del dólar en el año 2022 en Colombia”. Consultado: el 23 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dolar-colombia.com/ano/2022>
- [46] “¿Cuántas personas ganan el salario mínimo en Colombia? | Economía | Portafolio”. Consultado: el 22 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/cuantas-personas-ganan-el-salario-minimo-en-colombia-575141>
- [47] Paxman Coolers, “Paxman Scalp Cooling System | Technical Specifications”. Consultado: el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://paxmanscalpcooling.com/system/us-technical-specifications/>
- [48] Dignicap, “Especificaciones técnicas - Sistema de enfriamiento del cuero cabelludo DigniCap”. Consultado: el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dignicap.com/technical/>
- [49] “Engineering\_Design\_Methods”.
- [50] F. E. M. Janssen, G. M. J. Van Leeuwen, y A. A. Van Steenhoven, “Modelling of temperature and perfusion during scalp cooling”, *Phys Med Biol*, vol. 50, núm. 17, pp. 4065–4073, sep. 2005, doi: 10.1088/0031-9155/50/17/010.
- [51] F. E. M. Janssen, G. M. J. Van Leeuwen, y A. A. Van Steenhoven, “Modelling of temperature and perfusion during scalp cooling”, *Phys Med Biol*, vol. 50, núm. 17, pp. 4065–4073, sep. 2005, doi: 10.1088/0031-9155/50/17/010.
- [52] “Pipe-flow-friction-loss-calculations”.
- [53] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, “Mecánica de Fluidos”.
- [54] M. Okiishi y H. Rothmayer, “Fluid Mechanics”.
- [55] CH y -Tetrafluoretano, “Denominación: R-134a; HFC134a; CF”, Consultado: el 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [www.linde-gas.es](http://www.linde-gas.es)
- [56] *PHARMACENTRIX - PAXMAN PRODUCT AND SPARE PARTS PRICE LIST.*

## **13. Anexos**

# Diseño y desarrollo de un dispositivo de scalp cooling "low cost"

Como estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali culminando nuestro plan de estudio en el programa de Ingeniería mecánica (con énfasis en biomecánica), buscamos presentar un proyecto de grado innovador y alta importancia en el campo de la salud aplicando nuestros conocimientos adquiridos y poder presentar soluciones eficientes en nuestra era de interés, el campo de la salud.

Este trabajo de grado se enfoca en el diseño de un sistema de enfriamiento del cuero cabelludo a bajo costo para prevenir la pérdida de cabello en pacientes que reciben quimioterapia para el cáncer de mama. La quimioterapia es un tratamiento efectivo, pero puede generar la caída del cabello, lo que afecta significativamente la calidad de vida de los pacientes. El enfriamiento del cuero cabelludo, conocido como Scalp Cooling, es una técnica utilizada para reducir la pérdida de cabello durante la quimioterapia.

Este tipo de terapia es costosa y difícil de acceder en países en desarrollo como Colombia. El objetivo es reducir los costos de operación y prototipado, y acoplar dispositivos y sistemas de refrigeración de fluidos para mejorar la transferencia de calor y desarrollar un sistema de enfriamiento del cuero cabelludo más accesible y asequible para pacientes en países en desarrollo como Colombia.

les agradecemos llenando esta breve encuesta, que nos brindará un mayor campo de entendimiento a la hora de comenzar con el prototipo desde el punto de vista médico y del paciente.

su colaboración contribuirá al desarrollo de nuestro proyecto de forma significativa

Nicolás Folleco Valencia  
Samuel Medina Narvaez

\* Required

1

Es usted: \*

- Paciente (tratamiento de quimioterapia)
- Medico especialista en tratamiento del cáncer
- Ingeniero de diseño

2

Acepta usted el tratamiento de datos personales tales como nombre, número de teléfono y número de registro médico (solo para profesionales en cáncer)?

nota: esta información solo será utilizada con motivos de validez de la información y no para divulgación de los mismos. \*

- Sí
- No

3

Acepta usted el tratamiento de datos personales tales como nombre, número de teléfono y número de registro médico (solo para profesionales en cáncer)?

nota: esta información solo será utilizada con motivos de validez de la información y no para divulgación de los mismos. \*

Sí

No

4

Nombre y número de teléfono: \*

5

Nombre, número de teléfono y número de registro médico: \*

6

¿Cuál ha sido su experiencia tratando a pacientes que enfrentan la pérdida de cabello durante tratamientos médicos? \*

7

Conoce usted lo que es un dispositivo de Scalp Cooling? \*

sí

No

8

Nos gustaría explicarle en qué consiste un dispositivo de scalp cooling y cómo se utiliza en el contexto médico.

Los dispositivos de scalp cooling son herramientas innovadoras que se emplean principalmente en pacientes que se someten a tratamientos de quimioterapia, en particular aquellos que pueden causar la caída del cabello. El dispositivo de scalp cooling funciona mediante la aplicación de un casco o gorro especial que enfría de manera controlada el cuero cabelludo del paciente. Esto se logra mediante un sistema de enfriamiento que circula líquido refrigerante a través del casco. El enfriamiento se realiza antes, durante y después de la administración de la quimioterapia.

Si desea más información o detalles específicos sobre el dispositivo de scalp cooling, no dude en preguntar. Estamos a su disposición para aclarar cualquier duda que pueda tener.



9

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que **evitar la acumulación de calor** no es importante en absoluto y 10 indica que es extremadamente importante, ¿qué tan importante es para usted evitar la acumulación de calor durante el tratamiento de scalp cooling? \*

Number must be between 1 ~ 10

10

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que la efectividad del tratamiento no es importante en absoluto y 10 indica que **la efectividad** es extremadamente importante, ¿qué tan importante considera usted que es la efectividad del tratamiento de scalp cooling para pacientes con cáncer de mama? \*

Number must be between 1 ~ 10

11

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que la efectividad del tratamiento en **pacientes con ciclos** de tratamiento es mínima y 10 indica que es altamente efectiva, ¿qué tan efectivo cree usted que puede ser el tratamiento de scalp cooling para pacientes con ciclos de tratamiento? \*

The number can't be between 1 ~ 10

12

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que la efectividad del tratamiento en **pacientes no cíclicos** es mínima y 10 indica que es altamente efectiva, ¿qué tan efectivo cree usted que puede ser el tratamiento de scalp cooling para pacientes no cíclicos? \*

Number must be between 1 ~ 10

13

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que **prevenir el dolor de cabeza** no es importante en absoluto y 10 indica que es extremadamente importante, ¿qué tan importante es para usted prevenir el dolor de cabeza durante el tratamiento de scalp cooling? \*

Number must be between 1 ~ 10

14

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que considera la solución con un **dispositivo con perforaciones para permitir la entrada de aire** como poco viable y 10 indica que la considera altamente viable, ¿qué tan viable le parece la solución con un dispositivo con perforaciones para permitir la entrada de aire en el tratamiento de scalp cooling? \*

Number must be between 1 ~ 10

15

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que prefiere un dispositivo que tenga una **vida útil** corta antes de requerir reemplazo, y 10 indica que prefiere un dispositivo con una vida útil larga antes de requerir reemplazo, ¿cuánto tiempo le gustaría que dure el dispositivo de scalp cooling antes de necesitar ser reemplazado?"

\*

Number must be between 1 ~ 10

16

¿Qué otros aspectos considera usted importantes para un dispositivo de scalp cooling que no hemos tenido en cuenta en nuestras preguntas anteriores? Por favor, enumere cualquier otro aspecto relevante que considere crucial para el diseño y la eficacia del dispositivo \*

17

en el momento en el que fue diagnosticado con cáncer y le fue sugerido un tratamiento de quimioterapia, cuál de estos efectos secundarios fue el primero que se le pasó por la mente? \*

- Caída del cabello
- Náuseas
- Fatiga
- Cambios de peso
- Alteración del gusto

18

¿Cómo ha afectado la pérdida de cabello durante el tratamiento a su confianza y bienestar emocional? \*

19

Conoce usted lo que es un dispositivo de Scalp Cooling? \*

- sí
- No

20

Nos gustaría explicarle en qué consiste un dispositivo de scalp cooling y cómo se utiliza en el contexto médico.

Los dispositivos de scalp cooling son herramientas innovadoras que se emplean principalmente en pacientes que se someten a tratamientos de quimioterapia, en particular aquellos que pueden causar la caída del cabello. El dispositivo de scalp cooling funciona mediante la aplicación de un casco o gorro especial que enfría de manera controlada el cuero cabelludo del paciente. Esto se logra mediante un sistema de enfriamiento que circula líquido refrigerante a través del casco. El enfriamiento se realiza antes, durante y después de la administración de la quimioterapia.

Si desea más información o detalles específicos sobre el dispositivo de scalp cooling, no dude en preguntar. Estamos a su disposición para aclarar cualquier duda que pueda tener.



21

¿Cuáles serían sus expectativas para un dispositivo de scalp cooling? Por favor, evalúe la importancia de las siguientes características en términos de **comodidad, peso y facilidad de uso** en una escala del 1 al 10, donde 1 representa la menor importancia y 10 la mayor importancia. \*

Number must be between 1 ~ 10

22

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que la **facilidad de transporte del dispositivo** no es importante en absoluto y 10 indica que es extremadamente importante, ¿qué tan importante considera usted que es que el dispositivo de scalp cooling sea fácil de transportar? \*

Number must be between 1 ~ 10

23

En una escala del 1 al 10, donde 10 indica que un dispositivo grande le afectaría significativamente y preferiría un dispositivo poco invasivo, y 1 indica que no le importa el **tamaño del dispositivo** y lo considera poco relevante, ¿qué tan importante es para usted que el dispositivo de scalp cooling sea compacto y poco invasivo? \*

Number must be between 1 ~ 10

24

En una escala del 1 al 10, donde 1 indica que evitar que el tratamiento de scalp cooling genere **dolor de cabeza u otros efectos secundarios** no es importante en absoluto y 10 indica que es extremadamente importante, ¿qué tan importante considera usted que es evitar que el tratamiento de scalp cooling genere dolor de cabeza u otros efectos secundarios?" \*

Number must be between 1 ~ 10

25

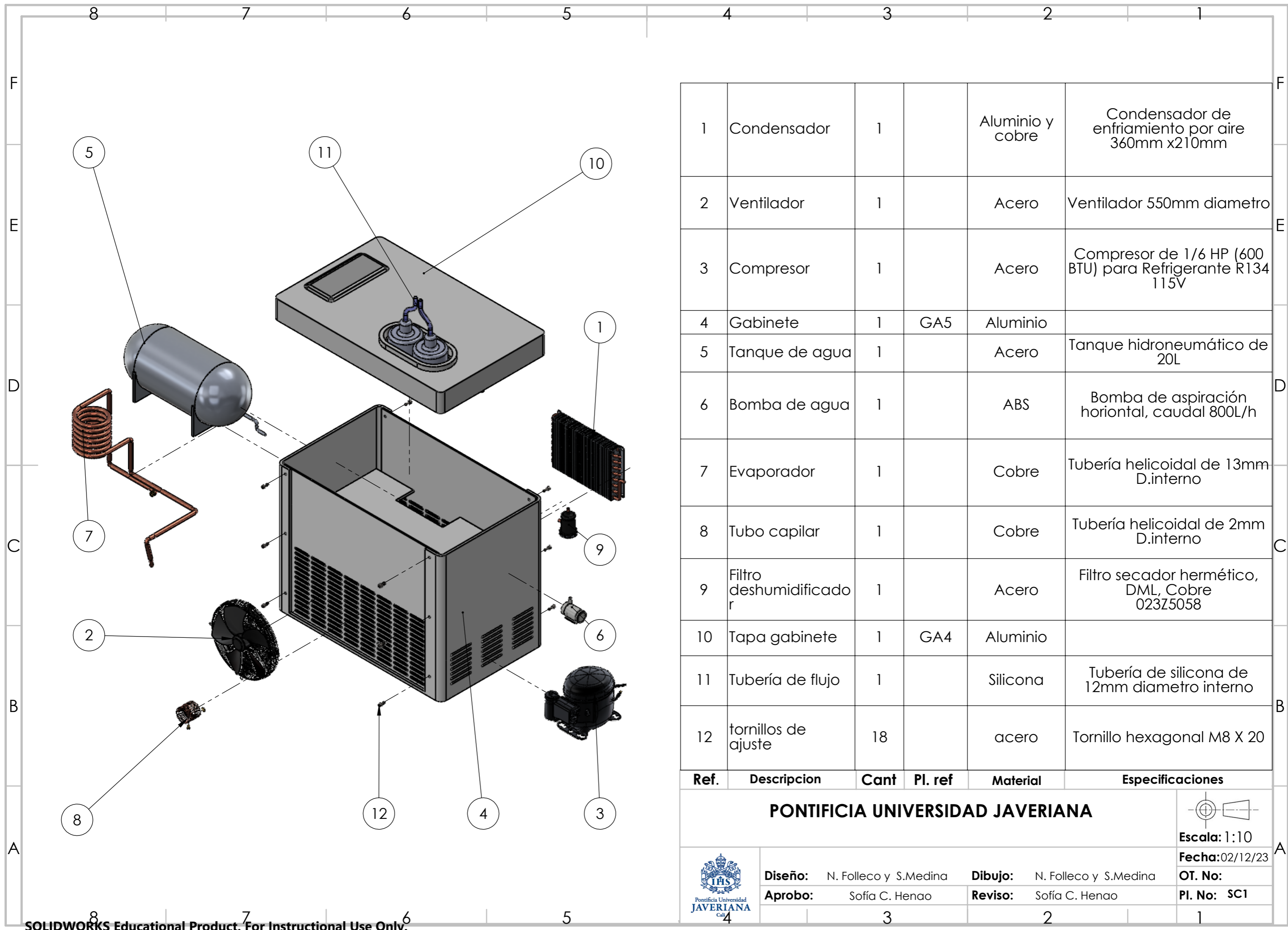
¿Qué otros aspectos considera usted importantes para un dispositivo de scalp cooling que no hemos tenido en cuenta en nuestras preguntas anteriores? Por favor, enumere cualquier otro aspecto relevante que considere crucial para el diseño y la eficacia del dispositivo \*

---

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.



Microsoft Forms



1	Condensador	1		Aluminio y cobre	Condensador de enfriamiento por aire 360mm x210mm
2	Ventilador	1		Acero	Ventilador 550mm diametro
3	Compresor	1		Acero	Compresor de 1/6 HP (600 BTU) para Refrigerante R134 115V
4	Gabinete	1	GA5	Aluminio	
5	Tanque de agua	1		Acero	Tanque hidroneumático de 20L
6	Bomba de agua	1		ABS	Bomba de aspiración horizontal, caudal 800L/h
7	Evaporador	1		Cobre	Tubería helicoidal de 13mm D.interno
8	Tubo capilar	1		Cobre	Tubería helicoidal de 2mm D.interno
9	Filtro deshumidificador	1		Acero	Filtro secador hermético, DML, Cobre 023Z5058
10	Tapa gabinete	1	GA4	Aluminio	
11	Tubería de flujo	1		Silicona	Tubería de silicona de 12mm diametro interno
12	tornillos de ajuste	18		acero	Tornillo hexagonal M8 X 20

Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>					
					Escala: 1:10
					Fecha: 02/12/23
					OT. No:
					Pl. No: SC1
		3		2	1

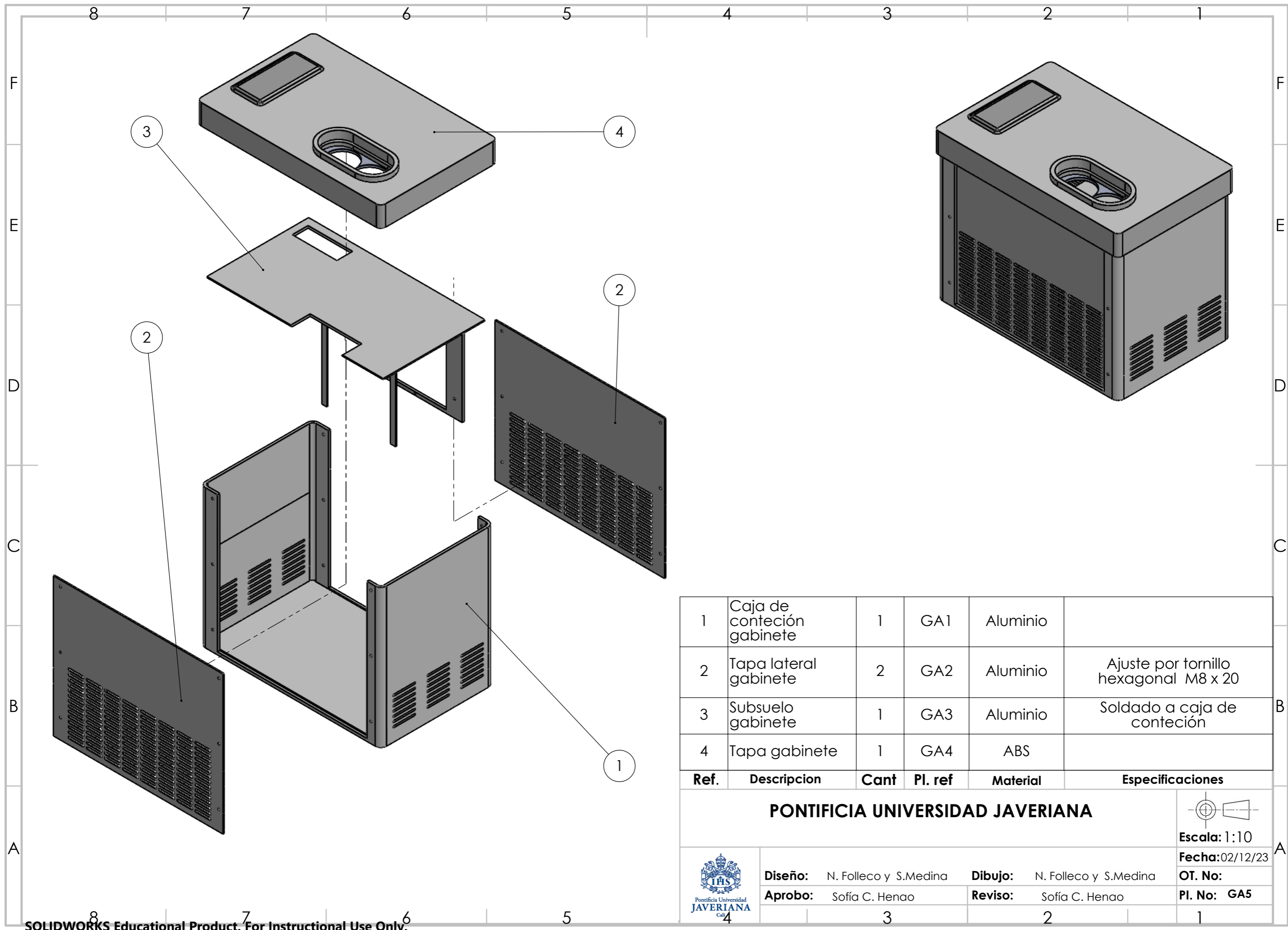


**Diseño:** N. Folleco y S.Medina

**Dibujo:** N. Folleco y S.Medina

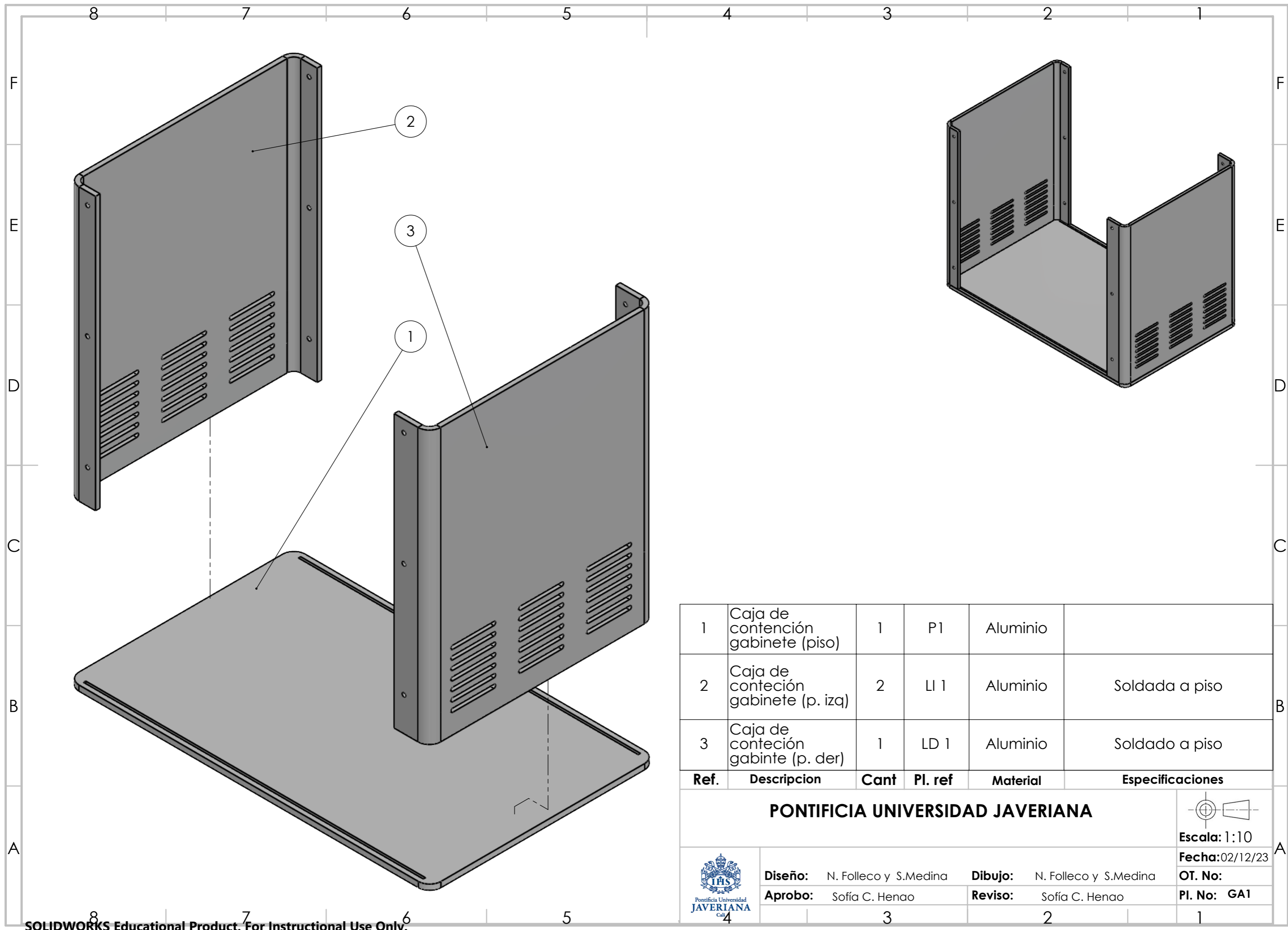
**Aprobo:** Sofía C. Henao

**Reviso:** Sofía C. Henao



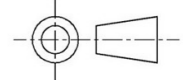

1	Caja de contención gabinete	1	GA1	Aluminio	
2	Tapa lateral gabinete	2	GA2	Aluminio	Ajuste por tornillo hexagonal M8 x 20
3	Subsuelo gabinete	1	GA3	Aluminio	Soldado a caja de contención
4	Tapa gabinete	1	GA4	ABS	
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones

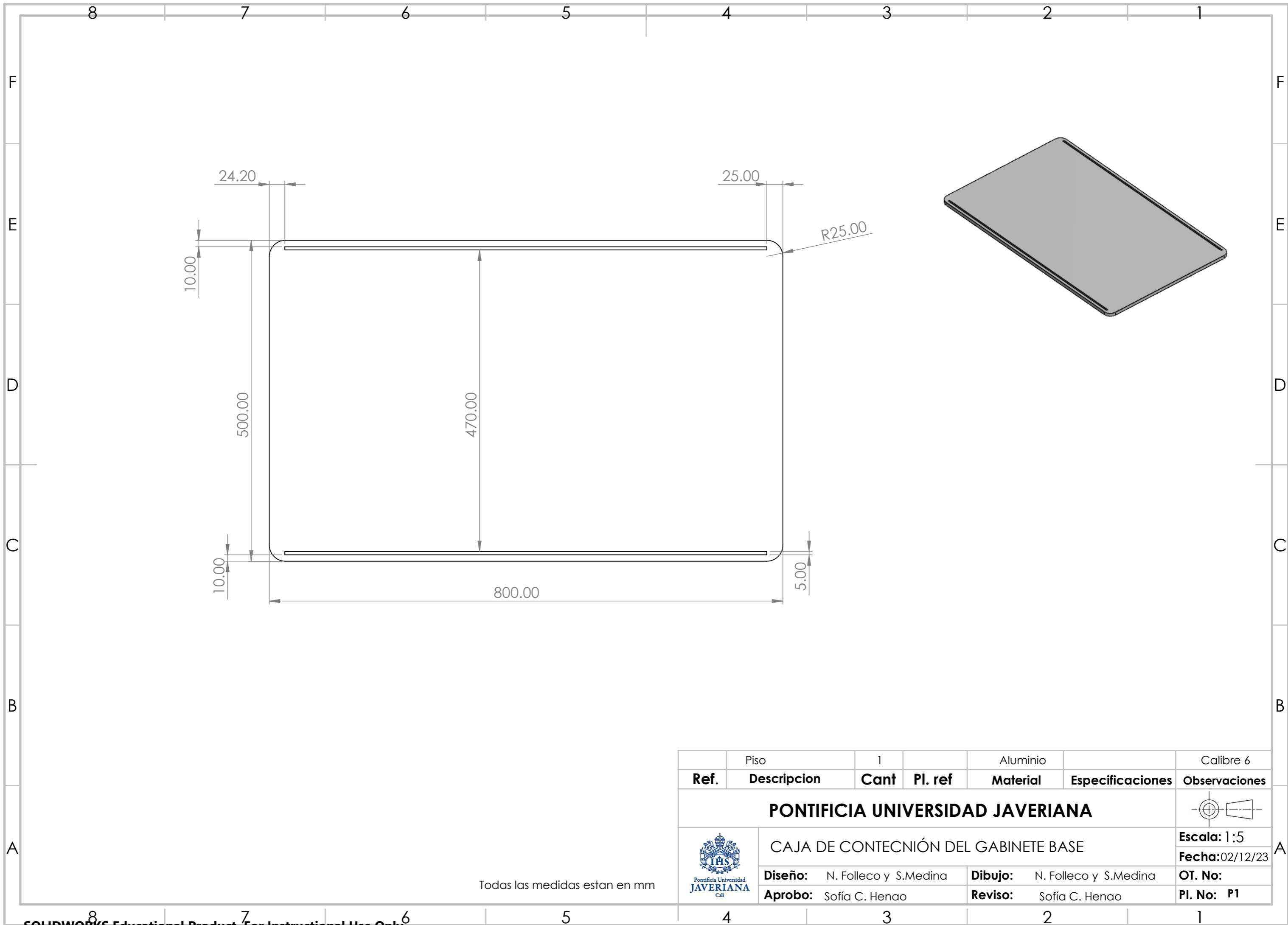
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>				
				Escala: 1:10
				Fecha: 02/12/23
		<b>Diseño:</b> N. Folleco y S. Medina <b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao	<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S. Medina <b>Reviso:</b> Sofía C. Henao	<b>OT. No:</b> <b>Pl. No:</b> GA5
4	3	2	1	



1	Caja de contención gabinete (piso)	1	P1	Aluminio	
2	Caja de contención gabinete (p. izq)	2	LI 1	Aluminio	Soldada a piso
3	Caja de contención gabinete (p. der)	1	LD 1	Aluminio	Soldado a piso

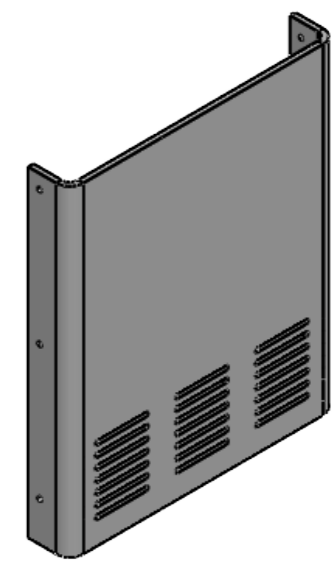
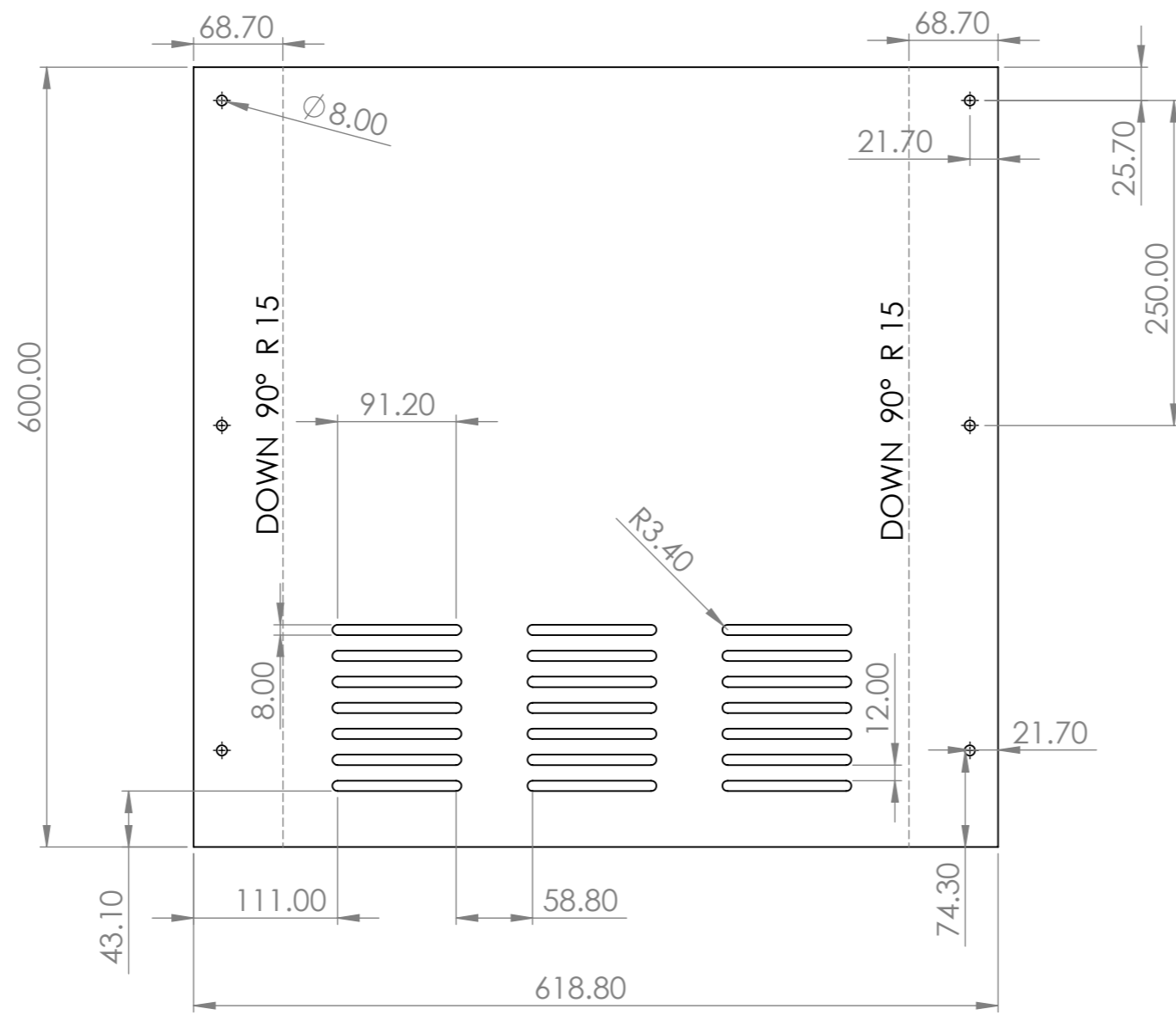
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones
------	-------------	------	---------	----------	------------------

<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>				 <b>Escala:</b> 1:10 <b>Fecha:</b> 02/12/23
	<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina	<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina	<b>OT. No:</b> <b>PI. No: GA1</b>	
	<b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao	<b>Reviso:</b> Sofía C. Henao		
4	3	2	1	



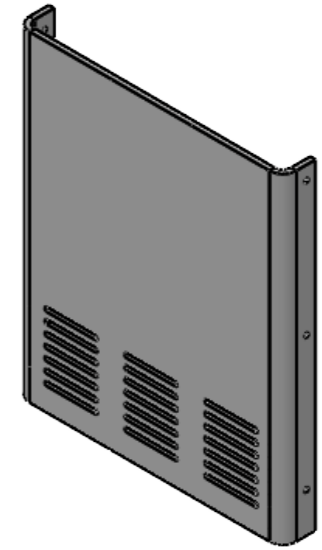
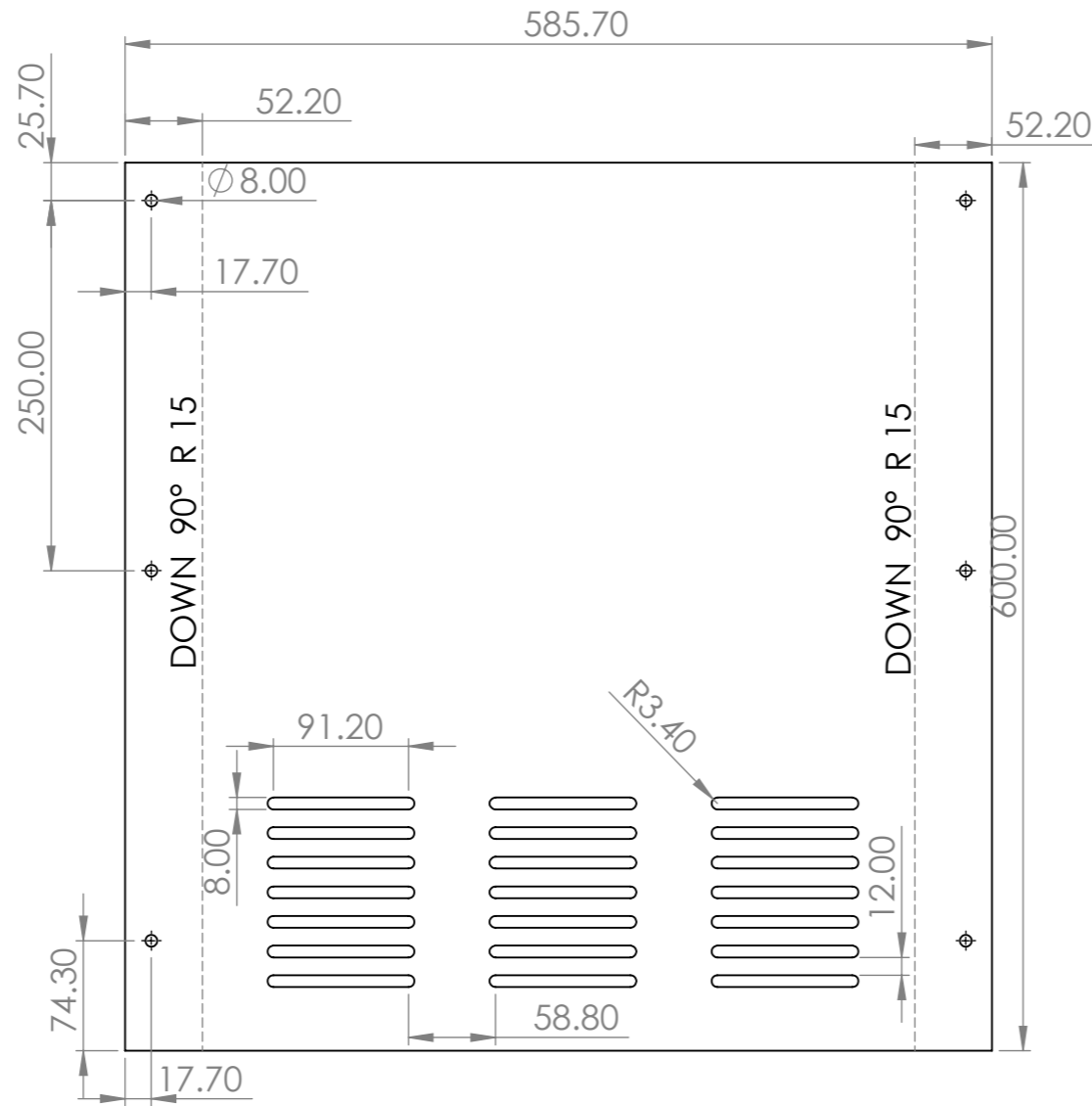
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Piso	1		Aluminio		Calibre 6
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
<b>CAJA DE CONTECNIÓN DEL GABINETE BASE</b>						<b>Escala:</b> 1:5
						<b>Fecha:</b> 02/12/23
<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina				<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina		<b>OT. No:</b>
<b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao				<b>Reviso:</b> Sofía C. Henao		<b>Pl. No:</b> P1

Todas las medidas estan en mm



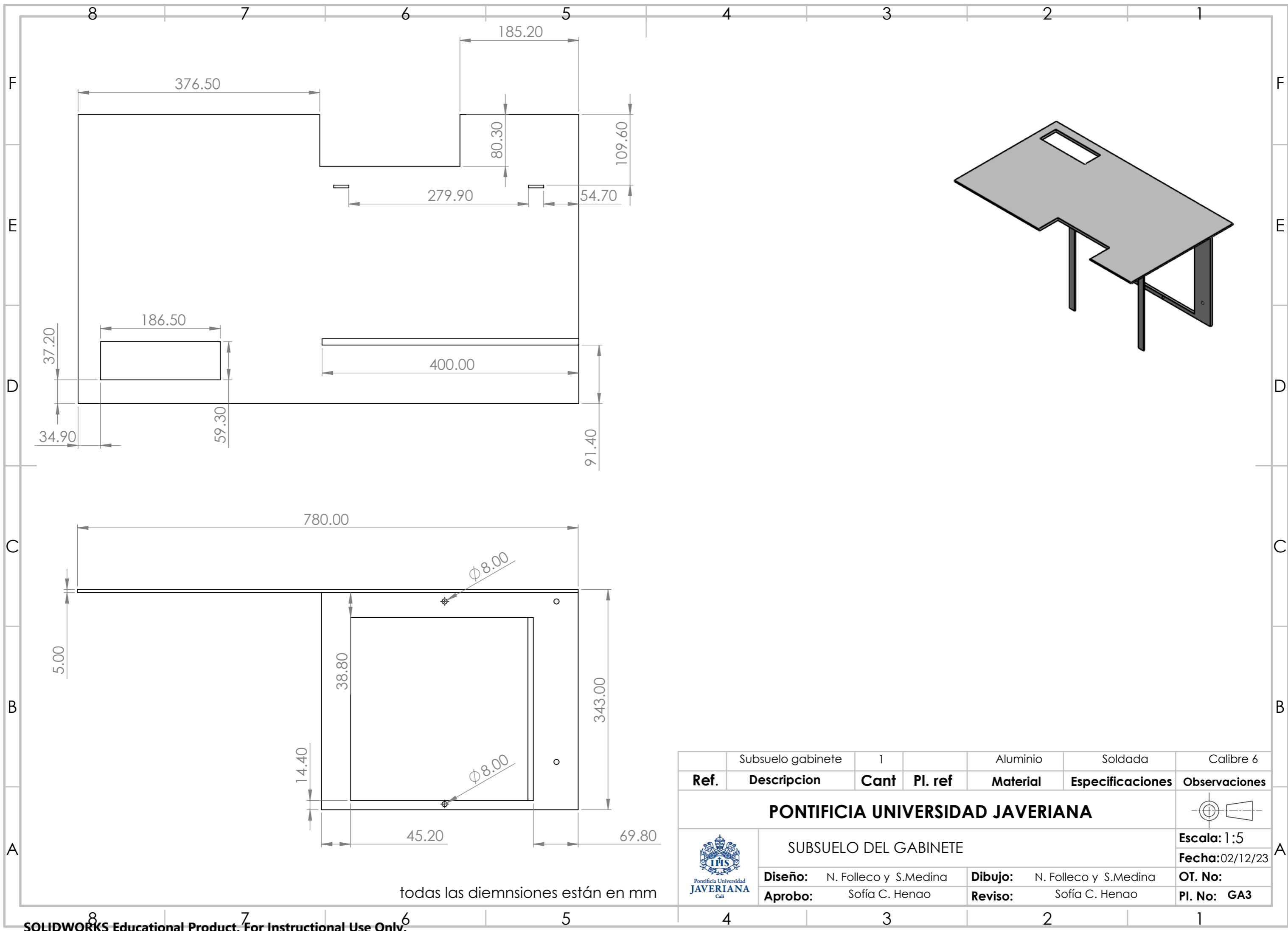
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones		
	Lateral derecha	1		Aluminio	Doblado	Calibre 6		
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>								
CAJA DE CONTECNIÓN DEL GABINETE PARED DERECHA						<b>Escala:</b>		
						<b>Fecha:</b> 02/12/23		
						<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina	<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina	<b>OT. No:</b>
						<b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao	<b>Reviso:</b> Sofía C. Henao	<b>Pl. No:</b> LD1

Todas las medidas estan en mm



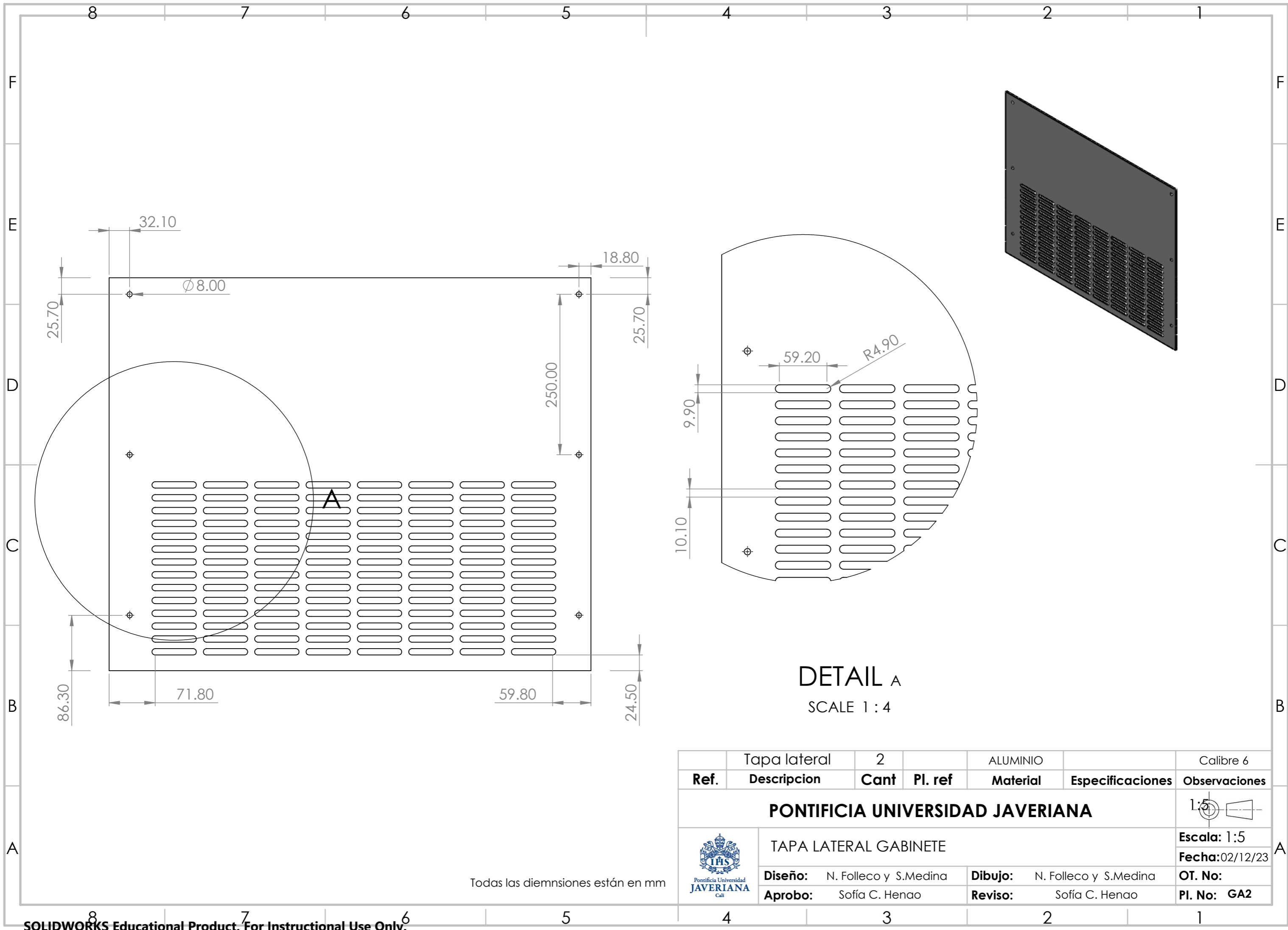
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Lateral izquierda	1		Aluminio	Doblado	Calibre 6
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
CAJA DE CONTECNIÓN DEL GABINETE PARED IZQUIERDA						<b>Escala:</b> 1:5 <b>Fecha:</b> 02/12/23
				<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao	<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Reviso:</b> Sofía C. Henao	<b>OT. No:</b> <b>Pl. No:</b> LI1

Todas las medidas estan en mm



Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Subsuelo gabinete	1		Aluminio	Soldada	Calibre 6
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
<b>SUBSUELO DEL GABINETE</b>						<b>Escala:</b> 1:5
						<b>Fecha:</b> 02/12/23
<b>Diseño:</b>	N. Folleco y S. Medina			<b>Dibujo:</b>	N. Folleco y S. Medina	
<b>Aprobo:</b>	Sofía C. Henao			<b>Reviso:</b>	Sofía C. Henao	
						<b>OT. No:</b>
						<b>Pl. No:</b> GA3

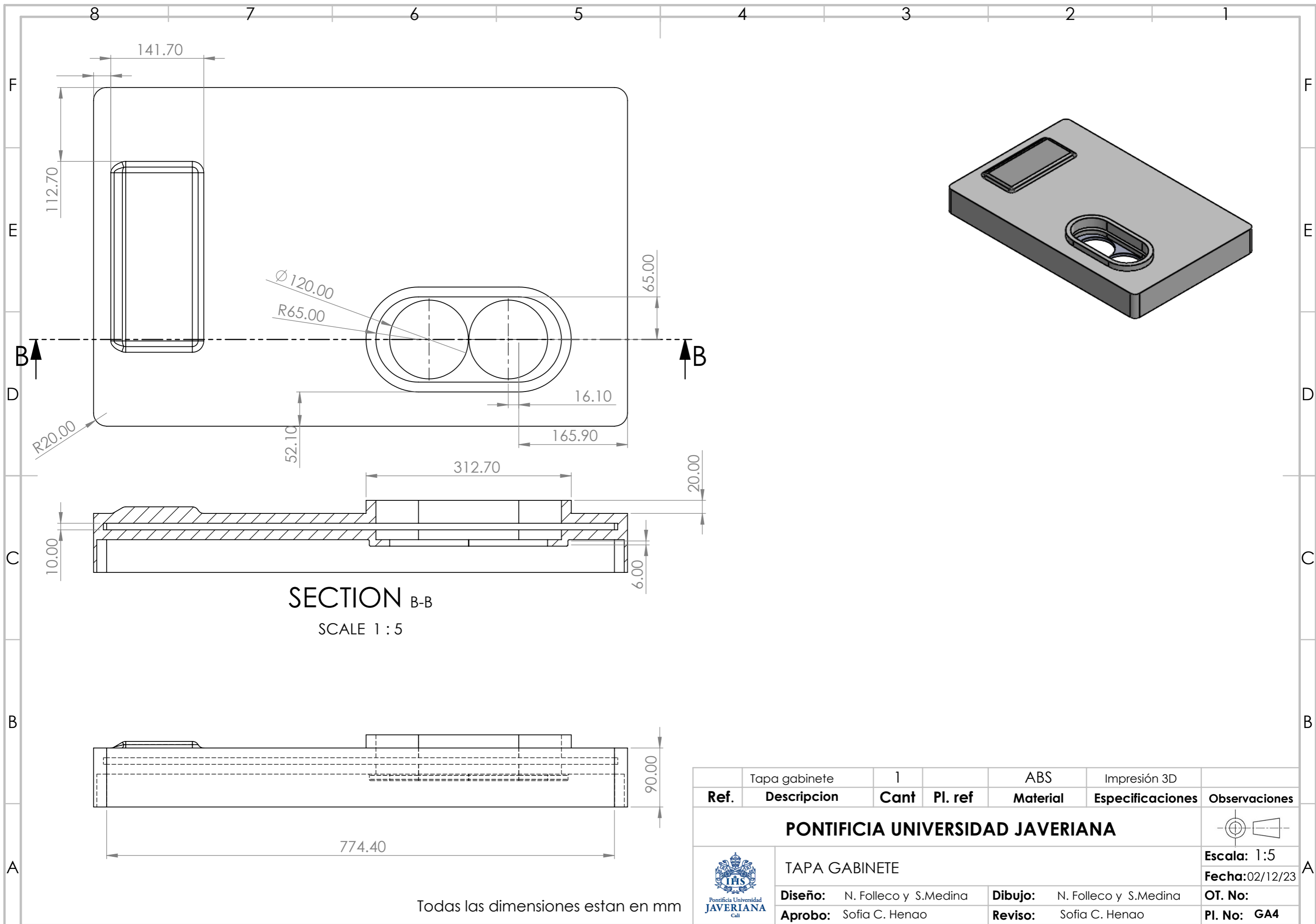
todas las diemnsiones están en mm



**DETAIL A**  
SCALE 1 : 4

Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Tapa lateral	2		ALUMINIO		Calibre 6
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						1:5
<b>TAPA LATERAL GABINETE</b>						<b>Escala:</b> 1:5
<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina						<b>Fecha:</b> 02/12/23
<b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao						<b>OT. No:</b>
<b>Reviso:</b> Sofía C. Henao						<b>Pl. No:</b> GA2

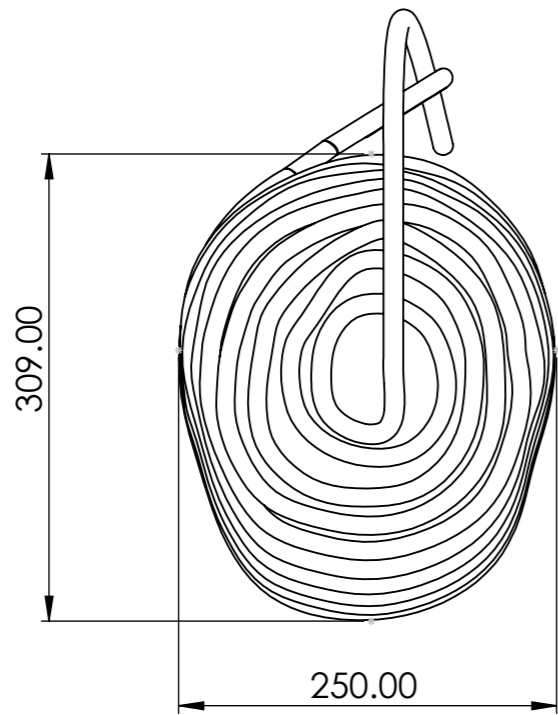
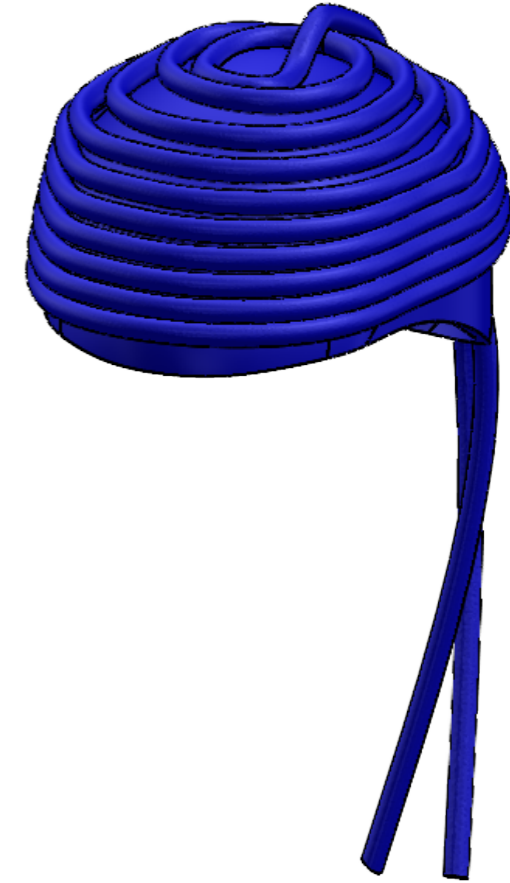
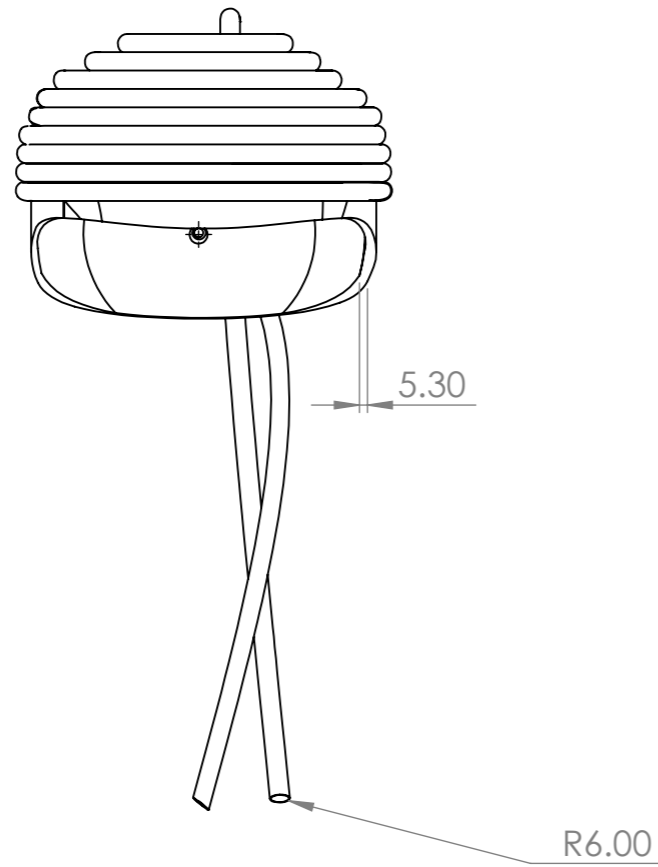
Todas las diemnsiones están en mm



SECTION B-B  
SCALE 1 : 5

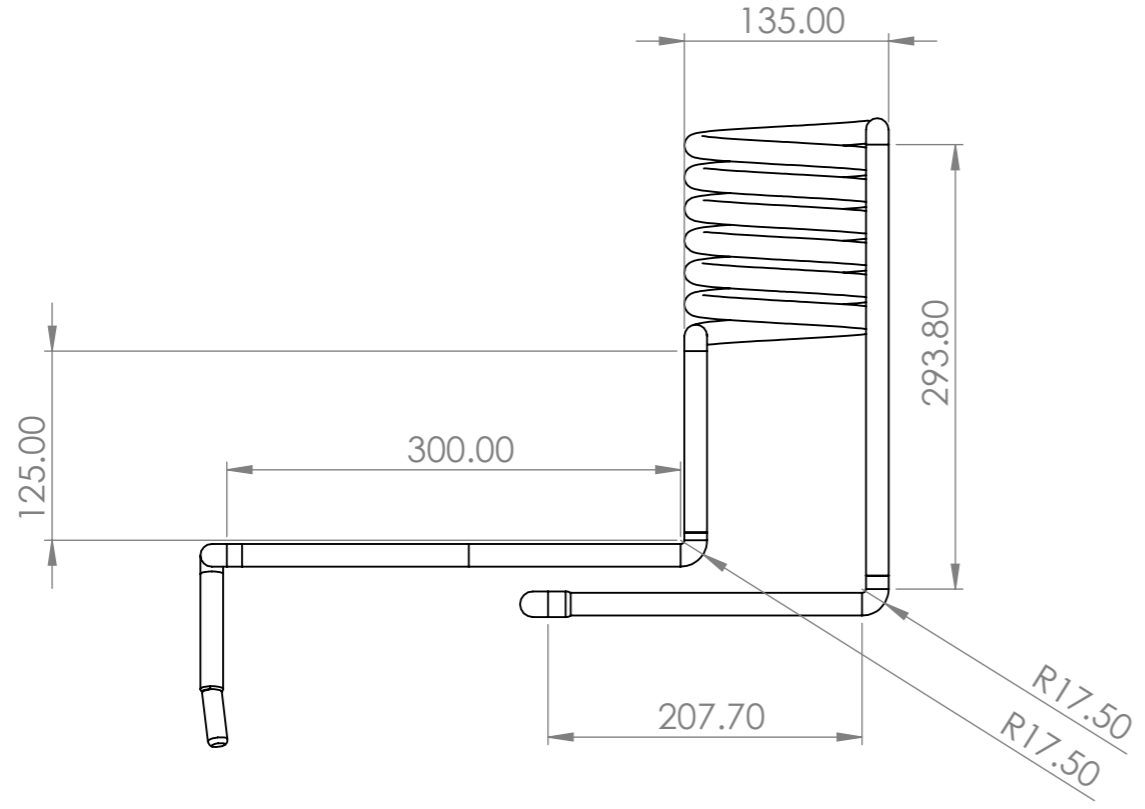
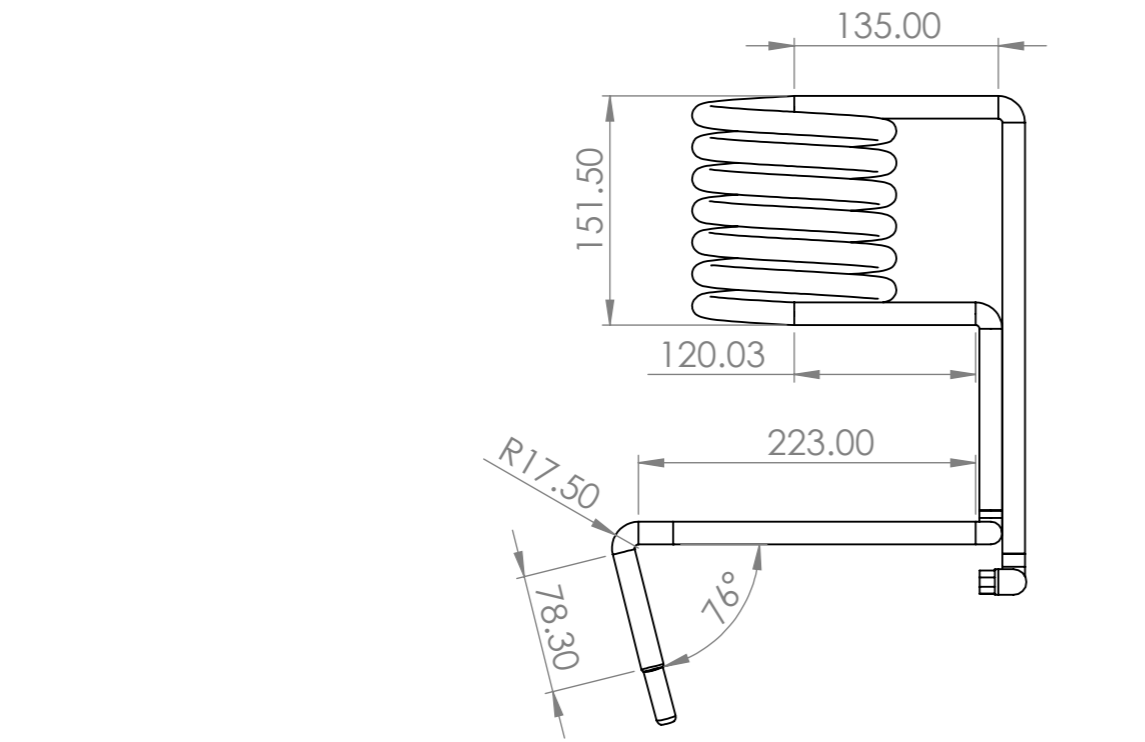
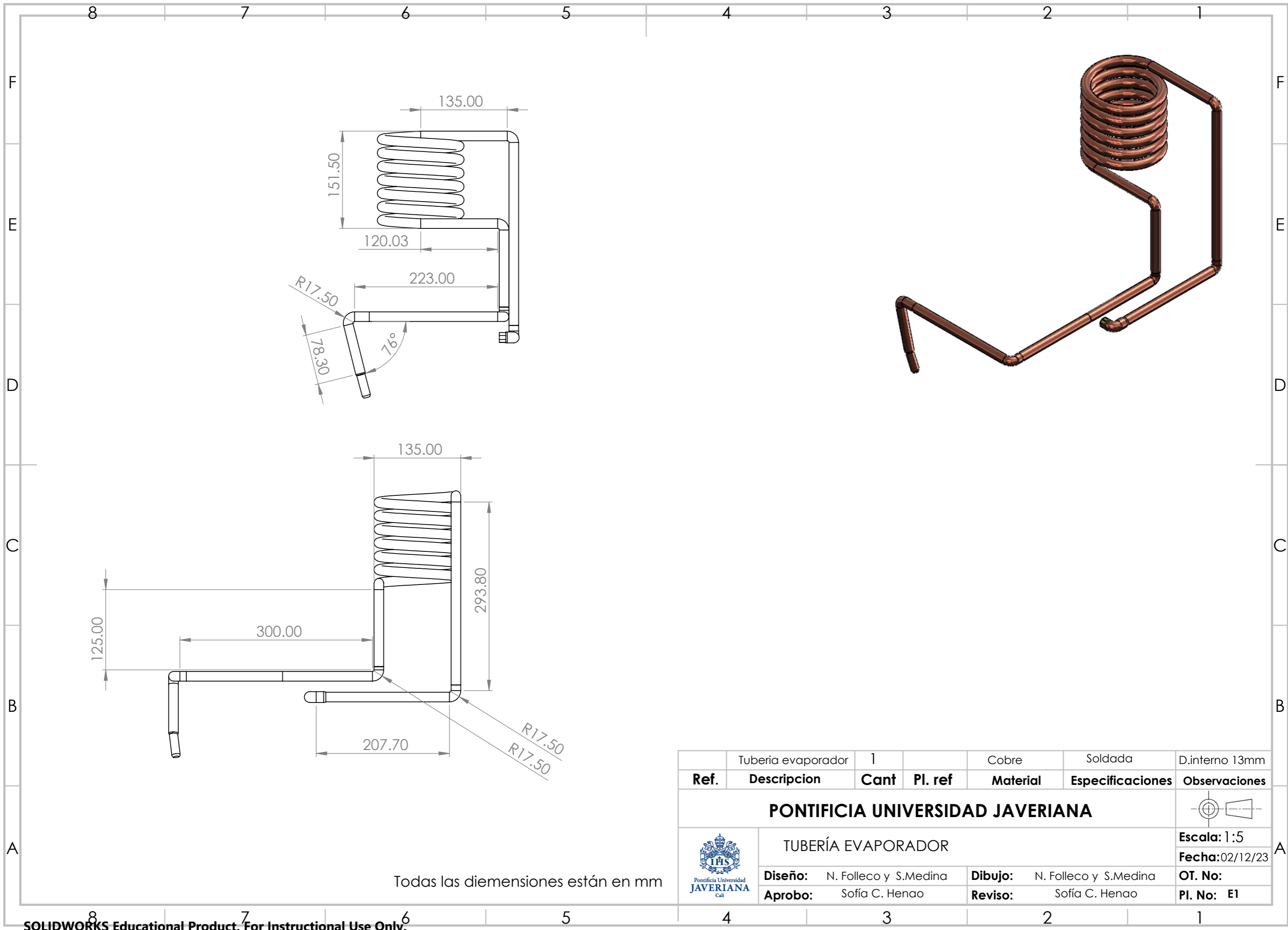
Todas las dimensiones estan en mm

Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Tapa gabinete	1		ABS	Impresión 3D	
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
<b>TAPA GABINETE</b>						<b>Escala:</b> 1:5 <b>Fecha:</b> 02/12/23 <b>OT. No:</b> <b>PI. No:</b> GA4
<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Aprobo:</b> Sofia C. Henao				<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Reviso:</b> Sofia C. Henao		



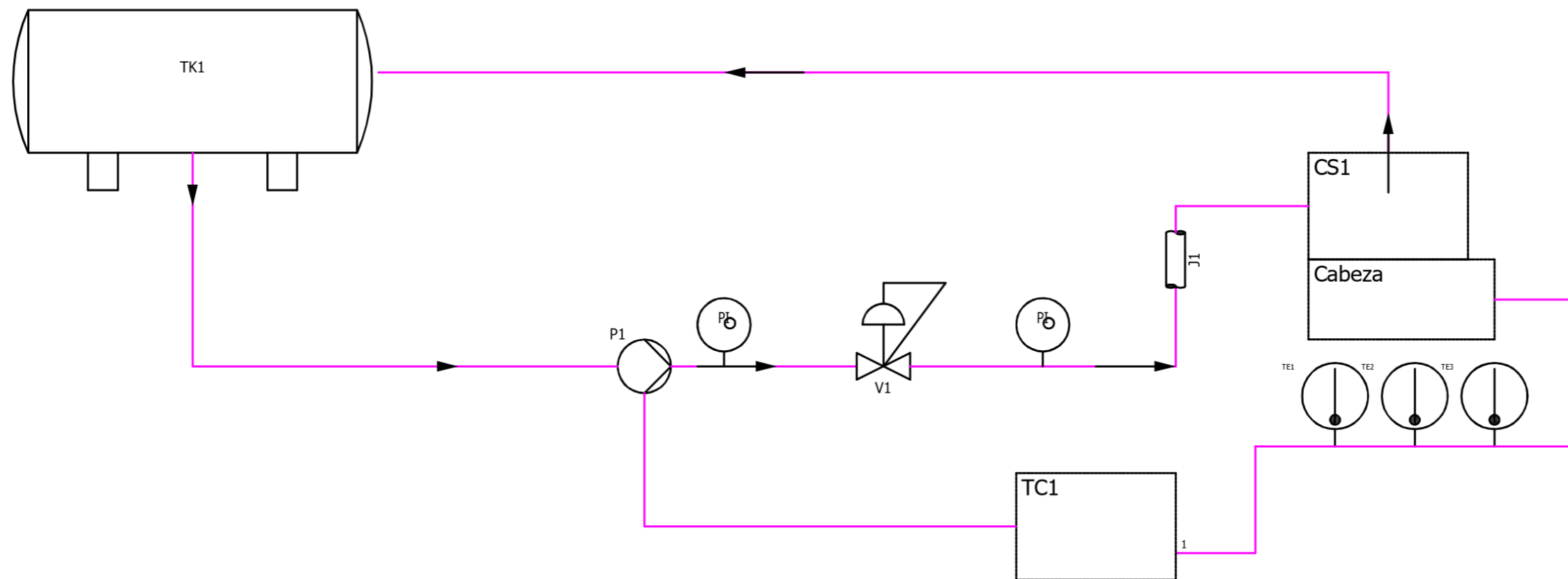
Todas las dimensiones estan en mm


Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
	Casco de enfriamiento	1		TPU	Impresion 3D	
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
<b>CASCO DE ENFRIAMIENTO</b>						<b>Escala:</b> 1:5 <b>Fecha:</b> 02/12/23 <b>OT. No:</b> <b>Pl. No:</b> CS1
				<b>Diseño:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Aprobo:</b> Sofía C. Henao	<b>Dibujo:</b> N. Folleco y S.Medina <b>Reviso:</b> Sofía C. Henao	

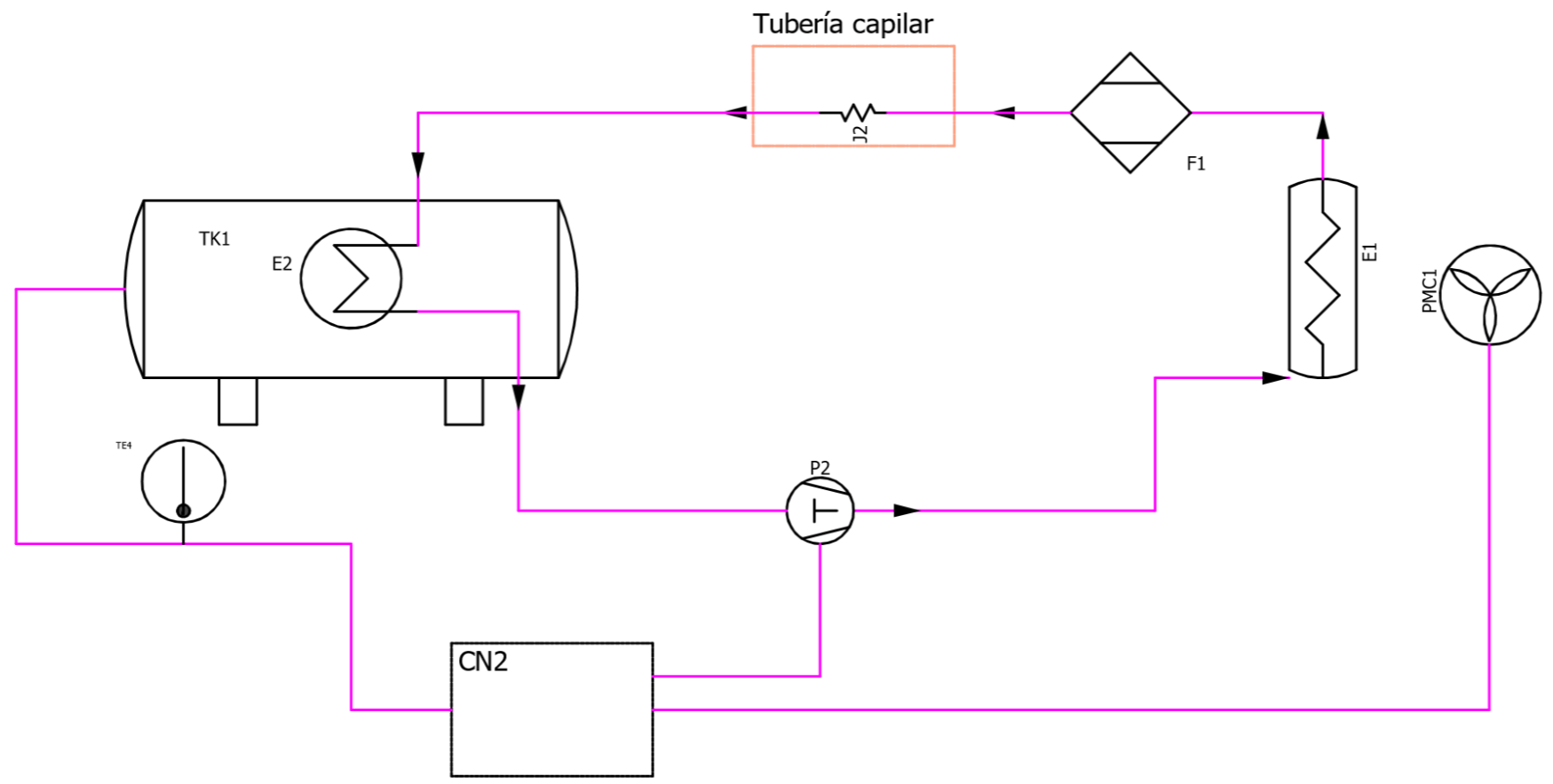



Todas las dimensiones están en mm

	Tubería evaporador	1		Cobre	Soldada	D.interno 13mm
Ref.	Descripcion	Cant	Pl. ref	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</b>						
TUBERÍA EVAPORADOR						Escala: 1:5
						Fecha: 02/12/23
						OT. No:
<b>Diseño:</b>	N. Folleco y S.Medina		<b>Dibujo:</b>	N. Folleco y S.Medina		<b>OT. No:</b>
<b>Aprobo:</b>	Sofía C. Henao		<b>Reviso:</b>	Sofía C. Henao		<b>Pl. No: E1</b>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA			
	P&ID Sistema de bombeo		
	Diseño: N. Folleco y S.Medina	Dibujo: N. Folleco y S.Medina	Fecha: 02/12/23
	Aprobo: Sofia C. Henao	Reviso: Sofia C. Henao	OT. No:
			Pl. No: P&ID-1



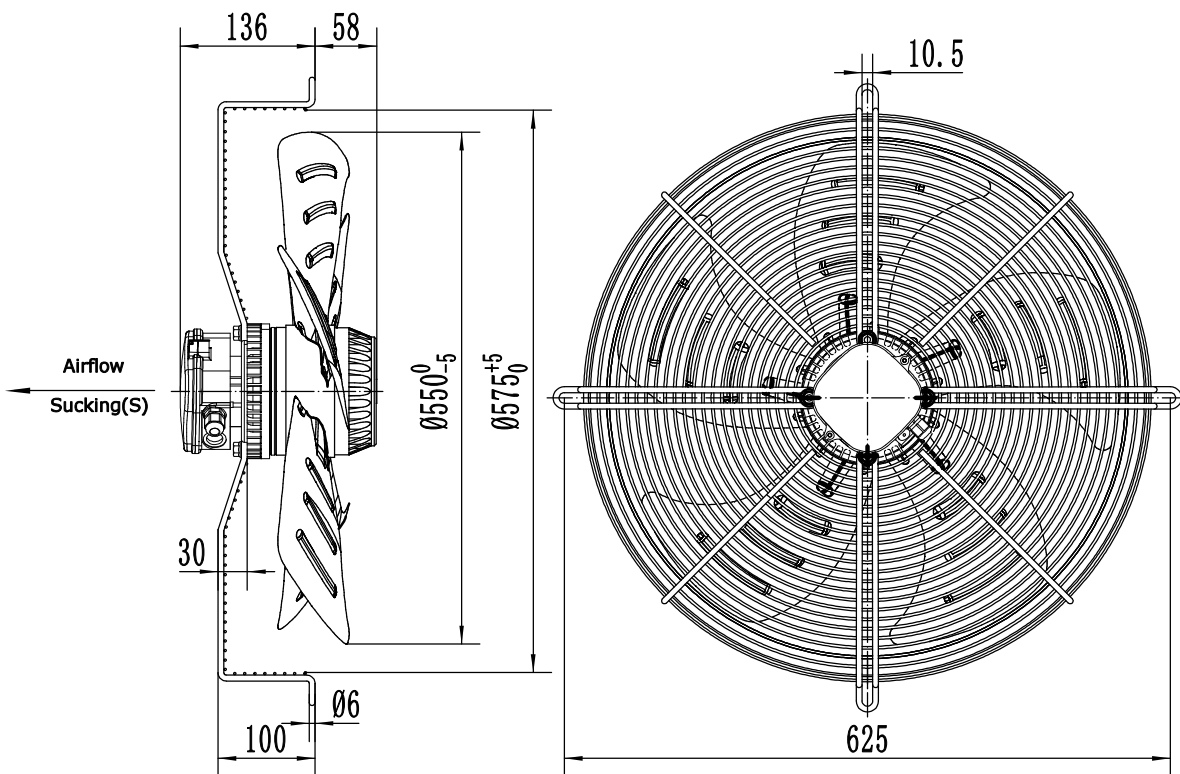
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA			
	P&ID Sistema de refrigeración		Fecha: 02/12/23
	Diseño: N. Folleco y S.Medina	Dibujo: N. Folleco y S.Medina	OT. No:
	Aprobo: Sofia C. Henao	Reviso: Sofia C. Henao	Pl. No: P&ID-2



## INFORMACION TECNICA

MODELO	TIPO	VOL [GAL]	CONEXION	VOLUMEN UTIL TOTAL			PESO [LBS]
				20-40 PSI	30-50 PSI	40-60 PSI	
				GAL	GAL	GAL	
<b>MODELOS HORIZONTALES</b>							
MNP20H	HORIZONTAL	5	1" SS MACHO	2.12	1.8	1.6	13.4
MNP60H	HORIZONTAL	16	1" SS MACHO	6.35	5.4	4.7	27.6
<b>MODELOS VERTICALES CON BASE PLASTICA</b>							
MNP60V	VERTICAL	16	1" SS MACHO	6.35	5.4	4.7	27.1
MNP80V	VERTICAL	21	1" SS MACHO	8.47	7.2	6.2	36.7
MNP100V	VERTICAL	25	1" SS MACHO	10.5	9.1	7.8	42.2
MNP150V	VERTICAL	40	1" SS MACHO	15.87	13.5	11.7	57.3

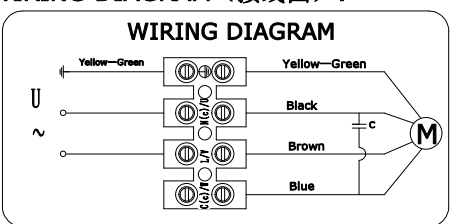




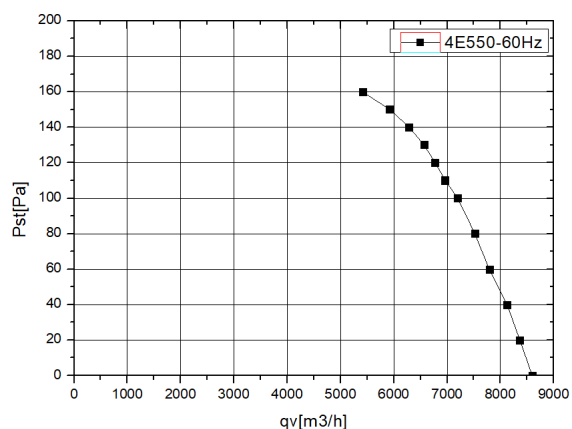
**LABEL (铭牌):**




**WIRING DIAGRAM (接线图):**

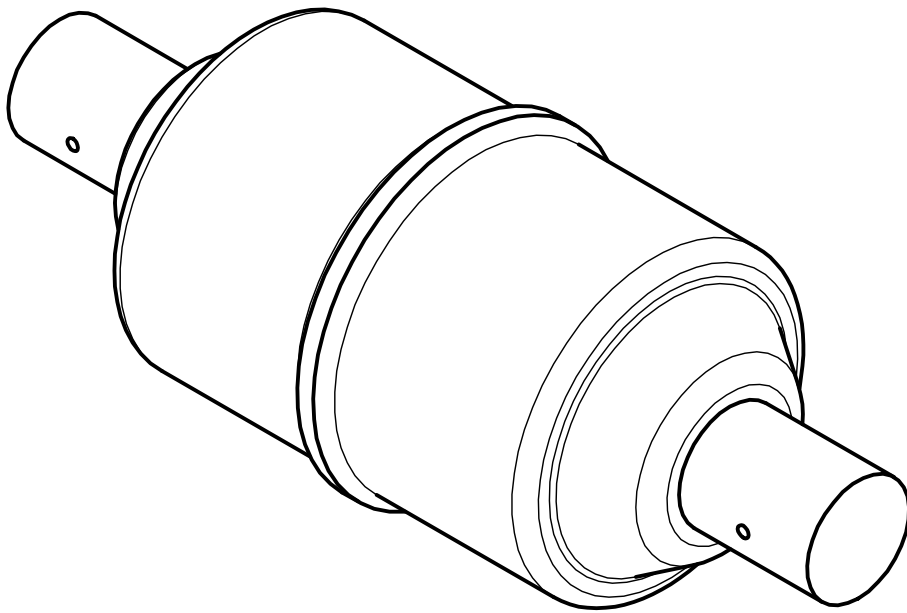


**FLOW RATE CURVE (风量曲线):**



UNIT 类型	Axial fan motor
MOTOR 电机型式	Single phases motor with capacitor
MOTOR TYPE 电机型号	YWF4E-550S-137/50-G
VOLTAGE 额定电压 (V)	220
FREQUENCY 频率 (Hz)	60
INPUT POWER 输入功率 (W)	600
CURRENT 电流 (A)	2.80
SPEED 转速 (r/min)	1600
AIR FLOW 20Pa 风量 (m³/h)	8364
NOISE 噪音 (dBA)	73
CAPACITOR 电容 (μ F/450V)	12
ROTATION 旋转方向	CW ,looking into the end-shield 顺时针, 从端盖端方向看
INSULATION CLASS 绝缘等级	F
MOTOR PROTECTION 电机保护	Thermocontact 150±5°C 热保护器
TEMPERATURE RISE 温升	75K max 运行温升不超过75K
PROTECTION CLASS 防护等级	IP54
OPERATING TYPE 工作定额	S1 连续工作制
AMBIENT TEMPERATURE 适用环境温度	-30°C +60°C
BEARINGS 轴承型式	Ball bearings 滚珠轴承
MOUNTING TYPE 安装方式	Horizontal or Vertical 垂直或水平安装
ELECTRICAL CONNECTION 电源线	Lead wire RV-90 4G 0.75mm² ,Length 100mm in terminal box connected 接线盒(4芯0.75mm²线长100mm)
APPROVALS 认证标记	CE
NET WEIGHT/GROSS WEIGHT 净重/毛重	11.0/13.0kg
PACKING 包装	60*60*22cm

							SIGN	DATE	TITLE
							DRN. BY		YWF4E-550S-137/50-G
							CHD. BY		PROJECTION  A4
							ENG. BY		
REV.	DESCRIPTION	APPROVED	DATE				APP. BY		SHEET: of



Danfoss  
SYM3D\_00\_023Z5072

# Brushless Motor Water Pump

**DC 12V 800L/h**





radiador aire acondiciona

Descarga la app de AliExpress

ES/COP

¡Bienvenido Identificate / Regístrate

0 Cesta

The-Wizard-of-OZ Store

100.0% valoraciones positivas | 63 Seguidores

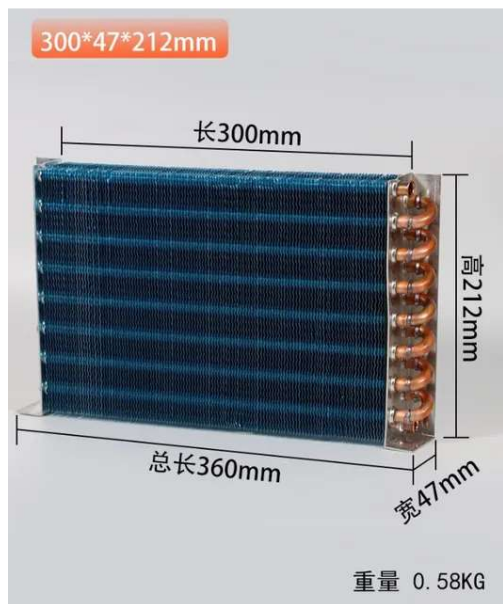
Página principal

Productos

Artículos en oferta

Más vendidos

Comentarios



COP 184,249.30 ~~COP204,721.44~~ -10%

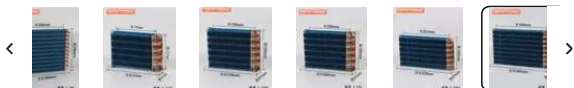
Radiador pequeño sin cáscara, condensador, intercambiador de calor, refrigerador, intercambiador de calor, tubo de cobre, aleta de aluminio, fila fría para ordenador

9 Vendidos

Descuento cupón

COP45,038.72 off en pedidos +COP999,0...

Color: 5



### Artículos similares

- 

Intercambiador de Ca...  
51 vendidos  
COP41,567.75  
**-1% con Monedas**
- 

Tubo de cobre para r...  
8 vendidos  
COP157,799.29
- 

Tubo de cobre para r...  
1 vendidos  
COP196,286.92
- 

Condensador de refri...  
2 vendidos  
COP50,488.19
- 

Condensador de refri...  
2 vendidos  
COP186,209.13
- 

Piezas de refrigerador...  
1 vendidos  
COP49,092.2

Descripción Detalles Valoraciones Te podría interesar

### Descripción

Denunciar artículo

radiador aire acondiona

Descarga la app de AliExpress

ES/COP

¡Bienvenido Identificate / Regístrate

0 Cesta

Brushless Motor Store

95.7% valoraciones positivas | 1955 Seguidores

Página principal

Productos

Artículos en oferta

Más vendidos

Comentarios

# Capillary Pipe

Application:

Household refrigerators and freezers air conditioning

Outer Diameter: **1.8MM-5MM**

Tube wall Thickness: 0.5mm(0.019")



COP **10,522.69** ~~COP11,423.46~~ -8%

Tubo capilar de refrigeración, bobina de refrigeración T2 2,5 P, diámetro de 2MM, 1,2 MM, 3MM, 4MM, 5MM, 1M

★★★★★ 5.0 3 valoraciones | 17 Vendidos

Color: Outer diameter 2MM



## Artículos similares

- 

Piezas de refrigerador...  
1 vendidos  
COP **49,092.2**
- 

Alambre de cobre pur...  
15 vendidos  
COP **11,136.85**  
-5% con Monedas
- 

Tubo de cobre suave ...  
222 vendidos  
COP **3,603.1**  
-5% con Monedas
- 

Alambre de cobre pur...  
73 vendidos  
COP **1,480.07**  
-5% con Monedas
- 

Alambre de cobre pur...  
29 vendidos  
COP **45,939.49**  
~~COP65,510.86~~  
Dto. Bienvenida -1% co...
- 

Alambre de cobre pur...  
700+ vendidos  
COP **4,845.96**  
-2% con Monedas

Descripción Detalles Valoraciones (3) Te podría interesar



Descripción

Denunciar artículo

Betterbeita Store

96.6% valoraciones positivas | 181 Seguidores

Página principal

Productos

Artículos en oferta

Más vendidos

Comentarios



# COP49,174.09

## Medidor de presión Kpa-40 ~ 0kpa 0-2.5kpa 0-4kpa 0-6kpa 0-10kpa 0-15kpa 0-16kpa 0-20kpa 0-30kpa 0-50kpa 0-60kpa

★★★★★ 5.0 1 Valoración | 25 Vendidos

Rango de presión: 0-30kpa

- 0-5kpa
- 0-2.5kpa
- 0-4kpa
- 0-6kpa
- 0-10kpa
- 0-15kpa
- 0-16kpa
- 0-20kpa
- 0-30kpa**
- 0-50kpa
- 0-60kpa
- 0-40kpa
- 0-5kpa
- 4 to 0kpa
- 5 to 0kpa
- 6 to 0kpa
- 10 to 0kpa
- 16 to 0kpa
- 20 to 0kpa



### Artículos similares

- Medidor de presión d...  
61 vendidos  
COP31,731.82  
EOP51,180.36  
Dto. Bienvenida -2% co...
- Medidor de presión d...  
8 vendidos  
COP45,939.49
- Manómetro ajustable...  
3 vendidos  
COP59,328.27
- Mbar-medidor de pre...  
123 vendidos  
COP59,696.77
- Piezas de refrigerador...  
1 vendidos  
COP49,092.2
- Xin Tester-Medidor d...  
12 vendidos  
COP53,488.34  
-2% con Monedas

Descripción Detalles Valoraciones (1) Te podría interesar

### Descripción

Denunciar artículo